



ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ имени М. В. Ломоносова

№3 / 2025

НОВОСТИ НАУКИ

10 лет открытию гравитационных волн

11 сентября 2025 г. в ЮФА состоялось заседание методологического семинара по физике, руководимого проф. В. В. Белокуровым. Доклад “10 лет открытия гравитационных волн” был сделан С. П. Вятчаниным, В. П. Митрофановым и А. Н. Данилиным. Участие аспиранта А. Н. Данилина весьма оживило презентацию, студенты задавали вопросы в основном ему. Запись можно посмотреть здесь: https://vk.com/video-1149_456239246

14 сентября 2015 г., 10 лет назад, два детектора Лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории (LIGO) Национального научного фонда США (см. рис. 1) впервые в истории напрямую зарегистрировали гравитационные волны, несущие информацию о двух удалённых чёрных дырах, которые сблизились по спирали и слились. Гравитационные волны были предсказаны Альбертом Эйнштейном 100 лет назад. Сигнал от слияния двух черных дыр с массами около 30 солнечных масс (см. рис. 2) шёл до Земли со скоростью света около 1,3 миллиарда лет.

За это достижение (проект был задуман около 40 лет назад) трое основателей команды получили Нобелевскую премию по физике 2017 г.: Райнер Вайс из Массачусетского технологического института, почетный профессор физики (недавно скончавшийся в возрасте 92 лет); Барри Бариш из Калифорнийского технологического института, почетный профессор физики имени Рональда и Максин Линде; и Кип Торн из Калифорнийского технологического института, почетный профессор теоретической физики имени Ричарда П. Фейнмана.

ЗОЛН

СОДЕРЖАНИЕ

- 

1 Новости науки
 44 Премии / награды
 46 Конференции
 50 Диссертационные Советы
 51 Ученые физфака МГУ
 53 Физфак МГУ — школе

Рис. 1 Схема антенн LIGO.

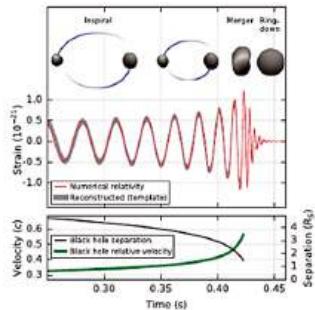
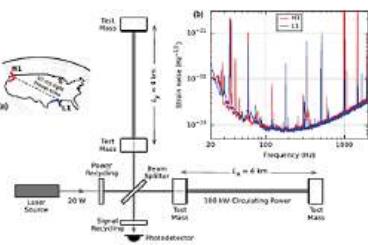


Рис. 2 Первый сигнал, зарегистрированный LIGO.

Сегодня финансируемая Национальным научным фондом США (NSF) обсерватория LIGO, состоящая из детекторов в Ханфорде (штат Вашингтон) и Ливингстоне (штат Луизиана), регулярно наблюдает примерно одно слияние черных дыр каждые три дня. LIGO работает в координации с двумя международными партнерами: детектором гравитационных волн Virgo в Италии и KAGRA в Японии. Коллаборация LVK (LIGO, Virgo, KAGRA), зафиксировала в общей сложности около 300 слияний черных дыр, некоторые из которых подтверждены, а другие ожидают дальнейшего анализа. В ходе текущего научного цикла измерений, четвертого с момента первого запуска в 2015 г., LVK обнаружила около 220 кандидатов на слияние черных дыр, что более чем вдвое превышает их число в первых трех циклах.

Резкий рост числа открытых, сделанных с помощью LVK, за последнее десятилетие обусловлен рядом усовершенствований их детекторов, основанных на передовых квантовых технологиях. Детекторы LVK остаются, безусловно, самыми точными измерителями смещений, когда-либо созданными человеком. Искажения пространства – времени, вызванные гравитационными волнами, невероятно малы. Например, LIGO регистрирует изменения пространства – времени, составляющие менее 1/10 000 размера протона (около 10^{-19} м).

Анализируя частоты гравитационных волн, испускаемых при слиянии, команда LVK смогла предоставить наилучшие на сегодняшний день наблюдательные доказательства так называемой теоремы о площади чёрной дыры — идеи, выдви-

нутой Стивеном Хокингом в 1971 г., согласно которой общая площадь горизонта событий черных дыр не может уменьшаться. При слиянии чёрных дыр их массы суммируются, увеличивая площадь поверхности. Однако они также теряют энергию в виде гравитационных волн. Кроме того, слияние может привести к увеличению скорости вращения объединённой чёрной дыры, что приводит к уменьшению её площади. Теорема о площади чёрной дыры утверждает, что, несмотря на эти конкурирующие факторы, общая площадь поверхности должна увеличиваться. Позднее Хокинг и Джейкоб Бекенштейн пришли к выводу, что площадь чёрной дыры пропорциональна её энтропии, или степени беспорядка. Эти открытия проложили путь для последующих новаторских исследований в области квантовой гравитации, которые пытаются объединить два столпа современной физики: общую теорию относительности и квантовую физику.

По сути, LIGO позволило команде «услышать», как две чёрные дыры растут, сливаясь в одну, что подтвердило теорему Хокинга (во время этого наблюдения Virgo и KAGRA не работали). Начальная площадь поверхности чёрных дыр составляла 240 000 квадратных километров, а конечная площадь составила около 400 000 квадратных километров — явное увеличение. Это вторая проверка теоремы о площади чёрных дыр; первая проверка была проведена в 2021 г. с использованием данных первого сигнала GW150914, но поскольку эти данные были не такими точными, уровень достоверности результатов составил 95% по сравнению с 99,999% для новых данных.

Самая сложная часть такого анализа была связана с определением конечной площади поверхности слившейся чёрной дыры. Площади поверхности чёрных дыр до слияния легче определить, когда пара чёрных дыр скручивается по спирали, деформируя пространство – время и создавая гравитационные волны. Но после слияния чёрных дыр сигнал становится не столь чётким. Во время этой так называемой фазы спада чёрная дыра вибрирует подобно звучанию колокола.

За последнее десятилетие обсерватории LIGO и Virgo зарегистрировали также столкновение и слияние пары нейтронных звёзд с образованием килоновой. Как и чёрные дыры, нейтронные звёзды образуются при взрывной гибели массивных звёзд, но они легче и светятся. Событие произошло в августе 2017 г. Тогда к детекторам LIGO присоединился детектор Virgo, что позволило точнее определить положение источника на небесной сфере. Событие было зарегистрировано астрономическими обсер-

ваториями по всему миру, которые зафиксировали электромагнитное излучение в диапазоне от высокоэнергетического гамма-излучения до низкоэнергетических радиоволн. Это «многоканальное» астрономическое событие стало рождением гравитационной астрономии, когда и электромагнитные, и гравитационные волны были зарегистрированы в одном космическом событии.

Группа под руководством В.Б. Брагинского участвует в проекте LIGO с момента его основания в 1992 г. За это время на физфаке МГУ выполнены уникальные экспериментальные и теоретические исследования. Сейчас в нее входят профессора кафедры физики колебаний: И. А. Биленко, С.П. Вятчанин, В.П. Митрофанов, физики Я.Ю. Клочков, А.И. Назмиев.

Для достижения предельной чувствительности измерения смещения пробных масс гравитационных антенн следует использовать высокодобротные механические системы (в соответствии с флюктуационно-диссипативной теоремой). На физфаке МГУ были проведены уникальные измерения потерь в резонаторах из плавленого кварца, сапфира и кремния в широком диапазоне температур и разработаны методы достижения максимальной добродобротности в различных механических колебательных системах. В частности, для маятника из плавленого кварца, созданного на физическом факультете, было достигнуто рекордное время затухания 5 лет (В.П. Митрофанов), этот рекорд до сих пор не побит! Полученные на физфаке результаты были использованы при разработке монолитных кварцевых подвесов лазерных антенн второго поколения, работающих в настоящее время.

Заряды, всегда присутствующие на кварцевых пробных массах, взаимодействуют с окружающими пробную массу телами и электрическими полями, создавая дополнительные флюктуационные силы. Исследования накопления и миграции электрических зарядов на поверхности плавленого кварца позволили оптимизировать работу электростатических актиоаторов, используемых для позиционирования пробных масс. В нашей группе (В.П. Митрофанов) на физфаке проведены экспериментальные исследования, направленные на возможность использования в детекторах следующего поколения кремниевых пробных масс, охлаждаемых до низких температур.

В напряженных нитях подвесов пробных масс гравитационно-волновых антенн возможно воз-

никновение акустической эмиссии (избыточных шумов). На физфаке были экспериментально обнаружены избыточные шумы в прототипах подвесов зеркал детекторов первого поколения и показано, что монолитные кварцевые подвесы не являются источником таких шумов (И.А. Биленко).

Поверхность пробных масс испытывает малые случайные колебания из-за термодинамических флюктуаций в самих пробных массах и отражающихся покрытиях на них. Нами были проведены теоретические исследования механизмов возникновения таких флюктуаций различного происхождения. В частности, впервые было указано на решающую роль термоупругих и терморефрактивных шумов, источником которых являются термодинамические флюктуации температуры (С.П. Вятчанин, М.Л. Городецкий). Были сформулированы условия взаимной компенсации термоупругих и терморефрактивных шумов.

В лазерной гравитационной антенне должна циркулировать огромная мощность (около 0.8 МВт), что может привести к нелинейным эффектам. Нами был предсказан нежелательный эффект параметрической неустойчивости (С.П. Вятчанин), при котором начинается перекачка энергии из основной моды в оптическом резонаторе гравитационной антенны в паразитную стоксову моду и моду упругих колебаний зеркала. Были сформулированы способы подавления параметрической неустойчивости.

В лазерной гравитационной антенне второго поколения (типа Advanced LIGO) планируется достичь чувствительности, определяемой стандартным квантовым пределом (СКП — сформулирован В.Б. Брагинским в 1968 г.). Он возникает из-за квантовых ограничений вследствие соотношения неопределенностей Гейзенberга. Нами были разработаны новые подходы к реализации квантовых измерений, предложены новые способы преодоления СКП, в частности, стробоскопические квантовые измерение и вариационные квантовые измерения, квантовый измеритель скорости. Было предложено и экспериментально продемонстрировано использование оптической жесткости. Предложены топологии лазерных гравитационных антенн будущих поколений (С.П. Вятчанин, М.Л. Городецкий, Ф.Я. Халили).

Группа квантовых и прецизионных измерений продолжает работу.

СОВЕЩАНИЕ ЦКП физического факультета МГУ

В 2007 году по инициативе ректора академика В. А. Садовничего в МГУ имени М.В. Ломоносова был организован центр коллективного пользования научным оборудованием «Технологии получения новых наноструктурированных материалов и их комплексное исследование». В его организации приняли участие физический, химический, биологический факультеты и факультет наук о материалах. Задачей ЦКП МГУ является объединение усилий ученых Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по разработке и совершенствованию нанотехнологий, расширение возможностей использования имеющегося в МГУ технологического и аналитического оборудования.

Комплекс научного оборудования ЦКП МГУ позволяет реализовать научно-методическое и приборное обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по формированию и исследованию наноматериалов, проводить исследования состава, структуры и основных физико-химических свойств наноматериалов методами масс-спектроскопии, газовой, газо-жидкостной и жидкостной хроматографии, дифференциальной сканирующей калориметрии теплового потока, термогравиметрического анализа, дифференциального термического анализа, ка-

пиллярного электрофореза, дифрактометрии, электронной (растровой и просвечивающей) и зондовой (туннельной, атомно-силовой и ближнепольной) микроскопии; проводить прецизионные спектральные исследования наноматериалов, включая фемтосекундную спектроскопию, низкотемпературную фотолюминесцентную спектроскопию, инфракрасную спектроскопию отражения и пропускания, спектроскопию комбинационного рассеяния, спектроскопию электронного парамагнитного и ядерного магнитного резонансов, мессбауэровскую спектроскопию, а также работы по нанобиотехнологии, наномедицине и нанодиагностике с предоставлением возможности использования таких методов, как конфокальная и флуоресцентная микроскопия, комплекс молекулярно-биологических, иммунохимических и иммуногистохимических, биохимических методов. Имеющееся технологическое оборудование обеспечивает стандартные физико-химические методы формирования наноструктур.

От физического факультета в ЦКП представлены лаборатории кафедр общей физики и наноэлектроники, физической электроники, квантовой электроники, общей физики и физики конденсированного состояния, нанофotonики, физики полимеров и кристаллов.

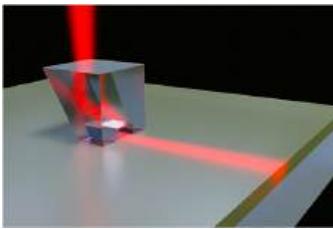
Кафедра нанофотоники в ЦКП физического факультета МГУ

Кафедра нанофотоники была образована в сентябре 2021 г. на базе созданной в 2006 г. лаборатории нанооптики и метаматериалов кафедры квантовой электроники (<https://nanolab.phys.msu.ru>). В 2024 г. произошло ее объединение с кафедрой фотоники и физики микроволн. В круг интересов кафедры нанофотоники входит решение передовых задач в области управления светом и его взаимодействия с микро- и нанообъектами, исследования в области физики нелинейных волн, радиоспектроскопии, космической СВЧ энергетики, нелинейной электроники, радиофизики миллиметровых волн.

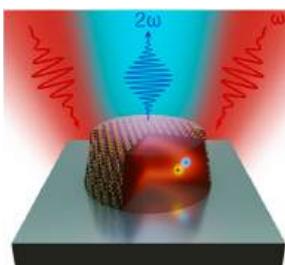
Под руководством сотрудников было подготовлено 19 кандидатов наук, защищено 126 дипломных работ магистров, бакалавров, специалистов. Успешно реализованы более 100 грантов РФФИ, РНФ, Министерства образования и науки, Министерства промышленности и торговли. Ведет свою работу лаборатория, созданная в рамках программы Мегагрантов, возглавляемая ведущим ученым международного уровня Б.С. Лукьянчуком.

За последние три года сотрудники кафедры опубликовали 53 статьи в ведущих международных и

российских научных журналах: *Laser & Photonics Reviews* (IF = 10.95), *Optica* (IF = 8.5), *Advanced Optical Materials* (IF = 7.85), *ACS Photonics* (IF = 6.7), *Nanophotonics* (IF = 6.6), УФН. В 2022-2024 гг. получено 14 патентов. Реализована концепция микропризмы Отто, изготовленной методом двухфотонной лазерной литографии, способной возбуждать блоховские поверхностные волны с расчетной эффективностью 73%, а экспериментально измеренной — более 40%. [*Laser Photonics Rev.* **16**, 2100542 (2022)].



Впервые исследован эффект генерации второй оптической гармоники в нанодисках из тонких пленок квазидвумерного MoS₂ при возбуждении ми-резонансов. Возбуждение магнито-дипольной моды нанодиска в спектральной окрестности двухфотонного резонанса квадратичной нелинейно-оптической восприимчивости, обусловленной наличием экситонной линии, приводит к усилению интенсивности генерации второй гармоники (ВГ) в 1000 раз по сравнению с сигналом ВГ от монослоя дисульфида молибдена



вдали от экситонного резонанса и в 23 раза по сравнению с сигналом ВГ на длине волны, соответствующей спектральному положению С-экситона. [*Laser Photonics Rev.* **16**, 2100604 (2022)].



Чистое помещение ISO6



В рамках совершенствования Центра коллективного пользования сотрудники подают заявки на получение новых приборов и модернизацию имеющихся по Программе развития. Благодаря такой возможности были получены фемтосекундный лазер, оптическая зондовая станция, была усовершенствована комната для создания чистого помещения класса ISO6.

В части педагогической деятельности запущены программы магистратуры «Нейроморфная и нелинейная нанофотоника» (2021), специалитета «Нейроморфная нанофотоника и нелинейная оптика» (2022), а также программа сетевой аспирантуры с филиалом МГУ в г. Шэньчжэнь (2023). За три года было подготовлено 8 кандидатов физико-математических наук, защищено 36 дипломных работ. С 2022 по 2024 гг. на кафедру было зачислено 46 второкурсников. Кадровый состав включает 18 бюджетных ставок профессорско-преподавательского состава и 20 — научного персонала, 9 аспирантов, 9 шестикурсников, 14 пятикурсников, 12 четверокурсников и 24 третьекурсника.

Сотрудники кафедры получали финансовую поддержку от Российского научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований, гранты Министерства высшего образования и науки, центра Научно-технологической инициативы, а также с помощью хозяйственных договоров.

Сотрудники кафедры ведут активную работу с молодежью по привлечению ярких кадров в науку. Так, проводятся регулярные экскурсии в лаборатории кафедры для школьников. В настоящее время 7 учеников делают научные проекты. Популяризация науки заключается также в подготовке пресс-релизов для публикации в СМИ. Имеется несколько выступлений на телевидении.



Лаборатории кафедры физики полимеров и кристаллов в ЦКП физического факультета МГУ

В Центре коллективного пользования (ЦКП) МГУ имени М. В. Ломоносова уже работают три лаборатории кафедры физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ:

- лаборатория ассоциирующих полимеров и коллоидных систем под руководством профессора, д.ф.-м.н. О.Е. Филипповой;
- лаборатория физики живых систем под руководством профессора, д.ф.-м.н. И.В. Яминского;
- лаборатория жидких кристаллов под руководством профессора РАН, д.ф.-м.-н. А.В. Емельяненко.

Лаборатория ассоциирующих полимеров и коллоидных систем

Сотрудники лаборатории «Ассоциирующих полимеров и коллоидных систем» кафедры физики полимеров и кристаллов ведут исследования в области новых материалов по ряду направлений: «умные» полимеры для нефтедобычи, полимерные гели и микрогели для контролируемого выделения веществ, полимерные нанокомпозиты для «мягкой» робототехники, супрамолекулярные системы, амфи菲尔ные полимеры, термочувствительные полимеры, электрохромные полимеры.

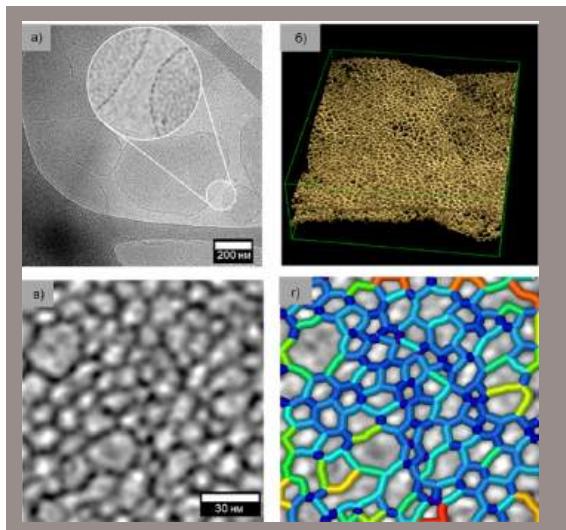


Рис. 1. а) Полученное методом крио-ЭМ изображение перфорированных везикул в 46 мМ водном растворе смеси цвимтерионного ПАВ олеиламиодопропилдиметил карбоксибетаина и незаряженного ПАВ олеиламиодопропилдиметил амина с мольной долей последнего 0,273. б) Изображение изоповерхности перфорированной везикулы, полученное криоэлектронной томографией. в) «Томографический срез» поверхности перфорированной везикулы. г) 3D-модель поверхности перфорированной везикулы, полученная скелетизацией изоповерхности того же образца.

Исследования проводятся в современной хорошо оснащенной лаборатории. Здесь располагается все необходимое оборудование для синтеза, модификации веществ и получения новых материалов (реометр Anton Paar MCR 301, разрывная машина LLoyd LS5, изотермический титрационный калориметр Nano ITC TA Instruments, спектрофлуориметр Perkin Elmer LS55, спектрофотометр Shimadzu UV 3600 и др.).

Одним из направлений, которое активно развивается в лаборатории, является создание «умных» вязкоупругих жидкостей для гидроразрыва пласта в нефтедобыче. Такие жидкости необходимы для переноса керамических частиц проппанта в нефтеносный пласт для создания искусственной среды с высокой проницаемостью по отношению к нефти. При переносе частиц проппанта жидкость действует как загуститель, а при контакте с нефтью она теряет вязкоупругие свойства, чтобы не мешать течению нефти к добывающей скважине. Способностью самопроизвольно терять вязкоупругие свойства при контакте с нефтью обладают червеобразные мицеллы поверхностно-активных веществ (ПАВ), однако они действуют как загустители только при невысоких температурах. В наших работах предложено несколько подходов для расширения температурного интервала действия указанных загустителей. Они состоят, в частности, в стабилизации сетки из переплетенных червеобразных мицелл ПАВ путем введения неорганических (глина) или органических (нанокристаллы хитина) наночастиц. Получены гибридные червеобразные мицеллы ПАВ с внедренными макромолекулами полимера поли(4-винилпиридин). Показано, что такие мицеллы перспективны для использования как в технологии гидроразрыва пласта при добы-

че нефти, так и в качестве противотурбулентных присадок при дальнейшей транспортировке нефти.

Разработаны полимерные и нанокомпозитные гели и пленки для контролируемого выделения антисептических агентов — катионных ПАВ. Показано, что они могут быть использованы в виде антисептических покрытий, эффективно устраняющих, в частности, вирусы SARS-CoV-2. Полимерная сетка обеспечивает пролонгированный выход антисептика с возможностью повторной «загрузки» геля антисептиком.

Впервые исследована серия структурных переходов червеобразных мицелл, приводящая к их превращению в бислойные структуры. Показано, что важнейшей стадией таких переходов является формирование перфорированных везикул, поверхность которых образована тройными точками ветвления, соединенными короткими цилиндрическими субцепями (рис. 1). Перфорированные везикулы перспективны для контролируемого выделения веществ.

С целью создания мягких гидрогелевых матриц требуемой формы разработаны композитные гели из полисахарида альгината натрия и природных нанотрубок галлуазита, механические свойства которых позволяют их использовать в качестве чернил для экструзионной 3D печати. Показано, что переколяционная структура нанотрубок глины увеличивает предел текучести и модуль упругости гелей альгината и позволяет получать на 3D принтере прочные объекты и производить печать с высоким разрешением.

Продолжены работы по созданию электрохромных полимеров. С целью увеличения эффективности и стабильности полимерных фотоячеек исследованы электрохимические и оптические свойства сополимеров с различными донорными и акцепторными группами в основной цепи и боковых заместителях. Показано, что введение карбазольной группы в боковые заместители донорного ядра бистиенохиназолина в сополимерах с дикетопирролом, бензотриазолом, бензотритиофеном приводит к уменьшению уровня несвязывающих молекулярных орбиталей, сдвигает значение ширины оптической запрещённой зоны ближе к значению ширины электронной запрещённой зоны.

За последние 3 года сотрудниками лаборатории опубликовано 40 статей (из них 21 статья в журналах уровня Q1), подготовлены и успешно защищены 1 диссертация и 9 дипломных работ. Научные исследования лаборатории поддержаны 8 проектами — 3 РНФ, 3 РФФИ, 1 Минобрнауки, 1 договор на прикладные исследования.

В 2022 г. сотрудник лаборатории А.В. Шибаев получил премию правительства Москвы молодым ученым. Аспиранты лаборатории М.М. Авдеев, А.С. Оспенников и К.Б. Шишханова в 2022 и 2024 годах стали стипендиатами фонда «Базис».

Лаборатория физики живых систем

В лаборатории физики живых систем кафедры физики полимеров и кристаллов проводятся исследования по следующим направлениям:

- исследование и обучение сетей живых нейронов с помощью атомно-силовой и сканирующей капиллярной микроскопии,
- регистрация жизненного цикла и активности клеток высших организмов,
- определение антибиотикорезистентности бактериальных клеток,
- разработка физических основ создания аппаратуры сканирующей зондовой микроскопии для эксперимента с живыми системами.

В работе лаборатории используется широкий



Рис. 2. Микроскоп LEO912AB в ЦКП «Просвечивающая электронная микроскопия».



Рис. 3. Ознакомительное занятие по методам сканирующей зондовой микроскопии для учителей физики и учеников в помещении кафедры (комната 31 ЦКП физического факультета) 4 июня 2025 года.

арсенал экспериментальной аппаратуры: сканирующая капиллярная микроскопия, контактная и резонансная атомно-силовая микроскопия, микролинзовая микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия.

Проведено более 150 исследований для многих научных групп естественных факультетов МГУ с использованием микроскопа LEO 912 AB (рис. 2). Старший научный сотрудник Вышиванная О.В. оказала существенную научную и методическую помощь в получение качественных данных и изображений образцов различной природы.

Общее количество подготовленных научных работ за последние три года — 45 публикаций в ведущих тематических журналах. Студенты защитили на отлично выпускные работы на темы: Атомно-силовая и сканирующая капиллярная микроскопия бактериальных клеток (Максимова Н. Е., 2023 г.), Микролинзовая оптическая микроскопия с преодолением дифракционного препятствия (Соловьева С. А., 2024 г.). Студен-

тами кафедры ведут исследования в области капиллярная микроскопия живых клеток (Советников Т. О., 2024 г.), Разработка биоинтерфейса для исследования нейронных сетей методом сканирующей зондовой микроскопии (Иванов О. В., 2025 г.).

В настоящее время успешно выполняется междисциплинарный научный проект «3D визуализация вирионов, структурно модифицированных и вирусоподобных частиц вирусов растений методами бионаноскопии» совместно с кафедрой вирусологии биологического факультета. Научные руководители — профессора Карпова О. В. и Яминский И. В.

Для привлечения талантливой молодежи к активному научному творчеству образовательная деятельность проводится не только со студентами и аспирантами, но и со школьниками старших классов. При этом существенный акцент делается не только на фундаментальные вопросы современной физики, но и инженерно-физические решения сложных физических задач. Для абитуриентов весной этого года был подготовлен и прочитан новый учебный цикл лекций «Модельные и экспериментальные исследования, роль инженерных решений в подготовке эксперимента». В процессе прохождения курса слушатели провели экспериментальные наблюдения с помощью сканирующих зондовых микроскопов ФемтоСкан в лаборатории кафедры и Центре молодежного инновационного творчества «Нанотехнологии» физического факультета МГУ.

В 2025 г. проведен курс повышения квалификации «Сканирующая зондовая микроскопия» для 41 учителя Москвы и наукограда Обнинск авторами и ведущими курса старшим научным сотрудником А. И. Ахметовой, аспирантом Т. О. Советниковым и профессором И. В. Яминским (рис. 3).

Лаборатория жидкких кристаллов



Рис. 4. 1 — Чистое помещение площадью 17 м² класса чистоты ISO7, 2 — Оптическая установка, 3 — Оптический поляризационный микроскоп, 4 — Двухлучевой спектрофотометр.

В лаборатории жидких кристаллов проводятся передовые исследования по многим фундаментальным и прикладным направлениям. Лаборатория жидких кристаллов располагает новейшим оборудованием, в том числе чистым помещением площадью 17 м² класса чистоты ISO7, оптической установкой, состоящей из более 50 наименований компонент, включая непрерывный лазер с высоким качеством пучка, моторизованные и поляризационные элементы и др. В лаборатории имеется оптический поляризационный микроскоп для работы в проходящем и отраженном свете, позволяющий измерять фазовую задержку с точностью 0.021, двухлучевой спектрофотометр и другое оборудование (рис. 4). В лаборатории работают (в том числе по проектам) два доктора наук и три кандидата наук, а также проходят обучение один аспирант и двое студентов.

В частности, за последние три года в лаборатории изучены термокапиллярные и ориентационные эффекты, вызванные светом, в тонких нематических пленках со свободной поверхностью. Исследовано возникновение паразелектрической, несобственной антисегнетоэлектрической и собственной сегнетоэлектрической нематических фаз в жидким кристалле (ЖК), состоящем из полярных молекул. Изучена оптическая нелинейность двухчастотного нематического ЖК. Исследовано возникновение дискотического нематического состояния в системе стержнеобразных молекул. Объяснен двуступенчатый переход из смектической фазы в нематическую в ЖК, легированном малослойными графитовыми фрагментами.

В ходе самых недавних исследований получены

холестерические ЖК-материалы с улучшенными электрооптическими свойствами с помощью легирующих добавок наночастиц целлюлозы [C.-Y. Kuo, A. V. Emelyanenko, S.-C. Hung, W.-C. Chen, C.-Y. Liu, Improving the electro-optical properties of cholesteric liquid crystal devices via cellulose nanoparticle dopants. *Polym. J.* 56, 541 (2024)]. Исследована трансформация полярных нематических фаз в присутствии электрического поля [A. V. Emelyanenko, V. Yu. Rudyak, S. A. Shvetsov, F. Araoka, H. Nishikawa, K. Ishikawa, Transformation of polar nematic phases in the presence of an electric field. *Phys. Rev. E* 109, 014701 (2024)]. Предложены методы оптимизации размера домена в "напряженных" ЖК [A. V. Emelyanenko, D. V. Shmeliova, Optimization of the domain size in stressed liquid crystals. *Liq. Cryst. and their Appl.* 24 (1), 60 (2024)]. Исследовано влияние динамических связей на набухание и коллапс полимерных ЖК-гелей [D.E. Larin, A. V. Shibaev, C.-Y. Liu, A. V. Emelyanenko, The effect of dynamic cross-links and mesogenic groups on the swelling and collapse of polymer gels. *Giant* 20, 100341 (2024)]. Разработаны актоаторы на основе ЖК-эластомеров с асимметричными боковыми группами [C.-Y. Kuo, A. V. Emelyanenko, W.-C. Chen, C.-Y. Liu, Soft robotic actuators with asymmetrically engineered liquid crystal elastomers. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 164, 105671 (2024)].

В настоящее время одной из актуальных задач лаборатории жидких кристаллов является исследование фракталов, возникающих в каплях сегнетоэлектрических нематиков под воздействием электрического поля. Электроуправляемые фракталы, возникающие в сегнетоэлектрических нематиках

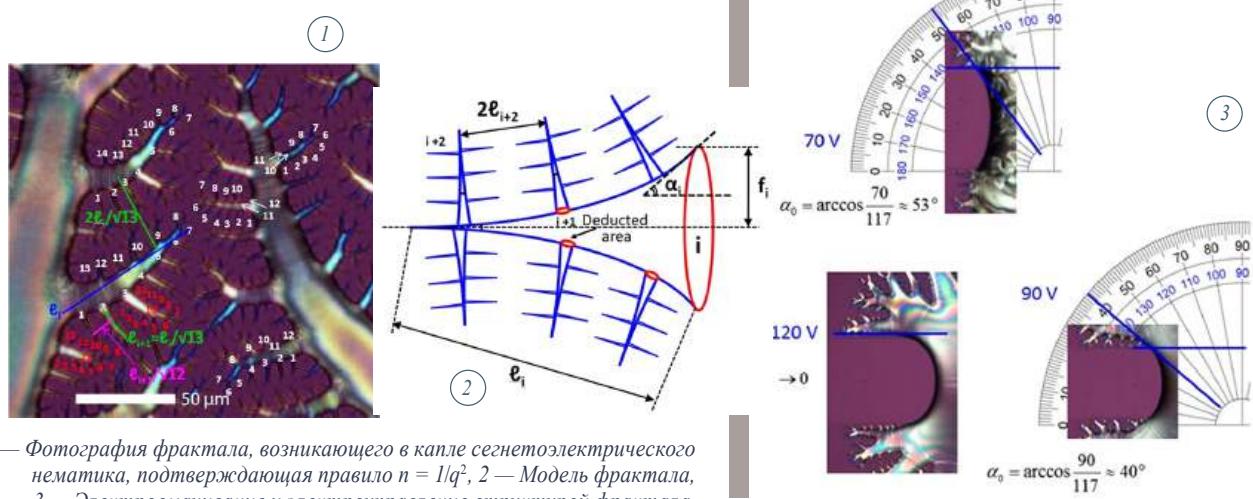


Рис. 5. 1 — Фотография фрактала, возникающего в капле сегнетоэлектрического нематика, подтверждающая правило $n = 1/q^2$, 2 — Модель фрактала, 3 — Электроусмачивание и электроуправление структурой фрактала.

на поверхности полимера, могут быть использованы в различных микрофлюидных устройствах, таких как диагностические устройства для анализа крови, слюны, клеточных тканей, иммунного анализа, определения гормонов, анализа ДНК, а также для создания систем доставки лекарств.

Показано, что специфическая вогнутая форма ветвей фрактала обусловлена избытком флексоэлектрической поляризации на границе раздела ЖК с воздухом. Рассмотрена модель фрактала. Форма ветвей фрактала и его размерность $D = 5/3$ найдены из минимизации упругой свободной энергии. В частности, было показано, что соотношение q длин последующей и предыдущей ветви не зависит от номеров этих веток, а для числа n последующих веток на каждой предыдущей выполняется соотношение $n = 1/q^2$. Показано, что фрактал возникает в результате электросмачивания сегнетоэлектрическим нематиком диэлектрического полимерного слоя, на котором находится капля (рис. 5). Показано, что угол электросмачивания определяется формулой

$$\alpha_0 = \arccos \frac{E}{E^*}$$

где E — величина приложенного электрическо-

го поля, а E^* — критическое электрическое поле, при котором смачивание становится полным. При дальнейшем увеличении напряжения происходит разрыв капли сегнетоэлектрического нематика, в результате которого возникают броуновские частицы нематика, хаотически двигающиеся по поверхности полимера благодаря столкновению с молекулами воздуха.

За последние три года опубликовано 35 статей, из них 16 — в журналах первого квартиля, сделано 14 докладов на крупных международных и российских конференциях, защищена одна дипломная работа. Были успешно выполнены проект РНФ 22-23-00391 (2022-2023) «Напряженные субмикронные структуры в полимерно-жидкокристаллических композитах: дизайн, визуализация и оптимизация функциональности» и проект РФФИ 21-53-50008 (двусторонний с Японией, 2021-2024) «Возникновение гигантской диэлектрической проницаемости в полярных нематических жидкостях».

Основные направления в области квантовых технологий, развиваемых в ЦКП физического факультета МГУ

В ЦКП ведутся интенсивные исследования в области квантовых технологий. Фактически речь идет о полном спектре тематик отрасли: **квантовые вычисления, квантовые коммуникации и квантовая сенсорика**. Кроме того, традиционные экспериментальные направления, давно развивающиеся на кафедре квантовой радиофизики/электроники физического факультета в рамках Школы Д. Н. Клышко, это **квантовая оптика и квантовая фотометрия**.

1. **Квантовые вычисления** — создание вычислительных устройств, в основе работы которых лежат свойства квантовых систем, такие как суперпозиция, квантовая интерференция и перепутывание.

Сегодня в мире, в основном, развиваются четыре направления по разработке физических систем для реализации алгоритмов квантовых вычислений: нейтральные атомы в микродипольных ловушках, фотоны в линейно-оптических системах, сверхпроводниковые системы и ионы в линейных ловушках. В Центре квантовых технологий исследования ведутся по первым двум платформам (нейтральные атомы и фотонные чипы). Созданы прототипы квантовых регистров на десятках кубитов. На этих устройствах отрабатывается системное ПО и апробируются перспективные прикладные алгоритмы.

2. **Квантовые коммуникации** — это область знаний и техники, в которой для передачи информации

используются неклассические (квантовые) состояния. На сегодняшний день основные разработки Центра квантовых технологий сосредоточены в области создания шифраппаратуры на основе квантового распределения ключей типа "точка – точка", а также сетевых топологий — как при использовании оптоволоконных, так и атмосферных каналов связи (между стационарными и мобильными объектами). В ЦКТ МГУ расположены терминалы Университетской и Межуниверситетской квантовых сетей, объединяющих не только подразделения МГУ, но и различные вузы и научные организации России. Недавно запущен амбициозный проект, направленный на разработку и создание отечественной системы квантовой космической связи.

3. Под **квантовой сенсорикой** понимается создание измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах. Ожидается, что квантовые сенсоры будут иметь высокое пространственное и временное разрешение, что позволит повысить точность измерений в сравнении с существующими классическими сенсорами, а использова-

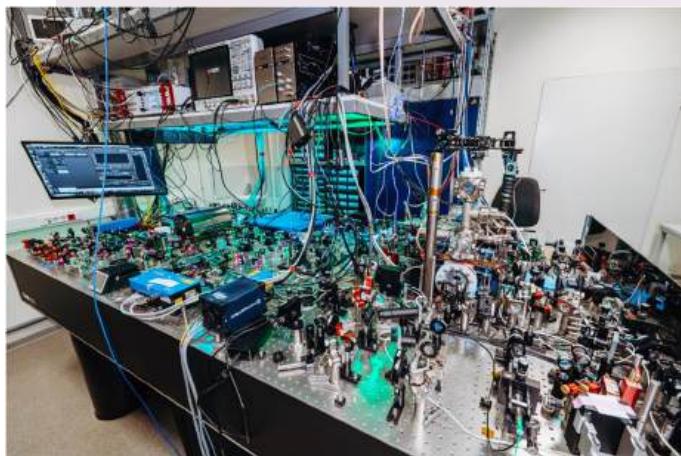


Рис. 1. Прототип квантового процессора на нейтральных атомах.

ние свойств суперпозиции, запутанности, сжатия квантовых состояний, в свою очередь, обеспечит в перспективе максимально возможную чувствительность измерения. Развитие рынка квантовых сенсоров предполагает создание основного количества инновационных продуктов, технологий и отдельных отраслевых решений в рамках трёх основных видов: часы, гравиметры, гироскопы; сенсоры электрического и магнитного поля; квантовая метрология. Гордостью многочисленных разработок ЦКТ по квантовым сенсорам является компактный скоростной кван-

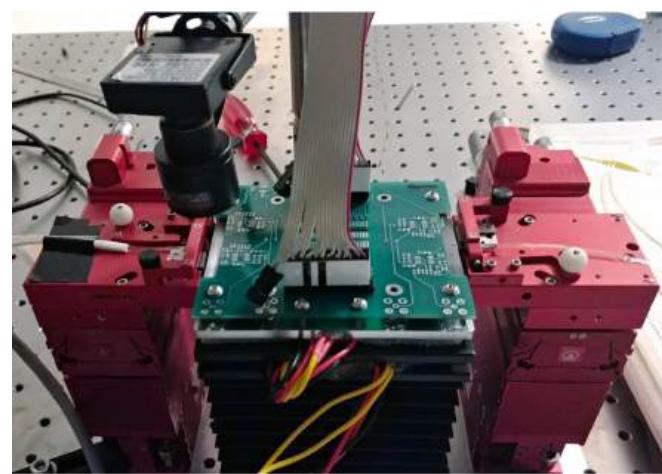


Рис. 2. Прототип квантового процессора на фотонных чипах.

товый генератор случайных чисел, генерирующий битовые последовательности со скоростью 300 Мбит/с.

4. В области **квантовой оптики**, прежде всего, развиваются экспериментальные методы генерации, преобразования и измерения двухфотонных перепутанных состояний — в поляризационных и пространственных степенях свободы. Это направление сегодня является одним из основных при реализации разнообразных квантовых протоколов вычислений, коммуникации и сенсорики.

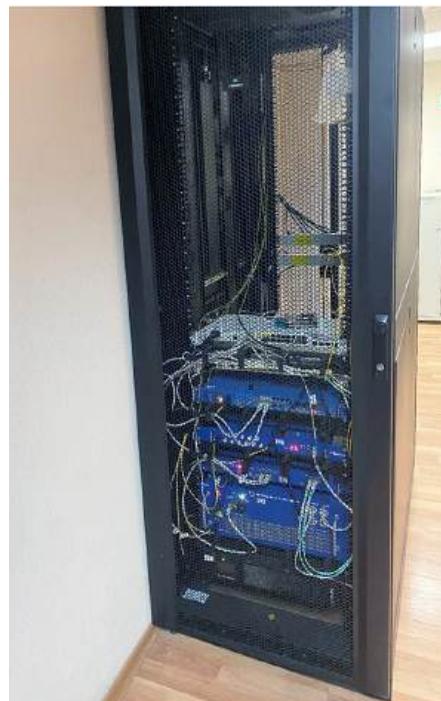


Рис. 3. Узел межуниверситетской квантовой сети.

5. Разработка эталонов физических величин, основанных на фундаментальных законах физики, является актуальной проблемой современной метрологии. В частности, разработкой таких эталонов для фотометрических характеристик, основанных на закономерностях квантовой механики, занимается **квантовая фотометрия** — сравнительно молодое междисциплинарное направление метрологии. В основе схем высокоточных



Рис. 4. Схема квантового космического эксперимента.

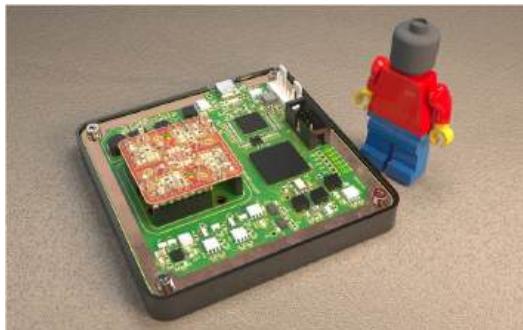


Рис. 5. Квантовый генератор случайных чисел.

квантовых оптических измерений, широко применяющихся также в современных квантовых оптических информационных технологиях, лежит квантовая N -фотонная интерференция.

В рамках направления развиваются физические принципы **квантовой интерферометрии**, которые лежат в основе нового направления метрологии — абсолютной квантовой фотометрии. Речь идет о двух методах, основанных на спонтанном параметрическом рассеянии (СПР) света — нелинейно-оптическом процессе, в котором на выходе кристалла, обладающего квадратичной восприимчивостью, образуются пары фотонов.

1. Метод абсолютной калибровки однофотонных фотодетекторов основан на том, что нелинейный кристалл, в котором происходит процесс СПР, излучает фотоны парами: это значит, что число испущенных фотонов в моды « s » и « i » рав-

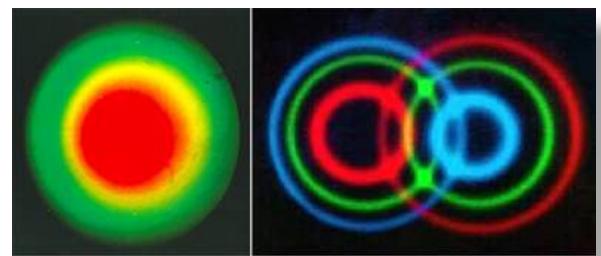


Рис. 6. Пространственный спектр бифотонного поля.

но общему числу пар — бифотонов N (например, N пар в секунду).

2. Метод абсолютной калибровки спектральной яркости источников излучения основан на соотношении, описывающем интенсивность излучения в сигнальной моде СПР в терминах числа фотонов на моду — т.е. спектральной яркости излучения.

Оба метода являются абсолютными, т.е. не требующими эталонных источников/приемников излучения. В качестве абсолютного репера выступают нулевые флуктуации электромагнитного вакуума, на основе которых предлагаются ввести новую фотометрическую единицу 1 Планк (фотон на моду электромагнитного поля).

Кафедра общей физики и физики конденсированного состояния: деятельность в рамках ЦКП МГУ

Кафедра общей физики и физики конденсированного состояния получила помещения в Центре коллективного пользования МГУ в начале нулевых годов в связи с переездом Проблемной лаборатории магнетизма из здания, на месте которого впоследствии было построено здание экономического факультета МГУ. В настоящее время научная работа кафедры в рамках ЦКП проводится в нескольких направлениях, по которым проводятся исследования в следующих лабораториях:

- Лаборатория редкоземельных соединений с сильными магнитоупругими и ян-тэллеровскими взаимодействиями (проф. З. А. Казей).
- Лаборатория физики атомарных и молекулярных нанокластеров (доц. С. Д. Антипов).
- Лаборатория по исследованию магнитоэлектрических взаимодействий в мультиферроиках (доц. К. И. Камилов).

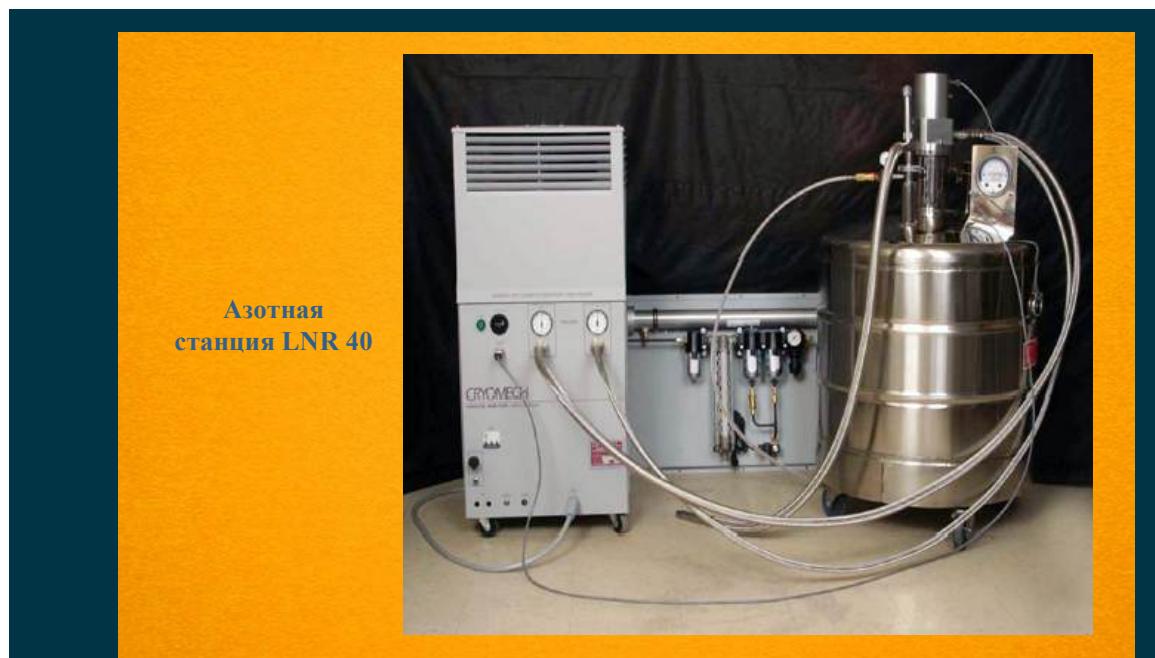
■ Лаборатория редкоземельных интерметаллидов (доц. И. Ю. Гайдукова).

■ Лаборатория спектроскопии узкощелевых полупроводников и полупроводниковыхnanoструктур (с.н.с. А. В. Иконников).

■ Лаборатория теории твердого тела (проф. С. Г. Тиходеев).

■ Лаборатория сложных магнитных систем для приборостроения (с.н.с. В. Н. Милов, с.н.с. Е. В. Милов).

Для проведения исследований на кафедре имеется значительное количество уникального оборудования, работающего в режиме центра коллективного пользования. Основные установки, имеющиеся в распоряжении, представлены ниже.



Азотная
станция LNR 40

Производительность 40 л жидкого азота в сутки.

Установка импульсных магнитных полей



Магнитное поле до 30 Тл, время нарастания импульса 3 мс, энергия батареи 60 кДж, диапазон температур — при наличии жидкого гелия от 4.2 К до 300 К, на жидком азоте — 77 К – 300 К. Вставки — намагниченность, магнитострикция, магнитоэлектрический эффект.

Порошковый дифрактометр Stoe Stadi P



Работает на излучении Cu Ka 290 К – 800 К. Максимальная мощность до 3600 Вт, ток трубки 5 – 60 мА, напряжение 10 – 60 кВ. Мин. шаг 0.0001°, воспроизводимость 0.0005°, диапазон 20: –90° – +120°, в комплекте с криостатом замкнутого цикла температурный диапазон 7 – 800 К.

Вибрационный магнетометр

Плавно регулируемое
постоянное
магнитное поле ($0 - \pm 18$ кЭ);
Стабильность 0,3 Э;
Чувствительность $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ эму;
Температурный интервал 77 – 1100 К.

Установка по измерению транспортных характеристик

Плавно регулируемое
постоянное магнитное
поле ($0 - \pm 15$ кЭ);
Гелиевый криостат
замкнутого цикла
позволяет проводить
измерения от 10 до 300 К.



Установка измерения упругих модулей

Метод составного вибратора
Диапазон температур
4.2 К – 300 К на жидком гелии
(77 К – 300 К на жидком азоте)
шаг по температуре до 0.1 К

**Установка для синтеза
атомарных и молекулярных нанокластеров**

*Мы приглашаем к сотрудничеству
заинтересованных исследователей.*

Параметры за три года:

13 сотрудников

6 аспирантов

15 защищенных ВКР

2 кандидатские диссертации

2 гранта РНФ

4 патента

Публикации:

2024 год — 50 публикаций

2023 год — 68 публикаций

2022 год — 53 публикации

Синтез ведётся методом катодного распыления в разряде Пенninga в плазменном режиме в атмосфере Kr при давлении $P = 10^{-5}$ Торр

Непрерывная и импульсная методики напыления кластеров на подложку;

Безмасляная откачка (до 10^{-3} цеолитовым насосом и до 10^{-8} Торр магниторазрядным насосом);

Разрядная ячейка находится в стационарном магнитном поле 300 – 1000 Э и анодным напряжением 2000 В;

Изменяя ток разряда и время напыления, можно управлять толщиной нанесённых плёнок на подложку (слюда, аморфный кремний и др.);

Скорость напыления: $S_{Fe} = 13,5$ А/мин,
 $S_{Mo} = 7,8$ А/мин.

Лаборатория плазменных и ионно-пучковых технологий кафедры физической электроники в ЦКП МГУ

Основными направлениями работ лаборатории плазменных и ионно-пучковых технологий кафедры физической электроники, расположенной в ЦКП, являются:

- Фундаментальные экспериментальные исследования емкостного и индуктивного ВЧ разрядов, в том числе при наличии внешнего магнитного поля, горящих в непрерывном и импульсном режимах.
- Разработка математических моделей модификаций ВЧ разрядов.
- Разработка источников плазмы на основе газового разряда,
- Исследование физических характеристик перспективных моделей электроракетных двигателей для космических аппаратов.
- Разработка ионно-пучковых и плазменных технологий поверхностной модификации материалов, напыления и осаждения покрытий.

В состав группы входят: в.н.с., д.ф.-м.н. Е.А. Кралькина, н.с., к.ф.-м.н. И.И. Задириев, н.с., к.ф.-м.н. А.М. Никонов, м.н.с., к.ф.-м.н. Г.В. Швыдкий, вед. инж. к.ф.-м.н. К.В. Вавилин, аспиранты В.С. Дудин и А. Гомес, 5 студентов.

К настоящему времени центр тяжести фундаментальных работ по изучению ВЧ разряда приходится на исследования: 1) электродинамических и электротехнических свойств модификаций ВЧ разряда, гибридных и комбинированных разрядов, обладающих как индуктивной, так и емкостной составляющими, 2) механизмов и закономерностей энерговклада в плазму, а также 3) закономерностей формирования пространственного распределения основных параметров плазмы.

Фундаментальные и прикладные работы группы выполняются на оборудовании (см. рисунки 1 и 2), приобретённом МГУ им. М.В. Ломоносова в рамках закупок «Оборудование для комплектации лаборатории по изучению и разработке широкого

спектра методов создания новыхnanostructured functional materials and devices based on their basis» и «Диагностический комплекс для системы управления параметрами специализированных реакторов с ВЧ и СВЧ активацией плазмы».

Базовая вакуумная установка (см. рисунок 1) включает в свой состав вакуумную камеру объёмом 0,8 м³, которая откачивается каскадом из форвакуумного и турбомолекулярного насосов. В камере установлены три магнетрона, имеются фланцы для размещения разрабатываемых источников плазмы. Установка оснащена системами измерения вакуума, напуска рабочих газов, комплексом ВЧ генераторов с частотами 2, 4, 6.78, 13.56 и 27.2 МГц, источниками питания постоянного тока, а также комплектом оборудования для зондовой и спектральной диагностики плазмы, энергоанализатором.



Рис. 1. Базовая вакуумная установка, предназначенная для разработки источников плазмы и напыления покрытий.

Вакуумная установка для изучения свойств ВЧ разряда, помещенного во внешнее магнитное поле (см. рисунок 2), имеет диаметр 46 см и длину 30 см. Откачка установки осуществляется форвакуумным и турбомолекулярными насосами. Установка оснащена системами измерения вакуума, напуска рабочих газов, ВЧ генератором 13.56 МГц, комплексом оборудования для зондовой и спектраль-



Рис. 2. Вакуумная установка для изучения свойств ВЧ разряда, помещенного во внешнее магнитное поле.

ной диагностики плазмы, а также магнитными зондами для измерения ВЧ магнитных полей в плазме.

Полученные фундаментальные результаты использованы сотрудниками лаборатории для разработки семейства сеточных ВЧ индуктивных источников ионов; источника плазмы, имеющего геометрию Холловского двигателя, принцип действия которого основан на емкостном ВЧ разряде, помещенном в магнитное поле с преимущественной радиальной составляющей; «геликонного» двигателя малой мощности, основанного на индуктивном ВЧ разряде с внешним магнитным полем; источника плазмы, позволяющего совместить магнетронное напыление покрытий с ионным ассистированием потоком частиц, образованных в «геликонном» источнике плазмы.

Сеточные источники ионов позволяют получать ионы инертных и химически активных ионов с энергиями 500 – 1500 эВ, токи ионов в диапазоне 100 – 250 мА. Источники используются в технологиях поверхностной модификации материалов, распыления материалов, а также в качестве прототипов ионных двигателей, в том числе для полетов на ультранизких земных орbitах.

Бессеточный источник плазмы, основанный на емкостном ВЧ разряде, помещенном в магнитное поле с преимущественной радиальной составляющей, не требует наличия катода, что позволяет использовать в качестве рабочих не только инертные, но и химически активные газы. В зависимости от схемы организации источника энергия ионов составляет 20 – 40 эВ или 180 – 400 эВ, а ток ионов 150 – 500 мА. Источник может быть использован в технологиях поверхностной модификации материа-

лов, распыления материалов, для ионного ассистирования в процессах напыления покрытий, а также в качестве ВЧ ЭРД.

Безэлектродный «геликонный» источник плазмы позволяет получать потоки ускоренных ионов с энергией 20 – 40 эВ. Он может быть использован в технологиях поверхностной модификации материалов, распыления материалов, для ионного ассистирования в процессах напыления покрытий, а также в качестве ВЧ ЭРД.

Накопленные фундаментальные результаты и разработанные источники плазмы позволили усовершенствовать технологии поверхностной модификации материалов, напыления покрытий с ионным ассистированием, осаждение покрытий.

За последние годы выполнены работы по следующим проектам, грантам, НИРам:

- Актуальные проблемы физики неравновесной плазмы (Госбюджет)
- Комплексные исследования нового класса космических аппаратов для ультранизких орбит, использующих исключительно возобновляемые ресурсы (Межфакультетский грант совместно с ФКИ в рамках школы Космос 2023-2025).
- ВЧ разряд низкого давления как рабочий режим перспективных моделей электроракетных двигателей (грант РНФ 2021-2024)
- Электродинамические и электротехнические свойства технологических источников плазмы на основе модификаций высокочастотного разряда (Грант РНФ 2021 -2023)
- Пространственное распределение параметров плазмы в индуктивном плазменном реакторе совместно с Институтом физики плазмы Китайской Академии Наук в рамках соглашения МГУ – ИФП
- Оптимизация ВЧ ионного двигателя с магнитным полем для полетов на ультранизких орбитах в условиях остаточной атмосферы в составе воздушного электрореактивного двигателя (стипендия аспиранта фонда «Базис»).

По материалам выполненных работ за последние 5 лет опубликовано 34 статьи (из них две — Q1), сделано 13 докладов на конференциях, защищена 1 кандидатская диссертация.

На основе емкостного ВЧ разряда в толуоле разрабатывается технология получения толстых алмазоподобных пленок по заданию ОАО «ТРЭМ ИНЖИНИРИНГ».

Малогабаритный «геликонный» источник плазмы, позволяющий получать поток ускоренных ионов с энергией 50 – 70 эВ, использован для придания гидрофильных и усиления сорбционных свойств углеродной ткани, разработанной в НИИ-ГРАФИТ. Ткань используется в медицинских целях для лечения ран и ожогов.

Кафедра общей физики и наноэлектроники в ЦКП МГУ

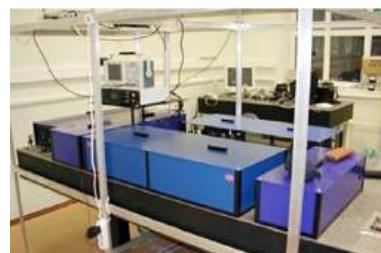
История кафедры общей физики и наноэлектроники начинается в 1929 г., когда в составе организованного тогда химического факультета была создана кафедра «Общей физики для химиков». В 1938 г. кафедра переводится на физический факультет. С 1991 г. и по настоящее время кафедрой руководит профессор Павел Константинович Кашкаров. За прошедшие годы под его руководством на кафедре проводились пионерские работы по физике поверхностных явлений в полупроводниках, изучению взаимодействия лазерного излучения с твердым телом, исследованию электронных и атомных процессов в системах пониженной размерности, в области молекулярной электроники и т.д.

В 2005 г. кафедра приняла активное участие в создании Центра коллективного пользования (ЦКП) научным оборудованием физического факультета МГУ. Для проведения научных исследований на самом высоком уровне было закуплено современное и дорогостоящее аналитическое оборудование и технологические установки, обеспечивающие проведение работ по формированию и исследованию свойств наноматериалов. Данный комплекс оборудования включает такие уникальные приборы, как микрораман Basic LabRAM HR Visible; ЭПР спектрометр BRUKER ELEXSYS; фемтосекундный комплекс на основе хром-форстеритового лазера с регенеративным усилителем; фурье спектрометр BRUKER IF S66v/S, а также напылительные установки, вакуумное оборудование, криостаты для проведения исследований при низких температурах, различные измерители электрофизических величин и т.д.

На базе имеющегося на кафедре современного оборудования были созданы лаборатории фемтосекунднойnanoфотоники; электрофизики и ЭПР

спектроскопии; ИК и Рамановской спектроскопии; фотолюминесцентной спектроскопии, вошедшие в состав ЦКП физического факультета. Ученые ряда подразделений физического факультета, а также других вузов и научных центров имеют возможность проведения исследований на этом оборудовании.

На базе экспериментальных установок, расположенных в ЦКП физического факультета кафедрой были разработаны и поставлены следующие задачи спецпрактикума для студентов старших курсов:



Субтераваттный фемтосекундный комплекс на основе хром-форстеритового лазера.



Микрораман LabRAM HR Visible.



Спектрометр электронно-парамагнитного резонанса ELEXSYS-E500-10/12.



Инфракрасный спектрометр BRUKER IFS-66v/S.

1. ЭПР-диагностика полупроводниковых наноматериалов.
2. ИК спектроскопия наноматериалов.
3. Комбинационное рассеяние света в молекулярных системах и низкоразмерных структурах.
4. Изучение люминесценции тонких молекулярных пленок.
5. Импедансная спектроскопия полупроводниковых наноматериалов.
6. Измерение длительности фемтосекундных лазерных импульсов.

По всем задачам имеются опубликованные описания.

Также оборудование центра коллективного пользования активно используется студентами и аспирантами кафедры при выполнении выпускных квалификационных работ и при подготовке кандидатских диссертаций. Сразу после распределения на кафедру наши студенты уже начиная с 3 курса имеют возможность непосредственно принимать участия в научных исследованиях на имеющемся современном оборудовании. За период 2022–2024 гг. на кафедре было защищено 20 выпускных квалификационных работ и 6 кандидатских диссертаций.

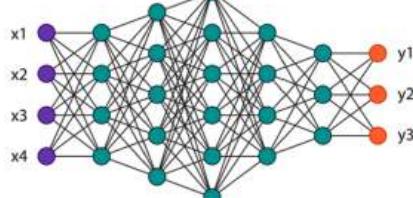
В настоящее время научная работа кафедры общей физики и наноэлектроники связана с разработкой методов получения и исследованием свойств новых наноразмерных материалов, перспективных для электроники, фотоники, сенсорики и солнечной энергетики. В состав кафедры входит 7 докторов и 11 кандидатов наук. Научные исследования с использованием оборудования ЦКП проводятся в 3 научных группах. Ниже представлены названия научных групп, их руководители и наиболее яркие результаты, полученные за последние несколько лет:

Научная группа «Наноэлектроника и нейроморфные системы»

Руководитель – д.ф.-м.н., профессор **Форш П. А.**

Некоторые научные результаты:

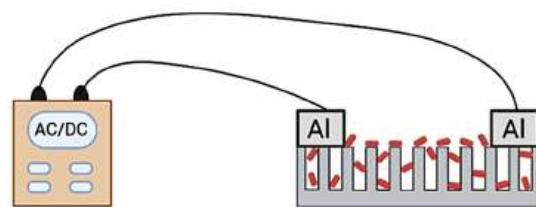
- Создана нейронная сеть на основе мемристоров из полимера поли-пара-ксилилена



(ППК) с наночастицами серебра, которая демонстрирует высокую точность классификации при выполнении задачи прогнозирования сердечных заболеваний.

Forsh P., Kashkarov P., Matsukatova A. et. al. Nano Research, v. 16, p. 3207–3214 , 2023 (IF=10,9).

- Показана возможность значительного увеличения чувствительности газовых сенсоров на основе нановолокон оксида кобальта при введении в структуру ионов цинка.



Ilin A., Forsh P., Kashkarov P. et. al. Crystal Growth and Design, v. 23, № 6, p. 4255-4261, 2023 (IF = 3,5).

- Предложен метод регистрации патогенных бактерий с помощью структур с нанонитями кремния посредством одновременного измерения проводимости и емкости на переменном сигнале.

Ilin A., Martyshov M., Forsh P. et. al. Biotechnology and Bioengineering, 122(3):1–7, 2025 (IF = 4,2).

Научная группа «Нанофотоника»

Руководитель – д.ф.-м.н., профессор **Головань Л.А.**

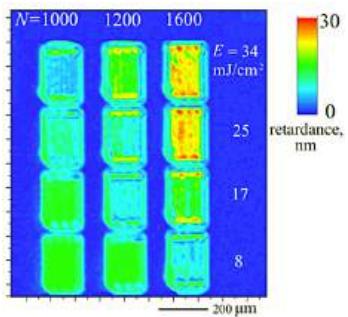
Некоторые научные результаты:

- Показана возможность создания методом лазерной абляции декорированных золотом кремниевых наночастиц для эффективного уничтожения раковых опухолей методом фотогипертермии.



Gurbatov S., Nesterov V., Zabotnov S. et. al. ACS Applied Nano Materials, v. 7, pp. 10779–10786, 2024 (IF = 5,3).

- Созданы прототипы компонентов оптики и фотонных интегральных схем на основе тонких пленок аморфного кремния и халькогенидных полупроводников, в которых в результате воздействия фемтосекундных лазерных импульсов формируется периодический рельеф и достигается оптическая и электрофизическая анизотропия.

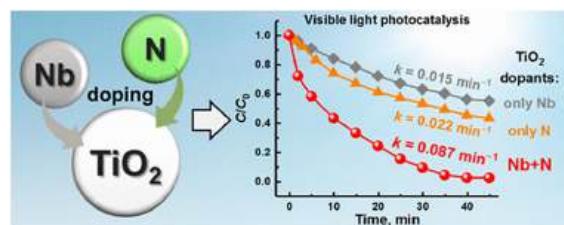


Golovan L., Kashkarov P., Zabotnov S. et. al. Materials, v. 15, 3499, 2022 (IF = 3,1); Zabotnov S., Golovan L., Kashkarov P. et. al. Materials, v. 15, 7612, 2022 (IF = 3,1).

- Предложен оригинальный метод диагностики процесса аккумулирования фотовозбужденных носителей заряда в полупроводниковых наноматериалах.

Kuranov D., Platonov V., Konstantinova E. et. al. Sensors and Actuators B, v. 396, p. 134618, 2023 (IF = 8).

- Созданы энергоэффективные фотокатализаторы на основеnanoоксидов металлов для очистки воздуха и контактных поверхностей от токсичных веществ, вирусов и бактерий, превосходящие по своим характеристикам мировые аналоги.



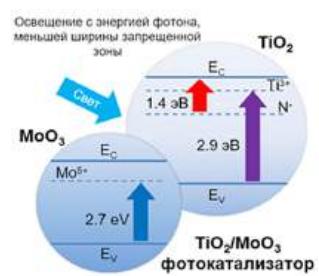
Konstantinova E., Zaitsev V., Pavlikov A. et. al. Biotechnology and Bioengineering, 122(3):1–7, 2025 (IF = 4,2).

**Научная группа
«Нанотехнологии для экологии»**
Руководитель – д.ф.-м.н., профессор
Константинова Е.А.

Некоторые научные результаты:

- Разработан уникальный метод определения ширины запрещенной зоны полупроводников и положения в ней энергетических уровней дефектов на основе спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

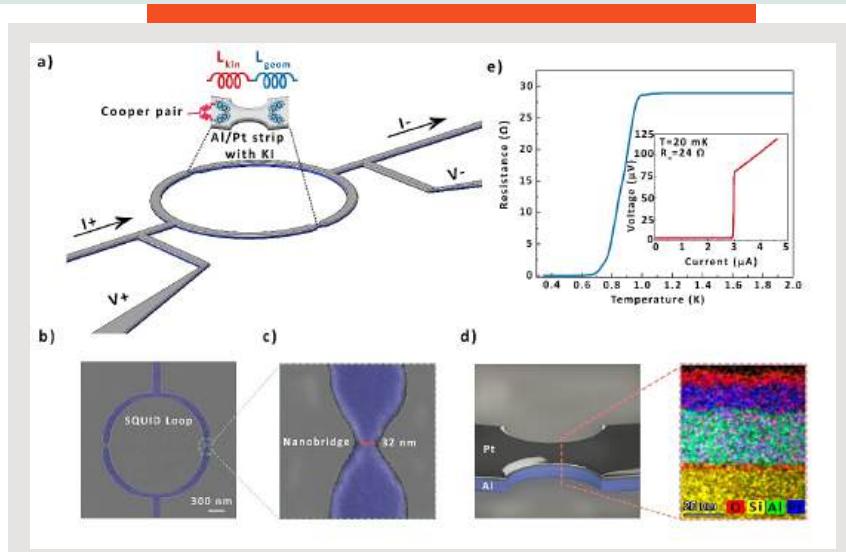
Ежегодно по результатам исследований сотрудники кафедры публикуют более 40 научных статей. За период 2022-2024 гг. было опубликовано 146 работ в ведущих российских и зарубежных научных журналах. Проводимые исследования активно поддерживаются дополнительным финансированием, выделяемым Российской научным фондом (РНФ), сторонними организациями (хоздоговора) и другими проектами и грантами. В 2025 г. на кафедре одновременно выполняется 5 проектов РНФ. Общий объем дополнительного финансирования, полученный в 2022-2024 гг. составляет 71,3 млн. руб.



Sagitova A., Markelova M., Konstantinova E. et. al. Sensors and Actuators B, v. 429, p. 137345, 2025 (IF = 8).

ПЛАТИНА ПРЕВРАЩАЕТ ТОНКУЮ ПЛЕНКУ АЛЮМИНИЯ В МАТЕРИАЛ С ГИГАНТСКОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Коллектив ученых МГУ при поддержке коллег из Сколтеха ESPCI Paris (Франция) обнаружил интересный эффект в тонкопленочных структурах алюминия с платиновым покрытием. Исследование раскрывает механизм формирования сверхвысокой кинетической индуктивности в наноструктурах, критически важных для квантовых вычислений.



Сверхпроводящий интерферометр на основе бислоя Al/Pt, зависимость сопротивления от температуры и ВАХ для такой структуры, микрофотография образца и результат структурного анализа, подтвердивший формирование гранулированного алюминия.

Для создания масштабируемых квантовых процессоров необходимы настраиваемые связи между кубитами. Команда разработала высокодобротные перестраиваемые резонаторы с интегрированными в их состав сверхпроводящими интерферометрами (см. рис. 1a – c), где сила связи регулируется разностью частот кубита и резонатора. Однако эксперименты показали: индуктивность ключевых для тонкой настройки структур превышает расчетную в 1000 раз 5–10 нГн против ожидаемых 5.7 пГн).

I. A. Nazhestkin, S. V. Bakurskiy, A. A. Neilo, I. E. Tarasova, N. G. Ismailov, V. L. Gurtovoi, S. V. Egorov, S. A. Lisitsyn, V. S. Stolyarov, V. N. Antonov, V. V. Ryazanov, M. Y. Kupriyanov, I. I. Soloviev, N. V. Kleenov, D. S. Yakovlev. "High Kinetic Inductance in Platinum-Coated Aluminum Nanobridge Interferometers". Advanced Engineering Materials. 27, 5, (2025), 2402385.

Первоначальные предположения связывали аномалию с кинетической индуктивностью (обусловленной наличием важной в таких тонких пленках кинетической энергией носителей заряда). Но стандартные модели для используемого в качестве основного сверхпроводящего материала алюминия с относительно малым удельным сопротивлением не объясняли наблюдаемых величин.

Структурный анализ (см. рис. 1d) выявил неожиданный эффект: платиновое покрытие, предназначенное для подавления гистерезиса на вольт-амперных характеристиках (ВАХ) при криогенных температурах, трансформировало алюминий в гранулированную фазу (grAl). Именно гранулированный алюминий, известный рекордной кинетической индуктивностью, стал причиной аномалии. Теоретическое моделирование на основе уравнений Узадела позволило наглядно объяснить, как из-за сильного эффекта близости ток концентрируется в тонком слое, а его кинетическая индуктивность резко растет с температурой.

Обнаруженный эффект позволяет создать относительно простые перестраиваемые элементы для квантовых процессоров без сложных внешних схем, но также и открывает путь к новому классу детекторов фотонов и параметрических усилителей на структурах с бислой сверхпроводник/нормальный металл. «Мы планировали улучшить теплоотвод, а получили материал с революционными свойствами; теперь гранулированный Al/Pt — кандидат для использования в посткремниевой квантовой электронике», — комментирует проф. Николай Кленов, один из ведущих авторов статьи.

Разработаны новые тонкопленочные электроды для интерфейсов мозг – компьютер

Учёные из трёх подразделений МГУ — Института искусственного интеллекта, физического факультета и Института физико-химической биологии им. Белозерского — предложили революционный подход, который позволит ускорить развитие интерфейсов мозг – компьютер (BCI), нейропротезов и исследований нервной системы. Вместо традиционной литографии они применили лазерную обработку для создания тонкопленочных электродов с проводящим слоем из tantalа и платины.

Тонкопленочные электроды — это перспективный подход к разработке безопасных и стабильных нейроинтерфейсов. В исследовании представлен метод изготовления тонкопленочных электродов, позволяющий дешевле и быстрее создавать прототипы по сравнению с традиционными подходами изготовления подобных электродов.

«Всего лишь за 2 года работы лаборатории мы прошли путь от разработки дизайна наших первых тонкопленочных электродов до тестирования биосовместимости готовых прототипов в длительных экспериментах. Результаты этого пройденного пути и вошли в опубликованную статью», — говорит Василий Попков, руководитель лаборатории разработки инвазивных нейроинтерфейсов ИИИ МГУ.

Также в этом исследовании был протестирован tantal в качестве основного проводящего слоя электрода. Тантал — экономически эффективная и надежная альтернатива традиционно использующимся благородным металлам.

Технология уже апробирована в проекте «Пифия», где мозг крысы впервые подключили к ИИ. Эксперимент показал минимальное повреждение тканей после 6 месяцев имплантации. Ученые тщательно оценили функциональность и безопасность электродов, изготовленных с использованием предложенного в статье метода. Было обнаружено, что электроды безопасны для окружающих тканей даже при их долгосрочном применении. Результаты работы лаборатории — серьезный шаг на пути интеграции искусственного интеллекта и мозга человека с помощью имплантируемых нейроинтерфейсов.

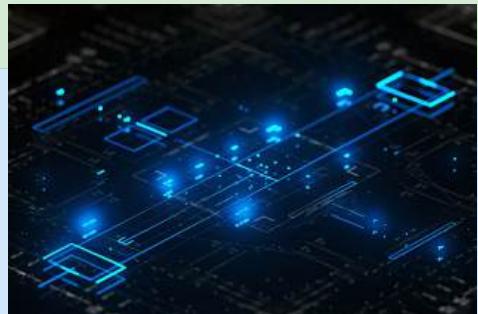
В перспективе этот метод может стать стандартом для нейропротезирования и восстановления двигательных функций, а в ближайшие 5-10 лет мы можем увидеть взрывной рост исследований нейроинтерфейсов, приближаясь к эпохе тесной интеграции человека и технологий.



E. A. Kelm, C. I. Makievskaia, A. A. Brezgunova, N. V. Andrianova, G. M. Naumova, V. K. Laurinavichyute, M. E. Solovyova, E. A. Bolotov, E. I. Bochkov, A. K. Zeinalova, O. S. Gancharova, E. Y. Plotnikov, P. V. Evdokimov, M. A. Kik, A. K. Petrov, A. A. Grunin, M. A. Lebedev, V. A. Popkov. "Fast Prototyping of Thin-Film Polyimide Electrodes for Neural Interfacing: Tantalum Metallization as an Alternative to Noble Metals". ACS Applied Electronic Materials, 7/Issue 11, Article May 26, 2025.

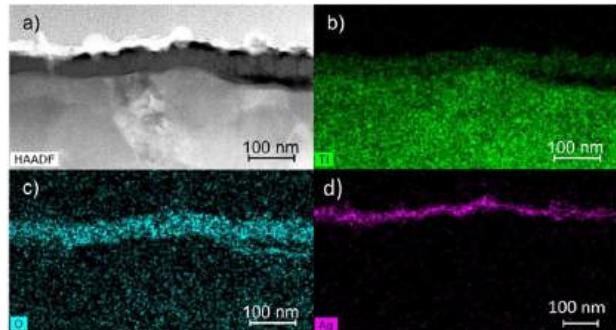
Улучшение характеристик мемристоров с помощью альфа-излучения

Ученые физического факультета и Института ядерной физики им. Д. В. Скobelевы совместно с коллегами из Курчатовского института разработали метод улучшения характеристик мемристоров на основе оксидов металлов при помощи облучения альфа-частицами. Работа выполнена в рамках деятельности Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина».

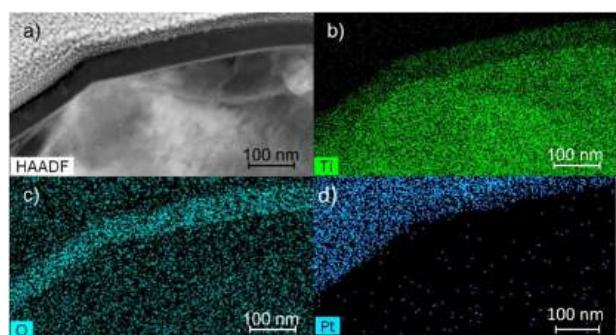


Мемристор — это переменный резистор с эффектом памяти: его сопротивление зависит от истории проходившего через него электрического тока. Такие устройства играют ключевую роль в разработке энергоэффективных запоминающих систем и так называемых нейроморфных вычислений — технологий, имитирующих работу человеческого мозга. Мемристоры можно «заставить» одновременно хранить и обрабатывать информацию, что позволяет использовать их в качестве основного строительного блока для новых устройств искусственного интеллекта. Однако для практического внедрения мемристоров в устройства требуется решить несколько задач: обеспечить стабильную работу на протяжении многих циклов переключений, увеличить количество стационарных значений сопротивления (состояний мемристора), а также обеспечить создание мемристоров с заранее заданным распределением этих состояний. Под стационарным понимается состояние мемристора с определенным сопротивлением, которое он способен удерживать в течение длительного времени.

Для решения этих задач сотрудниками МГУ был предложен метод управляемого дефектообразования с помощью радиационного воздействия на структуру мемристора. Было продемонстрировано, что воздействие альфа-излучения на мемристоры на основе TiO_x/Ti приводит к значительному улучшению их характеристик. После облучения количество устойчивых резистивных состояний увеличилось почти в три раза, а отношение сопротивлений в высоко- и низкоомном состоянии (ROFF/RON) — более чем в два раза. Кроме того, увеличилась и «выносливость» устройства: число циклов переключений возросло в полтора раза.



Изображения до бомбардировки: ПЭМ структуры TiO_x (а) и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия атомов титана (б), кислорода (в) и серебра (г).



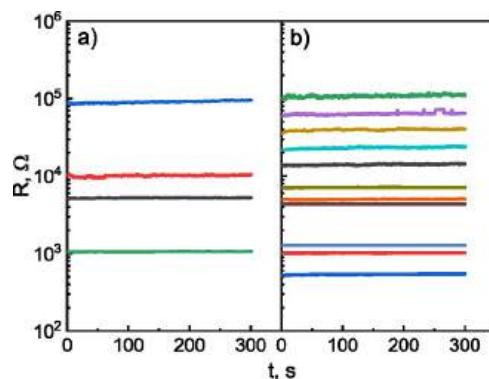
Изображения после бомбардировки: (а) ПЭМ структуры TiO_x и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия атомов титана (б), кислорода (в) и платины (г).

Исследователи сделали вывод, что облучение альфа-частицами приводит к образованию дополнительных кислородных вакансий в слое оксида титана — дефектов, которые служат «затравками» для формирования проводящих каналов при протекании тока через образец. Важно, что процесс

управляем: дефекты создаются локально и дозированно, в отличие от хаотичного распределения в обычных образцах. Это подтверждено как прямыми измерениями просвечивающей электронной микроскопией с элементным анализом, так и компьютерным моделированием методом Монте-Карло. Такой подход, позволяющий точно контролировать создание дефектов устройства, называется инженерией дефектов.

«Мы использовали изотоп плутония-239, излучающий альфа-частицы с необходимой плотностью потока и энергией около 5 МэВ, чтобы модифицировать структуру оксида титана, создавая в ней порядка 10^{16} вакансий кислорода на 1 см³, — поясняет старший научный сотрудник лаборатории ионно-пучковых нанотехнологий НИИЯФ МГУ Юрий Балакшин. — Моделирование показало, что даже сравнительно небольшая концентрация образованных вакансий может кардинально изменить параметры мемристора».

Полученные результаты особенно важны для развития нейроморфных систем — вычислительных архитектур, имитирующих работу головного мозга. «Чем больше стабильных состояний может хранить мемристор, тем выше его "пластичность" — способность к обучению, аналогичная синаптической пластичности в нейронах, — отмечает автор работы, доцент кафедры общей физики и наноэлектроники физического факультета МГУ Александр Ильин. — Это делает такие устройства перспективными для реализации многослойных нейросетей на аппаратном уровне».



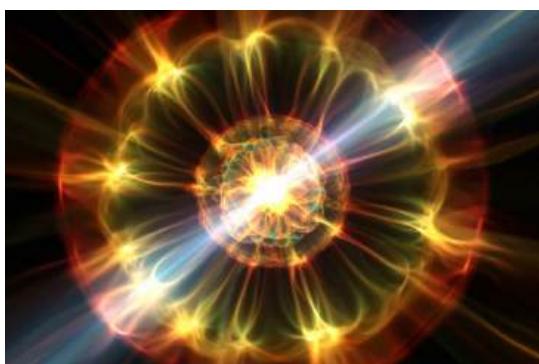
Стабильность резистивных состояний структуры Au/TiO_x/Ti во времени: (a) до облучения и (б) после облучения.

Кроме того, предложенный метод радиационного улучшения может быть применён в разработке энергоэффективных запоминающих и вычислительных элементов нового поколения. Управляемое формирование дефектов открывает путь к тонкой настройке характеристик мемристоров уже после их изготовления, без необходимости изменения состава материалов или конструкции устройства. Это существенно расширяет технологические возможности при создании гибких и адаптивных электронных систем.

A. S. Ilin, P. A. Forsh, Yu. V. Balakshin, B. S. Shvetsov, D. V. Gusev, D. M. Rusakov, I. I. Zadiriev, E. V. Kukueva, M. N. Martyshov, A. V. Emelyanov, A. A. Shemukhin, P. K. Kashkarov.

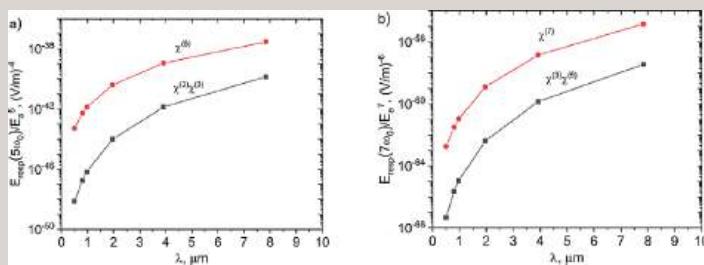
"Improvement of TiO₂ memristor properties by α -particles irradiation Available". Appl. Phys. Lett. **126**, 143508 (2025).

Новый способ расчета нелинейной восприимчивости газовых сред



Предложен новый квантово-механический способ аналитического расчета нелинейной восприимчивости произвольного порядка атомарного газа. Для этого был применен уникальный непертурбативный теоретический подход к расчету отклика одиночного атома на воздействие интенсивных лазерных полей и оригинальный метод расчета общего отклика среды.

Результаты исследования, выполненного при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-22-00188).



Эффективность генерации 5-й гармоники (а) и 7-й гармоники (б) для разных каналов: прямого (верхние кривые) канала и каскадного (нижние кривые).

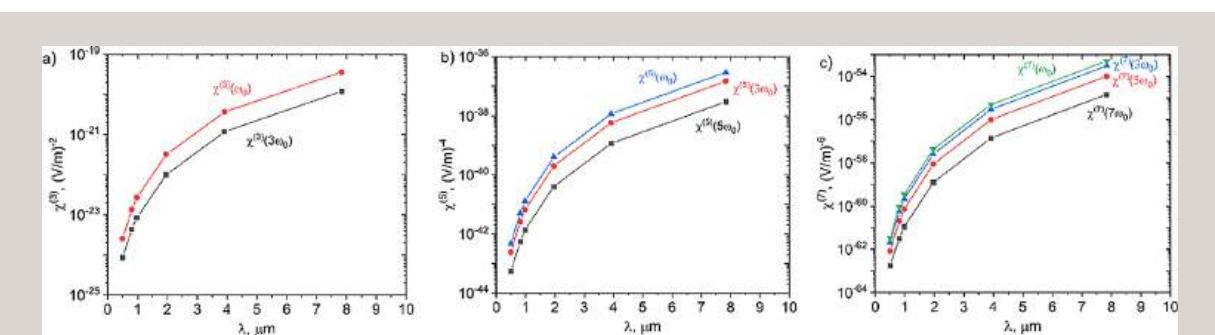
При воздействии лазерного излучения в среде возникает вектор поляризации, который нелинейным образом зависит от интенсивности света. Результатом такого воздействия является множество нелинейно-оптических эффектов: генерация гармоник и суперконтинуума, филаментационное распространение излучения в веществе и др. Для успешного и эффективного описания таких явлений необходимо знание тензоров нелинейной восприимчивости среды, с помощью которых обычно анализируется индуцированный вектор поляризации. Как правило, конкретные значения тензоров нелинейной восприимчивости среды определяются феноменологически путем сравнения экспериментальных явлений с расчетами в рамках теоретических моделей либо рассчитываются с помощью простых моделей, требующих дополнительного определения параметров вещества.

«Ключевым элементом расчета является “умное” суммирование генерируемых векторов поляризации от всех атомов, которое позволяет рассчитать значение поля в конкретной точке среды. Этот трюк с суммированием не сложнее школьной задачи олимпиадного уровня», — говорит ассистент кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ Кирилл Львов.

Важным следствием полученных аналитических формул для расчета нелинейной восприимчивости 2-го, 3-го, 4-го, 5-го и более высоких порядков является их удобный анализ.

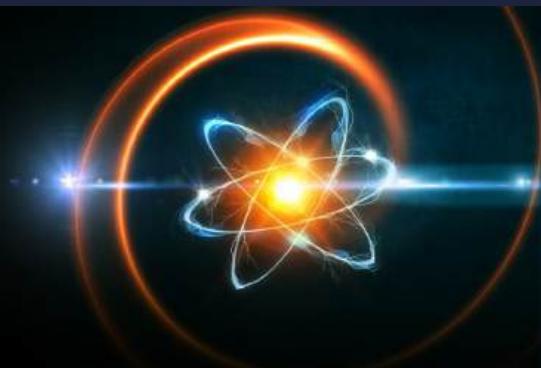
«Сравнивая значения нелинейных восприимчивостей различных порядков, мы можем определить область интенсивности лазерного излучения, при которой стандартное разложение нелинейной поляризации среды в ряд по электрическому полю становится некорректным, а также исследовать различные каналы генерации излучения на определенных длинах волн. Кроме того, разработанный нами способ расчета позволяет предложить метод определения параметров многокомпонентных сред с высокими значениями нелинейностей, что открывает новые возможности по генерации когерентного излучения в различных спектральных диапазонах с высокой эффективностью», — подчеркивает профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ Сергей Стремоухов.

K. Lvov and S. Stremoukhov. "Microscopic nature of macroscopic nonlinearity: analytical calculation of gas susceptibilities". Optics Letters. **50**, Issue 11, pp. 3740–3743. (2025).



Нелинейные восприимчивости 3-го порядка (а), 5-го порядка (б), 7-го порядка (в) для аргона при давлении 1 бар и температуре 300 К.

Ускорение пучков электронов с высокой точностью



Ученые кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ представили революционный подход к управлению энергией электронных пучков в лазерно-плазменных ускорителях. В работе описана новая технология, позволяющая динамически перестраивать энергию электронов с высокой точностью. Открытие поможет в медицине и промышленности.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 22-79-10087 на оборудование, приобретенное при поддержке национального проекта «Наука и университеты».

Электронные пучки высокой энергии используются в медицине (например, для лучевой терапии), в науке (в синхротронах и рентгеновских лазерах на свободных электронах) и в промышленности. Однако традиционные ускорители, основанные на радиочастотных резонаторах, занимают огромные пространства (как, например, трехкилометровый линейный ускоритель в Стэнфорде).

Решением этой проблемы являются новые лазерно-плазменные ускорители электронов, позволяющие достигать мегаэлектронвольтных энергий электронов в плазме длиной около сотни микрометров, а энергий в единицы гигаэлектронвольт — в плазменном канале длиной в несколько сантиметров. Такая компактность связана с тем, что плазма как ионизированная среда может выдерживать огромные электрические поля — в тысячи раз больше, чем традиционные ускорители. Такие поля создаются сверхкоротким лазерным импульсом: мощный фемтосекундный лазерный импульс, распространяясь сквозь плазму, «расталкивает» электроны, создавая волну электронной плотности (как корабль, оставляющий кильватерный след на воде). В этой волне возникают сильные электрические поля (до 100 ГВ/м), которые и разгоняют электроны до релятивистских скоростей.

«Это как серфинг электронов: лазер создаёт волну плазмы, а электроны ловят её, разгоняясь до релятивистских скоростей», — добавила студентка магистратуры физического факультета МГУ Екатерина Стародубцева.

Ученые экспериментально реализовали и исследовали в численном эксперименте оригинальный способ управления длиной ускорения электронов в плазме — оказалось, что можно резко прерывать такой процесс. Для этого используется дополнительный лазерный импульс для создания ударной волны в газовой струе, перпендикулярный направлению ускорения. За фронтом ударной волны концентрация плазмы резко падает, и процесс ускорения прекращается. При этом удается сформировать электронный импульс с малой угловой расходностью и узким энергетическим спектром, а также избежать ухудшения качества пучка из-за эффекта дефазировки.

«Наш метод впервые позволяет не просто ускорять электроны, а точно "настраивать" их энергию прямо в процессе эксперимента. Это открывает путь к созданию принципиально новых регулируемых источников частиц», — прокомментировал сотрудник кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ Иван Цымбалов.



Эксперименты проведены на компактном тегравиттном фемтосекундном лазерном комплексе, функционирующем в Корпусе нелинейной оптики МГУ. Авторами работы была впервые продемонстрирована экспериментальная реализация перестраиваемого по энергии электронного пучка в диапазоне от 6 до 12 МэВ с узким спектром и малой угловой расходностью. Численное моде-



I. Tsymbalov, D. Gorlova, K. Ivanov, E. Starodubtseva, R. Volkov, I. Tsygvintsev, Yu. Kochetkov, Ph. Korneev, A. Polonski et al. "All-Optical Blast-Wave Control of Laser Wakefield Acceleration in a Near-Critical Plasma". Phys. Rev. Lett. **134**, 025101, 2025.

лирование методом крупных частиц позволило выявить и объяснить ключевые эффекты, определяющие энергетический и угловой спектры электронов. Работа выполнена в тесной кооперации с учеными НИЯУ МИФИ и ИПМ РАН.

Новая технология открывает совершенно новые перспективы для: медицины (адаптивная лучевая терапия с точной подстройкой под глубину опухоли); рентгеновских источников (генерация монохроматического излучения с регулируемой энергией); фемтосекундной дифракции (изучение сверхбыстрых процессов в материалах с переменной энергией зондирования).

«Разработанный нами метод управления электронным пучком может применяться не только для практических задач, использующих настольные

лазерные системы, но и для фундаментальных исследований на петаваттных установках (например, установка PEARL ИПФ РАН) и установках класса мегасайенс (например, XCELS — Exawatt Center for Extreme Light Studies, планируемый к созданию в Национальном центре физики и математики в г. Сарове)», — отметил профессор кафедры общей физики и волновых процессов физфака МГУ Андрей Савельев-Трофимов.



В дальнейшие планы исследований входит масштабирование данной технологии для реализации перестраивания по энергии пучка электронов в существенно большем диапазоне — в единицы-десятки МэВ, а также улучшение качества пучка — будет достигнута хорошая коллимация пучка и достаточно большой заряд, что является важным шагом к интеграции системы в промышленное и медицинское оборудование.

Новые вязкоупругие жидкости, переходящие в состояние геля при нагревании

Сотрудники кафедры физики полимеров и кристаллов аспирант Хао Уи, доцент Молчанов Вячеслав Сергеевич и профессор Филиппова Ольга Евгеньевна в сотрудничестве с коллегами из Курчатовского Института впервые получили жидкости с уникальными вязкоупругими свойствами и исследовали перестроение сетчатой структуры, образованной нанокристаллами хитина (полимерными нанокристаллами природного происхождения) и самособирающимися полимероподобными мицеллами поверхностно-активного вещества (ПАВ). Такие вязкоупругие жидкости перспективны для использования в технологии повышения нефтеотдачи нефтеносных пластов в высокотемпературных скважинах, где использование традиционных жидкостей на основе мицелл ПАВ невозможно из-за низкой вязкости.

Одним из направлений, которое активно развивается в лаборатории, является создание «умных» вязкоупругих жидкостей для технологий интенсификации добычи нефти. Такие жидкости необходимы, в частности, для создания трещин в нефтеносном пласте и заполнения их искусственной средой с высокой проницаемостью по отношению к нефти, что позволяет увеличить площадь сбора нефти и извлечь нефть из «карманов», удаленных от добывающей скважины. Такая искусственная среда состоит из частиц проппанта (металлических или керамических шариков), взвешенных в высоковязкой

среде. Высокая вязкость среды необходима для предотвращения оседания проппанта. Используемые в настоящее время загустители на основе червеобразных мицелл ПАВ «работают» только при невысоких температурах. При нагревании вязкость этих жидкостей падает, что ограничивает их применение в высокотемпературных скважинах.

В лаборатории были разработаны жидкости на основе червеобразных мицелл ПАВ и полимерных нанокристаллов хитина, которые при нагревании не только не теряют вязкость, но и становятся еще



Доцент
Молчанов
Вячеслав Сергеевич.



Профессор
Филиппова
Ольга Евгеньевна.



Аспирант Xao Yu.

более вязкими. Их вязкость при 600°C оказывается на 5 порядков выше, чем вязкость раствора мицелл без добавления нанокристаллов.

Такой значительный эффект был достигнут за счет введения в растворы переплетенных червеобразных мицелл ПАВ нанокристаллов хитина — доступного природного материала, получаемого из промышленных отходов. Ранее такие нанокристаллы не использовались как компоненты вязкоупругих жидкостей на основе червеобразных мицелл ПАВ. Наибольший эффект на вязкость наблюдается, когда нанокристаллы хитина, имеющие форму наностержней, образуют друг с другом переколяционную сетку внутри сетки из переплетенных червеобразных мицелл ПАВ. В результате образуется двойная сетчатая структура. Для изучения структуры образцов были использованы современные методы исследования самособирающихся систем в водной среде: криогенная электронная микроскопия и криогенная электронная томография. Последняя позволяет визуализировать трехмерную структуру «мягких» объектов. Эти эксперименты были выполнены в сотрудничестве с коллегами из Курчатовского Института. Они показали, что нанокристаллы хитина формируют сетку не из одиночных нанокристаллов, а из их фибрillоподобных агрегатов. Длина таких агрегатов достигает 3000 нм, а толщина 250 нм, при этом размер одиночных нанокристаллов составляет 200 нм в длину и 10 нм в ширину. В результате именно фибрillоподобные агрегаты нанокристаллов собираются в трехмер-

ную сетку, что делает ее более прочной и увеличивает вязкоупругие свойства растворов червеобразных мицелл ПАВ. При нагревании происходит рост фибрillоподобных агрегатов нанокристаллов в длину и толщину за счет усиления взаимодействия между нанокристаллами хитина, что и является причиной наблюдался необычного эффекта роста вязкости с температурой. Кроме того, криогенная электронная томография позволила обнаружить новый тип сшивок между мицеллами и нанокристаллами, благодаря чему сетки стабилизируются и образцы не расслаиваются.

Результаты работы в первую очередь важны как вклад в понимание фундаментальных закономерностей взаимодействия между органическими полимерными наночастицами и червеобразными мицеллами ПАВ в водной среде. С практической точки зрения, полученные в работе вязкоупругие жидкости могут использоваться для технологии повышения нефтеотдачи нефтеносных пластов в высокотемпературных скважинах.

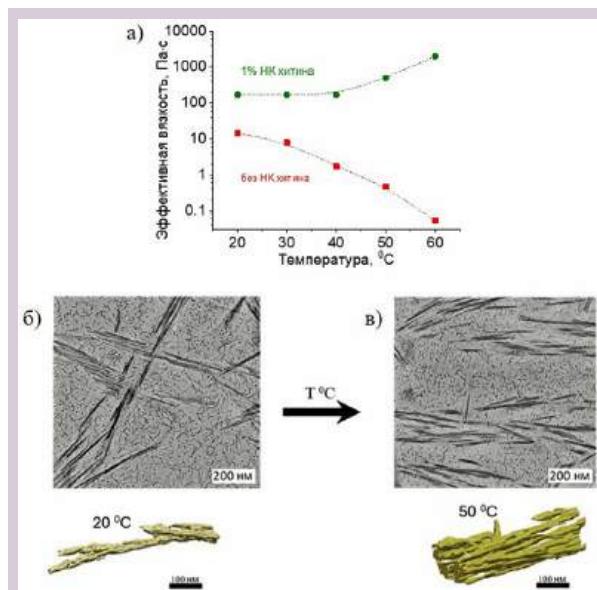
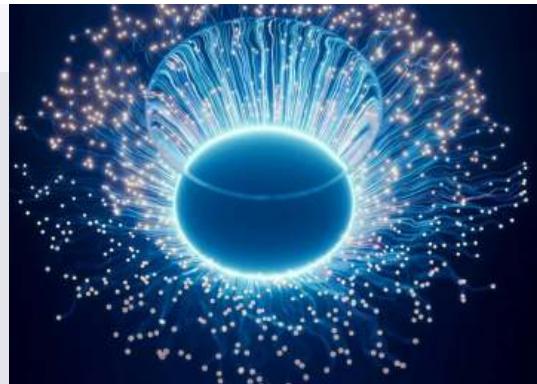


Рис. 1. а) Вязкость при малых скоростях течения как функция температуры для растворов червеобразных мицелл ПАВ (квадраты) и для суспензии червеобразных мицелл ПАВ с добавлением нанокристаллов хитина (круги). б), в) Изображения структуры образцов и изображения нанокристаллов хитина, полученные криоэлектронной томографией той же суспензии при 20°C (б) и 50°C (в).

Hao W., Molchanov V. S., Chesnokov Yu. M., Istomina A. P., Kharitonova E. P., Philippova O. E. "Self-assembled double networks of chitin nanocrystals and wormlike surfactant micelles exhibiting heat-induced viscosity and elasticity enhancement". J. of Molecular Liquids. (2025). 426, 127318.

Перспективный подход к созданию квантового интерфейса для передачи данных на основе сверхпроводящих структур, работающих в режиме кубитов

Ученые МГУ с коллегами предложили перспективный подход к созданию квантового интерфейса для передачи данных на основе сверхпроводящих структур, работающих в режиме кубитов — базовых элементов квантового компьютера. Сверхпроводящие структуры способны работать в двух режимах: стационарном (когда они хранят и обрабатывают информацию) и в режиме так называемых «летающих» кубитов, передающих данные по цепочке. Авторы смоделировали систему управления такими кубитами с помощью импульсов магнитного потока, что позволило избежать потери информации при передаче между элементами. Такой подход открывает путь к созданию компактных и энергоэффективных квантовых процессоров для задач квантовой связи, искусственного интеллекта и сложных вычислений, технически недоступных для обычных компьютеров. Исследования поддержаны грантом Российской научного фонда (РНФ).



Квантовые компьютеры позволяют решать задачи, недоступные даже самым мощным классическим суперкомпьютерам — от моделирования сложных молекул до оптимизации масштабных логистических систем. Однако их главным ограничением остается проблема квантовой связи: кубиты крайне чувствительны к внешним воздействиям и легко теряют свои свойства (в частности, способность находиться одновременно в двух состояниях — условно «0» и «1»).

Сегодня для передачи квантовой информации используют микроволновые сверхпроводниковые резонаторы — структуры, которые помогают кубитам «общаться» с помощью электромагнитных волн. Такие системы оказываются технически довольно сложными, и их не удается миниатюризировать. Кроме

того, при увеличении числа кубитов в системе возникают перекрестные помехи — ситуации, когда сигналы от соседних резонаторов накладываются друг на друга, искажая передаваемую информацию. Это приводит к ошибкам в квантовых операциях и требует сложной индивидуальной настройки каждого элемента, что делает систему практически не масштабируемой. Поэтому ученые ищут другие технологии для управления кубитами и передачи квантовых состояний.

Исследователи из МГУ имени М. В. Ломоносова и ННГУ имени Н. И. Лобачевского смоделировали гибридную систему на основе сверхпроводящих элементов — адиабатических квантовых параметронов — для управления квантовыми состояниями. Система на основе

адиабатической ячейки (параметрона) представляет собой устройство, по которому течет ток, когда на него действует внешнее магнитное поле. При охлаждении до криогенных температур (близких к абсолютному нулю) система функционирует в квантовом режиме. В этом случае ток может устойчиво циркулировать либо по часовой стрелке (условно квантовое состояние «0»), либо против (квантовое состояние «1»). Кроме того, каждый элемент системы (параметрон) может находиться в суперпозиции обоих состояний одновременно — это и позволяет использовать их в качестве кубитов. Эти стационарные состояния могут сохраняться довольно долго, а потому использоваться для хранения квантовой информации.

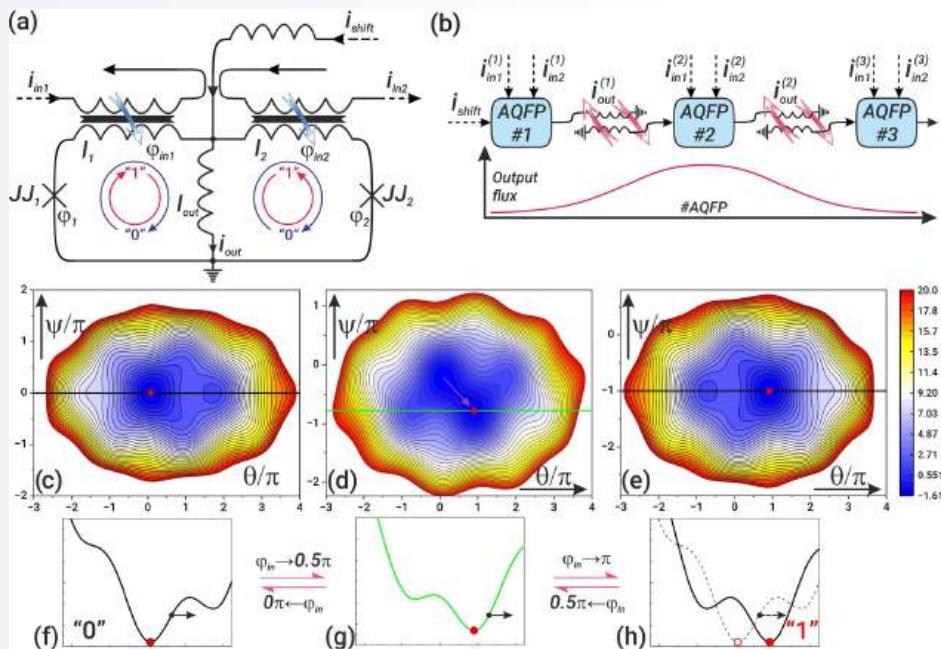
Однако элементы системы способны не только хранить, но и передавать информацию. В этом случае адиабатический квантовый параметрон переходит из стационарного состояния с постоянным протекающим током в режим так называемого «летающего» кубита, передающего данные. Это происходит благодаря тому, что вместо статического (постоянного) тока между элементами возникает динамическая волна переключений, последовательно распространяющаяся по цепочке. Каждое такое переключение приводит к согласованному изменению направления тока в соседних элементах — от «0» к «1» или наоборот. В результате всю систему можно сравнить с падающим домино — каждая следующая фишка при падении «повторяет» состояние предыдущей. При этом сам передаваемый по такой цепочке импульс сохраняет свою форму и энергию, что делает передачу информации устойчивой к помехам.

Ключевое преимущество этого подхода заключается в том, что всего один физический процесс — циркуляция сверхпроводящего тока под действием магнитного поля — обеспечивает как стационарное хранение, так и передачу квантовых состояний. Переход между режимами при этом осуществляется через точное управление внешним магнитным полем. При этом адиабатические квантовые параметроны имеют величину в десятки или сотни микрометров, благодаря чему оказываются миниатюрнее, чем стандартные микроволновые резонаторы, размеры которых варьируются от сотен микрометров до миллиметров.

«Разработанная энергоэффективная и компактная система с «летающими» кубитами ускорит переход к практическому использованию квантовых технологий. Она поможет снизить стоимость и упростить масштабирование вычислительных систем, что от-

крывает путь к компактным решениям для передачи и обработки квантовой информации. Кроме того, результаты исследования могут быть полезны при создании квантово-нейроморфных гибридных вычислительных и телекоммуникационных систем, где для расчетов используется мощность как нейроморфных (на основе нейросетей), так и квантовых подходов к обработке информации», — рассказывает руководитель проекта, поддержанного грантом РНФ, Марина Бастракова, доцент, зав. лабораторией ННГУ имени Н. И. Лобачевского.

M. V. Bastrakova, D. S. Pashin, P. V. Pikunov, I. I. Soloviev, A. E. Schegolev, N. V. Klenov. «Josephson “flying qubit” revival: Flux-based control optimization». Chaos, Solitons & Fractals. 196, 116353, July 2025.



Схематическое изображение «летающего» кубита и принцип работы предложенной системы.

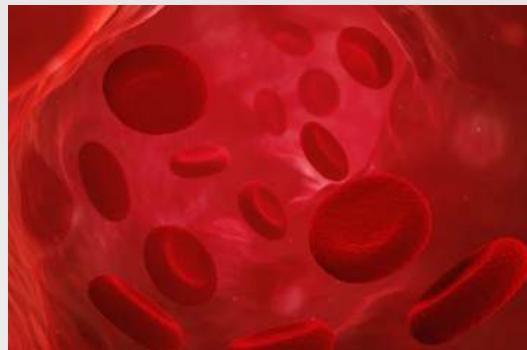
Усовершенствование метода оценки функции тромбоцитов

Ученые из МГУ с коллегами изучили преимущества метода малоуглового рассеяния частиц для оценки функции тромбоцитов. Полученные результаты могут лежать в основу внедрения метода в клиническую практику. Исследования поддержаны Российским научным фондом, а также фондом «Наука – детям».

Тромбоциты — это форменные элементы крови, которые отвечают за остановку кровотечений. Задачей этих клеток является формирование пробки-агрегата и адгезия к месту повреждения сосуда. Если тромбоциты гиперактивны или присутствуют в крови в повышенной концентрации, то риск формирования тромба увеличивается. Наоборот, снижение количества или функциональной активности тромбоцитов может провоцировать склонность к кровотечениям. Для клинических исследований необходим метод, который позволял бы давать полноценную оценку функции тромбоцитов как здоровых добровольцев, так и пациентов любого возраста. Способы анализа статуса тромбоцитов представлены широко (агрегометрия по Борну, проточная цитометрия и т. д.), однако ни один из них не свободен от недостатков, поэтому сейчас идет активная разработка новых более совершенных методик.

Одной из таких методик потенциально может стать метод малоуглового рассеяния. Метод устроен следующим образом: в кювету помещается суспензия частиц, которая постоянно перемешивается, что обеспечивает имитацию условий сдвига в потоке крови. На кювету направляется луч света, испущенный лазером, рассеянное излучение попадает на массив фотодетекторов за кюветой — таким образом получается набор значений сигнала интенсивности света для разных углов рассеяния. Сигнал конвертируется аналого-цифровым преобразователем и передается на компьютер. На экране монитора наблюдают кривые интенсивности светорассеяния в зависимости от времени для углов от 0° до 12° с шагом в $0,25^\circ$.

Специальное программное обеспечение обрабатывает эти данные и вычисляет распределение размеров частиц в суспензии. Метод малоуглового рассеяния может применяться для задач нефте-



химической, химической и пищевой промышленности, а также в других областях. Применительно к биофизическим задачам, в частности к анализу тромбоцитов, метод впервые был применен в 2012 году научной группой из Института эволюционной физиологии и биохимии имени И. М. Сеченова РАН. Группа исследователей под руководством Игоря Миндукшева показала, что по зависимости сигнала интенсивности светорассеяния от времени можно судить об агрегации тромбоцитов в динамике.

«Наша основная цель состояла в сравнении метода малоуглового рассеяния с другими методами оценки функции тромбоцитов, а также в определении оптимальных параметров для его использования. Есть множество параметров, от которых будет зависеть чувствительность метода, и определение рабочих диапазонов — большой шаг в сторону стандартизации метода», — рассказала выпускница аспирантуры кафедры медицинской физики физического факультета МГУ, младший научный сотрудник Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН Галина Свидельская.

Впервые была исследована зависимость параметров эксперимента от времени, которое проходило с момента получения образца (богатой тромбоцитами плазмы) до измерения. Оказалось, что даже в течение двух часов после забора крови тромбоциты остаются функциональными, то есть продолжают агрегировать при индуцировании этого процесса.

Следующий вопрос, которым задались учёные, — какое количество плазмы человека нужно добавить в измерительную кювету, чтобы парамет-

тры агрегации были достоверными и клинически значимыми. Было установлено, что зависимость выходит на насыщение при больших значениях концентрации плазмы. Таким образом, удалось определить оптимальный диапазон концентрации тромбоцитов для дальнейшей работы.

Кроме того, были проанализированы тромбоциты у здоровых взрослых, здоровых детей и педиатрических пациентов (детей с отклонениями от нормы). Оказалось, что метод позволяет обнаружить серьезные отклонения от нормы (например, слабую агрегацию тромбоцитов при тромбастении Гланцимана). Если же у пациентов имеются болезни, которые не связаны напрямую с агрегацией, то отличить их от здоровых пациентов с помощью данного метода затруднительно.

Наконец, было проведено со-поставление метода малоуглового рассеяния с используемым в клинике методом световой трансмиссионной агрегометрии. Оказалось, что коэффициенты корреляции лежат в диапазоне от 0.5 до 0.6 в когорте здоровых добровольцев, что означает умеренное согласие в показаниях разных методов. При этом на пациентах с отклонениями показания этих методов сходятся уже не так хорошо.

Метод световой трансмиссионной агрегометрии для оценки функции тромбоцитов в клинических исследованиях — «золотой стандарт». При равных показателях определения наличия или отсутствия болезни у метода малоуглового рассеяния есть два преимущества по сравнению с агрегометрией. Первый — возможность применения для людей с низкой концентрацией тромбоцитов. Второй — для метода малоуглового рассеяния требуется небольшое количество образца. Это может быть удобно в педиатрии, когда у детей сложно взять большой объем крови для анализа.

«Мы планируем продолжать развивать и тестировать метод. Сейчас мы ведем проект по анализу функции тромбоцитов в тромбоконцентратах. Например, при массивных кровотечениях (при травмах, хирургических осложнениях, родах и т.д.) переливание компонентов крови может быть частью комплексной терапии для поддержания гемостаза. Дискуссии о том, какие условия хранения образцов концентрата тромбоцитов оптимальны, не утихают. Метод малоуглового рассеяния открывает новые перспективы в оценке и подборе условий хранения тромбоконцентрата», — резюмировала Галина Свидельская.

G.S. Svidelskaya, V.P. Sorkina, A.A. Ignatova, E.A. Ponomarenko, A.V. Poletaev, E.A. Seregina, V.A. Manuvera, P.A. Zharkov, I.V. Mindukshev, S. Gambaryan & M.A. Pantaleev. "Assay variables and early clinical evaluation of low-angle light scattering for platelet function analysis". International Journal of Hematology Aims and scope Submit manuscript. **120**, 717–724, (2024).

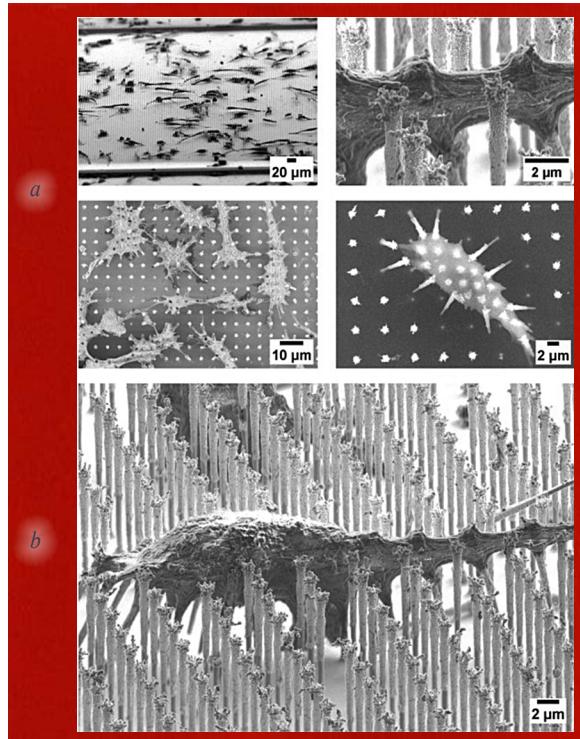
Г.С. Свидельская, Е.Н. Брускова, А.А. Игнатова, А.А. Филькова, П.А. Жарков, И.В. Миндукшев, С.П. Гамбарян, М.А. Пантелеев. "Исследование коллаген-индуцированной агрегации тромбоцитов методом малоуглового светорассеяния". Биофизика и медицинская физика. ВМУ. Серия 3. Физика. Астрономия. **80** (2), 2520702 (2025).



Система доставки лекарств и мониторинга клеток

Ученые физического факультета, факультета фундаментальной медицины и факультета наук о материалах МГУ имени М. В. Ломоносова совместно с коллегами из Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН и Сколковского института науки и технологий разработали биосовместимую наноструктурированную платформу на основе кремниевых микрогл, модифицированных наночастицами золота ($Au@Si-MNs$). Эти структуры обеспечивают стабильную иммобилизацию живых клеток и позволяют регистрировать спектры плазмонно-усиленного комбинационного (рамановского) рассеяния с субклеточным пространственным разрешением. Разработка позволяет одновременно осуществлять доставку терапевтических агентов в иммобилизованные клетки и отслеживать возникающие молекулярные изменения на уровне одной клетки.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-15-00137) и Научно-образовательной школы МГУ «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина» (23-SCH06-19).



СЭМ-микрофотографии клеток MDA-MB-231 на Au@Si-MN. а) СЭМ-микрофотографии клеток MDA-MB-231 после 24 часов культивирования на Au@Si-MN. Вверху слева: Обзор распределения клеток на наноструктурированной подложке Au@Si-MNs (масштабная линейка: 20 мкм). Вверху справа: крупный план отдельной клетки, взаимодействующей с отдельными микроиглами (шкала: 2 мкм). Внизу слева: вид сверху клеток, инкубированных на матрице микроигл (шкала: 10 мкм). Внизу справа: вид сверху одиночной клетки на микроиглах при большом увеличении (шкала: 2 мкм). б) СЭМ-микрофотография клетки MDA-MB-231, распределенной по нескольким Au@Si-MN через 24 часа (шкала: 2 мкм), демонстрирующая детальное взаимодействие клеток с несколькими микроиглами.

которые не только усиливают локальное электромагнитное поле до 10^8 раз, но и способны проникать в живые клетки.

Впервые было показано, что такая архитектура обеспечивает стабильную иммобилизацию клеток без потери их жизнеспособности, при этом существенно ограничивая их подвижность. Это создает уникальные условия для получения спектров плазмонно-усиленного комбинационного (рамановского) рассеяния, отражающих молекулярный состав субклеточных структур с пространственным разрешением, ранее недоступным при работе с подвижными живыми клетками. Такое сочетание пассивной фиксации и экстремального усиления сигнала открывает новые возможности для неразрушающего молекулярного анализа живых объектов в реальном времени.

Важной особенностью разработанной платформы является её способность не только к регистрации внутриклеточных изменений, но и к локальной доставке химиотерапевтических препаратов, например, доксорубицина. Учёные показали, что после предварительной инкубации Au@Si-MNs с препаратом клетки, осаждённые на поверхность микроигл, начинают демонстрировать спектральные признаки цитотоксического воздействия. Это позволяет в реальном времени отслеживать динамику ответа клетки на терапию без введения меток и без разрушения клеточной мембрани.

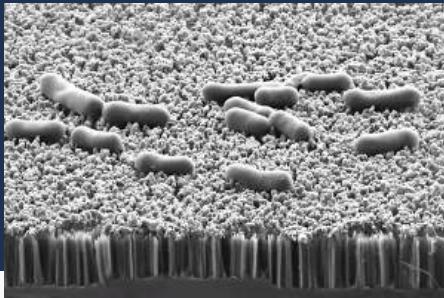
«Предложенная система одновременно выполняет функции прецизионного сенсора и адресного носителя, открывая перспективы для применения в высокоточной онкотерапии, скрининге лекарственных соединений и фундаментальных исследованиях клеточной гетерогенности. Работа наглядно демонстрирует, как интеграция наноматериалов, микроинженерных конструкций и оптической спектроскопии позволяет перейти от популяционных моделей к анализу молекулярных процессов в единичных живых клетках», — отмечает заведующая лабораторией кафедры медицинской физики физического факультета МГУ Л. А. Осминкина.

Микроиглы — это миниатюрные структуры, способные проникать в ткани на глубину до сотен микрон, обеспечивая высокоточную доставку молекул непосредственно в клетки или их микроокружение. Благодаря минимальной инвазии, высокой воспроизводимости и возможности контролируемой модификации поверхности микроиглы становятся ключевым инструментом современной биофизики и медицины. Они находят применение не только в трансдермальной терапии, но и в локальной доставке генов, белков и малых молекул в ткани, где требуется клеточно-специфическое воздействие, например, в опухолевой микросреде, мозге или слизистых оболочках. Особенно актуальна их интеграция с сенсорными элементами, позволяющая в реальном времени отслеживать молекулярные изменения внутри клеток и тканей, что открывает новые горизонты для персонализированной терапии, молекулярной диагностики и фундаментальных исследований в области клеточной биомеханики и внутриклеточной сигнализации.

В представленной работе ученые сконструировали массивы кремниевых микроигл с коронообразными наноструктурами золота на вершинах,

I. O. Sobina, P. A. Tyurin-Kuzmin, N. V. Pervushin, A. A. Kudryavtsev, I. V. Bozhev, A. Yu. Grishko, A. V. Miakonikh, Ya. V. Lomovskaya, D. N. Dresvyankin, S. A. Dyakov, A. A. Eliseev, L. A. Osminkina. "Gold-modified silicon microneedles for real-time SERS analysis and drug delivery at single-cell resolution". Microchemical Journal. 215, August 2025, 114178, 2025.

Наносенсоры — детекторы бактерий



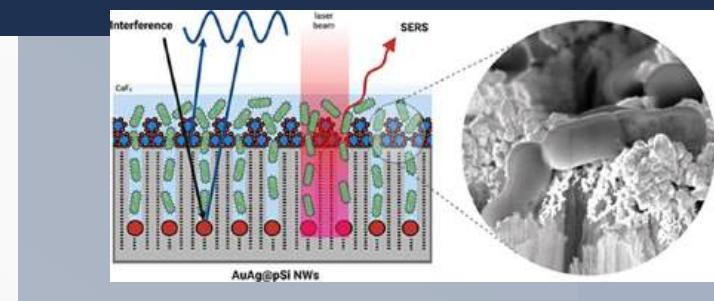
Учёные Московского университета с коллегами разработали новый класс гибридных оптических сенсоров, способных в режиме реального времени не только обнаруживать бактерии в растворах, но и проводить экспресс-анализ их устойчивости к антибиотикам.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект №22-72-10062).

Созданные сенсоры основаны на пористых кремниевых нанонитях, модифицированных биметаллическими наночастицами золота и серебра. Такая архитектура объединяет два взаимодополняющих оптических подхода: интерференционный (на основе эффекта Фабри – Перо) и спектроскопический, основанный на эффекте гигантского комбинационного рассеяния (ГКР, англ. SERS). Первый обеспечивает регистрацию бактерий по изменению эффективной оптической толщины сенсорного слоя, а второй — высокочувствительное выявление спектральных профилей, отражающих молекулярный состав клеточной стенки микроорганизмов без использования меток.

В качестве модельного организма была выбрана непатогенная бактерия *Listeria innocua*, широко применяемая в микробиологических исследованиях. Благодаря морфологическому сходству и аналогичному строению клеточной стенки, *L. innocua* может рассматриваться как модель для апробации сенсоров, предназначенных для диагностики грамположительных патогенов, включая *Mycobacterium tuberculosis*. Сенсоры продемонстрировали чувствительность к концентрациям бактерий от 3,2 млн КОЕ/мл в режиме SERS и от 6,4 млн КОЕ/мл в интерферометрическом режиме.

Антибиотикорезистентность остаётся одной из наиболее острых угроз глобальному здравоохранению: по данным ВОЗ, число устойчивых бактериальных штаммов неуклонно растёт, снижая эффективность стандартной терапии. В этих условиях особую значимость приобретают технологии, позволяющие быстро и надёжно определять чувствительность микроорганизмов к антибиотикам.



Одним из ключевых результатов настоящего исследования стало подтверждение возможности применения разработанных сенсорных подложек для экспрессного анализа антибиотикорезистентности бактерий. При инкубации *Listeria innocua* с различными антибиотиками непосредственно на поверхности сенсоров регистрировались воспроизведимые изменения в спектрах ГКР, отражающие молекулярный ответ клеток на антимикробное воздействие. Динамика изменения интенсивности диагностических пиков, в частности в области 736 и 1320 cm^{-1} , позволяла в режиме реального времени дифференцировать чувствительность бактерий к различным препаратам. Предложенный подход не требует длительного культивирования и обеспечивает информативный спектроскопический отклик уже в течение первых часов наблюдения, значительно превосходя по скорости традиционные фенотипические методы, применяемые в клинической микробиологии.

«Мы создали платформу, сочетающую высокую молекулярную чувствительность, воспроиз-

K. A. Gonchar, D. A. Nazarovskaia, P. A. Dominin, O. D. Gyuppenen, A. A. Erokhina, M. Wang, I. I. Tsiniaikin, A. A. Eliseev, S. A. Ermolaeva, L. A. Osminkina. "AuAg-Modified Porous Silicon Nanowires for Dual-Mode Interferometric and SERS-Based Bacterial Detection". ACS Applied Materials & Interfaces. 17/Issue 23. 2025.

D. A. Nazarovskaia, P. A. Dominin, O. D. Gyuppenen, I. I. Tsiniaikin, S. A. Ermolaeva, K. A. Gonchar, L. A. Osminkina. "Bimetallic AuAg-coated porous silicon nanowire platform for rapid SERS-based antibiotic susceptibility testing". Results in Surfaces and Interfaces. 19, 100524. 2025.

водимость сигнала и оперативность получения результата. Такие системы обладают потенциалом стать основой компактных диагностических устройств для экспресс-идентификации бактериальных инфекций и подбора эффективной антимикробной терапии непосредственно в месте оказания медицинской помощи», — подчёркивает инициатор разработки, заведующая лабораторией кафедры медицинской физики физического факультета МГУ Любовь Осминкина.

Исследование выполнено коллективом физического факультета и факультета наук о материалах МГУ имени М. В. Ломоносова и НИЦ эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи.

Благодаря масштабируемости технологии и применению биосовместимых материалов разработка может быть адаптирована для широкого спектра задач в медицине, санитарной микробиологии, пищевой промышленности и экологическом мониторинге.

Новый протокол квантового шифрования

Коллективом Центра квантовых технологий МГУ имени М. В. Ломоносова и ООО «СФБ Лаб» был представлен новый протокол квантового распределения ключей типа «точка – точка», устойчивый к атакам навязывания. Результаты работы поддержаны фондом развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

Квантовая криптография, или квантовое распределение ключей (КРК), позволяет обеспечить пользователей секретными ключами шифрования для безопасной передачи данных. Недоступность секретных ключей нарушителю обеспечивается законами квантовой физики. Так, например, квантовое состояние одиночного кванта не может быть достоверно скопировано без его возмущения, которое может быть обнаружено легитимными пользователями. Системы КРК на сегодняшний день производятся во многих странах, в том числе и в России. Однако гарантированная безопасность КРК достигается лишь в теории — на практике несовершенство используемого оборудования приводит к возникновению дополнительных угроз. Пользуясь различными «лазейками», нарушитель может осуществлять так называемые атаки на техническую реализацию.

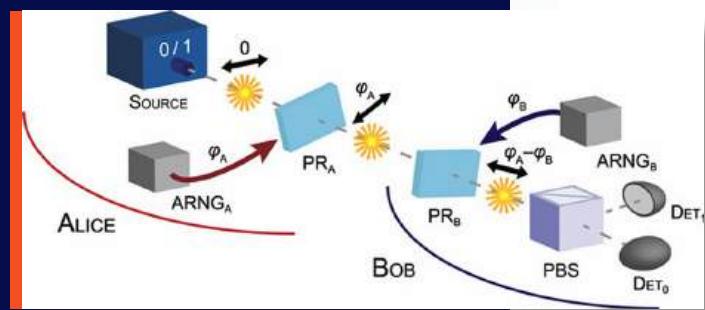
Системы КРК всегда состоят из передатчика (одного или нескольких) и приемника (также одного или нескольких). В простейшем случае система состоит из одного передатчика (Алиса) и одного приемника (Боб). Алиса готовит квантовые состо-



яния света и отправляет их Бобу, который проводит над ними измерения, используя два детектора, отвечающих за состояния «0» и «1». Такой тип архитектуры называется «точка – точка». Приготавливаемые состояния математически описываются вектором из некоторого базиса на плоскости. Чаще всего приготовление и измерение состояний проводится в двух базисах, повернутых друг относительно друга на 45 градусов. Выбор базиса Алиса и Боб проводят случайно и независимо друг от друга. Для согласования выработанных (сырых) ключей Алиса и Боб используют классический аутентифицированный канал связи, в котором подмена сообщений нарушителем (Евой) невозможна. Биты, полученные в несовпадающих базисах, не используются и удаляются.

Одним из самых уязвимых мест современных систем КРК, работающих по схеме «точка – точка», являются детекторы одиночных фотонов

Схема предлагаемого протокола с поляризационным кодированием. Источник: источник горизонтально (0) и вертикально (1) поляризованных фотонов с равными вероятностями, PRA : вращатель поляризации Алисы, $ARNG_A$: аналоговый генератор случайных чисел Алисы, PRB : вращатель поляризации Боба, $ARNG_B$: аналоговый генератор случайных чисел Боба, PBS : поляризационный светофильтр, DET_0 и DET_1 : детекторы одиночных фотонов Боба. На рисунке показан пример генерации и эволюции горизонтально поляризованного фотона.



(ДОФ). Обычно в качестве ДОФ используются лавинные фотодиоды в гейгеровском режиме, которые регистрируют факт «доставки» фотонов, но не их количество. Негативной особенностью данных ДОФ является возможность их перевода в линейный режим путем подачи внешнего интенсивного света — в таком режиме ДОФ перестает чувствовать одиночные фотоны, а его выходной сигнал оказывается пропорционален энергии падающего излучения. В таком случае срабатывание регистрируется только если выходной сигнал преодолевает установленный порог. Данный эффект называют ослеплением лавинного фотодиода.

Эффект ослепления ДОФ может быть использован нарушителем для осуществления атаки навязывания квантового состояния. Перехватив сигнал Алисы, Ева может отправлять Бобу свои оптические импульсы с заданной энергией. Если базис Евы совпал с базисом Боба, то вся энергия попадет на один детектор, и ее будет достаточно для преодоления порога срабатывания. Если же базисы Евы и Боба не совпали, то энергия делится пополам между двумя детекторами Боба, и ее оказывается недостаточно для регистрации срабатывания. В итоге срабатывания на приемной стороне происходят только при совпадающих базисах Евы и Боба, а, значит, Ева может узнать весь ключ.

До сих пор данная атака оставалась одной из самых опасных, а предложенные контрмеры не всегда гарантировали надежную и универсальную защиту. В представленной работе был предложен новый протокол КРК, в основе которого лежит использование бесконечного числа базисов. В отличие от остальных протоколов КРК, защищенность от атак навязывания в данном решении обеспечивается по построению.

«Обычно в протоколах КРК используется конечное число базисов, чаще всего два. Биты, полученные в базисах, которые у Алисы и Боба не совпали, просто удаляются, потому что результат измерений

будет случаен. В данной работе я предлагаю «сближить» используемые вектора состояний на плоскости настолько, насколько это возможно. Это приведет к тому, что в значительной доле случаев вероятность правильного измерения состояний будет близка к единице, даже если базисы Алисы и Боба различны. Это приведет к сложностям при попытке нарушителя навязать свое состояние — теперь он не может быть уверен, что при несовпадающих базисах срабатываний не будет», — рассказал автор работы, аспирант кафедры квантовой электроники физического факультета МГУ Иван Сущев.

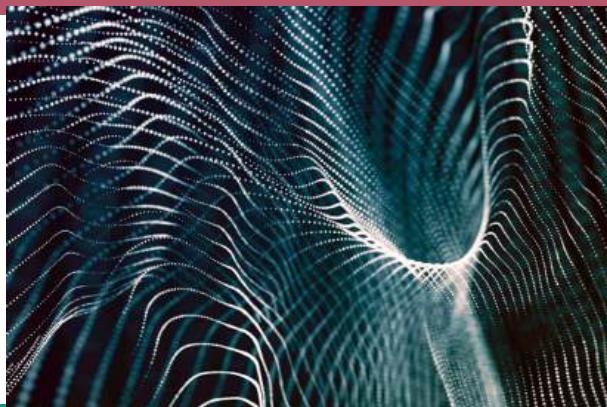
В работе была доказана стойкость данного протокола в случае идеальной реализации, а также проведен анализ влияния несовершенств приготовления и измерения состояний на защищенность от атак навязывания. Было показано, что протокол остается защищен от атак навязывания, даже если состояния приготавливаются с точностью примерно в 1 градус. Практическая реализация протокола не требует значительного изменения аппаратуры, предназначенной для других протоколов КРК. При этом скорость выработки ключа в данном протоколе сопоставима со стандартными значениями.

Наконец, в статье рассмотрены возможные стратегии реализации данного протокола. Отмечено, что протокол может быть крайне полезным при доставке ключа до конечного пользователя, где требуется дешевая, но при этом безопасная и масштабируемая реализация. Также отмечается перспективность использования данного протокола для космических систем КРК, где постоянное вращение спутника относительно передатчика может приводить к необходимости постоянной калибровки базисов Алисы и Боба. В предложенном решении randomизация базисов предусмотрена по построению, и дополнительная калибровка не требуется.

I. S. Sushchev. "Point-to-point quantum key distribution resistant to fake-state attacks". APL Quantum. 2, I. 2, 2025.

Визуализация акустического поля внутри длинных акустооптических ячеек

Ученые физического факультета МГУ совместно с коллегами из МИСиС исследовали распространение ультразвуковых волн в дисперсионных акустооптических (АО) линиях задержки – специальных устройствах управления спектром коротких лазерных импульсов. Авторы впервые визуализировали распределение ультразвукового поля внутри акустооптической ячейки такого типа и подтвердили влияние температуры на его структуру и направление распространения.



S. N. Mantsevich, E. I. Kostyleva, K. B. Yushkov, V. Ya. Molchanov. "Experimental observation of reflected acoustic beam tilting with temperature in quasi-collinear acousto-optic filters". Applied Acoustics. **233**, 110632, 2025.

Акустооптические устройства позволяют управлять параметрами светового излучения с помощью ультразвуковых волн, создаваемых в кристалле пьезоэлектрическим преобразователем. Такие устройства находят широкое применение в оптической электронике. Одним из важных и интересных применений акустооптических устройств является их использование в системах генерации сверхкоротких лазерных импульсов — направлении, достижения в котором за последние 25 лет были отмечены присуждением трёх Нобелевских премий. Особый интерес для этого раздела лазерной физики представляют акустооптические дисперсионные линии задержки — устройства, в которых времененная задержка спектральных компонент оптического импульса реализуется за счет смены поляризации светового излучения в процессе акустооптической дифракции. Эти устройства широко используются для подстройки длительности и спектра фемтосекундных лазерных импульсов. Однако функционирование данных устройств имеет свои особенности, связанные с большой длиной акустооптического взаимодействия, акустической анизотропией используемых кристаллов и тепловым режимом их работы. Все эти факторы

влияют на структуру ультразвукового поля и, соответственно, на характеристики акустооптической дифракции.

В работе ученые исследовали структуру акустического поля внутри длинной (5–7 см) акустооптической ячейки. Авторы предложили метод визуализации пространственного распределения мощности ультразвукового поля, что позволило впервые наглядно показать его структуру.

«Результаты визуализации подтвердили корректность ранее разработанной нами математической модели для расчета акустических полей в анизотропных средах. Кроме того, было экспериментально доказано, что температурный режим существенно влияет на направление распространения акустического пучка — его нагрев приводит к отклонению от расчетного направления, полученного для комнатной температуры, что снижает эффективность и частотную селективность акустооптической дифракции», — рассказал профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ Сергей Манцевич.

Визуализация акустического поля позволяет точнее проектировать устройства и учитывать температурные эффекты заранее, обеспечивая стабильность и эффективность при работе с мощными лазерными системами. В будущем учёные планируют доработать методику визуализации, повысив её пространственное разрешение и точность, чтобы учесть даже малые изменения параметров внутри ячеек.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 23-12-00057) и фонда «Базис» (грант 22-2-10-5-1). Было использовано оборудование, приобретённое в рамках программы развития МГУ. Акустооптические устройства для экспериментов предоставлены коллегами из МИСиС.

Новый способ генерации оптических гребёнок



Учёные физического факультета МГУ предложили новый способ генерации оптических гребёнок. Этот метод позволяет генерировать широкие гребёнки с маленьким шагом между спектральными линиями. Исследование имеет большое прикладное значение для таких областей, как спектроскопия, радиофотоника и астрофизика. Результаты работы, поддержанной Российским научным фондом (грант № 23-12-00057).

Учёные физического факультета МГУ предложили новый способ генерации оптических гребёнок. Этот метод позволяет генерировать широкие гребёнки с маленьким шагом между спектральными линиями. Исследование имеет большое прикладное значение для таких областей, как спектроскопия, радиофотоника и астрофизика. Результаты работы, поддержанной Российской научным фондом (грант № 23-12-00057). Часть оборудования для исследования была закуплена в рамках Программы развития МГУ.

Оптические частотные гребёнки — это специальные оптические сигналы, спектр которых представляет собой набор дискретных равноотстоящих друг от друга частот, подобно зубьям гребёнки. Временное представление такого сигнала — последовательность коротких импульсов света. Существует большое количество методов генерации подобных сигналов, позволяющих получить гребёнки разной ширины: от очень узких (доли нанометра) до широких (десятка нанометров). Чем шире гребёнка, тем больше расстояние между линиями в спектре.

«В представленной работе мы попробовали совместить широкие гребёнки с редко расположеными линиями, с узкими гребёнками, с часто расположенными линиями. То есть сделать широкую гребенку, где линии расположены часто», — рассказал профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ Сергей Манцевич.



Для решения поставленной задачи исследователи применили подход, основанный на каскадном использовании двух типов гребенок. В качестве источника оптической накачки использовалась широкополосная частотная гребёнка. Такие гребёнки генерируются с помощью оптических микрорезонаторов, в которых свет циркулирует за счёт эффекта полного внутреннего отражения. Затем гребёнка накачки подавалась в систему, генерирующую узкополосные гребёнки с малым шагом между линиями. Для этого использовалась система на основе петли смещения частоты. В ней свет циркулирует по оптической петле обратной связи, и при каждом проходе его частота сдвигается на фиксированную величину. Это позволяет генерировать гребенку с очень маленьким шагом. То есть каждая линия гребёнки накачки служит источником для генерации собственной узкополосной гребёнки.

Учёные продемонстрировали новый метод генерации оптических гребёнок, позволяющий получить широкие гребёнки с малым шагом между линиями в спектре, а также оценили его предельные характеристики. Такая технология имеет широкое практическое применение в спектроскопии, астрофизике, радиофотонике и других областях.

S. N. Mantsevich, E. I. Kostyleva, A. N. Danilin, D. A. Brukvin, K. N. Min'kov and N. Yu. Dmitriev. "Spectral enrichment of optical microresonator combs by means of a frequency-shifting loop". Phys. Rev. A 111, 043509, 2025.

СПОСОБ ТЕСТИРОВАНИЯ ФОРМЫ АККРЕЦИОННЫХ ДИСКОВ ВОКРУГ ЧЕРНЫХ ДЫР

Астрономами ГАИШ МГУ предложен способ тестирования формы аккреционных дисков вокруг черных дыр в двойных рентгеновских системах с помощью анализа поляризации по данным спектро-поляриметрической миссии Imaging X-ray Polarimetry Explorer (IXPE). Наблюдения нескольких рентгеновских двойных систем с ЧД и одной сейфертовской галактики 1-го типа, проведенные на телескопе IXPE, подтверждают теоретическое предсказание относительно плоской формы аккреционных дисков в таких объектах.

Ученые МГУ также предложили теоретическое обоснование формирования линейной поляризации рентгеновского излучения в таких источниках. Показано, что степень линейной поляризации не зависит от энергии фотонов и подчиняется характерному угловому распределению, определяемому оптической толщиной внутренних зон аккреционных дисков. Сравнение теоретических выводов с реальными наблюдениями показало превосходное согласие и, тем самым, предоставило доказательство плоской формы аккреционных дисков в аккрецирующих рентгеновских двойных системах.



Наблюдения за черными дырами с помощью IXPE позволили подтвердить то, о чем раньше ученые только догадывались: рентгеновское излучение аккреционных дисков является поляризованным. Более того, их поляризация является линейной и зависит от оптической толщины диска, а также его ориентации в пространстве. Последнее предсказывалось на основе теоретических расчетов в строгом соответствии с релятивистской теорией переноса излучения еще в 1985 году советскими физиками Р. А. Сюняевым и Л. Г. Титарчуком. Цель данной работы — продемонстрировать, что основные физические параметры этих галактических и внегалактических источников могут быть получены только на основе измерения поляризации и анализа рентгеновских спектров. Обнаружено, что степень поляризации практически не зависит от энергии. Важно, что подтверждение связи между поляризацией, толщиной диска и его ориентацией сразу говорит о форме аккреционного диска — диск плоский.

Еще в 1973 г. Н. И. Шакура и Р. А. Сюняев высказали пионерскую идею о том, как формируется рентгеновское излучение в двойных системах, состоящих из обычной звезды и компактного объекта

(например, черной дыры). Сейчас эта идея общепринята мировым астрономическим сообществом и заключается в высвобождении рентгеновских квантов при образовании аккреционного диска вокруг ЧД с учетом вязкости перетекающего вещества звезды-донора на черную дыру. Интересно, что в первом приближении этот диск рассматривался как цилиндр с плоскими верхней и нижней границами (так называемый, «плоский диск»). Это связано с тем, что вращающееся вещество, падающее на центральный объект (например, черную дыру), под действием центростремительной силы и приливных сил формирует диск, вытянутый в плоскости вращения. Далее, форма диска была предметом математических упражнений физиков-теоретиков: от сфероидальной до плоской, с элементами выпуклости или вогнутости верхней и нижней границ. И только сейчас в связи с запуском поляризационного аппарата IXPE появилась возможность проверить, какую же форму имеет диск на самом деле.

И здесь пригодился эффект поляризации рентгеновского излучения, предсказанный еще в 1985 году Р. А. Сюняевым и Л. Г. Титарчуком. Оказывается, что рентгеновское излучение аккреционного диска чувствительно к форме диска. Оно

становится, например, линейно поляризованным в процессе комптонизации низкоэнергичных фотонов диска на электронах плазмы плоского диска. При этом пространственная ориентация диска относительно земного наблюдателя по-разному позволяет заглянуть внутрь диска в зависимости от его оптической толщины (определенной температурой плазмы, параметром комптонизации и др.). Все это было рассчитано в 1985 году и ждало своего подтверждения или опровержения. И, наконец, расчеты удалось сравнить с наблюдениями IXPE для ряда рентгеновских двойных систем и активных ядер галактик, что подтвердило правильность подхода Р. А. Сюняева и Л. Г. Титарчука, а также неожиданно отбросило множественность предложенных моделей формы диска, оставив лишь «плоский диск». Это неожиданный результат, отложенный на 40 лет из-за невозможности наблюдательной проверки найденного эффекта поляризации.

Новую информацию о поляризации рентгеновского излучения черных дыр теперь невозможно игнорировать — ее придется учитывать. Несо-

мненно, что подтвержденный эффект приведет к фундаментальному пересмотру многих моделей аккреционных дисков из-за возможных расхождений с наблюдательными данными.

Благодаря этим результатам астрофизики теперь могут проверять степень поляризации при вычислении параметров моделей рентгеновского излучения. Это открытие позволяет подтвердить аналогичность геометрии у разных рентгеновских двойных систем. Также можно будет лучше понять физику экстремальных объектов, таких как черные дыры.

«IXPE раскрыл секреты поляризации и характеристик не только черных дыр звездной массы, но и сверх массивных черных дыр, излучение которых оказалось также линейно поляризованным в процессе комптонизации в горячей плазме плоского диска. При этом также подтверждена зависимость степени поляризации сверх массивных черных дыр от ориентации диска в пространстве», — поделилась Елена Сейфина, ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ.

L. Titarchuk, P. Soffitta, E. Seifina, E. Costa, F. Muleri, R. Mikusincova.
"X-ray linear polarization prediction in black hole binaries and active galactic nuclei and measurements of it by IXPE". *Astronomy & Astrophysics*, Forthcoming article. Received: 28 March 2025 / Accepted: 06 June 2025.
DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202554834>.



Влияние ионизирующего излучения на активность антиоксидантного фермента каталазы

Ученые физического факультета и НИИЯФ МГУ изучили, как низкоэнергетическое электронное облучение (1 МэВ) влияет на активность фермента каталазы в модельных растворах. Каталаза играет одну из ключевых ролей в защите клеток живых организмов от окислительного стресса, разлагая перекись водорода на воду и кислород. Понимание ее устойчивости к радиации важно для пищевой промышленности, где электронные пучки используются для обеззараживания продуктов.

Проблема обеспечения продовольственной безопасности и минимизации технологических рисков в агропромышленном комплексе остро стоит во многих странах мира. «Одним из перспективных методов контроля роста патогенов в пищевой продукции является промышленная радиационная обработка с использованием ускорителей электронов с энергией до 10 МэВ и облучением в дозах до 10 кГр», — рассказал Александр Петрович Черняев, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ и заведующий отделом ядерно-физических методов в медицине и промышленности НИИЯФ МГУ. Отдельное внимание уделяется применению низкоэнергетических электронных пучков для фитосанитарной обработки и антимикробной дезинфекции. «Критически важным является подбор оптимальных параметров облучения, при которых достигается максимальное подавление микроорганизмов при минимальном воздействии на биохимический состав продуктов (белков, липидов, витаминов и др.)», — подчер-



Ульяна Александровна Близнюк, д.ф.-м.н., зав. лабораторией и Ипатова Виктория Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории ОЯФМП НИИЯФ МГУ.

кнул Игорь Александрович Родин, д.х.н., профессор кафедры аналитической химии химического факультета МГУ. «Международные стандарты регламентируют допустимые дозы облучения, однако с ростом ассортимента пищевой продукции требуется постоянное уточнение оптимальных дозовых диапазонов с учетом биохимических особенностей продуктов и спектра возможных микробиологических опасностей», — отметила Ульяна Александровна Близнюк, д.ф.-м.н., зав. лабораторией радиационной обработки биообъектов и материалов ОЯФМП НИИЯФ МГУ и старший преподаватель физического факультета МГУ.

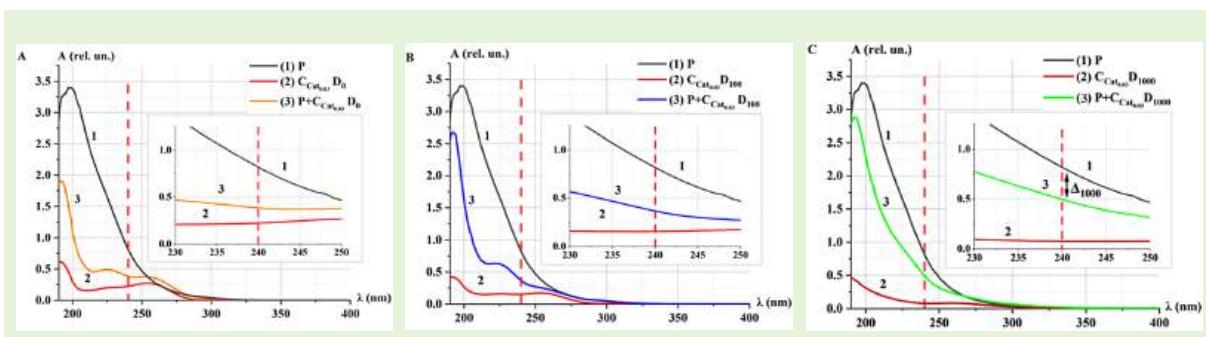


Рис. 1. Спектры поглощения H_2O_2 — P (кривая 1), каталазы — Cat (кривая 2) и раствора P+Cat спустя 30 мин после добавления H_2O_2 (кривая 3) в диапазоне $\lambda = 190$ –400 нм после облучения раствора каталазы $Cat_{0.03}$ в дозах (A) 0 Гр (контроль, без облучения), (B) 100 Гр и (C) 1000 Гр. Красной пунктирной линией отмечена длина волны $\lambda = 240$ нм.

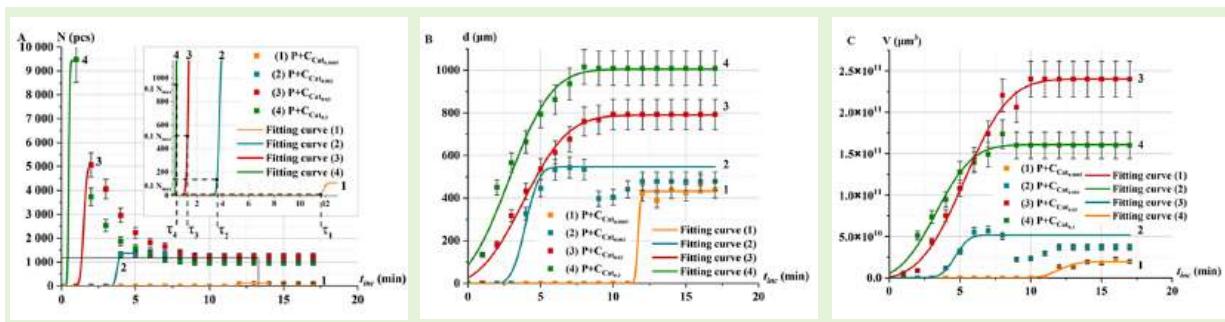


Рис. 2. Кинетика изменения суммарного количества образовавшихся пузырей (A), их среднего диаметра (B) и объема (C) в растворе $P+Cat$ от времени после добавления H_2O_2 , в растворах каталазы при разных концентрациях фермента: $Cat_{0.0005}$ (кривая 1), $Cat_{0.003}$ (кривая 2), $Cat_{0.03}$ (кривая 3) и $Cat_{0.3}$ (кривая 4). Точками показаны экспериментальные значения, кривыми — аппроксимация (1–4). Пунктирным линиями отмечены времена задержки τ .

Ученые кафедры физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ и НИИЯФ МГУ провели исследования по воздействию электронов с энергией 1 МэВ на активность каталазы в модельных растворах. Под действием ионизирующего излучения в клетках возникают процессы возбуждения и ионизации атомов и молекул, сопровождающиеся генерацией свободных радикалов и активных форм кислорода. В качестве защитного механизма клетки активизируют антиоксидантную защитную систему, включая синтез фермента каталазы, который нейтрализует разрушающие ткани соединения пероксида водорода. Однако если образование радикалов, вызванное излучением, опережает способность вырабатывать защитные молекулы, происходит значительное повреждение клеточных структур.

«Для оценки скорости переработки перекиси водорода ферментом в исследованиях применялись два независимых метода: спектрофотометрический анализ и оценка объема выделившегося в ходе каталитической реакции кислорода» — рассказывают Полина Юрьевна Борщеговская, к.ф.-м.н., доцент кафедры ФУиРМ физического факультета МГУ и Ипатова Виктория Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории ОЯФММП НИИЯФ МГУ. Газометрический метод, основанный на измерении времени задержки образования кислородных пузырей, показал высокую точность и может быть использован для экспресс-диагностики активности каталазы.

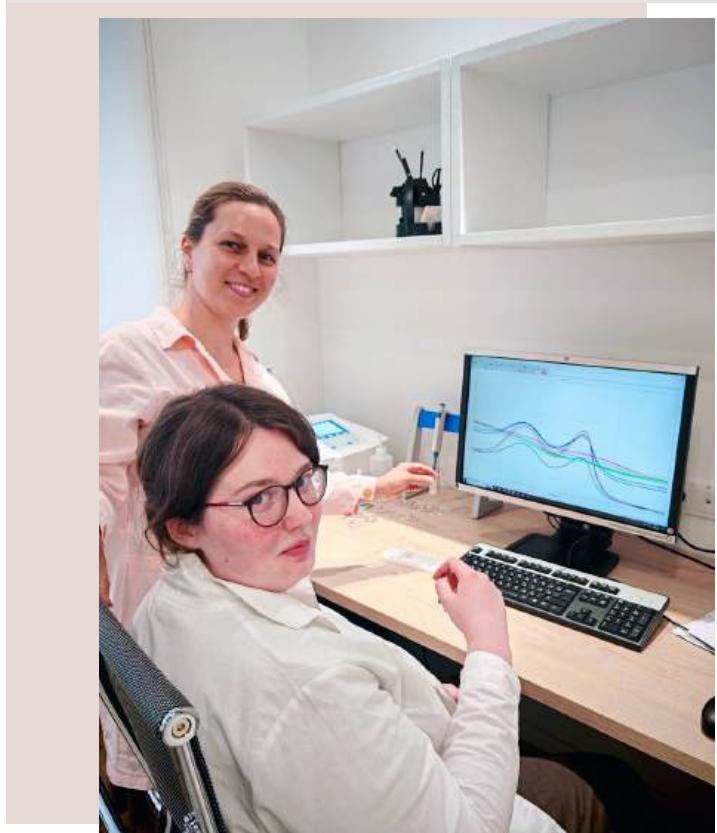
Показано, что облучение электронами приводит к дозависимому подавлению активности каталазы, что необходимо учитывать при разработке технологий радиационной обработки пищи. Дальнейшие исследования могут расширить эти выводы на другие

Полина Юрьевна Борщеговская, к.ф.-м.н., доцент кафедры ФУиРМ физического факультета МГУ и Торопыгина Мария Ильинична, студентка 6 курса.

ферменты и сложные биологические системы. Каталаза может применяться в качестве биодозиметра радиационного воздействия, а измерение времени задержки образования кислородных пузырей может быть использовано для разработки новых методов мониторинга качества продуктов после облучения.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда (№ 22-63-00075).

Ipatova V., Bliznyuk U., Borshchegovskaya P., Chernyaev A., Toropygina M., Kim V., Nikitchenko A., Kozlov A., Yurov D., Beklemishev M., Rodin I., Kozlova E. "Assessment of Catalase Inhibition Under e-Beam Irradiation". Int J Mol Sci. 2025 May 3; 26(9):4358.



28-30 мая состоялось общее собрание Российской академии наук, в ходе которого прошли выборы новых членов РАН. Результаты тайного голосования были оглашены на заседании 30 мая. 12 сотрудников Московского университета избраны академиками, а еще 20 — членами-корреспондентами.



*В том числе
избраны академиками:*

**МИХАЙЛОВ
Валентин Олегович**

Профессор кафедры физики Земли



**ШКУРИНОВ
Александр Павлович**

Профессор кафедры общей физики и волновых процессов

ПОЗДРАВЛЯЕМ ОТ ВСЕЙ ДУШИ!



Членами-корреспондентами избраны:

**ФЕДЯНИН
Андрей Анатольевич**

Проректор МГУ, профессор
кафедры нанофотоники



**РУБЦОВ
Григорий Игоревич**

Профессор кафедры физики
частиц и космологии

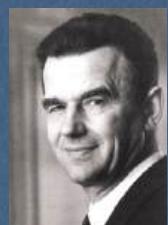
1 сентября на Торжественной церемонии посвящения в студенты первокурсников МГУ имени М. В. Ломоносова, в присутствии более тысячи человек – учащихся и гостей Дня знаний – было оглашено решение Ученого совета о присвоении звания Почетного профессора Московского университета выдающемуся современному ученому известному российскому астрофизику, научному руководителю Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ академику А. М. Черепашку.

А. М. Черепашук – это знаковое имя в современной астрономии, выдающийся ученый, занимающийся физикой звёзд и ядер галактик, изучением обычных и сверх массивных чёрных дыр.



Сердечно поздравляем Анатолия Михайловича!

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА СТУДЕНЧЕСКИХ НАУЧНЫХ РАБОТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Р. В. ХОХЛОВА



Диплом I степени:

- Афонина Марина (кафедра астрофизики и звездной астрономии);
- Конвисар Алексей (кафедра физики Земли);
- Стародубцева Екатерина (кафедра общей физики и волновых процессов);
- Церегородцева Полина (кафедра квантовой электроники).



Диплом II степени:

- Григорян Илья (кафедра биофизики);
- Кытина Екатерина (кафедра общей физики и физики конденсированного состояния);
- Чистяков Всеволод (кафедра физики частиц и космологии).

Диплом III степени:

- Булыгин Игорь (кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии);
- Карпачева Анна (кафедра физики колебаний);
- Куденко Мария (кафедра физики частиц и космологии);
- Никитченков Илья (кафедра физики низких температур и сверхпроводимости);
- Соловых Александр (кафедра атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники).

Поздравляем выпускников, получивших награды, и желаем им новых научных побед!

XXV ЮБИЛЕЙНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ И КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ QFTHEP'270

5 июля закончила свою работу юбилейная XXV школа-семинар QFTHEP'270, следуя традициям, заложенным нашим институтом в 1985 году.

Мероприятие приурочено к 270-летию Московского государственного университета, что подчеркивает его особую значимость для мировой научной общественности.

Основные цели и программа:

Школа-семинар объединила ведущих учёных, молодых исследователей и студентов для обсуждения последних достижений в области:

- Физики высоких энергий и квантовой теории поля.
- Астрофизики и космологии.
- Экспериментальных и теоретических исследований на современных и будущих коллайдерах.

В программу вошли:

- Пленарные доклады и лекции мировых экспертов.
- Секционные заседания по ключевым направлениям:
 - Изучение бозона Хиггса и расширения Стандартной модели.
 - Новые методы в феноменологии частиц.
 - Применение машинного обучения и ИИ в физике.
 - Разработка детекторов нового поколения.
 - Образовательные лекции для студентов и молодых учёных.
 - Онлайн-участие для иностранных коллег.

Ключевые темы 2025 года:

- Итоги экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК) и перспективы новых ускорителей.
- Теории за пределами Стандартной модели.

- Взаимосвязь астрофизики, космологии и физики частиц.
- Современные математические методы в теоретической физике.

Международное участие:

В мероприятии приняли участие 35 научных организаций из 5 стран, в том числе коллеги из Китая, Индии, Белоруссии и Японии.

Школа-семинар QFTHEP'270 подтвердила свой статус одной из ведущих международных площадок для обмена знаниями и формирования новых научных коллабораций.

Организаторы:

Институт ядерной физики им. Д.В. Скobelцына МГУ (НИИЯФ МГУ) и Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

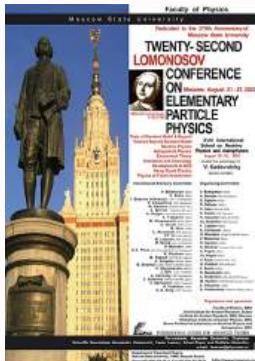


Программный комитет:

Председатель: ректор МГУ, академик В. А. Садовничий

Соруководители: член-корреспондент РАН, директор НИИЯФ МГУ Э. Э. Боос; профессор, и.о. декана физического факультета МГУ В. В. Белокуров.

Материал подготовила
Никитина Виктория Владимировна
Сайт QFTHEP'270



22-я ЛОМОНОСОВСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

На физическом факультете МГУ с 21 по 27 августа 2025 года проходила 22-я Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц (22nd Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics).

Данная серия международных конференций проводится с 1992 года (с 1993 года — по нечетным годам) под патронажем ректора МГУ академика В.А. Садовничего и является одним из крупнейших регулярно проходящих в России международных мероприятий по фундаментально науке. За прошедшие годы Ломоносовские конференции стали престижными международными форумами и привлекают значительное внимание международного научного сообщества. Приведенный рисунок показывает

имени Б.М. Понтекорво» (МГУ). 22-я Ломоносовская конференция включена в план конференций Госкорпорации "Росатом" на 2025 г., а также поддержана Российским федеральным ядерным центром — Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики (Саров).

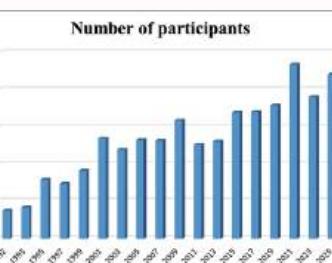


Подготовка и проведение 22-й Ломоносовской конференции активно поддерживались деканом физического факультета МГУ профессором В.В. Белокуровым, который открыл первую пленарную сессию конференции. Организаторы конференции благодарны директору ОИЯИ академику Г.В. Трубникову и директору ИЯИ РАН член-корреспонденту РАН М.В. Либанову за оказанную существенную помощь при подготовке данного научного форума.



На открытии конференции с приветственным словом от ОИЯИ выступили директор Лаборатории ядерных проблем Е.А. Якушев, от ИЯИ РАН выступил заместитель директора А.И. Панин и от РФЯЦ-ВНИИЭФ научный руководитель Программы № 8 НЦФМ А.А. Юхимчук.

22 Ломоносовская конференция была посвящена 270-летию МГУ. В рамках научной программы конференции проведена 17-я Международная школа по физике нейтрино и астрофизике, посвященная 10-летию присуждению Нобелевской премии по физике Артуру МакДональду (Канада) и Тааки Кадзите (Япония) за открытие в экспериментах яв-



Научные заседания проходили в августе 2021 г. полностью в «онлайн» формате из-за ковидных ограничений и по этой причине были использованы все 7 дней для научных заседаний без выходного, который обычно бывает в середине указанного периода. На представленной карте мира красным цветом отмечены страны, ученые из которых выступали с докладами на Ломоносовских конференциях.

Конференция организована физическим факультетом МГУ, Объединенным институтом ядерных исследований (Дубна) и Институтом ядерных исследований Российской академии наук при участии Института ядерной физики имени Д.В. Скobel'цына МГУ и при поддержке Межрегионального центра фундаментальных исследований и НОЦ «Лаборатория физики нейтрино и астрофизики

ления осцилляций нейтрино, что подтверждает наличие у нейтрино ненулевой массы. Явление смешивания и осцилляций нейтрино было предсказано Бруно Максимовичем Потекорво в 1957 г. По программе нейтринной школы на конференции был организован просмотр научно-публицистического фильма на английском языке «Maksimovich. The story of Bruno Pontecorvo» (автор сценария — Джузеппе Мускардо, Италия).

Тематика 22-й Ломоносовской конференции охватывает широкий круг вопросов физики элементарных частиц, гравитации и космологии. В программу конференции (общее число участников более 400 человек) были включены доклады ведущих ученых научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений России: Баксанская нейтринная обсерватория, Высшая школа экономики, ГАИШ МГУ, Государственный университет "Дубна", ИЗМИРАН, ИФВЭ (Протвино), ИЯФ СО РАН, ИЯИ РАН, Иркутский государственный университет, Математический институт им. В.А. Стеклова РАН, Московский политехнический университет, ФИЗТЕХ, НИИЯФ МГУ, НИЦ «Курчатовский институт», Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Новосибирский государственный университет, ОИЯИ, Орловский государственный университет, Петербургский институт ядерной физики, Российский университет дружбы народов, Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Санкт-Петербургский политехнический университет, Томский государственный университет, Университет науки и технологий МИСИС и ФИАН.

В качестве докладчиков в конференции приняли участие ученые из 32 стран: Азербайджан, Алжир, Белоруссия, Бразилия, Великобритания, Германия, Египет, Израиль, Индия, Индонезия, Иран, Испания, Италия, Казахстан, Китай, Колумбия, Марокко, Мексика, Объединенные Арабские Эми-



раты, Португалия, Россия, Сербия, Сингапур, Словакия, США, Турция, Уругвай, Швейцария, Черногория, ЮАР, Южная Корея и Япония.

За шесть рабочих дней на форуме было представлено 216 докладов, включающих 75 пленарных докладов, 128 секционных и 13 постерных. Из 203 устных докладов 137 докладов были сделаны в очном формате, а 66 докладов — в удаленном формате. Иностранными учеными были сделаны 74 доклада, 15 иностранных ученых приняли участие в конференции персонально в очном формате. Восемь докладов были представлены в очном формате членами Российской академии наук.

Утренние заседания конференции посвящались пленарным докладам по наиболее важным вопросам физики элементарных частиц, астрофизики, гравитации и космологии. Информация о конференции, видеозаписи и копии слайдов презентаций всех докладов, сделанных на конференции, размещены на сайте конференции www.lomcon.ru. На этом же сайте размещаются интервью, которые во время конференции дали участники конференции председателю оргкомитета.

На конференции также были организованы 18 параллельных секций, на которых были представлены доклады по более узким темам, представляющим интерес для конкретного круга специалистов в той или иной области. Плодотворные научные дискуссии продолжались в холле ЦФА, где во время конференции располагался оргкомитет и были организованы кофе-брейки для участников и гостей конференции.

Научная программа конференции, в которой нашли отражение практически все актуальные проблемы современной фундаментальной физики, состояла из нескольких крупных блоков вопросов. Среди главных тем конференции — новейшие достижения в области ускорительной физики высоких энергий, физики нейтрино, физики космических лучей, астрофизики и гравитации. Тематика докладов отражала общее состояние и тенденции развития исследований по указанным направлениям.

В области физики высоких энергий на конференции были представлены доклады от имени ведущих коллабораций ЦЕРНА, Китая, России и Японии. При обсуждении перспектив данного направления было подчеркнуто, что два различных направления развития использования линейных и циклических ускорителей элементарных частиц естественным образом дополняют друг друга. Несколько докладов были представлены мегасайенс

проектом НИКА в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна).

Серия докладов посвящена результатам и перспективам развития исследований на ускорительном комплексе Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. Повышенный интерес на конференции вызвало обсуждение проблемы аномального магнитного момента мюона. Результаты, полученные на CDM-3 детекторе коллайдера VEPP-2000, играют важную роль в решении данного вопроса. Благодаря новым экспериментальным данным, полученным на ускорителях в США и Японии, и проведенным новым теоретическим расчетам наметилась тенденция к сокращению рассогласования экспериментального и теоретического значений аномального магнитного момента мюона.

Одним из важнейших (и, по традиции, наиболее представительным с точки зрения количества докладов) был нейтринный блок программы. Доклады по физике нейтрино и смежным вопросам были объединены в проведенной в рамках Ломоносовской конференции 17-й Международной школе по физике нейтрино и астрофизике. Российские ученые на протяжении многих лет традиционно вносят существенный вклад в развитие как экспериментальных, так и теоретических исследований в данном направлении. Безусловный оптимизм при оценке перспективы развития данного направления в России связан с активным участием российских ученых во многих ведущих международных коллаборациях. Отметим заметный вклад в развитие данного направления ученых Московского университета (физический факультет и НИИЯФ), которые активно проводят соответствующие теоретические исследования и участвуют во многих нейтринных экспериментальных проектах, в том числе двух крупнейших международных нейтринных коллаборациях ДЖУНО (Китай) и Гипер-Камиоканде (Япония) и в байкальском нейтринном эксперименте Baikal-GVD. В нескольких докладах на конференции был представлен новый нейтринный проект SATURNE по измерению магнитного момента нейтрино, который по инициативе ученых физического факультета вошел в научную программу Национального центра физики и математики в Сарове.

Следует отметить, что несмотря на известное снижение интенсивности международных научных контактов, на программе 22-й Ломоносовской конференции эта тенденция не сказалась и общий уровень представительства международных научных проектов и участия иностранных ученых мало отличается от соответствующих показателей Ломоносовских конференций доковидного периода.

К проведению 22-й Ломоносовской конференции была приурочена достаточно обширная культурная программа. Вечером первого рабочего дня конференции итоговое заседание было проведено на корабле, который проследовал по Москве-реке через центр города.

В свободный от научных сессий день конференции по приглашению Ректора Московской Духовной Академии епископа Кирилла (который является кандидатом технических наук) состоялся визит участников конференции в Троице-Сергиевую Лавру и Московскую Духовную Академию. Усилиями ученого секретаря Совета МДА игумена Адриана (который является выпускником факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ и кандидатом физико-математических наук, и также кандидатом богословия), директора Церковно-археологического кабинета А.С. Новикова и руководства АНО «Царские чертоги» для участников конференции была обеспечена очень интересная программа пребывания в Лавре и Академии. После обстоятельных обзорной экскурсии по Лавре и экскурсии по Церковно-археологическому кабинету в праздничных палатах Академии для участников был организован обед, в котором участвовал камерный состав мужского хора МДА, исполнивший а капелла несколько духовных и народных произведений.

Результаты проведенной 22-й Ломоносовской конференции по физике элементарных частиц будут служить стимулом для дальнейшего развития исследований в данной области, станут основой для написания новых статей по тематикам представленных докладов, а также найдут полезное применение в учебном процессе образовательных проектов различных уровней. Сборник статей, которые подготовят докладчики 22-й Ломоносовской конференции на основе доложенных ими материалов, будет опубликован на английском языке отдельным томом в журнале *Moscow University Physics Bulletin* (Вестник Московского университета. Физика. Астрономия).

Успешное проведение 22-й Ломоносовской конференции было обеспечено четкой и слаженной работой локального оргкомитета, основу которого составили студенты и аспиранты физического факультета.



Александр Студеникин, председатель Оргкомитета 22-й Ломоносовской конференции по физике элементарных частиц.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ СОВЕТЫ МГУ

МГУ.011.9

Председатель – – Панченко Владислав Яковлевич, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Зам. председателя – Твердислов Всеволод Александрович, д.ф.-м.н., проф.

Шкуриков Александр Павлович, д.ф.-м.н., акад. РАН

Уч. секретарь – Осминкина Любовь Андреевна, к.ф.-м.н.

18.09.2025

- ГРАЧЕВ Дмитрий Иванович «Взаимодействие нитрозильных комплексов гемового и негемового железа с активными формами кислорода и азота». 1.5.2 – Биофизика. Кандидатская диссертация.
- ЕРМОЛИНСКИЙ Петр Борисович «Особенности микрореологии и сил взаимодействия компонентов системы крови в норме и при сердечно-сосудистых заболеваниях». 1.3.21 - Медицинская физика. Кандидатская диссертация.

МГУ.013.3 (МГУ.01.01)

Председатель – Хохлов Алексей Ремович, д.ф.-м.н., проф., акад. РАН

Зам. председателя – Орешко Алексей Павлович, д.ф.-м.н., доц.

Уваров Александр Викторович, д.ф.-м.н., проф.

Уч. секретарь – Малышкина Инна Александровна, к.ф.-м.н., доц.

11.09.2025

- ХАО Уи «Агрегаты на основе ПАВ и наночастиц хитина в водной среде: многообразие структур и реологические свойства». 1.4.7 - Высокомолекулярные соединения. Кандидатская диссертация.
- ЛОГИНОВ Артем Борисович «Формирование пленок двумерных материалов в процессе газофазного химического осаждения». 1.3.8 - Физика конденсированного состояния. Кандидатская диссертация.

МГУ.013.7 (МГУ.01.12)

Председатель – Федягин Андрей Анатольевич, д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН

Зам. председателя – Вятчанин Сергей Петрович, д.ф.-м.н., проф.

Кузелев Михаил Викторович, д.ф.-м.н., проф.

Рахимов Александр Турсунович, д.ф.-м.н., проф.

Черныш Владимир Савельевич, д.ф.-м.н., проф.

Уч. секретарь – Карташов Игорь Николаевич, к.ф.-м.н.

18.09.2025

- НАЗМИЕВ Альберт Ирекович «Оптомеханическое и электрооптическое детектирование резонансных сигналов с исключением обратного флуктуационного влияния в широкой полосе частот». 1.3.2 - Приборы и методы экспериментальной физики. Кандидатская диссертация.
- КОРНЕВ Константин Николаевич «Комбинированный разряд в воздушных и углеводород-воздушных потоках и его применение для инициации горения». 1.3.9 - Физика плазмы. Кандидатская диссертация.

К 130-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ИГОРЯ ЕВГЕНЬЕВИЧА ТАММА

В этом году исполняется 130 лет со дня рождения Игоря Евгеньевича Тамма, сыгравшего исключительно важную роль в формировании преподавания теоретической физики, а также научных исследований в данной области в Московском университете, где произошли значительные изменения в тридцатых годах двадцатого века. Он заведовал кафедрой теоретической физики с 1931 по 1937 год вначале на физическом отделении, а после образования физического факультета — и на нем.

Переход на факультетскую систему был осуществлен, начиная с 1 мая 1933 г. Первым деканом факультета стал член-корреспондент АН СССР Б. М. Гессен, бывший до этого руководителем физического отделения. Он работал в этой должности до 1934 г. включительно, а затем перешел работать в ФИАН на должность заместителя директора.

В 1933 г. факультет закончили 17 специалистов-физиков при общем числе студентов 409, а уже в 1935 г. эта цифра возросла до 59 при общем числе обучающихся 635. В 1934 г. была восстановлена система защиты кандидатских и докторских диссертаций. На физическом факультете первым кандидатскую диссертацию защитил Д. И. Блохинцев на тему «Некоторые вопросы теории твердых тел и в особенностях металлов». Ему была присуждена степень доктора физико-математических наук. Научным руководителем докторанта был И. Е. Тамм.

Касаясь преподавания физики в Московском университете во время своего обучения в нем, И. Е. Тамм писал: «Когда я учился в 1914/18 гг. в Московском университете, в курсе физики проф. Станкевича теория Максвелла вообще не затрагивалась, так как считалось, что по своей сложности эта теория не поддается лекционному изложению (правда, она излагалась в специальном курсе „по выбору“ доцента А. Бачинского, но я на экзамене по этому предмету получил 5 только за то, что при выводе формул на доске написал знак векторного произведения и знал, каков смысл этого произведения, никаких других вопросов мне вообще не задавалось)».

Вне зависимости от того, работал И. Е. Тамм на физическом факультете Московского университета в тот или иной период или нет, под его руководством трудились многие выпускники МГУ, в том числе Д. И. Блохинцев (выпускник 1930 г.), М. А. Марков (1930), А. А. Власов (1931), В. С. Фурсов (1931), Е. Л. Фейнберг (1935), В. Л. Гинзбург (1938), А. С. Давыдов (1939), А. Д. Сахаров (1942), Д. А. Киржиц (1949), В. П. Силин (1949), Л. В. Келдыш (1954).

В своей деятельности И. Е. Тамм исходил из того, что «ученик — не сосуд, который надо наполнить, а факел, который необходимо зажечь».

В. Л. Гинзбург писал: «Игорь Евгеньевич Тамм был очень хорошим физиком-теоретиком, автором первоклассных работ. Он



написал первоклассный учебник, воспитал много физиков, боролся за подлинно прогрессивную и современную науку. Все это, конечно, верно и очень важно. Но это не все. Если бы дело было только в сказанном, то вполне понятно было бы большое уважение, но любят, прежде всего, за другое: за человеческие черты. Вместе с тем именно как сплав уважения и любви я мог бы охарактеризовать отношение к Игорю Евгеньевичу Тамму и свое, и многих, многих других».

Область научных исследований И. Е. Тамма чрезвычайно широка. Он известен как физик-теоретик, занимавшийся классической электродинамикой, квантовой механикой, теорией твердого тела, физической оптикой, ядерной физикой, физикой элементарных частиц, проблемой термоядерного синтеза, прикладной физикой и целым рядом других направлений.

В 1930 г. в статье «О квантовой теории молекулярного рассеяния света в твердых телах» И. Е. Тамм впервые ввел понятие акустических квантов (квантов звука) в твердом теле. По предложению Я. И. Френкеля кванты звука впоследствии были названы фононами.

В том же году выходит статья «О взаимодействии свободных электронов с излучением по Дираковской теории электрона и по квантовой электродинамике». Здесь «последовательным квантовомеханическим методом рассматривается рассеяние излучения на электронах (волновое уравнение Дирака для электрона, квантование электромагнитного поля и материальных волн), а также подтверждается соответствующая формула для рассеяния, выведенная Клейном и Ншиной. При этом оказывается, что индуцированные излучением квантовые скачки электрона в промежуточные состояния отрицательной электронной энергии имеют решающее значение для рассеяния». То есть он показал, что отрицательная энергия электрона является существенным элементом теории электрона, предложенной Дираком. Концепция отрицательных уровней электрона тогда отвергалась многими физиками. Данная работа имела важное значение для утверждения релятивистского волнового уравнения Дирака для электрона, поскольку позитрон (частица, во всем тождественная электрону, но несущая положительный заряд) в то время еще не был обнаружен экспериментально.

Основы квантово-механической теории фотоэффекта в металлах были заложены И. Е. Таммом в 1931 г. совместно с С. П. Шубиным в работе «К теории фотоэффекта в металлах». В этой классической работе впер-

вые сформулированы представления о решающей для фотоэффекта роли скачка потенциала на границе металла – вакуум и периодического потенциала внутри кристалла (поверхностный и объемный фотоэффекты). Здесь была не только создана качественно правильная физическая картина явления, но и заложены основы для широкого круга современных исследований электронных спектров и структуры поверхности кристаллов фотоэлектрическими методами.

В 1932 г. выходит работа «О возможных связанных состояниях электронов на поверхности кристалла», где показано, что электрон может оказаться в связанном состоянии на поверхности, ограничивающей периодическую потенциальную решетку кристалла. Эти состояния получили название уровней Тамма.

В 1934 г. И. Е. Тамм создает первую теорию ядерного взаимодействия (теорию бета-сил).

В дальнейшем число опубликованных статей и других научных работ значительно увеличивается. Существенно расширяется и тематика исследований. Но одна тематика занимает особое место в научной работе И. Е. Тамма. Это исследования, связанные с эффектом Вавилова – Черенкова.

Несмотря на свою простоту механизма излучения и того факта, что оно могло быть легко предсказано на основе классической электродинамики, открытие явления запоздало по мнению И. Е. Тамма на несколько десятилетий. Причина этого в некритическом применении правильных физических принципов к явлениям, находящимся вне пределов применимости этих принципов.

В данном случае свою роль сыграл стереотип представления о возникновении излучения лишь при неравномерном движении электрических зарядов. Этому учили в течение многих десятков лет молодых физиков. И, во-вторых, явно или неявно предполагалось, что теория относительности не допускает движений со сверхсветовой скоростью, причем без всяких оговорок.

И. Е. Тамм пишет: «Более того, когда И. М. Франк и я уже разработали математически правильную теорию излучения Вавилова – Черенкова, мы все еще пытались разными способами, которые для нас самих сегодня уже непостижимы, примирить наши результаты с утверждением, что для излучения необходимо ускорение. И лишь на следующий день после первого нашего доклада об этой теории на конференции Физического института мы внезапно узрели простую истину: предельной скоростью для материальных тел является скорость света в вакууме...»

И. Е. Тамм никогда не причислял работу, за которую получил Нобелевскую премию, к своим наиболее важным достижениям. Но именно по этой тематике он, пожалуй, работал дольше всего. Именно здесь ему пришлось выйти за рамки традиций, которые всегда есть в науке. Стремление докопаться до сути, довести работу до полной ясности было всегда характерно для его научной деятельности. Это отношение к делу он сумел передать и своим ученикам, каждый из которых сам стал яркой личностью. Это стало самым большим вкладом И. Е. Тамма в развитие физики в Московском университете.

Профессор П. Н. Николаев

ШКОЛА УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ

УСТЬ-ЛАБИНСК, ИЮЛЬ 2025



Усть-Лабинск

Усть-Лабинск получил статус города в 1958 г., до этого на его месте была станица Усть-Лабинская, которая, в свою очередь, была основана в окрестности Александровского укрепления, заложенного А. В. Суворовым в 1778 г. в районе устья реки Лабы. Сегодня Усть-Лабинск — небольшой город, по площади он примерно в 70 раз меньше Москвы, его население составляет около 40 тыс. человек.

Мое первое впечатление от Усть-Лабинска — это характерный хвойный южный запах, запах спокойствия и умиротворения. Второе впечатление — гостиница «Легенда» и вид из ее окон на Лицей и на 2-этажные дома жителей города. Здание гостиницы «Легенда» и здание Лицея на первый взгляд не соответствуют малоэтажной застройке города. Но это только на первый взгляд! Помимо красивых видов ко второму впечатлению от города можно отнести звуки промышленного производства и железной дороги. Это значит, что город живет и работает! В Усть-Лабинске находятся: эфиромаслоэкстракционный комбинат «Флорентина», сахарный завод «Свобода», завод по производству газобетона «Главстрой — Усть-Лабинск», завод ЖБИ, мясокомбинат, птицефабрика, АО «Агрокомплекс», предприятия цветоводства и семеноводства. В городе располагается штаб-квартира агрохолдинга «Кубань». В Усть-Лабинске много парков и зелени, окрестности города очень живописны: ярко-жел-

тые поля подсолнухов, пшеницы, сои и других сельскохозяйственных культур.

Лицей

Первый университетский лицей имени Н. И. Лобачевского — филиал Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова в городе Усть-Лабинске был создан 19 сентября 2019 года. Статус филиала МГУ лицей получил на основе Приказа ректора МГУ № 1287 от 31 октября 2022 г. Сегодня директором лицея является Максим Евгеньевич Бычков. За время работы в лицее сформировался сплоченный коллектив педагогов, тьюторов и воспитателей, которые делают обучение ребят в лицее максимально комфортным, поскольку многие из учеников приезжают из разных регионов и во время обучения живут в кампусе. Набор в лицей проводится в 7, 8 и 10 классы. В 7 класс ребята поступают на универсальное направление, в 8 классе происходит распределение по профилям: физико-математический, физико-химический, физико-информационный и биолого-химический. Набор в 10 класс происходит также на эти направления. В параллели учится в среднем 60 человек. Небольшие классы создают максимально комфортные условия для учебы и творчества: учащиеся лицея могут заниматься живописью, музыкой и хореографией с профессиональными педагогами.



Внутренний двор лицея.



Фойе.

Территория лицея — это не только учебный корпус и кампус, это еще спортивный комплекс с тренажерным залом, бассейном 25 м и спортивными площадками на улице. Кроме того, на территории лицея есть парк с небольшим прудом и беседкой.

На базе лицея регулярно проходят различные мероприятия: дни открытых дверей, спортивные соревнования, фестивали искусств, Всероссийский казачий форум, летние школы для детей и взрослых и многие другие. Одной из летних школ, которая проходила на территории лицея с 29 июня по 04 июля 2025 года, стала 13-я Всероссийская летняя школа учителей физики. В первый день сразу после официального открытия Школы для ее участников



Библиотека.

была организована экскурсия по лицею. Сотрудники лицея — организаторы экскурсии разделили всех желающих поближе познакомиться с лицеем на несколько групп, каждую из которых сопровождали как минимум два преподавателя лицея. На экскурсии мы познакомились не только с интерьерами лицея, но и узнали, как организована его работа во время учебного года. Экскурсанты были приятно удивлены, узнав, что в лицее работают люди, который приехали в Усть-Лабинск из разных городов России. Фонд «Вольное Дело» предоставляет жилье в Усть-Лабинске для сотрудников лицея.

Школа учителей

Оргкомитет Школы учителей начал работу над программой еще зимой. Структура программы была традиционной: лекции ведущих ученых по современным проблемам физики, мастер-классы по решению задач из различных разделов физики, по подготовке к ЕГЭ, олимпиадам и дополнительному вступительному испытанию по физике, а также по проектной деятельности школьников.

В этом году число участников Летней школы учителей физики возросло: 150 человек из 25 регионов приняли участие в работе Школы.

75 учителей, а это половина всех участников, приехали из Краснодарского края, 16 — из Москвы, 7 — из Ростовской области, по 5 человек приехали из Ставропольского края и Нижегородской области, по 4 человека — из Крыма, Самарской области, Адыгеи и Дагестана. В работе Школы приняли участие представители Донецкой Народной Республики, Ямало-Ненецкого автономного округа, Иркутской области и других регионов. Видно, что география участников Школы достаточно обширна. Приятно было встретить учителей, знакомых по прошлым Школам, а также познакомиться с теми, кто участвует в этом мероприятии впервые.

Работа Школы была подчинена строгому расписанию: в первой половине дня проходили лекции преподавателей МГУ: о микромире рассказал доцент Е. В. Широков, с принципами дидактики и современными информационными технологиями слушателей знакомил ст. преподаватель А. В. Селиверстов, о магнетизме и магнитной записи информации рассказала доцент Т. Б. Шапаева, тему пространства, времени и гравитации со слушателями обсуждал доцент К. В. Парфенов, о методе аналогий при изучении электрических и гравитационных полей рассказал доцент А. В. Грачев, а с эффектом Мессбауэра как энциклопедии физики, слушателей познакомила доцент Н. И. Чистякова.

Поскольку Школа учителей проходила уже после того, как учащиеся выпускных классов сдали экзамены и узнали свои результаты, в рамках Школы учителей были рассмотрены вопросы, касающиеся преподавания физики в школе. Доцент А. Г. Разборов рассказал о том, зачем физикам хорошее знание математики, с новыми темами в олимпиадах школьников по физике слушателей знакомил доцент К. В. Парфенов, о том, какая физика нужна современному школьнику, участники Школы учителей рассуждали вместе с методистом издательства «Пропагандование» А. А. Пичкасовой, об использовании междисциплинарных связей для подготовки к ГИА по физике рассказал ст. преподаватель А. В. Селиверстов, со сложными заданиями КИМ ЕГЭ по физике слушателей познакомила доцент Е. В. Лукашева, об экспериментальных задачах олимпиад по физике рассказали ассистент Ю. В. Старокуров и ассистент Н. Г. Жданова, с проектной деятельностью школьников на физическом факультете МГУ участников Школы познакомил профессор А. И. Федосеев.

Почти ежедневно вторая половина дня на Школе была посвящена мастер-классам, на которых также был рассмотрен широкий круг проблем: ассистент В. С. Шевцов рассказал о силе Архимеда и равновесии жидкости в движущемся сосуде, с цифровым экспериментом слушателей знакомил ст. преподаватель А. В. Селиверстов, олимпиадные задачи высокого уровня участники Школы учителей разбирали под руководством ассистента Ю. В. Старокурова и ассистента Н. Г. Ждановой.

В один из дней работы Школы во второй половине дня прошла конференция, в рамках которой учителя на нескольких секциях выступали с устными докладами и делились собственным опытом. Как заинтересовать учеников физикой, как поддержать слабых ребят, кому предмет дается нелегко, как помочь школьникам увидеть в физике инструмент познания мира, не упуская при этом текущую работу, связанную с решением типовых задач, проведением лабораторных работ, и подготовку к экзаменам.

Несмотря на то, что программа школы была достаточно плотной, участники Школы находили время для неформального общения и для творчества. Талантливые учителя сочинили песню и исполнили ее на церемонии закрытия Школы. Возможно, эта песня станет гимном летней Школы учителей физики....



Участники Школы — исполнители песни о Школе учителей на церемонии закрытия.

Во время работы школы в Телеграмме был создан специальный чат, предназначенный для общения участников Школы. В этот чат регулярно выкладывали полезную информацию и фотографии о работе Школы. После закрытия Школы чат наполнился трогательными сообщениями. Приведу только одно из них: «Впечатления от Школы незабываемые! Мы как будто побывали в Артеке или Орленке (с физическим уклоном)! Столько новых знаний, умений, друзей, впечатлений! Грустно было уезжать и хочется приехать вновь через год! Еще раз спасибо огромное организаторам — корифеям МГУ и одновременно простым, веселым, дружелюбным людям!» Ирина Пономарева, учитель физики из г. Ходыженск, Краснодарский край.

Вот уж, действительно, лучше не скажешь! От имени Оргкомитета Школы и от себя лично я благодарю фонд «Вольное Дело» и всех сотрудников Лицея за блестящую организацию работы Школы, оперативное решение всех возникающих вопросов, теплый прием, пример настоящего, преданного отношения к своему делу и за возможность познакомиться с новым учебным заведением такого высокого уровня для школьников не только из Краснодарского края.

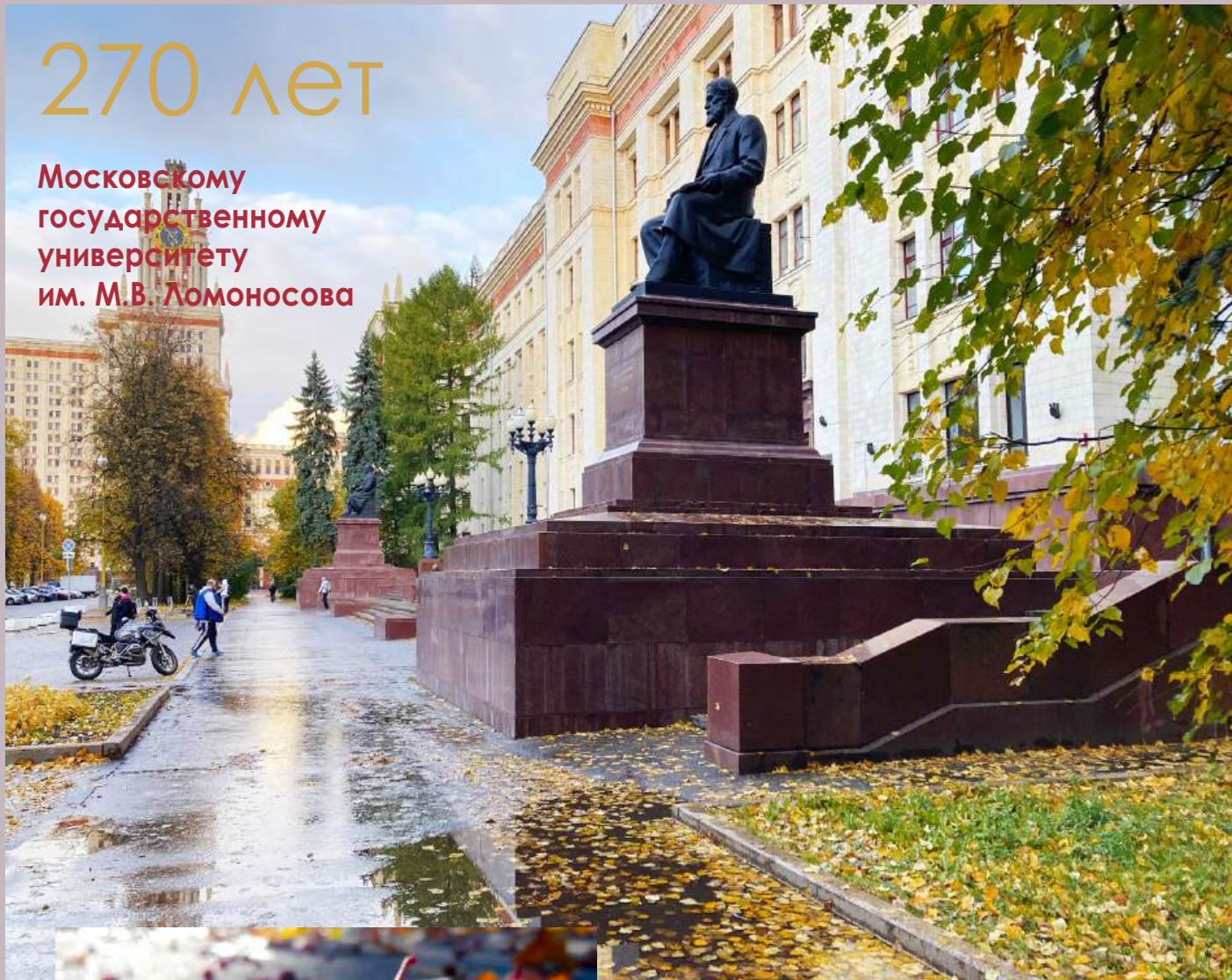
Это настоящее чудо!

Автор благодарит ассистента Н. Г. Жданову за предоставленные материалы.

Доцент Т. Б. Шапаева

270 лет

Московскому
государственному
университету
им. М.В. Ломоносова



Главный редактор: В. В. Белокуров

Редакторы:

П. А. Форш, В. Н. Задков, Н. Б. Баранова

Начальник отдела оперативной печати: Салецкая О. В.

Дизайн и верстка: И. А. Силантьева

Фотограф: С. А. Савкин

Пресс-секретарь:

А. С. Трипалина press,ff@org.msu.ru

Подписано в печать 30.10.2025.

Физический факультет МГУ
имени М.В. Ломоносова,

119991, Москва ГСП-1,
Ленинские горы, д. 1, стр. 2

ISSN 2500–2384



Бюллетень «НОВОСТИ НАУКИ»
© 2025 Физический факультет МГУ

