



Новая уникальная лаборатория



Открытие новой уникальной лаборатории электронно-зондовых исследований. На первом плане ректор МГУ Виктор Антонович Садовничий и декан физического факультета Николай Николаевич Сысоев.

На физическом факультете открылась новая уникальная лаборатория электронно-зондовых исследований по функциональному анализу и редактированию микросхем топологической нормы до 40 нм с использованием методик лазерно-сканирующей, фотоэмиссионной, ионной и ИК-микроскопии с системой САД-навигации. В лаборатории развиваются четыре основных направления исследований:

- функциональный анализ работы микросхем в реальном времени;
- редактирование цепей микросхем;
- пробоподготовка, лазерная и плазменная декапсуляция различных корпусов микросхем;
- электронно-лучевое функциональное тестирование микросхем.

В лаборатории применяется современное диагностическое оборудование, разработаны алгоритмы контроля для проверки стойкости микросхем к внешним атакам.



Первый план, слева направо: Олег Владимирович Дерипаска, Николай Николаевич Сысоев, Виктор Антонович Садовничий, Андрей Анатольевич Федянин.

Создание кафедры нанофотоники на физическом факультете МГУ

*Заведующий кафедрой нанофотоники
д.ф.-м.н., проф. А.А. Федянин.*

В сентябре 2021 г. по решению Ученого совета МГУ на физическом факультете была организована кафедра нанофотоники. Заведующим назначен доктор физ.-мат. наук, профессор физического факультета Андрей Анатольевич Федянин.

Основа кафедры была заложена еще в 2007 г. созданием Лаборатории нелинейной оптики наноструктур и фотонных кристаллов и Лаборатории зондовой микроскопии, в дальнейшем объединившихся в Лабораторию наноптики метаматериалов кафедры квантовой электроники, на базе которой в настоящее время и была образована новая кафедра. Основным направлением деятельности является нанофотоника и наноптика различных типов наноструктур.

Новости Науки (Н.Н.) взяли интервью у заведующего кафедрой нанофотоники профессора А.А. Федянина (А.Ф.)

Н.Н.: Глубокоуважаемый Андрей Анатольевич, как создавалась кафедра, с чего все начиналось?

А.Ф.: Создание кафедры нанофотоники на факультете обусловлено тем, что наша лаборатория прошла большой путь развития в рамках кафедры квантовой электроники, и создание новой кафедры является естественным продолжением наших научных и образовательных инициатив в области квантовой электроники.

Лаборатория, которая носит условное название «Лаборатория наноптики и метаматериалов», была создана в 2007 году по инициативе заведующего нашей кафедрой квантовой электроники Владимира Ивановича Панова. В начале 2000-х г. заканчивалась реконструкция здания центральных мастерских физического факультета. Оно превратилось в полноценный лабораторный корпус, в котором сейчас расположен т.н. Центр кол-



лективного пользования (ЦКП). Там были размещены несколько кафедр физического факультета, в том числе одно из помещений этого корпуса было предоставлено кафедре квантовой электроники для развития новых направлений. Именно тогда, в 2007 г., Владимир Иванович Панов предложил нам — группе молодых сотрудников кафедры: мне, Александру Александровичу Ежову и Татьяне Викторовне Долговой — попробовать свои силы в развитии этого направления. Мы выбрали область на стыке нелинейной оптики, фемтосекундной оптики и микроскопии ближнего оптического поля, и назвали это направление «Наноптика метаматериалов».

Почему наноптика? Потому что нас всегда интересовали особенности взаимодействия оптического и лазерного излучения с нанобъектами, в том числе на субволновых масштабах. Почему метаматериалов? Потому

что с 2000-х г. появился новый класс объектов — они сейчас называются метаматериалы, в которых благодаря пространственному наноструктурированию возникали новые оптические свойства, отличные от свойств тех материалов, из которых они были созданы. Вначале метаматериалы рассматривались довольно узко, как материалы с отрицательным показателем преломления. Потом метаматериалы начали рассматриваться более широко — как класс материалов, в которых, благодаря трехмерному, а сейчас и двумерному упорядочению поверхности, появились новые оптические свойства, а значит и новые возможности по управлению потоками света.

За 15 лет наша лаборатория, развиваясь, превратилась в довольно крупную лабораторию со значительным, слаженным и довольно молодым коллективом. В нашем составе 5 штатных сотрудников на квантовой электронике и примерно 10 сотрудников, которые привлечены из других проектов на внебюджетные ставки, также порядка 8–10 аспирантов и около 20 студентов с различных курсов.

Стоит отметить значение, которое имел для развития лаборатории выигранный нами конкурс проектов по мегагрантам для создания новых лабораторий, когда в нашу команду влился Борис Семенович Лукьянчук — известный физик-теоретик, выпускник физического факультета, — который долгое время работал в ИОФАНе, затем в различных зарубежных университетах Австрии и Сингапура. Под его руководством была создана теоретическая и экспериментальная лаборатория экстремальной и нелинейной нанофотоники. Эта лаборатория существует последние пять лет. Мегагрант как раз заканчивается в этом году. За это время мы обогатились благодаря Борису Семеновичу новыми экспериментальными идеями, продвинули наши научные направления, связанные с теоретическим электромагнетизмом метаматериалов, одиночных наноантенн, и в этом смысле за пять лет произошел качественный скачок.

Не могу не отметить создание несколько лет назад Центра квантовых технологий физического факультета, директором которого является наш декан профессор Николай Николаевич Сысоев, а научным руководителем — профессор нашей кафедры Сергей Павлович Кулик.

Наша лаборатория принимала активное участие в работе этого Центра. Мы разрабатывали оптические материалы, перспективные для интегральной оптики, в том числе которые могут использоваться в системах квантовой коммуникации. И это, в свою очередь, способствовало развитию нашей лаборатории.

Наш декан обратился к ректору Виктору Антоновичу Садовничему с предложением поддержать наше направление. Таким образом, родилась идея о создании на основе нашей Лаборатории нанооптики и метаматериалов новой кафедры физического факультета — кафедры нанофотоники, для дополнительного усиления исследований в этой области.

Решение было поддержано Ученым советом Московского университета в конце августа 2021 г. Последние несколько месяцев мы заняты созданием новой кафедры на физическом факультете.

Н.Н.: Название кафедры — «нанофотоника»? Поясните пожалуйста, что такое нанофотоника?

А.Ф.: Нанофотоника — это раздел физики, который занимается изучением особенностей распространения оптического излучения, чаще всего лазерного излучения, и его взаимодействия с наноструктурами. Эти исследования лежат в основе разработки и создания новых оптических устройств, которые называются фотонными интегральными схемами и используются для реализации возможности управления потоками оптической информации, а также находят применения в оптических телекоммуникациях или оптического сенсинга, и других потенциальных применений в науке и технике.

Нанофотоника неразрывно связана с оптикой, потому что она работает с электромагнитным излучением видимого диапазона или ближнего инфракрасного диапазона. Она, конечно, связана с лазерной физикой, потому что, если говорить про управление света в наномасштабах, то это почти всегда делается с использованием когерентных источников оптического излучения, т.е. с лазерными источниками, иногда даже с нанолазерными источниками, когда активное вещество, осуществляющее лазерную генерацию, имеет наномикронные или субмикронные масштабы и встроено в микро- или наноструктуру.

Нанофотоника, конечно, связана с физикой твердого тела, потому что мы говорим о взаимодействии лазерного излучения с веществом, и в этом смысле, конечно, нанофотоника как наука, напрямую связана с квантовой электроникой, занимающейся взаимодействием лазерного излучения с веществом, когда необходимо рассматривать и описывать на квантомеханическом языке электромагнитное поле или твердое тело.

Н.Н.: Какие основные научные направления кафедры?

А.Ф.: Прежде всего, те направления, которые исторически развивались в нашей лаборатории, я бы их разделил на три типа.

Во-первых, это направление, связанное с нелинейной фемтосекундной оптикой. Мы исходно специализируемся в области нелинейной оптики, при этом используем лазерные источники света с короткой длительностью импульсов, лежащих в диапазоне нескольких десятков-сотен фемтосекунд, что открывает различные возможности для обнаружения новых нелинейных оптических эффектов, эффектов полностью оптического переключения, явлений, связанных с временной динамикой, с разверткой по времени в пикосекундных или субпикосекундных временных интервалах.

Второе направление — микроскопия ближнего оптического поля, которое лежало в основе нашей лаборатории изначально. Александр Александрович Ежов

— известный специалист в нашей стране по ближне-польной микроскопии, как методу диагностики тех или других особенностей топологии рельефа материалов с субмикронным и нанометровым разрешением. Он является также специалистом по исследованию оптических явлений, которые возникают в режиме ближнего оптического поля на размерах, когда соответствующее расстояние много меньше, чем оптическая длина волны, и кроме обычной и привычной нам поперечной компоненты электромагнитного поля может возникать еще и ближнеполюсная компонента — продольная компонента электромагнитного поля. Поэтому микроскопия ближнего оптического поля, конечно же, будет развиваться на нашей кафедре.

Важным остается и будет продолжать оставаться направление, связанное с оптическим пинцетом — возможностью использования лазеров для создания оптических ловушек с захватом микро- или наночастиц биологических объектов, например, эритроцитов или раковых клеток. Мы этой тематикой стали активно заниматься для того, чтобы исследовать эффекты и явления, которые происходят в одиночных клетках той или иной природы. И эти силовые измерения, или оптические ловушки, будут активно представлены на нашей кафедре.

Кроме этих трех основных, исходно представленных нашей Лабораторией нанооптики и наноматериалов направлений, мы развиваем и планируем дальше развивать аддитивные технологии, нейроморфную фотонику, методы машинного обучения при работе с оптическими данными, и то, что сейчас модно называть "устройства, связанные с использованием подходов искусственного интеллекта" для работы с оптической информацией.

Н.Н.: Расскажите, пожалуйста, про два новых направления — аддитивные технологии и нейроморфная фотоника?

А.Ф.: Аддитивные технологии — это новое направление, связанное с использованием чаще всего лазеров, для создания новых материалов, новых объектов, как правило трехмерных объектов, путем лазерного спекания соответствующего материала. Это могут быть полимерные материалы, металлические материалы, керамики. И действительно, лазерные аддитивные 3D-технологии — это сейчас активно развивающаяся область прикладной лазерной физики, поскольку это новый подход к созданию производственных технологий, когда, условно говоря, деталь заданного профиля не вытачивается и не заливается из какой-то формы, а шаг за шагом печатается из того материала, из которого она должна быть создана. Это непростое направление, потому что в такой лазерной печати материала кроются большие вызовы физике и химии новых материалов. Не очень понятно, какие механические свойства у такого рода напечатанных объектов, какие у них оптические или электрофизические свойства. Когда мы печатаем каким-то материалом, например алюминиевым порошком, — а такой принтер у нас сейчас существует и стоит в нашей лаборатории — то совсем не означает, что полученная

деталь будет состоять из монокристаллов алюминия. Она будет из сложных форм гранул, спекшихся нанокристалликов, у которых есть грани, границы раздела, зерна, неоднородности, наличие механических напряжений и так далее. И вот систематическое исследование физических, а иногда химических свойств полученных материалов, — это вещь нетривиальная. В основе этих новых промышленных технологий чаще всего лежат мощные лазерные источники света, которые позволяют спекать те или другие материалы.

Нейроморфная фотоника — это другое направление. Оно связано с так называемыми фотонными или оптическими вычислениями, аналоговыми вычислениями, когда при реализации оптических устройств используется принцип, похожий на организацию коры головного мозга. Напомню, что современные цифровые компьютеры устроены таким образом, что элементы памяти или ячейки памяти и процессоры в пространстве разделены — отдельно есть память, отдельно есть процессор. И узкое место развития современных цифровых технологий состоит в ограничении скорости обмена информацией между памятью и процессором. Это так называемая Фон Неймановская архитектура построения вычислительных устройств, которая принципиально основана, во-первых, на цифровом подходе — на подходе «ноль–единица» — и на пространственном разделении памяти и процессора. Поэтому здесь есть, во-первых, ограничения по скорости и, во-вторых, есть проблема повышенного энерговыделения. А вот наш с вами мозг устроен по-другому: сетка нейронов работает таким образом, что и вычисления делаются не цифровым, а скорее аналоговым образом, и запоминание результата этих вычислений находится как раз в области того нейрона, который произвел вычисления. С одной стороны, это переход от Фон Неймановской цифровой архитектуры или способа проведения вычислений к аналоговой, а с другой стороны, совмещение транзистора или процессора на одном элементе ячейки памяти, которая совершает те или другие операции. Такой подход, когда мы пытаемся создать устройство, которое проводит аналоговые вычисления с совмещением в одном месте процессора и памяти, называется нейроморфными вычислениями, потому что это похоже на работу головного мозга. Если говорить про нейроморфную фотонику, то, это соответственно, тот же подход, но он распространяется на область оптических вычислений, то есть на управление потоками информации. Мы прекрасно понимаем, что в современной микроэлектронике используется поток электронов, и транзистор — это маленькое миниатюрное устройство, которое либо усиливает, либо переключает — включает–выключает, — либо перенаправляет этот поток электронов. То есть транзистор работает или в режиме усилителя, или в режиме ключа, как элементарная ячейка процессора. Это просто устройство, которое заданным образом управляет потоком электронов. Ровно те же самые операции можно проводить не с потоком электронов, а с потоком фотонов, т.е. с оптическим излучением. И, естественно, задачи оптического усиления и переключения — это как раз способ реализации оптических микросхем, то, чем занимается

интегральная оптика, интегральная фотоника. Это создание оптических устройств, в которых воспроизводятся те или иные операции над оптическими потоками, над потоками фотонов, похожие на те, которые делаются в устройствах микроэлектроники с потоками электронов. Итак, если мы пытаемся создать оптические устройства, которые управляют потоками фотонов, т.е. совершают те или другие вычислительные операции и при этом сохраняют результат, мы называем их устройствами нейроморфной фотоники.

Год тому назад мы начали развивать направление нейроморфной фотоники, или нейроморфной интегральной нанофотоники, для того, чтобы попробовать разработать принципы создания элементной базы такого рода устройств для аналоговых оптических вычислений, которые построены на Фон Неймановском принципе.

Н.Н.: Как Вы видите развитие кафедры?

А.Ф.: Новая кафедра должна пройти свой путь развития. Сегодня наша задача — разработать новые магистерские программы, потому что в конце весны 2022 г. мы планируем начинать набирать первых магистров на нашу кафедру. Нам необходим вариант специалитета, потому что мы хотим набрать первых студентов-второкурсников на программу специалитета нашей кафедры. И первостепенная необходимость — разработка образовательных программ в тесной кооперации с кафедрами, которые работают на похожих направлениях — прежде всего, с нашей родной кафедрой квантовой электроники, а также с кафедрой общей физики и волновых процессов.

Н.Н.: На какие программы планируется ближайший набор?

А.Ф.: Мы собираемся набирать на новую магистерскую программу, которую мы сейчас создаем, и на новую программу специалитета.

Таким образом, мы ждем нынешних второкурсников, и нынешних четверокурсников, приглашаем их на кафедру. Соответственно, мы приглашаем второкурсников, с тем, чтобы они с сентября следующего года учились уже на нашей кафедре по программе специалитета, а нынешних четверокурсников — с тем, чтобы они с сентября следующего года, став пятикурсниками или магистрантами первого года, начали работать и учиться по нашей магистерской программе.

Н.Н.: Есть какие-то контрольные цифры набора на следующий год?

А.Ф.: Мы говорим примерно о 10 студентах на программу специалитета и примерно о 10 студентах на программу магистратуры. А дальше покажет жизнь,

насколько наша кафедра будет привлекательна для студентов, будет ли на нее конкурс.

Н.Н.: Кем нужно быть, чтобы попасть к вам на кафедру?

А.Ф.: Нужно хотеть учиться и заниматься наукой. Особенно, что касается второкурсников, у нас нет никаких специальных требований. Самое главное — это желание учиться и желание заниматься наукой. Ясно, что студент второго курса не знает никаких деталей в области нанофотоники, поэтому мы всему научим его сами, самое главное, повторюсь, — это желание учиться и работать на нашей кафедре.

Н.Н.: Сколько в среднем студенту нужно будет тратить времени в лабораторных часах?

А.Ф.: Как руководитель, скажу, что студент должен на кафедре тратить все свободное время. А, по-честному, мы никогда не считаем часы, которые проводит студент или аспирант в лаборатории. Потому что, самое главное, при хорошей учебе он занимается наукой всегда, даже когда спит или ест. Мы считаем, что если на кафедре будет интересно, студент будет приходить туда всегда, когда хочет и может туда приходить. Поэтому мы никогда не считаем рабочие часы. Нам важно желание студента что-то освоить новое, и желание много, интенсивно работать.

Н.Н.: С какими сложностями они столкнутся?

А.Ф.: С необходимостью много и интенсивно работать. По примеру нашей лаборатории, на кафедре не будет чрезмерно сложно учиться. Потому что мы считаем, что наша задача создать спокойную и приятную атмосферу творчества на нашей кафедре, когда ребята приходят на кафедру, потому что им хочется, потому что здесь интересно, потому что они чувствуют, что придя в лабораторию, они решают какие-то новые, современные задачи, потому что они делают реальный эксперимент, который может в будущем привести к хорошему научному результату и быть доложен на хорошей научной конференции, лечь в основу публикации, лечь в основу того или другого научного проекта, который может быть поддержан финансово теми или другими грантами, возможность получения которых у нас имеется. У нас имеется и возможность работать на хорошем научном оборудовании, потому что за годы существования лаборатории мы целенаправленно развивали ее экспериментальную базу. Прежде всего, конечно, в области фемтосекундных лазерных установок. Но недавно мы приобрели небольшой электронный микроскоп для того, чтобы можно было характеризовать наше устройство.

Мы запустили собственный лазерный комплекс по двухфотонной фотополимеризации. Это лазерный метод, основанный на нелинейных процессах двухфотонной фотополимеризации для создания трехмерных микро- или наноструктур на основе полимеров. Мы сейчас реализуем подход, связанный с созданием рентгеновских линз на основе печати таких микролинз для синхротронного излучения. Поэтому у меня нет никаких специальных требований к студентам, кроме как их желания работать. А с чем придется работать? Придется работать с программными пакетами для расчета и дизайна наших структур. Это прежде всего пакет Lumerical и пакет Comsol, у нас есть на кафедре лицензия на эти программные продукты. Им придется осваивать методы работы с лазерными установками, с детектированием оптических сигналов, то есть это системы счета фотонов, системы синхронного детектирования оптических сигналов, методы обработки оптического сигнала, — весь цикл от дизайна наших наноструктур до проведения эксперимента и интерпретации полученных результатов. Мы также ждем ребят, которые хотят стать теоретиками в области нанофотоники. У нас есть группа под руководством Бориса Лукьянчука, в ней работают ребята, которые заинтересованы в теоретической работе в области нанофотоники. Мы ждем таких ребят и с удовольствием начнем с ними дальше работать и на уровне специалитета, и на уровне магистратуры.

Н.Н.: Планируете ли создание специального практикума для студентов?

А.Ф.: Рано или поздно, да. Потому что хорошая кафедра не может быть без своего специального практикума. Примерно через год-полтора, когда мы запустим окончательно наши две образовательные программы — по программе специалитета и по программе магистратуры, — мы начнем работать над созданием одной или нескольких задач специального практикума, где можно было бы поработать по этой тематике. Но это будет уже следующим шагом после запуска образовательной программы.

Н.Н.: На какие специальные курсы будет упор? В чем будет различие между курсами, которые читаются на кафедре квантовой электроники и кафедре общей физики и волновых процессов?

А.Ф.: И на кафедре квантовой электроники, и на кафедре волновых процессов образовательная программа очень сильная, мы оттуда выросли, и я считаю, что эти две кафедры дают очень хорошее образование в области нелинейной оптики, лазерной физики и физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, в области квантовой оптики, биофотоники и так далее. Поэтому наша задача не составить конкуренцию с этими двумя кафедрами, а скорее естественным образом дополнить курсом нашей небольшой кафедры. Мы собираемся делать больше упор на те спецкурсы, которые связаны с

нанооптикой, микрооптикой, взаимодействием лазерного излучения на субволновых масштабах, с использованием методов искусственного интеллекта для обработки оптической информации. Планируется специальный курс по нейроморфной фотонике — мы его уже сейчас проектируем, будет более расширенный специализированный курс лазерной физики, где мы рассмотрим более аккуратно и подробно те лазерные источники, с которыми мы работаем.

Н.Н.: Это будет принципиально новый курс?

А.Ф.: Действительно, это будет по большей части принципиально новый курс. Мы над ним уже работаем. У нас есть договор с нашими коллегами с кафедр квантовой электроники и общей физики и волновых процессов, и часть курса в рамках вариативной компоненты программ специалитета и магистратуры, наши студенты смогут прослушать на дружественных нам кафедрах.

Н.Н.: Будете ли набирать аспирантов?

А.Ф.: В сентябре следующего года, когда будут проходить вступительные экзамены в аспирантуру, мы рассчитываем, что первые аспиранты войдут в состав нашей кафедры. Сейчас аспиранты нашей лаборатории являются аспирантами кафедры квантовой электроники, по-видимому, они и останутся на кафедре квантовой электроники, будут и дальше работать, если не будет никаких серьезных изменений в тематике, которые потребуют их перехода на кафедру нанофотоники.

Н.Н.: Предполагается создание диссертационного совета?

А.Ф.: Нет, нового диссертационного совета мы создавать не планируем. Нам вполне комфортно работать в рамках нашей классической специальности — лазерная физика, по которой защищаются все наши аспиранты. За время существования нашей лаборатории у нас защитилось 14 кандидатов наук, и все они защищались по специальности лазерная физика. Один сотрудник защищался по специальности оптика и магнетизм.

Н.Н.: Планируете ли международное научное сотрудничество?

А.Ф.: Планируется, ведь без международного научного сотрудничества современная наука невозможна. Мы долго и плодотворно развивали наши международные связи. Не могу не упомянуть наши связи с Австралией, с Австралийским Национальным Университетом. В первую очередь, это группа Юрия Кившаря, с которым у нас уже многие годы плодотворнейшее сотрудничество. Мы активно сотрудничаем и с другими профессорами этого университета. У нас очень хорошие связи с

нашими немецкими партнерами. Сейчас мы реализуем совместный проект с группой из Университета им. Фридрих Шиллера. Это группа профессора Изабель Штауде, с которым мы запустили программу совместной аспирантуры. Один из наших аспирантов сейчас работает по программе совместной аспирантуры между физическим факультетом и Университетом им. Фридриха Шиллера, когда половину времени он проводит здесь, а половину времени он проводит над диссертацией у нашего партнера. Могу упомянуть наше партнерство с коллегами из американских университетов.

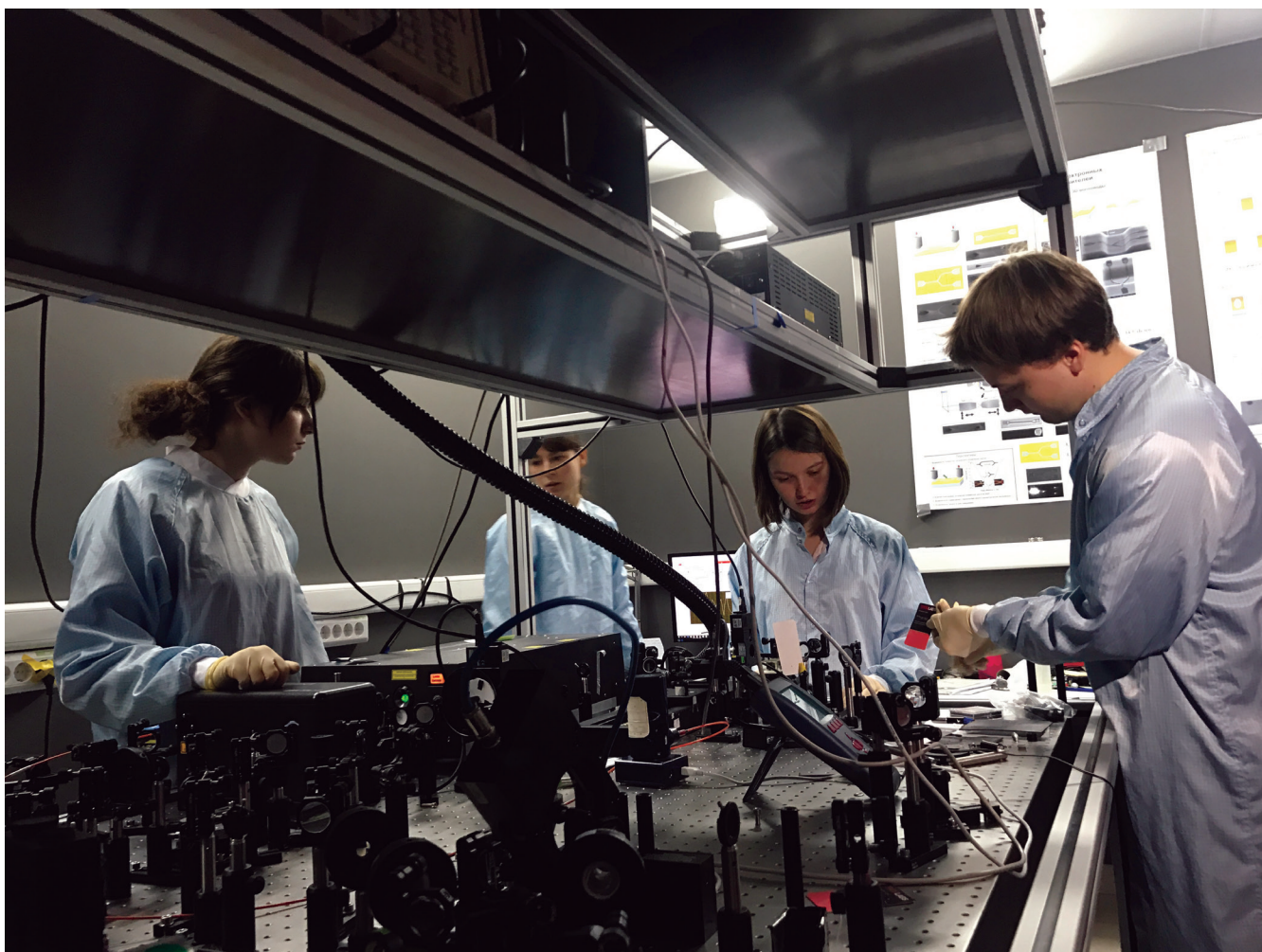
Наше международное сотрудничество и сейчас уже довольно обширное, но мы будем обязательно его развивать и дальше. Современная наука трансгранична, поэтому, естественно, без обмена мнениями, без обмена идеями, без решения каких-то совместных задач, настоящая наука невозможна. Поэтому, конечно, развивая науку, мы будем развивать и международное сотрудничество для решения поставленных ею задач.

Н.Н.: И наш последний вопрос. Сотрудники Вашей лаборатории входят в коллективы нескольких научно-образовательных школ МГУ. Расскажите, пожалуйста, про эти проекты.

А.Ф.: Да. На самом деле, подавляющая часть сотрудников нашей лаборатории входят в крупнейшую Школу физического факультета, это — НОШ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». Мы успешно работаем в этой школе. С нашей поддержкой была запущена магистерская программа для этой школы, мы там читаем курсы, публикуем наши работы с коллегами из МНОЦ, тем самым развивая междисциплинарные направления в рамках школы.

Несколько ребят из нашей лаборатории работают в НОШ «Мозг, когнитивные системы, искусственный интеллект», которой руководят академик К.В. Анохин и академик И.А. Соколов. Они и являются нашими вдохновителями в нейроморфной фотонике — тематике, связанной с искусственными оптическими синапсами для проведения оптических нейроморфных вычислений. Там мы тоже успешно выполняем работу, хотя число участников в этой школе немногочисленное, порядка 2–3 человек.

Система научно-образовательных школ для нас является важным элементом построения или установления новых междисциплинарных связей с нашими коллегами с других факультетов. Мне кажется, что этот проект, инициированный нашим ректором, развивается у нас довольно успешно.



В. Лаборатории нанооптики метаматериалов кафедры квантовой электроники.

МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОГЕЛЕЙ



Один из авторов статьи — научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов Елена Юрьевна Кожунова.

Полимерные «умные» гели обладают высокой чувствительностью и могут менять объем и плотность в ответ на изменение условий окружающей среды, что делает их крайне перспективными для медицины. Например, их можно использовать в адресной доставке лекарств и создании матриц для выращивания искусственных тканей. При этом наиболее быстро реагируют на внешние воздействия частицы гелей микронного размера (равного величине бактерий, а в некоторых случаях даже вирусов) — так называемые микрогели. И если на их основе создать каркас для материала, то он, по всей видимости, также сможет быстро изменять свои свойства.

Структура и физические характеристики микрогелей во многом зависят от того, из какого полимера они состоят. Используя для синтеза микрочастиц N-изопропилакриламид и полиакриловую кислоту, можно получить микрогели, чувствительные к температуре и уровню кислотности среды (pH).

Исследователи кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова решили изучить, как влияют условия, в которых создаются микрогели, на строение и способность к набуханию материалов, получаемых на их основе. Ученые изменяли температуру и кислотность среды концентрированных растворов микрогелей, сушили их и подвергали отжигу при высокой температуре. В результате удалось получить материалы, отличающиеся между собой по физическим свойствам. Чтобы сравнить их, физики проанализировали способность образцов к набуханию. Оказалось, что пленки чувствительны и к температуре, и к кислотности среды. При этом изопропилакриламид обеспечивает восприимчивость к температуре, а полиакриловая кислота — к изменению уровня pH.

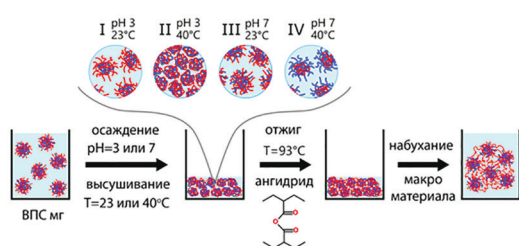
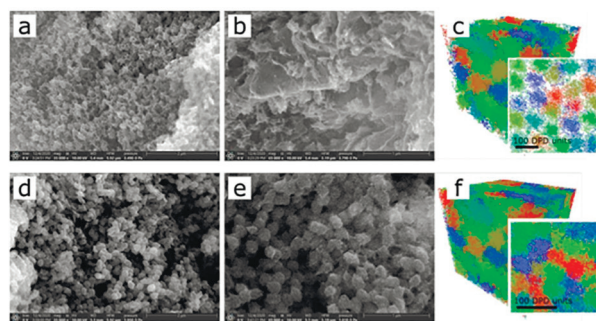


Схема синтеза полимерного материала на основе микрогеля. Источник: Nasimova I. et al. / *Polymers*, (2021).

Эксперименты показали, что при всех комбинациях температур и кислотности образуются стабильные пленки, но их внешний вид, способность к набуханию и микроструктура различаются. При высокой температуре и pH формирующиеся материалы непрозрачные и более жесткие, также они на порядок хуже набухают в жидкости. Предложенная комбинация параметров позволяет получать образцы с более высокой прочностью, что подойдет для антибактериальных покрытий, препятствующих прохождению патогенов и агрессивных химических веществ. Если синтезировать микрогели при комнатной или повышенной температуре, но с нейтральной pH, то пленки имеют губчатое строение и хорошо впитывают воду. Такая форма наиболее удобна для выращивания и регенерации тканей, поскольку обеспечивает хорошее распределение жидкости и питательных веществ в культурах клеток, которые активно проникают в толщу материала.



Структура микрогелей, синтезированных при разной кислотности среды: pH = 7 (a, b) и pH = 3 (c, d). Источник: Nasimova I. et al. / *Polymers*, (2021).

Причиной существенных различий физических свойств пленок из микрогелей оказалось то, что в разных условиях синтеза образуется разное количество межмолекулярных сшивок. Так, в гелях, синтезированных при высокой кислотности и температуре, звенья, по которым осуществляется сшивание, образуют большее количество связей, что обеспечивает более плотную и прочную структуру. Эти наблюдения подтверждены как экспериментально, при помощи растровой электронной микроскопии, так и методами компьютерного моделирования.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (Проект РНФ 17-73-20167).

Polymers «Microstructured Macromaterials Based on IPN Microgels». Nasimova I.R., Rudyak V.Y., Doroganov A.P., Kharitonova E.P., Kozhukova E.Y. *Polymers*, 13, 1078 (2021).

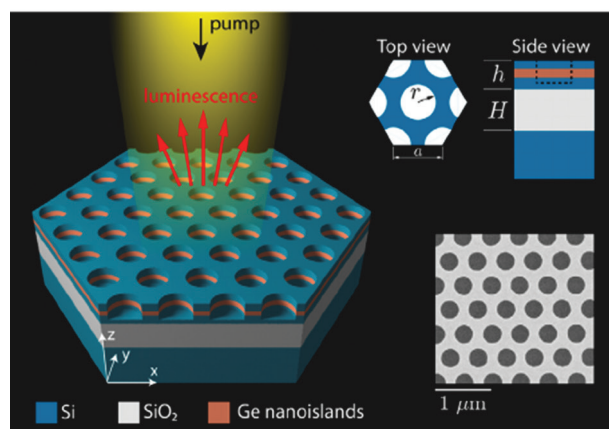
Кремниевые микросхемы «научили» эффективно взаимодействовать со светом

Ученые физфака МГУ совместно с коллегами из РАН и других российских институтов предложили для создания источников излучения на германиевых квантовых точках в кремнии использовать высокодобротные резонансы электромагнитного поля в двумерных фотонных кристаллах. Новый метод может оказаться перспективным для создания оптоэлектронных интегральных схем в будущем.

Большинство современных цифровых микросхем сегодня изготавливается на основе кремния по технологии КМОП — комплементарная металл-оксид-полупроводник структура (англ. — complementary metal-oxide-semiconductor). Из-за большой плотности элементов в таких схемах основным препятствием для увеличения их производительности стало высокое тепловыделение. Уменьшить тепловыделение можно, перейдя от омических (через металлические контакты) связей между элементами в микросхемах — к оптическим.

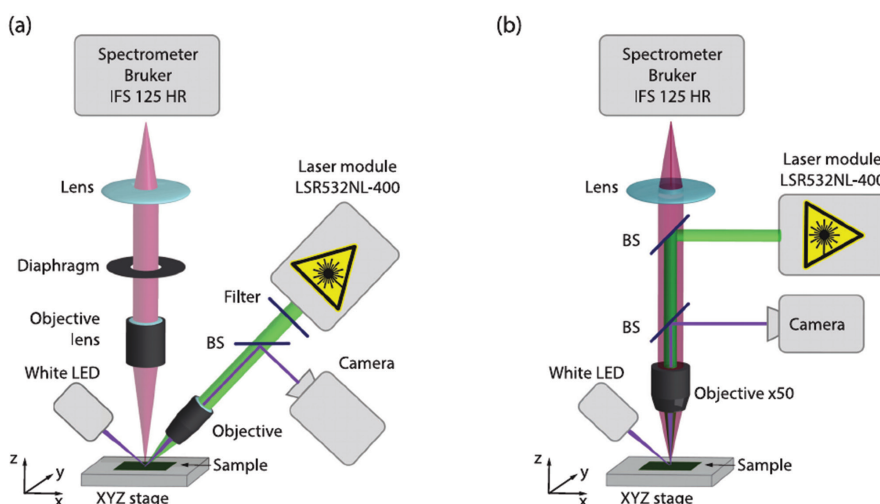
«К сожалению, сам по себе кремний слабо взаимодействует со светом: он плохой излучатель и поглотитель фотонов. Или, пожалуй, к счастью. Иначе наши компьютеры и мобильные телефоны скорее бы светились, чем работали. Однако “научить” кремниевые микросхемы все-таки эффективно взаимодействовать со светом — чрезвычайно важная задача. Мы с коллегами решили эту задачу с помощью внедренных в кремниевую структуру германиевых наноточек, изготовив на ее поверхности специально рассчитанный фотонно-кристаллический слой с усиливающими излучение фотонными резонансами особого типа — так называемыми связанными состояниями в континууме», — объяснил один из соавторов работы, профессор физического факультета МГУ Сергей Тиходеев.

Ученые описали наблюдаемые пики фотолуминесценции и их симметрию в терминах представлений точечной группы и объяснили, почему различные связанные состояния в континууме видны в спектрах фотолуминесценции в форме пиков, хотя широко распространено мнение, что они должны быть оптически неактивными.



Авторы работы также теоретически смоделировали спектральные особенности, рассчитав диаграммы направленности излучательной эффективности с использованием Фурье-модального метода в форме матрицы рассеяния и продемонстрировали появление связанных состояний в континууме в структуре за счет деструктивной интерференции двух мод.

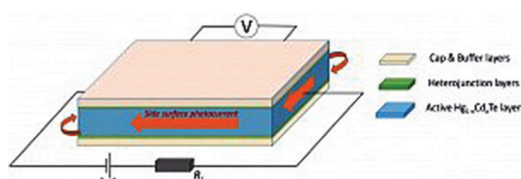
Соавторы работы: Дьяков Сергей и Гиппиус Николай (Сколтех); Новиков Алексей и Красильник Захарий (ИФМ РАН и ННГУ); Степихова Маргарита, Юрасов Дмитрий и Шалеев Михаил (ИФМ РАН); Богданов Андрей (университет ИТМО); Тиходеев Сергей (МГУ и ИОФ РАН).



«Photonic Bound States in the Continuum in Si Structures with the Self-Assembled Ge Nanoislands». S.A. Dyakov, M.V. Stepikhova, A.A. Bogdanov, A.V. Novikov, D.V. Yurasov, M.V. Shaleev, Z.F. Krasilnik, S.G. Tikhodeev, N.A. Gippius. *Laser & Photonics Reviews*. 15, Issue 7, 2000242 (2021).

Где именно возникает несимметричная фотопроводимость в многослойных полупроводниках

Некоторые многослойные полупроводники обладают необычным свойством — несимметричной проводимостью. Ученые кафедры конденсированного состояния выяснили, где именно возникает этот эффект. Оказалось, что он зарождается только на особой границе между твердыми «слоями» полупроводника, которые отличаются по электронным свойствам. Это опровергает существующие предположения о том, что несимметричная проводимость возникает вне зависимости от окружения. Исследование поддержано грантом Российского научного фонда.



Направление фототоков в многослойном полупроводнике при действии магнитного поля.

Источник: Kazakov A. S. et al. / Scientific Reports (2021).

В цикле работ группа ученых из Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Физического института имени П.Н. Лебедева РАН, Института физики полупроводников имени А.В. Ржанова с коллегами из Регенсбургского университета (Германия) исследовала фотопроводимость в многослойных полупроводниках при облучении лазером. Фотопроводимость — это явление, при котором материал меняет способность пропускать через себя электрический ток при электромагнитном облучении.

Исследователи выяснили, что в полупроводниках особого строения — твердых растворах, где в верхних слоях находятся атомы тяжелых химических элементов, а ниже они постепенно замещаются более легкими, тем самым создавая градиент, — фотопроводимость ведет себя весьма необычно. Она несимметрична, то есть отличается (в одних случаях выше или ниже, чем в других) относительно направления магнитного поля, а также для двух симметрично расположенных пар контактов, измеряющих силу тока. Дальнейшие исследования показали, что этот эффект связан с еще одним необычным явлением: при воздействии лазерного излучения ток в полупроводнике протекает не «от плюса к минусу», а по кругу вдоль его края, то есть создает своеобразное кольцо, охватывающее полупроводник. Механизм такого феномена пока неясен.

Тем не менее, чтобы в дальнейшем исследовать причину этого явления, было важно установить, в каком именно месте сложной «слоистой» структуры возникает несимметричная фотопроводимость. В нынешних исследованиях ученые показали, что она появляется только на особой границе, где слой проводника, не содержащий атомов тяжелых металлов, переходит в слой с тяжелыми

металлами, такими как ртуть. При этом последний из-за тяжелых атомов работает как топологический изолятор — тип полупроводника, на поверхности которого возникают так называемые дираковские двумерные электронные состояния. Это явление, при котором электроны атомов обладают нулевой эффективной массой, то есть движутся при приложении электрического напряжения так, как если бы обладали массой, равной нулю, а также не рассеиваются на примесях и дефектах полупроводника, тем самым увеличивая его проводимость.

«О практическом использовании топологических изоляторов на сегодняшний день говорить преждевременно. Но наличие в них особых электронных состояний делает их привлекательными для использования в электронике, ведь это свойство позволяет материалу эффективно проводить электрический ток. Кроме того, такие состояния очень устойчивы к различным повреждениям: например, если испортить поверхность полупроводника, они никуда не исчезнут. Однако, чтобы использовать ценные свойства топологических изоляторов на практике, необходимо еще много серьезных исследований», — рассказал руководитель гранта Дмитрий Хохлов, член-корреспондент РАН, профессор, доктор физико-математических наук, руководитель лаборатории физики полупроводников физического факультета МГУ.

«Distinction between electron states formed at topological insulator interfaces with the trivial phase and vacuum». A.S. Kazakov, A.V. Galeeva, A.I. Artamkin, A.V. Ikonnikov, L.I. Ryabova, S.A. Dvoretzky, N.N. Mikhailov, M.I. Bannikov, S.N. Danilov & D.R. Khokhlov. Scientific Reports. **11**, Article number: 11638 (2021).

СВЕТОВЫЕ ЛЕНТЫ МЁБИУСА

На основе численного моделирования рассеяния плоской эллиптически поляризованной монохроматической волны на кремниевой сферической наночастице предсказано существование в результирующем световом поле вблизи частицы замкнутых лент, образуемых осями эллипсов поляризации и векторами нормали к их плоскостям, и проанализирована связь между их топологическими параметрами и структурой линий сингулярностей поляризации светового поля.



Заведующий кафедрой общей физики и волновых процессов, профессор Владимир Анатольевич Макаров.



Аспирант кафедры общей физики и волновых процессов Никита Юрьевич Кузнецов.



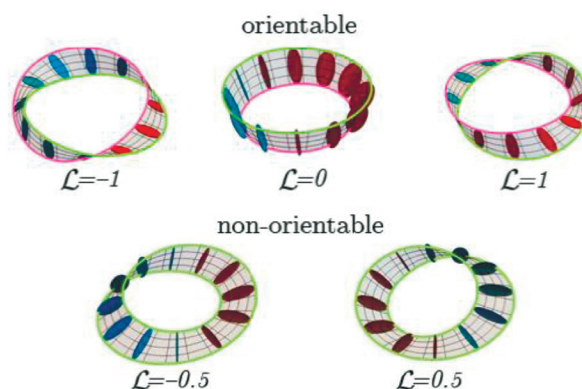
М.н.с. кафедры общей физики и волновых процессов Кирилл Сергеевич Григорьев.

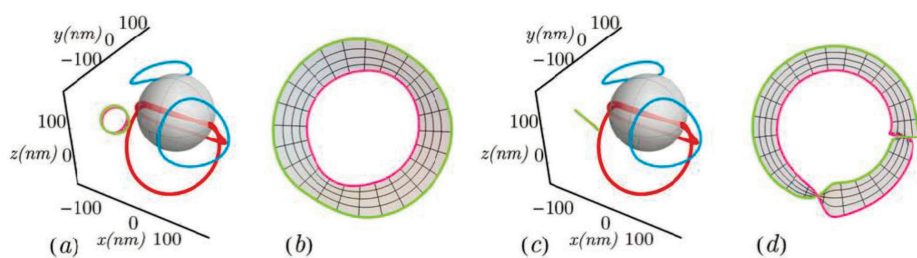
В 2005 году Айзек Фройнд предсказал возможность управления поляризацией света, в результате которой происходит сворачивание характеризующих ее векторов в различные геометрические фигуры: конусы, спирали, ленты Мёбиуса и т.д. Спустя десять лет ленты Мёбиуса были экспериментально обнаружены в жестко сфокусированном излучении, поперечный профиль которого предварительно был специальным образом сформирован при помощи жидкокристаллического устройства. Нами теоретически предсказано существование лент различного типа, образуемых векторами, характеризующими эллипс поляризации непараксиального светового поля, в задаче о рассеянии падающей эллиптически поляризованной плоской волны сферической кремниевой частицей и проведен анализ связи параметров, характеризующих топологию этих лент, со структурой линий сингулярности поляризации электрического поля.

В непараксиальных монохроматических полях эллипсы поляризации, заметаемые вектором электрического поля при движении вдоль замкнутой траектории, имеют не только произвольные формы и размеры, но и различную ориентацию в пространстве. Параметры эллипса поляризации однозначно определяются двумя скалярными и двумя векторными величинами: интенсивностью излучения, степенью эллиптичности эллипса поляризации (связанной с отношением его осей), вектором нормали к плоскости эллипса и двунаправленным вектором (директором), определяющим ориентацию его

большой оси. В случае обращения эллипса поляризации в окружность, директор не определен однозначно, а если поляризация линейна, то теряет смысл введение нормали к плоскости эллипса. Точки пространства, в которых это происходит, в общем случае образуют изолированные линии, известные как C- и L-линии или линии сингулярностей циркулярной и линейной поляризации соответственно.

Нами исследованы ленты, заметаемые векторами, характеризующими эллипс поляризации непараксиального электрического поля световой волны, рассеянной кремниевой сферой субволнового размера, построенные вдоль замкнутых плоских контуров малых размеров в различных точках пространства. Обнаружены ленты с





различными значениями коэффициентов зацепления, топология которых зависит не только от наличия или отсутствия в рассматриваемой области пространства точек сингулярности вектора напряженности электрического поля, но и от ориентаций плоскостей, используемых для их построения контуров. Топологическое различие лент, неустранимое при помощи их гладкой деформации, предсказано только у лент, образованных осями эллипса поляризации, которые построены вокруг точек С-линий. Остальные ленты, построенные в области пространства, где отсутствуют сингулярности электрического поля, а также вокруг точек L-линий были ориентируемыми, и, в подавляющем большинстве случаев, тривиальными.

Ленты различных векторов, характеризующих эллипс поляризации, прослеженные вдоль одного и того же контура, могут иметь различные значения коэффициентов зацепления. В процессе исследований мы не обнаружили однозначной связи между значениями коэффициента зацепления для лент, заметаемых большой и малой осями эллипса поляризации вдоль одного и того же

контура, охватывающего С-линию. Также не выявлено явной связи между коэффициентами зацепления для нетривиальных лент и индексами изотропии точек С-линии, около которой они построены. Всё это указывает на то, что коэффициенты зацепления лент векторов поляризации

электрического поля являются отдельными характеристиками пространственной топологии векторной структуры электрического поля рассеянной волны.

Ленты с разными значениями коэффициента зацепления краев, заметаемых большей осью эллипса поляризации, который окрашен в красный цвет, если вектор электрического поля вращается по часовой стрелке, и в синий цвет, если против часовой стрелки (края ленты показаны разными цветами, если она ориентируемая).

Лента, заметаемая вектором нормали к плоскости эллипса поляризации, целиком лежащая в регулярной области значений напряженности электрического поля вблизи наночастицы (а) и крупным планом (b) в случае ее регулярной структуры и с одним перекручиванием (с, d). Красным и синим цветами изображены линии сингулярностей поляризации светового поля.

“Topology of polarization-ellipse strips in the light scattered by a dielectric nanosphere”. N.Yu. Kuznetsov, K.S. Grigoriev and V.A. Makarov. *Phys. Rev. A*. **104**, 043505 (2021).

Новый метод анализа данных спектроскопии биотканей

Исследователи научно-образовательной школы (НОШ) МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» совместно с коллегами из клиники Шарите (Берлин, Германия) предложили новый способ анализа спектров комбинационного рассеяния верхних слоёв кожи in vivo, основанный на методах машинного обучения без учителя. Исследование будет полезно для дерматологического анализа или определения проникновения лекарственных веществ, доставка которых осуществляется через кожу.

Определение молекулярного состава кожи актуально для большого числа задач медицины, фармакологии, дерматологии и косметологии. Конфокальная микроспектроскопия комбинационного рассеяния (КР) — чувствительный метод, позволяющий с высокой специфичностью проанализировать распределение основных молекулярных компонент в различных подслоях кожи с микронным разрешением. Однако количественный анализ сигнала КР биотканей часто затруднён из-за схожести КР-спектров отдельных компонент, например различных белков или липидов, а выбор неверного числа или вида базовых компонент, на которые «раскладывается» спектр, может

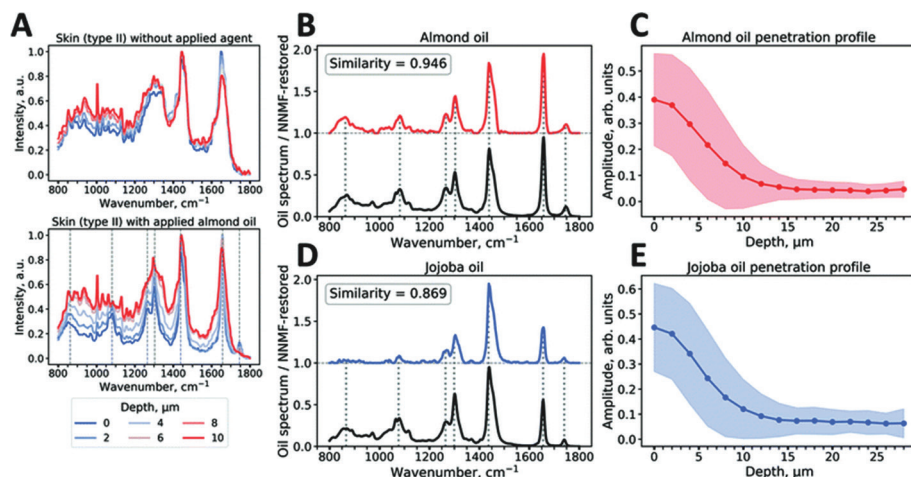
привести к неверному результату анализа экспериментальных спектров рамановского рассеяния.

В данной работе предложен альтернативный подход, не требующий априорных знаний о виде и распределении по глубине отдельных компонент, дающих вклад в сигнал комбинационного рассеяния, основанный на разложении спектров с помощью неотрицательного матричного разложения (Non-negative matrix factorization). С помощью смоделированных и экспериментально полученных глубинно-разрешенных спектров комбинационного рассеяния верхних слоёв эпидермиса in vivo учёные показали,

как с помощью неотрицательной матричной факторизации спектров КР возможно точно восстановить глубинные профили и спектры молекулярных компонент, как исходно присутствующих в тканях (кератина в различной конформации, липидов, меланина, каротиноидов и других), так и внешних агентов, например, медицинских масел.

Применение спектроскопии комбинационного рассеяния для анализа биотканей является перспективным для многих задач биомедицинской диагностики, например, для классификации здоровых и патологических тканей, определения границы опухоли. Однако, в задачах, когда требуется не только классифицировать тип биоткани, но и понять, изменения каких молекулярных составляющих приводит к наблюдаемым изменениям сигнала комбинационного рассеяния, требуются особые подходы к анализу данных, результаты которых с одной стороны должны быть хорошо интерпретируемы, а с другой стороны не имеют жестких ограничений в модели.

«В данной работе мы показали, что метод неотрицательной матричной факторизации отлично справляется с анализом данных комбинационного рассеяния реальных биотканей на примере кожи. Основываясь только на экспериментальных полученных спектрах комбинационного рассеяния, без каких-либо дополнительных предположений о том, какие вещества содержатся в коже, метод неотрицательной матричной факторизации позволил легко разделить отдельные молекулярные



компоненты. Эта информация может быть значима, например, для дерматологического анализа, или определения проникновения лекарственных веществ, доставка которых осуществляется через кожу», — рассказал сотрудник НОШ МГУ «Фотоника», младший научный сотрудник кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Борис Якимов.

Предложенный метод анализа в дальнейшем может быть использован для анализа состава и распределения молекулярных компонент в коже и других биотканях *ex vivo* и *in vivo* для поиска патологий, классификации и интерпретации наблюдаемых спектров комбинационного рассеяния.

«Blind source separation of molecular components of the human skin *in vivo*: non-negative matrix factorization of Raman microspectroscopy data». B. P. Yakimov, A. V. Venets, J. Schleusener, V.V. Fadeev, J. Lademann, E.A. Shirshin, M.E. Darwin. *Analyst*. Issue 10, **146**, 3185–3196 (2021).

Противовирусная активность наночастиц пористого кремния

Сотрудники кафедры медицинской физики физического факультета и научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» совместно с коллегами с физического и химического факультетов МГУ и ФНЦИРИП им. М.П. Чумакова РАН продемонстрировали универсальную противовирусную адсорбционную активность наночастиц пористого кремния. Полученные результаты свидетельствуют о большом потенциале использования данных наночастиц в качестве универсальных вирусных сорбентов и дезинфицирующих средств для выявления и лечения вирусных заболеваний. Исследование поддержано грантом Российского научного фонда.

Новые патогенные вирусы возникают из уже существующих человеческих вирусов или из вирусов животных. Текущая глобальная пандемия SARS-CoV-2 показала, что новые штаммы патогенных вирусов могут распространяться очень быстро, вызывая болезни и смерть миллионов людей, что, в свою очередь, приводит

к значительным негативным социально-экономическим последствиям. Поэтому поиск новых способов борьбы с различными патогенными вирусами является важной актуальной задачей, а стратегии, основанные на применении наноструктурированных материалов, представляют значительный интерес.

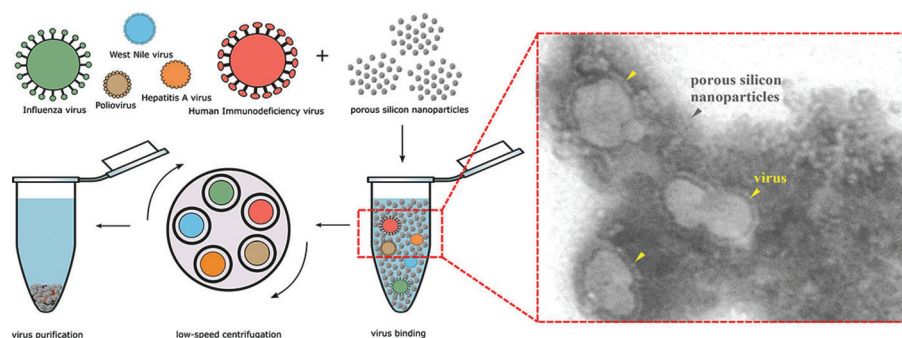


Рис. 1. Схема эксперимента по оценке антивирусной адсорбционной активности наночастиц (слева), а также микрофотография просвечивающей электронной микроскопии вирусов гриппа H1N1, захваченных наночастицами пористого кремния (справа).

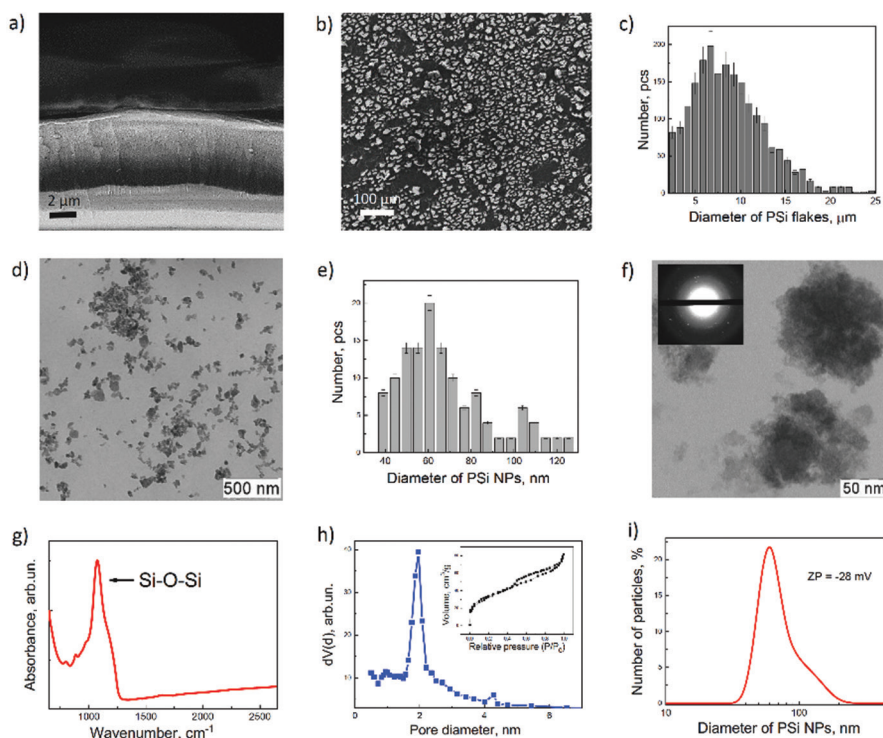


Рис. 2. Структурные свойства пленок и наночастиц пористого кремния.

Наночастицы пористого кремния в настоящее время продемонстрировали большой потенциал для их использования в биомедицине, особенно в качестве эффективных систем доставки лекарств. Преимущества применения кремниевых наночастиц в качестве противовирусных агентов связаны с их низкой токсичностью и биоразлагаемостью, а также с простотой и воспроизводимостью методов их изготовления.

Учёные МГУ совместно с коллегами впервые показали противовирусную адсорбционную (вирулицидную) эффективность наночастиц пористого кремния против различных оболочечных и безоболочечных патогенных вирусов человека, таких как вирус гриппа А, полиовирус, вирус иммунодефицита человека, вирус Западного Нила и вирус гепатита. Наночастицы размером 60 нм со средним диаметром пор 2 нанометра и удельной поверхностью 200 м²/г были получены измельчением пленок микропористого кремния. После взаимодействия с наночастицами наблюдается сильное подавление инфекционной активности зараженных вирусами жидкостей, что проявляется в снижении инфекционного титра всех изучен-

ных типов вирусов примерно в 104 раз и соответствует инактивации 99,99% вирусов in vitro. Такая сорбционная способность наночастиц возможна благодаря их микропористой структуре и огромной удельной поверхности, которая обеспечивает эффективный захват вирионов. Это также подтверждается проведенным ИФА анализом, измерениями динамического светорассеяния и полученными изображениями просвечивающей электронной микроскопии. Агломераты наночастиц и вирусов, образующиеся после их контакта, легко удаляются из растворов до инфицирования клеток-хозяев.

«Обнаруженная универсальная противовирусная активность наночастиц пористого кремния против различных патогенных вирусов может быть использована при разработке сенсоров и средств первой помощи в случае непредвиденных вирусных эпидемий или пандемий», — отметила автор

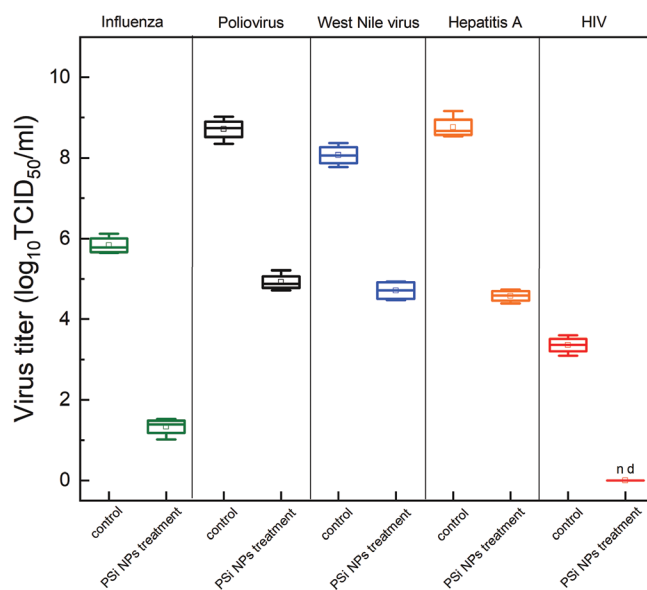


Рис. 3. Вирулицидный эффект наночастиц пористого кремния против вируса гриппа А, полиовируса, вируса Западного Нила, вируса гепатита А и вируса иммунодефицита человека (ВИЧ), который выражается в снижении титра вируса после взаимодействия с наночастицами по сравнению с контролем.

работы Любовь Осминкина, руководитель гранта РФ, зав. лабораторией физических методов биосенсорики и нанотераностики кафедры медицинской физики физического факультета МГУ.

«Antiviral adsorption activity of porous silicon nanoparticles against different pathogenic human viruses». L.A. Osminkina, S.N. Agafilushkina, E.A. Kropotkina, N.Yu. Saushkin, I.V. Bozhev, S.S. Abramchuk, J.V. Samsonova, A.S. Gambaryan. *Bioactive Materials*. 7, 39–46 (2022).

Виртуальный датчик для реакторов плазмохимического травления

Сотрудники научно-образовательной школы МГУ «Фотоника» представили «виртуальный датчик» энергетического спектра ионов в плазме высокочастотных емкостных разрядов и показали возможности его использования. Точный контроль параметров, определяемых с помощью датчика, необходим при производстве современных микрочипов, например, при атомно-слоевом травлении материала подзатворного диэлектрика. В перспективе это позволит усовершенствовать технологии создания новых материалов.

Ион-стимулированные поверхностные процессы являются основой современных технологий плазменной обработки материалов, таких как плазмохимическое травление и осаждение металлов, полупроводников и диэлектриков. Энергетический спектр ионов, приходящих на электрод — важная характеристика разряда, определяющая скорость реакций на поверхности. В таких технологических процессах необходим прецизионный (высокоточный) контроль различных параметров плазмы, в том числе энергетического спектра ионов, особенно при проведении травления с атомно-слоевой точностью. Поскольку этот контроль должен осуществляться в «реальном времени», для него требуется обратная связь «в реальном времени» с использованием быстрых датчиков параметров процесса.

«В работе использовался разработанный в нашей лаборатории датчик энергетического спектра ионов. Однако, это — инвазивная диагностика, и в промышленном плазмохимическом реакторе его использование невозможно. Поэтому в работе предлагается подход, называемый “виртуальным датчиком”, то есть оценка энергетического спектра ионов по внешним измеряемым параметрам газового разряда с использованием математического моделирования. Отладка данной модели (“виртуального датчика”) осуществляется на экспериментальных данных с “настоящего” (не “виртуального”) датчика», — рассказал доцент кафедры атомной физики физического факультета МГУ Сергей Зырянов.

В работе датчик применялся для измерения параметров асимметричного двухчастотного разряда с использованием быстрого метода расчета распределения энергии ионов электроде с приложенным высокочастот-



«Настоящий» датчик для измерения энергетического спектра ионов.

ным напряжением смещения. В таком подходе в качестве входных данных используется экспериментально измеренная форма напряжения на плазменном слое и плотность плазмы, а также проводится моделирование движения ионов в оболочке методом Монте-Карло.

Полученные результаты демонстрируют возможность использования виртуального датчика распределения энергии ионов в плазме высокочастотных разрядов, и важны для исследований реакторов плазмохимического травления, используемых при производстве современных микрочипов с характерным размером структур менее 10 нм.

«“Virtual IED sensor” for df rf CCP discharges». M. Bogdanova, D. Lopaev, T.V. Rakhimova, D. Voloshin, A. Zotovich and S.M. Zyryanov. *Plasma Sources Science and Technology*. 30, N. 7 (2021).

Концентрация энергии наносекундного плазменного актуатора увеличивается в несколько раз при сверхбыстром нагреве вблизи выступа на профиле



Декан физического факультета МГУ, зав. каф. физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества, профессор Николай Николаевич Сысоев.



Профессор кафедры физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества Ирина Александровна Знаменская.



Научный сотрудник кафедры физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества, Тахир Аллахяр оглы Кули-Заде.

Основной перспективной областью применения плазменных актуаторов различных типов является управление газодинамическими потоками в камерах сгорания летательных аппаратов и на обтекаемых поверхностях. На плазмодинамическом стенде кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества исследуется воздействие на сверхзвуковой поток скользящего распределенного разряда (плазменного листа) с длительностью тока 300–500 нс. Разряд инициировался на диэлектрической поверхности канала с выступом в форме параллелепипеда, расположенного параллельно многоканальному разряду.

Обнаружен эффект перераспределения энергии импульсного поверхностного разряда вблизи диэлектрического выступа. Показано, что наличие выступа существенно искажает изначально однородное распределение плазмы разряда.

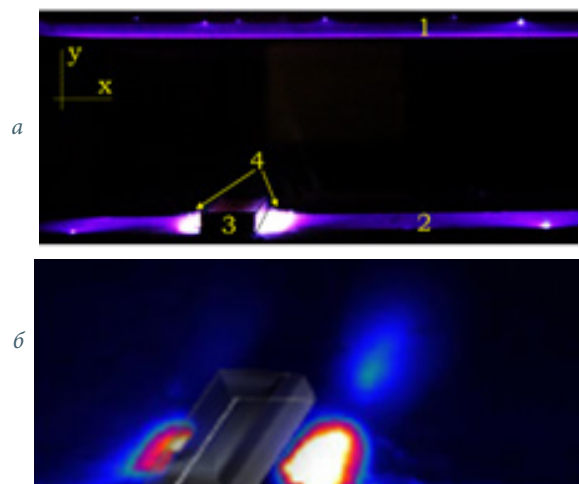


Рис 1. 1, 2 — плазменные листы; 3 — диэлектрический выступ; 4 — эффект экструзии.

Показано, что обнаруженный эффект экструзии свечения плазмы в видимом (рис. 1а) и инфракрасном (рис. 1б) диапазоне связан с локальным перераспределением энергии. Прослеживая динамику индуцированного разрядом сложного высокоскоростного потока с использованием цифровой теневой визуализации (рис. 2 слева) и численного моделирования (рис. 2 справа), группа аспирантов и сотрудников кафедры коли-

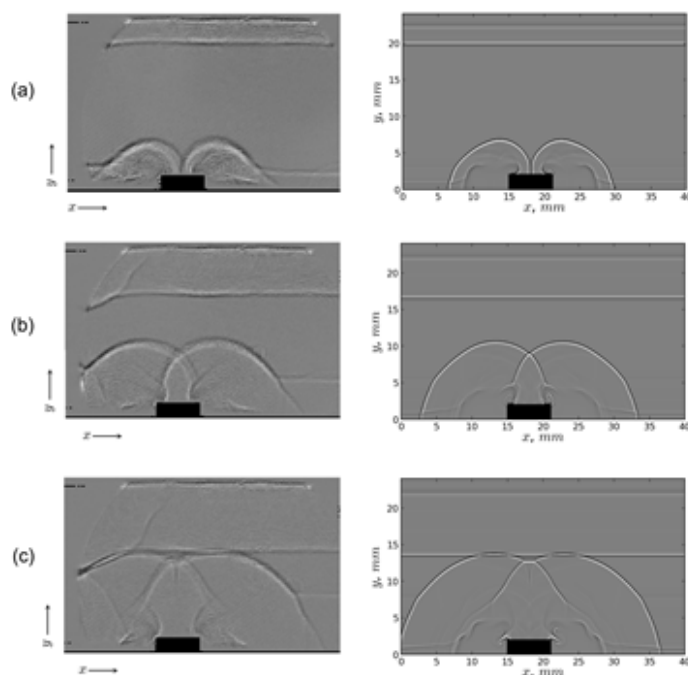


Рис. 2.



Старший преподаватель кафедры физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества Екатерина Юрьевна Коротеева.



Студентка кафедры физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества Елизавета Андреевна Карнозова.

Аспирант кафедры физики молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества Дарья Илларионовна Татаренкова.



чественно проанализировала энергетические характеристики локализованного разряда. При исследовании динамики инициированных разрядом взрывных волн, обнаружено, что явление выдавливания свечения импульсного разряда в сторону выступа связано с мгновенным перераспределением энергии разряда, которая быстро термализуется в области выступа. Импульсный разряд инициирует сложную конфигурацию ударной волны; изогнутые ударные волны, (распространяющиеся снизу) из области интенсивного свечения вблизи выступа, сильнее по сравнению с квазиплоскими фронтами ударных волн, наблюдаемыми в отсутствие выступа (сверху).

Количественно проанализирована динамика конфигураций разрывов. При двумерном численном моделировании на основе уравнений Навье-Стокса, газодинамического потока вызванного разрядом, варьировалось распределение энергии в области разряда. Цель состояла в том, чтобы сопоставить численные и экспериментальные теневые изображения ударных конфигураций в высокоскоростном потоке после разряда и в результате

количественно оценить пространственное перераспределение энергии разряда в приповерхностной области из-за наличия выступа. Показано, что концентрация быстро термализованной энергии разряда вблизи выступа увеличивается в 5–7 раз. При термографической съемке теплового поля в разрядной камере обнаружено, что разряд нагревает поверхность профиля; в то время, как оптическое излучение области разряда длится 600–800 нс, тепловое излучение (от 2 до 5 мкм) стенки длится до 30 мс. Описанные новые физические явления имеют особое значение на практике, когда плазменные актуаторы используются на поверхностях сложной геометрии в камерах сгорания.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 19-08-00661 и Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС»

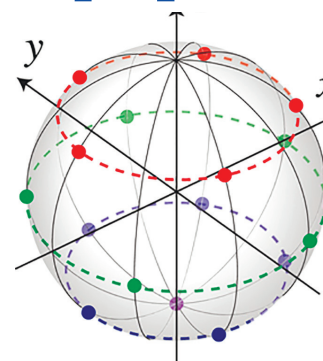
“Pulsed discharge-induced high-speed flow near a dielectric ledge.” D. I. Tatarenkova, E. Y. Koroteeva, T. A. Kuli-zade, E. A. Karnozova, I. A. Znamenskaya & N. N. Sysoev. *Experiments in Fluids*. **62**, no. 7. P. 151 (2021).

В центре квантовых технологий обучили нейросеть предсказывать полноту набора измерений в квантовой томографии

Международная группа ученых, включающая сотрудников Центра квантовых технологий физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, обучила свёрточную нейронную сеть предсказывать, является ли набор измерений в квантовой томографии информационно полным или нет. Это позволяет реконструировать квантовые состояния за меньшее количество измерений по сравнению с традиционными подходами, не используя при этом априорных предположений о возможном типе состояния. Также исследователи добавили вторую нейронную сеть, чтобы определять точность реконструкции без явного проведения томографии состояния.

Методы сжатого считывания (compressive sensing) квантовых состояний, не использующие априорную информацию, опираются на процедуру определения полноты набора проведённых измерений. В момент,

когда набор становится полным, возможно однозначное восстановление неизвестного исследуемого состояния по результатам измерений. До недавнего времени определение полноты измерений сводилось к серии



задач оптимизации, решения которых нужно было вычислять по ходу эксперимента. Замена оптимизационного алгоритма предварительно обученной нейронной сетью позволяет существенно снизить сложность вычислений (например, для состояний размерности 64 продемонстрировано ускорение на 3 порядка), что ведёт к кратному уменьшению затрачиваемого времени при проведении эксперимента. Соответственно, повышается точность томографии при наличии флуктуаций исследуемого состояния во времени, и результаты меньше подвержены эффекту накопления шумов.

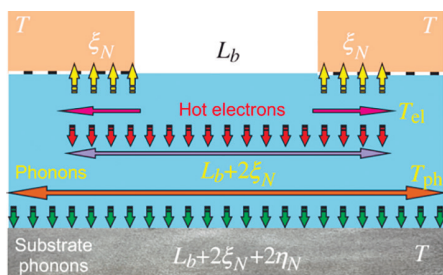
Представленные свёрточные нейронные сети проверялись как в эксперименте с многофотонными поляризационными состояниями, так и для пространственных состояний света большой размерности.

«Обучение нейросетей может быть выполнено заранее, на синтетических данных, полученных посредством

симуляции работы экспериментальной установки, — рассказал один из авторов статьи Глеб Стручалин, научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ. — Затем полученные нейросети могут без изменений многократно применяться в различных реальных экспериментах для определения полноты измерений и оценки точности восстановления состояния. В то же время, качество предсказаний, выдаваемых нейросетями, повышается, если в синтетическую обучающую выборку добавить результаты измерений, полученные в эксперименте. При этом нейросети изучат модель шума, которая отсутствовала в симулированных данных».

«Benchmarking quantum tomography completeness and fidelity with machine learning». Yong Siah Teo, Seongwook Shin, Hyunseok Jeong, Yosep Kim, Yoon-Ho Kim, G.I. Struchalin, E.V. Kovlakov, S.S. Straupe, S.P. Kulik, G. Leuchs. *New J. Phys.* 23, 103021 (2021).

Размеры контактов Джозефсона уменьшены для сверхпроводниковых схем



Сотрудники НОИ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» предложили метод миниатюризации контактов Джозефсона для цифровых сверхпроводниковых схем. Ученым удалось найти способ уменьшить планарные размеры такой структуры до «уровня» полупроводникового 40-нм техпроцесса. Результаты работы демонстрируют перспективы применения сверхпроводниковой технологии в области суперкомпьютеров.

Сверхпроводящие процессоры для квантовой индустрии обеспечивают связь между электроникой, работающей при комнатной температуре, и устройствами, функционирующими при суб-кельвиновых температурах. Такие системы отличаются также выдающейся энергоэффективностью и высокими тактовыми частотами. Эта технология получила огромный толчок к развитию в последнее десятилетие, однако ее развитие сдерживает низкая степень интеграции. Одна из самых сложных проблем в этой области — уменьшение размера джозефсоновского контакта, нелинейного элемента сверхпроводниковых цепей. С физической точки зрения эта гетероструктура — просто «слабая связь» между двумя сверхпроводниками.

«В работе мы рассмотрели различные варианты реализации джозефсоновских контактов в поисках структуры, способной «пережить» масштабирование до нанометровых размеров для использования в цифровой сверхпроводниковой технологии. Такие контакты должны обладать высокими значениями критического тока, сопротивления в нормальном состоянии и высокой воспроизводимостью параметров на изготовленном чипе», — рассказал доцент физического факультета МГУ Николай Кленов.

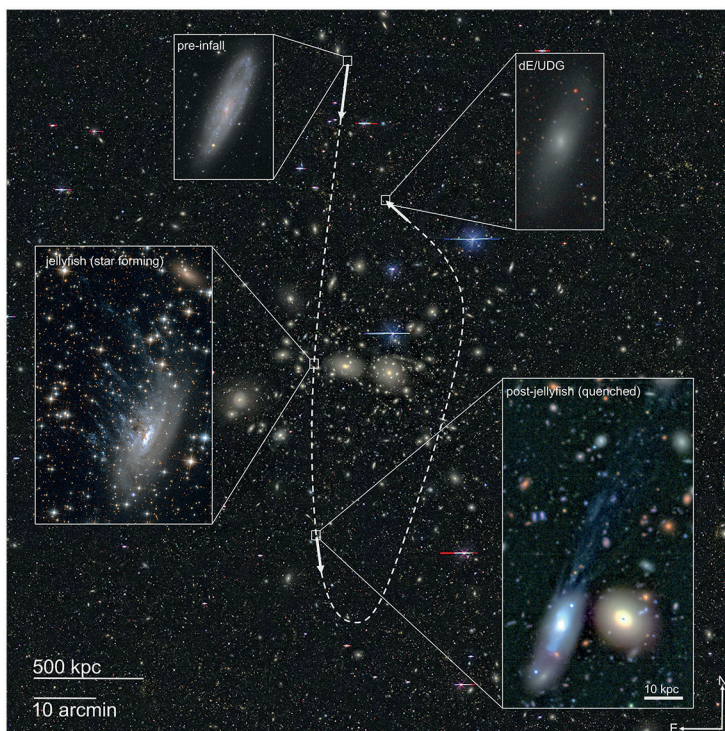
Сотрудники МГУ вместе с коллегами исследовали наиболее распространенные типы джозефсоновских гетероструктур с точки зрения их масштабируемости и показали, что контакт «сверхпроводник–металл–сверхпроводник» в геометрии «мостик переменной толщины» допускает многообещающую миниатюризацию планарных размеров. Ученые теоретически рассчитали температурные зависимости критического тока и характерного напряжения для различных интерфейсов.

Николай Кленов также добавил, что полученные результаты показали, что контакт с высоким (до 1 мВ) значением характерного напряжения может быть изготовлен из широко используемой комбинации материалов, таких как Nb и Cu, с использованием хорошо отработанных технологических процессов.

«Miniaturization of Josephson Junctions for Digital Superconducting Circuits». I.I. Soloviev, S.V. Bakurskiy, V.I. Ruzhickiy, N.V. Klenov, M.Yu. Kupriyanov, A.A. Golubov, O.V. Skryabina, and V.S. Stolyarov. *Phys. Rev. Applied* 16, Issue 4, 044060 (2021).

Впервые установлен доминирующий канал формирования карликовых галактик в скоплениях

Учёные ГАИШ МГУ совместно с коллегами обнаружили главный путь эволюции как минимум 44% экстремальных и малоизученных ультрадиффузных галактик. Астрофизики впервые показали с наблюдательной точки зрения, что такие галактики формируются за счёт «обдирания» газа с галактик-прародителей (маломассивных дисковых галактик). Исследование указывает на главный канал формирования галактик в самых массивных гравитационно-связанных структурах во Вселенной — скоплениях галактик.



(а) маломассивная спиральная галактика с текущим звездообразованием впервые входит в скопление;

(б) при движении к центральной части скопления воздействие лобового давления приводит к резкому увеличению интенсивности звездообразования и выметанию газа из галактики, которая на данном этапе классифицируется как "галактика-медуза";

(с) галактика полностью лишена газа: одна его часть выметана, а вторая превратилась в звезды в диске и в хвосте, процесс образования новых звезды полностью прекратился;

(д) спустя пару миллиардов лет в результате пассивной эволюции галактика превратилась в карликовую эллиптическую или в ультра-диффузную в зависимости от начальной массы звезд и газа.

Эволюционный сценарий формирования карликовых галактик в скоплениях.

Обнаруженный механизм эволюции называется «обдирание лобовым давлением». Когда галактика-прародительница влетает в скопление галактик, на неё начинает давить горячий межгалактический газ. Он выдавливает всю галактическую межзвёздную среду, из которой впоследствии образуется протяженный хвост, в котором успевают сформироваться самые молодые звёзды. После этого образование новых звёзд в таких галактиках уже невозможно, и они постепенно эволюционируют в ультрадиффузные галактики, происхождение которых до недавнего времени оставалось загадкой.

«Большинство галактик в скоплениях — это карликовые галактики, а как они формируются до сих пор было непонятно. И мы решили найти их молодые аналоги, населённые молодыми звёздами, но в остальном очень похожие на своих старших «собратей». Из-за того, что звёзды в молодых галактиках очень яркие, наблюдать их значительно проще: время экспозиции

телескопа будет составлять около 3–5 часов, когда для «взрослых» карликовых галактик из-за их тусклости это 30–50 часов. Такое длительное наблюдение — непосильная задача даже для самых больших телескопов в мире, поэтому наблюдение за молодыми карликовыми галактиками это наш шанс понять их происхождение» — считает ведущий автор статьи, сотрудник ГАИШ Кирилл Алексеевич Гришин. Кирилл окончил физфак в этом году, а данная публикация была принята в печать ещё когда Кирилл был студентом. Он получил за эту работу первую премию на конкурсе студенческих работ Р.В. Хохлова.

«Transforming gas-rich low-mass disk galaxies into ultra-diffuse galaxies by ram pressure». K.A. Grishin, I.V. Chilingarian, A.V. Afanasiev, D. Fabricant, I.Yu. Katkov, S. Moran & M. Yagi. *Nature Astronomy* 544 Accesses. 49 Altmetric (2021).

На кафедре акустики физического факультета МГУ создан информационный интернет-портал «Акустика» по русскоязычным публикациям

Сотрудники и студенты кафедры совместно с редколлегией «Акустического журнала», коллегами из Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ, Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН и Акустического института им. Н.Н. Андреева в рамках проекта информационного обеспечения акустики создали центр сбора и предоставления в открытом доступе информации по русскоязычным работам в области акустики. Разработана технологическая схема, позволившая реализовать на практике такой Центр в виде интернет-портала – <http://akdata.ru>.

Информационная система «АКУСТИКА»
РУССКОЯЗЫЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Поисковый запрос

Источник: Измените значение слова из названия журнала или книги, затем выберите из предложенных вариантов

Год (годы): Пример: 2021 или 2005-2021 Тон: Номер выпуска:

Авторы: Пример: Иванов И.И., Петров П.П.

Ключевые слова: Пример: Нелинейные акустические волны или: Нелинейные, акустические, волны

Рубрика: Пример: 08 Атмосферная и аэроакустика

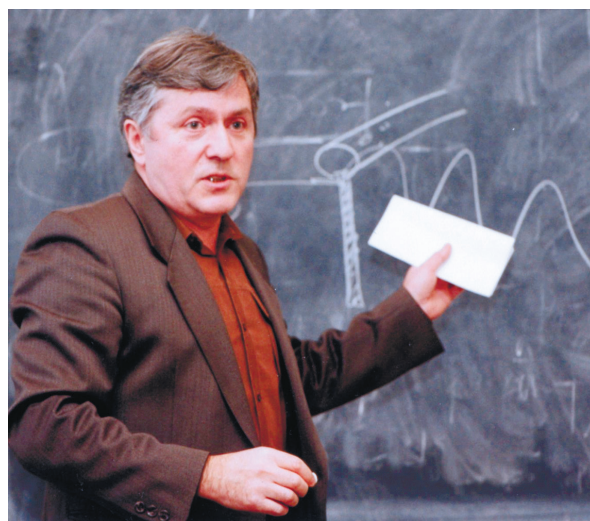
Подрубрика:

В Акустика. Информационная система, 2014-2021

Портал «Акустика».

О своей работе сотрудники рассказали в журнале «Успехи физических наук» в № 11 за 2016 г., ряде публикаций в «Акустическом журнале», «Вестнике РАН». Изданы две монографии в серии «Физические и математические модели баз данных и нейронных сетей» Итогов науки и техники ВИНТИ: Шамаев В.Г., Горшков А.Б. «Система информационного обеспечения и поддержки научных исследований в области физико-математических наук», М.: ВИНТИ, 2017 и Шамаев В.Г. «Акустические аналогии и наукометрические исследования при математическом моделировании документального потока», М.: ВИНТИ, 2021.

Разработка проекта была вызвана отсутствием в стране единого центра сбора и предоставления информации по физике в области русскоязычных работ с удовлетворяющим пользователей современным поисковым аппаратом. Существующие же зарубежные центры, поддерживающие такие информационно-поисковые системы, — такие как SciFinder для химиков, выросшая из Chemical Abstracts, MathSciNet — для математиков, INSPEC — для инженеров, ADS (NASA) — для астрономов, Web of Science или Scopus — для физиков, полноценно не отражают в своих базах работы наших авторов, разве что в виде статей в переводных научных журналах, либо статей, переведенных на английский язык и отосланных самими авторами в иностранные журналы.



Заведующий кафедрой акустики академик Олег Владимирович Руденко.

Инициатива проекта принадлежит зав. кафедрой акустики академику Олегу Владимировичу Руденко, предложившему коллективу для начала создать полнотекстовый интернет-архив «Акустического журнала». Руководитель проекта, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры акустики физического факультета МГУ В.Г. Шамаев вспоминает: «В конце 2011 г. к нашей группе, работавшей тогда в ВИНТИ РАН, обратился О.В. Руденко с предложением перевести бумажный архив номеров «Акустического журнала» в электронный вид. С 1955 г. — начала выхода журнала к 2011 г. вышло уже 306 номеров с общим объемом порядка 9 тысяч статей. В то время такая работа была нам интересна. Мы имели практический опыт по выпуску электронного Реферативного журнала «Физика», электронной «Экологической энциклопедии», «Итогов науки и техники» и др. и с увлечением разработали для «Акустического журнала» оригинальную технологию.



Руководитель проекта, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры акустики физического факультета МГУ В.Г. Шамаев.

Работа началась в феврале 2012 г. в отделе физики ВИНТИ, а к июню переместилась на физический факультет МГУ. Какие были трудности – разработка концепции сайта, его дизайна, структуры, взаимосвязи составляющих внутри этой структуры, необходимость встраивания указателей, перекрестные гиперссылки. Было необходимо не просто выложить все номера журнала, но и предусмотреть удобную навигацию по всему содержимому. Всё это оперативно выполнялось в параллельном режиме. Много времени заняло сканирование содержимого всех номеров. В процессе сканирования подтвердилось, что работа была начата очень своевременно, потому что даже в редакции «Акустического журнала» не оказалось полного комплекта журналов, и пришлось некоторые номера брать в библиотеке Акустического ин-та им. Н.Н. Андреева, а несколько номеров нашлись только у индивидуальных подписчиков.

Сканирование выполнялось каждый день в течение трех месяцев, и вчерне материал был получен к середине 2012 года. Интересно, что, в борьбе с книжной пылью, по ранним журналам приходилось работать в медицинских масках, словно предчувствуя нынешнюю пандемию. Некоторые сканы мы специально оставили в цвете, с их пожелтевшими от времени и книжной пыли страницами, чтобы показать, как они состарились. Были привлечены выпускники физического факультета МГУ, уже опытные программисты и исследователи: А.В. Жаров, В.А. Батулин, О.А. Батурина, О.Б. Старцева, студент Н.В. Шамаев, выпускница ВМК К.О. Малинина”.

“Параллельно выполнялись работы по дизайну сайта и программированию как последовательных этапов обработки материала, так и комплектования страниц сайта. Это включало в себя сборку отдельных электронных номеров из огромного массива отсканированных изображений, включая распознавание необходимого материала для страницы сайта с содержанием каждого номера и добавлением к библиографии каждой статьи резюме. Мы решили, что на странице должно появляться сразу всё содержание номера с резюме к каждой статье,

а не просто сначала содержание, а затем по клику вывод дополнительно резюме. Последнее практикуют почти все сайты научных, да и не только, журналов, и это вызывает раздражение у многих пользователей. Наша установка была такой — меньше кликов, чтобы дойти до нужного материала. Проводились также работы по созданию технологии формирования авторского указателя, заполнению рубрик и созданию перекрестных гиперссылок по всему материалу, чтобы из каждой статьи на странице любого номера можно было перейти к авторскому указателю и рубрике и, наоборот, из авторского указателя или рубрикатора перейти к нужной статье”, — сообщает кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ГАИШ МГУ А.Б. Горшков, ведущий программист проекта.



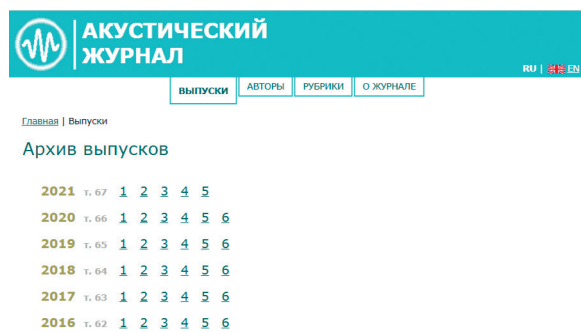
Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ГАИШ МГУ А.Б. Горшков, ведущий программист проекта.

Все номера до 2012 г. рубрицировал сотрудник Акустического института кандидат физико-математических наук, тоже наш выпускник Д.Л. Расторгуев, параллельно выполнявший в то время обязанности штатного редактора выпуска РЖ “Акустика” ВИНТИ. В дальнейшем все статьи выходящих номеров с 2012 г. и по настоящее время рубрицировались главным редактором “Акустического журнала” О.В. Руденко.

В июле 2012 г. весь Архив был выложен в Интернет. Интересно отметить, что «первое время некоторые пользователи начали бурно скачивать необходимые им статьи, т.к. не верили, что “такое счастье” может длиться долго, и сайт либо закроют, либо начнут “монетизировать”», — говорит О.В. Руденко.

В конце 2012 г. для удобства зарубежных пользователей была сделана англоязычная версия сайта. Сайт стал двуязычным

В том же 2012 году была открыта в Википедии статья об “Акустическом журнале”, где приведена подробная информация по журналу, его главным редакторам, редколлегии, авторам, рубрикам, наполнению по годам, основным вехам истории журнала. На начало 2021 г. она была актуализирована.



Сайт «Акустического журнала».

Таким образом, на кафедре акустики физического факультета МГУ создан уникальный информационный продукт — полнотекстовый архив «Акустического журнала» за все 67 лет его существования. Эффективность ресурса подтверждается повышением импакт-фактора «Акустического журнала». Если в начале работы по данным Web of Sciences он был 0,421 (2012 г.), то в 2019 г. — 1,33. По данным «Российского индекса научного цитирования» (РИНЦ) он заметно вырос и достигает 1,68 на 2019 год. По этому показателю «Акустический журнал» входит в первую тройку физических журналов в России.

В настоящее время Архив доступен по адресу <http://www.akzh.ru> и с портала «Информационная система «Акустика». Русскоязычные источники» — <http://akdata.ru>.

Сам портал появился в результате развития первоначального успеха и стал «витриной» проекта по созданию Центра сбора и предоставления в открытом доступе информации по русскоязычным работам акустической тематики. На портале «Акустика» собирается информация со всех доступных нам источников, включая периодические издания, книги, труды конференций и семинаров, патенты, нормативные документы и т.д. Составной частью портала является и сайт «Сигнальной информации» (<http://akinfo.ru>), который реализован как информационная система по текущему срезу вышедших публикаций по акустике, с периодичностью в 2 месяца. Кроме того, технология подготовки «Сигнальной информации» используется также для редактирования ретроспективной информации, вводимой в информационную систему.



Сайт «Акустика. Сигнальная информация».

Выполненные на кафедре технологические разработки дали возможность готовить и выпускать научно-информационные издания и информационные ресурсы в электронной форме. Они также позволили расширить для научных и инженерно-технических работников возможности по поиску и использованию других информационных ресурсов. Важно в свою очередь понимать, что информационные ресурсы не возникают сами по себе, а появляются в результате выполнения интеллектуальных процессов аналитико-синтетической переработки научных документов, и именно они определяют качество информационных ресурсов, от которого в значительной степени зависит результат их использования. Эта переработка как первичных, так и вторичных ресурсов может выполняться только квалифицированными специалистами — без них не удастся реализовать в полной мере заложенные в технологических разработках возможности.

В настоящее время в базу данных портала «Акустика» загружено более 60 000 документов из приближающихся к тысяче периодических источников и кроме простого предоставления информации портал позволяет проводить работы по изучению состояния русскоязычной акустики на текущий момент времени, снимать данные для последующего анализа тенденций в развитии той или иной области акустики, получать данные об области интересов того или иного специалиста, искать интересные статьи и т.д.

О портале кафедры акустики знают во всем мире, и из населенных континентов за последний год нет посещений только из Центральной Африки. Много посещений из США, Белоруссии, Украины, Австралии, Германии, Канады и Китая. Значительно — из Азербайджана, Болгарии, Великобритании, Израиля, Казахстана, Франции. За год количество скачиваний статей полнотекстового архива «Акустического журнала» достигает 100 000.

Еще одним не менее важным аспектом выполненной работы было создание математических моделей потоков документов, основанных на уравнениях акустики и механики сплошной среды. Моделирование проведено с целью ускорения обработки документов при подготовке информационных продуктов и оптимизации количества необходимых специалистов. Близкое по смыслу моделирование проводили Лайтхилл и Уизем, а также группа академика Б.Н. Четверушкина (для транспортных потоков). Вторая близкая по смыслу — модель Зельдовича–Гурбатова для образования ударных волн в потоках звездного вещества и формирования ячеистой структуры Вселенной.

Все эти модели, включая нашу, используют аналогию с акустикой — уравнения Римана и Бюргерса. В основе моделей — замена потока дискретных элементов течением сплошной среды. Для изучения процесса нелинейного искажения, как принято в акустике, использовался метод графического построения, предложенный Р.В. Хохловым. А при решении задачи торможения документального потока при увеличении плотности — числа докумен-

тов — и ее градиента использовалась похожая связь акустических параметров, предложенная Р.В. Хохловым и С.И. Солуяном. Предложенные математические модели аналогичны уравнениям для акустических возмущений. «Волновая» аналогия предполагает наличие сжимаемости среды, которая для потока документов связана с изменением плотности их распределения.

В заключение отметим, что в науке важное значение имеют вопросы приоритета и сохранения интеллектуальной собственности. Многие из наших авторов обнаруживают свои русскоязычные статьи, опубликованные их «коллегами» под своими именами по второму и третьему разу в зарубежных журналах. Такова нынче практика внутривидовой борьбы в научном мире. Также, в текущих статьях нередко встречаются повторы из ранее публиковавшихся результатов, свидетельствующие о недостаточном знакомстве авторов с работами

своих предшественников. Только правильно организованное информационное пространство может гарантировать чистоту и новизну научных результатов, которые лежат в основе исследовательского процесса.

Созданные технологии подготовки информационных ресурсов и сами ресурсы, на наш взгляд, представляют собой законченную систему информационного обеспечения акустических исследований по русскоязычному сегменту. Они также позволяют обеспечить полное отражение русскоязычной научной литературы для мониторинга и объективной экспертной оценки научной деятельности российских ученых, что может способствовать укреплению положительного имиджа российской науки в мире. В настоящее время авторы проекта начали масштабирование своего портала на другие области физики и астрономии.

Зелёная химия высокого давления для природных полимеров

Сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ впервые создали гибрид из двух биополимеров – бактериальной целлюлозы и хитозана — в растворителе с приставкой «эко».

В работе исследовались закономерности формирования композита на основе бактериальной целлюлозы и хитозана в воде, насыщенной CO_2 под высоким давлением. Бактериальная целлюлоза — продукт жизнедеятельности некоторых бактерий, который в ряду полимерных материалов выгодно отличается своей чистотой, высокой прочностью и водопоглощающей способностью. Хитозан производят из природного полимера хитина, который, в свою очередь, добывается, например, из панцирей ракообразных — побочного продукта пищевой промышленности.

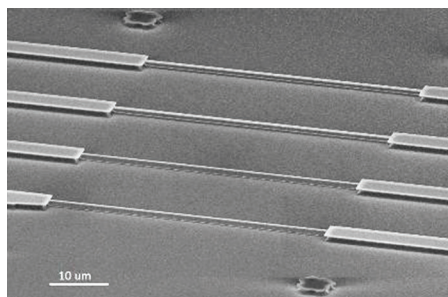
«Мы обнаружили, что хитозан можно растворять в воде, которая при её насыщении CO_2 под высоким давлением в несколько сотен атмосфер, превращается в раствор угольной кислоты с pH около 3. Далее в таком растворе можно формировать различные композиты, например путём проникновения растворённых макромолекул хитозана в плёнку бактериальной целлюлозы. Во-первых, это даёт преимущества с точки зрения чистоты самого растворителя, в котором формируются композиты. Мы не используем никаких дополнительных химических веществ, в таком процессе участвуют только вода и CO_2 , который покидает готовый материал при сбросе давления. Во-вторых, оказалось, что ис-

пользование растворов угольной кислоты под высоким давлением CO_2 для создания таких композитов приводит к значительному увеличению количества хитозана в матрице (по сравнению с иными методами введения биополимера), а также к увеличению площади поверхности и снабжению её большим количеством новых свободных функциональных центров» — рассказывает автор статьи Марина Пигалёва, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник физического факультета МГУ.

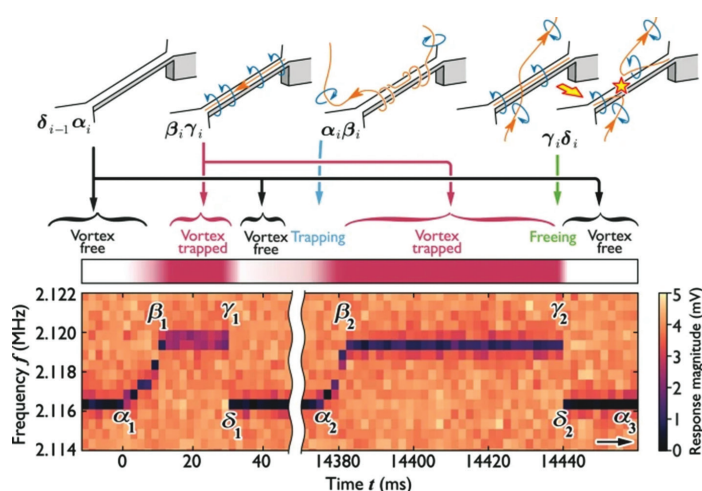
Полученные результаты могут быть использованы при создании раневых и противоожоговых повязок с антимикробным действием в биомедицинской промышленности. Также разработанный новый метод создания композитов, следующий парадигме «зелёной» химии, должен послужить толчком для научного сообщества разрабатывать полимерные композиты в средах, содержащих CO_2 под высоким давлением.

«Green approach for fabrication of bacterial cellulose-chitosan composites in the solutions of carbonic acid under high pressure CO_2 » I.V. Novikov, M.A. Pigaleva, A.V. Naumkin, G.A. Badun, E.E. Levin, E.P. Kharitonova, T. I. Gromovskiy & M.O. Gallyamov. Carbohydrate Polymers. 258, 117614 (2021).

Нанoeлектромеханическая система для захвата квантового вихря



Учёные НОИП «Фотоника» и Центра квантовых технологий физфака МГУ совместно с коллегами из Ланкастерского университета (Великобритания) создали и успешно применили на практике устройство для исследования явлений квантовой турбулентности, способное детектировать в режиме реального времени единичные квантовые вихри в сверхтекучем гелии (^4He). Основой детектора является нанoeлектромеханическая система (НЭМС), разработанная и изготовленная в ЦКП МГУ «Учебно-методический центр литографии и микроскопии». Исследование добавит понимания самого явления турбулентности и её квантовой разновидности.



Несмотря на то, что явление турбулентности очень распространено и наблюдается в повседневной жизни в виде прибоев, бурного течения рек, вздымающихся грозных облаков, дыма из трубы и т.д., полной теории турбулентности на сегодняшний день не существует. Аналитического решения фундаментального уравнения Навье-Стокса, которому подчиняются потоки жидкостей и газов, не найдено до сих пор за исключением простейших случаев.

Моделировать квантовую турбулентность проще, чем её классический аналог поскольку в сверхтекучих жидкостях вихри имеют фиксированный размер и идентичны. Квантовая турбулентность представляет собой клубок квантованных вихрей, поэтому на основе изучения поведения одиночного квантового вихря можно построить своего рода «атомную модель» этого явления. Но явление турбулентности в квантовых системах проявляется на микроскопическом масштабе и до недавнего времени у ученых не было инструментов, позволяющих с достаточным пространственным разрешением исследовать такие маленькие структуры. Это стало возможным лишь с появлением НЭМС и разработкой сверхчувствительных детекторов на её основе.

«Используемая в эксперименте нанoeлектромеханическая резонансная система состоит из подвешенного

нанопровода из нитрида кремния с поперечным размером 100 нм и длиной 70 мкм, покрытого плёнкой алюминия толщиной 30 нм. Механические колебания в системе возбуждаются магнитодвижущим методом: пропусканием переменного тока через нанопровод в перпендикулярном магнитном поле 5 Тл», — рассказал Александр Дорофеев, младший научный сотрудник кафедры физики полупроводников и криоэлектроники и Центра квантовых технологий физического факультета МГУ.

Резонансная частота нанопровода крайне чувствительна к внешнему воздействию. При взаимодействии квантового вихря с нанопроводом резонансная частота последнего изменялась с характерной зависимостью от времени. Это позволило охарактеризовать различные стадии взаимодействия единичного квантового вихря с нанопроводом, а именно момент захвата вихря нанопроводом, период их взаимодействия и момент освобождения.

Авторы работы подчеркивают, что массив таких наномеханических резонаторов может иметь достаточную точность для пространственного и временного разрешения более сложной квантовой вихревой структуры в сверхтекучих жидкостях. Разработанные устройства также позволяют фиксировать конец частично захваченного вихря для изучения наноразмерных колебаний вихревого ядра добавят понимания турбулентности и могут дать ключ к решению столь «упрямых уравнений» Навье-Стокса.

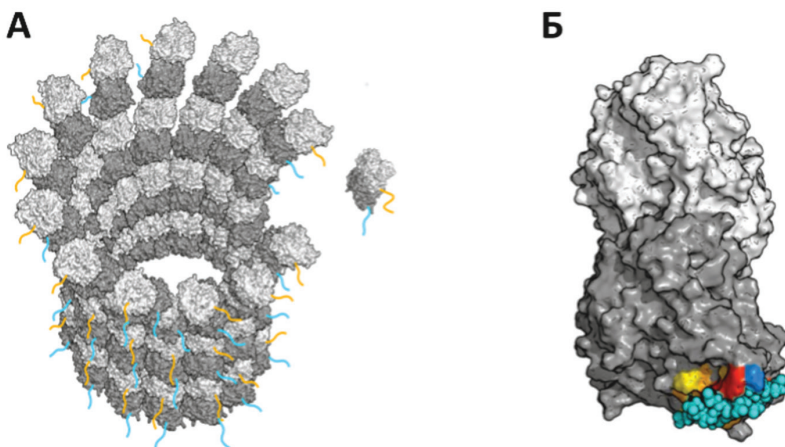
Захват одиночного вихря в специальной конфигурации в перспективе позволят изучить динамику волн Кельвина, что является долгожданной целью в исследованиях квантовой турбулентности.

«Nanoscale real-time detection of quantum vortices at millikelvin temperatures». A. Guthrie, S. Kafanov, M. T. Noble, Yu.A. Pashkin, G.R. Pickett, V. Tsepelin, A.A. Dorofeev, V.A. Krupenin & D.E. Presnov. *Nature Communications* **12**, 2645 (2021).

На кафедре биофизики приблизились к разгадке появления нейродегенеративных заболеваний

Международная команда учёных, куда вошли сотрудники биологического и физического факультетов МГУ, выяснила аспекты регуляции сборки и разборки белкового скелета клеток. Молекулярно-динамические расчеты производились на суперкомпьютере МГУ «Ломоносов-2». Исследование может пролить свет на патофизиологию нейродегенеративных заболеваний. Работа выполнена в рамках деятельности НОИ МГУ «Фотоника».

Внутренний скелет клеток высших организмов состоит из трех основных типов белковых структур: микротрубочек, актиновых нитей и промежуточных филаментов. Наиболее жесткими каркасными структурами являются микротрубочки, представляющие собой длинные цилиндры, собранные из двух похожих глобулярных белков: α - и β -тубулинов. С помощью микротрубочек осуществляются многие жизненно важные процессы: движение клеток с помощью жгутиков и ресничек, внутриклеточный транспорт, поддержание формы клеток, организация внутриклеточного пространства и клеточное деление. В основе многофункциональности микротрубочек лежит явление динамической нестабильности. То есть микротрубочки могут спонтанно переходить от медленного удлинения к стремительному укорочению. Во всех клетках организма сборка и разборка микротрубочек четко регулируется. Например, в одних тканях они становятся более стабильными, а в других — динамика полимеров тубулина наоборот активизируется, приводя к изменению микротрубочек. Более того, иногда эти процессы настраиваются по-разному в разных частях одной клетки. Для этого специальные ферменты помечают гибкие участки на концах тубулинов — тубулиновые хвосты — с помощью специальных модификаций. Ферменты могут, например, отсоединить аминокислоты от тубулинового хвоста или, наоборот, подшить их. Поскольку подобные модификации сообщают информацию о дальнейших перестроениях, их называют тубулиновым кодом. О том, к каким изменениям приводят те или иные модификации, на сегодняшний день известно довольно много. А вот как именно эта информация считывается и реализуется до сих пор не ясно. Исследователи из МГУ совместно с зарубежными коллегами решили выяснить один из аспектов этого вопроса — модификации тубулиновых хвостов сами по себе приводят к изменению динамических свойств микротрубочек, или они служат лишь сигнальным агентом для других белков.



На картинке: Иллюстрация роли хвостов тубулинов в регуляции их сборки. А. Конец микротрубочки и присоединяющийся димер тубулина. β -тубулины показаны светло-серым, α -тубулины — темно-серым цветом, а их гибкие хвосты — оранжевым и бирюзовым, соответственно. Б. Крупный вид димера тубулина с α -хвостом, блокирующим поверхность взаимодействия с микротрубочкой. Красным и желтыми цветами отмечены участки глобулярной поверхности, с которыми наиболее часто взаимодействует заряженный хвост тубулина. Синим показана аминокислота в основании хвоста.

Сотрудники кафедр биофизики биологического и физического факультетов МГУ теоретически показали, что тубулиновые хвосты могут напрямую влиять на скорость сборки микротрубочек. «На суперкомпьютере «Ломоносов-2» мы провели молекулярно-динамические расчеты, которые позволили теоретически показать, что гибкие хвосты α -тубулинов могут блокировать поверхность глобулы тубулина, необходимую для встраивания субъединицы тубулина в микротрубочку», — рассказал ведущий научный сотрудник биологического факультета МГУ Илья Коваленко.

Американская часть научного коллектива экспериментально проверила теоретические предсказания учёных МГУ. Опыты показали, что удаление гибкого хвоста α -тубулинов почти вдвое ускоряет сборку микротрубочек. Это позволяет предположить, что белки, связывающиеся с тубулинами, способны активировать сборку микротрубочек, взаимодействуя с заряженным хвостом тубулина. В статье также впервые показано, что удаление аминокислоты тирозина с конца заряжен-

ного хвоста α -тубулина влияет на микротрубочки опосредованно, препятствуя посадке на микротрубочки дополнительных регуляторных белков.

«Совокупно полученные нами данные проясняют механизмы изменения динамики микротрубочек, зашифрованные тубулиновым кодом. Понимание тонкой регуляции свойств микротрубочек с помощью их гибких хвостов может пролить свет на патофизиологию нейродегенеративных заболеваний и нарушений развития организма,

связанных с отклонениями динамических свойств микротрубочек от нормы», — сделал заключение руководитель теоретической части работы, старший научный сотрудник физического факультета МГУ Никита Гудимчук.

« α -tubulin tail modifications regulate microtubule stability through selective effector recruitment, not changes in intrinsic polymer dynamics». J. Chen, E. Kholina, A. Szyk, V.A. Fedorov, I. Kovalenko, N. Gudimchuk, A. Roll-Mecak. *Developmental Cell*. **56**, I. 14. Pp. 2016–2028 (2021).

Существенное уменьшение размера базовых ячеек энергоэффективных и быстродействующих джозефсоновских цифровых схем

Сотрудники кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета МГУ совместно с коллегами (Россия, Нидерланды) впервые предложили новый подход к миниатюризации базовых ячеек цифровой сверхпроводниковой электроники, что открывает путь к увеличению степени интеграции таких цифровых схем и расширению области их применимости. Работа поможет улучшить быстродействие квантовых компьютеров и различных низкотемпературных датчиков, используемых в телекоммуникационных системах, радиоастрономии. Исследование выполнено в рамках НОШ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».



Доцент кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники Николай Викторович Клёнов.

Сверхпроводниковая цифровая электроника используется в специализированных вычислительных системах в ситуациях, когда её достоинства — высокие быстродействие и энергоэффективность — оказываются критически важны. К таким задачам относятся, например, обработка сигналов с массивов сверхчувствительных низкотемпературных датчиков или с элементов квантовых компьютеров (гибридные квантово-классические сверхпроводниковые вычислительные машины сейчас привлекают повышенное внимание исследователей).

с учетом энергозатрат на охлаждение современные цифровые сверхпроводниковые устройства на пару порядков «бережливее» своих полупроводниковых аналогов. Вот только сделать компактными ячейки цифровых джозефсоновских схем долгое время никак не получалось. Одна только индуктивность, используемая для хранения информации в виде квантов магнитного потока, занимала несколько квадратных микрометров на чипе», — рассказывает сотрудник НОШ «Фотоника», доцент физического факультета МГУ Николай Кленов.

Коллектив авторов, состоящий из учёных МГУ и их коллег, при помощи имитационного численного моделирования на основе обобщенной резистивной модели джозефсоновских гетероструктур и метода баланса фаз для сверхпроводящих цепей предложил и исследовал разные варианты реализации ячейки памяти, а также 8-битного параллельного сумматора, способного функционировать без «индуктивностей для хранения информации», занимающих много места на чипе.

«Superconducting Circuits without Inductors Based on Bistable Josephson Junctions». I.I. Soloviev, V.I. Ruzhickiy, S.V. Bakurskiy, N.V. Klenov, M.Yu. Kupriyanov, A. A. Golubov, O.V. Skryabina, and V.S. Stolyarov. *Phys. Rev. Applied*, **16**, 014052 (2021).

«Вычислительные комплексы, элементная база которых использует макроскопические квантовые эффекты в сверхпроводниках, могут быть весьма интересны: характерная длительность одной операции здесь составляет всего несколько пикосекунд ($1\text{ пс} = 10^{-12}\text{ с}$); тепла же при этом выделяется всего порядка 1 аДж (10^{-18} Дж). Даже

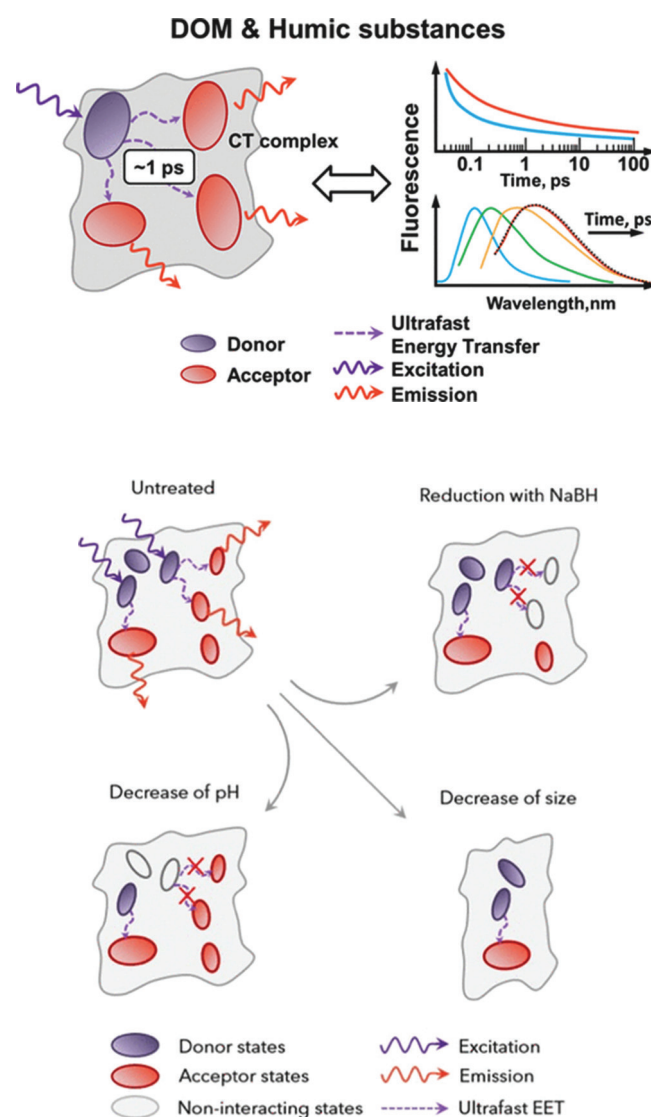
Природа флуоресценции в растворенной органике

Учёные МГУ открыли новые механизмы, определяющие уникальные оптические свойства растворенного органического вещества, гуминовых веществ и других неупорядоченных органических систем. Исследование поможет лучше мониторить здоровье водных и почвенных экосистем и может быть использовано для диагностики и прогноза их состояния. Работа проходила в рамках деятельности НОШ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» и «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Гумификация — глобальный процесс разложения биомассы, образованной в результате фотосинтеза. Этот процесс замыкает цикл планетарного метаболизма органического углерода. Продукты гумификации — высоко неупорядоченные молекулярные ансамбли неживого органического вещества. Они представляют собой «экосистемный метаболит» и присутствуют в почвах и твердых горючих ископаемых (торф, уголь) в виде гуминовых веществ (ГВ), а в природных водах формируют пул растворенного органического вещества (РОВ). По аналогии с качеством и количеством метаболитов, присутствующих в биологических жидкостях человека, молекулярный и количественный состав РОВ и ГВ несет информацию о здоровье водных и почвенных экосистем и может быть использован для диагностики и прогноза их состояния. Особую роль для применения в качестве диагностических показателей имеют флуоресцентные характеристики РОВ и ГВ, которые часто используются исследователями для мониторинга состояния природных вод и прогнозирования изменения окружающей среды в результате изменения климата. Однако природа наблюдаемой флуоресценции и её связь со структурными характеристиками и молекулярным составом РОВ и ГВ до сих пор является предметом дискуссий. В связи с этим все предлагаемые прогностические модели носят сугубо эмпирический характер.

В поисках теоретических закономерностей авторы работы обратили внимание на то, что флуоресцентные свойства РОВ и ГВ различного происхождения весьма близки между собой, несмотря на крайнее разнообразие их молекулярного состава. Для объяснения этого явления ученые использовали методы флуоресцентной спектроскопии с наносекундным и фемтосекундным временным разрешением. В результате им удалось показать, что сходство флуоресцентного отклика различных РОВ и ГВ объясняется наличием межмолекулярного взаимодействия, проявляющегося в сверхбыстром переносе энергии между отдельными молекулярными компонентами РОВ и ГВ. Именно этот сверхбыстрый перенос энергии пикосекундного масштаба приводит к смещению спектров флуоресценции в красную область спектра, присущего большому классу РОВ и ГВ. Также ученые установили, что скорость сверхбыстрого переноса и величина «красного сдвига» коррелированы и зависят от количества донорных и акцепторных пар, участвующих в переносе энергии, и от размера молекулярного ансамбля РОВ и ГВ.

«Оптическая спектроскопия — один из популярных методов диагностики свойств РОВ и ГВ, так как он легко применим для проведения *in situ* исследований в натуральных условиях. Поэтому на настоящий момент накоплен огромный эмпирический массив данных о взаимосвязи оптических и структурных свойств РОВ и ГВ, который широко используется для мониторинга состояния ледников, вечной мерзлоты, водоёмов и почв. Понимание фундаментальных процессов, которые лежат в основе формирования оптических свойств, необходимо для замены эмпирических взаимосвязей теоретическими за-



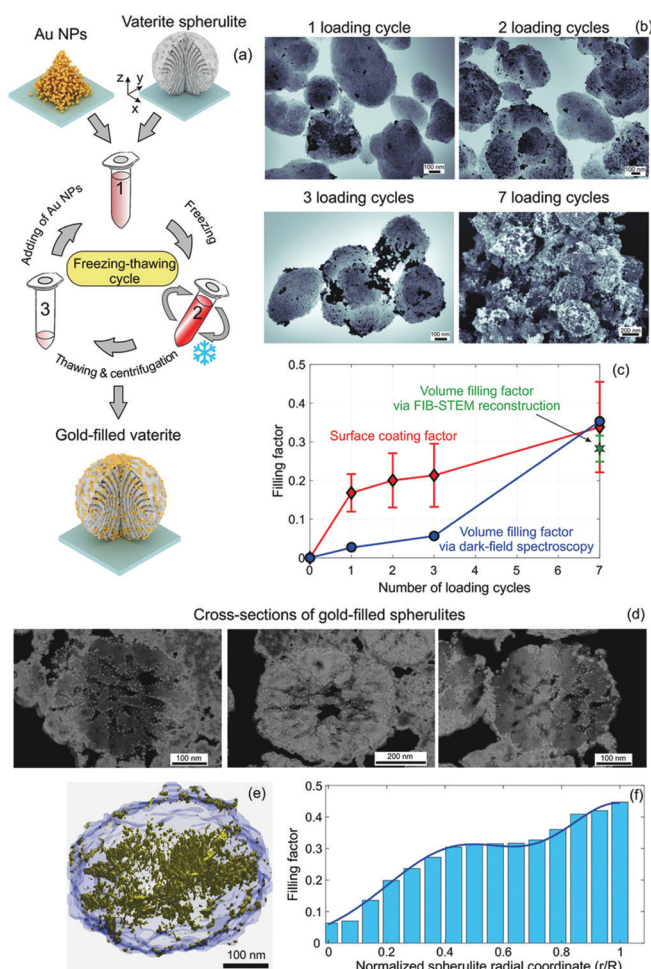
кономерностями. В нашей работе мы впервые показали, что в основе наблюдаемых флуоресцентных свойств РОВ и ГВ лежит не только химическое разнообразие структур в составе их молекулярного ансамбля, но и наличие специфического типа открытого нами сверхбыстрого межмолекулярного взаимодействия, которое приводит к переносу энергии возбуждения между отдельными хромофорами РОВ и ГВ в масштабе пикосекунд. Тем самым мы показали, что технологии фотоники незаменимы для развития экосистемной метаболомики, особенно в части решения задач, связанных с изменением климата и прогнозом адаптации окружающей среды», — рассказал сотрудник НОШ «Фотоника», младший научный сотрудник физического факультета МГУ Борис Якимов.

Полученные результаты позволили сформулировать теоретические основы формирования оптических свойств РОВ и ГВ и предложить новую теоретическую модель для объяснения экспериментально наблюдаемых трендов оптики РОВ и ГВ, которая может быть использована для мониторинга состояния природных вод и прогнозирования изменения окружающей среды в результате изменений климата с помощью оптических методов.

«Ultrafast Energy Transfer Determines the Formation of Fluorescence in DOM and Humic Substances». B.P. Yakimov, A.A. Rubekina, G.S. Budylin, A. Y. Zhrebker, V.O. Kompanets, S.V. Chekalin, Yu.G. Vainer, V.V. Fadeev, M.Y. Gorbunov, I.V. Perminova, and E. A. Shirshin. *Environmental Science & Technology*. 55, 15, 10365–10377 (2021).

Новая технологическая платформа для наномедицины

Сотрудники научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» в составе международной группы исследователей предложили метод создания метаматериалов с перестраиваемыми резонансно-оптическими свойствами в области «окна прозрачности» биотканей. Полученные наноструктуры обладают высокой биосовместимостью и могут быть использованы для фототермической терапии, фотоакустической томографии, биомиджинга и доставки лекарств.



Учёные использовали новый подход для контролируемой имплантации золотых наночастиц в пористые сферы из карбоната кальция (ватерита). В результате удалось получить мезоскопический метаматериал, резонансные свойства которого можно перестраивать в широком спектральном диапазоне, изменяя загрузку пористых ватеритных сфер золотом.

«Мы продемонстрировали, что частицы “золотого ватерита” обеспечивают эффективный локальный нагрев при лазерном облучении в окне прозрачности биологических тканей. Термометрия отдельных частиц осуществлялась путем визуализации времени жизни флуоресценции — чем выше температура, тем быстрее молекулы релаксируют из возбужденного состояния. Сейчас мы тестируем разработанный материал при физиологических условиях для локальной гипертермии клеток и управления самосборкой белковых молекул и пептидов. Учитывая возможность настраивать спектральные свойства наших частиц и загружать в них различные молекулы — например, флуоресцентные метки для 3D визуализации или лекарства. Мы полагаем, что они могут стать удобной системой для тераностики (подход в медицине, заключающийся в комплексном решении проблем путём создания препаратов, которые являются одновременно и терапевтическим агентом и средством ранней диагностики)», — рассказал старший научный сотрудник физического факультета МГУ Евгений Ширшин.

В работе приняли участие ученые из Тель-Авивского университета и Сколковского института науки и технологий.

«Golden Vaterite as a Mesoscopic Metamaterial for Biophotonic Applications». *Advanced Materials*. R.E. Noskov, A. Machnev, I.I. Shishkin, M.V. Novoselova, A.V. Gayer, A.A. Ezhov, E.A. Shirshin, S.V. German, I.D. Rukhlenko, S. Fleming ... at all. **33**, I. 25, 2008484 (2021).

Хиральность как симметричный инструмент самоорганизации и функционирования биологических молекулярных машин

Ученые кафедры биофизики физического факультета предложили и обосновали новый принцип самосборки и функционирования белковых макромолекулярных машин, образованных хирально знакопеременной иерархией внутри- и надмолекулярных структур, совершающих «полезную работу» с помощью последовательного преобразования форм энергии, сопряженных с цепочкой нарушений симметрии.

Важнейшим биологическим признаком земных форм жизни является клетка, важнейшим физическим признаком живого, наряду с термодинамической неравновесностью, нелинейностью, явлениями самоорганизации и пр., являются молекулярные машины. Разрабатывается новая модель функционирования молекулярных машин на основе сопряженного преобразования форм энергии и череды нарушений симметрии (переключения хиральных структур) для совершения «полезной работы».

К машинам относят устройства (конструкции), способные в циклическом режиме преобразовывать форму энергии, совершая «полезную» работу, благодаря наличию «выделенных механических, в том числе, квантово-механических, степеней свободы», кинетически разделяющих работу и диссипацию. Вследствие цикличности, всякая молекулярная машина является хиральным объектом. Особенностью молекулярных машин является кооперативное участие вторичных, третичных (при наличии надмолекулярных комплексов — четвертичных) макромолекулярных структур в процессах, описываемых в рамках релаксационной модели диссипации, например, для ферментов.

Молекулярные машины, с необходимостью преобразующие форму энергии для совершения полезной работы, способны сопряженно понижать ранг симметрии системы внутриклеточных процессов при переходе по степеням свободы. Заметим, что первым, кто отметил это общее свойство для машин вообще (тогда для тепловых) более 100 лет назад в рамках существовавшей тогда терминологии был наш выдающийся физик Н.А. Умов. Уже во второй половине 20-го столетия в развитие новой теории молекулярных машин весомый вклад внесли профессора физического факультета Л.А. Блюменфельд и С.Э. Шноль.



*Заведующий кафедрой биофизики, профессор
Всеволод Александрович Твердислов.*

За ряд последних лет авторами выявлено, систематизировано и интерпретировано новое физическое явление иерархического структурообразования в гомохиральных системах биогенного и абиогенного происхождения. Суть явления заключается в спонтанном формировании иерархии хирально знакопеременных стратифицированных структурных блоков возрастающего масштаба, включающих хиральные элементы нижнего уровня. Закономерность описана как для гомохиральных в своей основе биологических систем, так и для искусственных полимерных. Авторами приведенных ниже публика-

ций создан и апробирован на множестве белков метод, позволяющий адекватно определять качественно и количественно хиральность регулярных спиральных и суперспиральных, а также нерегулярных структур белков. Развитие этого подхода позволит создавать искусственные конструкции в области биоинженерии.

На рисунке справа представлена знакопеременная иерархия хиральных структур белковой молекулярной машины: она стартует с левого энантиомера аминокислот пептидной цепи: L–D–L–D. Слева, для сравнения, — иерархия хиральных структурных уровней информационной машины — ДНК. Пространственная укладка белка-машины (фолдинг) может быть рассмотрена как автоволновой процесс самоорганизации в активной среде, где распределенный ресурс свободной энергии заключен в исходной гомохиральности системы в целом.

Развитие концепции о роли хиральности в структурообразовании биомакромолекул продолжается на примере корреляций во взаимосвязи между хиральной формой лекарственного средства и ее биоактивностью. Выяснение природы хирально-иерархической структуры биомакромолекул-мишеней и симметричной структуры лекарственных препаратов направлено на установление возможной системности хиральных соответствий лекарств и мишеней.

В самом общем представлении: *хиральность является ключевым симметричным фактором иерархического структурообразования в молекулярных машинах, а также периодической системности всей молекулярной биологии.*

"Геофизические факторы возникновения асимметрии в предшественниках биологических систем." Твердислов В.А., Кузнецова М.Р., Яковенко Л.В. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. 33, № 5, с. 56–62 (1992).

"Физические аспекты возникновения живой клетки. О двух фундаментальных асимметриях — ионной и хиральной".

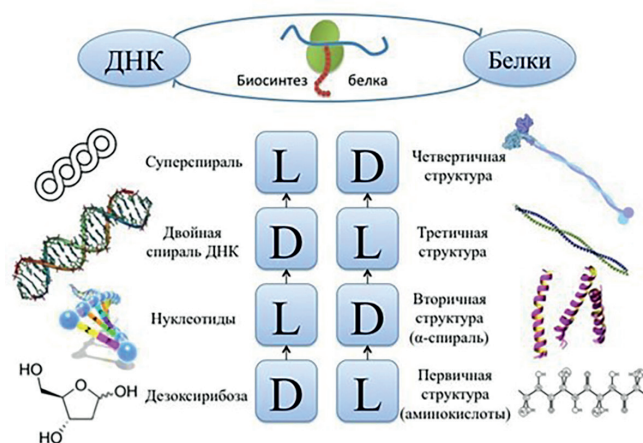


Рис. Справа представлена знакопеременная иерархия хиральных структур белковой молекулярной машины: она стартует с левого энантиомера аминокислот пептидной цепи: L–D–L–D. Слева, для сравнения, — иерархия хиральных структурных уровней информационной машины — ДНК.

Твердислов В.А., Яковенко Л.В. Вестник Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия. № 3, с. 3–16 (2008).

"On regularities of spontaneous formation of structural hierarchies in chiral systems of nonliving and living nature". Tverdislov V. A., Malyshko E. V. Physics Uspekhi. 62, no. 4. P. 354–363 (2019).

"Chiral dualism as an instrument of hierarchical structure formation in molecular biology". Tverdislov V. A., Malyshko E. V. Symmetry. 12, no. 4. P. 587 (2020).

"Protein Helical Structures: Defining Handedness and Localization Features" Sidorova A.E., Malyshko E.V., Lutsenko A.O., Shpigun D.K. Bagrova O.E. Symmetry 13, 879 (2021).

"Autowave Self-Organization in the Folding of Proteins". Sidorova A.E., Levashova N.T., Malyshko E.V., Tverdislov V.A. Moscow University Physics Bulletin 74, 3, 213 (2019).

Исследование физиков приблизит создание нового поколения жёстких дисков

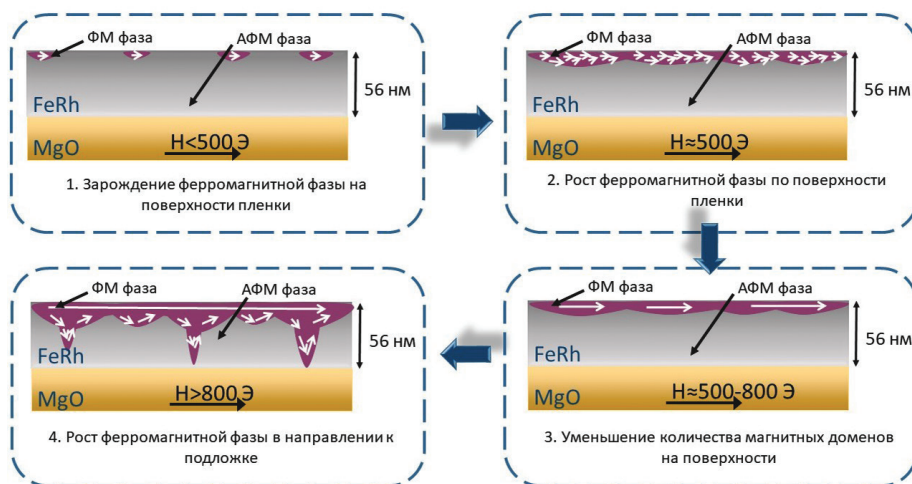
Сотрудники кафедры магнетизма физического факультета МГУ предложили новую методику измерений особенностей роста ферромагнитной фазы по объему сплава железа-родия (FeRh) в тонких пленках. Подобные исследования помогут в будущем создать новое поколение жёстких дисков с увеличенной плотностью записи информации. Авторы надеются, что работа внесёт вклад в создание теории, описывающей магнитные фазовые переходы первого рода.

Больше двадцати лет учёные ведут поиск материалов, испытывающих магнитный фазовый переход первого рода вблизи комнатных температур. На основе данного эффекта возможно создание криогенных установок (холодильников), которые будут более экологичными и энергоэффективными по сравнению с используемыми сейчас. Для этих целей, как правило, используются объёмные сплавы, поведение которых описать значительно труднее, чем поведение тонкопленочных систем. Однако, дальнейшие исследования фазовой динамики в объёмных образцах будут базироваться на предложенной теории для квази-двухмерных систем. Помимо калорических свойств, в данном материале значительно изменяются магнитные свойства при изменении температуры. Поэтому сплав железа-родия потенциально может использоваться для записи информации. Локальный нагрев способствует уменьшению требуемой энергии для перезаписи, а последующее охлаждение увеличивает надёжность хранения записываемой информации. Такая модификация современных жестких дисков является одним из наиболее перспективных способов увеличения плотности записи информации.

Чаще всего изменение магнитного состояния вещества происходит без изменения его структуры (объема или симметрии элементарной ячейки). Например, если нагреть железный порошок, то при определенной температуре он почти перестанет взаимодействовать с внешним магнитным полем, т.е. переходит из ферромагнитного состояния в парамагнитное (фазовый переход второго рода). Однако, существует ряд сплавов, которые испытывают магнитные фазовые переходы с сопутствующим изменением структуры (фазовый переход первого рода). Визуально можно это представить, вспомнив, как замерзает вода. Сначала в объеме воды возникают небольшие кристаллики льда, которые затем увеличиваются в размерах.

Учёные кафедры магнетизма физфака МГУ показали, что в соединении железа-родия присутствует похожий фазовый переход. Только сосуществующие фазы обладают различным магнитным упорядочением. К сожалению, нет способов, позволяющих визуализировать микромагнитную структуру объёмного образца, поэтому исследование динамики фазового магнитного фазового перехода первого рода является трудоемкой задачей.

«Мы продемонстрировали особенности зарождения и роста ферромагнитной фазы в тонкой железо-родиевой пленке. Также, мы определили, что зарождение новой фазы происходит на поверхности, затем осуществляется ее рост по поверхности, который завершается уменьшением количества доменов в объединенных кластерах. Последней стадией эволюции системы является рост ферромагнитной фазы в направлении к подложке»,



Схематическая иллюстрация процесса роста ферромагнитной фазы (фиолетовый цвет) по объему пленки FeRh при увеличении напряженности магнитного поля при фиксированной температуре.

— рассказал магистрант кафедры магнетизма физического факультета МГУ Алексей Комлев.

Для определения особенностей роста ферромагнитной фазы была предложена новая методика по измерению и анализу временной релаксации намагниченности образца (FeRh пленка толщиной 56 нанометров, выращенная на монокристаллической подложке MgO). Для интерпретации полученных данных была предложена феноменологическая теория. Подтверждение наблюдаемых результатов было произведено при помощи анализа полевого, температурного поведения намагниченности, снимков поверхности, полученных на магнито-силовом микроскопе при различных температурах, а также была применена современная методика TFORC анализа.

«Исследование динамического поведения фазового перехода является одной из ключевых задач физики конденсированного состояния вещества. Во-первых, это связано с тем, что первопричина возникновения подобных переходов остается под вопросом. Изучение динамики перехода позволит нам приблизиться к ответу на этот вопрос. Во-вторых, для практических целей чаще всего используются переменные поля, поэтому информация об эволюции фазового перехода важна», — добавил Алексей Комлев.

Выполненная работа представляет ценность не только для изучения выбранного сплава, но и для всего класса веществ, в которых наблюдается магнитоструктурный фазовый переход. Исследование динамических параметров демонстрирует взаимосвязь между спиновой и атомной подсистемами. Авторы статьи надеются, что представленная работа внесла вклад в создание теории, способной описать временное поведение намагниченности, изменение которой индуцировано структурным изменением.

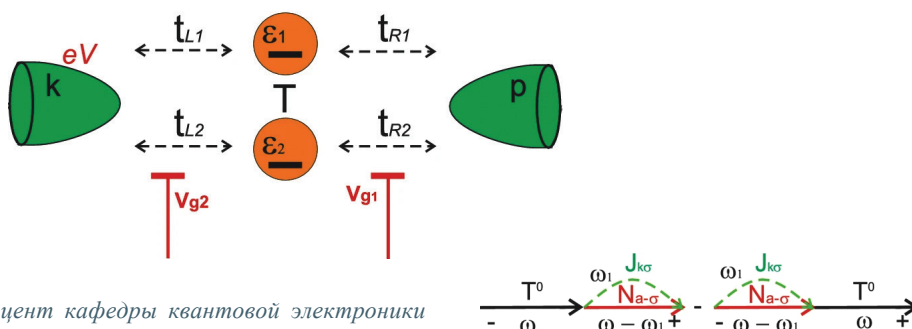
«Ferromagnetic phase nucleation and its growth evolution in FeRh thin films». A.S. Komlev, D.Y. Karpenkov, D.A. Kiselev, T.S. Ilina, A. Chirkova, R.R. Gimaev, Takamasa Usami, Tomoyasu Taniyama, V.I. Zverev, N.S. Perov. *J. of Alloys and Compounds*. **874**, 159924 (2021).

Универсальный метод теоретического описания электронного транспорта и спектральной плотности шума туннельного тока в коррелированных полупроводниковых наноструктурах

Физики НОШ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» физфака МГУ предложили универсальный теоретический подход для анализа особенностей туннельного тока и его спектральной плотности шума для широкого класса коррелированных полупроводниковых наноструктур, в которых электронный транспорт происходит через промежуточную структуру сверхмалых размеров с кулоновскими корреляциями локализованных электронов. Предложенный подход открывает возможность изучения электронного транспорта через многоэлектронные коррелированные состояния и позволяет анализировать влияние пространственной и спиновой симметрии всей системы на особенности электронного транспорта.



Доцент кафедры квантовой электроники
Наталья Сергеевна Маслова.



Шум, возникающий при транспорте электронов через промежуточную низкоразмерную систему с кулоновскими корреляциями, имеет большое значение как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения технологических применений в современной наноэлектронике. Так, исследуя шумовые характеристики электронного транспорта, можно изучать фундаментальные квантовые эффекты, а также исследовать вопрос об оптимизации шумов в современных электронных устройствах.

Ученые МГУ провели обобщение диаграммной техники Келдыша для неравновесных процессов и предложили методику анализа туннельного тока и его шумовых характеристик для полупроводниковых коррелированных наноструктур. В частности, было показано, что важную роль в таких системах с точки зрения подавления или усиления шумов играют пространственная и спиновая симметрия, которые могут вызывать блокировку каналов для электронного транспорта.

«Одним из основных и наиболее интересных результатов исследований является обнаружение того факта, что в случае электронного транспорта через перепутан-

ное триплетное состояние и сам ток и его шум на нулевой частоте подавлены по сравнению со случаем электронного транспорта через один электронный уровень. Для синглетного перепутанного состояния ситуация оказывается противоположной», — рассказала доцент физического факультета МГУ Наталья Сергеевна Маслова.

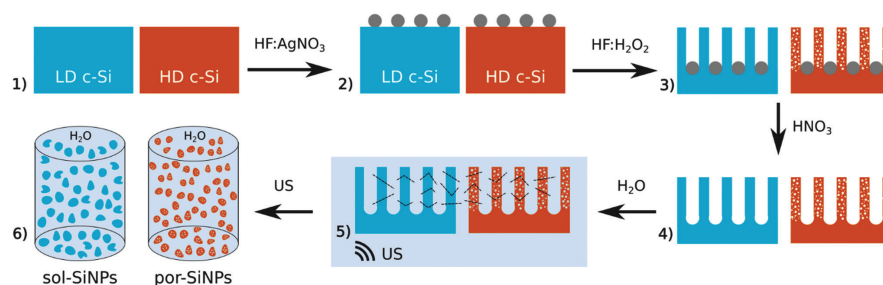
Сотрудники НОШ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» также показали, что двухэлектронные перепутанные состояния в коррелированных квантовых точках дают возможность регулировать амплитуду шума на нулевой частоте, блокируя каналы для электронного транспорта. Такие исследования перспективны для применения двухэлектронных перепутанных состояний в квантовых коммуникациях и логических устройствах.

«Отдельно стоит отметить обнаружение немонотонного поведения фактора Фано при изменении напряжения», — рассказала доцент физического факультета МГУ Наталья Сергеевна Маслова.

«Tunneling current and noise of entangled electrons in correlated double quantum dot». N.S. Maslova, P.I. Arseyev & V.N. Mantsevich. Scientific Reports. 11, 496, 9336 (2021).

Исследована скорость биodeградации кремниевых наночастиц

Ученые кафедры медицинской физики физического факультета МГУ совместно с коллегами с факультета фундаментальной медицины МГУ и ИТЭБ РАН (г. Пущино) показали возможность управления скоростью биodeградации (растворения в живых клетках) кремниевых наночастиц и изучили этот процесс методами люминесцентной конфокальной микроскопии и микро-спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС или Рамановское рассеяние). Результаты исследования перспективны для разработки управляемых систем доставки лекарств на основе нанокремния.



«Наночастицы кремния в настоящее время являются одним из наиболее перспективных наноматериалов для целей медицины. Ранее участниками совместного проекта уже были доказаны свойства низкой токсичности кремниевых наночастиц, возможность их использования как контейнеров для доставки лекарств, а также как сенситизаторов (усилителей) акустических (ультразвуковых) и электромагнитных волн терапевтических частот и мощностей. Уникальным свойством наночастиц кремния, является их способность растворяться в живых клетках и тканях (биodeградация) с образованием нетоксичной кремниевой кислоты, которая играет важную роль в регуляции метаболизма человека», — рассказала руководитель работы, с.н.с. физического факультета МГУ Любовь Осминкина.

В представленной работе наночастицы кремния были получены измельчением массивов кремниевых нанонитей, структурными свойствами которых можно управлять в процессе их синтеза. При этом можно получить как высокопористые наночастицы, так и абсолютно непористые.

Оба типа наночастиц не демонстрировали токсических свойств вплоть до очень высоких концентраций, 800 $\mu\text{g/ml}$, при инкубации как с раковыми, так и с нормальными клетками человека, что было доказано группой профессора факультета фундаментальной медицины МГУ Бориса Животовского.

Люминесцентные свойства наночастиц и наличие у них уникальных Рамановских спектров, сигналы которых изменяются из-за квантово-размерных эффектов в кремниевых нанокристаллах при их растворении, позволили сочетанием методов люминесцентной конфокальной микроскопии и микро-спектроскопии Рамановского (комбинационного) рассеяния света исследовать

скорость биodeградации наночастиц непосредственно в живых клетках. Было обнаружено полное и быстрое (в течение 24 часов) растворение пористых наночастиц, в то время как сигнал от непористых наночастиц наблюдался в течение 7 дней их инкубации с клетками и вплоть до 20 дней инкубации в модельных биологических жидкостях.

«Учитывая, что химический состав поверхности одинаков для двух типов наноматериалов, мы связали более быстрое растворение пористых наночастиц с сочетанием двух морфологических факторов: больший объем и диаметр пор, которые способствуют более быстрому проникновению жидкости (лучшее “смачивание”); большая внутренняя поверхность и меньшие нанокристаллы, которые способствуют более быстрому растворению наночастиц», — объяснил ведущий автор работы, н.с. физического факультета МГУ Максим Гонгальский.

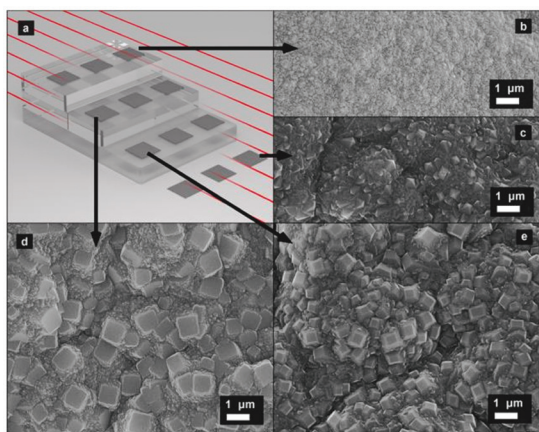
Результаты представленной работы найдут продолжение при разработке новых систем управляемой доставки лекарств на основе кремниевых наночастиц, над которыми в настоящее время работают ученые.

Исследование выполнено в рамках деятельности научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» и поддержано грантами Российского научного фонда и Российского фонда фундаментальных исследований.

«Optical Monitoring of the Biodegradation of Porous and Solid Silicon Nanoparticles». M.B. Gongalsky, N.V. Per-vushin, D.E. Maksutova, U.A. Tsurikova, P.P. Putintsev, O.D. Gyuppenen, Y.V. Evstratova, O.A. Shalygina, G.S. Kopeina, A.A. Kudryavtsev, B.Zhivotovsky and L.A. Osminkina. *Nanomaterials*. 11(9), 2167 (2021).

Алмазные наноиглы для квантовых устройств и детекторов станут доступнее

Новый способ использует синтез алмаза из смеси водорода и метана при активации газовой среды методом «горячей нити». Так удастся существенно увеличить производительность: можно получать алмазные покрытия на больших площадях и тонко настраивать характеристики алмазных игл.



Алмазы давно перестали быть просто дорогими камнями в украшениях, их также используют в самых разных технических областях — от применений в качестве абразивного материала до создания микроэлектронных устройств, а также в перспективных научных разработках. Это возможно благодаря уникальным свойствам алмаза: рекордные твердость и теплопроводность, химическая стойкость и биологическая инертность, прозрачность в широком диапазоне длин волн света, высокая подвижность носителей заряда и прочее. Совокупность этих свойств обеспечивает применение алмаза в передовых технологиях, в том числе делает его очень привлекательным для создания элементной базы квантовых устройств, предназначенных для обработки информации, а также разнообразных сенсоров и детекторов.

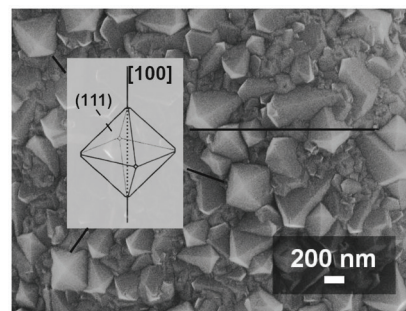
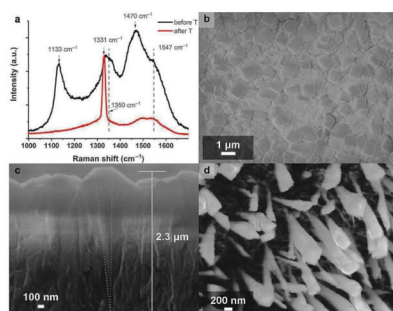
Кристаллы алмаза в виде крошечных удлиненных пирамидок обладают свойствами, необходимыми для «традиционных» применений, а также создают возможности для инновационных разработок. Одним из наиболее перспективных методов синтеза кристаллов алмаза служит осаждение из газовой фазы на подложку. В камеру подается смесь, содержащая водород и метан. Молекулы последнего химически активируются, что приводит к появлению свободных атомов углерода, которые конденсируются в виде тонкой пленки на подложке, размещенной в реакционной камере. Подбором параметров процесса осаждения можно добиться формирования углеродной пленки в виде совокупности алмазных иглоподобных кристаллитов. Одним из способов активации является возбуждение электрического разряда в газообразной среде, которое возможно

при использовании электропроводящих подложек. Этот метод был разработан и исследован ранее.

В ходе дальнейшей работы ученые из МГУ имени М.В. Ломоносова, Физического института имени П.Н. Лебедева РАН и Красноярского научного центра СО РАН совместно с финскими коллегами предложили проводить осаждение не при помощи электрического разряда, а используя нагретую до высокой температуры (2300°C) вольфрамовую нить — почти как в обычной лампе накаливания. Такие высокие температуры также способны химически активировать молекулы метана и запускать необходимые для формирования алмаза реакции. В ходе проведенного исследования подложки располагали на разном расстоянии от нагретой нити и проводили анализ получаемых алмазных покрытий.

Исследователям удалось подобрать такие условия, чтобы получались длинные и тонкие (до нескольких тысячных долей миллиметра) алмазные иглы, причем скорость их роста достигала 500 нм в час (500 нм — это размеры, сопоставимые с размерами очень маленькой бактерии). Процесс проходил вдвое медленнее, чем при активации электрическим током, но при этом обеспечивал более точное управление осаждением и возможность внедрения в состав иглы других атомов для контролируемого изменения квантово-оптических свойств алмаза. Предложенный подход также позволил снять ограничение на площадь подложки, которую можно равномерно покрыть кристаллами: во вновь разработанном методе она зависит только от размеров камеры, где происходит осаждение, и, соответственно, от длины вольфрамовых нитей.

«Наша технология позволяет массово изготавливать качественные монокристаллические алмазные иглы. Они обладают характеристиками, представляющими интерес для различных существующих и принципиально новых областей применения. Разработанная в рамках



проекта РФФИ технология способствует внедрению этого уникального материала в практическое использование, расширению сферы технических применений алмаза», — отметил руководитель гранта, научный сотрудник физического факультета МГУ Ринат Исмагилов.

«Single-Crystal Diamond Needle Fabrication Using Hot-Filament Chemical Vapor Deposition». R. Ismagilov, S. Malykhin, A. Puzyr, A. Loginov, V. Kleshch, A. Obraztsov. *Materials*. 14(9), 2320 (2021).

Вероятность генерации двухкубитных состояний Белла повышена в 1.5 раза

Сотрудники кафедры квантовой электроники и Центра квантовых технологий физического факультета МГУ применили алгоритм компьютерной оптимизации для повышения эффективности линейно-оптической генерации двухкубитных максимально перепутанных состояний Белла. Работа полностью выполнена в МГУ.

Двухкубитные квантовые состояния фотонов незаменимы в квантовых информационных алгоритмах, например, в квантовых вычислениях и квантовой коммуникации. По этой причине разработка эффективных методов генерации таких состояний является объектом активных исследований сообщества учёных, работающих в области прикладной квантовой информации с оптическими фотонами. На сегодняшний день перспективным направлением методов генерации и преобразования квантовых состояний фотонов являются линейно-оптические методы. Однако по причине контринтуитивного поведения фотонов в линейно-оптических схемах, в корне отличающегося от поведения классических сигналов в этих схемах, создание даже простых квантовых оптических схем представляется сложной задачей.

Учёные из Центра квантовых технологий ФФ МГУ применили теоретические методы квантовой оптики и компьютерные методы оптимизации сложных многопараметрических функций для повышения эффективности линейно-оптической генерации двухкубитных максимально перепутанных состояний Белла. В результате была найдена более эффективная линейно-оптическая схема для генерации этих состояний. Благодаря этому авторам удалось повысить вероятность генерации двухкубитных состояний Белла в 1.5 раза. Кроме этого, полученная схема оказалась проще, т.к. её создание требует меньшего количества элементов.

«Данная работа подчёркивает незаменимую роль компьютерных методов при разработке квантовых оптических устройств. Мы считаем, что компьютерные методы, в т.ч. методы до этого используемые только в классических областях машинного обучения и искусственного интеллекта, будут играть всё более важную роль при разработке квантовых вычислительных и коммуникационных устройств», — рассказывает научный сотрудник физического факультета МГУ Михаил Сайгин.

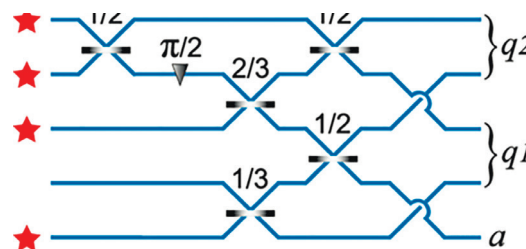


Рис. Разработанная более компактная и эффективная квантовая оптическая схема для генерации двухкубитных состояний Белла с вероятностью успешной генерации 1/9. Схема требует одного детектора фотонов.

Линейно-оптические квантовые вычисления являются одним из наиболее перспективных направлений развития всей области квантовых вычислений. Это направление в последнее время активно развивается во всём мире. В частности, появились коммерческие компании, разрабатывающие квантовые вычислители такого типа, получившие финансирование по несколько сотен миллионов долларов. В России оптическими квантовыми вычислениями занимаются в Центре квантовых технологий МГУ.

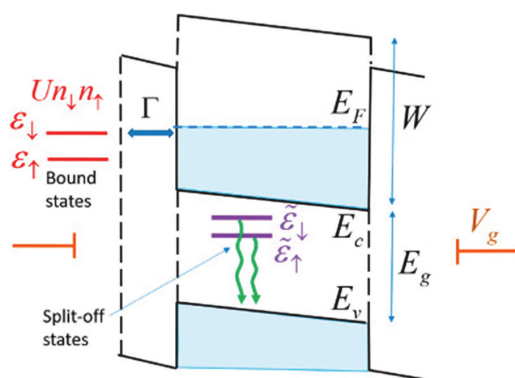
Научная ценность работы заключается в повышении эффективности генерации перепутанных квантовых состояний линейно-оптическими методами. В будущем найденная схема и методы поиска оптимальных квантовых схем, аналогичные применённым в работе, могут быть использованы для построения крупномасштабных квантовых вычислителей или в квантовых коммуникационных сетях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 19-52-80034 «БРИКС_Т» и фонда «БАЗИС».

“Compact linear optical scheme for Bell state generation”. S.A. Fldzhyan, M.Yu. Saygin, and S.P. Kulik. *Phys. Rev. Research* 3, 3, Iss. 4 (2021).

Новый механизм для создания спиновых лазеров

Сотрудники кафедры физики полупроводников и криоэлектроники и НОШ МГУ «Фотоника» предложили механизм сверхбыстрого переключения поляризации для фотолюминесценции в гибридных полупроводниковых системах. Результаты работы открывают возможность эффективного и быстрого управления спиновой поляризацией и поляризацией фотолюминесценции, что в перспективе может способствовать созданию новых быстродействующих устройств с низким энергопотреблением и тепловыделением. Исследование представляет значительный интерес для такой области физики твердого тела, как спинтроника и, в частности, для применения при создании спиновых лазеров.



Спиновая транспортная электроника (спинтроника) — одна из самых молодых областей физики, задача которой состоит в поиске фундаментальных решений для создания быстродействующих устройств с низким энергопотреблением и тепловыделением.

Учёные МГУ совместно с коллегами из России (ФТИ им. А.Ф. Иоффе и ФИАН) и Финляндии (Университет города Лаппеенранта) предложили теоретическую модель, позволяющую описать возникновение динамической спиновой поляризации в гибридной полупроводниковой структуре: квантовая яма — коррелированное примесное состояние и предложили механизм сверхбыстрого переключения поляризации фотолюминесценции, основанный на модуляции прозрачности туннельного барьера между квантовой ямой и примесным состоянием в результате приложения внешнего напряжения.

Предложенный механизм можно рассматривать в качестве одного из альтернативных методов для модуляции спиновой поляризации носителей для спиновых лазеров вместо традиционной импульсной оптической пикосекундной спиновой инжекции.

«Наиболее важным результатом наших исследований является предсказание механизма сверхбыстрого переключения поляризации фотолюминесценции за счет контроля положения отщепленных от зоны проводимости уровней энергии, возникающих в запрещенной зоне квантовой ямы в результате взаимодействия с примесным состоянием. Эффект достигается за счет того, что положение отщепленных уровней энергии, на каждом из которых могут быть локализованы электроны только с определенной проекцией спина, определяется величиной туннельной связи между квантовой ямой и примесным состоянием. При этом величину туннельной связи, а следовательно и положение отщепленных уровней энергии, можно быстро и эффективно варьировать, прикладывая напряжение смещения к туннельному барьеру», — рассказал доцент физического факультета МГУ Владимир Манцевич.

Перспективными материалами для проведения экспериментальных исследований являются легированные магнитными примесями нанопластины со структурой ядро-оболочка или полупроводниковые гетероструктуры на основе квантовых ям.

«Ultrafast electrical control of optical polarization in hybrid semiconductor structure». I.V. Rozhansky, V.N. Mantsevich, N.S. Maslova, P.I. Arseyev, N.S. Averkiev, E. Lähderanta. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. **132**, 114755 (2021).

Международная научная конференция памяти профессоров Л.А. Блюменфельда и С.Э. Шноля, создателей кафедры биофизики физического факультета МГУ

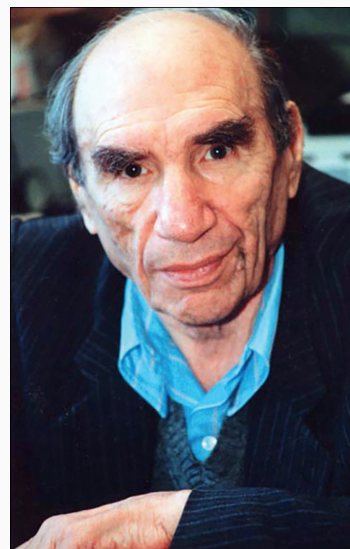
Конференция проходила в дистанционном формате с 26 по 28 ноября 2021 г. С теплыми приветственными словами к кафедре биофизики и участникам конференции, насчитывающим более 100 человек, обратились заместители декана физического факультета профессор А.А. Федянин и доцент М.Г. Гапочка. Конференцию открыл заведующий кафедрой биофизики профессор В.А. Твердислов, кратко рассказавший об истории возникновения кафедры и преемственности научных направлений, заложенных основателями кафедры, и проводимых на кафедре в настоящее время. Своими яркими воспоминаниями о работе на кафедре поделилась Н.А. Ляпунова, которая была одним из первых сотрудников кафедры. Н.А. Ляпунова сформировала уникальное биологическое образование для студентов биофизиков физического факультета.

Научная часть конференции началась с глубокого и содержательного доклада профессора А.Ф. Ванина — выпускника первого выпуска специалистов биофизиков физического факультета МГУ. А.Ф. Ванин, работавший в лаборатории Л.А. Блюменфельда в Институте химической физики им. Н.Н.Семенова РАН, открыл образование оксид азота — соединения, играющего важнейшую регуляторную роль в биологических системах. Интересные научные сообщения сделали профессора кафедры биофизики — Ф.И. Атауллаханов, В.И. Лобышев, М.А. Пантелеев, Э.К. Рууге, А.Н. Тихонов, Г.Б. Хомутов, и ст.н.сотрудники А.В. Беляев, Н.Б. Гудимчук. С направлениями их научных исследований можно ознакомиться в статье профессора В.А. Твердислова, прикрепленной к материалам конференции на сайте кафедры биофизики.

С воспоминаниями об истории плодотворных взаимодействий с кафедрой биофизики и научными достижениями руководимых ими подразделений и рассказами о собственных научных исследованиях в области биофизики выступили профессор физического факультета В.А. Макаров, Ю.А. Пирогов, А.В. Приезжев, И.В. Яминский. Профессор химического факультета МГУ С.Д. Варфаломеев рассказал о вкладе Л.А. Блюменфельда в становление современной био-

химической физики, а также поведал слушателям о важнейших достижениях в этой области, полученных в последние годы благодаря собственным исследованиям. Кроме этого, было сделано много интересных докладов, отражающих научные достижения выпускников кафедры биофизики разных лет, а также коллегами-единомышленниками, связанными с кафедрой. Среди них были докладчики из Бразилии, Германии, Кубы, Мексики, Польши, Словакии, США, Швеции. Всего за три дня конференции было сделано 40 разнообразных по тематике и интереснейших по содержанию научных докладов.

Закончилась работа Конференции «круглым столом», на котором выступавшие делились теплыми воспоминаниями о своих учителях — профессоре Л.А. Блюменфельде и профессоре С.Э. Шноле, создателях кафедры биофизики физического факультета МГУ. С особым интересом участники «круглого стола» прослушали выступление Александра Львовича Блюменфельда, который кратко рассказал о жизненном пути своего отца, Л.А. Блюменфельда, ушедшего добровольцем на войну со студенческой скамьи (химический факультет МГУ), и вернувшегося в МГУ зрелым человеком, закаленным в боях Великой отечественной войны.



Профессор Лев Александрович Блюменфельд.



Профессор Симон Эльевич Шноль.

20-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц



Ректор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, академик Виктор Антонович Садовничий.



Декан физического факультета, профессор Николай Николаевич Сысоев.

Непосредственным организатором конференции выступил физический факультет МГУ. Вся подготовительная работа, которая началась примерно за год до даты открытия конференции, проводилась на физическом факультете. В помещениях библиотеки физического факультета также был размещен центральный компьютерный терминал конференции, позволявший проводить онлайн пленарные сессии (рассчитанные на одновременное участие до 450 человек) и 4 параллельные сессии (по 100 человек каждая).

С приветственным словом на открытии конференции выступили научный руководитель Объединенного института ядерных исследований академик Виктор Анатольевич Матвеев, заместитель директора Института ядерных исследований РАН профессор Григорий Игоревич Рубцов и заместитель директора Департамента государственной научной, научно-технической и инновационной политики Минобрнауки Андрей Михайлович Романов.

С 19 по 25 августа на физическом факультете Московского университета была проведена в онлайн формате 20-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц. Данная серия конференций проводится с 1992 г. (с 1993 г. — по нечетным годам) под патронажем Виктора Антоновича Садовничего. Существенную помощь и постоянную поддержку на протяжении всего времени подготовки конференции оргкомитет получал со стороны декана физического факультета Николая Николаевича Сысоева. 20-я Ломоносовская конференция была открыта выступлением проректора МГУ Андрея Анатольевича Федянина.



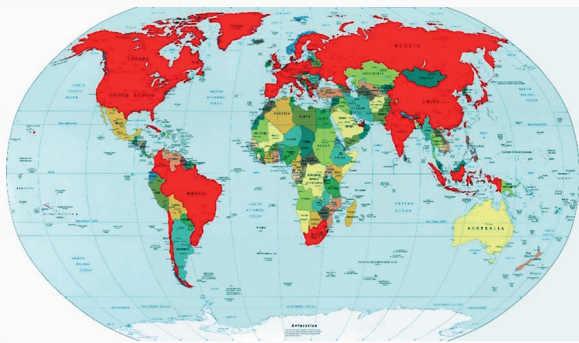
Проректор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, профессор Андрей Анатольевич Федянин.



Открытие конференции, все пленарные заседания и параллельные сессии конференции транслировались в интернете в режиме реального времени. В настоящее время все сделанные во время конференции видеозаписи находятся в открытом доступе на сайте конференции https://lomcon.ru/?page_id=763.

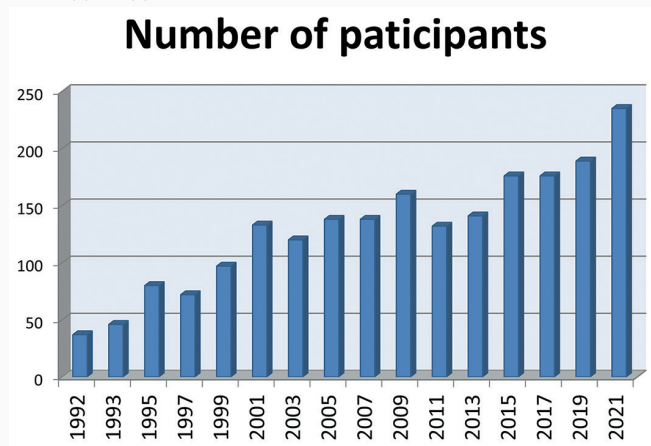
Проведенная на площадке МГУ 20-я Международная Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц со всей наглядностью продемонстрировала, что данная серия стала престижным международным мероприятием по фундаментальной науке, регулярно проходящем в России и привлекающим к МГУ огромное внимание международного научного сообщества. На 20-й Ломоносовской конференции выступили ученые из 34 стран Европы,





Азии, Америки, Австралии и Африки, 45 докладов представлены коллаборациями ЦЕРНа. Более 70 % докладов было сделано иностранными учеными. На рисунке представлена карта мира, на которой красным цветом отмечены страны, ученые из которых выступили с докладами на 20-й Ломоносовской конференции.

Всего в программу было включено 235 докладов ученых из ведущих научных центров и университетов России и мира. Слайды презентаций по сделанным на конференции докладом размещены на сайте конференции https://lomcon.ru/?page_id=814. По сравнению с предыдущей 19-й Ломоносовской конференцией 2019 года произошло увеличение количества докладов примерно на 25 %. Приведенный рисунок показывает регулярный рост числа докладчиков Ломоносовских конференций за последнее десятилетие.



Среди докладчиков — ряд известных ученых и руководителей крупных международных научных организаций и проектов. В том числе: Ю. Ванг (Y. Wang, КНР) — директор Института физики высоких энергий (Пекин), академик Китайской академии наук, К. Валле (C. Valle, Франция) — директор по исследованиям Французской академии наук, Б. Мелладо (B. Mellado, ЮАР) — директор института коллайдерной физики элементарных частиц.

С докладами на конференции выступят ученые отечественных научных центров и университетов многочисленных регионов страны от Москвы и Санкт-Петербурга, до Северного Кавказа, Сибири, Байкала и Дальнего Востока. Среди докладчиков и участников конференции — члены Российской академии наук (В.Н. Гаврин, Д.С. Горбунов, М.В. Данилов, В.А. Матвеев,

В.И. Ритус, В.А. Рубаков, А.П. Серебров, А.А. Старобинский).

Среди главных тем 20-й Ломоносовской конференции — новейшие достижения в области ускорительной физики высоких энергий, физики нейтрино, физики космических лучей, астрофизики и гравитации. Особое место в программе конференции занимает обсуждение нового российского сверхпроводящего коллайдера протонов и ионов NICA.

Специально сессия конференции посвящена одному из самых интригующих вопросов физики элементарных частиц последнего времени — имеющемуся несогласованию между экспериментально измеряемым значением магнитного момента мюона и теоретическим предсказанием, полученным в рамках Стандартной модели. Значительный вклад в изучение данной проблемы вносят российские ученые, результаты которых будут доложены на конференции.

Значительное место в программе отводится физике и астрофизике нейтрино. В частности, несколько пленарных докладов посвящены проблеме массы нейтрино, в том числе будут доложены новейшие результаты по ограничению массы нейтрино международного мегасайенс проекта KATRIN (Карлсруэ). Наряду с обзорами результатов ведущих мировых нейтринных коллабораций обсуждаются достижения уже работающих отечественных экспериментов по детектированию стерильных нейтрино на Калининской атомной станции (эксперимент DANSS) и Neutrino-4 (Дмитровград) и подготовка нового российского нейтринного гигантского телескопа на озере Байкал (Байкальский нейтринный телескоп кубокилометрового размера).

По решению руководства физического факультета оргкомитет конференции в настоящее время готовит издание трудов конференции в специальном выпуске журнала «Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия», что, с учетом широкого представительства на конференции ведущих мировых научных центров, будет способствовать дальнейшему повышению международной репутации Московского университета.

Проведенная в МГУ 20-я Ломоносовская конференция, как и вся серия данных международных мероприятий, вносит существенный вклад в развитие международного сотрудничества по широкому кругу проблем фундаментальной физики, способствует повышению интеграции в глобальное научно-образовательное пространство и подтверждению высокого международного статуса МГУ как мирового лидера в области образования и научных исследований.

*Александр Студеникин,
профессор кафедры теоретической физики,
председатель оргкомитетов Ломоносовских конференций*



Старший научный сотрудник кафедры акустики
Владимир Григорьевич Шамаев.

16 сентября 2021 года состоялась защита
докторской диссертации старшего научного
сотрудника кафедры акустики

Владимира Григорьевича ШАМАЕВА

на тему:

«СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК: РУССКОЯЗЫЧНЫЕ РАБОТЫ ПО АКУСТИКЕ»

Диссертация выполнена на стыке акустики и информатики и посвящена различным аспектам “информационной акустики”, открывая новое направление. Это направление дает инструменты для изучения текущего состояния акустических исследований и прогнозирования их развития. Акцент на русскоязычные источники связан со следующими соображениями:

- русскоязычные работы совсем не представлены в зарубежных базах данных, малая их часть отражена там как материал из небольшого количества переводных журналов, например, «Успехов физических наук», «Акустического журнала» или «Научно-технической информации»;
- периодические русскоязычные информационные ресурсы или разбросаны в интернете по большому количеству сайтов журналов или представлены с большими пропусками в политематических базах данных как, например, в АбНД ВИНТИ или с неглубокой ретроспективой — eLIBRARY.RU или «КИБЕРЛЕНИНКА»;
- по причине недоступности печатной продукции вследствие малых (штучных) тиражей книг и журналов.

Заявленная в диссертации концепция электронного информационного обеспечения сформулирована как задача создания триады: (а) полнотекстовых электронных архивов научных журналов, (б) сигнальной информации по текущим публикациям и (в) информационно-поисковой системы. Все три составляющие объединены единым рубрикатом.

Задача решения информационного обеспечения получила свое развитие в виде создания интернет-портала открытого доступа “Акустика. Русскоязычные источники” для информационного обеспечения в области акустических исследований. Решен также вопрос

масштабирования проекта на другие области физики и астрономии, обеспечения легкого доступа к русскоязычной акустической научной литературе; получения максимальной информации о русскоязычных работах, в том числе и для устранения дублирующих исследований; сохранения научного наследия и приоритета. Базируясь на концепции открытого доступа, разработана методология и технологии создания информационных систем и информационных продуктов, которые могут быть использованы для решения задач как в физико-математических, так и в других областях науки и техники.

Важным аспектом выполненной работы служит создание математических моделей потоков документов, основанных на уравнениях акустики и механики сплошной среды. Моделирование проведено с целью ускорения обработки документов при подготовке информационных продуктов и оптимизации количества специалистов необходимых для обработки. Близкое по смыслу моделирование проводили Лайтхилл и Уизем, а также группа академика Б.Н. Четверушкина (для транспортных потоков). Вторая близкая по смыслу — модель Зельдовича–Гурбатова для образования ударных волн в потоках звездного вещества и формирования ячеистой структуры Вселенной.

Все эти модели используют аналогию с акустикой — уравнения Римана и Бюргерса. В основе моделей — замена потока дискретных элементов течением сплошной среды. Для изучения процесса нелинейного искажения, как принято в акустике использовался метод графического построения, предложенный Р.В. Хохловым. А при решении задачи торможения документального потока при увеличении плотности — числа документов и градиента плотности использовалась похожая связь акустических параметров, предложенная Р.В. Хохловым и С.И. Солуяном. Предложенные математические модели аналогичны уравнениям для акустических возмущений.

«Волновая» аналогия предполагает наличие сжимаемости среды, которая для потока документов связана с изменением плотности их распределения.

Проведены исследования в наукометрической области: время «полураспада» статей, построение полей

интересов ученых и научных коллективов, уточнение закона Бредфорда рассеяния научных публикаций.

Разработана концепция и технология создания интернет-энциклопедий, которая реализована на примере «Российской экологической энциклопедии».

*Старший научный сотрудник кафедры атомной физики,
физики плазмы и микроэлектроники
Евгений Сергеевич Солдатов.*

17 июня 2021 года

на Диссертационном совете физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

состоялась защита **СОЛДАТОВЫМ Евгением Сергеевичем**

диссертации на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

на тему:



«ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ОДНОЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛ И МАЛЫХ НАНОЧАСТИЦ»

В целом работа посвящена исследованию процессов формирования управляемых одноэлектронных систем на основе одиночных молекул и малых наночастиц, разработке и созданию на их основе одноэлектронных транзисторов с высокой зарядовой энергией и, соответственно, рабочей температурой, а также исследованию электронного транспорта в таких транзисторах при наиболее удобных для их практического использования высоких (более 77 К) температурах.

Такие нанозементы критически необходимы для реализации возможностей использования в широкой практике уникальных свойств эффекта коррелированного (одноэлектронного) туннелирования электронов, позволяющих построение новых электронных устройств с принципиально новыми носителями информации — одиночными электронами, а также кардинальное (на несколько порядков!) улучшение характеристик уже существующих устройств. Только использование таких элементов может повысить рабочую температуру устройств на основе этого эффекта с типичного для традиционных элементов уровня 50–100 мК до наиболее удобных и приемлемых в практике значений 100–300 К.

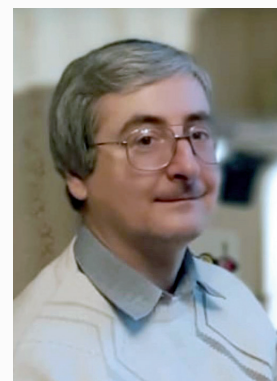
Основным итогом данной работы явилось полученное впервые экспериментальное доказательство возможности реализации коррелированного туннелирования электронов при комнатной температуре путем использования одиночных молекул для формирования одноэлектронных транзисторов, построение хорошо описывающих их характеристики теоретической моде-

ли, уточняющей понятие собственной электрической емкости для таких квантовых объектов, как атомы и молекулы, и дающей простую формулу для расчета их емкости, а также создание впервые молекулярных одноэлектронных транзисторов в планарном исполнении с высокой (~200 мэВ) зарядовой энергией и параметрами, являющимися лучшими из достигнутых к настоящему времени для планарных одноэлектронных элементов.

Это открывает широкое окно новых возможностей для реального проектирования, изготовления и использования таких элементов при высоких рабочих температурах, вплоть до комнатной, и, следовательно, позволяет создавать на их основе применимые в широкой практике принципиально новые нанoeлектронные устройства с уникальными характеристиками и возможностями, необходимые для решения ряда актуальнейших проблем в различных областях:

- простого/доступного и быстрого секвенирования ДНК — в биологии и медицине;
- создания базовых элементов квантовых компьютеров, квантовых клеточных автоматов, нейронных сетей — в квантовой информатике;
- создания квантового эталона единицы электрического тока и замыкания, наконец, «метрологического треугольника» квантовых эталонов: Напряжение (эффект Джозефсона) — Ток (одноэлектроника) — Сопротивление (квантовый эффект Холла) — в квантовой метрологии.

Доцент кафедры теоретической физики
Константин Викторович Степаньянц.



24 ноября 2021 года состоялась защита докторской диссертации
доцента кафедры теоретической физики
Константина Викторовича СТЕПАНЬЯНЦА

НА ТЕМУ:

«Точная β -функция $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий и регуляризация высшими ковариантными производными»

В настоящее время суперсимметричные калибровочные теории рассматриваются как наиболее вероятные кандидаты для описания физики, выходящей за рамки Стандартной модели. Сейчас даже имеются некоторые косвенные экспериментальные указания на то, что суперсимметрия действительно реализуется в природе. К ним, прежде всего, относится поведение трех бегущих констант связи в суперсимметричных обобщениях Стандартной модели, согласующееся с предсказаниями теорий Великого объединения. Поэтому суперсимметрия является предметом как активных экспериментальных поисков, так и тщательных теоретических исследований. С теоретической точки зрения суперсимметричные теории особенно привлекательны благодаря тому, что возникающие при вычислении квантовых поправок ультрафиолетовые расходимости ведут себя лучше, чем в несуперсимметричном случае. Существует даже ряд суперсимметричных теорий, полностью свободных от ультрафиолетовых расходимостей. Однако в наиболее интересных с точки зрения феноменологии теориях с нерасширенной суперсимметрией, расходимости в общем случае могут существовать во всех порядках теории возмущений. Тем не менее, еще в 1983 году было предложено некоторое соотношение, связывающее между собой различные расходящиеся вклады в таких теориях. Оно получило название точная β -функция Новикова, Шифмана, Вайнштейна и Захарова (NSVZ) и имеет вид

$$\beta(\alpha, \lambda) = - \frac{\alpha^2 \left(3C_2 - T(R) + \frac{1}{r} C(R)_i^j (\gamma_\phi)_j^i(\alpha, \lambda) \right)}{2\pi \left(1 - \frac{\alpha C_2}{2\pi} \right)},$$

где $\beta(\alpha, \lambda)$ — β -функция теории, а $(\gamma_\phi)_j^i(\alpha, \lambda)$ — аномальная размерность суперполей материи. Эта формула

играет важную роль при анализе квантовых поправок в суперсимметричных теориях и, в частности, при попытках построения суперсимметричных теорий, свободных от ультрафиолетовых расходимостей. Однако оказалось, что при наиболее широко распространенном способе вычисления квантовых поправок в суперсимметричных теориях — с использованием регуляризации размерной редукцией и схемы модифицированных минимальных вычитаний, формула NSVZ не справедлива. В течение длительного времени были открыты вопросы о том, как получить эту формулу непосредственно с помощью теории возмущений, и при каком перенормировочном предписании она справедлива. В диссертации с использованием регуляризации высшими ковариантными производными, которая была в 1971 году предложена Андреем Алексеевичем Славновым, были даны ответы на оба эти вопроса. В частности, было показано, что при использовании такой регуляризации формула NSVZ верна при произвольном перенормировочном предписании, если ренормгрупповые функции определены в терминах голых констант связи. Также оказалось, что для стандартных ренормгрупповых функций (определенных в терминах перенормированных констант связи) она справедлива в схеме HD+MSL, когда теория регуляризуется высшими ковариантными производными, а расходимости устраняются с помощью минимальных вычитаний логарифмов. Эти результаты были подтверждены многочисленными явными вычислениями квантовых поправок, сделанных, в том числе, в тех порядках теории возмущений, где уже проявляется зависимость от схемы перенормировки. Тем самым, была решена проблема, достаточно долгое время стоявшая в научной литературе.

«Указом Президента Российской Федерации № 413 от 11 июля 2021 года за «большие заслуги в научно-педагогической деятельности, подготовке квалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу»



Орденом Дружбы награжден

*заведующий кафедрой квантовой статистики и теории поля
профессор физического факультета*

Борис Иосифович Садовников

Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени награждены

*заведующий кафедрой физики низких температур
и сверхпроводимости физического факультета*

Александр Николаевич Васильев



*и ведущий научный сотрудник Центра гидрофизических исследований
физического факультета*

Владимир Викторович Розанов



Почетной грамотой Президента награжден

*заведующий кафедрой компьютерных методов физики
профессор физического факультета*

Юрий Петрович Пытьев

Сердечно поздравляем наших коллег!

Названы победители «молодежных» конкурсов 2021 года Президентской программы

Российский научный фонд объявил победителей конкурсов 2021 года на получение грантов по мероприятиям «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» и «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых», а также конкурса продления проектов молодежных групп 2018 года Президентской программы исследовательских проектов.

«Проведение инициативных исследований молодыми учеными»

Перечень проектов, поддержанных по итогам конкурса 2021 года на получение грантов Российского научного фонда по мероприятию «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными физического факультета:

Никулин Е.И.

«Исследование контрастных структур в нелинейных уравнениях реакция–адвекция–диффузия, возникающих в дрейфодиффузионных моделях полупроводников»



Росницкий П.Б.

«Многопараметрический подход к решению задачи механического разрушения опухолей предстательной железы с помощью импульсного фокусированного ультразвука»

Шилкин Д.А.

«Прямые и изогнутые волноводы поверхностных волн для планарного оптического управления микро- и наночастицами»



«Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых»

Перечень проектов, поддержанных по итогам конкурса 2021 года на получение грантов Российского научного фонда по мероприятию «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными физического факультета



Задириев И.И.

«ВЧ разряд низкого давления как рабочий режим перспективных моделей электроракетных двигателей»



Свяховский С.Е.

“Фемтосекундная оптика фотонных кристаллов избыточной оптической длины”



Шибайев А.В.

“Стимул-чувствительные гидрогели с контролируемой анизотропией на основе двойных полимерных сеток”

Балахнина И.А.

“Лазерно-оптическая диагностика фрагментов фресок для создания информационно-научной базы данных для сохранения и реставрации ансамблей монументальной живописи Великого Новгорода XII-XIV веков”



Иванов К.А.

“Яркий плазменный источник релятивистских заряженных частиц на основе микроразмерных мишеней и тераваттных лазерных импульсов с высокой частотой повторения”

Иешкин А.Е.

“Пучки газовых кластерных ионов для модификации и диагностики многокомпонентных и многофазных материалов”



«Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых»

Перечень проектов, поддержанных по итогам конкурса 2021 года на продление сроков выполнения проектов, поддержанных грантами Российского научного фонда по мероприятию «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными



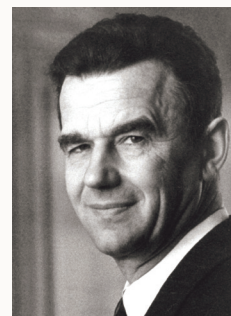
Манцевич В.Н.

“Оптические и электронные свойства коррелированных полупроводниковых структур пониженной размерности”

Сердечно поздравляем наших коллег!

Конкурс имени академика Р.В. Хохлова на лучшую студенческую научную работу 2021 года

Одной из многих замечательных традиций физического факультета является проведение ежегодного конкурса лучших научных студенческих работ имени академика Р.В. Хохлова. Кафедры выдвигают на конкурс лучшие выпускные квалификационные работы своих студентов: магистерские диссертации, дипломные работы специалистов и ВКР бакалавров.



В 2021 г. работа жюри конкурса проходила в дистанционном формате в соответствии с действовавшими ограничениями. На конкурс было подано 56 работ: 29 ВКР бакалавров и 27 диссертаций магистров и специалистов. В жюри конкурса под председательством профессора Вячеслава Михайловича Гордиенко вошли 36 сотрудников физического факультета. Состоялось два заседания жюри в дистанционном формате. На первом заседании, которое проходило 22 июня, были определены 10 выпускников магистратуры (специалитета) — финалисты конкурса и 10 выпускников бакалавриата, работы которых заняли 1, 2 и 3 места. На втором заседании конкурса, которое проходило 28 июня, финалисты, выпускники магистратуры и специалитета, представляли свои научные работы на открытом дистанционном заседании жюри конкурса. После заслушивания всех докладов и подсчета баллов были определены победители конкурса, **выпускники магистратуры и специалитета**:

Премия 1 степени



1. Гришин Кирилл Алексеевич кафедра астрофизики и звездной астрономии



2. Крюкова Екатерина Андреевна кафедра физики частиц и космологии

Премия 2 степени

3. Воронов Андрей Алексеевич кафедра фотоники и физики микроволн

4. Румянцев Борис Вадимович кафедра общей физики и волновых процессов

5. Уланов Павел Юрьевич кафедра молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества

6. Шчепанович Данило кафедра квантовой электроники

Премия 3 степени

7. Швецов Борис Сергеевич кафедра общей физики и молекулярной электроники

8. Назмиев Альберт Ирекович кафедра физики колебаний

9. Николаева Ирина Алексеевна кафедра общей физики и волновых процессов

Победители конкурса, выпускники бакалавриата:*Премия 1 степени*

1. Камалетдинов Сергей Раильевич кафедра математики
2. Ефимова Анна Юрьевна кафедра физики атомного ядра и квантовой теории столкновений
3. Ильясов Александр Игоревич кафедра оптики, спектроскопии и физики наносистем

Премия 2 степени

4. Гладченко Сергей Евгеньевич кафедра теоретической физики
5. Ломов Евгений Владимирович кафедра квантовой электроники

6. Туманова (Топчу) Ксения Дмитриевна кафедра акустики

Премия 3 степени

7. Бобылев Дмитрий Алексеевич кафедра общей ядерной физики
8. Багрова Ольга Евгеньевна кафедра биофизики
9. Сальников Дмитрий Владимирович кафедра физики частиц и космологии
10. Луценко Алексей Олегович кафедра биофизики

Поздравляем победителей и их научных руководителей, а также выражаем огромную благодарность жюри конкурса!

Успехи на Международной олимпиаде по астрономии и астрофизике

С 14 по 21 ноября 2021 г. проходила 14-я Международная олимпиада по астрономии и астрофизике. Студент 110-й группы физического факультета МГУ Ажакин Андрей Максимович завоевал на этой олимпиаде серебряную медаль, выступая в составе сборной команды Российской Федерации.

Соревнование состояло из пяти туров — теоретический, командный, а также наблюдение, анализ и обработка солнечных данных. Всего участвовали 48 стран и 62 команды, каждое государство могло заявить по два коллектива — основной и гостевой. От России медали высшей пробы взяли оба. Одним из руководителей сборной выступил ведущий программист Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ Михаил Владимирович Кузнецов.

Студенты физического факультета — наша гордость. Мы от всей души поздравляем нашего студента Андрея Ажакина и желаем ему успехов в учебе и будущей научной карьере!



ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ С ЗАЩИТАМИ В 2021 г.

МГУ.01.01

Председатель – Хохлов Алексей Ремович, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН
Зам. председателя – Орешко Алексей Павлович, д.ф.-м.н., проф.
Уваров Александр Викторович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Лаптинская Татьяна Васильевна, к.ф.-м.н., доц.

11.03.2021

ПУШТАЕВ Алексей Владимирович «Влияние свойств межфазной границы на тепло- и массообмен вблизи поверхности раздела „жидкость-газ“» 01.04.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Кандидатская диссертация.

ГАЛИЦКАЯ Елена Александровна «Исследование протонного транспорта в наноструктурированных перфторированных сульфополимерах» 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

08.04.2021

КЛАВСЮК Андрей Леонидович «Процессы формирования и свойства металлических одномерных атомных структур» 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

17.06.2021

КУРБАТОВ Андрей Олегович «Структура и свойства кремнийсодержащих дендримеров в объеме и вблизи поверхности» 02.00.06 - Высокмолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

КУЗНЕЦОВ Александр Юрьевич «Взаимодействие наносекундных сильноточных разрядов с ударной волной» 01.04.17 - Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. Кандидатская диссертация.

09.09.2021

ПОРТНОВ Иван Владимирович «Влияние электростатических взаимодействий на самосборку и адсорбцию линейных цепей и микрогелей» 02.00.06 - Высокмолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

ПРОЛОВ Дмитрий Григорьевич «Влияние структуры сомономеров на электрохромные свойства электрохимически активного фрагмента поли(пиридиний) трифлатов и полиаминоамидов» 02.00.06 - Высокмолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

25.11.2021

КОЛЕСНИКОВ Сергей Владимирович «Самоорганизация и физические свойства наноструктур на поверхности меди» 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

09.12.2021

ГАПОЧКА Алексей Михайлович «Пространственная спин-модулированная структура и сверхтонкие взаимодействия в мультиферроиках $\text{BiFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ ($x = 0.05, 0.10, 0.15$), AgFeO_2 и CuCrO_2 » 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

АНТОНОВА Ангелина Владимировна «Мессбауэровские исследования минералов железа и сурьмы, преобразованных анаэробными экстремофильными микроорганизмами» 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.04

Председатель – Твердислов Всеволод Александрович, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Синицын Аркадий Пантелеймонович, д.х.н., проф.
Яковенко Леонид Владимирович, д.ф.-м.н., доц.
Уч. секретарь – Сидорова Алла Эдуардовна, к.т.н.

09.02.2021

ГАРАЕВА Анастасия Ядыкервна «Явление самоорганизации критичности как системный элемент видообразования в эволюционном процессе» 03.01.02 - Биофизика. Кандидатская диссертация.

17.06.2021

КОНСТАНТИНОВА Анна Николаевна «Фотосенсибилизированное окисление дипольных молекул на поверхности бислоистой липидной мембраны» 03.01.02 - Биофизика. Кандидатская диссертация.

ОРЛОВ Вячеслав Андреевич «Построение модели когнитивного пространства человека по данным функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ)» 03.01.02 - Биофизика, 03.01.08 - Биоинженерия. Кандидатская диссертация.

23.09.2021

КОЛЕСОВ Дмитрий Валерьевич «Изучение механических напряжений, возникающих в тонких адсорбционных плёнках биомолекул, для решения задач разработки биосенсоров» 03.01.08 - Биоинженерия. Кандидатская диссертация.

18.11.2021

ТАЩИЛОВА Анна Сергеевна «Применение молекулярного моделирования для поиска ингибиторов фактора свертывания крови XIa» 03.01.02 - Биофизика, 03.01.08 - Биоинженерия. Кандидатская диссертация.

БАЛАБИН Федор Алексеевич «Механизмы формирования кальциевого ответа тромбоцита» 03.01.02 - Биофизика. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.06

*Председатель – Садовников Борис Иосифович, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Жуковский Владимир Чеславович, д.ф.-м.н., проф.
Нефедов Николай Николаевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Поляков Петр Александрович, д.ф.-м.н., проф.*

21.01.2021

ШАРОВ Александр Николаевич «Решение многомерных обратных задач эластографии с апостериорной оценкой точности» 01.01.03 – Математическая физика. Кандидатская диссертация.

НИКОЛАЕВА Ольга Александровна «Существование и устойчивость решений с внутренними переходными слоями уравнений реакция-диффузия-адвекция с разрывными характеристиками» 01.01.03 – Математическая физика. Кандидатская диссертация.

22.04.2021

ШАРАФУЛЛИН Ильдус Фанисович «Фазовые переходы и критические явления в магнитоэлектрических сверхрешетках: теория и моделирование» 01.04.02 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

БУРЛАКОВ Евгений Владимирович «Представление функции Вигнера квантовой системы с полиномиальным потенциалом» 01.04.02 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

24.11.2021

СТЕПАНЬЯНЦ Константин Викторович «Точная β -функция $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий и регуляризация высшими ковариантными производными» 01.04.02 - Теоретическая физика. Докторская диссертация.

РООП Михаил Дмитриевич «Критические явления в решениях нелинейных дифференциальных уравнений механики сплошных сред» 01.01.03 - Математическая физика. Кандидатская диссертация.

29.11.2021

БЫЧКОВ Максим Евгеньевич «Коллективные электронные колебания в магнитных системах» 01.04.02 - Теоретическая физика. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.08

*Председатель – Салецкий Александр Михайлович, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Балакиев Владимир Иванович, д.ф.-м.н., проф.
Васильев Андрей Николаевич, д.ф.-м.н.
Уч. секретарь – Косарева Ольга Григорьевна, д.ф.-м.н.*

27.04.2021

МАНЦЕВИЧ Сергей Николаевич «Акустооптическая спектральная фильтрация в анизотропных средах» 01.04.03 – Радиофизика. Докторская диссертация.

НАЙДЕНОВ Павел Николаевич «Формирование одно- и двухрешетчатых металл-диэлектрических магнитоплазменных кристаллов ионно-лучевыми методами: структура и оптические свойства» 01.04.03 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.

16.09.2021

ШАМАЕВ Владимир Григорьевич «Система информационной поддержки исследований в области физико-математических наук: русскоязычные работы по акустике» 01.04.06 - Акустика. Докторская диссертация.

21.10.2021

ЧУБЧЕВ Евгений Дмитриевич «Распространение оптических сигналов в плазменных линиях передач» 01.04.03 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.12

*Председатель – Федянин Андрей Анатольевич, д.ф.-м.н., проф., проф. РАН
Зам. председателя – Вятчанин Сергей Петрович, д.ф.-м.н., доц.
Кузнецов Михаил Викторович, д.ф.-м.н., проф.
Черныш Владимир Савельевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Карташов Игорь Николаевич, к.ф.-м.н.*

20.05.2021

ХМЕЛЕВСКОЙ Иван Александрович «Физические особенности двух устойчивых режимов разряда холлового двигателя» 01.04.08 - Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

АЛЕКСЕЕВ Алексей Ильич «Методы оптимизации плазменно-стимулированного воспламенения углеводородной смеси в высокоскоростном потоке» 01.04.08 - физика плазмы. Кандидатская диссертация.

03.06.2021

ШАГИЯНОВА Анастасия Михайловна «Анализ пограничного слоя течений жидкости на основе высокоскоростной термографии» 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатская диссертация.

17.06.2021

СОЛДАТОВ Евгений Сергеевич «Высокотемпературные одноэлектронные транзисторы на основе молекул и малых наночастиц» 01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики. Докторская диссертация.

23.12.2021

БОЖЬЕВ Иван Вячеславович «Локальный сенсор электрического поля на основе транзистора с каналом-нанопроводом» 01.04.04 - Физическая электроника. Кандидатская диссертация.

КИРЕЕВ Дмитрий Сергеевич «Механизмы формирования состава и модифицирования поверхности многокомпонентных материалов при облучении кластерными ионами» 01.04.04 - Физическая электроника. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.13

Председатель – Андреев Анатолий Васильевич, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Макаров Владимир Анатольевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Коновко Андрей Андреевич, к.ф.-м.н.

17.06.2021

ШИПИЛО Даниил Евгеньевич «Широкополосное электромагнитное излучение сходящегося пучка фемтосекундных филаментов в воздухе» 01.04.21 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

18.11.2021

КОВЛАКОВ Егор Витальевич «Методы управления оптическими квантовыми состояниями высокой размерности на основе пространственных мод света» 01.04.21 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

ЕРЁМИН Тимофей Владимирович «Лазерная оптическая спектроскопия допированных одностенных углеродных нанотрубок» 01.04.21 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

16.12.2021

СОЛЯНИН Петр Михайлович «Эффекты генерации и взаимодействия терагерцового излучения с жидкими, газовыми и кластерными средами» 01.04.21 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

АВОСОПЯНЦ Грант Владимирович «Квантово-оптические эффекты и устройства с использованием тепловых состояний света» 01.04.21 - Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.15

Председатель – Носов Михаил Александрович, д.ф.-м.н., проф., проф. РАН
Зам. председателя – Михайлов Валентин Олегович, д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН

Смирнов Владимир Борисович, д.ф.-м.н., доц.
Уч. секретарь – Колесов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

30.06.2021

БЕРЗЕГОВА Роза Батырбиевна «Новороссийская бора как явление обтекания гор» 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы. Кандидатская диссертация.

16.12.2021

ЗАХАРОВА Светлана Александровна «Математическое моделирование пространственно-временной изменчивости эмиссий приливов в атмосферу от антропогенных локальных и распределенных источников» 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы, 01.01.03 - Математическая физика. Кандидатская диссертация.

ПОНОМАРЁВ Николай Андреевич «Численное моделирование воздействия Московского мегаполиса на состав региональной атмосферы» 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы. Кандидатская диссертация.

МГУ.01.18

Председатель – Перов Николай Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.
Зам. председателя – Васильев Александр Николаевич, д.ф.-м.н., проф.
Кашиков Павел Константинович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.

10.06.2021

ОБРОНОВА Светлана Германовна «Поверхностные состояния в твердых растворах на основе халькогенидов висмута и свинца» 01.04.10 - физика полупроводников. Кандидатская диссертация.

23.09.2021

ГИНДИКИН Яков Владимирович «Эффекты парного спин-орбитального взаимодействия и коррелированные состояния в низкоразмерных электронных системах» 01.04.10 - Физика полупроводников. Докторская диссертация.

16.12.2021

БЛИНОВ Михаил Ильич «Магнитотранспортные свойства сплавов на основе Ni-Mn в области магнитоупорядоченных переходов» 01.04.11 - Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

ПИКАЛОВ Антон Михайлович «Дискретные магнитные и плазменные волноводы и плазмон-магнитное взаимодействие» 01.04.11 - Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

КАЗАКОВ Алексей Сергеевич «Неравновесный транспорт в структурах на основе Hg_{1-x}Cd_xTe при фотовозбуждении в терагерцовом спектральном диапазоне» 01.04.10 - Физика полупроводников. Кандидатская диссертация.



К 100-летию со дня рождения Игоря Михайловича Тернова (11.11.1921 — 12.04.1996)

11 ноября 2021 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Игоря Михайловича Тернова — выдающегося российского физика-теоретика, Заслуженного профессора Московского университета, лауреата Государственной премии СССР, премии Совета Министров СССР и премии имени М. В. Ломоносова I степени (МГУ), автора фундаментального научного открытия «Эффект радиационной самополяризации электронов и позитронов в магнитном поле», Заслуженного деятеля науки РСФСР, действительного члена Международной Академии наук Высшей школы.

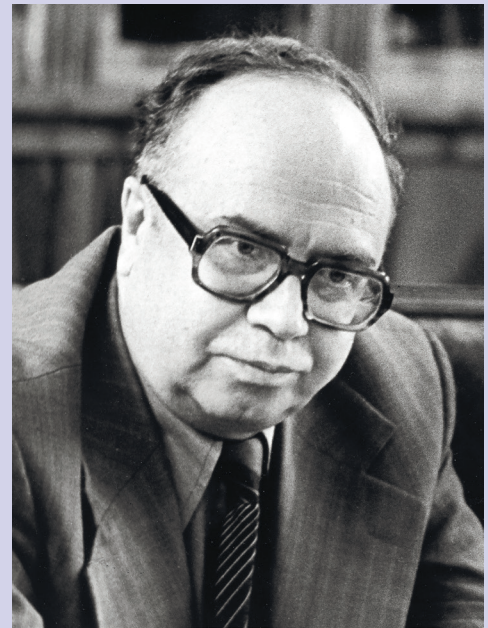
И. М. Тернов родился 11 ноября 1921 г. в Москве в семье служащих. Его отец, Михаил Иванович Тернов, член ВКП(б) с 1902 г., участник революции 1905 г., работал в Министерстве культуры. Мать, Зинаида Васильевна Тернова, работала референтом в Президиуме Верховного Совета РСФСР.

В 1940 г. Игорь Тернов окончил московскую среднюю школу № 170 и одновременно музыкальную школу по классу фортепиано. В ноябре 1940 г. он был призван в Красную Армию. Участник Великой Отечественной войны, он воевал в войсках связи с июня 1941 г. по 1945 г. и закончил войну в звании гвардии старшины, был награжден медалями «За отвагу» (1941), «За оборону Кавказа» (1944), «За победу над Германией», а также орденом Отечественной войны II степени (1985).

В 1945–46 гг. И. М. Тернов учился на подготовительных курсах при МГУ, в 1946 г. поступил на физический факультет МГУ и окончил его в 1951 г. Особенно запомнились ему лекции А. Б. Млодзеевского по общей физике, А. А. Власова по электродинамике, А. А. Соколова по

квантовой механике, семинарские занятия по математике, которые вел Б. М. Будаков.

В 1951–54 гг. Игорь Михайлович учился в аспирантуре физического факультета. В 1954 г. после окончания аспирантуры он стал сотрудником кафедры теоретической физики физического факультета МГУ и с этого времени непрерывно работал на физическом факультете: ассистент (1954–58), доцент (1958–1962), профессор (с 1962 г.). Он заведовал Отделением экспериментальной и теоретической физики, кафедрой квантовой теории, а затем (1982–1990) кафедрой теоретической физики, в 1969–1983 гг. был проректором по учебной и научной работе, затем первым проректором Московского университета.



И. М. Тернов (1980)



И. М. Тернов (1942, 1943)





И. М. Тернов (после Победы, июнь 1945 г., Крым)



И. М. Тернов (1947 г.)



Студент И. М. Тернов и его сокурсники (1946)

В 1954 г. И. М. Тернов защитил кандидатскую диссертацию «К развитию теории движения быстрых элементарных частиц с учетом эффектов излучения» под руководством проф. А. А. Соколова, а в 1961 г. — докторскую диссертацию «Исследования по квантовой теории светящегося электрона».

Научные достижения проф. И. М. Тернова отмечены премией Московского общества испытателей природы II степени (1969), премией имени М. В. Ломоносова I степени (МГУ, 1971), Государственной премией СССР (1976), премией Совета Министров СССР (1982). Он награжден орденом Трудового Красного Знамени (1971), орденом «Знак Почета» (1976), Орденом Октябрьской революции (1980), серебряной (1975), бронзовой (1980) и золотой (1982) медалями ВДНХ. Ему присвоены почетные звания «Заслуженный деятель науки РСФСР» (1982) и «Заслуженный профессор Московского университета» (1993). И. М. Тернов был действительным членом Международной Академии наук Высшей школы (с 1993 г.), членом Российского (с 1990 г.) и Американского (с 1991 г.) физических обществ, избранным членом Административного совета Международной ассоциации университетов (1971–75,

1980–85). Входил в редколлегию журнала «Известия вузов СССР. Физика», в течение 20 лет был членом Экспертного совета по физике ВАК СССР.

Научные труды И. М. Тернова получили широкую известность в России и за рубежом. Он создал новое научное направление — теорию квантовых процессов в сильных внешних полях, основанную на развитом им методе точных решений релятивистских волновых уравнений. Он — один из создателей квантовой теории синхротронного излучения — уникального физического явления, широко используемого в физическом эксперименте и других областях науки и техники. И. М. Тернов совместно с А. А. Соколовым предсказал два фундаментальных квантовых эффекта: эффект макроскопических квантовых флуктуаций орбиты электрона в циклических ускорителях (1953) и эффект радиационной поляризации электронов и позитронов в накопителях (1963); в 1961 г. впервые указал на возможность этого эффекта, который в мировой научной литературе постоянно цитируется как эффект Соколова–Тернова (интересный пример — название опубликованной в 2020 г. статьи: «Synchrotron-Like Radiation Beyond The Standard Model I: Hunting for new physics with the Sokolov–Ternov effect»); официально зарегистрирован как научное открытие № 131 «Эффект самополяризации электронов и позитронов в магнитном поле» 7 августа 1973 г. с приоритетом от 26 июня 1963 г.).

Эти эффекты были экспериментально обнаружены и исследованы в крупнейших мировых научных центрах, используются при проектировании ускорителей и накопителей и для получения поляризованных пучков электронов и позитронов высоких энергий. И. М. Тернов с сотрудниками открыл (1968) динамическую природу аномального магнитного момента электрона — его зависимость от напряженности внеш-

него магнитного поля и энергии частицы. Исследовал процессы бета-распада в сильном внешнем электромагнитном поле, поведение квантовых систем в сверхсильном магнитном поле нейтронных звезд. В последние годы жизни он развивал теорию спиновых эффектов в сильном внешнем поле, установил границы применимости известного квазиклассического уравнения Баргмана–Мишеля–Телегди для эволюции спина; исследовал процессы рождения суперсимметричных частиц во внешних полях и их роль в астрофизике.

Игорь Михайлович читал общие курсы лекций «Теоретическая механика», «Квантовая механика», специальные курсы по теории ускорителей и квантовой электродинамике; создал уникальный учебный курс по теории синхротронного излучения, не имеющий зарубежных аналогов. Игорь Михайлович был замечательным лектором: аккуратным, внимательным к слушателям, доступным. Его лекции отличались изяществом и простотой. Как член Всесоюзного общества «Знание» он читал также научно-популярные лекции по физике. Им написаны (в соавторстве) монографии по теории синхротронного излучения, учебные пособия по квантовой механике, атомной физике, квантовой электродинамике, теории калибровочных полей. Ряд из них был переведен на английский, немецкий, испанский, арабский и сербскохорватский языки.

Проф. И. М. Тернов — автор более 300 научных работ, включающих 6 монографий, изданных в России и за рубежом, а также 11 учебных пособий, в том числе:

A. A. Sokolov and I. M. Ternov. *Synchrotron Radiation*. — Berlin: Akademie-Verlag; New York: Pergamon Press, 1968.

А. А. Соколов, И. М. Тернов. *Релятивистский электрон*. — М.: Наука, 1974 (2-е изд. — 1983).

[Перев. на англ. яз. 2-го изд.: A. A. Sokolov and I. M. Ternov. *Radiation from Relativistic Electrons*. — New York: AIP, 1986.]

А. А. Соколов, И. М. Тернов, В. Ч. Жуковский. *Квантовая механика*. — М.: Наука, 1979.

И. М. Тернов, В. В. Михайлин. *Синхротронное излучение. Теория и эксперимент*. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

И. М. Тернов. *Введение в физику спина релятивистских частиц*. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997.



А. А. Соколов и И. М. Тернов (1970-е гг.)



Р. В. Хохлов и И. М. Тернов (1970-е гг.)

И. М. Тернов создал большую научную школу, включающую около 30 кандидатов и докторов наук. Шесть его учеников — профессора, возглавляющие самостоятельные научные коллективы.

Профессор А. В. Борисов



Н. Н. Боголюбов и И. М. Тернов (1981)

Юбилейная X летняя Школа учителей физики



Заместитель декана физфака МГУ, профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем Анатолий Иванович Федосеев и заведующий кафедрой медицинской физики, профессор Владислав Яковлевич Панченко.

При приеме на факультет решается задача отбора лучших абитуриентов. В последние два года мы проводим отбор среди 1400–1500 пришедших в приемную комиссию абитуриентов и снижение этого числа является крайне нежелательным. В то же время факультет не считает возможным заманивать абитуриентов агрессивной и не всегда объективной саморекламой, что, к сожалению, вошло в практику некоторых вузов. Имеющиеся достижения (наука, квалификация преподавателей, хорошо продуманный школьный учебник) позволяют нам привлекать молодежь на основе объективной информации. Формы привлечения различные — в том числе и работа со школьными учителями.

Факультет проводит регулярные встречи с учителями на лекциях и семинарах, в том числе по программе «Университетские среды». Лекции ведущих ученых и интерактивные занятия по решению сложных задач и освещение вопросов подготовки школьников к ЕГЭ и конкурсным экзаменам, несомненно помогают нам получать хорошо подготовленных абитуриентов. В определенной степени об этом говорят неплохие результаты приема. Так, в 2021 г. средний балл ЕГЭ по физике у зачисленных 92,5, среди зачисленных 174 человека имеют балл за ДВИ от 95 до 100.



Доценты кафедры общей физики Лукашева Екатерина Викентьевна и Грачёв Александр Васильевич.

Профессор кафедры общей физики и физики конденсированного состояния Кротов Сергей Сергеевич.



В 2020 и 2021 гг. подобные мероприятия проходили дистанционно. Участники ежегодных школ учителей, которые факультет проводит очно, единодушно отмечают, что летние школы учителей в значительной степени позволяют ликвидировать дефицит общения преподавателей вузов и школ, эффективно помогают школьным учителям улучшить методику и повысить уровень преподавания. В свою очередь и организаторы школ делают упор на общение в ходе

проведения мастер-классов, семинаров, на обсуждения школьных практических занятий и проблем школьного образования.

Интерес учителей к участию в школах огромный, организаторы проводят конкурсный отбор, причем преимущество получают те учителя, участвующие впервые или проживающие в отдаленном регионе. Летом 2021 г. факультет провел уже 10-ю летнюю школу, слушателями которой были 230 учителей, около 90% их состава — из европейской части и юга России, из Сибири, дальнего востока и других регионов.

Итоги проведения десяти летних школ учителей, возможно, скромные, но для факультета весьма полезные — уже, по нашим оценкам, до сотни зачисленных на первый курс впервые услышали привлекательные подробности о физическом факультете от своих школьных учителей. Большинство поступивших использовали при подготовке учебник преподавателей кафедры общей физики (кстати сказать, наивысшие оценки учителей получили семинары летней школы с участием авторов учебника). Видимо, практика проведения подобных школ себя оправдывает, и надеемся, что в новом 2022 г. она будет продолжена.



Доцент кафедры общей физики
Бушина Татьяна Андреевна.



Участники X летней Школы учителей физики.



Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ».
© 2022 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 Д.И.
press@phys.msu.ru

Подписано в печать 25.01.2022. Формат 60×90/8.

Усл.-печ. л. 3,5. Бумага мелованная.

Тираж 100 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 «WAYprint».

г. Москва,
Дмитровское шоссе, д. 13, корп. 1, стр. 2