



30 марта 2017 года ректор Московского университета академик В.А. Садовничий посетил заседание Ученого совета физического факультета, проходившее совместно с Профессорским собранием. Декан физического факультета МГУ профессор Н.Н. Сысоев выступил с докладом «Традиции и развитие физического факультета в 2012-2017 гг.» и представил результаты деятельности факультета за последние 5 лет.

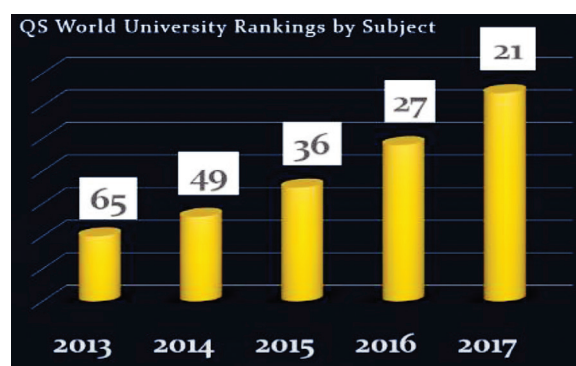
Ректор МГУ академик В.А. Садовничий, декан физического факультета МГУ профессор Н.Н. Сысоев, зав. отделением теоретической и экспериментальной физики профессор Б.И. Садовников.



Н.Н. Сысоев поздравил коллектив физического факультета с 21 местом в международном рейтинге QS по специальности «Физика и астрономия». Всего для включения в рейтинг были рассмотрены 3800 университетов. Рейтинг проводился на основе анализа научных направлений факультета, академической репутации, цитируемости, значения индекса Хирша, а также репутации среди работодателей. Как видно по динамике, за текущий период факультет укрепил свои позиции более чем в три раза. Данные рейтинга в очередной раз доказывают, что Московский университет входит в число влиятельных высших учебных заведений мира, формирующих международное научно-образовательное пространство.

факультет — ведущий учебный и научный центр России в области физики и астрономии. В его составе — 39 кафедр, объединенных в 7 отделений:

- 1) экспериментальной и теоретической физики;
- 2) твердого тела;
- 3) радиофизики и электроники;
- 4) ядерной физики;
- 5) геофизики;
- 6) астрономии;
- 7) прикладной математики.



Физический факультет — старейший факультет Московского университета. Физика в МГУ имеет многовековую историю. Сохраняя преемственность традиций, факультет в период 2012–2017 гг. развивается по направлениям, которые были определены в Программе развития МГУ до 2020 года. В докладе декан отметил, что сегодня физический

## СОДЕРЖАНИЕ

1	НОВОСТИ НАУКИ
40	ВЫСТАВКИ-ПРЕЗЕНТАЦИИ
42	КОНКУРСЫ-НАГРАДЫ
44	КОНФЕРЕНЦИИ
49	ДИССЕРТАЦИИ
50	УЧЕНЫЕ ФИЗФАКА

Учебно-научная деятельность факультета осуществляется в семи отдельно стоящих корпусах общей площадью более 70 тысяч квадратных метров. На данный момент в штате факультета более 1400 сотрудников, из которых более 500 сотрудников профессорско-преподавательского состава, более 350 научных сотрудников и около 180 административно-управленческого и обслуживающего персонала. Более 750 сотрудников факультета имеют степени кандидатов и докторов физико-математических наук. Каждый третий член Российской академии наук в области физики и астрономии — выпускник физического факультета МГУ. За период с 2012 по 2017 год сотрудники факультета были награждены множеством государственных премий, премиями правительства, были удостоены Ломоносовской и Шуваловской премий за педагогическую и научную работу.

На факультете учится более 2500 студентов и порядка 300 аспирантов. Ежегодно на факультет зачисляется более 400 человек в бакалавриат и магистратуру, и 100 аспирантов. Конкурс на бюджетные места факультета составляет порядка 4.4 человека на место. Факультет интенсивно укрепляет свои позиции, о чем свидетельствует динамичный рост конкурса за последние пять лет. Ежегодный выпуск — около 350 студентов и 70 аспирантов, 25% выпускников — обладатели дипломов с отличием.

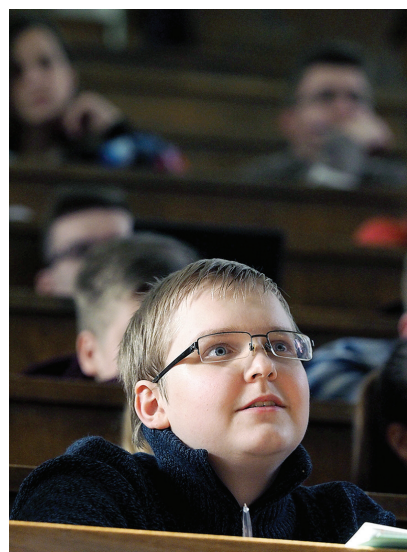
Физический факультет всегда старался привлечь в Московский университет талантливую молодежь. На факультете организованы научно-популярные лекции «Университетские субботы», основная задача которых — знакомство старшеклассников с различными научными направлениями.



Конкурс по годам: количество человек на бюджетные места.

Школьники также могут побывать на экскурсиях в лабораториях факультета. Учащиеся 8-х и 9-х классов могут в течение всего учебного года посещать вечернюю физическую школу. При ГАИШе работает вечерняя астрономическая школа, в которой обучаются школьники 9–11 классов. Еще одна школа, двери которой открыты для школьников 10–11 классов, — физико-математическая. Занятия в ней проводят ведущие профессора и преподаватели физического факультета.

Сотрудники физического факультета регулярно читают лекции в различных регионах России, в том числе в образовательных центрах — «Сириус» и «Жемчужина». Факультет активно участвует в программе Московского университета «МГУ — школе», благодаря которой многие лекции читаются в Университетской гимназии и СУНЦ. Представители факультета входят в состав методической комиссии и жюри московских олимпиад школьников по



«Университетские субботы» на физфаке.

физике и астрономии, университетских олимпиад «Покори Воробьевы горы» и «Ломоносов», олимпиад «Робофест» и «Турнир имени М.В. Ломоносова». Факультет традиционно участвует в проведении различных этапов Всероссийской олимпиады школьников, московского тура олимпиады «Всероссийский турнир юных физиков».

Ежегодно на физическом факультете проводится «Летняя школа учителей физики».

Для школьников 8–11 классов сотрудниками факультета создан уникальный, входящий в Федеральный перечень учебно-методический комплекс по физике. По нему учатся более 300 школ России.

Ежегодно преподаватели и научные сотрудники факультета публикуют для студентов несколько десятков учебно-методических пособий, которые входят в базовый комплект учебников.

Физический факультет выступает в качестве базового по физическому образованию в вузах России. В рамках работы Федерального учебно-методического объединения были разработаны собственные стандарты Московского университета по направлению «Физика» для бакалавриата и магистратуры. В настоящий момент разработан и передан в Министерство образования и науки Российской Федерации проект стандарта специалиста «Фундаментальная и прикладная физика».

Проведена аккредитация 8 образовательных программ специалитета, бакалавриата и магистратуры, и образовательных программ подготовки научно-педагогических кадров по 6 направлениям.

За последние 5 лет проведено 10 заседаний Учебно-методического объединения (УМО) по классическому университетскому образованию. УМО было реорганизовано Министерством образования и науки Российской Федерации в Федеральное учебно-методическое объединение (ФУМО) по различным областям образования.

Особое место в учебном процессе уделено занятиям в практикумах. В общем физическом практикуме проходят обучение более 800 студентов 1-го и 2-го курса физического факультета. Техника и технология классического и современного физического эксперимента, методы сбора, обработки и анализа экспериментальных данных,

элементная база создания автоматизированных экспериментальных модулей, программное сопровождение физического эксперимента — перечень задач, рассматриваемых в процессе практических занятий. Практикум расположен в 35 лабораториях, в которых сосредоточено около 310 учебных установок.

Факультет поддерживает и развивает традиции студенческого самоуправления. На факультете активно работают Студенческий профком, Студсовет, Студком, студенческий творческий центр «Оргкомитет Дня физика».

В течение года с участием студенческого актива факультет проводит около 20 творческих конкурсов, концертов и спортивных соревнований, в числе которых «День физика», «Посвящение в студенты», «Студенческий лидер», фестиваль «Первый снег», «Мисс ФизФак», турнир поэтов.

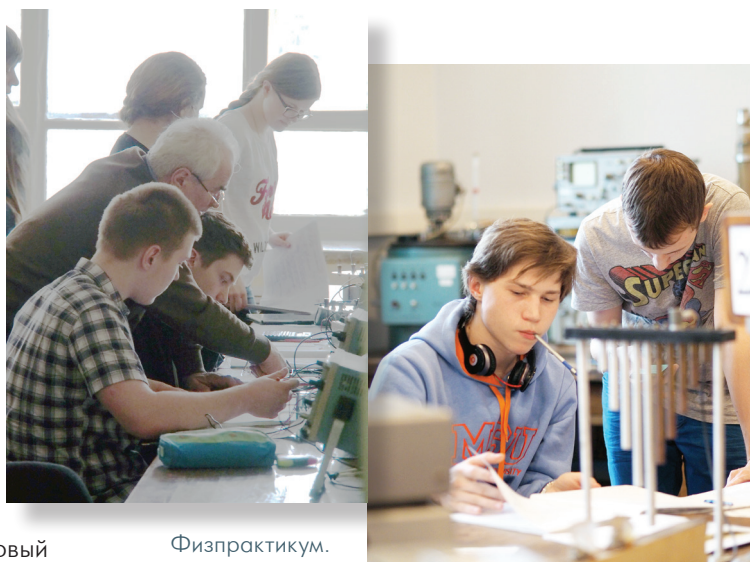
На факультете ежегодно совместно со студентами факультета журналистики проводится «Бал Физиков и Лириков».

За последние пять лет для студентов было организовано 23 экскурсии по Москве и по городам России, распределено около 5000 тысяч билетов в театры. Регулярно в общежитиях проводятся встречи с преподавателями, кинопоказы, творческие конкурсы.

Совместно с Советом ветеранов факультет ежегодно проводит митинг в честь Дня Победы, обновлена экспозиция о факультете в годы войны, организованы встречи студентов с ветеранами войны, экскурсии студентов в города-герои Ленинград, Волгоград, Севастополь и Минск, показ в общежитии фильмов о Великой Отечественной войне.

Финансирование физического факультета осуществляется за счет бюджетных и внебюджетных источников, соотношение между которыми существенно изменилось за последние 5 лет. За отчетный период объем средств, заработанных факультетом, увеличился более чем в два с половиной раза. Внебюджетное финансирование факультета главным образом формируется из средств, полученных при выполнении НИР и ОКР, а также от платного обучения. Доля заработной платы в расходах факультета планомерно увеличивается, и в 2016 году с отчислениями составила 70% от всех расходов факультета. Проводятся обширные работы по восстановлению и реконструкции объектов физического факультета.

На факультете активно развивается международное сотрудничество. В числе содружественных организаций: университеты США, Германии, Японии, Великобритании, Франции, Швейцарии, Италии и других стран. За пять лет нашими сотрудниками, аспирантами и студентами осуществлено более 1200 зарубежных поездок на конференции, более 800 поездок по научной работе и более 160 поездок в качестве преподавателей в ведущие зарубежные университеты мира. На факультет ежегод-

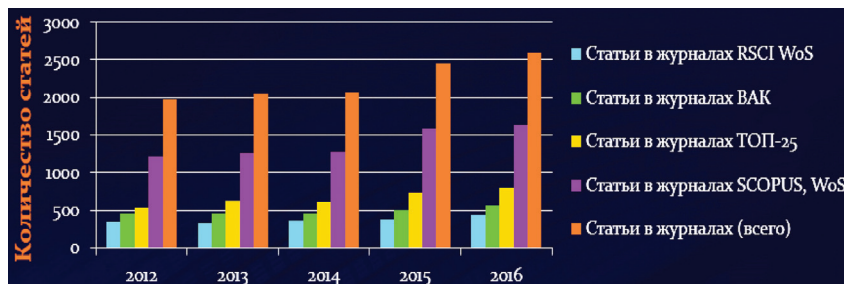


Физпрактикум.

но для чтения публичных лекций приезжают известные ученые со всего мира. Оценка работы факультета по количеству научных публикаций ее сотрудников и их цитирования показала, что ежегодно публикационная активность подразделения возрастает. Количество статей в престижных международных журналах увеличилось примерно на 30%, при этом наблюдается рост суммарного импакт-фактора сотрудников факультета.

Физический факультет издает журнал «Вестник Московского Университета. Физика. Астрономия», который публикуется шесть раз в год, переводится на английский язык и распространяется онлайн издательством на платформе Springer. Издание индексируется во всех основных библиографических базах, включая Web of Science, Scopus и РИНЦ. Журнал — единственный Вестник МГУ, который имеет импакт-фактор, причем он постоянно растет. Также на факультете издается электронный журнал «Ученые записки физического факультета», который индексируется в РИНЦ. Факультет выпускает бюллетень физфака МГУ «Новости науки» — новое информационное издание, целью которого является освещение достижений ученых и информации о событиях в жизни университетских физиков.

Главной особенностью физического факультета является единство обучения и научной деятельности. На каждой из кафедр работает несколько научных групп, работа которых охватывает сотни различных направлений из всех областей современной физики.



Научные публикации на физическом факультете.

## МГУ занял 21 место по предмету «Физика и астрономия» в рейтинге лучших университетов мира QS World University Rankings by Subject

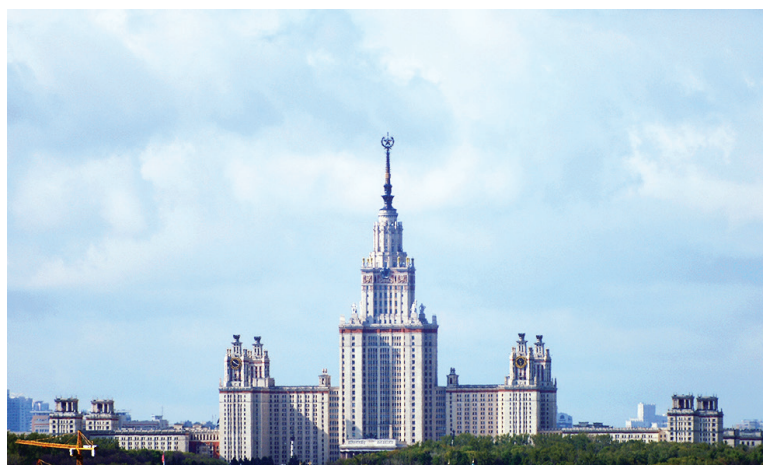


Университет занял **21 место по «Физике и астрономии»**, поднявшись с 27 места в рейтинге 2016 года. Определение рейтингового функционала происходило на основе анализа структуры учебных планов и требований для поступления абитуриентов, научных направлений факультета, а также трудоустройства выпускников.

8 марта 2017 года опубликован список лучших университетов мира по специальностям по версии престижного мирового рейтинга **QS World University Rankings by Subject**. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова стал лучшим в России, попав в список 50 ведущих вузов мира по семи различным предметам.

Данные рейтинга очередной раз доказывают, что Московский университет входит в число влиятельных высших учебных заведений мира, формирующих международное научно-образовательное пространство.

## МГУ ВОШЕЛ В ТРОЙКУ ЛУЧШИХ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ ЕВРОПЕЙСКОГО РЕЙТИНГА THE



МГУ, МФТИ и Санкт-Петербургский университет ИТМО составили тройку топовых российских высших учебных заведений в рейтинге лучших вузов Европы Times Higher Education (THE).

«21 июня впервые вышел рейтинг лучших вузов Европы британского рейтингового агентства THE. В него вошли 400 вузов из географической Европы на пространстве от Великобритании до Греции, что составляет примерно 40% от общего числа — 980 вузов, входящих в мировой рейтинг THE World University Rankings», — приводит ТАСС выдержку из сообщения вуза.

«Россия представлена в европейском топе 24 университетами. Университет ИТМО занял позицию 191–200 и третье место среди вузов России после МГУ (93 место) и МФТИ (151–160)», — говорится в сообщении.

Ранее МГУ вошел в топ-100 рейтинга лучших университетов мира и занял 30-е место.

Репутационный рейтинг THE впервые был опубликован в 2011 году. В него входят 100 вузов мира, репутация которых оценивается с помощью опросов, в которых участвуют наиболее авторитетные ученые из разных научных областей.

## Журнал физического факультета Moscow University Physics Bulletin получил импакт-фактор за 2016 год 0.503

Летом 2017 года опубликован список импакт-факторов журналов в Thomson Reuters 2016 Journal Citation Reports (JCR). Журнал «Вестник Московского университета. Серия 3. Физика Астрономия» («Moscow University Physics Bulletin») — единственный из всех Вестников МГУ в этом списке. Его импакт-фактор постоянно растет и по данным за 2016 год составил 0.503. Среди всех российских журналов по физике, вошедших в список, наш журнал поднялся на 22 место и входит в топ-30% всех индексируемых в JCR российских научных журналов!

Поздравляем со столь серьезной победой редколлегию журнала:

Главного редактора

Сысоева Николая Николаевича, д.ф.-м.н., профессора,  
декана физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Заместителя главного редактора

Задкова Виктора Николаевича, д.ф.-м.н., профессора  
(Институт Спектроскопии РАН (ИСАН), МГУ им. М.В.Ломоносова)

Членов редколлегии

Борисова Анатолия Викторовича, д.ф.-м.н., профессора  
Бушуева Владимира Алексеевича, д.ф.-м.н., профессора  
Желудева Николая Ивановича, д.ф.-м.н., профессора (Университет Саусхэмптон, Великобритания)

Жуковского Владимира Чеславовича, д.ф.-м.н., профессора  
Илюшина Александра Сергеевича, д.ф.-м.н., профессора  
Ишханова Бориса Саркисовича, д.ф.-м.н., профессора  
Калмыкова Николая Николаевича, д.ф.-м.н., профессора  
Коробова Александра Ивановича, д.ф.-м.н., профессора  
Кузелева Михаила Викторовича, д.ф.-м.н., профессора



Серия 3. Физика. Астрономия  
<http://vmu.phys.msu.ru/>

Кульбачинского Владимира Анатольевича, д.ф.-м.н., профессора

Лапшина Владимира Борисовича, д.ф.-м.н., профессора  
Макарова Владимира Анатольевича, д.ф.-м.н., профессора  
Мошалкова Виктора Васильевича, д.ф.-м.н., профессора  
(Католический университет Лейвена, Бельгия)

Носова Михаила Александровича, д.ф.-м.н., профессора  
Пискарскаса Альгиса, д.ф.-м.н., профессора (Вильнюсский Университет, Литва)

Попова Александра Михайловича, д.ф.-м.н., профессора  
Садовникова Бориса Иосифовича, д.ф.-м.н., профессора  
Твердислова Всеволода Александровича, д.ф.-м.н., профессора

Федянина Андрея Анатольевича, д.ф.-м.н., профессора  
Хохлова Алексея Ремовича, д.ф.-м.н., профессора  
Черепашука Анатолия Михайловича, д.ф.-м.н., профессора  
Яголу Анатолия Григорьевича, д.ф.-м.н., профессора

Зав. редакцией

Владимирову Юлию Викторовну, к.ф.-м.н.

## В Шанхайском глобальном рейтинге по предмету «Физика» за 2017 год Московский государственный университет занял 43 место

28 июня 2017 года были объявлены результаты международного Академического рейтинга университетов мира (Academic Ranking of World Universities 2017), подготовленного Центром исследования университетов мирового класса Академии высшего образования Шанхайского университета Цзяо Тун (Shanghai Ranking's Global Ranking of Academic Subjects 2017).

В Шанхайском глобальном рейтинге по предмету «Физика» за 2017 год Московский государственный университет занял 43 место.

В рейтинге учебные заведения определялись на основе пяти критериев: продуктивность научной деятельности; нормализованный по тематическим категориям индекс цитирования; международное сотрудничество; число материалов, опубликованных учебным заведением в лучших журналах; наличие научных наград и премий международного уровня.

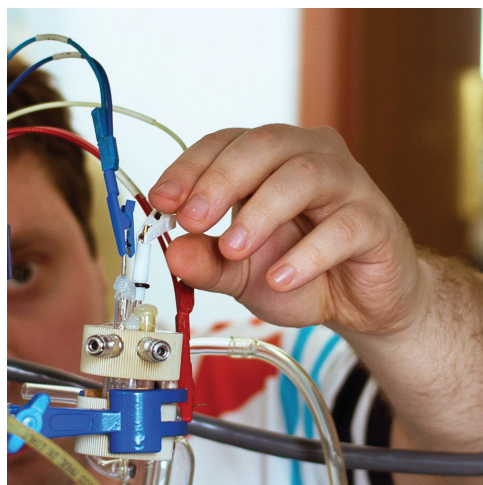
### Шанхайский глобальный рейтинг вузов по предметным областям – 2017

SHANGHAI  
RANKING

Ранг 2017	Название университета	Страна	Сводный индекс	Продуктивность научной деятельности	Индекс цитирования	Международное сотрудничество	Кол-во материалов в лучших журналах	Наличие научных наград
43	Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова	Россия	199.2	81.4	42.3	74.8	60.6	0
151-200	Новосибирский государственный университет	Россия	156.3	45	48.7	79.5	46.8	0
201-300	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	Россия	149.5	46.4	48.5	74	39.7	0
201-300	Московский физико-технический институт	Россия	140	47.7	40.9	71.8	37.2	0
301-400	Санкт-Петербургский государственный университет	Россия	126.8	46.8	36.2	72.3	29.3	0
401-500	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого	Россия	117.1	34.5	43.3	74.4	24.4	0
401-500	Томский государственный университет	Россия	109.2	35.8	37.8	69.3	21.7	0

## УЧЕНЫЕ МГУ ВЫЯСНИЛИ, ПОЧЕМУ ЛИТИЙ-ВОЗДУШНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ПРИХОДЯТ В НЕГОДНОСТЬ

Сотрудники физического и химического факультетов МГУ имени М.В.Ломоносова при помощи моделирования определили, какие процессы лежат в основе перехода электродов литий-воздушных аккумуляторов в неактивное состояние. Результаты работы опубликованы в *Journal of Physical Chemistry C*.



Электрохимическая ячейка, в которой изучаются механизмы процессов в литий-воздушных аккумуляторах.

Литий-воздушные аккумуляторы — устройства, вырабатывающие электроэнергию буквально из воздуха, называют еще литий-кислородными. Они легкие и за счет большей плотности энергии гораздо более эффективны, чем литий-ионные конкуренты. Литий-воздушные аккумуляторы могут оказаться очень востребованными, например, для увеличения пробега электромобилей без подзарядки. Но, несмотря на все преимущества, промышленное производство литий-воздушных аккумуляторов еще не запущено: их разработчики сталкиваются с технологическими сложностями, которые пока что не могут решить.

«Литий-воздушный аккумулятор потенциально может обладать в три-пять раз большей удельной энергией, чем современные литий-ионные батареи. Одна из главных проблем разработки таких аккумуляторов — пассивация электрода, то есть переход поверхности материала электрода в неактивное состояние. Мы получили новые данные о механизме реакции и на их основе предложили способы замедлить пассивацию электрода. Предложенную нами методику можно использовать для поиска наиболее подходящих составителей для электролитов и элект-

родных материалов», — рассказал Артем Сергеев, один из авторов статьи, аспирант кафедры физики полимеров и кристаллов отделения физики твердого тела физического факультета МГУ.

Для нормальной работы литий-воздушных аккумуляторов требуется чистый кислород, а не воздух, представляющий собой смесь атмосферных газов. Углекислый газ и влага, содержащиеся в воздухе, замедляют окислительно-восстановительные реакции, лежащие в основе действия аккумулятора. Чтобы обойти эти препятствия, требуется, по разным оценкам, от 5 до 10 лет. Ученые МГУ исследуют процессы, препятствующие безотказной работе литий-воздушных батарей.

«Вообще, в случае успеха разработки, аккумулятор должен быть литий-воздушным, то есть использовать атмосферный воздух. Нежелательные его компоненты (влага, углекислый газ) должны быть «отфильтрованы» специальными мембранами. Но сейчас существуют и более фундаментальные проблемы, поэтому для их решения, как правило, используют литий-кислородные ячейки, куда подают чистый кислород из баллонов», — прокомментировал Алексей Хохлов, один из авторов статьи, доктор физико-математических наук, академик РАН, заведующий кафедрой физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ.

В литий-воздушном аккумуляторе катод (положительный электрод) — пористая углеродная губка, в пустотах которой находится содержащий ионы лития электролит, — контактирует с внешней газовой средой. Это нужно для того, чтобы воздух поступал к электролиту — жидкому ионному проводнику. Ученые промоделировали границу раздела электрода и раствора электролита в катод литий-воз-

душного аккумулятора и предложили способ замедлить пассивацию электрода. Для полноатомного моделирования методами молекулярной динамики исследователи использовали суперкомпьютерный комплекс МГУ.

«При работе литий-воздушного аккумулятора в катод протекает очень большое количество параллельных процессов и реакций. К сожалению, экспериментальное исследование отдельных стадий этих процессов зачастую не представляется возможным, в то время как моделирование отдельных этапов реакций при помощи суперкомпьютеров позволяет пролить свет на основные закономерности интересующих нас этапов», — объяснил Алексей Хохлов.

Ученые обнаружили, что восстановление надпероксид аниона (сильного неорганического окислителя —  $O_2^-$ ), приводящего к пассивации электрода, вероятно только после его связывания с катионом лития.

«Мы поняли, что образование непроводящих продуктов разряда непосредственно на поверхности электрода (его пассивация), происходит только после связывания промежуточного продукта, супероксид-аниона, с ионами лития, которые в большом количестве присутствуют вблизи электрода. Если их оттуда вытеснить, то может быть, пассивация перестанет протекать так быстро», — обобщил Алексей Хохлов.

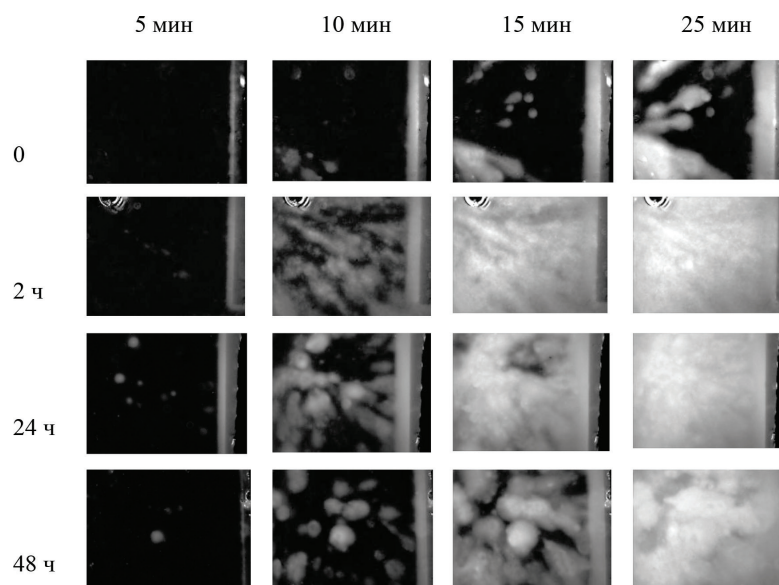
Работа проходила в сотрудничестве с учеными из Ульмского университета, Германия.

"Electrode/Electrolyte Interface in the Li-O<sub>2</sub> Battery: Insight from Molecular Dynamics Study", A.V. Sergeev, A.V. Chertovich, D.M. Itkis, A. Sen, A. Gross, and A.R. Khokhlov, *J. Phys. Chem. C*, **121** (27), p. 14463–14469 (2017).

## ПЕРЕЛИВАНИЕ ПАЦИЕНТАМ ИСКУССТВЕННЫХ ПЛАЗМОЗАМЕЩАЮЩИХ РАСТВОРОВ МОЖЕТ ПОВЫШАТЬ РИСК ТРОМБОЗОВ

Ученые физического факультета МГУ и Национального научно-практического центра детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева провели совместные исследования влияния искусственных плазмозамещающих растворов (ПЗР) на состояние системы свертывания крови. Их работа убедительно показала, что переливание таких растворов пациентам может стать риск-фактором развития тромбозов.

Серии фотографий растущих сгустков в образцах плазмы пациента, взятых в различные моменты времени после переливания ему желатинового ПЗР гелофузина (степень гемодилюции 1.68 раза). Образцы плазмы были получены до, а также через 2, 24 и 48 часов после переливания. Каждый горизонтальный ряд представляет последовательные фотографии одной пробы, снятые через 5, 10, 15 и 25 минут после активации свертывания. Активатор, от которого начинает расти сгусток в экспериментальной камере (стекло), на фотографиях расположен справа.



Гемостаз – сложная система, поддерживающая в организме жидкое состояние крови в нормальных условиях и приводящая к быстрому ее свертыванию в условиях нарушения целостности сосудов. Потери жидкости из сосудов обязательно надо компенсировать. Главная цель при этом – простое восполнение объема циркулирующей крови, поэтому для ее достижения широко применяются искусственные плазмозамещающие растворы. Переливание этих растворов влияет на гемостаз, т.к. они не содержат компонентов системы свертывания и просто разбавляют кровь. Однако сведения о влиянии ПЗР на гемостаз до сегодняшнего дня были очень противоречивы, в частности, оставалось неясным, вызывают ли они изменение свертывания крови в сторону его ослабления (гипокоагуляция) или усиления (гиперкоагуляция).

Большинство врачей интуитивно полагает, что разбавление крови должно приводить к замедлению коагуляции, т.к. концентрации прокоагулянтных компонентов системы свертывания (факторов) при разбавлении снижаются. Однако гемостаз является тонко сбалансированной системой, в которой задействовано много участников, причем не только про-, но и антикоагулянтов (ингибиторов свертывания).

В своих исследованиях наши ученые сфокусировались на одном фундаментальном вопросе: как сам процесс разбавления плазмы влияет на состояние гемостаза. Хорошо известно, что все факторы свертывания присутствуют в крови в большом избытке. Свертывание начинает замедляться только когда концентрации этих факторов в плазме снижаются на 50–80%. Ситуация с антикоагулянтами (в первую очередь, антитромбином) другая. Их реакции с соответствующими активными факторами-мишенями подчиняются кинетическим уравнениям второго

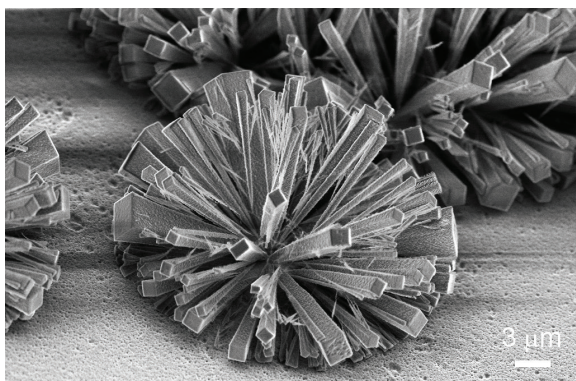
порядка, что означает, что скорость ингибирования свертывания снижается прямо пропорционально снижению концентрации ингибитора. Это позволило предположить, что ответом гемостаза на умеренное разбавление плазмы (до 2–2.5 раз) может быть ускорение свертывания, т.к. при этих степенях разбавлений оно не должно сильно подавляться из-за снижения концентраций прокоагулянтных факторов, однако должно быть ускорено из-за снижения концентраций антикоагулянтов.

Проведенные эксперименты подтвердили эту гипотезу. На рисунке мы видим четыре ряда последовательных фотографий, сделанных в крови одного и того же пациента до и через различные времена после переливания ему содержащего желатин ПЗР гелофузина (степень разбавления 1.68 раза). Хорошо видно, что свертывание идет гораздо интенсивнее в крови, разбавленной ПЗР, причем эффект не исчезает полностью даже через двое суток.

Таким образом, разбавление крови может быть риск фактором возникновения тромботических осложнений при переливании ПЗР в ходе терапии. Полученные результаты не только говорят о необходимости контроля за состоянием гемостаза при переливаниях ПЗР. Они привели нас к идее создания нового поколения таких растворов, в состав которых заранее введен ингибитор тромбина, который нивелирует ускоряющее действие разбавления плазмы на гемостаз.

Результаты данной работы опубликованы в статье: “Moderate plasma dilution using artificial plasma expanders shifts the haemostatic balance to hypercoagulation”, E.I. Sinauridze, A.S. Gorbatenko, E.A. Seregina, E.N. Lipets, F.I. Ataulakhanov, *Sci. Reports*, **7**, p. 843 (2017).

## ВЫРАЩЕНЫ АЛМАЗЫ ИГОЛЬЧАТОЙ И НИТЕВИДНОЙ ФОРМ И ИССЛЕДОВАНЫ ИХ ПОЛЕЗНЫЕ СВОЙСТВА



Физики МГУ имени М.В. Ломоносова получили кристаллы алмаза в форме геометрически правильных пирамид микрометрового размера и совместно с коллегами из других российских и зарубежных научных центров изучили их люминесцентные и электронно-эмиссионные свойства. Результаты этих исследований были представлены в серии статей, недавно опубликованных в ведущих научных журналах: *Journal of Luminescence*, *Nanotechnology*, *Scientific Reports*.

Пример алмазного кристаллита.

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова описали структурные особенности микрометровых кристаллов алмаза иглоподобной или нитевидной формы и их взаимосвязь с люминесцентными характеристиками и эффективностью автоэлектронной эмиссии. Люминесцентные свойства таких иглоподобных кристаллов алмаза могут найти применение в сенсорах различных типов, квантово-оптических устройствах, могут использоваться для создания элементной базы квантовых компьютеров и в других областях науки техники.

### *Лучшие друзья девушек и технологов*

Бриллианты, представляющие собой ювелирно обработанные кристаллы алмаза, многократно воспеты как «лучшие друзья девушек». Относительно меньшую известность для обывателя получил факт широкого использования алмазов в разнообразных промышленных технологиях. Масштабы технологических применений алмазов значительно превышают их ювелирное использование и имеют тенденцию к постоянному увеличению, как в количественном отношении, так и в смысле расширения разнообразия областей их применения. Такое высокое прикладное значение служит постоянным стимулом для исследователей, занимающихся разработкой новых методов синтеза, обработки, придания алмазу необходимых качеств.

Одной из проблем, решение которой требуется для развития ряда технологий, является изготовление алмазных кристаллов иглоподобной или нитевидной формы. Придание такой формы исходным природным или синтетическим алмазам возможно путем их индивидуальной ручной обработки (шлифовки) аналогично тому, как это делается при изготовлении бриллиантов. Другие способы включают использование литографических и ионно-пучковых технологий, с помощью которых фрагменты необходимой формы отделяют от кристаллов большого размера. Однако такие методы «выпиливания» достаточно затратны и не всегда приемлемы.

В группе исследователей, работающих на физическом факультете МГУ под руководством профессора Александра Образцова, была предложена технология, с помощью которой возможно массовое производство небольших по размерам кристаллов (или кристаллитов)

алмаза иглоподобной и нитеобразной формы. Первые результаты, полученные в ходе исследований, проводимых в этом направлении, были опубликованы семь лет назад в журнале *Diamond & Related Materials*.

«Суть предложенного метода состоит в использовании хорошо известной закономерности, определяющей формирование поликристаллических пленок из кристаллитов вытянутой («столбчатой») формы. Из таких кристаллитов, например, часто состоит лед на поверхности озер, что можно увидеть при его таянии. При изготовлении алмазных поликристаллических пленок обычно стремятся обеспечить условия, при которых составляющие их кристаллиты столбчатой формы тесно примыкают друг к другу, формируя плотную однородную структуру», — комментирует главный автор исследований, профессор кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, доктор физико-математических наук Александр Образцов.

### *Все, что не алмаз, превращают в газ*

Исследователями из МГУ было показано, что считавшиеся ранее «плохими» алмазные пленки, состоящие из отдельных не соприкасающихся друг с другом кристаллитов, могут использоваться для изготовления алмаза в виде иглоподобных или нитевидных образований геометрически правильной пирамидальной формы. Для этого необходимо нагреть такие пленки до определенной температуры на воздухе (или в другой кислородсодержащей среде). При нагреве часть материала пленки окисляется, превращаясь в газ. Поскольку температура окисления зависит от характеристик углеродного материала, и для алмазных кристаллитов она максимальна, то удается так подобрать эту температуру, чтобы превратить в газ весь материал, кроме самих алмазных кристаллитов. Эта относительно простая технология, объединяющая формирование поликристаллических алмазных пленок с заданными структурными характеристиками с их нагревом на воздухе, позволяет получать в массовом количестве алмазные кристаллиты с некоторым варьированием их формы (иглочатые, нитевидные и т.п.). Представление о таких кристаллитах можно получить из электронно-микроскопических изображений.



Такие кристаллиты могут использоваться, например, в качестве элементов с высокой твердостью: режущий инструмент для сверхточной обработки, индентеры или зонды для сканирующих микроскопов. Такое применение было описано в статье, опубликованной учеными ранее в журнале *Review of Scientific Instruments*. В настоящее время произведенные по этой технологии зонды реализуются как иностранными компаниями, так и на отечественном рынке.

**Управление полезными свойствами алмаза возможно!**

В ходе последующих работ, которые были проведены на физическом факультете МГУ, исходная технология была существенно усовершенствована, что позволило варьировать форму и размеры игольчатых кристаллитов и расширило потенциальную область их применения. Исследователи из МГУ обратили внимание также на оптические характеристики алмаза, представляющие значительный фундаментальный научный и прикладной интерес. Результаты этих исследований были представлены в серии статей в *Journal of Luminescence*, *Nanotechnology*, *Scientific Reports*.

В этих недавних публикациях описаны структурные особенности таких кристаллитов и их взаимосвязь с люминесцентными характеристиками и эффективностью автоэлектронной эмиссии. Причем последнее, как отмечают ученые, видимо, является первым примером реализации истинно алмазного автоэмиссионного (или

холодного) катода, к получению и исследованию которого было привлечено значительное внимание на протяжении последних двух десятков лет. Люминесцентные свойства игольчатых кристаллов алмаза могут найти применение в сенсорах различных типов, квантово-оптических устройствах, для создания элементной базы квантовых компьютеров и в других областях науки техники.

«Мне особенно хочется отметить значительный вклад в данные работы со стороны молодых ученых Виктора Клеца и Рината Исмагилова, энтузиазм и интенсивная работа которых позволили получить описанные в обсуждаемых работах научные результаты, отличающиеся высокой степенью новизны, фундаментальной научной и прикладной значимостью», — отмечает Александр Образцов.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда.

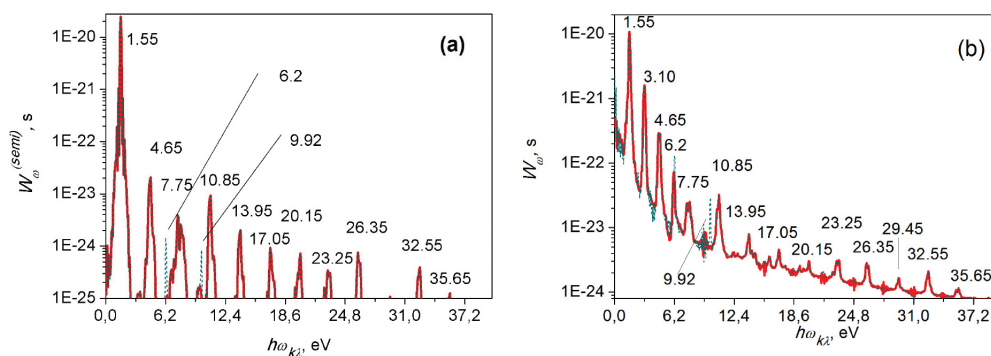
“Structural peculiarities of single crystal diamond needles of nanometer thickness”, A.S. Orekhov, F.T. Tuyakova, E.A. Obraztsova, A.B. Loginov, A.L. Chuvilin, and A.N. Obraztsov, *Nanotechnology*, **27**, No 45 (2016),1

“Photo- and cathodo-luminescence of needle-like single crystal diamonds”, F.T. Tuyakova, E.A. Obraztsova, E.V. Korostylev, D.V. Klinov, K.A. Prusakov, A.A. Alekseev, R.R. Ismagilov, A.N. Obraztsov, *Scientific Reports*, **179**, p. 539–544 (2016).

## АНАЛИЗ СПОНТАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМОВ

Сотрудники кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета и научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова сформулировали новый подход к анализу спонтанного излучения атомов при воздействии на них сильного лазерного поля. О результатах своей работы ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Laser Physics Letters*.

Полуклассические (а) и квантово-механические (б) спектры спонтанного атомарного излучения.



«В статье сформулирован новый подход к анализу спонтанного излучения квантовыми системами — атомами — при воздействии на них сильного лазерного поля, причем воздействие лазерного поля рассматривается вне рамок теории возмущений, то есть поле может произвольно сильным», — рассказал автор статьи, доктор физико-математических наук, профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета МГУ Александр Попов.

В ходе работы авторы использовали возможности университетского суперкомпьютерного кластера «Ломоносов». В результате реализации нового подхода ученые показали возможность анализа начальных стадий развития многочисленных нелинейных эффектов в газовых и плазменных средах на должном уровне строгости, без использования различного рода допущений.

«Мы планируем дальнейшее развитие и совершенствование предложенного подхода, в частности на случай, когда атом находится в неклассическом поле, например в так называемом сжатом состоянии, что представляет интерес для современной квантовой оптики. Есть и другие перспективы развития. Основная ценность данной работы — более глубокое понимание физики генерации в среде высоких гармоник лазерного излучения и связанного с этим процесса генерации импульсов аттосекундной длительности», — заключил ученый.

Исследование выполнено совместно с учеными из Физического института имени П.Н. Лебедева РАН.

“Prospects of odd and even harmonic generation by an atom in a high-intensity laser field”, A.V. Bogatskaya, E.A. Volkova, A.M. Popov, *Laser Physics Letters*, **14**, № 5, p. 055301 (2017).

## ОДНОАТОМНЫЙ ТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ ПРИМЕСНОГО АТОМА МЫШЬЯКА В КРЕМНИИ



На физическом факультете МГУ создан одноатомный одноэлектронный твердотельный транзистор.

В.В. Шорохов, Д.Е. Преснов, В.А. Крупенин

Разработка, создание и исследование одноатомных структур являются продолжением и развитием работ по созданию классических и молекулярных одноэлектронных устройств, проводившихся в лаборатории «Криоэлектроника» с конца 80-х годов. Одноэлектроника, как область мезоскопической физики, родилась в стенах факультета 30 лет назад. В ее основании лежат оригинальные теоретические работы сотрудников факультета Лихарева К.К., Аверина Д.В. и Зорина А.Б. За это время на физическом факультете МГУ разработаны и экспериментально продемонстрированы уникальные наноэлектронные устрой-

ства: одноэлектронная ячейка памяти с временем хранения единичного электрона более 8 часов (второй результат в мире), одноэлектронный транзистор с рекордной зарядовой чувствительностью ( $< 8 \times 10^{-6}$  е/Гц<sup>1/2</sup>), первый в мире молекулярный одноэлектронный транзистор, работающий при комнатной температуре и наконец — одноатомный одноэлектронный транзистор, размер базового элемента которого приближается к физическому пределу: создать твердотельное электронное устройство, размер элементов которого будет меньше размера одного атома невозможно.

Рабочим элементом (островом) одноатомного одноэлектронного твердотельного транзистора является одиночный примесный атом мышьяка, размещенный между туннельными и управляющими электродами в приповерхностной области тонкого монокристаллического кремниевого слоя толщиной 50 нм, расположенного на поверхности диэлектрической подложки (рис. 1). Электрический ток в таком транзисторе — это последовательный пространственно-коррелированный туннельный перенос одиночных электронов между транспортными электродами через выделенный примесный атом. Величина одноэлектронного тока сильно зависит от величины потенциала управляющего электрода. Выделенный примесный атом мышьяка, находящийся в приповерхностном слое кристалла кремния, работает как сверхмалый проводящий остров, который может содержать в себе положительный и отрицательный заряды величиной в несколько электронов. Эффективный размер такого острова для атома мышьяка в кристаллическом кремнии составляет всего

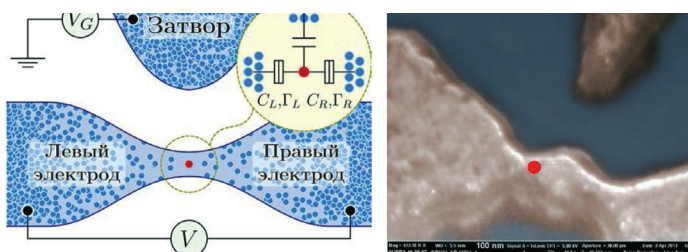


Рис. 1. Схематическое и реальное изображения одноатомного транзистора.

2–3 нм. Основной особенностью одноатомного одноэлектронного транзистора и его существенным отличием от одноэлектронных транзисторов на основе молекул и квантовых точек является специфический одночастичный энергетический спектр электронов выделенного примесного атома. Расстояние между электронными уровнями энергии примесного атома уменьшается по мере роста энергии уровня и его приближения к дну зоны проводимости, что свойственно свободным атомам. Наличие такого энергетического спектра позволяет однозначно идентифицировать туннелирование электронов через выделенный атомный центр по измеренной токовой диаграмме стабильности (рис. 2), в которой максимальная величина блокады транспортного тока монотонно уменьшается по мере увеличения управляющего напряжения.

Полученные результаты позволяют надеяться на разработку в будущем промышленной технологии создания одноэлектронных одноатомных вычислительных устройств и устройств памяти, работающих на новых физических принципах. Среди таких потенциальных устройств можно отметить квантовые вычислительные устройства и так называемые одноэлектронные одноатомные зарядовые клеточные автоматы, в которых отдельные примесные атомы будут играть роль клеток, между которыми передается заряд или состояние поляризации. Что немаловажно, разработанная технология изготовления совместима с традиционной КМОП технологией, а предложенное устройство является масштабируемым, что позволяет изготавливать СБИС.

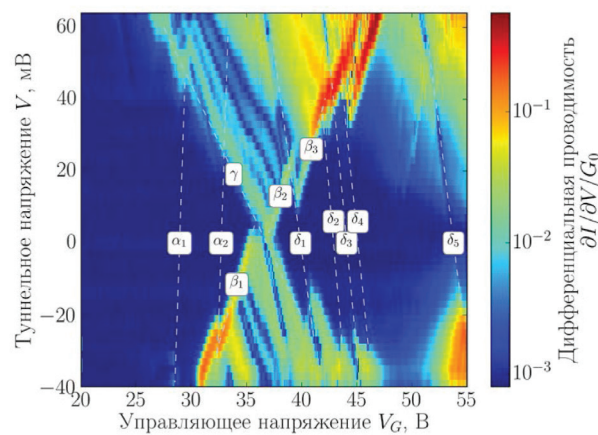


Рис. 2. Токовая диаграмма стабильности одноатомного транзистора.

Работа ученых факультета по созданию и изучению одноатомных одноэлектронных устройств поддержана Российским научным фондом. Результаты работы опубликованы в статье: "Single-electron tunneling through an individual arsenic dopant in silicon", V.V. Shorokhov, D.E. Presnov, S.V. Amitonov, Y.A. Pashkin, V.A. Krupenin, *Nanoscale*, **9** (2), p. 613–620 (2017).

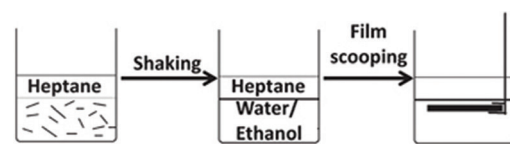
## ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ ВОЛЬФРАМА И СЕРЫ

Ученые кафедры общей физики и волновых процессов и Международного учебно-научного лазерного центра МГУ имени М.В. Ломоносова показали, что эффективные полевые транзисторы можно создать на основе тонкой пленки, полученной жидкофазным методом из суспензии дисульфида вольфрама. Исследование было опубликовано в *Journal of Materials Science*.

Полевой транзистор — это преобразователь сопротивления, который управляется напряжением электрического тока. Полевые транзисторы являются основой современной электроники: это ключевые элементы микропроцессоров, которые используются почти в любом электронном устройстве, например, электронных наручных часах, блоке питания компьютера и т.д. Обычно в полевых транзисторах в качестве полупроводника используется монокристаллический кремний, однако его производство является дорогостоящим.

После открытия графена в научном сообществе резко возрос интерес к так называемым двумерным полупроводящим материалам, в частности, к дихалькогенидам переходных металлов (ДПМ), в качестве кандидатов на роль заменителя кремния. Дихалькогениды переходных металлов — это вещества, имеющие формулу  $MX_2$ , где  $M$  — это переходный металл, а  $X$  — сера (халькоген).

«Ученые ранее уже продемонстрировали, что частицы этих веществ обладают феноменальными электрическими



характеристиками, что открывает большие возможности применения этих материалов в электронике. Однако во всех предыдущих работах исследования проводились на хлопьях ДПМ — небольших плоских частицах в несколько атомарных слоев и с продольными размерами в 100–500 нм, которые слишком малы для создания электронных устройств на практике», — поясняет один из авторов исследования, профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук Дмитрий Парашук.

В данном исследовании были впервые получены тонкие пленки  $WS_2$  (дисульфида вольфрама), в которых наночешуйки расположены упорядоченно и практически параллельно подложке. В полученных из коммерческой суспензии  $WS_2$  пленках вначале было достаточно высокое остаточное содержание углерода, но он был удален с помощью отжига в парах серы в вакуумной камере. Анализ элементного состава пленки производился с помощью спектроскопии (методами рентгеновской фотоэлектрон-

ной спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния). Морфология — внешний вид поверхности — была получена с помощью атомно-силового микроскопа. Электрические характеристики были исследованы методом полевых транзисторов.

Данное исследование является первым шагом на пути к применению ДПМ в печатной электронике.

«Следующим шагом для улучшения свойств полученных из раствора пленок ДПМ будет использование неорганических растворителей, так как в органических растворителях в больших количествах содержится углерод,

являющийся основной причиной ухудшения электрических свойств пленок», — заключает Дмитрий Парасчук.

Работа проводилась совместно с учеными из Сколковского института науки и технологий и Центра исследований и разработок Nokia в Кембридже (Великобритания).

“Liquid-processed transition metal dichalcogenide films for field-effect transistors”, A.Yu. Omelianovych, D.I. Dominskiy, E.V. Feldman, A.A. Bessonov, K.J. Stevenson, D.Yu. Parashchuk, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, August, p. 1–7 (2017).

## ПРЕДСКАЗАНО СУЩЕСТВОВАНИЕ КОРОТКОЖИВУЩЕГО ТЕТРАНЕЙТРОНА С БЕСПРЕЦЕДЕНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ



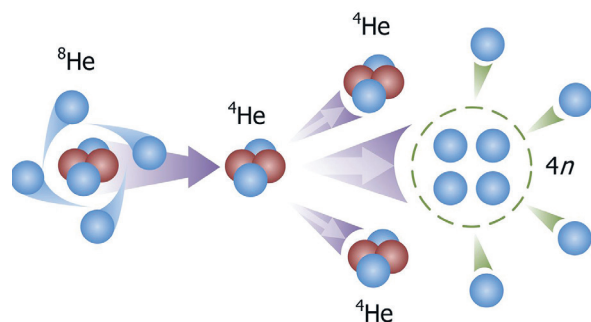
Сотрудник МГУ имени М.В. Ломоносова и его коллеги, используя новое взаимодействие между нейтронами, теоретически обосновали полученное в эксперименте низкое значение энергии тетранейтронного резонанса.

Тетранейтрон.

Это доказывает возможность существования частицы, состоящей из четырех нейтронов, но в течение очень короткого времени. Согласно расчетам, время жизни тетранейтрона составляет  $5 \times 10^{-22}$  с. С результатами работы можно ознакомиться в высокорейтинговом журнале *Physical Review Letters*.

Коллектив российских, немецких и американских ученых, в состав которого входит старший научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики (НИИЯФ) имени Д.В. Скобельцына Андрей Широков, вычислил энергию резонансного состояния тетранейтрона. Их теоретические расчеты, имеющие в своей основе новый подход к исследованию и новое взаимодействие между нейтронами, согласуются с данными эксперимента, в котором был образован тетранейтрон.

В результате столкновения в эксперименте альфа-частица выбивалась из  $^8\text{He}$ , оставляя систему из 4 нейтронов, или тетранейтрон.



В результате столкновения в эксперименте альфа-частица выбивалась из  $^8\text{He}$ , оставляя систему из 4 нейтронов, или тетранейтрон.

### В поисках нейтронной стабильности

Нейтрон живет около 15 мин. перед тем, как распадается на протон, электрон и антинейтрино. Известна также стабильная система, состоящая из огромного числа нейтронов, — нейтронная звезда. Целью ученых было выяснить, существуют ли какие-то другие, хотя бы короткоживущие системы, состоящие только из нейтронов.

Система из двух нейтронов не образует даже короткоживущих состояний. На основе многолетних экспериментальных и теоретических исследований считается общепринятым, что нет таких состояний и в системе из трех нейтронов. Более 50 лет велись поиски тетранейтрона — системы из четырех нейтронов. Многие годы эти поиски не приносили результата, пока в 2002 году группа французских исследователей в эксперименте на Большом национальном ускорителе тяжелых ионов (*Grand accélérateur national d'ions lourds — GANIL*) в Кане не обнаружила 6 событий, которые могли бы трактоваться как образование тетранейтрона. Однако воспроизвести этот эксперимент не удалось, и некоторые исследователи придерживаются мнения, что в нем использовался некорректный анализ данных.

Новый этап поисков тетранейтрона проводится на Фабрике радиоактивных ионов в японском институте RIKEN, где научились создавать хороший пучок ядер  $^8\text{He}$ . Ядро  $^8\text{He}$  состоит из  $\alpha$ -частицы (ядра  $^4\text{He}$ ) и окружающих ее четырех нейтронов. Заявки на проведение экспериментов по поиску тетранейтрона были поданы сразу несколькими группами ученых из разных стран. В первом таком эксперименте, опубликованном в этом году японской группой, ядра  $^8\text{He}$  направлялись на мишень из ядер  $^4\text{He}$ , и в результате столкновения  $\alpha$ -частица выбивалась из  $^8\text{He}$ ,

оставляя систему из четырех нейтронов. Было обнаружено четыре события, которые интерпретируются как короткоживущее резонансное состояние тетранейтрона. Этот эксперимент продолжается.

*Сколько жить тетранейтрону?*

В своей статье ученый МГУ имени М.В. Ломоносова и его коллеги привели теоретические оценки энергии резонансного состояния тетранейтрона и его времени жизни. Они помогали в подготовке одного из экспериментов по поиску тетранейтрона, когда с просьбой обратилась группа экспериментаторов из Германии.

«Такие оценки были проведены нами в разных моделях, и соответствующие результаты легли в основу заявки на эксперимент. После этого был тщательно разработан теоретический подход и проведены многочисленные расчеты на суперкомпьютерах, результаты которых и опубликованы в нашей статье в *Physical Review Letters*», — говорит Андрей Широков, первый автор статьи.

Полученные результаты для энергии тетранейтронного резонанса 0.84 МэВ прекрасно согласуются с данными японского эксперимента 0.83 МэВ, которые, впрочем, характеризуются большой погрешностью (примерно ±2 МэВ). Для ширины резонансного состояния тетранейтрона рассчитано значение 1.4 МэВ, что соответствует времени его жизни примерно  $5 \times 10^{-22}$  с.

«Отметим, что до нас ни в одной теоретической работе не предсказывалось существование резонансного состояния тетранейтрона при таких низких энергиях, порядка 1 МэВ», — продолжает Андрей Широков.

Возможно, это связано с тем, что ученые разработали и применили новый теоретический подход к исследованию резонансных состояний в ядерных системах, который был апробирован на более простых задачах и затем применен к исследованию тетранейтрона с учетом специфики распада этой системы на четыре частицы.

«Однако возможна и другая причина, связанная с тем, что мы использовали новое взаимодействие между нейтронами, разработанное в нашей группе. Исследования эти будут продолжены, мы проведем расчеты с другими, более традиционными взаимодействиями, а наши французские коллеги намерены изучить тетранейтрон с нашим взаимодействием в их подходе. Ну и, конечно, с огромным интересом ожидаются результаты новых экспериментов по поиску тетранейтрона», — заключает Андрей Широков.

Исследования проводились большой интернациональной группой теоретиков, где со стороны России участвовали ученые не только из МГУ имени М.В. Ломоносова, но и из Тихоокеанского государственного университета (г. Хабаровск), а также коллеги из США и Германии. В дальнейшем в работы включатся ученые из Южной Кореи. Российская сторона играла ведущую роль в этих исследованиях, в разработке теоретического подхода как к исследованию резонансных состояний, так и к построению нового взаимодействия между частицами в атомных ядрах.

“Prediction for a Four-Neutron Resonance”, A.M. Shirokov, G. Papadimitriou, A.I. Mazur, I.A. Mazur, R. Roth, and J.P. Vary, *Phys. Rev. Lett.*, **117**, 182502 (2016).

## СОЗДАН НОВЫЙ МУЛЬТИФЕРРОИК

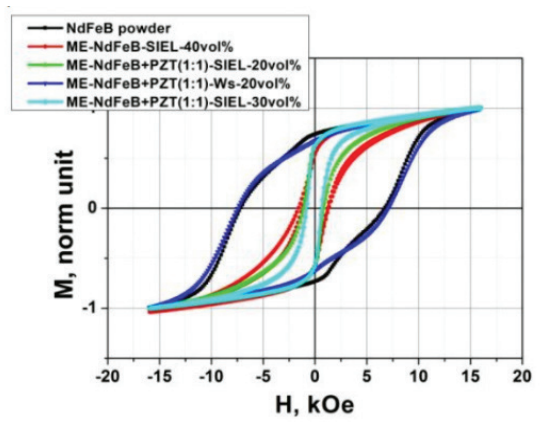
Ученые физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова разработали новый мультиферроик — материал, который обладает своим постоянным магнитным полем, всегда электрически поляризованым. О своей работе сотрудники факультета рассказали в статье, которая будет опубликована в журнале *IEEE Transaction on Magnetics*.

Магнитные свойства эластомеров. Петли гистерезиса образцов.

«Разработан и исследован новый функциональный композитный материал с мультиферроидными свойствами на основе полимерной матрицы с добавлением ферромагнитных и сегнетоэлектрических микрочастиц», — рассказал Николай Перов, автор статьи, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой магнетизма физического факультета МГУ.

Физики Московского университета предложили идею функционального композитного материала и реализовали его синтез, а также исследовали его магнитные, электрические и магнитоэлектрические свойства.

«Изготовленные материалы относятся к классу мультиферроиков, область применения которых очень широка. В отличие от всех известных мультиферроиков, разработанные нами материалы очень просты в изготовлении, изготовить можно образец любой формы, размера. Эти материалы являются гибкими и устойчивыми к агрессивным средам. Дальнейшее развитие заключается в поиске



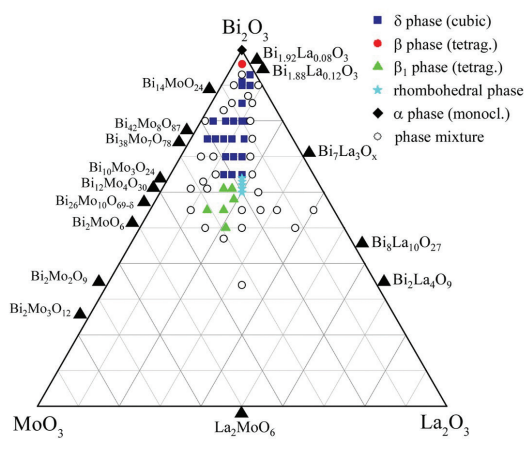
подобных материалов, обладающих улучшенными свойствами, а также в поиске возможностей для прикладного развития», — заключил ученый.

Работа проходила в сотрудничестве с учеными из Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта.

“New multiferroic composite materials consisting of ferromagnetic, ferroelectric and polymer components”, L.A., Makarova, V.V. Rodionova, Yu.A. Alekhina, T.S. Rusakova, A.S. Omeilyanchik, N.S. Perov, *IEEE Transactions on Magnetics*, **99**, 2699740–2699740 (2017).

## НОВЫЕ КИСЛОРОДПРОВОДЯЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов обнаружили новые кислородпроводящие соединения с экстремально высокой проводимостью. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Solid State Ionics*.



Области устойчивости кубических, тетрагональных и ромбоэдрических соединений на основе  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  в тройной системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$ .

Создание новых материалов с высокой кислород-ионной проводимостью — одна из важнейших проблем современного материаловедения. Она возникла в связи с разработкой новых источников электроэнергии, преобразующих химическую энергию в электрическую. Такие материалы могут быть использованы для разнообразных электрохимических приложений, включающих высокотемпературные твердооксидные топливные элементы, мембраны для выделения кислорода, газовые сенсоры.

«В результате исследований в тройной системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$  были обнаружены новые кислородпроводящие соединения с экстремально высокой проводимостью

по кислороду —  $0,1\text{-}0,6 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  при  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ », — рассказала Валентина Воронкова, один из авторов статьи, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ.

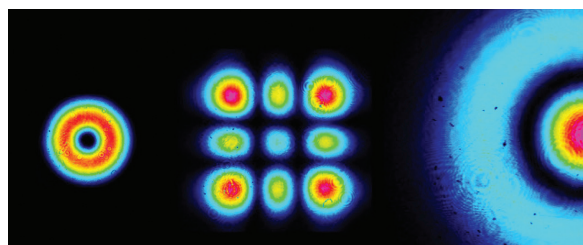
Для исследований авторы использовали комплексную методику, включающую в себя твердофазный синтез, рентгеновский фазовый анализ, дифференциальную сканирующую калориметрию, электрофизические измерения и импедансную спектроскопию синтезированных в работе образцов.

«Поиск и исследование новых материалов, в том числе для новой энергетики, является перспективным направлением современной науки. С научной точки зрения в опубликованной работе представляет интерес исследование фазообразования и полиморфных превращений кислородпроводящих соединений на основе оксида висмута. Практическая ценность работы может проявляться в перспективах использования полученных в работе кислородпроводящих соединений в водородной энергетике в качестве материалов для твердооксидных топливных элементов или материалов для фотокатализа», — заключила Валентина Воронкова.

Работа проходила в сотрудничестве с учеными из Саратовского государственного технического университета.

“Phase formation and electrical properties of  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ -based compounds in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-MoO}_3$  system”, E.I. Orlova, E.P. Kharitonova, N.V. Gorshkov, V.G. Goffman, V.I. Voronkova, *Solid State Ionics*, **302**, p. 158–164 (2017).

## МЕТОД СОЗДАНИЯ ПЕРЕПУТАННЫХ СОСТОЯНИЙ ФОТОНОВ



Пучки фотонов, заснятые с помощью ПЗС-матрицы. Цвета соответствуют интенсивности: от черного (мин.) до белого (макс.).

Физики МГУ изучили перепутанное состояние фотонов. При перепутанном, или запутанном, состоянии фотонов состояние определено только для всей системы, а для каждой частицы в отдельности — нет.

«Перепутанные состояния вообще типичны и повсеместны. Проблема только в том, что для большинства

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова разработали новый метод создания перепутанных состояний фотонов — состояния, в которых пары фотонов оказываются коррелированы — взаимосвязаны — между собой. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Physical Review Letters*.

частиц взаимодействие с окружением быстро разрушает перепутывание. Фотоны же практически ни с чем не взаимодействуют, поэтому они являются очень удобным объектом для экспериментов в этой области. Большая часть излучения, с которым мы сталкиваемся в жизни, относится к классическому типу, это, например, тепловой

свет (Солнце, звезды, лампы накаливания и т.п.), когерентное излучение лазера — тоже классическое. Создание неклассического света — непростая задача. Можно, например, изолировать одиночный атом или искусственную структуру, типа квантовой точки, и регистрировать его излучение — так получают одиночные фотоны», — рассказал Станислав Страупе, соавтор статьи, кандидат физико-математических наук, сотрудник кафедры квантовой электроники и лаборатории квантовых оптических технологий физического факультета МГУ.

Для получения перепутанных состояний фотонов чаще всего используют эффект спонтанного параметрического рассеяния света в нелинейных кристаллах. В этом процессе фотон лазерной накачки распадается на два фотона. При этом в силу законов сохранения состояния фотонов оказываются коррелированы, перепутаны. «В нашей работе мы предложили и опробовали новый метод создания пространственного перепутывания — пары фотонов, генерируемые в нашем эксперименте, распространяются пучками, которые оказываются коррелированы по «пространственной форме». Ключевой особенностью нашего метода по сравнению с известными ранее является эффективность», — прокомментировал Егор Ковлаков, соавтор статьи, аспирант кафедры квантовой электроники отделения радиофизики физического факультета МГУ.

Изучение перепутанных состояний фотона началось в 70-х годах, и сейчас особо активно они применяются в квантовой криптографии — это область передачи квантовой информации и квантовой связи.

«Квантовая криптография — лишь одно из возможных приложений, но наиболее на данный момент развитое. В отличие от классической связи, где неважно, какой именно алфавит используется для кодирования сообщения и достаточно использовать бинарный (0 и 1), в квантовой связи все сложнее. Оказывается, что повышение размерности алфавита не только увеличивает количество информации, кодируемое в одном фотоне, но и увеличивает секретность связи. Поэтому хочется развивать системы квантовой связи, основанные в том числе и на кодировании информации в пространственной форме фотонов», — отметил Станислав Страупе. Ученые планируют, что в дальнейшем их разработка будет применяться для создания оптического канала со спутником, куда нельзя протянуть оптическое волокно (световод) — основу для оптоволоконной связи.

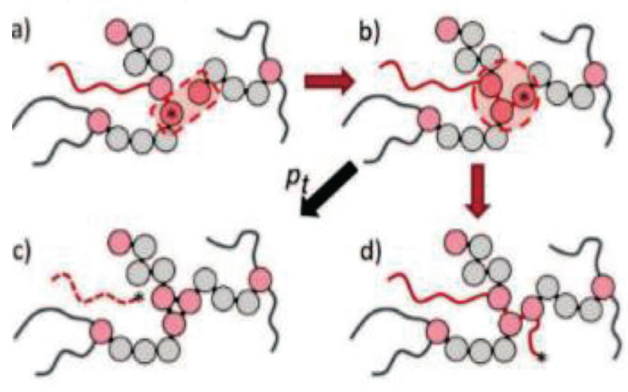
“Spatial Bell-State Generation without Transverse Mode Subspace Postselection”, E.V. Kovlakov, I.B. Bobrov, S.S. Straupe, and S.P. Kulik, *Phys. Rev. Lett.*, **118**, 030503 (2017).

## КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ ФТАЛОНИТРИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦ

На кафедре физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова доказали, что повышение количества триамина во фталонитрильных матрицах — высокотемпературных полимерах — не повышает прочность материала, а, наоборот, снижает ее. Результаты работы были опубликованы в журнале *Macromolecular Theory and Simulations*.

Матрицы на основе соединений фталонитрилового ряда — одни из перспективных термостойких материалов. Сшивание в таких матрицах включает несколько химических реакций, приводящих к различным структурам матриц и, как следствие, к различным свойствам конечного материала.

«Опубликованные исследования показали, что повышение количества тройных сшивок триамина во фталонитрильных полимерных матрицах, вопреки общепринятому мнению, не приводит к упрочнению таких материалов. Наоборот, матрицы с большим количеством триамина оказываются менее плотно сшитыми и более мягкими, чем матрицы без триамина», — рассказал один из авторов работы, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ Владимир Рудяк.



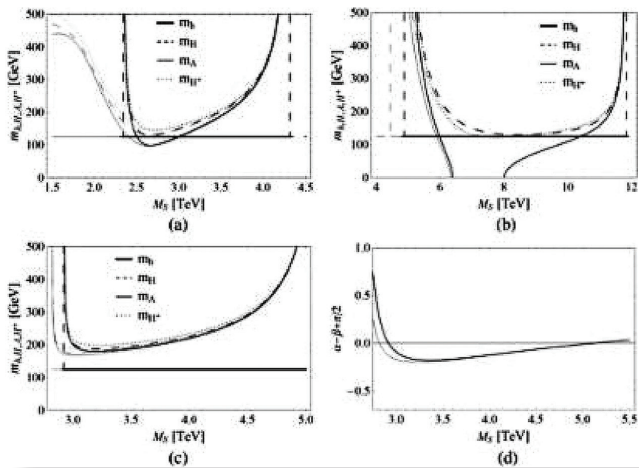
В ходе работы ученые использовали методы компьютерного моделирования, метод диссипативной динамики частиц. Расчеты ученые провели на суперкомпьютере «Ломоносов-2» НИВЦ МГУ.

«Введение дополнительных ингибиторов и катализаторов позволяет контролировать происходящие химические реакции при сшивании матриц фталонитрилового ряда. Данная работа может быть использована для планирования эксперимента и адаптации свойств синтезируемых матриц под текущие технические нужды», — заключил ученый.

“Complex Curing Pathways and Their Influence on the Phthalonitrile Resin Hardening and Elasticity”, V.Yu. Rudyak, A.A. Gavrilov, D.V. Guseva, A.V. Chertovich, *Macromolecular Theory and Simulations*, 1700015 (2017).

## ИЗУЧЕНИЕ КОНСТАНТ САМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЕЙ В СЕКТОРЕ ХИГГСА

Сотрудники физического факультета и Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В.Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова получили аналитические выражения для констант самодействия полей в секторе Хиггса. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Physical Review D*.

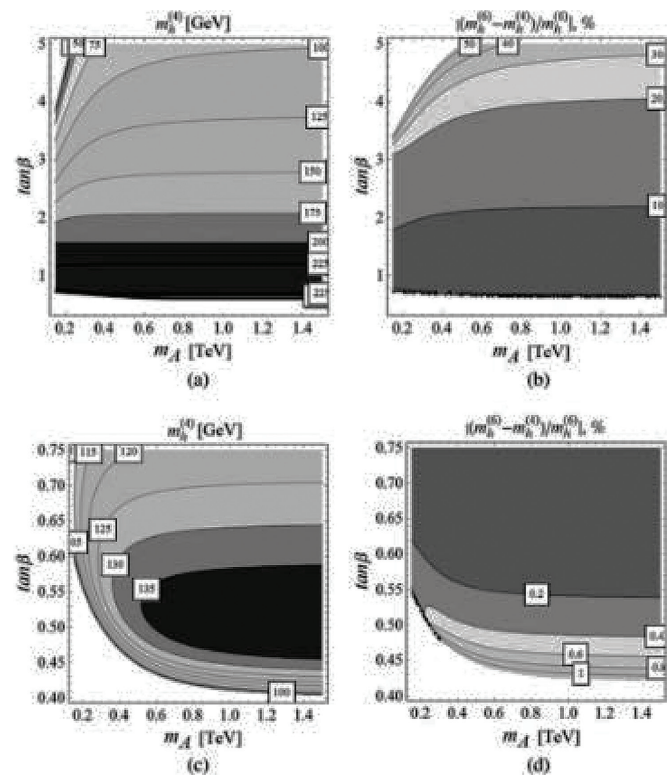


Контуры для масс бозона Хиггса.

«Получены аналитические выражения для констант самодействия полей в секторе Хиггса минимальной суперсимметричной стандартной модели (МССМ) с эффективными операторами размерности шесть», — рассказала аспирант кафедры физики атомного ядра и квантовой теории столкновений физического факультета МГУ Елена Петрова.

В ходе работы ученые использовали методы теории поля и метод эффективного потенциала. Ученые отмечают, что при анализе сценариев по поиску бозонов Хиггса МССМ необходимо учитывать полученные радиационные поправки.

“Radiative corrections to Higgs boson masses for the MSSM Higgs potential with dimension-six operators”, M.N. Dubinin and E.Yu. Petrova, *Phys. Rev. D* 95,055021 (2017).



Массы бозона Хиггса и комбинация углов смешивания.

«Ценность работы в том, что было обращено внимание на необходимость учета радиационных поправок к операторам высших размерностей, продемонстрированы вклады от них. Учет таких поправок позволит получить новые разрешенные области в параметрических сценариях по поиску бозонов Хиггса на БАК. Исследования будут продолжены в случае нарушения CP-инвариантности в секторе Хиггса», — заключила Елена Петрова.

## СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ НАНОАЛМАЗОВ

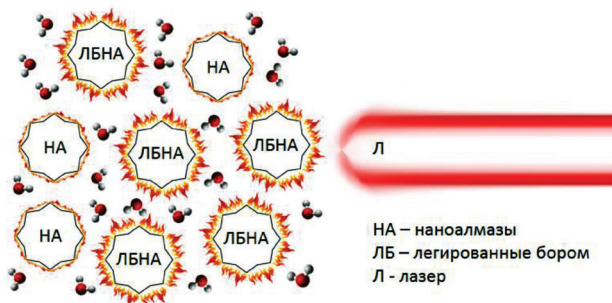
Ученые кафедры квантовой электроники синтезировали наноалмазы, легированные бором, и обнаружили, что они нагревают суспензии быстрее детонационных наноалмазов<sup>1</sup>. В результате исследований физики из МГУ выяснили, что полученные наноматериалы можно использовать в качестве наноагентов для локальной лечебной и онкологической гипертермии. О своей работе ученые рассказали в *Laser Physics Letters*.

Физики лаборатории лазерной спектроскопии растворов супрамолекулярных соединений и наноструктур обнаружили способность наноалмазов, легированных бором (ЛБНА), существенно нагревать окружающую среду под действием лазерного излучения.

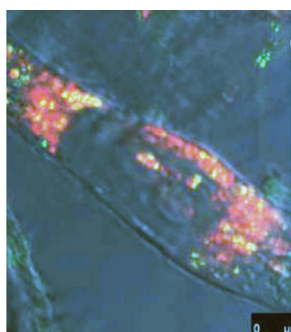
«Нагревательные» свойства ЛБНА обусловлены особой структурой наноматериала, создаваемой во время прямого синтеза ЛБНА из C16H30B2 при высокой температуре и высоком давлении (T = 1550°C, P = 9 ГПа), — рассказала старший научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Татьяна Доленко.



Ученые кафедры квантовой электроники физического факультета установили, что наноалмазы, легированные бором, сильнее ослабляют сетку водородных связей при диспергировании в воде по сравнению с детонационными наноалмазами.



Схематическое изображение «нагревательных» свойств наноалмазов, легированных бором, под действием лазерного возбуждения.



Изображение наноалмазов, инжектированных в раковую (HeLa) клетку, полученное на флуоресцентном микроскопе.

«Обнаружено и изучено необычное свойство наноалмазов, легированных бором, нагревать суспензии под лазерным возбуждением в 2–5 раз сильнее обычных детонационных наноалмазов (в зависимости от длины волны лазера)», — пояснил аспирант кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Алексей Вервальд.

Исследования проводились с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния света, корреляционной спектроскопии и спектрофотометрии.

«Новый наноматериал — впервые синтезированные ЛБНА размером 10 нм — является перспективным материалом для создания наноагентов лечебной и онкологической гипертермии», — поясняет Татьяна Доленко.

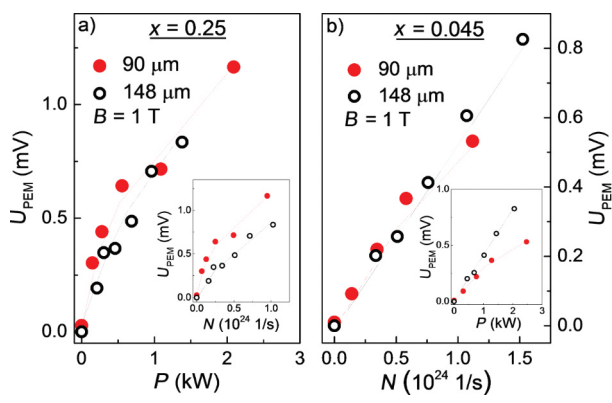
Благодаря обнаруженным свойствам, а также нетоксичности и высокой биосовместимости, ЛБНА имеют гораздо большие преимущества в качестве тераностических наноагентов перед металлическими и ферромагнитными наночастицами.

*Справочно:* <sup>1</sup>Детонационные наноалмазы — те, которые получают путем химических превращений на фронте детонационной волны при взрыве мощных взрывчатых веществ.

“Boron-doped nanodiamonds as possible agents for local hyperthermia”, A.M. Vervalde, S.A. Burikov, I.I. Vlasov, E. Ekimov, T.A. Dolenko, *Laser Physics Letters*, 14(4):045702 (2017).

## МАТЕРИАЛЫ С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ТОПОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Сотрудники физического и химического факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова нашли доказательства гипотезы о существовании спин-поляризованных поверхностных состояний в дираковских материалах. Результаты работы ученых были опубликованы в журнале *Beilstein Journal of Nanotechnology*.



Д. Р. Хохлов



«Суть работы заключалась в получении экспериментальных аргументов в пользу гипотезы о том, что в дираковских полуметаллах могут существовать спин-поляризованные поверхностные состояния с высокой подвижностью носителей заряда, аналогично топологи-

ческим изоляторам», — рассказал доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой общей физики и физики конденсированного состояния отделения физики твердого тела физического факультета МГУ Дмитрий Ремович Хохлов.

Идеологически работа является продолжением цикла исследований фотоэлектрических свойств топологических изоляторов под действием лазерного терагерцового излучения. Основные измерения проводились под руководством старшего преподавателя кафедры общей физики и физики конденсированного состояния Александрой Галевой на уникальной установке в Регенсбургском университете в рамках программы совместных исследований, активно функционирующей уже десять лет.

«В рамках этих исследований, в частности, было установлено, что термализация горячих носителей заряда, возбужденных терагерцовым лазерным импульсом, существенно подавлена в топологических изоляторах по сравнению с тривиальными изоляторами. Результаты, полученные в работе, о которой идет речь, свидетельствуют о том, что это утверждение, по всей вероятности, справедливо и для других материалов с нетривиальными топологическими свойствами — дираковских полуметал-

лов. Дальнейшие исследования в данном направлении должны показать, насколько высказанная гипотеза является общей для всех полупроводниковых материалов с нетривиальными топологическими свойствами», — заключил Дмитрий Ремович Хохлов.

Исследования проводились в сотрудничестве с учеными из Белгородского государственного национального исследовательского университета, из Юго-Западного государственного университета, из Курского государственного политехнического колледжа и из Регенсбургского университета (Германия).

“Electron energy relaxation under terahertz excitation in  $(\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x)_3\text{As}_2$  Dirac semimetals”, A.V. Galeeva, I.V. Krylov, K.A. Drozdov, A.F. Knjazev, A.V. Kochura, A.P. Kuzmenko, V.S. Zakhvalinskii, S.N. Danilov, L.I. Ryabova and D.R. Khokhlov, *Beilstein J. Nanotechnol.*, **8**, p. 167–171 (2017).

## СВЕРХБЫСТРЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ ИЗ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ



Ученые физического факультета МГУ совместно с коллегами из США и Германии создали перестраиваемый метаматериал на основе наночастиц арсенида галлия. С помощью нового оптического метаматериала будут разработаны устройства для сверхбыстрой передачи информации. Результаты работы опубликованы в журнале *Nature Communications*.

Схема переключаемого оптического метаматериала.

Оптические метаматериалы — это искусственно созданные объекты, которые благодаря наноструктурированию приобретают оптические свойства, не характерные для исходных материалов. Почти за двадцать лет исследователям удалось разработать множество различного рода метаматериалов: от скрывающих объекты до чувствительных к микроскопическим концентрациям веществ. Однако после изготовления таких материалов их свойства нельзя изменить. Физики придумали способ «включать» и «выключать» метаматериалы, причем делать это очень быстро — более 100 миллиардов раз в секунду.

Ученые изготовили метаматериал из пленки арсенида галлия методом электронно-лучевой литографии с последующим плазменным травлением. Материал представляет собой массив наночастиц арсенида галлия, которые благодаря своей форме резонансно взаимодействуют со светом. Иными словами, при облучении метаматериала светом он «скапливается» внутри метаматериала и взаимодействует с ним более эффективно.

Работа перестраиваемого метаматериала основана на принципе генерации электронно-дырочных пар. Если облучить метаматериал лазерным импульсом, его энергия

переходит электронам, которые получают возможность свободно перемещаться по материалу. Это влияет на другие световые импульсы, которые попадают в метаматериал: теперь, если метаматериал включен, свет от него отражается; если выключен — то нет. Таким образом можно управлять светом при помощи света; на этом принципе можно построить оптические логические элементы и, в конце концов, получить возможность создания сверхбыстрых оптических компьютеров.

«Ранее, в 2015 году, мы выпустили статью о созданном нами устройстве на основе кремниевых наноструктур. Тогда нами была показана принципиальная возможность создания наноразмерного фотонного переключателя, — рассказал автор статьи, научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ, Максим Щербаков. — Оказалось, что использование арсенида галлия вместо кремния на порядок уменьшает энергопотребление таких метаматериалов».

«В своих экспериментах для исследования уникального оптического метаматериала мы с коллегами использовали мощный фемтосекундный лазерный комплекс и целый ряд оптических методик, что позволило получить

результаты, которые играют существенную роль в создании оптических логических элементов», — сообщила автор статьи Варвара Зубюк.

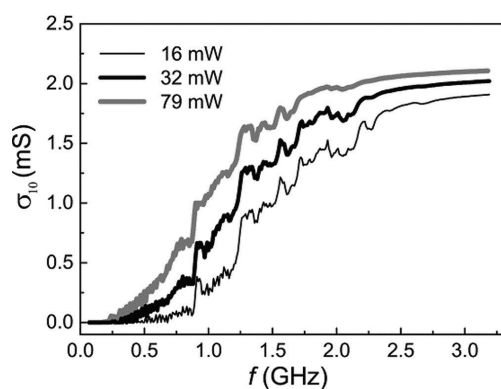
Работа ученых физического факультета МГУ относится к фотонике, которая изучает оптические сигналы, а также занимается созданием устройств различного назначения на их базе. В частности, в отличие от электроники, где сигнал передает электрон, в фотонике для этой цели служит электромагнитный квант. Исследования ученых позволяют в перспективе создавать устройства передачи и обработки информации на скоростях в десятки и сотни терабит в секунду. Создание перестраиваемого метаматериала для сверхбыстрого фотонного переключе-

чения с эффективностью, достаточной для приложений, стало еще одним существенным шагом к обеспечению таких скоростей обработки информации.

“Ultrafast all-optical tuning of direct-gap semiconductor metasurfaces”, M.R. Shcherbakov, Sheng Liu, V.V. Zubyuk, A. Vaskin, P.P. Vabishchevich, G. Keeler, Th. Pertsch, T.V. Dolgova, I. Staude, I. Brener & A.A. Fedyanin, *Nature Communications*, **8**, No.17 (2017).

## МЕТОД ГАШЕНИЯ ДЛЯ ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

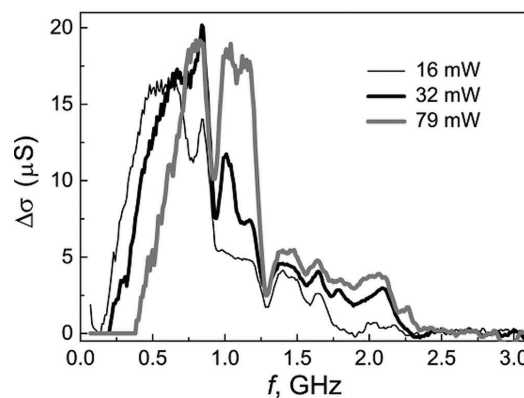
На кафедре общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова создали метод гашения, основанный на приложении к фотоприемнику коротких радиочастотных импульсов. Результаты исследования опубликованы в журнале *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*.



Зависимость уровня проводимости от частоты при разных значениях мощности в импульсе.

Узкощелевые полупроводники на основе легированных индием сплавов теллуридов свинца и олова являются чрезвычайно чувствительными приемниками терагерцового излучения и по ряду параметров превосходят мировые аналоги. Принцип работы этих приемников излучения основан на явлении задержанной фотопроводимости, когда фотовозбужденные терагерцовым излучением электроны накапливаются в зоне проводимости и практически не рекомбинируют при низких температурах. Однако для работы таких фотоприемных устройств необходим метод быстрого принудительного гашения задержанной фотопроводимости.

«В работе развивается метод гашения, основанный на приложении к фотоприемнику коротких радиочастотных импульсов. Статья посвящена обсуждению физических механизмов такого гашения», — рассказал автор статьи, заведующий кафедрой общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ Дмитрий Хохлов.



Зависимость величины фотопроводимости от частоты при разных значениях мощности в импульсе.

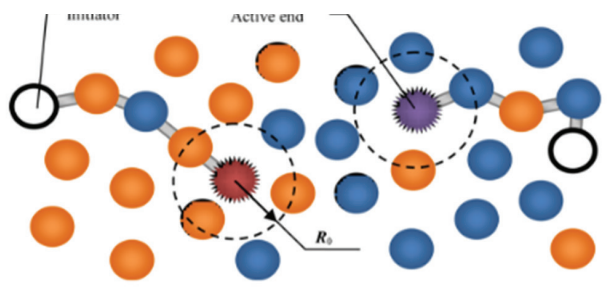
Исследования проводились в лаборатории физики полупроводников кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ.

«Результаты, полученные в этой работе, будут использованы для создания системы пассивного терагерцового видения. Аналогов таких систем в мире в настоящее время нет», — заключил ученый.

Работа выполнена в сотрудничестве с учеными из Института электронной инженерии и нанотехнологий имени Д. Гицу Академии наук Молдовы.

“Optimization of the Operating Regime of  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  Terahertz Photodetectors”, A.V. Galeeva, V.I. Chernichkin, D.E. Dolzhenko, A.V. Nicorici, L.I. Ryabova, D.R. Khokhlov, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, p.172–176 (2017).

## МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ СОСТАВА И МОНОМЕРНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СОПОЛИМЕРОВ



На кафедре полимеров и кристаллов физического факультета МГУ показали, что поверхность со способностью к избирательной сорбции одного из мономеров влияет как на состав сополимера, так и на блочность последовательности при свободно-радикальной сополимеризации. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в *Langmuir*.

Схематическая иллюстрация исследуемой системы и реакционная схема.

«Этот эффект более выражен, когда полимеризация происходит в небольших порах или тонких пленках. К примеру, возможно существенное увеличение блочности цепи. Другим существенным выводом является то, что влияние селективной подложки не может быть описано с помощью простых и часто используемых теорий сополимеризации», — рассказывает автор статьи, научный сотрудник кафедры полимеров и кристаллов физического факультета Елена Юрьевна Кожунова.

Основные выводы работы сделаны после тщательного сопоставления и анализа данных, полученных как в эксперименте, так и методами компьютерного моделирования. «В экспериментальной части работы был проведен синтез сополимеров акриловой кислоты в массе и в наноразмерных порах силикагеля, характеристики сополимеров определялись методами ИК- и ЯМР-спектроскопии, гель-проникающей хроматографии. Для компьютерного моделирования процесса сополимеризации использовался метод диссипативной динамики частиц. Код программы написан авторами статьи, для расчетов использовался суперкомпьютер МГУ — кластер Ломоносов-2», заключила Елена.

В настоящее время общая тенденция в исследованиях и промышленных разработках заключается в переходе на микро- и нано-уровень, поэтому понимание процессов сополимеризации, проходящей в тонких пленках и порах нанометровой толщины, важно для таких применений, как полимеризация в ультрапористых материалах, литографических каналах, в присутствии углеродных нанотрубок, формирование ультратонких покрытий и мембран. Одновременное проведение сополимеризации и самоорганизации открывает большие возможности для разработки микроструктурированных материалов, особенно в случае тонких пленок. Разработка методик регулирования состава и мономерной последовательности сополимеров поможет более эффективно контролировать структуру и свойства новых полимерных материалов.

“Copolymerization on Selective Substrates: Experimental Test and Computer Simulations”, E.Yu. Kozhunova, A.A. Gavrilov, M.Yu. Zaremski, and A.V. Chertovich, *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*, **33**, № 14, p. 3548–3555 (2017).

## В МГУ СОЗДАЛИ ГИБКИЕ СВЕТЯЩИЕСЯ КРИСТАЛЛЫ

Ученые физического и химического факультетов, а также Международного учебно-научного лазерного центра МГУ имени М.В.Ломоносова вырастили упругие монокристаллы, светоизлучающие свойства которых сохраняются даже при многократном сгибании. Исследование материала было опубликовано в журнале *Synthetic Metals*.

Механическая гибкость является одним из ключевых преимуществ органической электроники и оптоэлектроники, то есть электроники, основанной на органических полупроводниках. Эти проводники можно распечатать из раствора: исходный материал растворенном виде наносится на подложку путем печати на струйном принтере. В результате образуется тонкая полупроводниковая пленка, с помощью которой можно изготовить, например, солнечные батареи и полевые транзисторы.

Органические монокристаллы (отдельные однородные кристаллы с непрерывной кристаллической решеткой) подходят полевым и светоизлучающим транзисторам лучше всего, но при этом считаются достаточно хрупкими.

В ходе работы из раствора удалось создать гибкие монокристаллы. Их несколько раз сгибали до радиуса в 0,2 мм (деформация достигала 5%), и при этом материал сохранил как люминесцирующие, так и проводящие свойства.

«Структуру кристаллов расшифровали с помощью дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Морфология поверхности была получена с помощью атомно-силового микроскопа», — прокомментировал один из авторов исследования, профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ Дмитрий Парашук.

Результат работы можно будет использовать для устройств гибкой оптоэлектроники, то есть при создании гнущихся смартфонов, нательных датчиков, умной упаковки и других гаджетов.

Работа проводилась совместно с учеными из Новосибирского института органической химии имени Н.Н. Ворожцова, Новосибирского государственного университета, Института кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН и Института син-

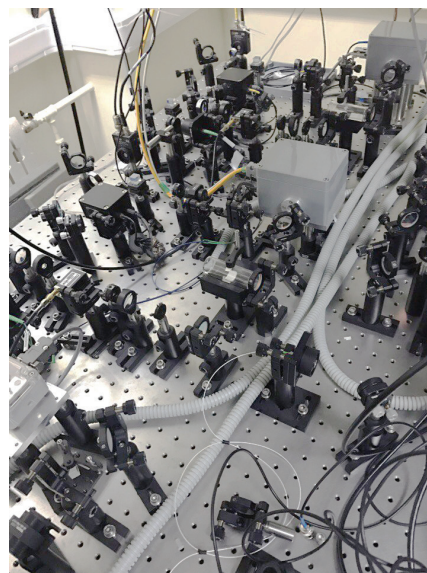
тетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН.

"Highly bendable luminescent semiconducting organic single crystal", M.S. Kazantsev, V.G. Konstantinov, D.I. Dominskiy, V.V. Bruevich, V.A. Postnikov, Yu.N. Luponosov, V.A. Tafenko, N.M. Surin, *J. Synthetic Metals*, **232** (2017).

## ФИЗИКИ МГУ РАБОТАЮТ НАД СОЗДАНИЕМ КВАНТОВОГО ТЕЛЕФОНА

Ученые физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова работают над созданием «квантового телефона» — устройства, обеспечивающего прямой квантовый канал обмена информации между абонентами. В лаборатории квантовых оптических технологий физического факультета МГУ успешно ведутся исследования в области квантовых вычислений и квантовой связи.

Лаборатория квантовых оптических технологий физического факультета МГУ.



Квантовые технологии позволяют реализовать принципы абсолютно защищенной квантовой сети, они могут широко применяться в сфере безопасности и для обеспечения защиты банковских операций от взлома и мошенничества. Разговор с помощью такого устройства будет абсолютно защищенным от возможного перехвата или «подслушивания».

«Практическая ценность данных работ состоит в том, что два (или более) абонента могут разговаривать или обмениваться сообщениями так, что гарантированно, их никто не сможет подслушать», — рассказал руководитель проекта, профессор кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Сергей Павлович Кулик.

Абсолютную защищенность обеспечивает разработанное физиками МГУ оборудование, обеспечивающее распределение симметричных криптографических ключей по квантовому каналу в автоматическом режиме при подключении к действующим волоконно-оптическим ли-

ниям. «Телефоны» должны быть дополнительно соединены оптоволоконном, по которому передаются квантовые состояния света.

Именно из этих состояний и вырабатываются секретные ключи, которыми шифруется оцифрованный сигнал человеческой речи», — добавил ученый.

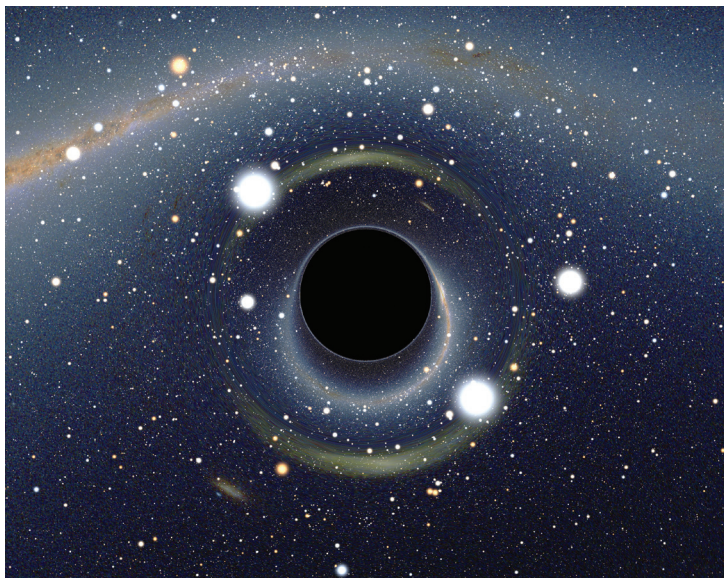
Создание «квантового телефона» — первый этап проекта по созданию первой в России университетской квантовой сети. Проект включен в Программу развития Московского университета.

## УДИВИТЕЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВБЛИЗИ СВЕРХМАССИВНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Сотрудники ГАИШ МГУ имени М.В.Ломоносова исследовали изменения излучения вещества вблизи сверхмассивной черной дыры в центре галактики, известной астрономам как NGC 2617. Данные изменения были обнаружены несколько лет назад: объект стал намного ярче, и газовые облака вблизи сверхмассивной черной дыры, которые не были видны ранее, стали наблюдаться. Такое резкое изменение может дать ценную информацию

для понимания того, каково окружение гигантской черной дыры, как и что происходит вблизи нее. Результаты исследований были опубликованы в *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)*.

В ядрах большинства галактик, включая Млечный Путь, находятся гигантские черные дыры. Они имеют массу от миллиона до миллиарда раз больше массы Солнца. Ядро нашей Галактики не является активным, но в некоторых



галактиках черная дыра, «питаясь» газом, который падает в нее по спирали, испускает огромное количество излучения. Ядра подобных галактик называются активными галактическими ядрами (АГЯ). Выход энергии из окружения черных дыр в АГЯ может превышать светимость сотен миллиардов звезд в остальной части галактики. Как в этих галактиках образуются сверхмассивные черные дыры, является загадкой. Ядра галактик, где сверхмассивные черные дыры энергично захватывают газ, подразделяются на два типа: те, где непосредственно наблюдаем вещество, падающее по спирали в черную дыру (со скоростью, в тысячи раз превышающей скорость звука), и те, где внутренние области закрыты пылью. В ядрах галактик второго типа виден только более медленно движущийся газ, который находится намного дальше от черной дыры, чем в ядрах галактик первого типа.

На протяжении десятилетий астрономы задавались вопросом, почему мы видим внутренние области в некоторых активных ядрах галактик, но не видим в других. Наиболее распространенным объяснением двух типов активных ядер галактик является то, что на самом деле они одинаковые объекты, отличающиеся для нас только потому, что мы рассматриваем их с разных точек зрения. Если мы видим их плашмя, то можем наблюдать горячий газ, падающий по спирали в черную дыру, непосредственно. Если активное ядро галактики наклонено к лучу зрения, то пыль вокруг закрывает от нашего взгляда центральную область, и мы видим только более медленно движущиеся газовые облака на расстоянии светового года или более от черной дыры.

Инициатор проекта, по которому проводила исследования международная группа ученых, Виктор Окнянский, старший научный сотрудник ГАИШ МГУ имени М.В.Ломоносова, говорит: «Случаи перехода объекта из одного типа в другой являются определенной проблемой для этой популярной модели. Когда в 1984 году мы нашли изменения типа у активного ядра галактики, известной как NGC 4151, то таких случаев было известно всего несколько. Теперь мы знаем десятки активных ядер галактик, которые

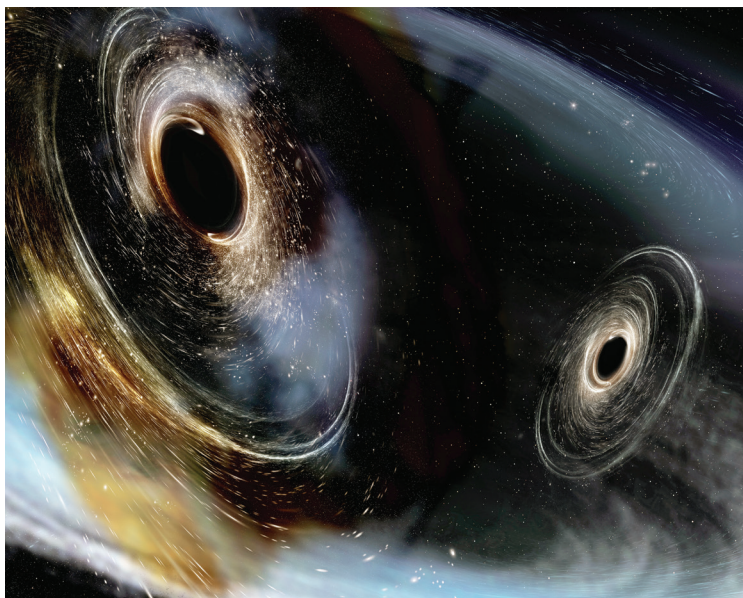
изменяли свой тип. В нашем недавнем исследовании мы сосредоточились на одном из ярких примеров таких объектов — NGC 2617. В 2013 году команда исследователей в США обнаружила, что NGC 2617 изменила свой тип активной галактики, и внутренние области, которые были скрыты от нас, стали видимыми. Мы не знаем, как долго объект будет оставаться в этом новом состоянии. Это может продолжаться в течение короткого периода времени или в течение десятков лет. Статья американских астрономов о NGC 2617 называлась «Человек за кулисами...». Когда мы начали наше исследование, мы не знали, как долго занавес будет оставаться открытым, но мы назвали нашу статью «Занавес остается открытым...», потому что мы все еще продолжали наблюдать внутренние области NGC 2617.»

По мнению авторов, нет общепринятого объяснения изменениям типа, когда ранее скрытые внутренние области активного ядра галактики становятся видимыми. Виктор Окнянский комментирует: «Совершенно ясно, что это явление не очень редкое, наоборот, мы считаем, что это вполне типично для АГЯ. Существуют различные возможные объяснения этих явлений. Одним из них является то, что, возможно, какая-то звезда слишком близко приблизилась к черной дыре и была разорвана ее тяготением. Тем не менее разрушение звезды черной дырой происходит очень редко, и мы не думаем, что такие события могут объяснить наблюдаемую частоту изменений типа активных галактических ядер. Вместо этого мы рассматриваем модель, в которой резко меняется «режим питания» черной дыры. По мере того как вещество по спирали падает в направлении черной дыры, она испускает мощное излучение. Мы предполагаем, что это интенсивное излучение разрушило часть пыли, окружающей ядро, что позволило нам увидеть внутренние области в окрестностях черной дыры.»

Окнянский продолжает: «Изучение этих быстрых изменений типа очень важно для понимания того, что происходит вокруг сверхмассивных черных дыр, которые «питаются» окружающим газом. В нашей работе мы провели комплексные длительные наблюдения NGC 2617 в различных длинах волн, от рентгеновских до инфракрасных. Наблюдательные данные для проекта были получены с использованием глобальной сети автоматических телескопов MASTER, управляемой проф. Владимиром Липуновым и его командой, нашего нового 2,5-метрового телескопа, расположенного недалеко от Кисловодска, 2-метрового телескопа обсерватории в Азербайджане, рентгеновского спутника Swift, а также некоторых других телескопов. Это исследование было проведено в сотрудничестве с коллегами из Азербайджана, США, Финляндии, Чили, Израиля и Южной Африки.»

“The curtain remains open: NGC 2617 continues in a high state”, V.L. Oknyansky, C.M. Gaskell, N.A. Huseynov, V.M. Lipunov, N.I. Shatsky, S.S. Tsygankov, E.S. Gorbovskoy, Kh.M. Mikailov, A.M. Tatarnikov, D.A.H. Buckley, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **467** (2), 1496–1504 (2017).

## ДЕТЕКТОРЫ LIGO В ТРЕТИЙ РАЗ ЗАРЕГИСТРИРОВАЛИ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ



Вращающиеся черные дыры.

Гравитационный сигнал был зарегистрирован на двух детекторах LIGO в США. Ученые сообщают, что ни один из экспериментов по детектированию гравитационных волн не опроверг общую теорию относительности Эйнштейна. Особенность слившейся пары черных дыр, зарегистрированной LIGO в третий раз, заключается в том, что по крайней мере у одной черной дыры из пары собственный момент вращения, спин, не совпадает по направлению с полным моментом орбитального движения пары. Это говорит в пользу гипотезы, что черные дыры, составляющие пару, образовались далеко друг от друга. Результаты описаны в новой статье, опубликованной в журнале *Physical Review Letters*.

Детекторы Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO) в третий раз зарегистрировали гравитационные волны, подтвердив, что новый канал получения астрофизической информации вступил в действие. Как и в первых двух случаях, волны были порождены столкнувшимися черными дырами, в результате слияния которых образовалась новая черная дыра с массой, составляющей около 49 солнечных масс. В предыдущих двух зарегистрированных событиях массы образовавшихся черных дыр составили 61 и 21 масс Солнца соответственно, которые расположены на расстоянии 1,3 и 1,4 миллиарда световых лет от Земли. В случае третьего события источник находился на расстоянии около 3 миллиардов световых лет. Энергия, выделяющаяся при слиянии этих черных дыр, превышает световую энергию, излучаемую за это же время всеми звездами и галактиками во Вселенной.

«Интересно то, где находились черные дыры во время столкновения, а это было миллиарды лет назад. Если в первых зарегистрированных событиях они находились на расстояниях 1,3–1,4 млрд световых лет, то в третьем

Группа ученых физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в составе международной Научной коллаборации LIGO приняла участие в регистрации гравитационных волн, осуществленной в третий раз в истории.

событии — около 3, примерно в два раза дальше. Два детектора в США зафиксировали сигналы, между которыми есть небольшой временной сдвиг, около 3 миллисекунд, который дает информацию о направлении, откуда пришел этот сигнал. В целом, природа всех трех событий одинаковая: слияние двух черных дыр», — сообщает профессор физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук Валерий Митрофанов.

«Масса черной дыры определяется по форме гравитационного сигнала. По частоте вращения возможно оценить расстояние между ними, а значит, и размеры, — комментирует соавтор исследования Сергей Вятчанин, заведующий кафедрой физики колебаний физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. — Ученые хотят выжать из этих трех сигналов от гравитационных волн максимум возможного. В том числе посмотреть, как соотносятся эти сигналы, нет ли нарушений общей теории относительности по этим событиям».

В результате анализа сигналов, зарегистрированных детекторами обсерватории LIGO, было обнаружено, что с большой вероятностью у вновь обнаруженной пары черных дыр направления собственного вращения (спины) не совпадают, то есть они вращаются в разных направлениях, а значит, эти объекты, по-видимому, сформировались в плотном звездном скоплении отдельно друг от друга, а уже затем образовали двойную систему.

«Теоретики, тоже работающие в коллаборации LIGO, научились более точно говорить о направлении собственного вращения (спине) черных дыр. Они вращаются и вокруг своей оси, и относительно друг друга, около общего центра масс. И в этом третьем событии регистрации гравитационных волн очень внимательно исследовался процесс собственного вращения черных дыр. Было показано, что вообще оси вращения у них не совпадают. Это позволяет говорить в пользу гипотезы образования этих черных дыр, предполагающей, что сначала они были как бы отдельно в звездном скоплении, каждая черная дыра образовалась сама по себе, а потом они подошли близко друг к другу, образовали двойную систему и, наконец, столкнулись и слились. Есть альтернативная гипотеза, говорящая о том, что две черные дыры образовались из двойной системы звезд. Но в этом случае более вероятно, что направления собственного вращения (спина) были бы одинаковые», — объясняет Валерий Митрофанов.

Один из важных вопросов, относящихся к распространению гравитационных волн: проявляют ли они дисперсию,

то есть зависит ли их скорость распространения волн от их частоты. Частоты гравитационных волн, зарегистрированных в третьем событии, лежат в диапазоне примерно от 30 до 350 Гц. Ученые сообщают, что гравитационные волны с разными частотами в исследуемом диапазоне распространяются от своего источника до Земли с одной и той же скоростью, скоростью света, и дисперсия отсутствует. Даже небольшого нарушения между разными частотными компонентами ученые не видят. Таким образом, ничто не ставит под сомнение общую теорию относительности.

Исследователи ждут новых событий — регистраций гравитационных волн не только от слияния черных дыр, но и нейтронных звезд, а также от других источников, на которые нацелены детекторы LIGO.

«Детекторы LIGO смотрят на все небо, охватывают практически всю сферу одновременно. Слияния нейтронных звезд зарегистрировано еще не было, потому что считается, что нейтронные звезды поменьше», — говорит Сергей Вятчанин.

Конечно, по мере увеличения чувствительности детекторов, такие события будут происходить чаще. Ученые МГУ участвуют в исследованиях, направленных на увеличение чувствительности гравитационных антенн.

«В настоящее время основные усилия научной группы из МГУ направлены на разработку криогенных гравитационно-волновых детекторов нового поколения, на использование новых методов квантовых измерений, которые позволят значительно улучшить их чувствительность», — говорит Валерий Митрофанов.

Обсерватория LIGO финансируется Национальным научным фондом США (NSF). Она построена и эксплуатируется Калифорнийским и Массачусетским технологическими институтами (Caltech и MIT). Финансовая поддержка проекта Advanced LIGO осуществляется Национальным научным фондом США вместе с Обществом Макса Планка Германии, Советом по обеспечению науки и технологии Великобритании и Австралийским советом

по исследованиям, которые вносят значительный вклад в проект. Более 1000 ученых из различных стран участвуют в проекте, объединившись в Научную коллаборацию LIGO – LSC, которая включает в себя коллаборацию GEO. Партнером LIGO является коллаборация Virgo, в которой работают еще 280 европейских ученых, поддерживаемые Национальным центром научных исследований Франции (CNRS), Национальным институтом ядерной физики Италии (INFN), Нидерландским Nikhef, а также основными институтами, входящими в Virgo и Европейскую гравитационную лабораторию (см. <http://ligo.org/partners.php>). Третья регистрация гравитационных волн двумя детекторами LIGO, расположенными в Ливингстоне, штат Луизиана, и в Хэнфорде, штат Вашингтон, США, произошла 4 января 2017 г. в цикле наблюдений, который начался 30 ноября 2016 г. и продолжается до настоящего времени.

Россия представлена в LSC двумя научными коллективами: группой физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова и группой Института прикладной физики РАН (Нижний Новгород).

Московскую группу создал и вплоть до последнего времени возглавлял член-корреспондент РАН Владимир Брагинский — всемирно известный ученый, один из пионеров гравитационно-волновых исследований в мире. В состав научной группы, также входят профессора кафедры физики колебаний: Игорь Биленко, Михаил Городецкий, Фарит Халили, доцент Сергей Стрыгин и старший преподаватель Леонид Прохоров. Неоценимый вклад в исследования вносят студенты, аспиранты и технический персонал кафедры.

“GW170104: Observation of a 50-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence at Redshift 0.2”, B.P. Abbott et al., *Phys. Rev. Lett.*, **118**, 221101 (2017).

## ОГРАНИЧЕНИЕ НА МИЛЛИЗАРЯД НЕЙТРИНО, ПОЛУЧЕННОЕ ПРОФЕССОРОМ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ



## ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ А.И. СТУДЕНИКИНЫМ, ВКЛЮЧЕНО В НОВЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ НЕЙТРИНО

Лауреат Нобелевской премии по физике, присужденной в 2015 году за открытие осцилляций нейтрино, Такааки Каджиты (Япония) и профессор А.И. Студеникин (Россия) после выступления последнего с докладом на международной конференции по осцилляциям нейтрино NOW-2016 (Отранто, Италия, сентябрь 2016 года).



На кафедре теоретической физики предложен и реализован способ получения ограничения на миллиард нейтрино на основе анализа экспериментальных данных по рассеянию антинейтрино от реакторов на мишени. Результаты этих исследований были представлены в работе профессора Александра Ивановича Студеникина «[New bounds on neutrino electric millicharge from limits on neutrino magnetic moment](#)», опубликованные в *Europhysics Letters*. том 107, с. 21001. 2014. В указанной работе используются последние данные российского эксперимента GEMMA (Germanium Experiment for Measurement of Magnetic Moment of Antineutrino) по исследованию рассеяния антинейтрино на Калининской атомной станции. Полученное А.И. Студеникиным новое ограничение на миллиард нейтрино ( $qv \leq 1,5 \times 10^{-12} e_0$ ,  $e_0$  — абсолютное значение заряда электрона) было признано лучшим мировым ограничением, следующим из данных о рассеянии реакторных нейтрино на мишени.

Новое ограничение на миллиард нейтрино было включено «Международной коллаборацией по свойствам элементарных частиц» («Particle Data Group

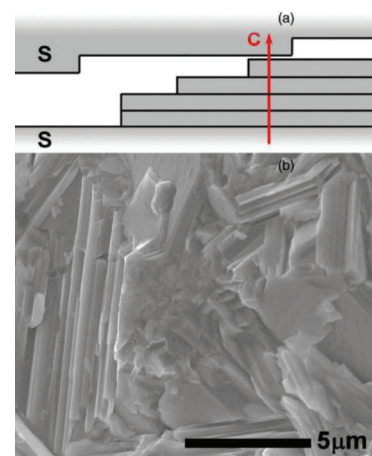
Collaboration») в новый перечень основных свойств нейтрино и опубликовано в «Обзоре по физике элементарных частиц» («[The Review of Particle Physics 2016](#)»).

Изучение электромагнитных характеристик нейтрино будет являться одним из важных направлений исследований в новом международном мега-проекте JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), который в настоящее время находится в стадии активной подготовки в Китае. Начало регистрации нейтринных потоков от различных источников планируется на 2020 год. Научная группа кафедры теоретической физики физического факультета под руководством А.И. Студеникина занимается исследованием возможности экспериментального наблюдения проявления электромагнитных свойств массивных нейтрино. Нужно отметить, что в 2016 году благодаря исследованиям, проводимым на физическом факультете МГУ, Московский университет получил официальный статус полного члена проекта JUNO, а А.И. Студеникин вошел в состав руководящих органов коллаборации как представитель от МГУ.

## СИСТЕМАТИЗИРОВАНЫ ЗНАНИЯ О ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ СВЕРХПРОВОДНИКЕ

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова провели систематизацию данных о параметрах высокотемпературного сверхпроводника состава  $(Sm,Th)OFeAs$ . О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Physical Review B*.

Схематическое изображение ступеней, соприкасающихся друг с другом в многослойном образце с микротрещинами.



Мы систематизировали сведения о структуре параметра сверхпроводящего порядка в высокотемпературном сверхпроводнике (ВТСП)  $(Sm,Th)OFeAs$  так называемой системы 1111 с оригинальным замещением самария (Sm) на торий (Th). Подобные образцы исследовались только нашей группой. В работе были с высокой точностью измерены амплитуды параметров порядка в широком диапазоне замещения Sm на Th и, соответственно, в широком диапазоне критических температур ( $21K < T_c < 54K$ ) семейства этих сверхпроводников», — рассказал Светослав Кузьмичев, старший научный сотрудник кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Ученые использовали метод получения туннельных наноконтактов на микротрещине. Контакты имели поперечник порядка нескольких десятков нанометров, в них ученые наблюдали эффект многократных внутренних андреевских отражений. Расшифровка полученных в работе спектров динамической проводимости этих андреевских

контактов позволила авторам сделать важные выводы как об амплитуде параметров сверхпроводящего порядка, так и о степени его анизотропии.

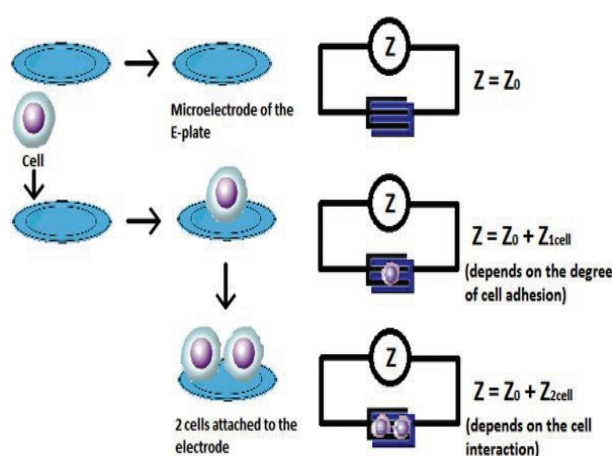
«Исходя из полученных нами зависимостей амплитуды параметров порядка от  $T_c$  и, соответственно, определенного характеристического отношения теории БКШ (Теория Бардина, Купера, Шриффера), которое определяет силу связи носителей тока в куперовской паре, становится возможным отнести это соединение к классу ВТСП (высокотемпературных сверхпроводников) и провести сравнительный анализ сверхпроводящих свойств системы  $(Sm,Th)OFeAs$  со свойствами других семейств железосодержащих сверхпроводников. Надо отметить, что физика многощелевой сверхпроводимости значительно сложнее, чем физика классических сверхпроводников. Она во многом определяется соотношением сил внутризонного и

межзонного взаимодействия носителей тока (электронов или дырок) в куперовской паре. Надеюсь, что наша работа поможет пролить свет на эту актуальную проблему фундаментальной физики твердого тела», — заключил ученый.

Работа проходила в сотрудничестве с учеными из Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук.

“Evolution of superconducting gaps in Th-substituted  $\text{Sm}(1-x)\text{Th}(x)\text{OFeAs}$  studied by multiple Andreev reflection spectroscopy”, Kuzmicheva T.E., Kuzmichev S.A., Pervakov K.S., Pudalov V.M., Zhigadlo N.D., *Physical Review B*, **95** (2017).

## СПОСОБ ОДНОВРЕМЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ



Физиками МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством профессора Виктора Юрьевича Тимошенко была опубликована статья в журнале *Nanotechnology*, в которой приводятся результаты исследования наночастиц пористого кремния, покрытых декстраном, в качестве люминесцентных меток и сенсбилизаторов (усилителей) ультразвуковых волн для тераностики (одновременной терапии и диагностики) раковых заболеваний. Ученые обнаружили «щадящий» сонотерапевтический эффект воздействия ультразвука на культуры клеток, содержащих нанокремний: значительное подавление опухолевых клеток при практически неизменном количестве общего числа клеток.

«Несмотря на то, что на сегодняшний день довольно хорошо апробированы такие методики терапии рака, как хирургическое вмешательство, химиотерапия, радиационная терапия, задача разработки новых прецизионных, малоинвазивных и эффективных способов борьбы с заболеванием остается весьма актуальной целью как с точки зрения фундаментальной, так и прикладной науки», — рассказал аспирант кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ Андрей Свиридов.

Целью исследования являлась оценка влияния совместного действия наночастиц, покрытых декстраном, и терапевтического ультразвука на пролиферацию раковых клеток гортани человека. Было обнаружено, что отдельное облучение клеток терапевтическим ультразвуком слабо влияет на их пролиферацию и выживаемость. В то же время, совместное действие покрытых декстраном кремниевых наночастиц и ультразвука привело к значительному подавлению количества раковых клеток. При этом, как было отмечено в работе, инициировался «щадящий» механизм гибели раковых клеток: клетки не разрушались полностью, а гибель их происходила, по-видимому, по механизму апоптоза.

По мнению ученых физического факультета, задача использования наночастиц для диагностики и терапии рака может быть решена именно с помощью кремниевых наночастиц, которые обладают биodeградируемостью, ми-

нимальной общей токсичностью для организма и могут быть одновременно метками для люминесцентной диагностики и усилителями (сенсбилизаторами) для «щадящего» терапевтического воздействия.

«Механизмы терапевтического воздействия ультразвука, где посредником выступают наночастицы, затрагивают ряд физических и биологических явлений, таких как акустическая кавитация, поглощение ультразвуковой энергии твердотельными частицами, локальное повышение проницаемости мембран и т.п.», — пояснил природу терапевтического воздействия ультразвука Андрей Свиридов.

Работа проводилась при участии сотрудников НИЯУ МИФИ и Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН совместно с коллегами Лионского университета, Института Нанотехнологий в Лионе и Тринити-колледжа (Дублин).

“Cytotoxicity control of silicon nanoparticles by biopolymer coating and ultrasound irradiation for cancer theranostic applications”, Sviridov A.P., Osminkina L.A., Kharin A.Yu., Gongansky M.B., Kargina J.V., Kudryavtsev A.A., Bezudnova Yu.I., Perova T.S., Geloan A., Lysenko V., Timoshenko V.Yu., *Nanotechnology*, **28**, № 10 (2017).

## РАЗРАБОТАНЫ НАНОТРУБКИ С БАКТЕРИЦИДНЫМ ЭФФЕКТОМ

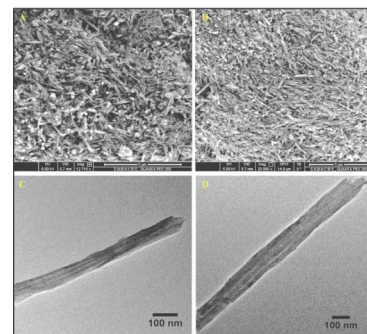
Ученые кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова изготовили галлуазитные нанотрубки с осажденными наночастицами серебра. Результаты исследования опубликованы в журнале *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*.

«Нами были приготовлены галлуазитные нанотрубки с осажденными наночастицами серебра. Путем оптического измерения поглощения галлуазитных нанотрубок с наночастицами серебра был обнаружен широкий пик плазмонного резонанса в спектральном диапазоне 400–600 нм. Также был обнаружен бактерицидный эффект, который был более выражен при освещении образцов», — рассказал младший научный сотрудник кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ Кирилл Гончар.

Галлуазитные нанотрубки были исследованы методами просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, оптической спектроскопии, также были проведены эксперименты с *E. coli* бактериями. Вклад ученых физического факультета состоял в изучении оптических свойств галлуазитных нанотрубок и проведении экспериментов с бактериями.

«В работе обсуждается роль плазмонного возбуждения серебряных наночастиц в их биоактивных свойствах. Полученные результаты показывают, что галлуазитные нанотрубки, покрытые серебряными наночастицами, являются очень перспективными для антибактерицидной обработки», — заключил ученый.

Работа проходила в сотрудничестве с ученым из Национального центра фундаментальных наук имени Бозе (Индия).

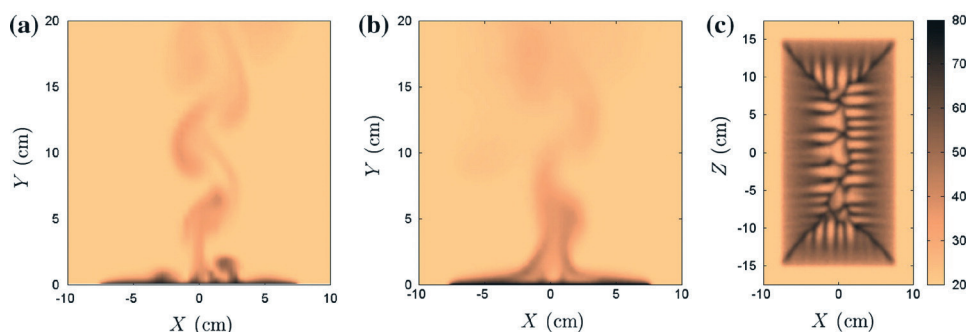


“Halloysite nanotubes with immobilized silver nanoparticles for anti-bacterial application”, Jana S., Kondakova A.V., Shevchenko S.N., Sheval E.V., Gonchar K.A., Timoshenko V.Yu., Vasiliev A.N., *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **151**, p. 249–254 (2017).

## НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ученые кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предложили новый метод бесконтактного измерения двумерных полей температуры в течениях воздуха, который называли инфракрасной термографией оптически тонких сред. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в *Quantitative InfraRed Thermography Journal*.

«Проведено сравнение с другими экспериментальными методами (теньевым фоновым методом и инфракрасной термографией с использованием твердых маркеров) и с численным моделированием. Сделан вывод, что предложенный метод значительно превосходит термографию с использованием твердых маркеров в надежности и пространственном разрешении, а также имеет лучшую по сравнению с теньевым фоновым методом чувствительность и гораздо проще в применении», — рассказал автор статьи Николай Винниченко, старший научный сотрудник кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества отделения экспериментальной и теоретической физики физического факультета МГУ.



Измерение температуры потока воздуха с использованием инфракрасной термографии.

Предложенный метод инфракрасной термографии оптически тонких сред заключается в съемке с помощью инфракрасной камеры однородного фона с известной температурой через исследуемое воздушное течение. Регистрируемое камерой тепловое излучение состоит из

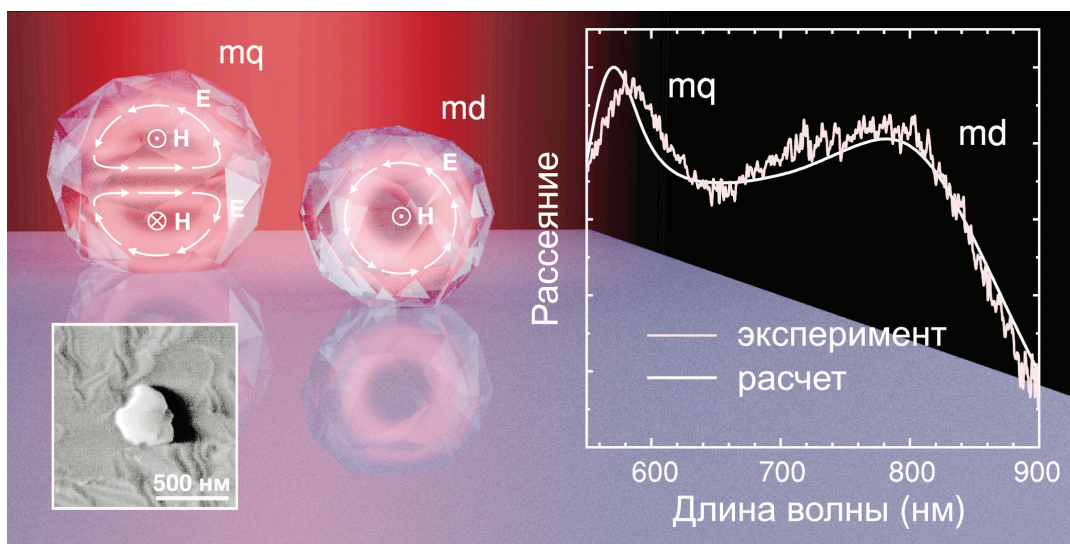
суммы излучения фона и излучения воздуха, что позволяет путем несложной компьютерной обработки найти мгновенное поле температуры в исследуемом течении.

«Предложенный метод представляет большой интерес для инженерной аэродинамики, поскольку он прост в использовании, дает количественные результаты, является полностью бесконтактным, не требует сложной обработки полученных изображений и устойчив к вибрациям, практически неизбежным в промышленных условиях. Сей-

час ведутся работы по определению пределов точности и пространственного разрешения метода, его внедрению в инженерную практику», — заключил ученый.

“Air flow temperature measurements using infrared thermography”, Vinnichenko N., Plaksina Yu, Yakimchuk O., Soldatenkova K., Uvarov A., Quantitative InfraRed Thermography Journal, **14**, № 1, p. 107–121 (2017).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ МОД НАНОАЛМАЗОВ



Ученые кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ изучили собственные оптические моды нанодIAMAZOV и показали, что, используя частицы резонансных размеров, можно существенно повысить эффективность однофотонных источников и сенсоров на основе центров окраски в нанодIAMAZOV. Результаты своей работы физики описали в статье, которая была опубликована в журнале *ACS Photonics*.

«Мы экспериментально получили спектры рассеяния оптического излучения на отдельных нанодIAMAZOV, форму и размер каждого из которых мы предварительно охарактеризовали с помощью электронной микроскопии. В спектрах рассеяния отчетливо видны резонансы, связанные с возбуждением магнито-дипольной и магнито-квадрупольной мод. Для частиц большего размера эти резонансы возбуждаются на больших длинах волн, для частиц меньшего размера — на меньших. Далее, путем численных расчетов, мы показали, что для частиц, резонанс которых приходится на длину волны люминесценции центра окраски, эффективность люминесценции значительно выше, нежели для нерезонансных частиц. Иными словами, возбужденный центр окраски в алмазе резонансного размера высвечивает фотон более чем на порядок быстрее, чем если бы он находился в частице нерезонансного размера», — рассказал сотрудник лаборатории нанооптики и метаматериалов Данил Шилкин.

Физики МГУ исследовали и обнаружили собственные оптические моды в нанодIAMAZOV, спектральное поло-

жение которых смещается при изменении размера частицы, и показали, что используя частицы резонансных размеров, можно существенно повысить эффективность однофотонных источников и сенсоров на основе центров окраски в нанодIAMAZOV.

«В нашей работе мы показали, что собственные резонансы нанодIAMAZOV оказывают существенное влияние на свойства люминесценции центров окраски и могут использоваться для повышения эффективности однофотонных источников и сенсоров на основе центров окраски в нанодIAMAZOV», — заключил ученый.

Работа была сделана в коллаборации с коллегами из Института общей физики им. А.М. Прохорова

“Optical Magnetism and Fundamental Modes of Nanodiamonds”, Shilkin D.A., Shcherbakov M.R., Lyubin E.V., Katamadze K. G., Kudryavtsev O.S., Sedov V. S., Vlasov I.I., Fedyanin A.A., ACS Photonics, **4**, № 5, p. 1153–1158 (2017).

## СОЗДАН ОДНОЭЛЕКТРОННЫЙ ТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ ТРЕХ АТОМОВ ФОСФОРА

Ученые лаборатории «Криоэлектроника» физического факультета провели исследования по разработке, созданию и изучению вычислительных электронных устройств на новых физических принципах. Физикам МГУ удалось создать одноэлектронный транзистор на основе трех атомов фосфора. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Nanotechnology*.

«В серии последовательных процессов реактивно-ионного травления (РИТ) кремниевой структуры одноэлектронного транзистора удалось наблюдать по диаграммам стабильности постепенную трансформацию устройства от классического состояния с макроскопическим островом до одноатомного состояния, когда электронный транспорт осуществляется через единичные примесные атомы», — рассказал автор статьи, старший научный сотрудник лаборатории «Криоэлектроника» физического факультета МГУ Владимир Крупенин.

Оптимизированные технологические процессы для изготовления нового устройства из кремния на изоляторе (КНИ) позволили увеличить коэффициент управления транзистора за счет приближения управляющего затвора к области локализации примесных атомов. Созданный сотрудниками факультета и НИИЯФ транзистор позволил изучить закономерности параллельного переноса электронов через три примесных атома фосфора.

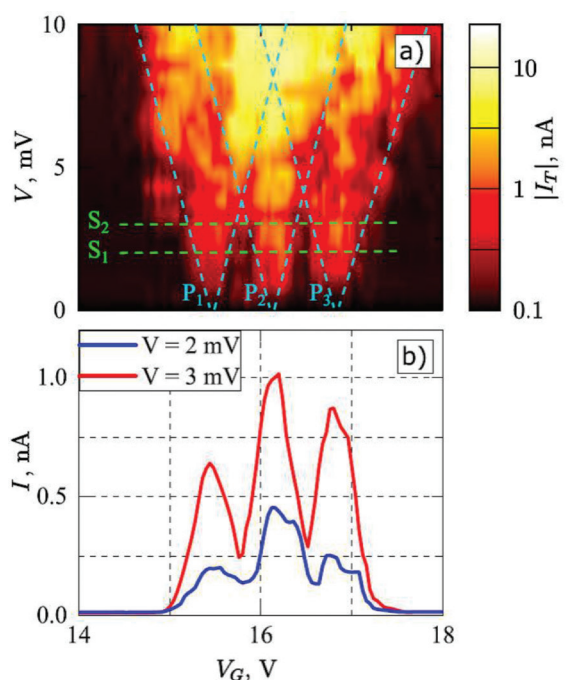


Рис. 2. (a): расщепление токового треугольника; (b): поперечное сечение токового треугольника при низких туннельных напряжениях  $V = 2$  мВ ( $S_1$ ) и  $V = 3$  мВ ( $S_2$ ).

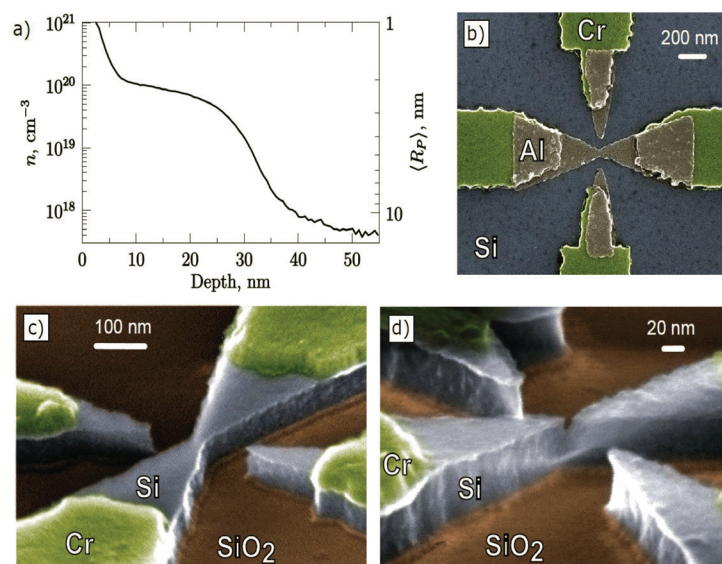


Рис. 1. a) — концентрация (левая ось) и среднее расстояние между атомами фосфора (правая ось) в слое Si слоя. b)-d) — этапы изготовления транзистора (окраска цветами: темно-синий — верхний Si слой, зеленый — Cr электроды, серый — Al маска, коричневый — SiO $_2$  изолирующий слой): b) — структура до реактивно-ионного травления (РИТ) Si слоя; c) — структура после анизотропного РИТ Si слоя; d) — структура после первого изотропного РИТ с зазором в центре Si наномостика.

В результате исследования удалось обнаружить характерное расщепление кулоновских токовых треугольников, которое ранее было предсказано в теоретических работах.

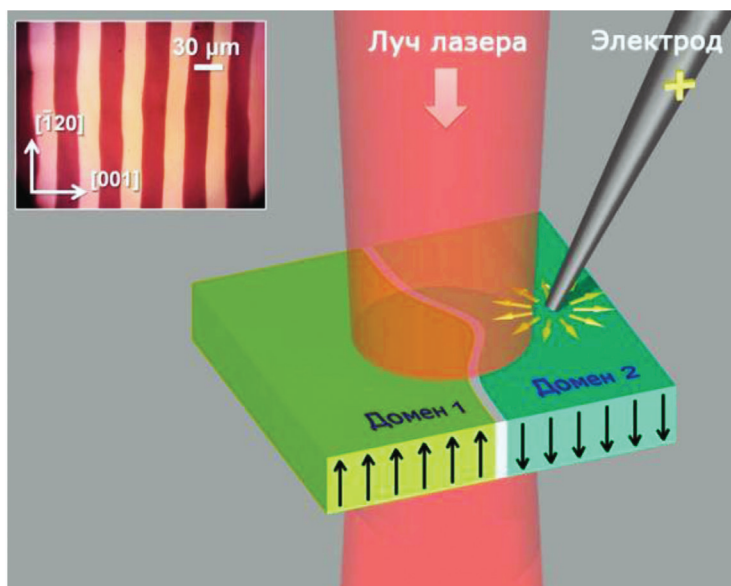
«По обнаруженному расщеплению удалось оценить среднее расстояние между примесными атомами фосфора в мостике транзистора. Продолжающиеся исследования проводятся в направлении поиска оптимальных кристаллических материалов и примесных атомов, которые определяют рабочую температуру одноатомного одноэлектронного транзистора и уровень его шумов. Исследователи надеются увеличить рабочую температуру подобных устройств вплоть до комнатной. Уже в ближайшее время планируется изготовление одноатомных транзисторов на основе нетрадиционных для полупроводниковой промышленности примесных атомов и кристаллических подложек», — заключил ученый.

Работа сотрудников физического факультета МГУ поддержана Российским научным фондом.

“Sequential reduction of the silicon single-electron transistor structure to atomic scale”, Dagesyan S.A., Shorokhov V.V., Presnov D.E., Soldatov E.S., Trifonov A.S., Krupenin V.A., *Nanotechnology*, **28**, p. 225304 (2017).

## ЭЛЕКТРОМАГНИТООПТИЧЕСКИЙ ЗАТВОР НА ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЕ

Группа проф. В.И. Белотелова (кафедра фотоники и физики микроволн) и группа проф. А.П. Пятакова (кафедра физики колебаний).



Магнитооптические затворы, работающие на эффекте фарадеевского вращения плоскости поляризации света в намагниченном веществе, нашли широкое применение в экспериментальной практике. В частности, они служат оптическими изоляторами, пропускающими свет только в одном направлении, защищая, таким образом, лазерные источники от обратного влияния отраженных сигналов. С помощью магнитного поля можно менять угол фарадеевского вращения и, тем самым, регулировать интенсивность света, проходящего через магнитооптический затвор.

Однако сделать на этом принципе быстродействующий и миниатюрный модулятор излучения невозможно ввиду громоздкости и инерционности катушек, создающих магнитное поле. Альтернативой является электрооптическая модуляция, но из-за малости электрооптических эффектов миниатюризация устройств также затруднена.

А можно ли управлять магнитооптическим вращением, прикладывая электрическое напряжение? Такой эффект, действительно, был обнаружен еще в 80-х годах прошлого века в группе проф. Р.В. Писарева из ФТИ им. Иоффе и получил название электро-магнитооптического. Он позволил бы заменить инерционные катушки индуктивности на более технологичные планарные структуры — конденсаторы, если бы не обескураживающе малые величины наблюдавшегося эффекта: даже в поле  $\sim 100$  кВ/см изменение угла фарадеевского вращения не превышало нескольких угловых минут. Это тем более обидно, что обычное, магнитооптическое, вращение поляризации света в доменах в пленках ферритов гранатов составляет несколько градусов.

Ученые физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в сотрудничестве с коллегами из Российского квантового центра создали прототип устройства, управляющего интенсивностью света, которое работает на новом, электро-магнитооптическом, принципе. Этот принцип управления может стать основой функционирования миниатюрных и быстродействующих модуляторов света для передачи информации в оптических системах связи.

«Полностью, на все 100%, реализовать потенциал, заключенный в электромагнитооптическом эффекте, удалось, объединив идеи двух научных коллективов: группы фотоники и плазмоники, возглавляемой проф. РАН В.И. Белотеловым и нашей лаборатории фотоники и спинтроники — рассказывает проф. А.П. Пятаков. Ранее мы открыли магнитоэлектрическое явление, которое планировали использовать в электрических затворах спинтронных устройств. Оно заключалось в кулоновском взаимодействии магнитных доменных границ с электрически заряженной иглой. В то же время в группе проф. В.И. Белотелова был накоплен большой опыт в области создания наноразмерных гетероструктур с усиленными магнитооптическими эффектами».

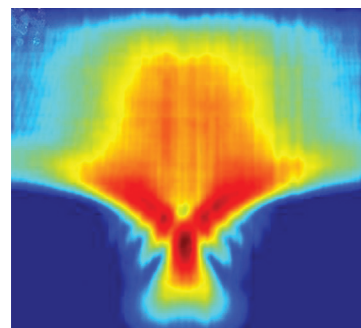
В результате взаимодействия двух научных коллективов родилась следующая идея: прикладывая переменное напряжение к электроду-игле, можно заставить доменную границу двигаться, открывая и закрывая путь лучу лазера, подобно краю шторки пленочного фотоаппарата. В области нахождения светового пятна два соседних домена последовательно сменяют друг друга, давая максимальное изменение угла фарадеевского вращения. «Такая схема сочетает в себе гигантскую оптическую активность магнитных пленок с преимуществами электрического управления», — резюмирует А.П. Пятаков.

Результаты исследований опубликованы в статье:

“Electric-field-driven magnetic domain wall as a microscale magneto-optical shutter”, N.E. Khokhlov, A.E. Khranova, E.P. Nikolaeva, T.B. Kosykh, A.V. Nikolayev, A.K. Zvezdin, A.P. Pyatkov & V.I. Belotelov, *Scientific reports*, **8**, 13985 (2017).

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА В АТМОСФЕРЕ

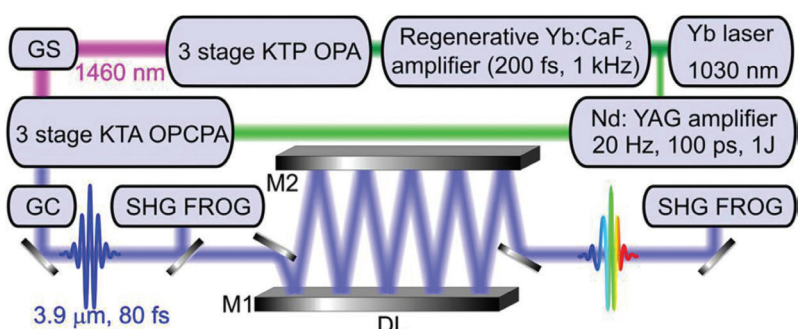
Совместные исследования, проведенные в Международном учебно-научном лазерном центре МГУ, Физическом факультете МГУ, Российском квантовом центре и Техническом университете г. Вена, впервые показали, что атмосферный воздух в области 3,6 – 4,2 мкм имеет широкополосную аномальную дисперсию, являясь тем не менее прозрачным в этой области длин волн электромагнитного излучения. Данное исследование открывает новые возможности для дистанционного зондирования атмосферы и передачи импульсов и сигналов при высоких пиковых мощностях на большие расстояния через атмосферу воздуха в солитонном режиме. Результаты исследования опубликованы в журнале *Scientific Reports*.



Атмосферная оптика является одной из старейших областей исследований не только в оптике, но и среди всех естественных наук. С древнейших времен люди интересовались распространением света и старались найти объяснение связанным с этим явлениям: изменению цвета неба, появлению радуг, ореолов, миражей и многим другим. Однако, до недавнего времени большинство исследований было связано исключительно с видимой областью спектра, где атмосферный воздух является абсолютно прозрачным. Систематические исследования распространения электромагнитного излучения в атмосфере Земли, обусловленные потребностями наблюдательной астрофизики и выполняемые с постоянно возрастающей экспериментальной точностью на протяжении многих веков, помогли достичь детального количественного описания пропускания атмосферы в видимой области.

В эпоху сверхбыстрых оптических технологий, позволяющих генерировать мощные сверхкороткие лазерные импульсы в ультрашироком спектральном интервале длин волн от видимого до среднего инфракрасного диапазона, необходимо более глубокое понимание дисперсии групповой скорости (ДГС) атмосферного воздуха. Известно, что аномально диспергирующие материалы играют особую роль в ультрабыстрой оптической науке. Действуя совместно с оптической нелинейностью, аномальная дисперсия приводит к большому разнообразию солитонных явлений. В своей одномерной версии этот тип нелинейной динамики давно известен в волоконной оптике, обеспечивающей передачу сигналов на большие расстояния и волоконно-оптическую связь, а также генерацию коротких импульсов в волоконных лазерах. Недавно была продемонстрирована возможность сжатия импульсов в оптическом волокне до длительностей менее оптического периода. В твердых телах с аномальной дисперсией пространственная локализация, обеспечиваемая пространственным самовоздействием и лазерной филаментацией, может сочетаться с временным сжатием из-за солитонной динамики лазерных импульсов. При тщательной оптимизации эта пространственно-временная локализация поля в твердых телах с аномальной дисперсией усиливает сжатие высокоинтенсивных лазер-

ных импульсов среднего инфракрасного диапазона и может способствовать генерации так называемых световых пульс при лазерной филаментации. При наличии аномальной дисперсии в атмосферном воздухе эти режимы можно было бы использовать для передачи на большие расстояния лазерных импульсов с высокой пиковой мощностью и дистанционного зондирования атмосферы. Однако, из-за сложного поведения показателя преломления атмосферного воздуха внутри и вблизи линий молекулярного поглощения, сложно найти диапазоны, в которых атмосфера была бы аномально диспергирующей, но все еще прозрачной. Таким образом, поиск аномальных диапазонов ДГС является исключительно важной задачей с точки зрения передачи сигналов на большие расстояния и дистанционного зондирования атмосферы.



В опубликованной статье представлены результаты экспериментов по передаче на большие расстояния сверхкоротких лазерных импульсов среднего ИК диапазона через атмосферный воздух и зондированию ДГС атмосферного воздуха в диапазоне длин волн 3,6–4,2 мкм. В этом спектральном диапазоне атмосферный воздух по-прежнему прозрачен для электромагнитного излучения, что позволяет передавать сигнал на большие расстояния. Однако, в отличие от большинства областей прозрачности атмосферы, на этих длинах волн возможны дисперсионные аномалии из-за соседней асимметрично-растянутой колебательно-вращательной полосы поглощения атмосферного  $\text{CO}_2$ . Лазерные импульсы с центральной длиной волны 3,9 мкм, длительностью 80 фс и энергией до 30 мДж исследова-

лись на выходе из системы и после прохождения трассы в 60 м в атмосфере окружающего воздуха методом спектрально-разрешенного оптического стробирования на основе генерации второй гармоники. Для определения знака ДГС были проведены измерения для пробного излучения с отрицательным chirпом. Распространение таких пробных импульсов через атмосферу приводит к увеличению их chirпа, что подтверждает аномальный характер ДГС в этом спектральном диапазоне. Таким образом, результаты экспериментов и проведенный численный анализ показывают явное наличие аномальной ДГС в этом диапазоне длин волн с групповыми задержками до 1,8 пс, обнаруженными по ширине полосы импульсов длительностью 80 фс.

Таким образом, существование диапазона аномальной дисперсии групповых скоростей в атмосфере, продемонстрированное в статье, опубликованной в журнале *Scientific Reports*, открывает новые возможности для передачи сигналов на большие расстояния, позволяет создавать новые методы дистанционного зондирования и преобразования мощных лазерных импульсов при распространении на большие расстояния в атмосферном воздухе.

"Mapping anomalous dispersion of air with ultrashort mid-infrared pulses", A.V. Mitrofanov, A.A. Voronin, D.A. Sidorov-Biryukov, M.V. Rozhko, E.A. Stepanov, A.B. Fedotov, V. Shumakova, S. Alisauskas, A. Pugžlys, A. Baltuska & A.M. Zheltikov, *Scientific Reports*, **7**, 2103 (2017).

## ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В ИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ

Ученые кафедры общей физики и волновых процессов и МЛЦ совместно с коллегами из НИТУ МИСиС показали возможность генерации второй гармоники в изотропной среде с нелокальностью нелинейного отклика неоднородно поляризованным световым импульсом с сингулярностями поляризации.



Научные достижения Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

аспирант К.С. Григорьев, профессор Е.Б. Черепецкая, студент Н.Ю. Кузнецов, профессор В.А. Макаров



Профессор В.А. Макаров

Генерация второй гармоники традиционно считается запрещенной в centrosymmetric средах, однако ряд экспериментальных исследований последних двух десятилетий подтверждают возможность возникновения в их объеме сигнала на удвоенной частоте. В литературе описано несколько возможных механизмов, объясняющих появление второй гармоники. Это нелокальность нелинейно-оптического отклика вещества, вырожденные пяти и шести волновые смешения, пространственная неоднородность поля основного излучения и т. д. Нами показано, что появление сигнала второй гармоники в объеме изотропной хиральной среды может быть связано с нелокальностью или частотной дисперсией квадратичного оптического отклика вещества в случае специальных ограничений на пространственные и временные распределения поляризации в волне основного излучения.

Исследования проводились в приближении заданного поля волны основного излучения, параболическом приближении теории дифракции, частотная дисперсия учитывалась во втором порядке. В случае пространственной нелокальности нелинейного оптического отклика вещества для возникновения сигнала на удвоенной частоте необходимо, чтобы импульс основного излучения имел неоднородное в поперечном сечении распределение поляризации. В возникающем сигнальном импульсе второй

гармоники поляризация меняется в плоскости поперечного сечения не так сильно, как в пучке основного излучения.

Аналитически продемонстрировано, что для эффективной генерации второй гармоники в среде с локальным, но обладающим частотной дисперсией квадратичным откликом, импульс основного излучения должен быть неоднородно поляризованным и в пространстве и во времени. Примером такого импульса может быть последовательность двух однородно поляризованных во времени импульсов с различным состоянием поляризации, следующих друг за другом с некоторой малой временной задержкой, меньшей длительности каждого из них. Как и в случае среды с нелокальным квадратичным откликом, состояние поляризации сигнального импульса на удвоенной частоте заметно однороднее в пространстве и во времени, чем у импульса основного излучения.

Результаты исследований опубликованы в статье "Second harmonic generation in isotropic chiral medium with non-locality of nonlinear optical response by heterogeneously polarized pulsed beams", K.S. Grigoriev, N.Yu. Kuznetsov, E.B. Cherepetskaya, V.A. Makarov, *Optics Express*, **25**, No. 6, p. 6253-6262 (2017).



## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СПИНОВЫМИ ВОЛНАМИ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА

Физики из МГУ (кафедра фотоники и физики микроволн физического факультета) совместно с коллегами из Российского квантового центра и Технического университета Дортмунда (Германия) исследовали возбуждение спиновых волн в магнитных пленках с помощью периодических лазерных импульсов и добились управления их свойствами.

Ученые МГУ в рамках международного сотрудничества проводят исследования по сверхбыстрому оптическому управлению намагниченностью. Это активно развивающееся научное направление позволит увеличить быстродействие устройств хранения и обработки информации. Кроме того, это перспективный метод возбуждения спиновых волн (волн намагниченности), которые являются объектом изучения магноники – современного направления в физике, которое может стать основой для посткремниевых энергосберегающих технологий, в которых вместо электронов используются их спины. Ожидается, что развитие магноники откроет множество приложений в области телекоммуникаций, обработки изображений и квантовых вычислений.

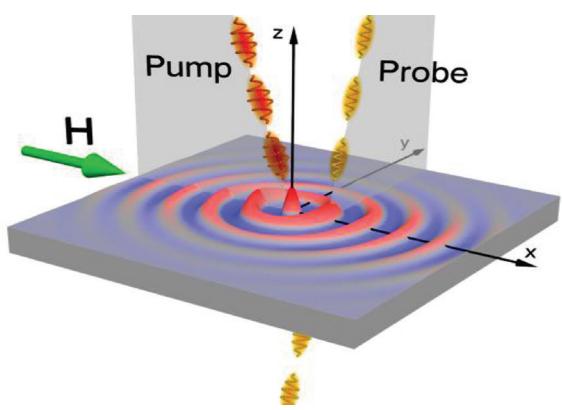
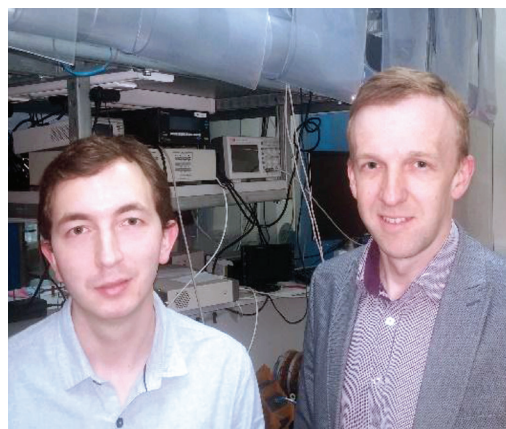


Схема эксперимента по оптическому управлению спиновыми волнами.

Чтобы запустить спиновые волны в магнитоупорядоченном материале (ферро-, ферри- или антиферромагнетике) необходимо вывести намагниченность из равновесия. Обычно это делается с помощью микроволн, генерируемых микроантенной в непосредственной близости от образца. Однако для практических применений требуется сильная локализация возбуждения. Например, обработка квантовой информации требует обращения к кубиту (единица информации в квантовом компьютере) магнитным полем с субмикронным градиентом. К тому же, для регулировки параметров спиновой волны требуется изменение формы и размера антенны, что невозможно делать оперативно. Поэтому в настоящее время очень перспективным является метод возбуждения спиновых волн ультракороткими лазерными импульсами, которые воздействуют на намагниченность только внутри освещаемого пятна. «Таким образом можно добиться разрешения порядка длины волны света или даже меньше, если



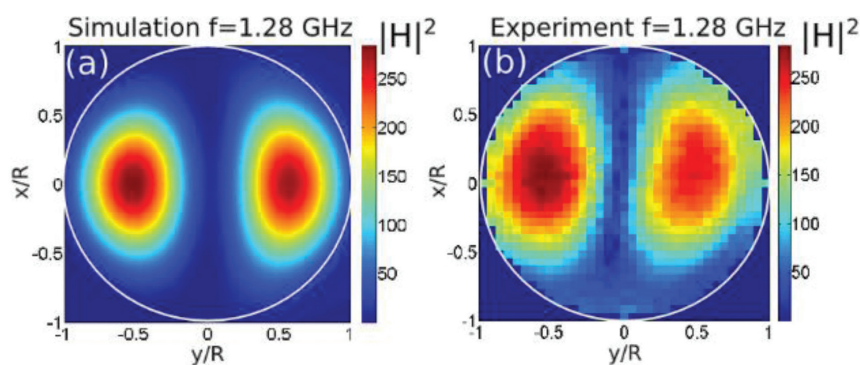
Асп. И.В. Савочкин и проф. РАН В.И. Белотелов.

использовать плазмонику, еще одно направление физики, над которым работают в нашей группе, – сообщил проф. РАН В.И. Белотелов. – Минусом оптического метода генерации является довольно широкий спектр возбуждаемых спиновых волн, из-за чего они колебания намагниченности быстро рассинхронизируются и затухают. Нами был предложен способ нивелировать этот недостаток.

Аспирантом МГУ И.В. Савочкиным совместно с немецкими коллегами был проведен эксперимент, в котором спиновые волны возбуждались в пленке феррита-граната фемтосекундными импульсами лазера, следовавшими с частотой 1 ПГц. Такая высокая частота повторения импульсов позволила достичь усиления спиновых волн с кратными частотами, значительно увеличив длину распространения. «Нам удалось значительно сузить спектр возбуждаемых спиновых волн и детектировать их на расстоянии почти 100 микрон от области возбуждения, – отметил Игорь Савочкин. – Кроме того, меняя величину внешнего магнитного поля, можно увеличить амплитуду волн более, чем в десять раз». Данное исследование поможет в развитии квантовой обработки информации на основе спиновых волн. В дальнейшие планы ученых входит нанесение плазмонных структур на магнитной пленке для еще большего усиления наблюдаемых эффектов за счет концентрирования оптического излучения в области диаметром менее 100 нм.

Результаты данной работы были опубликованы в статье: "Magnon Accumulation by Clocked Laser Excitation as Source of Long-Range Spin Waves in Transparent Magnetic Films." M. Jackl, V.I. Belotelov, I.A. Akimov, I.V. Savochkin, D.R. Yakovlev, A.K. Zvezdin and M. Bayer. *Physical Review X* 7, 021009 (2017).

## ГИГАНТСКОЕ УСИЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ВНУТРИ МАЛЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ



Группа проф. М.И. Трибельского, группа д.ф.-м.н. П.А. Белова и группа проф. Ю.С. Кившаря.

Профили поля, резонансно возбуждаемого в воде падающим излучением. Интенсивность резонансно-возбуждаемого поля в максимуме профиля в 300 раз превосходит интенсивность падающей волны.

Ученые физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в сотрудничестве с коллегами из НИЯУ МИФИ; Университета ИТМО, Санкт-Петербург, и Центра нелинейной физики Австралийского национального университета впервые провели прямое измерение гигантских электромагнитных полей, возникающих в диэлектрических частицах с большим коэффициентом преломления при рассеянии электромагнитных волн. Эти результаты открывают принципиально новые возможности для создания высоконелинейных метаматериалов и сверхминиатюрных устройств нанофотоники.

Глобальная тенденция современных технологий — это миниатюризация их базовых элементов. Именно поэтому сейчас остро стоит проблема возбуждения достаточно мощных электромагнитных полей, локализованных в возможно меньшей области пространства. Одним из способов решения этой проблемы является использование резонансного рассеяния света наночастицами. При таком рассеянии наночастица действует как воронка, которая собирает падающее излучение с большой области и концентрирует его в малом объеме.

«Теоретически этот эффект был хорошо известен, однако на пути его практической реализации возникали значительные трудности. Металлические наночастицы оказались малоприменимыми для этих целей из-за больших диссипативных потерь в резонансной области частот. Что же касается диэлектрических частиц, то при значении их коэффициента преломления близком к единице резонансное усиление поля мало. При больших же значениях коэффициента преломления резонансы хотя и сильные, но считалось что усиливается только поле вне частицы. Внутри же частицы из-за большой ее поляризуемости внешнее поле компенсируется полем, наведенным за счет поляризации, и в целом поле внутрь частицы почти не проникает.

Ошибка этого рассуждения в том, что при резонансах высокой добротности даже малое поле, проникающее в частицу, способно «раскачать» колебания большой амплитуды. Недавно появившиеся теоретические работы, в том числе и мои собственные», — рассказывает ведущий автор статьи, профессор Михаил Трибельский, — «однозначно указывали на возможность такого резонансного возбуждения гигантских полей в диэлектрической частице с большим коэффициентом преломления. Это согласовывалось и с экспериментально наблюдавшейся генерацией

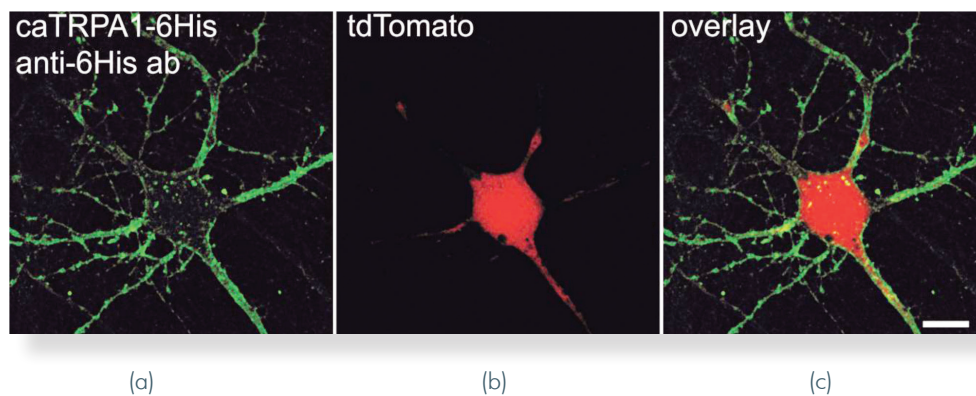
высших гармоник при рассеянии света такими частицами, что косвенно указывало на возникновение внутри частиц больших электромагнитных полей. Но прямого измерения эффекта не было. Сложность этих измерений на оптических частотах состояла в том, что надо было измерить структуру поля внутри наночастицы, имеющей размер порядка десятка нанометров, да еще с хорошим пространственным разрешением.

Нам удалось обойти эту трудность, промоделировав рассеяние наночастицей волн оптического диапазона посредством эквивалентной задачи рассеяние радиоволн частицей сантиметрового размера. Для того же, чтобы иметь возможность перемещать датчики излучения внутри частицы, в качестве таковой использовалась кусок полистироловой трубы (прозрачный для излучения в интересующем нас диапазоне), заполненный дистиллированной водой, имеющей определенную температуру. В результате были получены идеально совпадающие с расчетными профили поля, резонансно возбуждаемого в воде падающим излучением. Интенсивность такого резонансно-возбуждаемого поля в максимуме профиля в 300 раз превосходила интенсивность падающей волны, см. рисунок. Эта работа стала первым прямым подтверждением существования обсуждаемого эффекта».

Результаты исследований опубликованы в статье: "Giant field enhancement in high-index dielectric subwavelength particles", P. Kapitanova, V. Ternovski, A. Miroshnichenko, N. Pavlov, P. Belov, Yu. Kivshar & M. Tribelsky, *Scientific Reports*, **7**, 731 (2017).

## НОВЫЙ МЕТОД СТИМУЛЯЦИИ НЕЙРОНОВ С КЛЕТОЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ МЕТОДАМИ ТЕРМОГЕНЕТИКИ

Ученые кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ продемонстрировали комплексную технику термогенетических исследований индивидуальных нейронов в культурах клеток и живых животных с использованием инфракрасного лазерного излучения. О своем исследовании сотрудники факультета рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Nature Communications*.



Двухцветная конфокальная микроскопия трансфицированного нейрона мыши, показывающая распределение термочувствительных каналов *CaTRPA1* в мембране клетки (a) и наличие в теле клетки сенсора катионов кальция *GCaMP6s* (b). (c) Совмещенные изображения двух биомаркеров.

«В результате проделанной работы получен необходимый набор методик и инструментов, позволяющий проводить исследования в области нейронаук с помощью термогенетических методов. Именно термогенетика представляет альтернативу широко распространенным в настоящее время оптогенетическим исследованиям. Идеологически термогенетика и оптогенетика сходны — оба метода требуют встраивание мембранных каналов в исследуемую клетку, активация которых приводит к стимуляции физиологического отклика клетки, например, генерации потенциала действия нейроном. Используемые каналы в оптогенетике (например, канал-родопсин ChR) обладают хромофором, поглощение фотона видимого излучения которым приводит к активации канала. Термоканалы же чувствительны к локальной температуре, а не к энергии кванта света. Поэтому преимущество термогенетики над оптогенетикой состоит в возможности использовать излучение инфракрасного спектрального диапазона. Свет в инфракрасной области спектра рассеивается и поглощается биотканями в значительно меньшей степени, чем в видимой, что потенциально позволит неинвазивно стимулировать клетки, расположенные в глубоких слоях. Также инфракрасное излучение обладает меньшей фототоксичностью, чем используемый в оптогенетике свет видимого диапазона», рассказывает соавтор статьи, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ Александр Ланин.

В работе демонстрируется методика быстрой, надежной и воспроизводимой адресной активации одиночных клеток в культуре и живом организме (*in vitro* и *in vivo*), экспрессирующих генетически встроенные термочувствительные каналы семейства TRPA1 с помощью перестраиваемого по длине волны инфракрасного лазерного излучения. В ходе работы были использованы чувствительные к теплу мембранные каналы *CaTRPA1* техасской гремучей змеи *Crotalus atrox*, активирующиеся при превышении пороговой температуры 28°C. Исследования показали, что такие термочувствительные каналы могут быть успешно экспрессированы нейронами рыбы и теплокровных животных.

«Управление и мониторинг локальной температурой в экспериментах с адресной активацией термочувствительных клеток являются основной задачей и особенностью наших исследований. Локальный нагрев клеток был реализован при помощи инфракрасного лазерного излучения. Правильный подбор параметров излучения (длина волны и энергия) позволяет активировать термочувствительные клетки в культуре и в живой рыбе *Danio rerio*. Эксперименты по термогенетической активации проводились с живыми трансфицированными клетками Human Embryonic Kidney (HEK-293), HeLa, нейронами и эмбрионами рыбок *Danio rerio*. Клеточные культуры подвергались генной модификации с помощью векторов, которые встраиваясь в ДНК позволяют экспрессировать кальциевый индикатор *GCaMP6s* и термочувствительные каналы *CaTRPA1*. Отклик биологической системы на лазерный

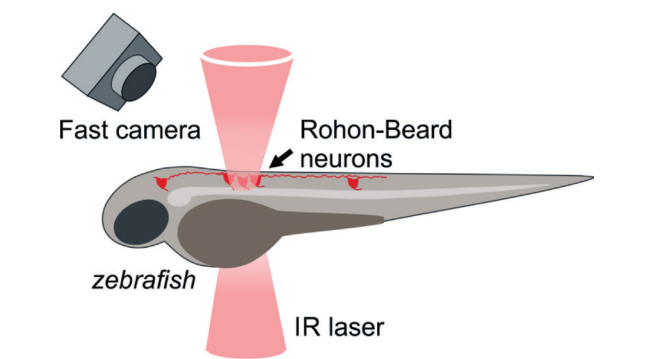
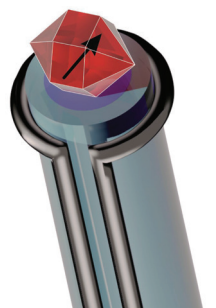


Схема поведенческого эксперимента с рыбкой *Danio rerio*, включающего локальный нагрев трансфицированных Rohon-Beard нейронов инфракрасным лазерным излучением и запись реакции рыбы быстрой камерой.

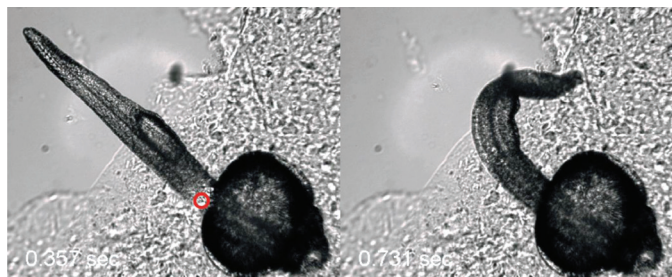
нагрев полностью контролировался за счет оптической визуализации кальциевых токов и электрофизиологии. Одной из основных особенностей работы является создание и использование квантового термометрического зонда на основе волоконно-оптического/СВЧ волновода с квантовым сенсором (микрочастицей алмаза с дефектами азот-вакансия (NV-центрами), закрепленной на торце волновода) для адресного измерения температуры с высоким (клеточным) пространственным разрешением (рис. 1, средняя строка). Уникальные свойства реализованного зонда имеют большой потенциал для задач тер-



мометрическое устройство на основе гибридного оптического/СВЧ зонда с квантовым сенсором — микрочастица алмаза с дефектами азот-вакансия.

мометрического устройства, поскольку позволяет не только измерять температуру биологических объектов с высокой точностью и микронным (вплоть до субклеточного) пространственным разрешением, но и локально изменять температуру, тем самым реализуя возможность управления функциональной активностью термочувствительных клеток», — поясняет ученый.

могенетики, поскольку позволяет не только измерять температуру биологических объектов с высокой точностью и микронным (вплоть до субклеточного) пространственным разрешением, но и локально изменять температуру, тем самым реализуя возможность управления функциональной активностью термочувствительных клеток», — поясняет ученый.



Покадровая развертка реакция *Danio rerio* на лазерный импульс длительностью 250 мс. (а) Локальный нагрев нейрона (лазерный пучок показан красной окружностью), (б) ответная реакция в виде удара хвостом.

В работе была реализована серия поведенческих экспериментов на рыбке *Danio rerio*, в нейронах которой была осуществлена экспрессия термочувствительных каналов *caTRPA1*. Активация одного из группы этих нейронов (Rohon-Beard), расположенных на спине рыбы, приводит к реакции убегания, проявляющаяся в резком ударе хвоста. Проведение флуоресцентной микроскопии позволило находить успешно трансфицированные нейроны, локальный нагрев которых осуществлялся импульсом инфракрасного излучения на длине волны 1342 нм длительностью 250 мс. Импульсный нагрев Rohon-Beard нейронов сопровождался ударом хвоста у трансфицированной рыбы, тогда как контрольная рыба (не обладающая каналами *caTRPA1*) не реагировала на лазерный нагрев.

Работа представляет результаты комплексного совместного исследования российских ученых из МГУ имени М.В. Ломоносова, Института биоорганической химии им (ИБХ РАН), Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии (ИВНД и НФ РАН).

**Справочно:** \*Термогенетика - новая перспективная междисциплинарная область науки, суть которой заключается в принудительной и целенаправленной температурной активации физиологической деятельности клеток, в частности нейронов, за счет использования термочувствительных катионных каналов (TRP), генетически встроенных в мембраны этих клеток. До недавнего времени широкое применение этой техники было ограничено невысокой чувствительности известных термочannels, а также низкого пространственно-временного разрешения методики их активации при стандартном нагреве среды или использовании химических агентов. Термогенетика обладает большими перспективами в области управления физиологической активностью клеток. Методы термогенетики не привязаны к спектрам поглощения хромофоров, лежащих в видимой области спектра, как это реализовано в оптогенетике. В связи с этим возникает возможность выбирать центральную длину волны лазерного излучения в окне прозрачности биологической ткани для осуществления стимуляции глубоких слоев. Используемые нами термочувствительные каналы *caTRPA1* змеи не являются селективными по ионам, поэтому обладают проводимостью на несколько порядков превышающую проводимость популярных каналов семейства канал-родопсин ChR оптогенетики. Каналы *caTRPA1* осуществляют в основном ток катионов кальция через мембрану, что позволяет управлять распространенной в живых организмах системой сигналинга, основанной на концентрации катионов кальция. На сегодняшний момент с этой задачей методы оптогенетики справляются плохо. На практике это может быть реализовано как малоинвазивная стимуляция тканей (нейронов, клеток сердца, клеток надпочечников и т.д.) для активации или ингибирования физиологического ответа клеток.

“Thermogenetic neurostimulation with single-cell resolution”, Ermakova Y.G., Lanin A.A., Fedotov I.V., Roshchin M., Kelmanson I.V., Kulik D., Bogdanova Y.A., Shokhina A.G., Bilan D.S., Staroverov D.B., Balaban P.M., Fedotov A.B., Sidorov-Biryukov D.A., Nikitin E.S., Zheltikov A.M., Belousov V.V., Nature communications, **8**, 15362–15362 (2017).

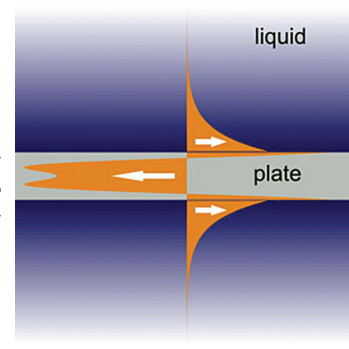
## ПРЕДСКАЗАНЫ НЕОБЫЧНЫЕ СВОЙСТВА ОБРАТНЫХ ВОЛН

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предсказали необычные свойства обратных волн — бегущих волн, которые движутся к источнику излучения волны, — в упругих пластинах. О своей работе ученые написали в статье, которая была опубликована в журнале *Ultrasonics*.

«Мы предсказали необычные свойства обратных волн, переносящих энергию навстречу фазовому фронту в упругих пластинах и излучающих ее во внешнюю среду. Обнаружено, что суммарный средний по времени поток энергии вдоль пластины для этих волн обращается в ноль, несмотря на то, что потоки энергии в пластине и вне ее по отдельности не равны нулю. Доказаны нарушения ранее считавшегося универсальным принципа Рэля о равнораспределении энергий и общего правила о равенстве энергетической и групповой скоростей в таких бездиссипативных волноводах», — рассказал Владимир Можяев, один из авторов статьи, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры акустики отделения радиофизики физического факультета МГУ.

Несмотря на попытки проанализировать бегущие обратные волны Лэмба, на сегодняшний день ни одно исследование не изучило их энергетические характеристики, при том что эти параметры относятся к одной из фундаментальных волн всех природ. В ходе данной работы ученые занимались исследованием этих характеристик.

Суммарный средний по времени поток энергии вдоль пластины для этих волн обращается в ноль.



Обнаруженная учеными энергетическая характеристика обратных волн дала толчок к решению фундаментального вопроса о том, как правильно определить скорость энергии в таком необычном случае. Другой вопрос, который остается открытым: возможно ли вычислить скорость, если дифференцировать дисперсионные кривые так же, как групповую скорость волны. Третий вопрос состоит в обоснованности принципа Рэля. На все три вопроса ученые ответили в своей статье.

Работа проходила в сотрудничестве с учеными из Института радиотехники и электроники РАН.

“Unusual energy properties of leaky backward Lamb waves in a submerged plate”, I.A. Nedospasov, V.G.Mozhaev, *Ultrasonics*, **77**, p. 95–99 (2017).

## РАЗРАБОТАН ПОДХОД, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ИСПОЛЬЗОВАТЬ МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Сотрудники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова предложили способ использовать искусственный интеллект для поиска новых химических соединений с заданными свойствами. О своей работе ученые рассказали в статье, которая была опубликована в журнале *Molecular Informatics*.

Искусственный интеллект — это комплекс машин и программ, которые способны выполнять творческие функции, что ранее было присуще только человеку. Искусственный интеллект работает на основе нейронных сетей, которые имитируют работу человеческого мозга.

«Разработан подход, позволяющий использовать методы искусственного интеллекта на базе нейронных сетей, которые имитируют обработку информации в головном мозге человека с использованием ключевых концепций статистической физики, для поиска новых химических соединений с заданными свойствами», — рассказал один из авторов статьи Игорь Баскин, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов отделения физики твердого тела физического факультета МГУ.

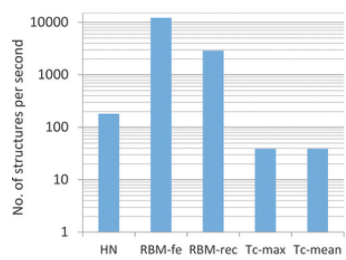
Авторы работы отмечают, что разработанный подход существенно расширяет возможности и устраняет недостатки традиционно используемой для этой цели проце-

дуры виртуального скрининга. Сейчас ученым приходится «просеивать» на компьютере большие базы данных, которые содержат структуры потенциально возможных химических соединений. Такая работа проводится на основе принципа молекулярного подобию.

«В дальнейшем предполагается распространить разработанную методологию на дизайн новых материалов и каталитических систем», — заключил ученый.

Работа выполнена при участии Химического института имени А.М. Бутлерова Казанского федерального университета.

“Energy-Based Neural Networks as a Tool for Harmony-Based Virtual Screening”, N.I. Zhokhova, I.I. Baskin, *Molecular Informatics*, First published: 19 June (2017).



## ГЛОБАЛЬНАЯ СЕТЬ ТЕЛЕСКОПОВ-РОБОТОВ МАСТЕР ОТКРЫЛА ПОЛЯРИЗАЦИЮ СОБСТВЕННОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

Ученым МГУ впервые удалось зарегистрировать поляризацию собственного оптического излучения гамма-всплесков — самых мощных и очень коротких взрывов во Вселенной, длящихся несколько десятков секунд. Собственным излучением гамма-всплесков называется оптическое излучение в момент взрыва. Такие наблюдения представляют собой сложнейшую научно-техническую задачу, поскольку взрыв длится менее нескольких минут. И эту задачу удалось решить в МГУ с помощью Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР (Мобильная Астрономическая Система Телескопов-Роботов). Результаты работы опубликованы в журнале *Nature*.



Робот-телескоп МАСТЕР на Канарских островах впервые открыл поляризацию собственного излучения гамма-всплесков 25 июня 2016 года. Тенерифе. Обсерватория Тейде Канарского института астрофизики (Испания).

25 июня 2016 года в 22 часа 40 минут 16 секунд всемирного времени космическая обсерватория имени Энрике Ферми (НАСА, США) зарегистрировала всплеск гамма-излучения, который впоследствии оказался лишь предвестником настоящей гигантской вспышки. Через 31 секунду российский робот-телескоп Глобальной сети МАСТЕР МГУ имени М.В.Ломоносова, расположенный на Канарах (Обсерватория Института астрофизики Канарских островов, Тенерифе, Испания), получил сообщение Ферми и еще через 26 секунд начал съемку квадрата ошибок оптическими камерами.

Несмотря на большие ошибки в первичных координатах гамма-всплеска, весь квадрат ошибок попал в камеры сверхширокого поля МАСТЕР-ШОК — наземный аналог камер ШОК, установленных на борту космической обсерватории «Ломоносов». Поэтому МАСТЕР уже «смотрел» в нужное место, когда через 131 секунду после первого сообщения космическая обсерватория НАСА зарегистрировала саму катастрофу с высокой координатной точностью. Теперь к Канарскому МАСТЕРу присоединился Крымский МАСТЕР-Таврида МГУ — новый узел Глобальной сети, работавший тогда в тестовом режиме. Через 12 секунд после получения уточненных координат в 22 часа 44 минуты 30 секунд МАСТЕР-Таврида получил первые кадры.

Главная задача состояла в том, чтобы обнаружить поляризацию собственного оптического излучения гамма-всплесков. Собственное оптическое излучение — это оптическое излучение, возникающее синхронно с гамма-излучением. Наблюдение собственного оптического излучения — одна из сложнейших задач современной

экспериментальной астрофизики, поскольку требует полной роботизации процесса наблюдений и оригинальной конструкции самого телескопа.

В результате МАСТЕР не только снял весь фильм о взрыве с лучшим разрешением по времени, но и впервые в истории зарегистрировал поляризацию оптического излучения гамма-всплеска в тот момент, когда вспышка еще продолжалась.

Гамма-всплеск GRB160625B оказался одним из самых мощных космических взрывов, который возник в узком потоке релятивистских частиц, ускоренных электромагнитным полем образующейся на наших глазах быстровращающейся черной дыры на другом конце Вселенной.

«Обнаруженная поляризация собственного оптического излучения показала, что жерло самой мощной космической пушки образовано упорядоченным мощным магнитным полем, сформированным образующейся черной дырой», — говорит руководитель проекта МАСТЕР, профессор отделения астрономии физического факультета МГУ, заведующий лабораторией космического мониторинга Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ, доктор физико-математических наук Владимир Липунов.



Глобальная сеть космического мониторинга МАСТЕР МГУ.

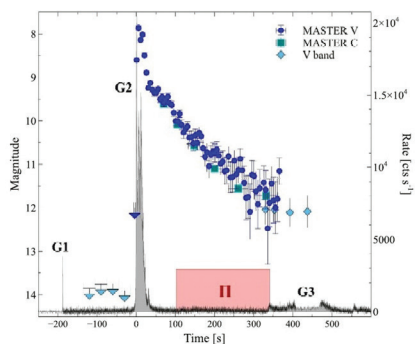
15 лет назад, весной 2002 года, группа ученых МГУ под руководством профессора Владимира Липунова при финансовой поддержке Московского объединения «Оптика» приступила к созданию первого российского, полностью роботизированного телескопа МАСТЕР, способного наблюдать самые мощные и очень короткие взрывы во Вселенной — гамма-всплески, которые длятся, как правило, несколько десятков секунд. Первые наблюдения были

проведены уже осенью 2002 года. За шесть последовавших лет наблюдений группа энтузиастов зарегистрировала только два гамма-всплеска.



Телескоп-робот МАСТЕР-Таврида на Крымской обсерватории МГУ. 25 июня 2016 г. телескоп принял участие в наблюдении сверхяркого гамма-всплеска GRB 160625B.

Этот крупномасштабный астрофизический эксперимент удался благодаря взаимодействию ученых нескольких стран, создавших уникальное роботизированное оборудование в гамма-лучах, инфракрасном излучении, и единственной в мире глобальной оптической поисковой сети телескопов-роботов МАСТЕР, созданной по программе развития МГУ имени М.В.Ломоносова при поддержке Московского объединения «Оптика». Среди соавторов статьи в Nature большинство (8 человек) — ученые из России. Работа проходила совместно с коллегами из Испании, ЮАР, США, Мексики, Великобритании, Италии, Израиля, Австралии.

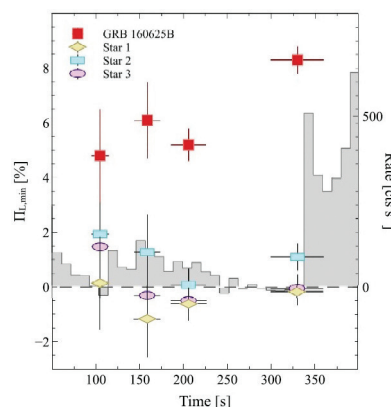


Черным цветом показаны наблюдения гамма-события, зарегистрированные американской космической обсерваторией Ферми 25 июня 2016 года (G1 — предвестник, G2 — основной импульс, G3 к повторный импульс). Синим и голубым показаны оптические наблюдения двух роботов МАСТЕР на Канарских островах и в Крымской обсерватории МГУ. Обратите внимание на треугольнички слева от основного события — это верхние пределы на поток излучения.

Сейчас создано 8 роботизированных обсерваторий МАСТЕР, расположенных на четырех континентах в Северном и Южном полушариях. Глобальная сеть МАСТЕР стала лидером ранних оптических наблюдений гамма-всплесков в мире. Параллельно МАСТЕР открыл бо-

лее тысячи взрывных явлений во Вселенной. МАСТЕР внес решающий вклад в оптический поиск источника первого гравитационно-волнового всплеска, обнаруженного детектором LIGO (США); также он сотрудничает с большими нейтринными установками ICECube (США) и ANTARES (Франция). Попутно Глобальная сеть МАСТЕР открыла 8 потенциально опасных астероидов.

Регистрация поляризации оптического излучения, синхронного с гамма-излучением, является не только большим научным достижением, о котором команда МАСТЕР мечтала 15 лет с момента начала проекта, но и свидетельством высокого качества отечественных инновационных технологий, созданных при участии ученых МГУ и ОАО «МО «Оптика»».



Обнаружение поляризации собственного (синхронного с гамма-) оптического излучения гамма-всплеска GRB160625B телескопом-роботом МАСТЕР, установленным на Канарских островах (красные квадраты — переменная поляризация гамма-всплеска, голубые, сиреневые и желтые — поляризация опорных звезд, серым цветом показана интенсивность гамма-излучения).

Уникальное математическое обеспечение, созданное российскими учеными, может быть использовано для решения не только фундаментальных научных задач, но и прикладных, среди которых борьба с космическими угрозами, мониторинг ближнего космоса, наблюдение космического мусора.

В проекте МГУ участвуют Благовещенский государственный педагогический университет, Иркутский государственный университет, Крымская астрономическая станция МГУ и Кисловодская солнечная станция Пулковской обсерватории, Южноафриканская астрономическая обсерватория (ЮАР), Канарский институт астрофизики (Испания), Астрономическая обсерватория национального университета г. Сан-Хуан (Аргентина).

“Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B”, E. Troja, V.M. Lipunov, C.G. Mundell, N.R. Butler, A.M. Watson, S. Kobayashi, S.B. Cenko, F.E. Marshall, R. Ricci, A. Fruchter, M.H. Wieringa, E.S. Gorbovskey, V. Kornilov, A. Kutyrev, W. H. Lee, V. Toy, N.V. Tyurina, N.M. Budnev, D.A.H. Buckley, J. González, O. Gress, A. Horesh, M.I. Panasyuk, J.X. Prochaska, E. Ramirez-Ruiz, R. Reboló Lopez, M.G. Richer, C. Román-Zúñiga M. Serra-Ricart, V. Yurkov, N. Gehrels, *Nature*, **547**, p. 425–427 (2017).

## Генеральный директор Фонда перспективных исследований Андрей Иванович Григорьев посетил физический факультет МГУ

3 марта 2017 года генеральный директор Фонда перспективных исследований Андрей Григорьев, ректор МГУ Виктор Садовничий и декан физического факультета Николай Сысоев обсудили перспективы сотрудничества между МГУ и ФПИ. В ходе визита Андрей Григорьев посетил лабораторию квантовых оптических технологий, созданную на базе Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2014 году для работы над проектом ФПИ в области квантовых коммуникаций.

В составе лаборатории действуют несколько научных групп, которые совместно решают комплекс взаимосвязанных задач для разных ветвей современной квантовой информатики — от устройств защищенных линий связи до квантовых ретрансляторов и вычислителей/симуляторов.

На встрече были подведены итоги деятельности лаборатории в рамках сотрудничества ФПИ и МГУ в области квантовой обработки информации. Одним из



результатов сотрудничества стало успешное испытание системы квантовой коммуникации между двумя городами Московской области в полностью автоматическом режиме.

## INTERNATIONAL DAY OF LIGHT

### Исполнительный совет ЮНЕСКО поддержал инициативу ежегодного проведения Международного дня света

Международный год света и световых технологий был провозглашен в 2015 г. Генеральной Ассамблеей ООН и проводился под руководством ЮНЕСКО в рамках ее Международной программы по фундаментальным наукам — более 10 000 различных мероприятий были проведены в 148 странах мира. По оценкам ЮНЕСКО Международный год света смог охватить более 100 миллионов человек.

После успешного проведения года света в 2015 году, Организация Объединенных Наций одобрила проведение ежегодного Международного дня света, который будет провозглашен на Генеральной конференции ЮНЕСКО в ноябре 2017 года, и первое празднование которого состоится 16 мая 2018 года. Инициатива введения такого праздника принадлежала представителям России, Ганы, Мексики и Новой Зеландии и была поддержана представителями многих других стран. В реализации этой инициативы, как и Международного года света, физический факультет МГУ принял непосредственное участие, поскольку профессор факультета В.Н. Задков входит в международный комитет по организации этих инициатив от России.




Цель международного дня света заключается в привлечении внимания к центральной роли света в жизни граждан всего мира в различных областях науки, культуры и искусства, образования, а также в таких сферах, как медицина, информационные технологии и энергетика.

Официальная церемония первого празднования состоится в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже 16 мая 2018 года с участием лауреатов Нобелевской премии и видных ученых, а также широкого круга партнеров со всего мира.

Целью проведения Международного дня света станет дальнейшее укрепление той определяющей роли, которую свет играет в жизни человека и во всех областях человеческой деятельности, включая науку, культуру, образование, устойчивое развитие, медицина и энергетика. Популяризация темы света позволит привлечь многих людей из разных слоев общества во всем мире к участию в мероприятиях Дня света, что благотворно повлияет на популяризацию науки и техники, культуры и искусства и, таким образом послужит инструментом достижения основных задач ЮНЕСКО в развитии образования, равенства и мира.





## «Швабе» и физический факультет МГУ подписали соглашение о сотрудничестве

**Швабе**  
Сила света

На Международном военно-техническом форуме «Армия-2017» холдинг «Швабе» и физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова заключили соглашение о партнерстве. В рамках сотрудничества организациями будут проводиться совместные работы в области разработки новых технологий и продукции гражданского назначения в соответствии со стратегией развития до 2025 года. Документ подписали генеральный директор предприятия Холдинга «Швабе» – Научно-производственного объединения «Орион» (НПО «Орион») Евгений Чепурнов и декан физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук, профессор Николай Сысов.

«С физическим факультетом МГУ мы взаимодействуем впервые. Уверен, что данное научно-техническое партнерство будет успешным, результативным и послужит основой для разработки и реализации различных проектов», – отметил генеральный директор Научно-производственного объединения «Орион» Евгений Чепурнов.

Согласно подписанному сторонами соглашению НПО «Орион» и физический факультет МГУ будут осуществлять совместную науч-

но-исследовательскую деятельность в области естественных и технических наук, разрабатывать и производить новые технологии и продукцию гражданского назначения в соответствии со стратегией развития до 2025 года.

«В настоящее время ученые нашего факультета занимаются не только фундаментальными исследованиями, но и опытно-конструкторскими разработками. В Научно-производственном объединении «Орион» мы видим сильного и серьезного индустриального партнера. Убежден, что в ходе сотрудничества мы будем органично дополнять друг друга», – сообщил декан физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук, профессор Николай Сысов.

Кроме того, данное сотрудничество будет способствовать созданию рабочих мест для талантливых ученых и координации научных исследований в области научно-методических основ развития промышленного комплекса.

Кроме того, данное сотрудничество будет способствовать созданию рабочих мест для талантливых ученых и координации научных исследований в области научно-методических основ развития промышленного комплекса.

## Визит директора Департамента оборонной промышленности Правительства Российской Федерации и генерального директора Фонда перспективных исследований в МГУ

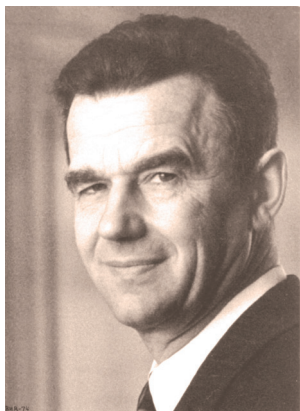
14 июля 2017 года директор Департамента оборонной промышленности Правительства Российской Федерации Николай Архипов и генеральный директор Фонда перспективных исследований Андрей Григорьев посетили МГУ имени М.В. Ломоносова, где встретились с деканом физического факультета Николаем Сысовым.

Николай Архипов и Андрей Григорьев ознакомились с последними достижениями научных групп факультета в области создания инновационной продукции. Ученые продемонстрировали новые разработки в области защищенных систем связи для специальных применений, а также рассказали о фундаментальных и прикладных исследованиях по радиофотонике и углеродной электронике.

В ходе визита обсуждались возможности внедрения разработок факультета в промышленное производство и важность налаживания деловых контактов между Университетом и промышленными предприятиями Российской Федерации.



## КОНКУРС ИМЕНИ Р.В. ХОХЛОВА НА ЛУЧШУЮ СТУДЕНЧЕСКУЮ НАУЧНУЮ РАБОТУ 2017 ГОДА



В этом году конкурс студенческих работ им. академика Р.В. Хохлова прошел на физическом факультете в июне. Кафедры выдвигали на конкурс лучшие выпускные квалификационные работы своих студентов (магистерские диссертации, дипломные работы специалистов и бакалавров).

Конкурс получился масштабным, а конкуренция – высокой. Всего было подано 55 дипломных работ (что в два раза больше, чем подавалось на конкурсы прошлых лет), выполненных на высоком научном уровне (26 дипломов бакалавров и 29 диссертаций магистров и специалистов).

Дипломами и денежными призами были награждены как магистры/специалисты, так и бакалавры.

Жюри конкурса по результатам заседания выделило 10 победителей среди бакалавров:

2 диплома первой степени (денежная премия 20 тыс. руб.), 3 диплома второй степени (денежная премия 15 тыс. руб.), 5 дипломов третьей степени (денежная премия 10 тыс. руб.).

Дипломы первой степени получили сразу две студентки бакалавриата:

**Куликова Дарья Павловна** с кафедры физики колебаний за работу «Зарождение и динамика цилиндрических магнитных доменов в электрическом поле» (научный руководитель: асс. **Николаева Е.П.**) и **Кирчева Анна Петровна** с кафедры физики космоса за работу «Влияние межгалактических электромагнитных каскадов на гамма-спектры блазаров» (научный руководитель: н.с. **Джатдоев Т.А.**).



Кирчева Анна Петровна, бакалавр-победитель конкурса Хохлова (диплом первой степени).

Дипломы второй степени получили бакалавры:

**Акмаев Марк Александрович** (кафедра ОФ и физики конденсированного состояния), **Андряхина Юлия Сергеевна** (кафедра Акустики), **Попкова Анна Андреевна** (кафедра квантовой электроники).



Мигаль Екатерина Александровна, магистр-победитель конкурса Хохлова (диплом первой степени).

Дипломы третьей степени получили бакалавры:

**Федотов Сергей Юрьевич** (кафедра молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества), **Жильцова Анна Александровна** (кафедра ОФ), **Филиппов Владислав Игоревич** (кафедра квантовой теории и ФВЭ), **Мацукатова Анна Никосовна** (кафедра ОФ и молекулярной электроники), **Сумин Михаил Владимирович** (кафедра физики атомного ядра и квантовой теории столкновений).

Среди работ магистров и специалистов в ходе первого заседания жюри было отобрано 11 лучших. За распределение призовых мест специалисты и магистры боролись во втором туре, который включал очное выступление в ЦФА и ответы на вопросы жюри. В ходе напряженной борьбы места среди специалистов и магистров распределились следующим образом:

1 диплом первой степени (денежная премия 30 тыс. руб.), 2 диплома второй степени (денежная премия 20 тыс. руб.), 8 дипломов третьей степени (денежная премия 10 тыс. руб.).

Диплом первой степени получила студентка магистратуры **Мигаль Екатерина Александровна** с кафедры общей физики и волновых процессов за работу «Генерация фемтосекундного излучения среднего инфракрасного диапазона при параметрическом усилении с накачкой хром-форстеритовым лазером» (научный руководитель: доц. **Потемкин Ф.В.**).

Дипломы второй степени получили магистры:

**Соколова-Лапа Екатерина Андреевна** (кафедра Астрофизики и звездной астрономии), **Балабин Федор Алексеевич** (кафедра БИОФИЗИКИ).

Дипломы третьей степени получили магистры:

**Имашева Лилия Тимуровна** (кафедра ОЯФ), **Колупаева Людмила Дмитриевна** (кафедра физики элементарных частиц), **Егоров Роман Владимирович** (кафедра фотоники и физики микроволн), **Колеватов Роман Сергеевич** (кафедра физики частиц и космологии), **Блинов Михаил Ильич** (кафедра магнетизма), **Зефилов Вадим Викторович** (кафедра физики полимеров и кристаллов), **Фантина Настасия Павловна** (кафедра ОФиМЭ), **Елфимов Денис Андреевич** (кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем).

*Поздравляем* победителей и выражаем огромную благодарность жюри конкурса!

А. Г. Ягола награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации № 215 от 18 мая 2017 года «за заслуги в развитии науки, образования, подготовке квалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу» профессор кафедры математики физического факультета МГУ, доктор физико-математических наук Анатолий Григорьевич Ягола награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.



Ф.Я. Халили



В.П. Митрофанов



С.П. Вятчанин

Премии имени М.В. Ломоносова за научные работы I степени удостоены ученые физического факультета.

Решением Ученого совета МГУ премия имени М.В. Ломоносова за научные работы I степени присуждена заведующему кафедрой физики колебаний профессору Сергею Петровичу ВЯТЧАНИНУ, профессору кафедры физики колебаний физического факультета Валерию Павловичу МИТРОФАНОВУ и профессору той же кафедры Фариту Явдатовичу ХАЛИЛИ за цикл работ «Дорога к открытию гравитационных волн».

Сердечно поздравляем профессоров кафедры физики колебаний физического факультета с присуждением главной награды университета.

*Поздравляем!*

## «Гран-При» Всемирной Организации Интеллектуальной собственности (WIPO) удостоена разработка ученого кафедры общей физики и волновых процессов



*Поздравляем!*

В июне в г. Питтсбург (США) прошла 32-я Международная выставка изобретений и новых продуктов "INPEX-2017", на которой было представлено более 650 разработок ученых из 25 стран мира. Разработка сотрудника кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ В.А. Базыленко "Новый способ защиты от подделки ценных бумаг методом дефектной акустолюминесценции наноструктурированной защитной метки" была удостоена высшей награды — "Гран-При" WIPO (World Intellectual Property Organization). Применение данного способа практически исключает возможность подделки любых ценных бумаг, векселей, банкнот, так как посторонним неизвестен ни материал защитной метки, ни его наноструктура, ни длина волны и мощность ультразвуковых волн.



## МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО МАГНЕТИЗМУ MISM-2017



Совместная фотография участников на ступенях физического факультета МГУ.

С 1 по 3 июля 2017 года на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова уже в седьмой раз прошел Московский международный симпозиум по магнетизму — MISM-2017. Финансовую поддержку симпозиуму оказал Российский фонд фундаментальных исследований (грант 17-32-20287).



На пленарном докладе проф. Стюарта Паркина (S. Parkin, Германия) в аудитории имени Р.В. Хохлова.

MISM является крупнейшей в России международной конференцией по магнетизму. В этот раз для участия в MISM было подано 1131 тезисы, из которых в программу симпозиума были включены 953. Непосредственное участие в работе симпозиума приняли участие 886 человек, представивших 880 работ. Научная программа MISM-2017 за четыре рабочих дня включала 10 пленарных лекций по наиболее актуальным проблемам магнетизма, устные заседания 12 секций, на которых было сделано 383 сообщения, а также соответствующие стендовые секции, на которых было представлено почти 500 стендовых докладов.

Следует отметить обширную географию участников - помимо более 650 россиян в симпозиуме приняли участие 207 зарубежных коллег из 34 стран. Наиболее многочисленными были делегации из Германии (48 человек), Японии (27 человек) и Франции (22 человека). Из стран бывшего СССР были представители Украины (4 участника), Эстонии, Латвии, Белоруссии, Таджикистана и Узбекистана (по одному участнику).

Научная программа MISM-2017 включала все самые интересные и актуальные направления современной физики магнитных явлений, обсуждавшиеся на следующих секциях:

- Спинтроника и магнитотранспорт
- Магнитофотоника
- Высокочастотные свойства и метаматериалы
- Магнитные наноструктуры и низкоразмерный магнетизм
- Магнитожесткие и магнитномягкие материалы
- Материалы с памятью формы и магнитокалорический эффект
- Магнитные полупроводники и оксиды
- Мультиферроики
- Магнетизм и сверхпроводимость
- Магнитные мягкие материалы (магнитные полимеры, жидкости, суспензии)
- Магнетизм в биологии и медицине
- Исследование магнетизма с помощью синхротронного и нейтронного излучений.

Для выступления с пленарными докладами были приглашены ведущие мировые ученые из России, Германии, Франции, Испании, США и др., под руководством которых ведутся передовые исследовательские проекты: Стюарт Паркин (Германия), Андрей Роголев (Франция), Каролина Росс (США), Игорь Любутин (Россия), Рой Чантрелл (Великобритания), Джосеп Фонтекуберта (Испания), Сергей Демокритов (Германия), Андрей Кирилюк (Нидерланды), Олег Третьяков (Япония), Алексей Кимель (Нидерланды).

На секционных заседаниях симпозиума докладывались результаты последних

исследований российских и зарубежных ученых, и многие доклады инициировали горячее обсуждение как в аудиториях, так и вне их.

Труды симпозиума будут опубликованы в специальных выпусках журналов Journal of magnetism and magnetic materials (приглашенные доклады) и European Physics Journal. Web of conference. Всего в настоящее время рецензируются более 80 статей в JMMM и около 180 в EPJ.

По отзывам участников к организации симпозиума нет никаких претензий, за что нужно выразить признательность всем участникам локального организационного комитета, в составе которого работали студенты, аспиранты и сотрудники кафедры магнетизма, кафедры квантовой электроники, колебаний, общей физики, а также большая команда студентов и аспирантов из Московского технологического университета (МИРЭА) под руководством доцента А.Н.Юрасова.

Фотоматериалы предоставлены Организационным комитетом MISM-2017 (<https://mism.magn.ru/>, автор — Савкин С.А.)

Сопредседатель оргкомитета MISM-2017  
Николай Перов.



На заседаниях секций симпозиума. Слева — во время устных сообщений, справа — во время постерных секций.



Члены локального организационного комитета после завершения симпозиума 5 июля 2017 года на ступеньках физфака.



## КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛОМОНОСОВ-2017»

Каждый год в начале апреля в Московском университете проходит важное мероприятие для студентов, аспирантов и молодых ученых – научная конференция «Ломоносов». В этом году конференция «Ломоносов» в Московском университете проходит 24-й раз. С каждым годом число участников увеличивается. В этом году установлен новый рекорд секции «Физика» по количеству поданных заявок на участие – 556. Всего же на секцию «Физика» было принято 527 докладов, которые были распределены по 16 подсекциям. На подсекции «Радиофизика», «Оптика» и «Физика твердого тела» было подано самое большое количество докладов, поэтому в день проведения конференции, 13 апреля 2017 года, заседания этих подсекций проходили в 10 аудиториях одновременно.

Среди участников конференции 390 представителей Москвы и Московской области, 138 участников из других городов России и стран СНГ. 315 студентов, аспирантов и молодых ученых физического факультета Московского университета участвовали в конференции.

В жюри подсекций вошли ведущие сотрудники физического факультета, а также молодые ученые, добившиеся значительных успехов в своей области.

1. Астрофизика – I	доц. Потанин С.А.
Астрофизика – II	проф. Свертилов С.И.
2. Атомная и ядерная физика – I	доц. Широков Е.В.
Атомная и ядерная физика – II	с.н.с. Кузнецов А.А.
3. Биофизика – I	проф. Твердислов В.А.
Биофизика – II	проф. Лобышев В.И.
4. Геофизика	проф. Максимочкин В.И.
5. Математика и информатика	проф. Ягола А.Г.
6. Мат. моделирование – I	с.н.с. Плохотников К.Э.
Мат. моделирование – II	проф. Чуличков А.И.
7. Молекулярная физика	проф. Уваров А.В.
8. Нелинейная оптика – I	проф. Гордиенко В.М.
Нелинейная оптика – II	проф. Савельев-Трофимов А.Б.
9. Оптика – I	с.н.с. Доленко Т.А.
Оптика – II	проф. Короленко П.В.
Оптика – III	проф. Наний О.Е.
10. Медицинская физика – I	проф. Пирогов Ю.А.
Медицинская физика – II	доц. Андреев В.Г.
11. Радиофизика – I	проф. Митрофанов В.П.
Радиофизика – II	доц. Хохлова В.А.
Радиофизика – III	доц. Белотелов В.И.
12. Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел	проф. Кульбачинский В. А.
13. Твердотельная наноэлектроника – I	доц. Форш П.А.
Твердотельная наноэлектроника – II	ст. преп. Павликов А.В.

14. Теоретическая физика – I	проф. Жуковский В.Ч.
Теоретическая физика – II	проф. Поляков П.А.
15. Физика магнитных явлений – I	проф. Зубов В.Е.
Физика магнитных явлений – II	проф. Шалыгина Е.Е.
16. Физика твердого тела – I	проф. Бушуев В.А.
Физика твердого тела – II	проф. Лебедев А.И.
Физика твердого тела – III	доц. Орешко А.П.
Физика твердого тела – IV	доц. Ормонт М.А.

Участники конференции делали устные доклады, члены жюри задавали вопросы, курировали обсуждение докладов.

По окончании заседаний на каждой подсекции жюри выбрало лучшие доклады. Далее приведен список лучших докладчиков по подсекциям.

1. «Астрофизика»:	Жамков А.С. Физический факультет МГУ Унатлоков И.Б. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», студент
2. «Атомная и ядерная физика»:	Колупаева Л.Д. Физический факультет МГУ Кнышев В.В. Нац. исслед. Томский политехнический университет, Физико-технический институт
3. «Биофизика»:	Якушева А.А. Физический факультет МГУ Скурида В.Д. Физический факультет МГУ
4. «Геофизика»:	Карпов В.А. Физический факультет МГУ
5. «Математика и информатика»:	Гладун В.Э. Физический факультет МГУ Мангура П.А. Физический факультет МГУ
6. «Математическое моделирование»:	Балакин Д.А. Физический факультет МГУ Сотников Я.А. Физический факультет МГУ
7. «Медицинская физика»:	Шалковская П.Ю. Самарский нац. Исслед. университет имени академика С.П. Королева Литвиненко А.Л. Новосибирский гос. университет
8. «Молекулярная физика»:	Самойлов И.С. Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук
9. «Нелинейная оптика»:	Черенков А. В. Физический факультет МГУ Кузнецов Н.Ю. Физический факультет МГУ
10. «Оптика»:	Кудрявцев Д.А. Владимирский ГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Институт прикл. математики и информатики, био- и нанотехнологий Сафронов К.Р. Физический факультет МГУ Новиков В.Б. Физический факультет МГУ

11. «Радиофизика»:

Егоров Р.В. Физический факультет МГУ  
 Матюшечкина М.С. Физический факультет МГУ  
 Лесик М.В. Физический факультет МГУ

12. «Сверхпроводящие и электронные свойства тв. тел»:

Костюченко Я.В. Физический факультет МГУ

13. «Твердотельная наноэлектроника»:

Шулежко В.В. Ульяновский гос. университет  
 Пылев И.С. Физический факультет МГУ

14. «Теоретическая физика»:

Мухаева А. И. Государственный университет  
 «Дубна», Факультет естеств. и инженерных наук  
 Теретенков А.Е. Физический факультет МГУ

15. «Физика магнитных явлений»:

Алехина Ю.А. Физический факультет МГУ  
 Петров П.С. Физический факультет МГУ

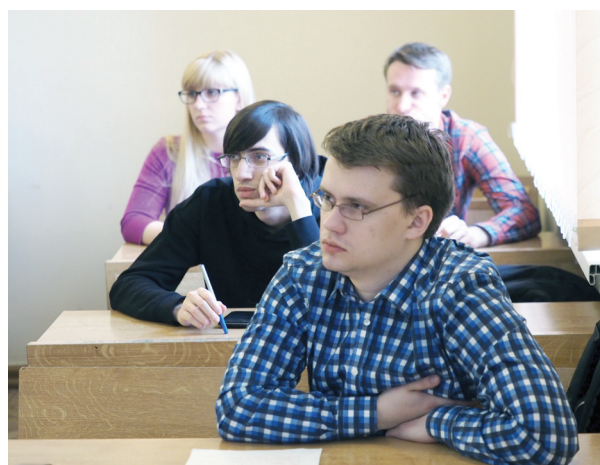
16. «Физика твердого тела»:

Шафрай П.И. Физический факультет МГУ  
 Алексеев А.М. Физический факультет МГУ  
 Снегирев Н.И. Крымский федеральный университет  
 имени В. И. Вернадского  
 Бородако К.А. Национальный исследовательский  
 ядерный университет «МИФИ»

Председатели подсеций отметили высокий уровень докладов и признались, что было очень сложно выбрать победителя.

Хотелось бы выразить благодарность председателям подсеций за отбор докладов, проведение заседаний и выбор победителей. Это нелегкая, но очень необходимая работа.

Традиционно организацией научной конференции в рамках форума «Ломоносов» занимается научный отдел физического факультета. В этом году эту огромную работу организовал и блестяще проделал ответственный секретарь секции «Физика» Александр Паршинцев.



## «ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ» — 2017



В апреле в Московском университете прошла ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения». На нашем факультете работала секция «ФИЗИКА».

Секция «ФИЗИКА» была представлена десятью подсекциями. В этом году Отделение прикладной математики образовало две подсекции: «Математическая физика» и «Прикладная математика и математическое моделирование».



Программа конференции в этом году была существенно более насыщенной по сравнению с прошлыми годами. Было сделано девяносто два доклада, авторами которых являлись как сотрудники физического факультета, так и ученые других факультетов Московского университета и научных организаций РАН.

Во всех докладах были представлены наиболее значимые результаты научных исследований, полученные, как правило, за последние годы. Многие из них были озвучены впервые на заседаниях подсекций конференции «Ломоносовские чтения».

### Подсекции секции «Физика»:

Оптика и лазерная физика (профессор В.А.Макаров, профессор П.В. Короленко, профессор А.В.Андреев).

Радиофизика, физическая электроника и акустика (профессор А.Ф.Александров, доцент А.Ф.Королев, профессор А.И.Коробов).

Физика конденсированного состояния (профессор О.В.Снигирев, профессор В.А. Кульбачинский, профессор Д.Р.Хохлов).

Биологическая и медицинская физика (академик В.Я.Панченко, профессор В.А.Твердислов, профессор Л.В.Яковенко).



Теоретическая физика (профессор В.Ч.Жуковский, профессор Б.И.Садовников).

Математическая физика, (профессор В.Ф.Бутузов, профессор Н.Н.Нефедов).

Прикладная математика и математическое моделирование (академик С.Н.Васильев, профессор А.Н.Боголюбов, профессор А.И.Чуличков).

Методика преподавания (профессор А.М.Салецкий, профессор Б.С.Ишханов, доцент П.А.Форш).

Науки о Земле (профессор М.А.Носов, профессор В.Б.Лапшин, чл.-корр. И.И.Мохов).

Газодинамика, термодинамика и ударные волны (профессор Н.Н.Сысоев, профессор И.А.Знаменская, профессор В.М.Шибков).

Самыми активными в части количества и качества представленных докладов оказались подсекции «Прикладная математика и математическое моделирование» и «Науки о Земле». Основная заслуга здесь, прежде всего, в высокой заинтересованности и ответственности, проявленных сопредседателями данных подсекций при подготовке и проведении конференции.

В настоящее время готовится выпуск отдельного номера электронного журнала «Ученые записки физического факультета Московского университета», посвященного конференции «Ломоносовские чтения – 2017». Авторам докладов было предложено представить статьи, сделанные на базе материалов конференции в расширенном виде.



В марте 2017 года состоялась защита докторской диссертации доцента кафедры физики твердого тела Киселевой Татьяны Юрьевны на тему:  
**«МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ  
 ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
 ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ НАНОКОМПОЗИТОВ»**

Прогресс современной промышленности во многом обусловлен достижениями в разработке новых перспективных функциональных материалов с размерами функциональных элементов нанометрового диапазона. К таким материалам относят порошковые наноконпозиты, которые применяют как самостоятельный материал, так и в качестве прекурсора или составляющего элемента при конструировании систем с заданными физико-химическими характеристиками. Функциональность такого материала обеспечивается возможностью управления его свойствами посредством внешнего воздействия.

Одним из основополагающих элементов в жизнедеятельности человека является железо. Сформировавшиеся научно-технические направления по разработке технологий получения железосодержащих наноструктурных материалов (наночастиц, наноструктурированных 2D и 3D-композитных материалов) с высокими механическими, магнитными, электрическими, каталитическими и другими свойствами, находят активное применение в промышленности, а также в сферах биотехнологий, экологии и медицины. Результаты исследований формирования локальной атомной, электронной и магнитной структуры таких материалов, позволяют установить фундаментальные закономерности возникновения взаимосвязи структуры с функционально важными макроскопическими свойствами вещества. В случае композитных систем с наличием локальной структурной неоднородности, разных типов структурного и магнитного упорядочения, полидисперсности и эффектов, превносимых наносостоянием, существующий к настоящему времени спектр структурных методов, позволяющий исследовать эти системы на атомно-молекулярном уровне, испытывает ряд вполне известных затруднений. Для железосодержащих систем метод мессбауэровской спектроскопии, использующий ядро Fe в качестве локального зонда, имеет весомые преимущества.

Диссертационная работа Киселевой Т.Ю. посвящена развитию метода гамма-резонансной спектроскопии в применении к разработке и контролю технологии получения новых функциональных структурно-неоднородных железосодержащих наноконпозитов, синтезируемых в сильно неравновесных условиях механохимического синтеза (композитные наночастицы, многокомпонентные порошковые системы), а также материалов на их основе (аморфные, наноструктурные керамико-металлические и метало-полимерные материалы). Современные инстру-



Киселева Татьяна Юрьевна

ментальные возможности для использования принципов классической мессбауэровской спектроскопии, реализованной в различных геометриях от традиционного варианта резонансного поглощения и рассеяния, до измерений вторичных процессов, а также температурные измерения *in situ*, позволяют с высокой достоверностью устанавливать корреляции между, составом, структурой, размером и свойствами функциональных составляющих материала. Продемонстрировано, что регистрация и анализ тонкой структуры спектров позволяют решать нестандартные задачи исследования свойств дисперсных магнетиков, идентифицировать пространственно разделенные области различного магнитного порядка, исследовать сверхмалые концентрации железосодержащей фазы и магнитную фазовую неоднородность. Все это позволило показать в работе эффективность мессбауэровских исследований для применения при разработке технологических основ целенаправленного синтеза функциональных материалов.



А. М. ПРОХОРОВ  
1916–2002

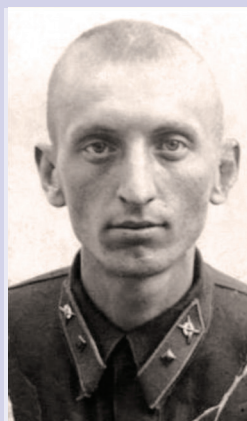
## Академик ПРОХОРОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ (1916–2002)

ПРОХОРОВ Александр Михайлович — академик, лауреат Нобелевской премии, директор ИОФ РАН, зав. кафедрой оптики и спектроскопии физического факультета МГУ.



После возвращения в 1923 году из Австралии в Россию. Саша с родителями: отцом Михаилом Ивановичем, матерью Марией Ивановной и сестрой Женей (1925 год).

Мл. лейтенант А.М. Прохоров (1941 г.).



Среди замечательной плеяды выдающихся ученых, которые внесли существенный вклад в развитие оптики на физическом факультете МГУ, видное место занимает Нобелевский лауреат академик Прохоров Александр Михайлович. В 1980–1988 г. он возглавлял кафедру оптики и спектроскопии (ныне кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем). На посту заведующего кафедрой он сменил профессора Королева Федора Андреевича. При Ф.А. Королеве кафедра оптики и спектроскопии стала крупнейшей кафедрой физического факультета, на которой развивался целый ряд новых научных направлений. К последним следует отнести прежде всего исследования в области физики лазеров. В этом отношении приход на кафедру Прохорова, ставшего в 1964 г. Нобелевским лауреатом за фундаментальные исследования по квантовой электронике, обеспечил несомненную преемственность в руководстве кафедрой. Став заведующим, А.М. Прохоров, опираясь на помощь своего заместителя профессора Корниенко Л.С., придал новый импульс развитию квантовой электроники и физики лазеров на кафедре. Получение в этом направлении ряда важных приоритетных результатов во многом было связано с тем, что интенсивно использовался задел, сформировавшийся в других традиционных для кафедры областях (спектроскопия, люминесценция и др.).

Биография А.М. Прохорова не совсем обычна. Он родился 11 июля 1916 г. в Атертоне (Австралия) в семье русского рабочего-революционера Михаила Ивановича Прохорова, бежавшего в Австралию от преследований царского режима. В 1923 г. семья вернулась на родину. В 1939 г. он с отличием окончил физический факультет Ленинградского государственного университета и поступил в аспирантуру ФИАНа. С началом Великой Отечественной войны А.М. Прохоров ушел на фронт, сражался в пехоте, в разведке, был награжден высоко ценимой медалью «За отвагу». В 1944 году, после тяжелого ранения, он был демобилизован и вернулся к научной работе, которой был предан до конца своих дней. В 1960 г. А.М. Прохоров избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1966 г. — академиком. Талант ученого сочетался в нем недюжинными организаторскими способностями. В Физическом институте АН СССР он руководил лабораторией колебаний, с 1968 г. являлся заместителем директора. В 1982 году был назначен директором Института общей физики АН СССР, который возглавлял до 1998 г., а затем являлся его почетным директором.

Характеризуя научную деятельность А.М. Прохорова, ее проблематику, нельзя не отметить присутствие в них четко выраженной "оптической" компоненты. Так, оптические представления лежали в основе высказанной им в 1958 г. идеи использовать открытый резонатор при создании квантовых генераторов. За основополагающую работу в области квантовой электроники, которая привела к созданию лазера и мазера, А.М. Прохоров и Н.Г. Басов были награждены Ленинской премией в 1959 г., а в 1964 г. совместно с Ч.Х. Таунсом — Нобелевской премией по физике. С тем, чтобы выделить оптическую составляющую в исследованиях по лазерной физике, он предложил регулярно организовывать конференции по оптике лазеров, которые регулярно проводятся в нашей стране. По его инициативе в различных подразделениях возглавляемого им института и кафедры стали интенсивно развиваться исследования, направленные на создание высокоэффективных волоконно-оптических линий связи. Материалы научных статей и монографий А.М. Прохорова широко используются в учебном процессе при подготовке специалистов-оптиков.

Любопытным представляется еще один эпизод его научной биографии. В 1950 г. он предложил новый режим генерации миллиметровых волн в синхротроне, установил их когерентный характер и по результатам этой работы защитил докторскую диссертацию "Исследование когерентного излучения электронов, ускоряемых в ускорителе типа синхротрона". В то время не было генераторов миллиметрового диапазона, поэтому разработанный А.М. Прохоровым синхротронный излучатель сразу нашел применение в спектроскопии. На этом эпизоде стоит остановиться хотя бы потому, что сейчас физика синхротронного излучения и ее приложения стали одним из основных научных направлений кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем, которую в настоящее время возглавляет член-корреспондент РАН профессор Ковальчук М.В. Благодаря его инициативе, сотрудники и студенты кафедры получили возможность использовать при проведении экспериментов излучение крупнейшего в стране синхротрона, созданного в возглавляемом М.В. Ковальчуком НИЦ "Курчатовский институт". Таким образом, на примере кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем видно, что такие лидеры отечественной науки, как А.М. Прохоров, обеспечивают связь времен, без которой невозможно поступательное движение физики и ее наиважнейшего раздела — оптики.

Проф. каф. оптики, спектроскопии  
и физики наносистем  
П.В. Короленко



Конец 1965 года: А.М. Прохоров, Ч.Х. Таунс и Н.Г. Басов в Физическом институте Академии наук.



А.М. Прохоров с внуком Александром и Н.Г. Басов с внуком Дмитрием. 2001 г.

Москва. Памятник академику А.М. Прохорову на пересечении Университетского и Ленинского проспектов.





Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ». © 2017 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

Пресс-секретарь физического факультета: Пчелина Диана Игоревна  
[press@phys.msu.ru](mailto:press@phys.msu.ru)

Подписано в печать 20.07.17. 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**