



Междисциплинарная научно-образовательная школа Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина»

В октябре 2020 г. ректором Виктором Антоновичем Садовничим в результате конкурсного отбора были созданы 7 междисциплинарных научно-образовательных школ Московского университета. Одна из них — «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

Школа объединяет три подразделения МГУ — физический факультет, факультет фундаментальной медицины и Университетскую клинику (МНОЦ МГУ). Сотрудниками Школы являются более 200 человек, среди которых 6 академиков и членов-корреспондентов РАН. 150 сотрудников входят в профессорско-преподавательский и научный состав, при этом

50% из них — молодые кандидаты и доктора наук; около 20% участников Школы составляют студенты и аспиранты подразделений МГУ.

Деятельность Школы нацелена на проведение междисциплинарных исследований в области фундаментальной и прикладной физики и биомедицины, создание новых образовательных программ и подготовку кадров. В состав Школы входит 14 научных групп, 12 из которых с физического факультета. За последний год опубликовано более 500 работ в высокорейтинговых изданиях, привлечено около 75 млн рублей внебюджетного финансирования, из которых также финансировалась работа



*Декан физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
профессор Николай Николаевич Сысоев.*

студентов и аспирантов, участвующих в выполнении НИР — например, в декабре 2021 года был проведен конкурс проектов аспирантов, победителями которого стали 18 человек.

Одним из направлений работы Школы является образование и подготовка кадров. В этом году запущены три новые магистерские программы — «Прикладная квантовая связь», «Биомедицинская фотоника» и «Радиационная медицинская физика», на которых обучается более 20 студентов-магистров. Еще 11 программ были модернизированы под направления Школы и продолжают реализовываться в новом обновленном формате.

СОДЕРЖАНИЕ	
1.....	НОВОСТИ НАУКИ
24.....	КОНФЕРЕНЦИИ
30.....	ДИССЕРТАЦИИ
32.....	ПРЕМИИ / НАГРАДЫ / КОНКУРСЫ
37.....	ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ
38.....	УЧЕННЫЕ ФИЗФАКА МГУ
46.....	ФИЗФАК — ШКОЛЕ

В рамках Школы проводятся междисциплинарные семинары — запущен совместный семинар с Семеновским университетом, ПИМУ и ННГУ имени Н.И. Лобачевского. Для большего вовлечения сотрудников физического факультета в совместную деятельность с МНОЦ и ФФМ проводятся тематические семинары, например, по организации клинических исследований.

Квантовые технологии: вычисления, коммуникации и сенсорика

Построена и запущена университетская квантовая сеть, объединяющая 20 абонентских пунктов, установленных в подразделениях МГУ на обоих кампусах (Ленинские горы и Моховая улица). Протяженность сети — около 50 км. Использовано серийное оборудование СКЗИ, выпускаемое промышленным партнером МГУ — компанией ИнфоТеКС. Открыт доступ к облачной платформе для бизнеса и разработчиков квантовых и гибридных квантово-классических алгоритмов. В дальнейшем планируется поддержка большего количества языков квантовых инструкций, чтобы сделать систему более универсальной и удобной для исследователей. Платформа практически не ограничивает пользователя и позволяет реализовать и тестировать практически любые квантовые и гибридные квантово-классические алгоритмы. Число зарегистрированных пользователей сети — около 70 человек.

Разработаны и изготовлены образцы детекторов одиночных фотонов на основе планарных лавинных фотодиодов на гетероструктурах InGaAs/InP для применения в оптоволоконных системах однофотонной квантовой связи с использованием российской элементной базы. Разработан и создан компактный квантовый генератор случайных чисел 200 Мб/с. Он установлен в серийном оборудовании «Квантовый телефон QSS», выпускаемом компанией ИнфоТеКС. Создан прототип системы квантовой оптической когерентной томографии, устойчивой к дисперсии, который апробирован на биологических образцах.

Исследование межмолекулярных взаимодействий и высокоскоростных процессов методами фотоники

Ведутся работы по созданию фотосенсибилизаторов нового поколения. Ведется исследование биодegradации коллагена, которое может быть использовано в медицине для разработки методики мониторинга биодegradации белка коллагена в режиме реального времени при различных патологических заболеваниях в организме, а также в разработке новых лекарственных препаратов, содержащих бактериальную коллагеназу.

На плазмодинамическом стенде исследовано воздействие скользящего распределенного разряда на сверхзвуковой поток. Обнаружен и исследован эффект перераспределения энергии импульсного поверхностного разряда вблизи диалектического выступа. Показано, что обнаруженный эффект экструзии свечения плазмы как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне длин

волн регистрации, связан с локальным перераспределением энергии. Искусственный интеллект и машинное обучение впервые применены для анализа больших данных — массивов теневых изображений, полученных на основе высокоскоростной фотоники быстротекущих процессов. Получены новые количественные данные по плазменной газодинамике.

На основе инфракрасной термографии разработан и протестирован цифровой метод диагностики тепловых потоков в области лица при наличии на лице защитной маски. Проведено сравнение динамики температурных неоднородностей, регистрируемых вблизи лица человека при дыхании и кашле в случае отсутствия и наличия на лице защитных масок разных типов (тканевая, медицинская и респиратор типа N95).

Квантовая механика высших кинематических величин

С развитием техники квантовых вычислений становится востребованным аппарат функции Вигнера, которая используется как функция квази-вероятностей при описании квантовой системы в фазовом пространстве. Исходя из первых двух уравнений, принадлежащих бесконечной цепочке уравнений Власова, произведено рассмотрение классических и квантовых систем в фазовом пространстве. Первое уравнение Власова соответствует уравнению Шрёдингера. Частным случаем второго уравнения Власова является уравнение Моэля для функции Вигнера квантовой системы в фазовом пространстве. В явном виде получены матричные элементы оператора Вейля в базисе собственных функций гармонического осциллятора. Знание явных выражений матричных элементов позволяет произвести анализ диссипативных (по вероятности) свойств квантовых систем. Показано, что в области отрицательных значений функции Вигнера расположены полюса функции энергии квантовой системы. Полюса создают бесконечные энергетические барьеры, разбивая потенциальную яму на систему ям, в каждой из которых существует локализованное распределение плотности вероятностей квантовой системы, а количество потенциальных ям соответствует номеру состояния квантовой системы. Предложена интерпретация положительной и отрицательной квази-плотности вероятностей как отклонение от положения равновесия некоторой колеблющейся 2D-мембраны в фазовой плоскости. Получен новый аналог уравнения Шрёдингера в фазовом пространстве, найдено его решение для гармонического осциллятора. Построен эффективный численно-аналитический метод нахождения функции Вигнера для квантовых систем с полиномиальным потенциалом, позволяющий на порядок сократить количество вычислительных операций при нахождении функции Вигнера и при усреднении квантовых величин.

Биофизика гемостаза и митоза

Впервые показано, что гибкие тубулиновые хвосты могут напрямую влиять на скорость сборки тубулиновых микротрубочек — белковых полимеризов, формирую-

щих внутренний скелет клетки. Были проведены молекулярно-динамические расчеты, которые позволили теоретически показать, что гибкие хвосты α -тубулинов могут блокировать поверхность глобулы тубулина, необходимую для встраивания субъединицы тубулина в микротрубочки. С целью поиска новых перспективных соединений для подавления деления раковых клеток путем блокирования взаимодействия микротрубочек и хромосом, был осуществлен масштабный виртуальный скрининг базы из более 2 млн соединений методом молекулярного докинга. Топ-100 лучших соединений были проверены экспериментально с помощью метода микротермофореза. Разработана уникальная компьютерная модель тромбообразования, позволяющая связать локальные биомеханические и биомеханические стимулы в растущем артериальном тромбе. Был предложен протокол нового исследования на базе открытой в МНОЦ МГУ междисциплинарной лаборатории по изучению крови. В ходе двух месяцев проведения исследований получены данные, свидетельствующие о наличии статистически значимых изменений в показателях микрореологических параметров крови у пациентов, окончивших курс лечебного плазмафереза, в то время как показатели вторичного гемостаза остаются в норме и не демонстрируют значительных изменений. Усовершенствована континуальная математическая модель тромбоза в аневризмах и застойных зонах. Модель учитывает динамику жидкости, реологию цельной крови, транспорт клеток крови, двухстадийную адгезию и агрегацию тромбоцитов, а также биохимические каскады свертывания плазмы.

Фотоника и физика микроволн

Реализована экспериментальная установка для применения ширен-метода визуализации акустических полей в жидкости в реальном времени. Были экспериментально получены изображения ультразвуковых полей в воде для плоского поршневого и фокусирующего излучателей при непрерывной и при импульсной подсветке, которые качественно согласуются с рассчитанными в моделировании. Показана принципиальная возможность быстрой оценки некоторых количественных характеристик поля излучателей (длина волны, резонансная частота, фокусное расстояние, ширина фокальной перетяжки).

Исследован способ формирования требуемого распределения ультразвукового поля мегагерцового диапазона частот в жидкости за счет комбинирования одноэлементного пьезоэлектрического излучателя с расположенной перед ним системой фазовых масок.

Предложена новая методика изготовления магнито-плазмонных наноструктур, основанная на методе импульсной силовой нанолитографии. Предложен новый метод спектрально-селективного обнаружения коротких спиновых волн (или магнонов) с помощью экваториального магнитооптического интенсивностного эффекта в пропускании в магнитоплазмонной наноструктуре. Исследованный эффект позволяет регистрировать спи-

новые волны определенной длины волны, распространяющиеся в наноструктуре, путем измерения ее магнитооптического отклика. Исследованы особенности формирования параметрических оптических солитонов в допированной активными элементами брэгговской структуре с квадратичной нелинейностью. Предложена численная модель распространения микроволнового излучения в многослойной среде, в том числе, в биологических тканях, включая грудную область человека. Разработан способ МРТ-оценки содержания NaCl в живых тканях.

Исследования в области нанофотоники и метаматериалов

Работы ведутся в области нанофотоники в нескольких направлениях. Одно из них направлено на внедрение научных достижений ученых Московского университета в индустрию. По договору с исследовательским центром Samsung было экспериментально исследовано нелинейно-оптическое преобразование УФ- в видимый спектр от объемного кремния при ИК-накачке. Исследования резонансных нанофотонных систем продолжаются.

Второе направление работ — исследования на стыке фотоники и медицины. Впервые предложено объединить метод оптического пинцета, позволяющий контролируемым образом манипулировать одиночными нано- и микрочастицами, с методом оптической когерентной микроскопии. Проведено исследование одиночной клетки (эритроцита, раковой клетки) по измерению ее механических свойств. Новый подход позволил получить изображения живых клеток с латеральным разрешением 0,5 мкм и поперечным разрешением до 10 нм. Для задач телекоммуникаций ведутся разработки по полностью оптическому управлению светом. Проводятся исследования сверхбыстрого, нелинейно-оптического отклика в различных резонансных системах — Ми-резонансных, блоховских поверхностных волнах. Показано, что при наличии полупроводниковых частиц с Ми-резонансами по поверхности многослойной структуры — фотонного кристалла, можно управлять направлением распространения блоховских поверхностных волн. В алмазах с Ми-резонансами показано усиление флуоресценции при спонтанной эмиссии. Альтернативными системами по управлению излучением являются полупроводниковые метаповерхности. Было изучено управление дифракцией третьей гармоники, сверхбыстрая полностью оптическая перестройка в полупроводниковых и диэлектрических метаповерхностях, в фотоннокристаллических системах с 2D-материалами.

Одноатомные одноэлектронные транзисторы на основе примесных атомов в твердом теле

Разработана технология создания наноразмерной системы для использования в качестве твердотельной резервуарной сети. Для формирования планарной структуры сети был разработан метод изготовления системы близко расположенных (50–200 нм) электродов, играю-

щих роль внешних управляющих связей резервуара. Для изготовления структур использовалась прецизионная электронная литография с ускоряющим потенциалом. Таким образом продемонстрирована возможность перестройки многопараметрического пространства состояний многоэлектродной системы с помощью потенциалов управляющих электродов.

Было создано и успешно применено на практике устройство для детектирования в режиме реального времени единичных квантовых вихрей в сверхтекучем ^4He . Детектор разработан на основе нанoeлектромеханической системы, у которой в качестве резонатора выступает подвешенный нанопровод. В ходе работы было продемонстрировано, что изготовленное устройство способно отслеживать с миллисекундным разрешением различные стадии взаимодействия единичного квантового вихря с нанопроводом: момент захвата вихря нанопроводом, их взаимодействие и освобождение. Результаты работ продемонстрировали высокую чувствительность наномеханического резонатора и доказывают, что данного рода системы предстают чувствительными детекторами для обнаружения единичных квантовых вихрей и приспособлены к исследованию явлений квантовой турбулентности на микронном масштабе.

Радиационная медицинская физика

Было исследовано влияние напряжения, тока и длительности импульса на изменение чисел Хаунсфилда и на расчет дозы при проведении компьютерной томографии в коническом пучке. Показано, что использование чисел Хаунсфилда, полученных для использованного режима, уменьшает погрешности в расчете дозовых распределений. Было проведено экспериментальное измерение утечки доз из головки ускорителя Varian HALCYON. Оценивалась доза, которая выходит не только за пределы облучаемого объема, но и за пределы любого первичного края поля. Установлено, что утечка дозы становится больше по мере увеличения размера поля.

Проведен обзор выполненных к настоящему времени экспериментов и расчетов по исследованию флэш-терапии, а также проанализированы результаты флэш-терапии на пучках протонов, электронов и тормозных фотонов.

Проведены исследования по оценке равномерности распределения дозы по объёму объектов, подвергающихся радиационной обработке простой и сложной геометрии и состава. Показано, что использование алюминиевых пластин-модификаторов позволяет улучшить равномерность распределения поглощенной дозы по объёму обрабатываемых объектов. Проведены исследования по восстановлению спектров пучков электронов от заданного ускорителя по глубинным дозовым распределениям в алюминии с использованием различных методов выбора параметра регуляризации Тихонова.

Было установлено, что при проведении лучевой терапии с использованием линейного ускорителя электронов (20 МэВ) некоторые элементы крови человека могут активироваться как излучающие позитроны радионуклиды, а основной вклад в полученную дозу внутреннего облучения от них дают три нуклида ^{15}O , ^{34}mCl , ^{38}K .

Проведено исследование физики прецизионных плазменных процессов и фундаментальных явлений взаимодействия излучения, заряженных и активных нейтральных частиц плазмы с двумерными и наноструктурными системами для разработки перспективных технологий нанoeлектроники с атомными масштабами точности.

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование послесвечения высокочастотного емкостного плазменного разряда. Выявлена и объяснена разная временная динамика плотностей метастабильных и резонансных состояний. Оценено возможное время для бездефектной плазменной обработки диэлектрической пленки в импульсном режиме разряда.

Выполнен анализ фундаментальных основ и возможностей практического использования (включая квантовые коммуникации, вычисления для квантовой химии) взаимодействия неклассических электромагнитных полей с наноструктурными системами, свойства которых определяются макроскопическими квантовыми эффектами и размерным квантованием.

Проводится разработка и исследование математических методов и алгоритмов выделения комплекса диагностически значимых показателей острого нарушения мозгового кровообращения по данным мультиспиральной компьютерной томографии.

Биомедицинская фотоника

Глобальной задачей группы является разработка новых физических методов на основе биомедицинской фотоники для диагностики социально-значимых заболеваний, их апробация в клинике и внедрение в клиническую практику.

Впервые экспериментально показано наличие эффекта сверхбыстрого переноса энергии в гетерогенных системах флуорофоров, лежащего в основе формирования оптического отклика биотканей в инфракрасной области спектра, было экспериментально подтверждено для систем, получаемых при окислении и гликировании белков и аминокислот.

Совместно с МНОЦ МГУ была разработана новая оптическая технология интраоперационной навигации в реальном времени в задачах хирургии. Проведены ее испытания непосредственно в операционной (проведено более 25 операций). Начаты работы по интраоперационной навигации при литотрипсии.

Одним из направлений работы лаборатории является создание новых клинических методов неинвазивной диагностики ряда заболеваний (сердечной недостаточности, диабета). В рамках данной задачи была разработана методика оценки тяжести отеочного синдрома при сердечной недостаточности *in vivo*, на данный момент она находится в стадии клинической апробации. Разработана система для неинвазивного скрининга населения: определения уровня гемоглобина методом спектроскопии диффузного рассеяния света с пространственной модуляцией света; на стадии сертификации находится система для анализа биожидкостей.

Совместно с коллегами из Университета Тель-Авива и Сеченовского Университета был найден новый подход настройки макро- и микро- свойств самосборки пепидных гидрогелей, используемых в биомедицине в качестве антимикробных агентов, скаффолдов и для таргетной доставки лекарственных средств.

Разработки научной группы были представлены на нескольких федеральных форумах: фестивале робототехники и инновационных технологий «РобоАрмия» в рамках форума «Армия-2021»; на фестивале НАУКА0+ и Российской неделе здравоохранения-2021.

Терагерцовая фотоника и оптоэлектроника

Проведено исследование особенностей адсорбции RBD домена спайкового белка вируса SARS-CoV-2 на поверхностях методами колебательной спектроскопии с применением терагерцовых метаматериалов. Разработана технология детектирования адгезионных свойств RBD домена, основанная на независимом сравнении спектральных характеристик метаструктуры при последовательной экстракции нанесенной пленки.

Исследован уровень безопасного воздействия ТГц излучения на роговицу глаза на модели кролика. Безопасность воздействия ТГц-излучения *in-vivo* изучалась на 18 кроликах породы шиншилла. Для прижизненной оценки состояния роговицы до и после воздействия проводилась лазерная конфокальная микроскопия роговицы с подсчетом плотности клеток. Объективным критерием оценки состояния роговицы после ТГц-воздействия на разных сроках вывода животных (1-е и 14-е сутки) из эксперимента служили результаты гистологического исследования, выполненного методом электронной микроскопии полутонких срезов.

Методом импульсной ТГц-спектроскопии исследованы образцы плазмы крови здоровых людей и пациентов с доброкачественными и злокачественными узлами щитовидной железы. Установлена корреляция между концентрацией глюкозы и абсорбцией в жидких и лиофилизированных образцах плазмы крови. Показано, что по значениям коэффициента ТГц-поглощения и показателя преломления возможно разделение здоровых

людей и пациентов с узлами щитовидной железы, а также с доброкачественными и злокачественными узлами щитовидной железы.

Исследования в области медицинской физики

Проведено компьютерное моделирование тромбоза и характеристика функциональных свойств тромбоцита. Разработана модель, учитывающая биохимию и транспорт растворимых активаторов в артериальном тромбе. Проведены исследования методами биофотоники, терагерцовой спектроскопии с использованием ТГц-плазмоники и метаматериалов спектров S-S-связей в структуре белка в ближнем и среднем ИК-диапазоне длин волн для определения физико-химических свойства белков адгезии коронавируса типа SARS-CoV-2 и их комплексов, в том числе рецептор-связывающего домена S-белка, и их изменений, связанных с адгезией к разным поверхностям.

Ведется разработка методики импрегнации биологической ткани наночастицами с магнитными свойствами для проведения экспериментов по исследованию электромеханического отклика ткани при лазерном воздействии для разработки контрольной системы. Совместно с МНОЦ МГУ организована работа по созданию экспериментальной установки для исследования микрокапиллярного кровотока в переднем отделе глаза (область лимбального кольца). Создан макет устройства для высокоскоростной (до 200 Гц) видеорегистрации кровотока со спектральным осветителем.

Продемонстрирована возможность управления скоростью биодеградации (растворения в живых клетках) кремниевых наночастиц. Этот процесс является методами люминесцентной конфокальной микроскопии и микроспектроскопии комбинационного рассеяния света. Также впервые методом когерентной антистоксовой микроскопии визуализированы наночастицы пористого кремния в раковых клетках.

Впервые обнаружена и изучена универсальная противовирусная адсорбционная активность наночастиц пористого кремния. В рамках междисциплинарного исследования совместно с МИСиС разработана магнитомеханическая методика манипуляции одиночными биомолекулами посредством магнитных наночастиц на примере коротких дуплексов ДНК.

Получены изображения электромагнитных полей оптических наноантенн

Учёные лаборатории нанооптики и метаматериалов совместно с бельгийскими коллегами из Католического университета г. Лёвена и исследовательского центра IMEC получили изображения оптических мод в кремниевых наноантеннах с субволновым пространственным разрешением. Исследование наноантенн в форме цилиндрической, прямоугольной и треугольной призмы позволило учёным изучить большее количество пространственных конфигураций электромагнитного поля, существующих в наноантеннах. Результаты исследования помогут управлять излучением локализованных источников света, таких как квантовые точки и флуоресцентные молекулы.

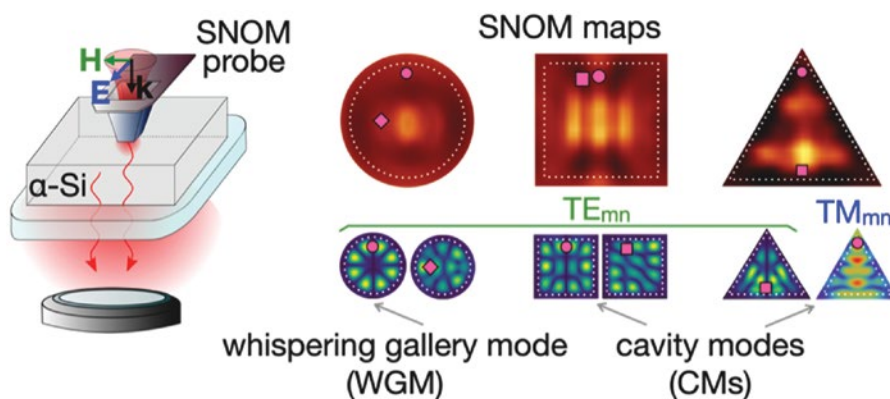


Рис. 1. Ближнепольные оптические изображения и возбуждаемые оптические моды в кремниевых наноантеннах в форме цилиндрической, прямоугольной и треугольной призмы.

Электромагнитные антенны являются ключевыми устройствами в современных технологиях, широко применяемыми в сотовой связи, телевидении и телекоммуникациях. Традиционно антенны преобразуют радио- и микроволны, из-за чего их пространственные размеры составляют от нескольких миллиметров до нескольких метров. В настоящее время развитие методик изготовления наноструктур позволило создавать миниатюрные наноантенны, управляющие электромагнитным излучением в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Такие антенны получили название оптических наноантенн. Особую роль среди них занимают наноантенны, изготовленные из материалов с высоким показателем преломления, например, из аморфного кремния. Аморфный кремний имеет показатель преломления около четырех и низкий коэффициент поглощения, что позволяет эффективно и без потерь локализовать падающий свет в область с субволновыми размерами.

Оптические наноантенны используются для передачи электромагнитной энергии от «точечных» излучателей: например, для управления излучением квантовых точек. Если квантовую точку разместить вне наноантенны, то она будет излучать как диполь — преимущественно в две стороны. А чтобы правильно направить излучение в какую-то конкретную область пространства, необходимо разместить квантовую точку в определённом месте возле наноантенны. Такие места размещения квантовых точек зависят от распределения оптических полей возле антенны. Получается, что «карты» оптиче-

ских мод составляются для точного позиционирования квантовых точек и управления их излучением.

Однако визуализация мод с использованием обычных методов оптической микроскопии невозможна из-за существования фундаментального дифракционного предела, говорящего о том, что два объекта (две пучности поля) неразличимы микроскопом, если расстояние между ними меньше, чем примерно половина длины волны используемого света. Чтобы преодолеть эти проблемы, ученые локально возбуждали оптические наноантенны методом сканирующей ближнепольной оптической микроскопии.

Такой метод имеет красивую акустическую аналогию, примененную Эрнстом Хладни в 1787 г. для визуализации акустических мод в металлических пластинах различной формы. Покрывая песком пластины и возбуждая смычком акустические моды, он наблюдал разнообразные узоры, теперь известные как фигуры Хладни, показывающие пространственное распределение узлов акустических мод. «По аналогии с фигурами Хладни, для визуализации оптических мод в наноантеннах мы использовали апертурный зонд сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Зонд представляет собой полую металлическую пирамиду с крошечным отверстием размером в 90 нм, которое формирует сильно локализованный источник света. Поднесение зонда к наноантенне обеспечивает эффективное возбуждение оптических мод. Собирая отклик наноантенны, можно получить изображения, пока-

зывают пространственную структуру оптических мод с субволновым разрешением до 50 нм», — отмечает один из соавторов статьи Александр Фролов, младший научный сотрудник физического факультета МГУ.

«Мы показали, что апертурный зонд возбуждает и визуализирует оптические моды электрического и магнитного типа в кремниевых нанополосках с формой диска, квадрата и треугольника. Были обнаружены моды шепчущей галереи, локализованные у границ нанополоски, и моды типа Ми/Фабри-Перо, возбуждаемые по всему объему нанополоски», — поясняет один из соавторов работы, профессор Католического университета г. Лёвена Виктор Мошchalkов.

Обычно антенны изготавливают в виде фундаментальных геометрических форм (диск, квадрат, треугольник). Каждая из форм обладает модами с определенной пространственной структурой, поэтому в зависимости от задач выбираются те или иные антенны. В зависимости от пространственного распределения электромагнитные моды могут иметь большую добротность, локализацию электромагнитного поля и направленность. Целью учёных было получить изображения оптических мод основного класса нанополоски с тремя фундаментальными формами. Для дисковой формы нанополоски наблюдались моды типа шепчущей галереи (они локализованы по кругу) — с большой добротностью. Для квадратной формы визуализировались моды типа Ми/Фабри-Перо, у

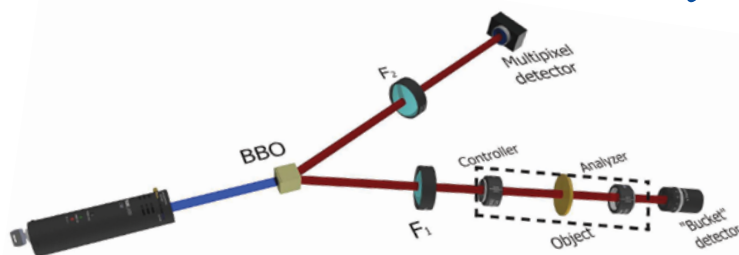
которых добротности сравнимы с модами в диске, а для треугольника получались более сложные, гибридные варианты с немного меньшей добротностью по сравнению с диском и квадратом. Важно отметить, что если для кремниевой нанополоски в форме диска подобные визуализации оптических мод уже были проведены ранее другими более сложными методами, то для форм треугольника и квадрата такие результаты получены впервые.

«Данный подход может быть использован для исследования оптических нанополоски различной формы и визуализации всех типов оптических мод. Локальное возбуждение мод сопровождается значительным изменением рассеяния и локализации света, которые могут оказывать непосредственное влияние, например, на квантовый выход близлежащих излучателей и эффективность нелинейных процессов», — отмечает один из соавторов статьи, заведующий кафедрой нанополоски Андрей Анатольевич Федянин.

Работа выполнена с участием сотрудников НОШ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». Сайт лаборатории: <https://nanolab.phys.msu.ru/ru>

«Probing higher order optical modes in all-dielectric nanodisk, -square, and -triangle by aperture type scanning near-field optical microscopy». A.Yu. Frolov, J. Van de Vondel, V.I. Panov, P. Van Dorpe, A.A. Fedyanin, V.V. Moshchalkov and N. Verellen. *Nanophotonics*. 11 Issue 3, pp. 543–557. (2022)

Метод получения карты поляризационных свойств объекта по его амплитудным фантомным изображениям



Сотрудники кафедры общей физики и волновых процессов предложили и разработали концепцию нового вида поляриметрии на основе спонтанного параметрического рассеяния — квантовую фантомную поляриметрию, использующую перепутанные состояния световых пучков.

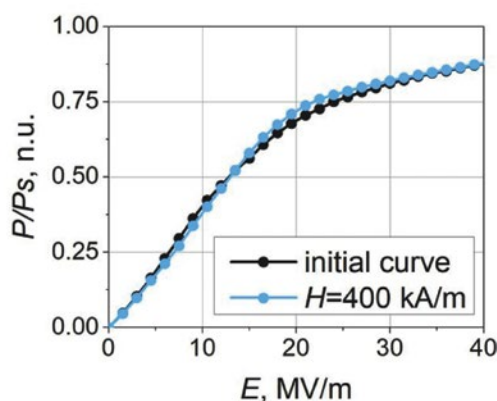
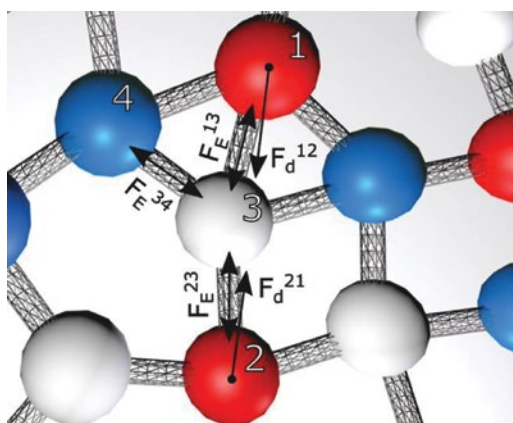
Развитая теория квантовой фантомной поляриметрии показала возможность получения двумерной карты поляризационных свойств объектов путем измерения набора квантовых корреляционных функций, полученных в различных поляризационных состояниях фотонов. Для объектов с линейным дихроизмом установлен полный набор измерений, который позволяет получить карту распределения поглощения, величины и азимута анизотропии. Результаты исследования открывают новые возможности диагностике материалов и, в особенности, биологических субстанций, где однофо-

тонный режим облучения образца имеет принципиальное значение. Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда. Результаты работы опубликованы в журнале *Optics Letters* <http://opg.optica.org/OL/abstract.cfm?uri=OL-47-4-754> и отмечены редакцией как работа отличного научного качества.

"Quantum ghost polarimetry with entangled photons". S. Magnitskiy, D. Agapov, and A. Chirkin *Optics Letters*. 47, Is. 4, pp. 754–757 (2022).

Магнитоэлектрический эффект в полимерном композите с ферромагнитными и сегнетоэлектрическими микрочастицами

Сотрудники кафедры магнетизма физического факультета МГУ в коллаборации с БФУ им. Канта (Калининград) и УрФУ (Екатеринбург) объяснили механизм работы нового мультиферроика, который может быть использован в медицине и гибкой электронике. Доказан вклад упругого смещения частиц в магнитоэлектрическое преобразование.



Мультиферроики — это вещества, обладающие несколькими типами ферро-упорядочения, например, ферромагнитным и сегнетоэлектрическим. Мультиферроики такого типа проявляют эффекты, связанные с взаимодействием электрической и магнитной подсистем: индуцирование или изменение намагниченности под действием электрического поля; изменение диэлектрической постоянной под действием магнитного поля; индуцирование или изменение поляризации под действием магнитного поля. Мультиферроики широко используются в настоящем мире в качестве датчиков, частотных фильтров, преобразователей энергии. Одно из преимуществ современных композитных мультиферроиков — их многофункциональность, то есть, один элемент на основе мультиферроика может "считать" изменившуюся информацию (датчик), преобразовать эту информацию в регистрируемый сигнал (преобразователь), а также накопить энергию для дальнейшей своей работы.

Новый мультиферроик на основе полимера является гибким и в некоторых случаях биосовместимым за счет использования полимера. Такой мультиферроик может быть использован в областях гибкой электроники, где требуется, например, преобразование или поглощение энергии механических вибраций, электромагнитной энергии. А за счет биосовместимости полимера магнитоэлектрическое преобразование можно использовать и для биомедицинских приложений — везде, где требуются механические микровоздействия, сенсорные характеристики, преобразование сигнала, автономная работа.

В работе, опубликованной в высокорейтинговом журнале *Polymers*, представлены уникальные результаты моделирования и эксперимента, полученные для нового умного материала — мультиферроика, состоящего из мягкого полимера с расположенными внутри ферромагнитными и сегнетоэлектрическими частицами.

«Была разработана модель упругой связи между ферромагнитными и сегнетоэлектрическими частицами. В рамках модели ферромагнитные частицы взаимодействуют друг с другом, а также с внешним магнитным полем, сегнетоэлектрические частицы также взаимодействуют друг с другом и с внешним электрическим полем. Все частицы связаны между собой упругими виртуальными пружинами, в том числе частицы разных типов. В постоянном внешнем поле (магнитном или электрическом) проводились численные измерения их электрических (магнитных) свойств. Изменение магнитных (электрических) свойств под действием электрического (магнитного) поля означает магнитоэлектрическое преобразование. Также был проведен эксперимент на образце эластомера со смесью частиц железа и цирконата титаната свинца. Магнитные свойства образца измерялись в отсутствии и в присутствии внешнего электрического поля, сравнение результатов между собой показало их изменение, то есть — магнитоэлектрический эффект», — сообщают авторы.

Работа доказала вклад чисто упругого смещения частиц в магнитоэлектрическое преобразование, то есть

— в преобразование энергии электрического поля в магнитную и энергии магнитного поля — в электрическую. Он существенно отличается от известных на данный момент механизмов в мультиферроиках других видов.

Новый мультиферроик не проявляет классического преобразования, которое обычно происходит за счет магнитострикции (изменения размеров ферромагнетика) и пьезоэффекта.

В работе показано, что под действием магнитного поля в образце смещаются магнитные частицы, деформируют полимерную среду, что приводит к изменению расположения сегнетоэлектрических частиц и, как следствие, изменению суммарной электрической поляризации образца. Этот эффект работает и в обратную сторону: под действием электрического поля смещаются

сегнетоэлектрические частицы, заставляя через упругий полимер смещаться ферромагнитные частицы и изменяя суммарные магнитные свойства образца».

Ключевым моментом является мягкость полимерной матрицы. Это значит, что даже в отсутствие пьезоматрицы, в которой при возникновении механических деформаций возникали бы электрические напряжения, возможен магнитоэлектрический эффект в материалах на основе мягкого полимера.

«Multiferroic Coupling of Ferromagnetic and Ferroelectric Particles through Elastic Polymers». Makarova L.A., Isaev D.A., Omelyanchik A.S., Alekhina I.A., Isaenko M.B., Rodionova V.V., Raikher Y.L., Perov N.S. // *Polymers*. 14. P. 153 (2022).

Рекорд добротности для следующего поколения магнитооптических резонаторов в микрооптике

Учёные кафедры физики колебаний физического факультета МГУ впервые изготовили оптический микрорезонатор с рекордной добротностью — эта характеристика показывает число колебаний в колебательном контуре, которое совершает световая волна до затухания. В данном случае рекорд добротности относится к микрорезонаторам из материалов, обладающих сильным магнитооптическим взаимодействием. Такие микрорезонаторы могут помочь в создании более дешевых модуляторов, ячеек памяти, магнитных сенсоров и стать новым поколением резонаторов в электронике.

Микрорезонатор сделан из кристалла и может поместиться на кончике пальца. Он изготовлен в форме диска диаметром в несколько миллиметров для того, чтобы получать резонанс в гигагерцовом диапазоне. Резонанс в таких диапазонах нужен для радиофотонных применений. Высокую добротность на данный момент можно получить только в кристаллических резонаторах, в промышленном масштабе такое пока что недоступно. Кристаллические резонаторы предназначены для единичных исследовательских установок — то есть пока это скорее узкоспециализированный продукт.

Исследователи сумели продемонстрировать рекордную добротность ($Q = 1.45 \times 10^8$) среди магнитооптических материалов. Высокая добротность означает, что свет внутри микрорезонатора практически не теряет свою энергию и может проходить в нём очень большое расстояние, отражаясь от стенок микрорезонатора. Такая конструкция может быть использована в различных электронных устройствах: от модуляторов до различного рода сенсоров.



Рис. 1. Фотография микрорезонатора (маленький цилиндр перед призмой на ступенчатой подставке).

Микрорезонатор был сделан методикой алмазного точения. Для этого использовался станок, изначально предназначенный для изготовления контактных линз и искусственных хрусталиков человеческого глаза, а теперь адаптированный под научные цели. Последовательность изготовления такая: сначала берут кри-

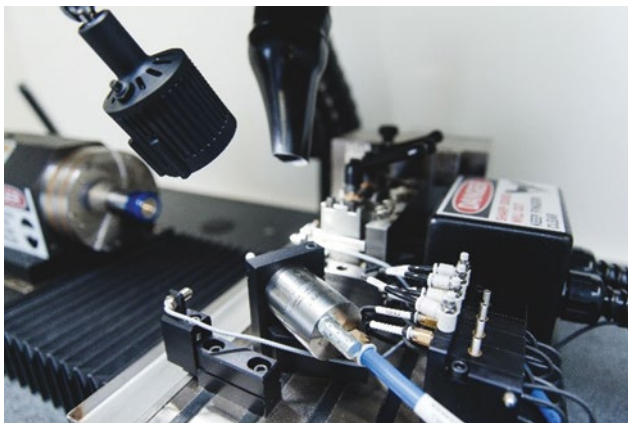


Рис. 2. Станок для точения микрорезонаторов с использованием алмазной крошки.

сталл и на станке вытачивают диск с закруглённым периметром, затем обрабатывают его суспензией с крупной алмазной крошкой. После этого кристалл промывают и снова обрабатывают алмазной крошкой, но на этот раз более мелкой. С каждым разом зёрна алмазной крошки всё меньше, а шлифовка кристалла точнее. Так через несколько циклов получается высокодобротный оптический микрорезонатор — он настолько хорошо «отполирован» в процессе изготовления, что запущенный в микрорезонатор свет, бегая по кругу и отражаясь от стенок, практически не теряет свою энергию. Именно малые энергетические потери и обеспечивают такое рекордное значение добротности.

В качестве кристалла для изготовления был выбран тербий галиевый гранат. У него большая постоянная Верде (отвечает за магнитооптические характеристики) и низкое оптическое поглощение. Получающийся из такого материала резонатор относится к резонаторам с модами шепчущей галереи. Это красивое название обозначает специальный тип колебаний, распространяю-

щихся внутри резонатора, по аналогии с акустическими колебаниями в Шепчущей галерее собора в Лондоне, которые исследовал и объяснил лорд Рэлей. Чем-то распространение «шепчущей волны» похоже на явление полного внутреннего отражения. Потери энергии в таких резонаторах малы, поэтому в них может быть достигнута высокая добротность.

«Видов магнитных сенсоров существует множество, и микрорезонатор из тербий галиевого граната уступает многим другим устройствам в ряде характеристик. Тем не менее, наш микрорезонатор имеет свои преимущества: возможность обнаружения более высокочастотных полей и отсутствие насыщения при любых достижимых значениях напряженности магнитного поля» — объясняет руководитель научной группы, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики колебаний Игорь Антонович Биленко.

«Мы исследовали воздействие магнитного поля на оптический микрорезонатор, показали в нём наивысшую добротность среди других резонаторов с сильным магнитооптическим взаимодействием, построили численную модель взаимодействия» — рассказывает первый автор статьи, магистрант кафедры физики колебаний Андрей Николаевич Данилин.

В дальнейшем планируется исследовать взаимодействия ортогонально-поляризованных семейств оптических мод через взаимодействие с высокочастотным магнитным полем, применения в качестве оптических изоляторов.

«Magneto-optical effects in a high-Q whispering-gallery-mode resonator with a large Verdet constant». Danilin A., Slinkov G., Lobanov V., Min'kov K., Bilenko I. *Optics Letters*. 46, № 10, с. 2509–2509.

Физики предложили устройство оптических аттосекундных часов

Ученые физического факультета МГУ в составе международного научного коллектива из Германии, Литвы и Франции разработали метод диагностики процесса индуцированной высокоинтенсивным оптическим полем ионизации среды посредством регистрации излучения, генерируемого при туннелировании электрона, — так называемых брэнелевых гармоник¹. Физики теоретически показали, что регистрация состояния поляризации брэнелевых гармоник позволяет найти не только время туннелирования электрона через потенциальный барьер, но и асимметрию процесса ионизации при обращении времени. Эксперимент в гелии показал высокую чувствительность оптического метода диагностики к асимметрии динамики электронного волнового пакета при ионизации. Результат работы, состоящий в новом, полностью оптическом способе воспроизведения туннелирования на аттосекундном временном масштабе, позволит исследовать туннелирование через запрещенную зону в твердых телах, где регистрация фотоэлектронных спектров затруднительна.

В настоящее время существенный интерес представляют процессы, происходящие при взаимодействии света с веществом на аттосекундных временах ($1 \text{ ас} = 10^{-18} \text{ с}$), т.е. временах сопоставимых с периодом «обращения» электрона на первой боровской орбите. Одним из таких процессов является туннелирование электрона через потенциальный барьер, который уменьшается в присутствии сильного поля лазерного импульса длительностью в несколько периодов оптических колебаний. Такой процесс ионизации атома является ключевым для аттофизики и лежит в основе генерации оптических гармоник высокого порядка и их последующего применения в спектроскопии. Традиционные методы измерения времени туннелирования электрона через потенциальный барьер основаны на отклонении спектра фотоэлектронов, генерируемых лазерным импульсом с поляризацией, близкой к циркулярной, относительно оси эллипса поляризации светового поля лазера. Установки, позволяющие проводить такие измерения, являются уникальными и технически сложными. Предложенный учеными альтернативный метод диагностики ионизации атома в сильном поле основан на анализе



Рис. 1. Процесс ионизации.

нелинейно-оптической трансформации лазерного импульса длительностью несколько десятков фемтосекунд ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$) в кювете с газом атмосферной плотности. Такая установка реализуется с помощью коммерчески доступной титан-сапфировой лазерной системы, которая умещается на оптическом столе в лаборатории.

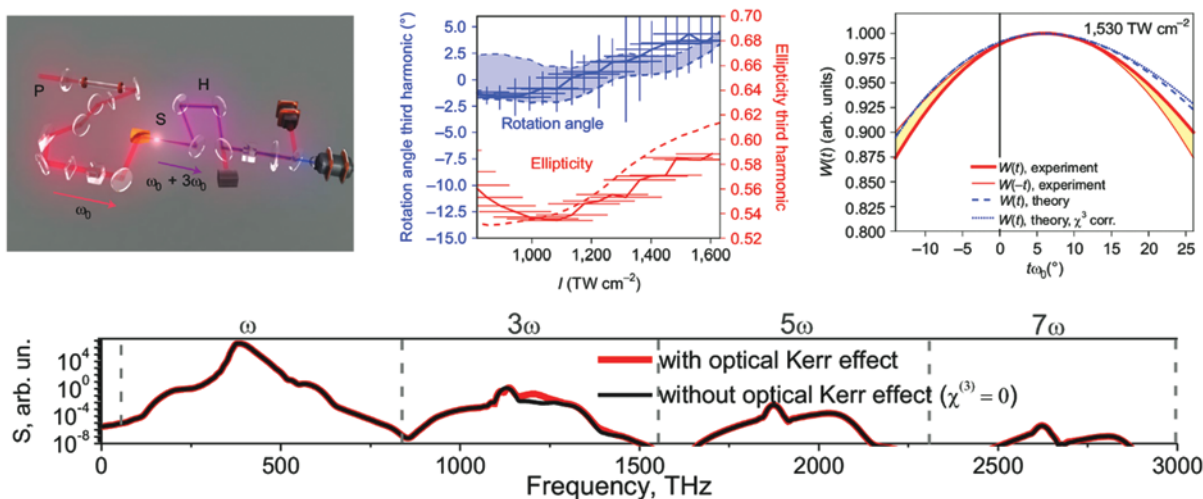


Рис. 2. Верхняя строка, левая панель — эксперимент: эллиптически поляризованный импульс накачки (P) формирует плазменный канал (S), являющийся источником третьей гармоники (H), состояние поляризации которой регистрируется в дальнейшем. Верхняя строка, центральная панель — экспериментально измеренные угол поворота главной оси эллипса поляризации третьей гармоники и ее степень эллиптичности (сплошные кривые) в сравнении с результатами моделирования (пунктирные кривые). Верхняя строка, правая панель — вероятность ионизации $W(t)$, восстановленная из результатов эксперимента (сплошная красная кривая) и моделирования (синяя штриховая кривая). Синяя пунктирная кривая учитывает отклик связанных электронов. Тонкая красная кривая соответствует инвертированной во времени ($t \rightarrow -t$) зависимости вероятности ионизации $W(t)$. Нижняя строка — спектр излучения в дальней зоне, полученный в трехмерном моделировании нелинейного распространения лазерного импульса как с учетом отклика связанных электронов (красная кривая) так и без него (чёрная кривая).

При взаимодействии высокоинтенсивного лазерного излучения сверхкороткого импульса длительностью 10–100 фс со средой наблюдается генерация сверхширокого спектра (суперконтинуума) и гармоник центральной частоты. Оптические гармоники, включая броне-левские, являются результатом нелинейно-оптического взаимодействия со средой и несут огромный массив информации об этом взаимодействии. Его необходимо расшифровать. Теоретиками международного коллектива,

включая ученых физического факультета МГУ, была решена проблема расшифровки информации об ионизации атомов, «записанная» в состоянии поляризации третьей броне-левой гармоники, которая регистрировалась в эксперименте. Теоретически показано, что состояние поляризации высших гармоник, начиная с пятой, несет информацию об ионизации на все более кратких временах — тем самым оптические гармоники оказываются подобными стрелкам механических часов, вращающи-

мися с различной скоростью на аттосекундных временах. Для расшифровки экспериментальных данных была разработана квазиклассическая теория процесса, позволяющая напрямую сопоставлять измеряемые угол поворота и степень эллиптичности бронелевых гармоник с вероятностью туннельной ионизации. Корректность квазиклассической теории была обоснована ее согласием с численным решением квантовомеханического уравнения Шрёдингера для одноэлектронной атомной системы. Однако, эксперимент проводился не с одиночными атомами, а с гелием атмосферной плотности, поэтому зарегистрированная на выходе кюветы с гелием третья гармоника могла быть обусловлена не только бронелевым механизмом, напрямую связанным с процессом ионизации, но и керровским откликом связанных электронов. Профессор О.Г. Косарева, с.н.с. Н.А. Панов, м.н.с. Д.Е. Шпило с физического факультета МГУ и аспирант физфака И.А. Николаева оптимизировали экспериментальные условия так, чтобы вклад бронелевых гармоник в нелинейно-оптическую трансформацию спектра импульса в гелии был максимальным. Оптимизация была проведена на основе численного решения трехмерного в пространстве и учитывающего осцилляции поля на оптической частоте однонаправленного уравнения распространения (Unidirectional Pulse Propagation Equation). Предсказанные параметры эксперимента позволили зарегистрировать состояние поляризации третьей гармоники на выходе кюветы, исходя из

которого была определена вероятность ионизации атомов гелия.

Таким образом, разработанная методика позволяет изучать процесс ионизации вещества исключительно оптическим методом с использованием настольной лазерной системы и предварительного теоретического и численного анализа вкладов различных нелинейно-оптических механизмов в генерацию гармоник. Перспективным направлением развития исследования представляется применение данного подхода к изучению аттодинамики переходов между валентной зоной и зоной проводимости в конденсированных средах, что в свою очередь, может привести к созданию новых сверхбыстрых приборов оптоэлектроники.

«All-optical attoclock for imaging tunnelling wavepackets». I. Babushkin, Ál. Jiménez Galán, J. Ricardo Cardoso de Andrade, A. Husakou, F. Morales, M. Kretschmar, T. Nagy, V. Vaičiaitis, L. Shi, D. Zuber, L. Bergé, S. Skupin, I.A. Nikolaeva, N.A. Panov, D.E. Shipilo, O.G. Kosareva, A.N. Pfeiffer, A. Demircan, M. J. J. Vrakking, U. Morgner & M. Ivanov. *Nature Physics* 1387 Accesses 59 (2022).

F. Brunel, Harmonic generation due to plasma effects in a gas undergoing multiphoton ionization in the high-intensity limit, J. Opt. Soc. Am. B 7, 521 (1990).

Кремниевые наночастицы для лечения опухолей лазерным нагревом

Сотрудники кафедры общей физики и молекулярной электроники совместно с коллегами из Института прикладной физики РАН и Приволжского исследовательского медицинского университета (Нижний Новгород) изучили возможность использования кремниевых наночастиц для терапии раковых опухолей на примере базальноклеточной карциномы человека. Ученые смоделировали процесс локальной гипертермии — прицельного нагрева опухоли с наночастицами до таких температур, при которых новообразование погибает, но при этом окружающие здоровые биоткани не повреждаются. Работа поддержана грантом Российского научного фонда.



Профессор кафедры общей физики и молекулярной электроники Головань Леонид Анатольевич.

В настоящее время наноструктурированный кремний активно применяется не только в электронной промышленности, но и представляет интерес для других направлений науки и техники, в частности, для биомедицины благодаря невысокой токсичности и способности выведения из живых организмов наночастиц из данного материала. На сегодняшний день известны возможности и перспективы использования кремниевых наночастиц в качестве флуо-



Доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники Заботнов Станислав Васильевич.

ресцентных или рассеивающих свет агентов для визуализации процессов и структурных неоднородностей в живых организмах, лечения вирусов и раковых опухолей. В последнем случае возможно использование лазерного излучения наряду с внедрением наночастиц в злокачественное образование, когда локально может осуществляться нагрев (в случае человека свыше 42°C), приводящий к гибели раковых клеток. Данный метод терапии называется гипертермия. Однако перед проведением подобного рода экспериментов на живых организмах важно оценить последствия и найти оптимальные параметры такого воздействия.

«Чтобы лазерное излучение по-разному влияло на больные и на здоровые ткани, нужно изменить их оптические характеристики. Если просто светить лазером на опухоль, находящуюся в объеме нормальной ткани, то они обе будут повреждаться из-за близких значений характеристик рассеяния и поглощения света. Один из способов повлиять на это – ввести кремниевые наночастицы в новообразование. Тогда наночастицы изменят оптические свойства раковой ткани, она будет сильнее поглощать лазерное излучение, а значит, и сильнее нагреваться. Благодаря хорошей биосовместимости кремниевые наночастицы можно использовать для этих целей», — рассказал доцент кафедры общей физики и молекулярной электроники физического факультета МГУ, кандидат физико-математических наук Станислав Заботнов.

Для того, чтобы подобрать оптимальные параметры лазерного воздействия, ученые под руководством профессора физического факультета и руководителя гранта Российского научного фонда по данной тематике Голованя Леонида Анатольевича использовали компьютерное моделирование. В данной работе оно производилось в три этапа. Сперва моделировались оптические характеристики наночастиц и тканей, рассчитывались их коэффициенты рассеяния и поглощения. Вторым этапом — расчет поглощения излучения в объеме опухоли и здоровой ткани, то есть рассматривалось, как распределяется в них энергия падающего лазерного луча. На третьем этапе по данным о распределении поглощенной энергии переходили к расчету нагрева в каждой конкретной точке модельного объекта. В итоге получилась трехмерная картина, на которой видна температура каждого участка после воздействия лазерного излучения.

Задачей исследования было не просто смоделировать весь процесс, но и подобрать оптимальные параметры лазера, которым облучают опухоль. Например, учёные выяснили, что оптимальный размер лазерного пучка должен быть примерно равен диаметру облучаемой

опухоли. Важно отметить, что глубина проникновения анализируемого лазерного излучения красного цвета в ткани организма не более 1 см — это значит, что опухоль должна располагаться близко к поверхности, непосредственно под верхними слоями кожи. В качестве модельного объекта была выбрана базальноклеточная карцинома, удовлетворяющая этому условию. По результатам мо-



Ведущий инженер кафедры общей физики и молекулярной электроники Соколовская Ольга Игоревна.

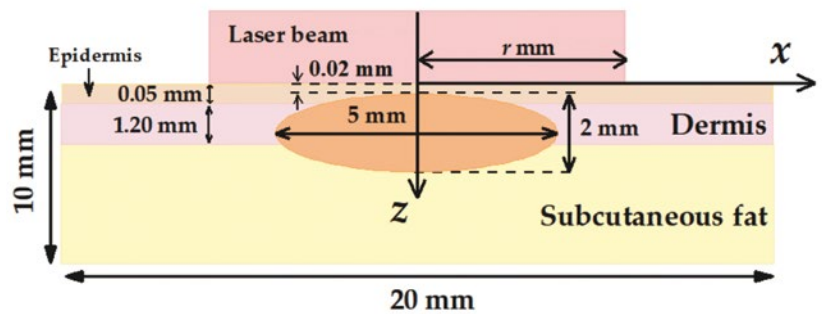


Рис. 1. Послойная схема человеческой кожи с раковой опухолью эллипсоидальной формы для проведения моделирования.

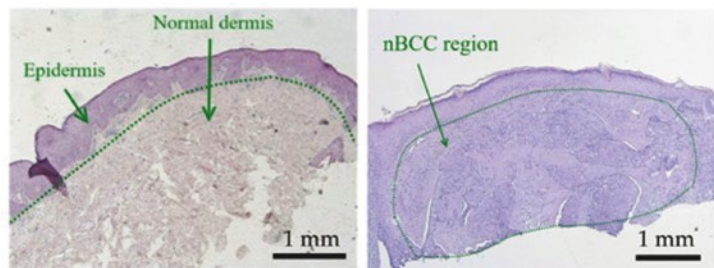


Рис. 2. Гистологические изображения нормальной кожи человека (слева) и узелковой базальноклеточной карциномы (справа).

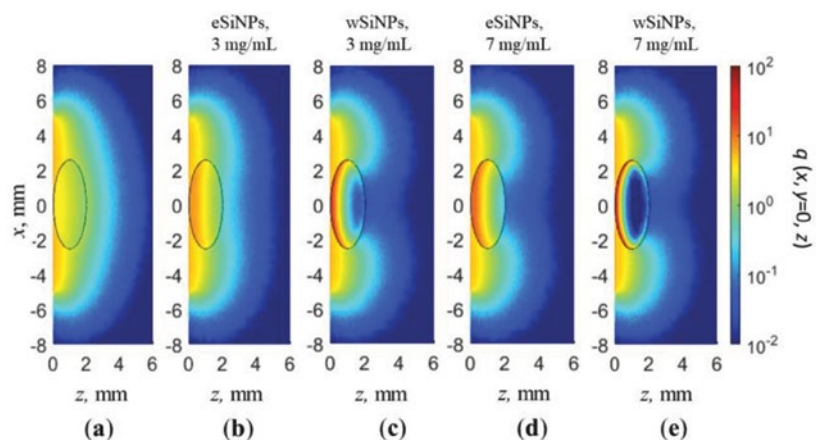


Рис. 3. Рассчитанные поперечные сечения распределения плотности поглощенной энергии $q(x, y, z)$: в отсутствие кремниевых наночастиц (a); с наночастицами из этанольных (b) и водных (c) суспензий для концентраций 3 мг/мл в карциноме; с наночастицами из этанольных (d) и водных (e) суспензий для концентраций 7 мг/мл. Карцинома обозначена эллипсом.

делирования был показан достаточный температурный контраст (до 5°C) между клетками опухоли и окружающими клетками здоровой ткани. Это делает возможным уничтожение карциномы при превышении температуры 42°C в результате нагрева лазерным лучом, в то время как здоровые ткани останутся практически целыми при меньших температурах.

Моделирование производилось для двух типов кремниевых наночастиц: одни были изготовлены в воде, а другие в этаноле. Метод изготовления кремниевых наночастиц называется лазерной абляцией — это процесс удаления вещества с поверхности облучаемой мишени. В качестве мишени использовались предварительно изготовленные кремниевые нанонити. В таких нанонитях атомы кремния слабо связаны друг с другом, а значит лазеру проще «выбивать» кремний с их поверхности. Вдобавок у таких нитей невысокая теплопроводность: всё это позволяет получать нужное количество наночастиц быстрее и в больших объемах, чем если бы абляции подвергался кристаллический кремний.

«Ранее нами были экспериментально получены так называемые водные и этанольные суспензии наночастиц, данные об их размерах и оптических свойствах были использованы для компьютерного моделирования.

У этих двух типов наночастиц разные оптические характеристики: водные суспензии наночастиц и поглощают лучше, и рассеивают лучше, а этанольные напротив: хуже поглощают и хуже рассеивают. В результате моделирования оказалось, что для нашей задачи больше подходят этанольные суспензии наночастиц, потому что они позволяют излучению глубже проникнуть в ткань из-за меньшего рассеяния, и в итоге опухоль сильнее нагревается» — рассказала выпускница аспирантуры физического факультета МГУ, первый автор статьи Ольга Игоревна Соколовская.

Полученные результаты являются необходимым шагом перед проведением реальных экспериментов как на тканевых фантомах, так и на живых организмах. В ближайшем будущем планируются экспериментальные работы с использованием агаровых фантомов биотканей — они позволят смоделировать ткани организма и их нагрев в зависимости от введения кремниевых наночастиц.

«Numerical Simulation of Enhancement of Superficial Tumor Laser Hyperthermia with Silicon Nanoparticles». Sokolovskaya O.I., Sergeeva E.A., Golovan L.A., Kashkarov P.K., Khilov A.V., Kurakina D.A., Orlinkaya N.Y., Zaboltnov S.V., Kirillin M.Y. *Photonics*, 8, № 12, с. 580 (2022).

Массивы нанотрубок диоксида титана для фотокаталитической конверсии углекислого газа в более энергоемкие углеводородные соединения

Сотрудники кафедры общей физики и молекулярной электроники физического факультета МГУ в коллаборации с учеными НИУ МИЭТ разработали энергоэффективные фотокатализаторы на основе анодных нанотрубок диоксида титана (TiO₂) для преобразования углекислого газа в более энергоемкие углеводородные соединения. Исследование поддержано грантом Российского научного фонда и вносит важный вклад в решение основных задач экологии.

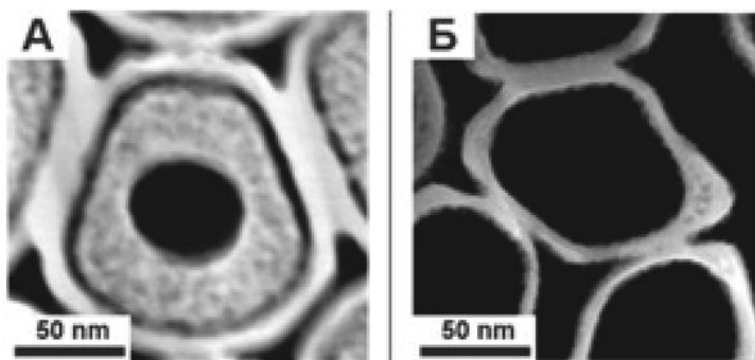
В настоящее время одной из самых актуальных задач является разработка селективных и эффективных фотокатализаторов для преобразования CO₂ в энергоемкие углеводородные соединения. Почему это важно? Проблема в том, что с учетом нынешних темпов потребления ископаемого топлива и без того огромные выбросы CO₂ удвоились за последние три десятилетия, поэтому происходит неизбежное повышение средней глобальной температуры с глубоким пагубным воздействием на окружающую среду, в том числе на мировой океан. Кроме того, быстрый рост крупномасштабной экономики и

индустриализации за последнее столетие вызвал серьезную озабоченность в отношении загрязнения воздуха, воды и истощения природных ресурсов, что требует поиска новых альтернативных источников энергии.

В нашей работе формирование многостенных массивов нанотрубок TiO₂ осуществлялось путем электрохимического травления титановой фольги во фторсодержащих электролитах на основе этиленгликоля. Химическим травлением в смеси серной кислоты и перекиси водорода удаляли внутренний слой нанотрубок

и получали одностенные массивы нанотрубок TiO_2 без углерода в составе. На рис. 1 показаны микрофотографии обсуждаемых структур.

Рис. 1. Микрофотографии многостенных (А) и одностенных (Б) массивов нанотрубок TiO_2 , полученные с помощью сканирующей просвечивающей электронной микроскопии.



Мы провели сравнительное исследование фотокалалитической активности газовой конверсии CO_2 в углеводородные продукты и дефектов в структуре многостенных и одностенных массивов нанотрубок TiO_2 . В процессе фотоконверсии CO_2 были обнаружены метанол и метан. Скорость фотокатализа на многостенных нанотрубках TiO_2 существенно выше, чем на одностенных: в два раза выше для процесса конверсии CO_2 в метан и в четыре раза выше для конверсии CO_2 в метанол. Методом ЭПР показано, что центры Ti^{3+} /вакансии кислорода, в основном, расположены внутри внешнего слоя нанотрубок, в то время как углеродные оборванные связи наблюдаются непосредственно на поверхности внутреннего слоя. Было установлено, что углеродные дефекты поглощают свет в видимом спектре и являются центрами накопления фотоиндуцированных носителей заряда. Предложена модель фотокалалитического процесса конверсии CO_2 на двух типах структуры нанотрубок (многостенные и одностенные). На рис. 2 представлена схема, иллюстрирующая этот процесс.

Согласно предложенной модели, причиной большей фотокалалитической активности многостенных нанотрубок TiO_2 по сравнению с одностенными структурами является наличие оборванных углеродных связей на поверхности внутреннего слоя многостенных образцов. Данные дефекты выступают в качестве адсорбционных центров для молекул CO_2 и в то же время аккумулируют электронный заряд, что приводит к ускорению процесса конверсии CO_2 в прекурсоры углеводородного топлива — метан и метанол. Полученные данные вносят важный вклад в разработку энергоэффективных фотокалалитических устройств нового поколения.

Savchuk T., Gavrilin I., Konstantinova E.A., Dronov A., Volkov R.L., Borgardt N., Gavrilov S.A., Zaitsev V.B. Anodic TiO_2 nanotube arrays for photocatalytic CO_2 conversion: comparative photocatalysis and EPR study. *Nanotechnology*. **33**, 055706 (2022).

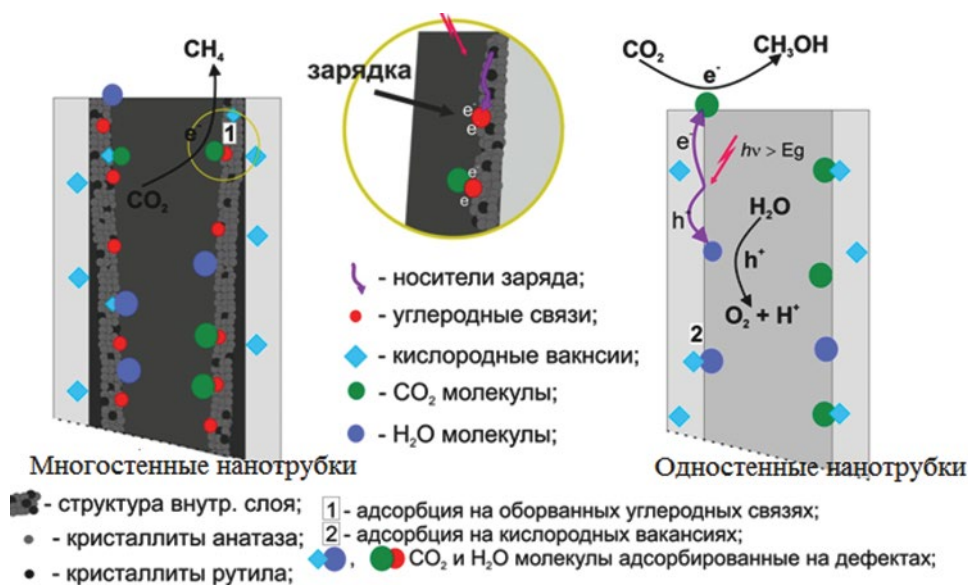
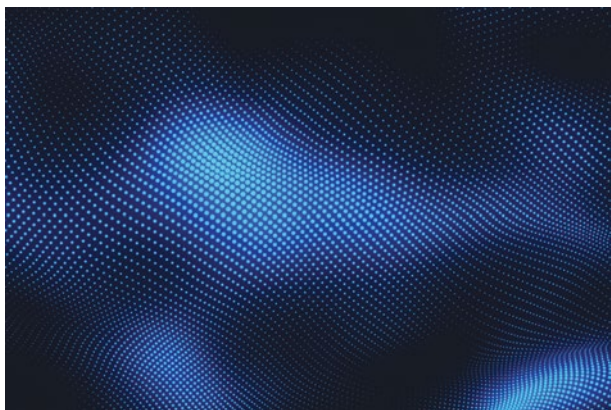


Рис. 2. Схема фотокалалитического процесса конверсии CO_2 на многостенных и одностенных нанотрубках TiO_2 .

Оптическое усиление в коллоидных растворах полупроводниковых нанопластинок



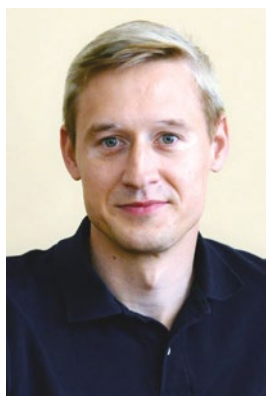
Сотрудники физического факультета — участники НОШ МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» совместно с коллегами с химического факультета исследовали особенности поглощения коллоидных гетероструктурных нанопластинок на основе селенида кадмия в режиме однофотонного стационарного возбуждения экситонов мощными наносекундными лазерными импульсами. Результаты позволят использовать оптически активные полупроводниковые наноструктуры с контролируемыми оптоэлектронными свойствами при создании лазерных сред и нелинейно-оптических ограничителей.



Доцент В. Манцевич.

Полупроводниковые нанокристаллы, в которых движение носителей заряда ограничено в одном, двух или трех направлениях, интересны для применения в оптоэлектронных устройствах: светоизлучающих диодах, солнечных элементах, датчиках и прочих. Они обладают уникальными свойствами, которые можно контролировать разными способами.

«Ранее нами был подробно изучен эффект уменьшения поглощения на частотах экситонных переходов в нанопластинках, а сейчас, изменяя концентрацию нанопластинок в растворе, удалось достичь перехода от режима ограничения поглощения к режиму оптического усиления. Впервые установлена сильная зависимость модуляции поглощения экситонных переходов от концентрации нанопластинок и интенсивности накачки», — прокомментировал доцент физического факультета МГУ Владимир Манцевич.



С.н.с. А. Смирнов.

В своей новой работе сотрудники МГУ совместно с коллегами сосредоточились на хорошо изученном материале для полупроводниковых нанокристаллов — селениде кадмия — и его наиболее перспективной в оптоэлектронике форме — атомарно тонких нанолитах, или нанопластинках.

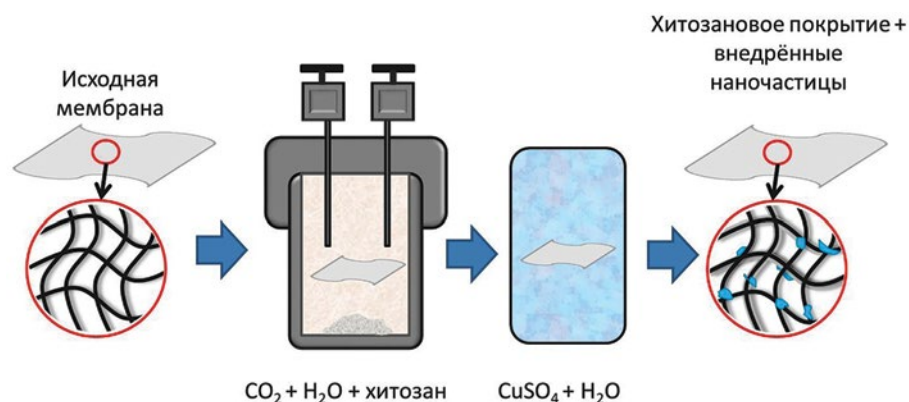
Обнаруженные нелинейные изменения пропускания растворов нанопластинок были объяснены эффектами заполнения фазового пространства, обмена энергией между экситонными состояниями, процессами переизлучения и экситон-экситонного взаимодействия. Экспериментально продемонстрирована возможность достижения отрицательного поглощения, то есть оптического усиления, в коллоидных растворах нанопластинок. Авторы работы считают, что полученные результаты дают представление об использовании коллоидных полупроводниковых нанопластинок для лазерного применения.

Ученые исследовали нелинейное пропускание коллоидных нанопластинок ядро/оболочка CdSe/CdS с разной оптической плотностью в режиме однофотонного стационарного возбуждения экситонов при различных интенсивностях накачки. Использование системы такого состава обеспечивает чрезвычайно большое поперечное сечение поглощения и рекордно низкий порог усиления среди подобных коллоидных полупроводниковых нанокристаллов.

«Энергетический спектр нанопластинок определяется материалом и их толщиной, контролируемой с точностью до одного атомного слоя. Получение лазерной генерации на экситонном переходе в нанопластинках представляет несомненный интерес ввиду возможности варьирования длины волны излучения путем изменения толщины и состава нанокристаллов», — рассказал старший научный сотрудник физического факультета МГУ Александр Смирнов.

*«Optical gain appearance in the CdSe/CdS nanoplatelets colloidal solution». A.M.Smirnov, A.D. Golinskaya, V.N. Mantsevich, M.V. Kozlova, K.V. Ezhova, B.M. Saidzhonov, R.B. Vasiliev, V.S. Dneprovskii. Results in Physics. **32**, 105120 (2022).*

Новые покрытия полипропиленовых мембран на основе хитозана и ионов меди



Хитозан — биополимер, который промышленно получают в больших количествах из широко доступного природного полисахарида хитина. Хитозан отличается химической стабильностью и безвредностью для человека, при этом он также проявляет антимикробные свойства. Композиты на основе хитозановых покрытий и ионов металлов (в частности меди) привлекают большое внимание благодаря своим антибактериальным свойствам и биосовместимости. Известно, что присутствие хитозана способствует стабилизации роста металлических пленок или отдельных наночастиц при их осаждении, а кроме того хитозановые покрытия повышают гидрофильные свойства поверхностей.

Автор статьи, выпускник аспирантуры физического факультета Вадим Зефирин рассказывает: «В данной работе хитозановое покрытие мы наносили на волокна полипропиленовой нетканой мембраны. Полипропиленовые материалы широко используются в медицине, например в качестве хирургических материалов при корригирующем операционном вмешательстве, однако исходная гидрофобность полипропилена ограничивает его потенциальную эффективность в таких приложениях. В свою очередь нанесение хитозанового покрытия позволяет как повысить сродство композитов к воде, так и стабилизировать дополнительно осаждаемые ионы металла, желательные для повышения антибактериальной активности материала. В данной работе хитозан осаждали из водного раствора угольной кислоты (такой раствор получается при насыщении воды диоксидом углерода под высоким давлением). В отличие от классических методов нанесения хитозана из растворов уксусной кислоты, нанесение из раствора угольной кислоты обладает рядом преимуществ. Так, высокое давление среды помогает добиться повышенной однородности осаждаемых хитозановых пленок, а также, в

отличие от уксусной кислоты, угольная кислота является полностью биосовместимым растворителем, который самонейтрализуется после сброса давления. На волокна, покрытые хитозаном с помощью описанного метода, затем наносили ионы меди из водного раствора медного купороса. В результате получали композитный материал на основе полипропилена, хитозана и ионов меди.»



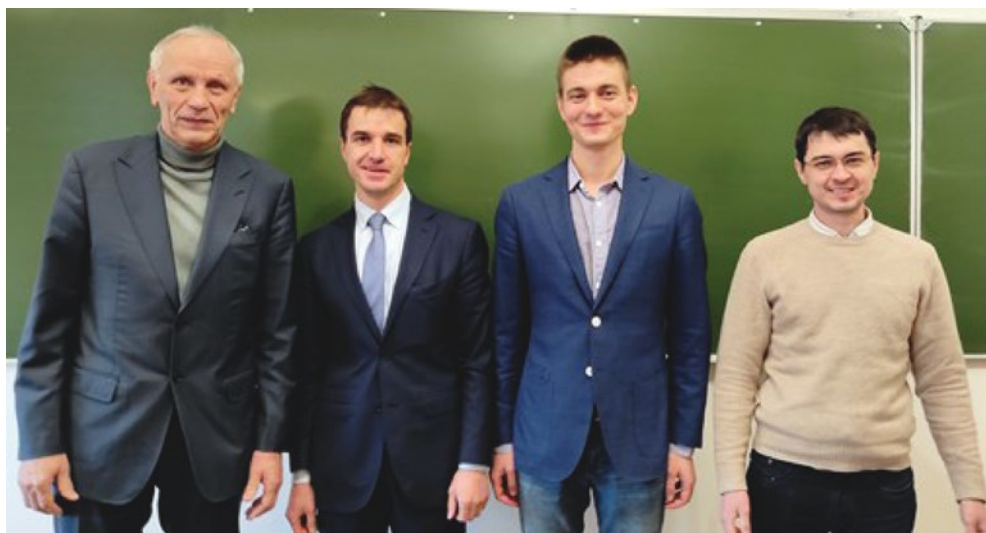
Выпускник аспирантуры
физфака
Вадим Зефирин.

В целом, в работе показано, что наличие хитозановой прослойки позволяет значительно улучшить адгезию и снизить агрегацию растущих частиц металла, что приводит к декорированию волокон равномерными тонкими медьсодержащими пленками. Предлагаемый способ создания композиционных материалов может служить новым подходом к созданию антибактериальных полимерно-неорганических композитов.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (Проект РНФ 21-13-00143).

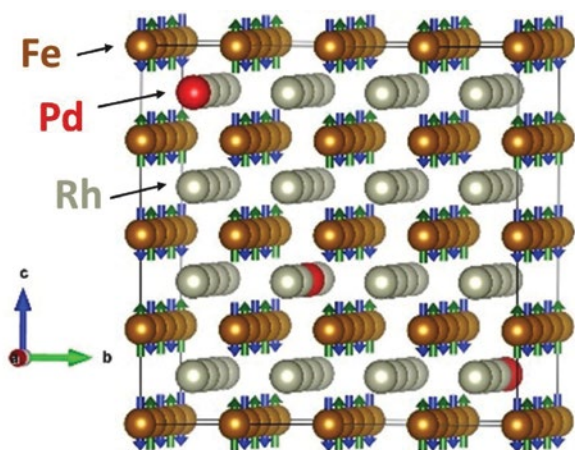
"Effect of chitosan coating on polypropylene fibers on the deposition of copper ions." Zefirov Vadim V., Sizov Victor E., Dvoryak Stanislav V., Gulín Alexander A., Sergeyev Vladimir G., Gallyamov Marat O. *J. Appl. Polym. Sci.* **139**, 19, 52111. 2022.

Причины возникновения магнитного фазового перехода первого рода в новых функциональных материалах



Соавторы статьи. Слева направо: профессор Н.С. Перов, сотрудник кафедры магнетизма В.И. Зверев, магистрант А.С. Комлев, Р.Р. Гимаев ("Росатом").

Ученые из МГУ с коллегами подробно изучили механизмы магнитного фазового перехода первого рода на примере соединения FeRhPd. Простым примером фазового перехода первого рода является процесс кристаллизации воды. При нуле градусов по Цельсию в воде образуются небольшие кристаллиты, вокруг которых образуется новая фаза — лед. В сплавах на основе железа и родия наблюдается похожий фазовый переход, только этот материал меняет не агрегатное состояние, а тип упорядочения магнитных моментов в узлах кристаллической решетки. В низкотемпературной области магнитные моменты на соседних атомах железа ориентированы в противоположные стороны. При достижении определённой температуры происходит фазовый переход первого рода и возникают области, в которых магнитные моменты на атомах железа ориентированы в одну сторону.

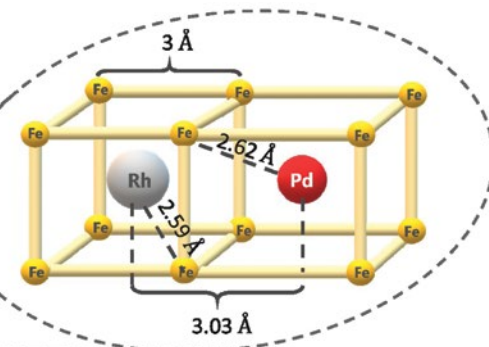
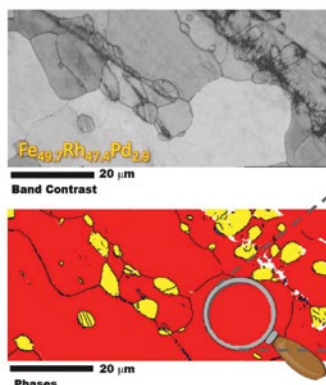


До сих пор не удается полностью установить все механизмы, ответственные за возникновение описанного явления. Однако, авторам статьи удалось объяснить механизм, который приводит к уменьшению температуры фазового перехода при повышении концентрации палладия в сплаве. “Согласно представленным в работе исследованиям температура фазового перехода зависит от величин магнитных моментов на атомах железа, родия, палладия и от расстояний между этими атомами, которые варьируются при небольшом изменении концентрации палладия. Определив корреляции между этими параметрами, удалось установить, что температура фазового перехода определяется конкуренцией фонной и магнитной энергий.” — уточнил первый автор статьи, магистрант кафедры магнетизма физического факультета МГУ Алексей Комлев. Кроме того, в статье сделаны важные выводы о закономерностях формирования дополнительной кристаллографической фазы (γ -фаза), исследованы ее структурные и магнитные свойства. Экспериментальным путем был установлен состав γ -фазы, средний размер ее включений для образцов с различной концентрацией палладия. Полученные сведения позволили смоделировать супер-решетку γ -фазы с помощью пакета программ VASP. Результаты первопринципных расчетов позволили заключить, что дополнительная кристаллографическая фаза является парамагнитной. Тем самым ее наличие определяет только макроскопические особенности возникновения магнитного фазового перехода первого рода.

Для решения поставленной задачи была проведена огромная экспериментальная и теоретическая работа, к участию в которой присоединились ученые из Германии, Японии, Аргентины и Бразилии. В опубликованной статье представлены экспериментальные результаты, полученные с помощью самых современных методик: синхротронных исследований, нескольких видов электронной микроскопии (сканирующая электронная микроскопия с дифракционным анализом, сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным анализом), рентгеноструктурные исследования, магнитоме-

трические измерения. Для описания целостной картины возникновения фазового перехода в исследуемых объектах были разработаны новые протоколы измерений, которые обеспечили наиболее точные и воспроизводимые результаты. Полученные данные позволили с высокой точностью охарактеризовать параметры кристаллической структуры, а также определить параметры полевых и температурных зависимостей намагниченности. Теоретические расчеты проведены при помощи компьютерной симуляции исследуемых кристаллов. Совместный анализ теоретических и экспериментальных данных позволил повысить надежность и достоверность сделанных выводов. Ожидается, что полученные результаты станут фундаментом для создания единой теории подобных фазовых переходов.

Проведенные исследования интересны не только с фундаментальной, но и с прикладной точек зрения. Материалы, которые обладают подобным фазовым переходом, перспективны для использования в твердотельных охлаждающих системах, термомагнитных генераторах. Используемая в настоящее время парогазовая (на основе фреона) технология охлаждения была предложена более ста лет назад. Она является



менее энергоэффективной, экологичной и долговечной по сравнению с предлагаемой твердотельной технологией, основанной на возникновении магнитного фазового перехода. Таким образом, исследования, посвященные изучению магнитных и тепловых свойств новых функциональных материалов, могут стать толчком для становления нового этапа технологического прогресса.

"Correlation between magnetic and crystal structural sublattices in palladium-doped ferri alloys: Analysis of the metamagnetic phase transition driving forces". Komlev A.S., Karpenkov D.Y., Gimaev R.R., Chirkova A., Akiyama A., Miyanaga T., Hupalo M. F., Aguiar D. J., Carvalho A.M., Jiménez M.J., Cabeza G.F., Zverev V.I., and Perov N.S. *Journal of Alloys and Compounds*, **898**, 163092 (2022).

Нелинейная локализация света и формирование краевых солитонов

Сотрудниками Центра квантовых технологий (ЦКТ) физического факультета МГУ совместно с коллегами из Института спектроскопии РАН (г. Троицк, Москва) и Института фотоники (Барселона, Испания) экспериментально исследована нелинейная локализация света и формирование так называемых краевых солитонов.

В ЦКТ разработана и успешно используется технология записи световодов в прозрачных диэлектриках — так называемая технология фемтосекундной лазерной печати. На основе этой технологии были сформированы трехмерные световоды, в которых удалось продемонстрировать переход от нетопологической к топологической

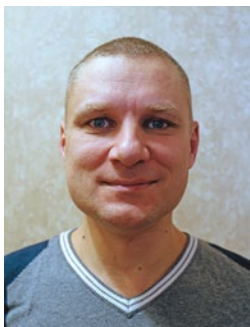
фазе в фотонном топологическом изоляторе — системе, которая гораздо менее исследована, чем ее хорошо известный электронный аналог. Природа трехмерных волноводных решеток позволяет напрямую исследовать различные топологические граничные состояния. Удалось получить прямые экспериментальные доказательства



Сергей Кулик.



Виктор Задков.



Александр
Калинкин.



Николай
Скрябин.

ства сосуществования и избирательно-го возбуждения топологических краевых солитонов с разной внутренней структурой. Работа является первым экспериментальным свидетельством образования топологических солитонов в нелинейной системе с более чем одной топологической щелью.

С фундаментальной точки зрения результаты работы открывают новые возможности исследования нелинейных явлений в двумерных сверхрешетках с богатыми топологическими свойствами. В качестве практических приложений, открывается перспектива создания управляемых разветвителей на основе топологических массивов волноводов.



Иван
Дьяконов.

"Observation of Edge Solitons in Topological Trimer Arrays." Y. V. Kartashov, A. A. Arkhipova, S. A. Zhuravitskii, N. N. Skryabin, I. V. Dyakonov, A. A. Kalinkin, S. P. Kulik, V. O. Kompanets, S. V. Chekalin, L. Torner, and V. N. Zadkov. *Phys. Rev. Lett.* **128**, 093901, 2022.

Лазерная генерация на NV центрах в алмазе

Российские физики впервые в Море получили лазерную генерацию на NV центрах в алмазе. Работа выполнена доцентом кафедры астрофизики и сотрудником ГАИШ в коллаборации с выпускниками кафедры общей физики и волновых процессов, в настоящий момент работниками ВНИИА им. Духова госкорпорации "Росатом", а также специалистами по росту искусственных алмазов и модификации их оптических свойств из ТГУ и ИСЭ СО РАН (г. Томск) и ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).



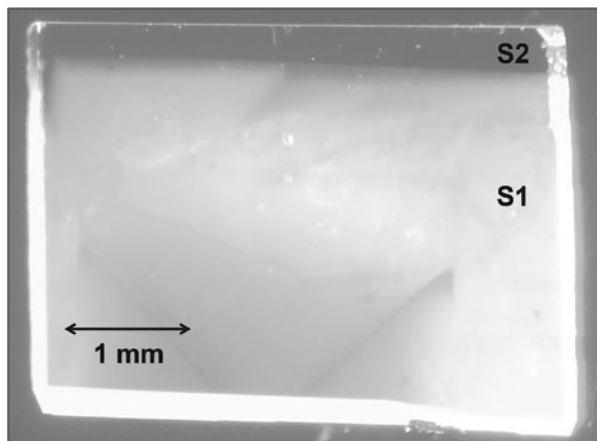
Доцент кафедры астрофизики и звездной астрономии и старший научный сотрудник ГАИШ Сергей Потанин.

Алмаз обладает уникальной теплопроводностью и почти нулевым коэффициентом теплового расширения, что делает его идеальным материалом в качестве активной среды лазера. В нем может существовать большое число разнообразных фотоактивных дефектов решетки в виде центров окраски. Наиболее подходящим для усиления и генерации лазерного излучения считался NV центр, состоящий из расположенных рядом атома азота и вакансии решетки и способный находиться в двух зарядовых состояниях: нейтральном NV⁰ и отрицательно заряженном NV⁻. Оба зарядовых состояния обладают широкой полосой контура люминесценции, достаточной для усиления

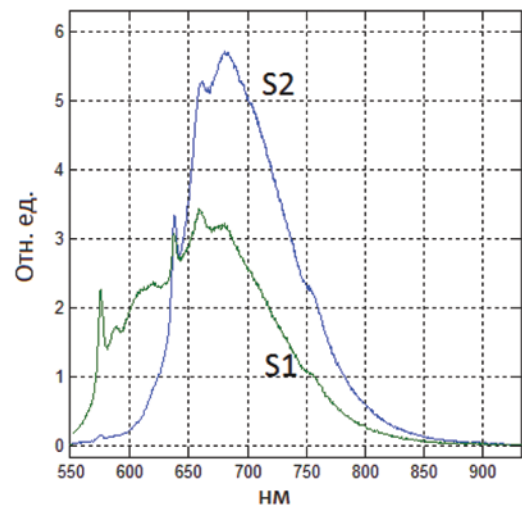
и генерации фемтосекундных лазерных импульсов и которая может возбуждаться второй гармоникой Nd:Yag лазера с длиной волны 532 нм. В течение десятилетий кристаллы алмаза с NV центрами азот-вакансия рассматривались как потенциальная лазерная среда, но до настоящего момента генерации не наблюдалась.

Исследованный образец алмаза, на котором получена лазерная генерация, представляет собой пластину размером 4×3×0.25 мм, вырезанную из ВДВТ алмаза (ВДВТ-метод изготовления искусственных алмазов в прессе при высоком давлении и высокой температуре). Для образования NV центров, алмаз облуча-

ется электронами с энергией 3 МэВ, которые выбивают атомы углерода из решетки с образованием вакансии. Далее облученный алмаз подвергается отжигу, при котором вакансии мигрируют по объему и связываются с остаточными атомами азота. Образец содержит две ростовые зоны с существенно различным соотношением концентраций NV0 и NV⁻ центров. Большая часть (зона S1) в основном содержит нейтральные NV0 центры, тогда как узкая область более темного цвета на краю образца (зона S2) содержит почти полностью NV⁻ центры. В работе показано, что несмотря на более простые спектроскопические свойства NV0 центры проявляют только наведенное поглощение, а NV⁻ — обеспечивают усиление. Однако существует предельный уровень накачки, после которого появляется поглощение, связанное с ионизацией NV⁻ центров до NV0. Продемонстрированный лазер при накачке цугом пикосекундных импульсов с длиной волны 532 нм генерирует импульс длительностью 1 нс на длине волны 720 нм.



а



б

а) Фотография образца алмаза, содержащего две зоны с различным соотношением концентраций NV центров: зона S1 преимущественно содержит нейтральные NV0, зона S2 — отрицательно заряженные NV⁻ центры. б) Спектры люминесценции двух зон при возбуждении лазером с длиной волны 532 нм.

По мнению одного из авторов работы, доцента кафедры Астрофизики и старшего научного сотрудника ГАИШ МГУ Сергея Потанина, многолетнее сотрудничество астрономов с физиками-лазерщиками дает большой синергетический эффект в части понимания взаимодействия с веществом электромагнитного излучения максимально широкого диапазона длин волн. В процессе этой работы также установились тесные связи с коллегами из Сибири, которые имеют свой уникальный опыт, например, в части радиационно-термической обработки алмаза и использования ионизирующего излучения, потоками высокоэнергетических частиц. Для ГАИШ такое взаимодействие отлично вписывается в концепцию "всеволновой астрономии", под которую планируется развивать материально техническую базу

и программы подготовки специалистов. Очень хорошо, что у руководства факультета и университета появилось сейчас для этого больше ресурсов, так как имеется большое желание не только углублять наш собственный уровень в части проведения исследований и создания приборов, но и передавать накопленный опыт будущему поколению.

"NV- diamond laser". Savvin, Alexander, Dormidonov Alexander search by orcid, Smetanina Evgeniya, Mitrokhin Vladimir, Lipatov Evgeniy, Genin Dmitriy, Potanin Sergey search by orcid; Yeliseyev Alexander, Vins Viktor. Nature Communications, 12, article id. 7118.

Поведение мягких анизотропных коллоидных частиц на границе двух несмешивающихся жидкостей

Сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов совместно с учеными из Германии описали поведение мягких анизотропных коллоидных частиц, — микрогелей с жёстким эллипсоидным ядром и мягкой полимерной оболочкой, на границе двух несмешивающихся жидкостей.

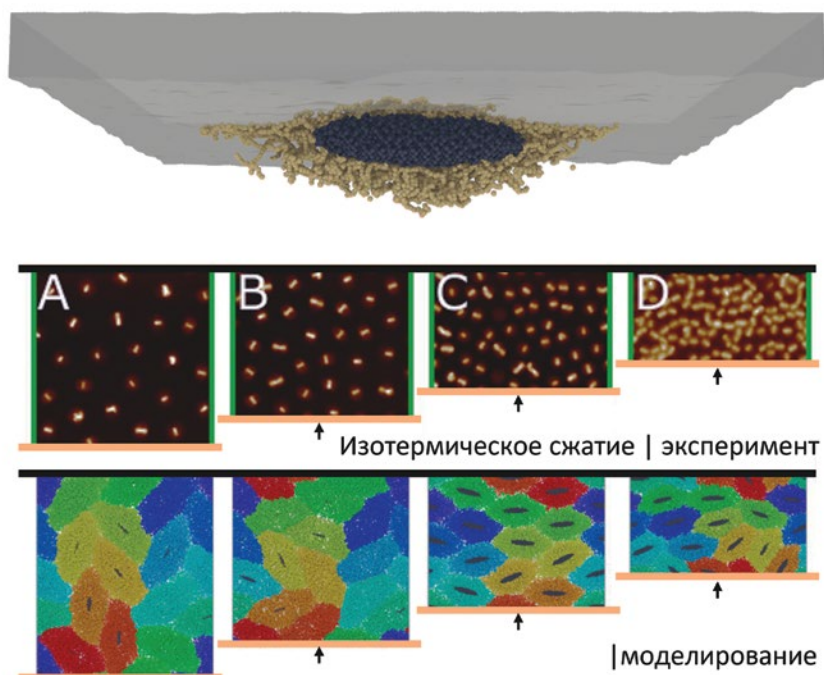


Профессор физического факультета
Игорь Иванович Потёмкин.

Научный сотрудник физического факультета
Рудов Андрей Андреевич.

В рамках исследования учёные создали термочувствительные частицы, которые *а)* сохраняют свою анизотропию в растворе и на межфазной границе, за счет наличия твердого ядра, *б)* способны подстраиваться и реагировать на внешние воздействия за счет наличия полимерной оболочки. Были синтезированы образцы различной жесткости: от практически твердых частиц (при наличии тонкой полимерной оболочки), до абсолютно мягких, у которых наличие твердого ядра нивелировалось большой толщиной мягкой полимерной оболочки. Ученые адсорбировали микрогели на границу раздела вода/додекан, проследили за изменениями структуры и морфологии монослоя микрогелей, а также установили особенности деформации и упорядочения анизотропных микрогелей при последовательном изотермическом сжатии.

“Необходимо было понять, как наличие и размер полимерной оболочки влияет на положение анизотроп-



Изображения (АСМ, эксперимент) и (ДДЧ, моделирование) эллипсоидных микрогелей, полученные при различной степени сжатия монослоя (A-D).

ных частиц на межфазной границе, на их ориентацию и взаимное расположение», — комментирует профессор физического факультета Игорь Иванович Потёмкин. «Подобно твердым частицам, микрогели способны адсорбироваться на межфазную границу, однако благодаря полимерной оболочке они способны претерпевать деформации во время адсорбции. Оказалось, что мягкие микрогели, находящиеся в контакте с границей раздела жидкостей, растягиваются, занимая большую площадь: чем толще оболочка, тем больше деформации. При этом положение твердого ядра вероятно должно было зависеть от толщины оболочки. Компьютерное моделирование показало, что в случае небольшой толщины — ядра лежат в плоскости межфазной границы, в то время как с увлечением толщины оболочки угол наклона большой полуоси ядер относительно межфазной границы увеличивается.»

«Важным аспектом исследования было изучение отклика микрогелей при последовательном сжатии монослоя», — добавляет научный сотрудник физического факультета Рудов Андрей Андреевич. «По мере сжатия монослоя взаимодействие микрогелей сначала сопровождалось контактом и деформацией полимерных оболочек, при этом твердые ядра фактически не влияли друг на друга. Параметр порядка, характеризующий направ-

ление большей полуоси эллипсоидальных ядер, был близок к 0. С ростом степени сжатия наблюдался рост параметра порядка за счет упорядочения микрогелей в монослой. На первый план выходило взаимодействие жестких эллипсоидных ядер. При этом мягкая полимерная оболочка играла важную роль в выстраивании микрогелей, позволяя перенаправлять и минимизировать возникающее напряжение. Таким образом, регулируя степень сжатия и размер мягкой оболочки, можно наблюдать переходы от разупорядоченного в упорядоченное состояние микрогелей и контролировать процесс этого перехода.»

Результаты работы имеют важное фундаментальное значение в создании новых функциональных чувствительных к внешним воздействиям коллоидным системам на основе мягких анизотропных частиц.

"Anisotropic Microgels Show Their Soft Side." Anne C. Nickel, Timon Kratzenberg, Steffen Bochenek, Maximilian M. Schmidt, Andrey A. Rudov, Andreas Falkenstein, Igor I. Potemkin, Jérôme J. Crassous, and Walter Richtering. Langmuir 2022, 38, 17, 5063–5080.



Ежегодная общеуниверситетская конференция "Ломоносовские чтения"-2022 Секция "ФИЗИКА"



Завершилась работа научной конференции "Ломоносовские чтения-2022. Секция ФИЗИКА", продолжавшаяся с 14 по 22 апреля. В этом году участниками конференции стали более 500 человек, представивших свои доклады на заседаниях 13 подсекций секции ФИЗИКА. Конференция проводилась, как в очном — 10 подсекций, так и в дистанционном режиме — 3 подсекции, в том числе, новая образованная в этом году подсекция "Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина".



Большинство участников конференции своевременно и качественно представили свои материалы в ПРОГРАММУ КОНФЕРЕНЦИИ и СБОРНИК ТЕЗИСОВ. Обусловлено это прежде всего ответственностью и заинтересованностью руководителей подсекций, взявших на себя огромный труд по подготовке и проведению заседаний своих подсекций. Я имею в виду сопредседателей подсекций "Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина", "Прикладная математика и математическое моделирование", "Радиофизика, электроника и акустика", "Математическая физика".



В настоящее время сформирован и выпущен в электронном и бумажном виде (100 экз.) СБОРНИК ТЕЗИСОВ конференции. Кроме того, предполагается выпуск отдельного номера электронного журнала «Ученые записки физического факультета Московского университета», в который войдут научные статьи по материалам докладов, представленных на конференции. Лучшие статьи, рекомендованные редколлегией, будут опубликованы в журнале Вестник МГУ. Серия 3. Физика и Астрономия.



Отв. секретарь конференции Т.А. Версан.

О конференции «Ломоносов-2022»

В 2022 году международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» прошла в Московском университете в 29-й раз. С учетом карантинных неопределенностей она проходила в смешанном формате с 11 по 22 апреля. В этом году количество участников секции «Физика» уменьшилось по сравнению с предыдущим годом. Всего было подано 625 заявок на участие, включая авторов (551), соавторов (30) и слушателей (44). В доковидное время количество заявок выросло настолько, что для проведения заседаний всех подсекций за один день приходилось занимать практически каждую аудиторию физического факультета, для этого занятия по расписанию студентов начальных курсов отменялись. Некоторая статистика последних лет представлена на следующей гистограмме.

Очно или в смешанном формате прошли заседания следующих подсекций «Математика и информатика», «Атомная и ядерная физика», «Геофизика», «Твердотельная наноэлектроника», «Физика магнитных явлений» и «Физика Космоса». Остальные подсекции проводили заседания в дистанционном формате. Нововведением последних нескольких лет является добавление трех подсекций в рамках научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина», по «фотонным технологиям», «квантовым технологиям» и «цифровой медицине».



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

Жюри секции «Физика»

1. Акустика	доц. Хохлова Вера Александровна
2. Астрофизика	доц. Потанин Сергей Александрович
3. Атомная и ядерная физика – I	доц. Широков Евгений Вадимович
Атомная и ядерная физика – II	доц. Кузнецов Александр Александрович
Атомная и ядерная физика – III	проф. Платонов Сергей Юрьевич
Атомная и ядерная физика – IV	проф. Попов Александр Михайлович

4. Биофизика – I	проф. Твердислов Всеволод Александрович
Биофизика – II	проф. Тихонов Александр Николаевич
5. Геофизика	проф. Максимочкин Валерий Иванович
6. Математика и информатика	проф. Ягола Анатолий Григорьевич
7. Мат. моделирование – I	в.н.с. Плохотников Константин Эдуардович
Мат. моделирование – II	проф. Голубцов Петр Викторович
Мат. моделирование – III	проф. Чуличков Алексей Иванович
8. Молекулярная физика	проф. Уваров Александр Викторович
9. Нелинейная оптика – I	проф. Гордиенко Валерий Михайлович
Нелинейная оптика – II	проф. Савельев-Трофимов Андрей Борисович
10. Оптика – I	в.н.с. Доленко Татьяна Альдефонсовна
Оптика – II	проф. Короленко Павел Васильевич
Оптика – III	проф. Наний Олег Евгеньевич
11. Медицинская физика – I	проф. Пирогов Юрий Андреевич
Медицинская физика – II	с.н.с. Берловская Елена Евгеньевна
12. Радиофизика – I	проф. Митрофанов Валерий Павлович
Радиофизика – II	проф. Козарь Анатолий Викторович
13. Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел	проф. Кульбачинский Владимир Анатольевич
14. Твердотельная наноэлектроника – I	доц. Павликов Александр Владимирович
Твердотельная наноэлектроника – II	с.н.с. Трифонов Артем Сергеевич, с.н.с. Преснов Денис Евгеньевич
15. Теоретическая физика – I	проф. Борисов Анатолий Викторович
Теоретическая физика – II	проф. Поляков Петр Александрович
16. Физика магнитных явлений – I	проф. Шалыгина Елена Евгеньевна
Физика магнитных явлений – II	проф. Грановский Александр Борисович
17. Физика Космоса	проф. Свертилов Сергей Игоревич
18. Физика твердого тела – I	проф. Бушуев Владимир Алексеевич
Физика твердого тела – II	проф. Орешко Алексей Павлович
Физика твердого тела – III	проф. Лебедев Александр Иванович
Физика твердого тела – IV	доц. Ормонт Михаил Александрович
19. НОШ Фотонные технологии – I	доц. Князев Григорий Алексеевич
НОШ Фотонные технологии – II	н.с. Мусорин Александр Игоревич
20. НОШ Квантовые технологии – I	с.н.с. Смирнов Александр Михайлович
НОШ Квантовые технологии – II	с.н.с. Катамадзе Константин Григорьевич
21. НОШ Цифровая медицина – I	н.с. Лаптинский Кирилл Андреевич
НОШ Цифровая медицина – II	с.н.с. Луговцов Андрей Егорович, доц. Приезжев Александр Васильевич

Всего было проведено 50 заседаний в рамках секции «Физика». По итогам заседаний жюри выбрало лучшие доклады.

Лучшие доклады секции «Физика»

Акустика

Сергеева Мария Сергеевна

МГУ им. М.В. Ломоносова,
физический факультет

Атомная и ядерная физика

Степанова Анна Вячеславовна

МГУ им. М.В. Ломоносова,
физический факультет

Сандомирский Андрей Всеволодович

Новосибирский
национальный исследовательский
государственный университет

Астрофизика

Самородова Екатерина Борисовна

МГУ им. М.В. Ломоносова,
Факультет космических
исследований

Стрижак Александр Олегович

Московский физико-тех-
нический институт

Герасимов Иван Сергеевич

МГУ им. М.В. Ломоносова,
физический факультет

Смирнов Александр Александрович

Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Биофизика

- Луценко Алексей Олегович МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Семенова Екатерина Владимировна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Яковлев Алексей Николаевич Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН

Геофизика

- Сушина Мария Романовна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Химуля Валерий Владимирович Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

Математика и информатика

- Лагутина Алена Алексеевна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Пропой Максим Игоревич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Математическое моделирование

- Гусев Ярослав Сергеевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Сергеев Алексей Александрович МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Сердюков Михаил Геннадьевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Закиров Марат Нафисович МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Медицинская физика

- Иванов Максим Александрович МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Максутова Дарья Едиловна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Мочалова Мария Александровна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Молекулярная физика

- Черепанов Андрей Вячеславович Новосибирский государственный университет

Нелинейная оптика

- Гейнц Илья Юрьевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Дюков Владислав Алексеевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Сисина Виктория Вадимовна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Оптика

- Андрюнин Александр Игоревич Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
- Рубцова Елизавета Дмитриевна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Ларина Наталья Анатольевна Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва

- Дойко Роман Константинович Сибирский федеральный университет
- Шабалина Екатерина Максимовна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Приточкин Егор Михайлович Владимирский ГУ им. А. Г. и Н. Г. Столетовых
- Татаринев Данила Алексеевич Санкт-Петербургский НИУ информационных технологий, механики и оптики
- Федюнин Федор Дмитриевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Скурлов Иван Дмитриевич Санкт-Петербургский НИУ информационных технологий, механики и оптики

Радиофизика

- Шавшин Артём Владимирович Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
- Горячкин Павел Алексеевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Гореславец Егор Александрович Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Сверхпроводящие и электронные свойства твердых тел

- Эндерова Татьяна Николаевна Казанский (Приволжский) федеральный университет

Твердотельная наноэлектроника

- Рябко Андрей Андреевич Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
- Ильясов Александр Игоревич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Теоретическая физика

- Ильин Алексей Сергеевич Казанский (Приволжский) федеральный университет
- Пятаков Максим Андреевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Конюх Дмитрий Александрович Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
- Крюкова Екатерина Андреевна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Савченко Елена Михайловна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Федотова Елена Юрьевна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Физика космоса

- Проничева Софья Алексеевна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Невский Дмитрий Владимирович МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Урсов Эдуард Дмитриевич МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
- Аллахвердиев Рамин Рафиг оглу Бакинский филиал МГУ им. М.В. Ломоносова

Физика магнитных явлений

- Белькова Александра Владимировна МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Макарын Родион Алексеевич	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
Самсоненко Аркадий Антонович	Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Гервиц Наталья Евгеньевна	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
Пожиткова Анна Викторовна	Санкт-Петербургский НИУ информационных технологий, механики и оптики
Дрягина Анастасия Евгеньевна	Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина

Физика твердого тела

Суханова Екатерина Владимировна	Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
Астафьев Павел Андреевич	Южный федеральный университет
Аверкиев Игорь Кронидович	Удмуртский научный центр Уральского отделения РАН
Соломонов Антон Викторович	Санкт-Петербургский государственный университет

Школа МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». Подсекция «Квантовые технологии»	
Заруцкий Семён Юрьевич	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
Петров Петр Евгеньевич	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Школа МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». Подсекция «Фотонные технологии»	
Ибрагимов Алишер Ахмад Угли	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
Карташова Анна Дмитриевна	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Школа МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина». Подсекция «Цифровая медицина»	
Гайер Алексей Вячеславович	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет
Мефодьева Екатерина Атнеровна	МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

От души поздравляем лучших докладчиков! Спасибо всем участникам за интересные доклады.

Авторы наиболее интересных докладов получили рекомендацию опубликовать результаты исследований в журнале «Ученые записки физического факультета Московского Университета». Со списком рекомендованных можно ознакомиться по ссылке из QR-кода:



Хотелось бы выразить благодарность председателям подсекций за отбор докладов, проведение заседаний и выбор победителей.



Сборник тезисов секции с 2019 г. публикуется только в электронном виде. Также центральный оргкомитет перестал готовить диск с тезисами всех докладов конференции (несколько тысяч штук), начиная с этого года. Любой желающий может скачать сборник тезисов секции «Физика» по ссылке из QR-кода.



Огромная благодарность издательскому отделу, который в очень сжатый срок подготовил электронный макет сборника тезисов, причем эта работа велась одновременно для нескольких факультетских конференций.

Также большое спасибо студенческому профкому и следующим студентам нашего факультета, которые помогали модерировать дистанционные заседания и настраивать оборудование на очных и смешанных заседаниях:

1. Кобзев Виталий Андреевич, председатель профкома студентов,
2. Сопетик Александр Витальевич, координатор студентов,
3. Балаганская Елизавета Андреевна,
4. Ванин Сергей Андреевич,
5. Веселовский Александр Владимирович,
6. Гафаров Батыр Ринатович,
7. Горшкова Александра Андреевна,
8. Жихарева Екатерина Николаевна,
9. Запорожская Ксения Васильевна,
10. Зубченко Даниил Валерьевич,
11. Исмагилов Азамат Василевич,
12. Климентьева Анастасия Викторовна,
13. Коваленко Бронислав Вадимович,
14. Королев Илья Владиславович,
15. Кочетов Егор Дмитриевич,
16. Назаров Даниил Александрович,
17. Неделько Алёна,

18. Неделько Анастасия Сергеевна,
19. Трусов Андрей Александрович,
20. Федотова Анастасия Евгеньевна.

Завершает конференцию традиционное мероприятие, которое проводится в Зелёном зале Интеллектуального центра — Фундаментальной библиотеки МГУ. Там Ректор вручает дипломы за лучший доклад некоторым победителям секций. От каждой секции с учетом их большого количества допускается участие одного (для малых секций) или двух призеров (для крупных секций). От секции «Физика» в этом году на торжественном закрытии присутствовали Белькова Александра Владимировна и Суханова Екатерина Владимировна. Почетным гостем мероприятия этого года стал Валерий Николаевич Фальков — министр науки и высшего образования Российской Федерации.

Каждый год мы стараемся сделать конференцию лучше и интересней. Желаем всем участникам и их научным руководителям больших научных успехов, удачи и крепкого здоровья. Ждем ваши доклады в следующем году.



Ректор МГУ им. М.В. Ломоносова академик В.А. Садовничий и министр науки и высшего образования В.Н. Фальков вручают дипломы за лучший доклад победителям секции "ФИЗИКА" Сухановой Екатерине Владимировне (верхнее фото) и Бельковой Александре Владимировне (фото слева).



Ответственный секретарь секции «Физика» Александр Паршинцев.



Сотрудник кафедры магнетизма
Владимир Игоревич Зверев.

17 марта 2022 года в диссертационном совете МГУ.01.18 Зверев Владимир Игоревич представил и защитил диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.12 (01.04.11) – «Физика магнитных явлений» (Научный консультант Перов Николай Сергеевич).

на тему:

«МАГНИТОТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЁЛЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ Fe-Rh, НАНОЧАСТИЦ ФЕРРО-МАГНИТНЫХ ОКСИДОВ В ОБЛАСТИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ»

Действенным инструментом повышения эффективности изучения магнитных материалов является экспериментальное измерение и анализ их магнитотепловых свойств в силу фундаментальной взаимосвязи, существующей между электронной, решеточной и магнитными подсистемами материала при проявлении того или иного магнитотеплового свойства. Под термином магнитотепловые в данной работе понимаются магнитокалорический эффект (МКЭ), магнитные вклады в теплоемкость и энтропию, а также специальные параметры, введенные для характеристики нагрева магнитных наночастиц: удельная мощность поглощения и собственная мощность потерь. Указанные параметры объединяют в себе информацию о ключевых свойствах магнитного материала: намагниченности, теплоемкости, магнитной восприимчивости. Знание данных свойств и их зависимостей от внешних факторов позволяет полностью охарактеризовать изучаемый материал и составить максимально полное представление о возможности его практического применения. В работе данные явления были изучены в нескольких видах магнитных материалов, которые можно рассматривать в качестве модельных, и, соответственно, распространить полученные результаты на более широкие классы функциональных материалов. С этой точки зрения для анализа были выбраны тяжелые редкоземельные металлы (гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий); сплавы на основе Fe-Rh, микро- и наночастицы ферромагнитных оксидов.

Редкоземельные металлы в настоящее время используются во всех без исключения отраслях промышленности. По оценкам экспертов, потребность промышленности в химических соединениях на их основе сохранит тенденцию к росту на протяжении ближайших десятилетий. Тяжелые РЗМ испытывают множество фазовых переходов между совершенно различными магнитными состояниями, критические температуры которых зачастую находятся весьма близко друг от друга и, в основном, в низкотемпературной области. Данное обстоятельство ограничивает практическое применение изученных в настоящей работе в «рабочей» области около комнатных температур. Сплавы FeRh с соотношением атомов железа и родия около 1:1 проявляют максимальные значения МКЭ из всех известных на сегодняшний день магнитокалорических материалов. Более того, эквиатомный сплав железо-родий претерпевает единственный фазовый переход первого рода АФМ-ФМ в области около комнатных температур. В этом смысле данный сплав является модельным соединением, соответственно, он интересен как с фундаментальной точки зрения, так как позволяет прояснить механизм магнитно-структурного фазового перехода первого рода, так и с прикладной, поскольку величина МКЭ в нем в полтора-два раза выше соответствующих значений в других материалах, проявляющих гигантский МКЭ. При этом, родий является одним из самых дорогих металлов в мире в настоящее время, что также существенно затрудняет его широкое использование даже в лаборатор-

ных условиях. В связи с этим актуален поиск сплавов, обладающих гигантским МКЭ, но не имеющих в своем составе родия. Таким образом, исследование характера изменений МКЭ и других магнитотепловых свойств при замещении родия более доступными материалами (в трехкомпонентных сплавах на основе Fe–Rh) также весьма актуально. В связи с вышесказанным в работе также была предложена относительно новая область применения изучаемых магнитотепловых явлений (в отличие от ставшей классической области магнитного охлаждения и разработки магнитных тепловых машин), а именно, медицинские приложения.

Таким образом, в работе были поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведен всесторонний комплексный анализ изучаемых в настоящее время в мире магнитокалорических материалов. При анализе возможности практического использования обнаружена тенденция к полному отказу от применения материалов, содержащих токсичные, дефицитные и драгоценные элементы.
2. Определена максимальная теоретическая величина МКЭ в материалах, испытывающих фазовый переход второго рода: 18 К/Тл. Показано, что данная величина недостижима в реально используемых на сегодняшний день магнитокалорических материалах: оценка максимального МКЭ в материалах с фазовым переходом второго рода составляет 8–9 К/Тл.
3. Проведено комплексное теоретико-экспериментальное рассмотрение магнитотепловых свойств тяжелых редкоземельных металлов с уточнением их магнитных фазовых диаграмм. Из первых принципов рассчитаны плотности электронных состояний тяжелых РЗМ, в том числе, с учетом влияния примесных химических элементов. Выявлен ряд общих закономерностей магнитного упорядочения тяжелых РЗМ: в низких магнитных полях реализуется ферромагнитное упорядочение; при увеличении поля наблюдается устойчивое спиральное антиферромагнитное упорядочение. Деформация геликоида приводит к появлению промежуточной веерной фазы с геликоидальной структурой или структур типа спин–слип. В высоких магнитных полях объемные тяжелые лантаноиды находятся преимущественно в веерном или ферромагнитном состоянии.
4. Установлено, что наличие примесей химических элементов в тяжелых РЗМ приводит к понижению температур фазовых переходов и увеличению значений критических полей, тем самым затрудняя перестройку магнитной структуры. Наличие локальных спиновых дефектов (структуры типа спинового проскальзывания) и многообразие магнитных «аллотропных» модификаций тяжелых РЗМ также объясняется влиянием примесей. За счет примесей плотность электронных состояний на уровне Ферми становится ненулевой
5. Продемонстрирован теоретико-расчетный подход на основе модели Бина-Родбелла, который позволяет описать особенности фазового перехода первого рода в бинарных сплавах железо–родий. Причиной АФМ–ФМ фазового перехода в сплавах FeRh является появление ненулевого магнитного момента на атомах родия при одновременном увеличении объема решетки на 1.0 % в сочетании с уменьшением абсолютного значения обменного интеграла J_{12} между подрешетками железа и родия.
6. Проведены систематические исследования серии околоэвтомных стехиометрических составов бинарных сплавов $\text{Fe}_{100-x}\text{Rh}_x$ с $x=50, 50.5$ и 51 : максимальное и гарантированно воспроизводимое значение МКЭ достигается в образцах состава $\text{Fe}_{49}\text{Rh}_{51}$ в результате магнитоупругого перехода АФМ–ФМ при 323 К. При этом наблюдается явление гистерезиса полевой зависимости магнитокалорического эффекта: конечная температура при полном цикле изменения магнитного поля не возвращается к начальному значению при переходе АФМ–ФМ.
7. Обнаружено, что легирование бинарных сплавов FeRh палладием приводит к тетрагонализации кристаллической решетки и уменьшению магнитного момента атома железа. Такое изменение энергетических значений спиновой подсистемы снижает энергию фоновой подсистемы, которая пропорциональна температуре. Температура фазового перехода уменьшается с увеличением концентрации легирующего элемента.
8. Предложен теоретический подход на основе модели линейной восприимчивости к оценке возможности применения ряда составов магнитных наночастиц в методе магнитоэвтомной гипертермии.
9. Максимальный нагрев при соблюдении критерия Брезовича и близости критических температур к комнатной демонстрируют наночастицы Zn-замещенного феррита марганца состава $\text{Zn}_{0.2}\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$. Изученный состав является наиболее перспективным для применения в методе магнитной гипертермии.
10. Изучены магнитотепловые свойства и разработана технология нанесения на медицинское изделие «умного покрытия» имплантата: магнитокалорический материал (на основе частиц железо–родий) — полимер. Покрытие позволяет сохранять лекарство в оболочке имплантата и высвобождать его в нужный момент времени в месте расположения имплантата путем воздействия внешним магнитным полем и обеспечить регулируемый режим высвобождения биоактивного вещества за счет изменения температуры магнитной компоненты покрытия и вызванного им изменения фазового состояния полимера, содержащего лекарство.

Профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета МГУ

Евгений Павлович Велихов

удостоен почётного звания «Герой труда Российской Федерации».



2 февраля на торжественной церемонии в Кремле президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин вручил Евгению Павловичу государственную награду и поздравил его с днем рождения.

Сердечно поздравляем!

Распоряжением Президента Российской Федерации № 92-рп от 1 апреля 2022 года объявлена Благодарность Президента Российской Федерации за «заслуги в научно-педагогической деятельности, подготовке квалифицированных специалистов и многолетнюю добросовестную работу»:



профессору кафедры математики физического факультета МГУ

Александр Николаевич Боголюбову

и профессору кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ

Ирине Александровне Знаменской



*Поздравляем сотрудников физического факультета,
Лауреатов премии имени М.В. Ломоносова за педагогическую деятельность:*



*профессора кафедры физики низких температур
и сверхпроводимости*

Кульбачинского
Владимира
Анатольевича

и доцента кафедры общей физики

Васильеву
Ольгу
Николаевну



*Лауреатом премии Правительства Москвы 2021 года в номинации "Физика и астрономия"
Стал старший научный сотрудник кафедры квантовой электроники
("Молекулярный имиджинг с эндогенным контрастом:
новые возможности оптики в биомедицинской диагностике")*

Ширшин
Евгений
Александрович



Поздравляем наших коллег!

*Решением Ученого совета МГУ им. М.В. Ломоносова
присвоены почетные звания сотрудникам физического факультета за 2021 г.:*

Почетное звание "Заслуженный профессор Московского университета" получили



*заведующий кафедрой физики низких температур и
сверхпроводимости*

**Александр
Николаевич
Васильев**

и профессор кафедры магнетизма

**Александр
Борисович
Грановский**



Почетное звание "Заслуженный преподаватель Московского университета" получили



доцент кафедры общей физики

**Екатерина
Викентьевна
Лукашева**

и доцент кафедры общей физики

**Елена
Александровна
Никанорова**



Почетное звание "Заслуженный научный сотрудник Московского университета" получили

*старший научный сотрудник кафедры общей физики и
физики конденсированного состояния*

Владимир
Николаевич
Милов



и ведущий научный сотрудник кафедры магнетизма

Елена
Александровна
Ганьшина



Почетное звание "Заслуженный работник Московского университета" получили

ведущий электроник кафедры магнетизма

Юлия
Николаевна
Курбатова



*и инженер кафедры оптики,
спектроскопии и физики наносистем*

Людмила
Евгеньевна
Гринь



Сердечно поздравляем наших коллег!

Лауреат конкурса РАН за лучшую работу по популяризации науки в 2021 году



номинация «Лучший авторский курс, направленный на популяризацию науки в школе»

доцент физического факультета МГУ,
старший научный сотрудник ГАИШ МГУ

Владимир Георгиевич Сурдин

за курс видеолекций
«Астрономия для старших школьников»
из серии «Ученые МГУ – школе»

Стипендии МГУ на 2022 год

1. **АЛЕХИНА Юлия Александровна**, аспирант кафедры магнетизма
2. **БОГАЦКАЯ Анна Викторовна**, доцент кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники
3. **БУРМИСТРОВ Евгений Романович**, студент магистратуры кафедры общей физики
4. **ВЛАСЕНКО Даниил Михайлович**, аспирант кафедры астрофизики и звездной астрономии
5. **ГОРДИЕВСКАЯ Юлия Дмитриевна**, младший научный сотрудник кафедры физики полимеров и кристаллов
6. **ДАГЕСЯН Саркис Арменакович**, старший научный сотрудник кафедры физики полупроводников и криоэлектроники
7. **ДОРОГАНОВ Антон Павлович**, студент магистратуры кафедры физики полимеров и кристаллов
8. **ДЮКОВ Владислав Алексеевич**, студент магистратуры кафедры общей физики и волновых процессов
9. **ЕВСЕЕВ Александр Павлович**, аспирант кафедры физической электроники
10. **ЖЕЛТОВУХОВ Сергей Геннадьевич**, аспирант кафедры экспериментальной астрономии
11. **ИЛЬЯСОВ Александр Игоревич**, студент магистратуры кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем
12. **КАРЗОВА Мария Михайловна**, старший научный сотрудник кафедры общей физики и физики конденсированного состояния
13. **КОЗЛЯКОВА Екатерина Сергеевна**, физик II категории кафедры физики низких температур и сверхпроводимости
14. **КОМЛЕВ Алексей Степанович**, студент магистратуры кафедры магнетизма
15. **МАМОНОВ Евгений Александрович**, младший научный сотрудник кафедры квантовой электроники
16. **МИТИНА Екатерина Владимировна**, аспирант кафедры общей физики и волновых процессов
17. **НИКОЛАЕВА Ирина Алексеевна**, аспирант кафедры общей физики и волновых процессов
18. **ОБЫДЕННОВ Дмитрий Викторович**, аспирант кафедры квантовой электроники
19. **ПАШЕНЦЕВА Мария Владимировна**, студент магистратуры кафедры математики
20. **ПОПКОВА Анна Андреевна**, аспирант кафедры квантовой электроники
21. **ПОПОВ Артем Романович**, аспирант кафедры теоретической физики
22. **РАДОВСКАЯ Виктория Вадимовна**, студент магистратуры кафедры квантовой электроники
23. **РОЖКО Михаил Викторович**, аспирант кафедры общей физики и волновых процессов
24. **РОСНИЦКИЙ Павел Борисович**, младший научный сотрудник кафедры медицинской физики
25. **СИМОНОВ Макар Валерьевич**, студент магистратуры кафедры общей ядерной физики
26. **ТРУХАНОВ Василий Андреевич**, научный сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов
27. **УРСОВ Эдуард Дмитриевич**, студент магистратуры кафедры физики космоса
28. **ХМЕЛЕВА Мария Юрьевна**, студент бакалавриата кафедры квантовой электроники
29. **ШИЛКИН Даниил Александрович**, младший научный сотрудник кафедры квантовой электроники

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ С ЗАЩИТАМИ В 2022 г.

МГУ.01.01

Председатель – Хохлов Алексей Ремович, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН
Зам. председателя – Орешико Алексей Павлович, д.ф.-м.н., проф.
Уваров Александр Викторович, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Малышкина Инна Александровна, к.ф.-м.н., доц.

21.04.2022

ЗЕФИРОВ Вадим Викторович «Сверхкритический CO₂ в задачах синтеза дисперсных наноструктурированных оксидных соединений и полимер-неорганических композитов на их основе» 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, 02.00.06 - Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

19.05.2022

МАЛЫХИН Сергей Александрович «Получение и исследование люминесцентных центров в монокристаллических алмазных иглах» 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

БУЛАТ Матвей Владимирович «Бифазные системы с диоксидом углерода под высоким давлением для создания биосовместимых и функциональных материалов из природных и синтетических полимеров и композитов» 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.

МГУ.011.1 (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.

17.02.2022

ЛЕТУТА Ульяна Григорьевна «Магнитно-изотопные эффекты в бактериях *E. coli*» 03.01.02 – Биофизика. Докторская диссертация.

ГУДИМЧУК Никита Борисович «Динамика микротрубочек и механизмы транспорта хромосом при делении клеток» 03.01.02 – Биофизика. Докторская 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.

Защит нет

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., доц.

14.04.2022

ПОРОХОВНИЧЕНКО Дмитрий Леонидович «Перспективные материалы для акустооптических устройств среднего и дальнего инфракрасных диапазонов спектра» 01.04.03 – Радиофизика. Кандидатская диссертация.

ПЛАСТИНИН Иван Владимирович «Лазерная спектроскопия самоорганизации амфифильных соединений в растворах» 01.04.05 – Оптика. 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.
Кузелев Михаил Викторович, д.ф.-м.н., проф.
Черныш Владимир Савельевич, д.ф.-м.н., проф.
Уч. секретарь – Карташов Игорь Николаевич, к.ф.-м.н.

10.02.2022

ШИТИКОВ Артем Евгеньевич «Высокодобротные кристаллические микрорезонаторы с модами «шепчущей галереи» для ИК-фотоники» 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатская диссертация.

18.05.2022

ИВАНЕНКО Илья Петрович «Структурные и транспортные свойства sp содержащих углеродных пленок, синтезированных на различных металлических подложках» 01.04.04 – Физическая электроника. Кандидатская диссертация.

КОДИРЗОДА Заъфари Абдуламин «Структура электромагнитного поля и резонансы в высокочастотных емкостных разрядах низкого давления» 01.04.08 – Физика плазмы. 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.

12.05.2022

СОКОЛОВСКАЯ Юлия Глебовна «Лазерная оптико-акустическая диагностика неоднородных коллоидных растворов и композиционных материалов» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

МИТЕТЕЛО Николай Викторович «Нелинейно-оптическая спектроскопия микрорезонаторов на основе органических материалов» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

19.05.2022

МИГАЛЬ Екатерина Александровна «Генерация лазерной плазмы и нелинейно-оптическое преобразование частоты высокоинтенсивного фемтосекундного излучения ИК диапазона в конденсированных и плотных газовых средах» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

САФРОНОВ Кирилл Романович «Диэлектрические микро-структуры для генерации и управления блоховскими поверхностными электромагнитными волнами» 01.04.21 – Лазерная физика. Кандидатская диссертация.

16.06.2022

СТРЕМОУХОВ Сергей Юрьевич «Механизмы генерации произвольно поляризованного излучения в интенсивных лазерных полях» 01.04.21 – Лазерная физика. Докторская диссертация.

МГУ.01.15

*Председатель – Носов Михаил Александрович, д.ф.-м.н., доц., 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.

Защит нет.

МГУ.01.18

Председатель – Перов Николай Сергеевич, д.ф.-м.н., проф.

Зам. председателя – Васильев Александр Николаевич, д.ф.-м.н., проф.

Кашикарров Павел Константинович, д.ф.-м.н., проф.

Уч. секретарь – Шапаева Татьяна Борисовна, к.ф.-м.н.

17.02.2022

ЛОБАЧЕВ Андрей Викторович «К теории динамических и магнитооптических свойств ферромагнитных металлов и наногетероструктур» 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

17.03.2022

ЗВЕРЕВ Владимир Игоревич «Магнитотепловые свойства тяжелых редкоземельных металлов, сплавов на основе Fe–Rh, наночастиц ферромагнитных оксидов в области фазовых переходов» 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Докторская диссертация.

16.06.2022

СОБОЛЕВ Кирилл Владимирович «Магнитные и транспортные свойства МАХ-фазы $(\text{Cr}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{AlC}$ » 01.04.11 – Физика магнитных явлений. Кандидатская диссертация.

К 100-летию со дня рождения Героя Великой Отечественной войны профессора Алексея Николаевича МАТВЕЕВА



А. Н. Матвеев в 1980 г.

Алексей Николаевич Матвеев родился 22 марта 1922 г. в Москве в рабочей семье. В 1940 г. он с отличием окончил московскую среднюю школу № 325. Как и многие молодые люди того времени, старшеклассник Алексей Матвеев мечтал о небе. Поэтому в 1939 г., начав обучение в выпускном 10-м классе, он подал заявление на зачисление в Подольский аэроклуб и за год прошел там первичную авиационную подготовку.

В августе 1940 г. был призван в ряды РККА. Его направили в Олсуфьевскую высшую авиашколу, там он продолжил совершенствовать свои летные навыки. Через несколько месяцев Олсуфьевская авиашкола была слита с Балашовской военной авиационной школой пилотов, которую А.Н. Матвеев окончил летом 1941 г. Его сразу же направили для дальнейшей подготовки в Краснодарское авиаучилище — из-за начала войны оно было эвакуировано в город Агдам в Закавказье.

Во второй половине 1942 г. лейтенант А.Н. Матвеев был направлен в качестве летчика в 818-й ночной дальнебомбардировочный авиаполк. Вскоре пилотов его эскадрильи перучили для полетов на пикирующих бомбардировщиках и перевели в состав 804-го бомбардировочного авиационного полка, который действовал в составе 293-й бомбардировочной авиационной дивизии. Свой боевой путь Алексей Николаевич начал на Закавказском фронте, затем воевал на Воронежском, Степном, 2-ом и 1-ом Украинских фронтах, участвовал в освобождении от немецко-фашистских захватчиков Советской Украины и Польши.

А.Н. Матвеев бил врага на пикирующем бомбардировщике Пе-2, который мог нести боевую нагрузку до 1000 кг (10 бомб по 100 кг, 4 бомбы по 250 кг или 2 бомбы по 500 кг). Свои первые боевые подвиги он совершил в августе 1943 г. во время Курской битвы. В наградном листе, подписанном 27.08.1943 г. командиром полка Даниловым, говорится, что молодой командир звена лейтенант Матвеев проявил доблесть и мужество. Прочитируем этот документ.

«Участвуя в боях с немецкими захватчиками на Белгородском и Харьковском направлениях Степного фронта, тов. Матвеев совершил 25 успешных боевых вылетов. В период напряженных боев наших наземных войск за овладение гг. Белгород и Харьков совершал по 3 боевых вылета в день. За отличное бомбометание и содействие наземным войскам в продвижении в районе Терновка 3.8.43 г. экипажу объявлена благодарность командующего фронтом. 4.8.43 г. за отличное бомбометание в районе Шонино

объявлена благодарность генерал-лейтенантом Шумиловым за меткое бомбометание по отходящим войскам противника западнее Харькова. 20.8.43г. объявлена благодарность авиационного командования. Молодые летчики звена тов. Матвеева без единой потери за короткий срок боевой работы на Степном фронте совершили 70 успешных боевых вылетов». За мужество, проявленное в боях с германскими захватчиками, за содействие наземным войскам в освобождении городов Белгород и Харьков командир авиационного звена лейтенант А.Н. Матвеев 30 августа 1943 г. приказом командующего 5-й воздушной армией был награжден орденом Красного Знамени.

К январю 1944 г. А.Н. Матвеев совершил уже 71 боевой вылет и был представлен к очередной награде за участие в боях за Советскую Украину в составе 2-го Украинского фронта. В наградном листе, подписанном 20 января 1944 г. командиром полка А.М. Семеновым, указано следующее: «Героическая работа товарища Матвеева на Черкасском направлении отмечена Командующим 52 Армией и Зам. Командующего 5 Воздушной Армией. 4.12.43 г. в свободном полете "охотника", в сложных метеоусловиях обнаружил бронепоезд и разрушил железнодорожное полотно впереди его. 5.12.43 г. в сложных метеоусловиях при сильно низкой облачности отыскал бронепоезд, сделал на него до 6-ти заходов и двумя прямыми попаданиями поразил вражеский бронепоезд. 13.12.43 г. при полете парой взорвал склад боеприпасов на станции Белозерье. Пожар в результате взрывов продолжался свыше 5-ти часов». За самоотверженную боевую работу, за совершение 45 успеш-



А.Н. Матвеев перед призывом в ряды РККА.



Пикирующий бомбардировщик Пе-2 в бою.



А.Н. Матвеев после Великой Отечественной войны. На его груди два ордена Красного Знамени, орден Отечественной Войны I степени, орден Александра Невского и знак «Гвардия».

ных боевых вылетов после получения первой Правительственной награды, проявленные при этом доблесть, мужество и отвагу командир предлагал наградить А.Н. Матвеева орденом Ленина. Однако вышестоящее командование сочло, что заместитель командира эскадрильи лейтенант Алексей Николаевич Матвеев достоин награждения вторым орденом Красного Знамени — приказ о награждении был подписан 6 марта 1944 г.

5 февраля 1944 г. за организованность и хорошую боевую работу, за доблесть и мужество, проявленные воинами в борьбе с немецкими захватчиками, 804-й бомбардировочный авиационный Черкасский полк, в котором продолжал служить А.Н. Матвеев, был переименован в 161-й гвардейский бомбардировочный авиационный полк. Алексей Николаевич продолжал героически громить врага. Ему было присвоено очередное воинское звание гвардии старшего лейтенанта, и он был назначен на должность заместителя командира авиаэскадрильи. К концу февраля 1945 г. он совершил уже 102 боевых вылета и был представлен к очередной награде за участие в боях за освобождение Подкарпатского и Малопольского воеводств Польши и Силезии. 25.02.1945 г. командир полка подписал очередной наградной лист.

«Отважный летчик, отлично овладев самолетом Пе-2, выполняет самые ответственные задания командования на разведку и "охоту" в любых метеоусловиях, используя в каждом боевом вылете всю мощь стрелково-бомбардировочного вооружения самолета Пе-2. При вводе самолета в пикирование, до сбрасывания бомб, мощной лавиной огня своих пулеметов подавляет огневые точки и расстреливает живую силу врага, одновременно сбрасывает бомбы точно в цель. 14.9.1944 г., выполняя боевое задание ведущим звена в составе девятки, нанести бомбардировочный удар по скоплениям танков и автомашин против-

ника в населенном пункте Ивля — задание выполнил отлично, при этом было уничтожено: 10 танков, 15 автомашин, взорвано 2 склада... 18.1.45 г., выполняя боевое задание, заместителем ведущего девятки, нанести бомбардировочный удар по дороге на станцию Скавина — задание выполнил отлично. По данным фотоконтроля было уничтожено 2 ж.-д. эшелона с живой силой и техникой и взорван склад боеприпасов.

30.1.45 г., выполняя боевое задание, в полете одиночного "охотника" без прикрытия своих истребителей, обнаружил на станции Бреслау [ныне — польский город Вроцлав] 12 железнодорожных эшелонов, из них 6 под парами. Отважный летчик сделал три захода на цель, будучи два раза атакован двумя истребителями противника ФВ-190. Сброшенными бомбами было подожжено и уничтожено 2 эшелона и вызван крупный очаг пожара». За эти подвиги А.Н. Матвеев 1 апреля 1945 г. был награжден Орденом Отечественной Войны I степени.

Отважному летчику улыбалась военная удача — за два с половиной года активного участия в боевых действиях он ни разу не был ранен. Весной 1945 г. война уже приближалась к концу, однако враг, которого теснили к Берлину, оказывал всё более ожесточенное сопротивление. Советские войска, продвигаясь вперед, вели тяжелые кровопролитные бои, в которых принимал участие и А.Н. Матвеев. 12 марта 1945 г. во время своего 107-го боевого вылета при выполнении задания по бомбардировке гарнизона противника, окруженного войсками Красной Армии в городе Бреслау, он уничтожил батарею зенитной артиллерии противника, но после этого его самолет был подбит зенитным огнем на высоте 100–150 м. Однополчане считали Алексея Николаевича погибшим. Его имя официально внесли в список безвозвратных потерь офицерского состава дивизии. Однако, поскольку факт гибели летчика никто не мог до-

стоверно подтвердить, чуть позже командование решило считать его пропавшим без вести.

Позже выяснилось, что, как это иногда бывало на войне, произошло чудо. После прямого попадания в бомбардировщик нескольких вражеских зенитных снарядов, А.Н. Матвеев смог покинуть падающий горящий самолет, выбросившись из него «методом срыва» на предельно малой высоте 80 м. При таком способе парашютирования летчик открывает фонарь кабины, привстает с сиденья, укрываясь от воздушного потока за козырьком фонаря, и выставляет ранец парашюта в поток, за борт кабины. Затем летчик выдергивает вытяжное кольцо парашюта, после чего наполненный воздухом купол вытаскивает летчика из кабины. Согласно инструкции, применять такой метод покидания самолета можно только при отсутствии его вращения и когда на борту нет пожара. Прыгать из охваченного огнем бомбардировщика было очень опасно, но у Матвеева не было иного выхода.

В те дни бои между советскими солдатами и фашистами шли уже в городской черте Бреслау. Линия соприкосновения воюющих сторон проходила по улицам города и непрерывно менялась. Различить с высоты, где свои, а где чужие, было невозможно. Покидая самолет, Алексей Николаевич рассчитывал, что находится над своими войсками. Однако приземлился он на территорию, которую контролировал враг. При покидании самолета он получил сильные ожоги лица и рук, временно лишился зрения, а в момент приземления на несколько часов потерял сознание. Его вместе с другими тяжело ранеными советскими бойцами подобрали немецкие солдаты и доставили в свой военный госпиталь. Зрение к Алексею Николаевичу вернулось лишь через 13 суток, а всего в госпитале он пробыл 55 дней — до 7 мая, когда гарнизон Бреслау сдался.

Подвиг А.Н. Матвеева был высоко оценен командованием. 12 мая 1945 г., через три дня после безоговорочной капитуляции фашистской Германии, командир 161-го авиационного полка майор Фирсуни подписал наградной лист, предлагая вышестоящему командованию наградить гвардии старшего лейтенанта А.Н. Матвеева орденом Александра Невского. В документе было отмечено, что летчик достоин этой высокой полководческой награды «за отличное выполнение боевых заданий командования, проявленные при этом отвагу, мужество, боевое мастерство воздушного воина, за отличное вождение группы и отдельного звена и точное бомбометание по цели, за лично совершенные 107 успешных боевых вылетов». Приказ о награждении был подписан 15 мая 1945 г. командующим 2-й Воздушной Армией генерал-полковником авиации С.А. Красовским.

Интересно отметить, что через два месяца после награждения этим орденом А.Н. Матвеев был исключен из списков Красной Армии как погибший в боях против немецко-фашистских войск — соответствующий приказ Главного управления кадров НКО СССР был подписан 19 июля 1945 г. На самом деле Алексей Николаевич возвратился в свою часть, и после долечивания продолжил службу в составе Центральной группы Советских оккупационных войск в Австрии. После окончания войны А.Н. Матвеев, как и все ее участники, был награжден медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». Кроме того, он был удостоен польской медали Победы и Свободы (*Medal Zwycięstwa i Wolności*). Военную службу А.Н. Матвеев завершил в должности командира авиационной эскадрильи.

В ноябре 1946 г. А.Н. Матвеев был демобилизован из Красной Армии, вернулся в Москву и поступил на курсы по подготовке к поступлению в вуз. В сентябре

1947 г. он поступил на физический факультет МГУ, с которым и связал всю свою дальнейшую жизнь. Хотя Алексей Николаевич не занимался физикой и математикой в течение семи лет, с момента окончания школы, благодаря своему упорству, таланту и огромному желанию учиться он стал одним из лучших студентов своего курса. Уже в 1951 г. он опубликовал в «Вестнике Московского университета» свою первую научную работу «Излучение линейного осциллятора в релятивистском случае», а в 1952 г. с отличием окончил кафедру теоретической физики — в его дипломе были только «пятерки». После защиты дипломной работы «Излучение светящегося электрона» А.Н. Матвееву была присвоена квалификация «научный работник в области физических наук, преподаватель вуза» и звание учителя средней школы. Как один из наиболее способных выпускников А.Н. Матвеев был рекомендован в аспирантуру по кафедре статистической физики и механики, поступил в нее и, проявив себя как талантливый исследователь, в конце декабря 1954 г. досрочно защитил кандидатскую диссертацию на тему «К вопросу об излучении элементарных частиц, движущихся с релятивистскими скоростями». Сразу после защиты диссертации он продолжил исследовательскую работу на факультете в качестве младшего, затем старшего научного сотрудника, читал студентам специальный курс по теории ускорителей. Тогда же он начал свою педагогическую деятельность — по совместительству преподавал в Московском государственном педагогическом институте им. Н.К. Крупской, занимая должность ассистента и читая различные разделы курса теоретической физики. Удачно складывалась и семейная жизнь Алексея Николаевича — он женился, в семье родились две дочери.

Научно-исследовательская работа А.Н. Матвеева продвигалась очень успешно — всего через пять лет после досрочного

окончания аспирантуры, в январе 1960 г., он защитил докторскую диссертацию «Исследования по теории электронных синхротронов и бетатронов». В июне того же года Алексей Николаевич был избран на должность профессора кафедры атомной физики и электронных явлений физического факультета МГУ, а в марте 1961 г. Высшая аттестационная комиссия СССР утвердила его в ученое звание профессора по этой кафедре. А.Н. Матвеев проработал на этой кафедре почти 10 лет, однако значительную часть своего времени в тот период он был вынужден отдавать не преподаванию и научной работе, а научно-организационной деятельности.

В 1960–1962 гг. А.Н. Матвеев руководил Главным управлением университетов, экономических и юридических вузов Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР, входил в состав коллегии Минвуза РСФСР, заведовал сектором в аппарате ЦК КПСС, а затем был направлен в две длительные научные командировки. В 1962–1963 гг. он работал в качестве эксперта ЮНЕСКО в Египте — в Национальном центре научных исследований и в Институте атомной энергии этой страны. С 1964 г. по 1969 г. являлся заместителем Генерального директора ЮНЕСКО по сектору естественных наук, работая в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже. За это время А.Н. Матвеев посетил с дипломатическими миссиями более ста стран мира, входящих в ООН. Алексей Николаевич в совершенстве владел английским, немецким и французским языками, что позволяло ему прекрасно выполнять свои нелегкие обязанности, укрепляя международный авторитет нашей страны. За работу в этот период А.Н. Матвеев был награжден Медалью национального банка Египта «За преобразование реки Нил» (1964 г.), Медалью Израильской комиссии по делам ЮНЕСКО (1966 г.) и Бронзовой медалью ЮНЕСКО (1968 г.).



Первый том «Механика» знаменитого учебника А. Н. Матвеева (1976 г., 1-е издание).



А. Н. Матвеев читает лекцию.

В марте 1969 г. профессор А.Н. Матвеев был назначен исполняющим обязанности заведующего кафедрой общей физики для физического факультета МГУ, а в октябре был избран на эту должность на конкурсной основе. Это была не только самая большая кафедра факультета, но и самая большая кафедра общей физики в СССР — на ней работали более 70 преподавателей и научных сотрудников и еще более 80 человек научно-технического и учебно-вспомогательного персонала. Кафедра обеспечивала чтение лекций по всем разделам курса общей физики на физическом факультете, а также по истории и методологии физики на физическом и по физике на философском факультетах. Преподаватели кафедры вели семинары в 38 учебных группах, занятия в практикумах (общем физическом, по введению в технику эксперимента, по основам технического черчения) для 1000 студентов в неделю, обеспечивали проведение занятий на подготовительном отделении, на инженерном потоке, на факультете повышения квалификации, в школе-интернате № 18 при МГУ, а также проводили ряд дополнительных занятий для разных категорий студентов (семинары повышенной трудности, по дополнительной проработке материала для отстающих, для иностранных студентов). Объем учебной работы постоянно увеличивался, и поэтому количество сотрудников и без того большой кафедры также ежегодно росло — в 80-х гг. на кафедре работало уже около 185 человек.

А.Н. Матвеев возглавлял кафедру до 1991 г. и за более чем 20 лет своей неутомимой деятельности провел огромную работу, направленную на улучшение преподавания общей физики, как в Московском университете, так и во всех вузах нашей страны. Алексей Николаевич сам являлся прекрасным педагогом и замечательным лектором. Он вел семинары, уделял большое

внимание кабинету физических демонстраций и общему физическому практикуму, читал все разделы общей физики, руководил научной работой дипломников и аспирантов. Большая аудитория факультета на его лекциях всегда была заполнена студентами. Курс общей физики в исполнении А.Н. Матвеева отличался глубиной и новизной изложения, яркостью и высокой ясностью подачи учебного материала.

Читая лекции, общаясь с коллегами-педагогами из других вузов, обсуждая с ними опыт преподавания курса общей физики, А.Н. Матвеев пришел к выводу о необходимости существенной модернизации этого курса. Дело в том, что к концу 60-х гг. XX в. не существовало базового учебника по общей физике, написанного с единых методических позиций и адекватно отражающего современное состояние физической науки. На кафедре общей физики физического факультета МГУ еще во второй половине 30-х гг. задумывались о создании такого учебника, но в итоге разработать его не удалось. Учебники по отдельным разделам курса создавались в течение длительного интервала времени (в 30-е – 60-е гг.) разными авторами (С. Э. Хайкиным, С.П. Стрелковым, братьями И.К. Кикоиным и А.К. Кикоиным, С.Г. Калашниковым и Г.С. Ландсбергом). Поэтому потребность в современном учебнике общей физики, написанном в едином стиле и в единой методической манере, была весьма велика.

Важнейшим шагом на пути к созданию такого учебника должна была стать новая программа курса общей физики. Алексей Николаевич выступил как общесоюзный координатор подготовки такой программы, которая включала в себя разделы «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество», «Оптика», «Атомная физика» и «Ядерная физика». В ходе создания этой программы он под-

робно разработал первые четыре ее раздела. Программу подробно и широко обсуждали сначала на физическом факультете МГУ, а затем — на I-ом Всесоюзном совещании заведующих кафедрами общей физики университетов СССР и в ведущих университетах страны. Одновременно с работой над программой курса А.Н. Матвеев приступил к написанию пятитомного учебника по курсу общей физики для студентов физических специальностей вузов. Творческая задача, которую поставил перед собой Алексей Николаевич, была грандиозной. Этот педагогический труд стал одним из главных дел его жизни. Работа над учебником заняла более 15 лет, его тома последовательно выпускались в свет издательством «Высшая школа» в 1976 г., 1981 г., 1983 г., 1985 г. и в 1989 г. Новый учебник сразу приобрел популярность у студентов и получил высокую оценку научно-педагогической общественности Московского университета и всей страны. За первый том своего учебника «Механика и теория относительности» А.Н. Матвеев в 1987 г. был удостоен Ломоносовской премии МГУ за научную работу, а за второй том «Молекулярная физика» — Государственной премии СССР в 1989 г.

А.Н. Матвеев был сторонником системного подхода к преподаванию курса общей физики. Поэтому, работая над новым учебником по общей физике, он уделял большое внимание созданию учебных пособий, которые должны были помочь студентам научиться решать задачи по основным разделам курса. В 1980–1982 гг. им в соавторстве с наиболее опытными педагогами физического факультета были разработаны и выпущены в свет в издательстве МГУ книги, посвященные методике решения задач по механике, молекулярной физике, электричеству и оптике. В 1985 г. им в соавторстве с коллегами по кафедре была выпущена книга «Задачи повышенной сложности в курсе общей физики». Всего же Алексей Николаевич лично и в соавторстве

написал 18 книг, и все они до сих пор служат прекрасным подспорьем в изучении и повторении общей физики не только студентам, но и преподавателям, и научным работникам.

В течение всей своей деятельности в качестве заведующего кафедрой А.Н. Матвеев внимательно следил за состоянием и деятельностью кабинета физических демонстраций физического факультета МГУ. В момент начала заведования кафедрой А. Н. Матвеевым в кабинете находилось почти 1400 лекционных демонстраций; с их помощью сотрудники каждую неделю обеспечивали демонстрационную поддержку 34 лекций, которые читались для студентов шести факультетов МГУ (позже количество факультетов увеличилось до девяти). По инициативе Алексея Николаевича все демонстрации были распределены между несколькими тематическими отделами, были назначены руководители этих отделов, а для общей координации деятельности физкабинета была создана методическая комиссия. Только за первое пятилетие работы А.Н. Матвеева на посту заведующего 230 демонстраций были отремонтированы, около 50 усовершенствованы, и было создано более 30 новых демонстраций. Был значительно обновлен станочный парк мастерской, началась систематическая работа по подготовке лекционных демонстраторов из числа молодых сотрудников кафедры. В следующие годы продолжалось совершенствование приборной базы физического кабинета, и разрабатывались новые лекционные демонстрации, в том числе для показа на лекциях опытов, демонстрирующих нелинейные оптические эффекты.

Под руководством А.Н. Матвеева было значительно улучшено методическое и техническое обеспечение общего физического практикума для студентов-физиков. В начале его деятельности практикум состоял из 25 лабора-

торий, в которых функционировали 173 учебные задачи. Общее число действующих экспериментальных установок приближалось к 350. В начале 70-х гг. по решению А.Н. Матвеева для обеспечения работы четырех основных разделов практикума из числа преподавателей были сформированы методические комиссии, члены которых проделали все задачи практикума, сформулировали по ним свои рекомендации и обсудили их на 54 заседаниях. Решения методических комиссий немедленно воплощались в жизнь. В итоге к 1975 г. были отремонтированы 97 задач (220 установок), модернизирована 51 задача (97 установок), созданы 27 новых задач (50 установок), подготовлены 32 новых методических разработки к задачам. Совершенствование практикума продолжалось и далее: к концу 70-х гг. были реорганизованы 11 лабораторий, созданы 4 новые лаборатории (в том числе твердотельной электроники и лазерная), в практикуме была обновлена примерно половина всех действующих задач. К 1985 г. были заменены или существенно модернизированы 30 % установок молекулярного раздела практикума.

Также были предприняты энергичные меры по совершенствованию работы практикума «Введение в технику эксперимента». Были обновлены контрольные задания, составлены методические указания и написано новое учебное пособие по курсу «Основы технического черчения», поставлены три отдельные лабораторные работы по технике монтажа радиосхем, изготовлены новые инструменты и приспособления для обучения студентов обработке материалов резанием. В конце 70-х гг. данный практикум интенсивно модернизировался, а в 1980–1984 гг. был радикально обновлен — для него разработали новую программу и создали 25 современных задач, которые разместили в двух лабораториях и в механических мастерских. Новый по существу практикум получил название «Техника физи-

ческого эксперимента», в его рамках по обновленной программе продолжила работать лаборатория инженерной графики.

Большой заслугой А.Н. Матвеева является внедрение в учебный процесс на кафедре электронно-вычислительных машин. К середине 70-х гг. каждый студент факультета обрабатывал на ЭВМ «Мир» результаты более чем 20 % выполненных им задач общего физического практикума. Через пять лет был осуществлен переход на использование новых ЭВМ ЕС-10-10, а еще через пять лет была предпринята попытка внедрить в практикуме вычислительно-управляющие комплексы «Мера-60». К 1985 г. в практикуме была создана лаборатория «Физики базовых элементов автоматизации и ЭВМ». В 80-х гг., благодаря всё более значительному распространению электронно-вычислительной техники, в том числе и персональных компьютеров, ЭВМ начали использовать и в физическом кабинете для показа некоторых лекционных демонстраций — сначала модельных, а затем и натуральных.

А.Н. Матвеев в течение многих лет выступал не только в качестве автора замечательной учебной литературы по физике, он еще вел и большую редакционную работу — с конца 1971 г. заведовал редакцией физики издательства «Мир», которое специализировалось на выпуске переводной научно-технической и научно-популярной литературы и было в СССР монополистом в этой области. Кроме того, А.Н. Матвеев в 1986–1994 гг. являлся ответственным редактором журнала «Новые книги зарубежом», серия А (математика, механика, астрономия, физика, геофизика, химия, геология). Занимая эти посты и свободно владея тремя европейскими языками, он имел возможность оперативно знакомиться с лучшими новинками зарубежной научной и учебной физической литературы. Он инициировал перевод на русский язык многих прекрасных книг по

физике, написанных иностранными авторами и сам перевел некоторые из них. Это дало возможность широкому кругу советских читателей познакомиться с лучшими образцами зарубежной научной и научно-популярной литературы. Заслуги Алексея Николаевича в данной области трудно переоценить. Свидетельством высочайшего авторитета

А.Н. Матвеева среди иностранных коллег как педагога, автора и редактора научной и учебной литературы может служить тот факт, что с 1970 г. по 1976 г. он являлся членом международной комиссии по образованию Международного Совета по чистой и прикладной физике.

А.Н. Матвеев был не только выдающимся педагогом, но и замечательным организатором науки и творчески работающим физиком-теоретиком. Несмотря на многочисленные обязанности, которые лежали на нем как на лекторе, авторе книг, редакторе и заведующем самой большой на факультете кафедрой, он неустанно занимался организацией научных исследований в лабораториях кафедры. Достаточно сказать, что за первые пять лет его руководства кафедрой общий объем финансирования проводимых на ней хозяйственно-договорных работ возрос в 2 раза (до 110 тыс. руб. в год), а к 1985 г. эта сумма увеличилась до 350 тыс. руб. в год.

Алексей Николаевич и сам непрерывно вел активную научно-исследовательскую деятельность. Его основные научные работы относятся к исследованиям ряда вопросов теоретической и математической физики, взаимодействия излучения с веществом, теории циклических ускорителей, квантовой теории поля, теории излучения и движения заряженных частиц в электромагнитных полях. Им были получены следующие новые научные результаты: создание релятивистской теории излучения ондулятора,

разработка нелинейной теории фазовых колебаний электронов в синхротронах с жесткой фокусировкой, создание теории захвата электронов в режиме ускорения в бетатронах, разработка методов расчета потерь электронов в циклических ускорителях из-за рассеяния на остаточном газе, изучение ряда спиновых эффектов при ультрарелятивистских энергиях. Всего А.Н. Матвеевым было опубликовано более 200 научных работ. Под его руководством были подготовлены и защищены более 15 кандидатских диссертаций, он являлся научным консультантом авторов пяти докторских диссертаций. В 1978–1994 гг.

А.Н. Матвеев руководил специализированным докторским Советом по теоретической и математической физике, автоматизации и технике физического эксперимента, работавшим при МГУ. Ряд научно-технических разработок Алексея Николаевича нашли практическое применение — он являлся соавтором шести патентов.

В те годы, когда А.Н. Матвеев учился и работал на физическом факультете МГУ, важную роль в жизни многих людей играла общественная работа. Алексей Николаевич всегда занимал активную жизненную позицию. Вступив в августе 1943 г. на фронте в ряды ВКП(б), он в течение всей своей жизни вел партийную работу — в студенческие годы его избирали парторгом курса, затем — заместителем секретаря партбюро физического факультета, в разные годы он был членом бюро парткома МГУ, в конце 50-х гг. являлся кандидатом в члены районного комитета КПСС.

Научная, педагогическая и организационная деятельность профессора А.Н. Матвеева была высоко оценена правительством нашей страны: он был дважды награжден орденами Трудового Красного Знамени (в 1961 г. и в 1980 г.) и орденом «Знак Почета» (в 1969 г.).

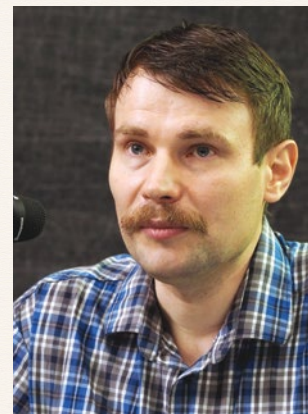
Его научные заслуги были отмечены 11 иностранными наградами, среди которых почетные медали университетов Венесуэлы, Италии, Китая и Японии. В 1993 г. Алексей Николаевич был удостоен почетного звания «Заслуженный профессор Московского университета». Кроме того, уже в мирное время он был награжден вторым орденом Отечественной войны I степени.

В 1992 г. А.Н. Матвееву пришлось оставить пост заведующего кафедрой общей физики и перейти на должность профессора. Он продолжал заниматься научной работой и как всегда блестяще, с полной самоотдачей, читать лекции студентам младших курсов. В марте 1992 г. в Центральной физической аудитории физического факультета МГУ состоялось торжественное собрание, посвященное его 70-летию юбилею. Цветы замечательному ученому и педагогу дарили не только коллеги, но и студенты, причем делали они это не по поручению, а сами, от души. Это было лучшим доказа-

тельством огромного авторитета и уважения, которыми Алексей Николаевич пользовался на факультете и в университете.

10 декабря 1994 г. профессора Алексея Николаевича Матвеева не стало. В последние годы жизни он неоднократно говорил, что лучшей памятью о нем будут его книги. В этом Алексей Николаевич оказался прав. Всё новые и новые поколения студентов изучают общую физику по его учебникам, выполняют в практикуме задачи, поставленные в соответствии с его рекомендациями, удивляются эффективным лекционным демонстрациям, хранящимся в физическом кабинете, которому Алексей Николаевич уделял так много внимания.

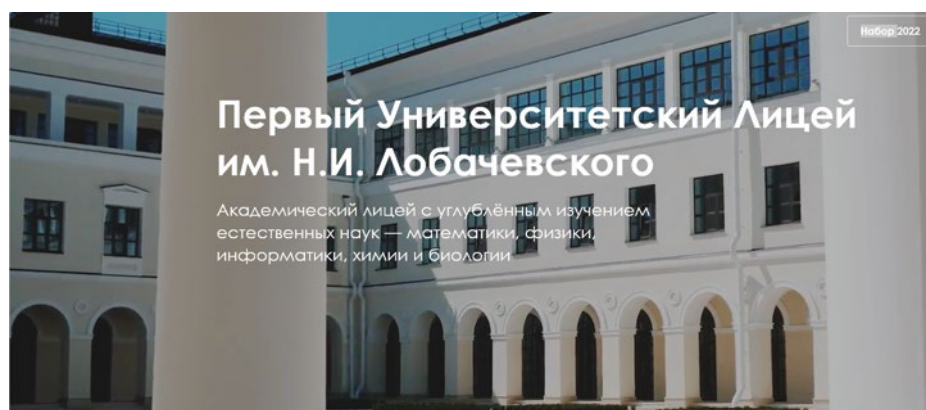
Дело А.Н. Матвеева продолжает жить в его многочисленных учениках, которыми могут считаться все выпускники физического факультета МГУ, знакомившиеся с общей физикой по его книгам.



*А. А. Якута,
доцент кафедры общей физики.*



Ректор МГУ академик В.А. Садовничий и основатель фонда "Вольное Дело" выпускник физического факультета О.В. Дерипаска приняли участие в открытии Первого университетского лицея 8 апреля 2022 г.



В Усть-Лабинске состоялось официальное открытие Первого университетского лицея имени Н.И. Лобачевского — уникальной академической школы с углублённым изучением естественных и точных наук. Лицей построен при поддержке фонда Олега Дерипаска «Вольное Дело» с целью предоставить талантливым школьникам со всей страны возможность бесплатно получить качественное образование по международным стандартам.

В торжественном мероприятии приняли участие ректор МГУ имени М.В. Ломоносова В.А. Садовничий, основатель фонда «Вольное Дело», выпускник МГУ О.В. Дерипаска, полномочный представителем Президента Российской Федерации в Южном федеральном округе В.В. Устинов, губернатор Краснодарского края В.И. Кондратьев, а также учёные московских и кубанских вузов.

Гостям провели экскурсию по территории лицея, показали учебный корпус и аудитории, кампус для проживания лицеистов и двухуровневый физкультурно-оздоровительный корпус с 25-метровым бассейном. В рамках мероприятия состоялась панельная дискуссия «Будущее за регионами. Как подготовить новую научно-техническую элиту России», в ходе которой гости обсудили доступность качественного образования для

детей в регионах, а также на примере лица рассмотрели необходимые меры для создания учебной среды, в которой будет воспитываться будущая научно-техническая элита России.

«МГУ, как главный университет страны, безусловно, заинтересован в такой кузнице кадров, какой может стать Первый университетский лицей имени Н.И. Лобачевского. Система обучения здесь максимально приближена к университетской, занятия проводят преподаватели из МГУ — все это позволит выпускникам лицея быстро адаптироваться в академической среде и реализовать себя в научной или прикладной деятельности», — отметил ректор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова В.А. Садовничий.



«В России есть три перспективных региона для развития: Сибирь, Дальний Восток и Юг. На кубанской земле могут жить миллионы человек — нет другого такого места в нашей стране, где можно настолько гармонично развиваться. И мы должны приложить все усилия, чтобы люди, живущие здесь, имели такие же возможности, как в любом мегаполисе. Люди, которые много работают на земле, должны иметь возможность дать достойное образование своим детям», — заявил основатель фонда «Вольное Дело» О.В. Дерипаска.

учебный план. Важная роль в программе обучения отводится проектно-исследовательской деятельности, для чего организовано сотрудничество с ведущими вузами, образовательными центрами и промышленными компаниями.

Территория лицея занимает 4,5 га. В учебном корпусе расположены оснащенные современной техникой аудитории и лаборатории, двухэтажная библиотека, актовый и обеденный залы. На улице оборудован стадион,



Лицей готовит учеников к поступлению на естественно-научные факультеты лучших вузов страны, в первую очередь МГУ имени М.В. Ломоносова. Основной акцент в подготовке лицеистов делается на изучении математики, информатики, физики, химии, биологии и иностранных языков. Лицей рассчитан на 475 учащихся 7–11 классов. Обучение в лицее бесплатное, для школьников из других регионов построен комфортный кампус на 200 мест.

В обучении учитываются личные особенности, интересы и способности учеников. В соответствии с этим для каждого лицеиста формируется индивидуальный

баскетбольная, волейбольная и тренажерная площадки, корты для большого тенниса. Большое внимание уделяется развитию творческих способностей — в лицее работают художественные классы, балетные и театральные студии.

В распоряжении учеников — не только территория самого лицея, но и собственный летний лагерь «Ломоносовский», расположенный у черноморского поселка Криница под Геленджиком. Там проходят образовательные, исследовательские и проектные смены, а также оборочные туры для поступления в лицей.



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.
di.pchelina@physics.msu.ru

Подписано в печать 20.05.2022. Формат 60×90/8.
Усл.-печ. л. 3. Бумага мелованная.
Тираж 150 экз.
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,
119991, Москва ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

ISSN 2500–2384