

ЗА НАУКУ

ВЫХОДИТ С 1958 ГОДА

SAPERE AUDE



Я — ученый





От редакции

Когда готовили к печати этот выпуск, наткнулись на такую статистику: 80–90 % когда-либо живших на Земле ученых — наши современники. Мы не знаем, насколько достоверна информация и как была сделана выборка — вероятно, это просто примерная оценка. Но только задумайтесь! Наука действительно развивается по экспоненте с конца XIX века и сбавлять обороты явно не собирается.

В этом номере мы собираемся вас познакомить с новым поколением ученых, теми, кто создает наше будущее здесь и сейчас. Эти ребята по-настоящему любят то, чем занимаются, поэтому мы уверены — их ждет невероятно успешная научная карьера. Как сказал недавно известный ученый, астрофизик и наш хороший друг, «наука — это безумно интересно. Если не так — бросайте это гиблое дело».

Мы хотим, чтобы было интересно и вам. Чтобы вы были не только свидетелями, но и участниками стремительного технологического прогресса. А проводниками для вас станут наши молодые герои с обложки, которые точно знают, что нас ждет впереди.

Содержание

Новости

- 4 Новости науки
- 6 Новости вуза
- 8 МФТИ в СМИ

Открыто

Фундаментальная наука

- 10 Прирученный вихрь
- 11 Торияевая сверхпроводимость
- 12 Три плюс два
- 13 Технологии
Новая флешка
- 14 Биофизика
Структура вирусного родопсина
- 15 Медицина
Одно из 125 тысяч
- 16 Технологии
Нейросеть прочитала мысли
- 17 Астрофизика
Звезда повернулась бочком



Главное

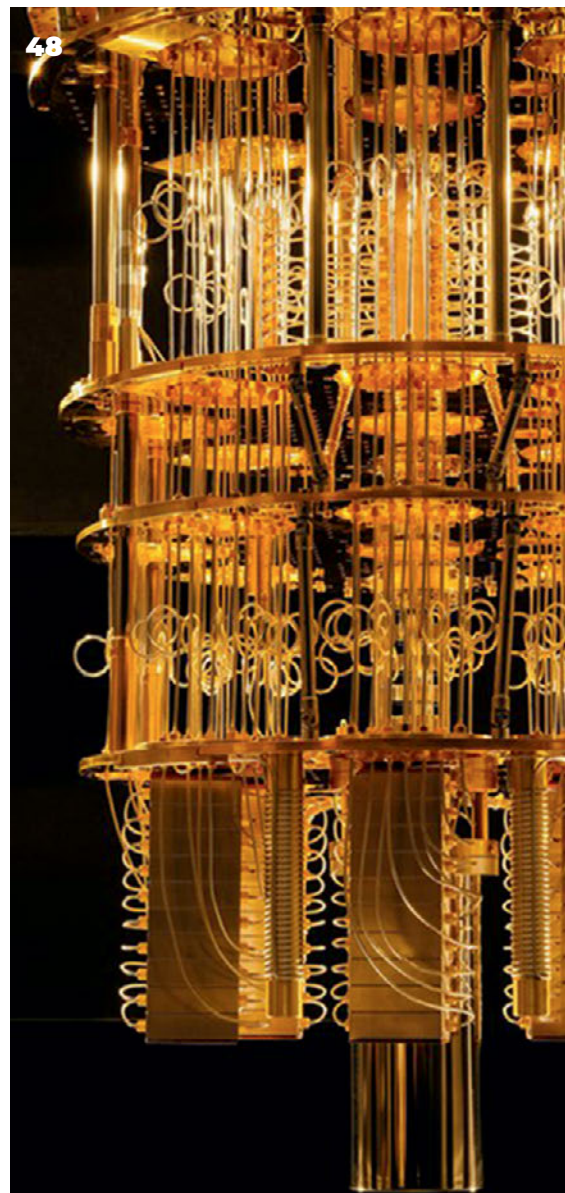
- 18 Я — ученый
Кто создает наше двумерное будущее
- 30 Графен и после него
- 33 Границы применимости
15-летняя «карьера» графена
- 38 2D-материалы
в трехмерном мире
- 40 Из Петербурга в Ханчжоу
Куда заводит физика жидкого света. Интервью с Алексеем Кавокиным
- 44 В центре огромной плоскости
На Физтехе начал работу Центр фотоники и двумерных материалов
- 48 Как рождаются технологии
Рассказываем на примере квантового компьютера и графена

Актуально

- 54 Космическая тройка
За что дали Нобелевскую премию по физике — 2019
- 58 Зарядились до «Нобеля»
Химия литий-ионных аккумуляторов
- 62 Тайна гипоксии



33



48



Своими глазами

64 Новая жизнь квантовой механики

Чем занимаются в Центре высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов имени В. Л. Гинзбурга

Background

72 Наука – это спорт

Николай Колачевский, директор Физического института Академии наук имени П. Н. Лебедева

Интервью

74 «Ключевой точкой было открытие графена»

Беседа с Алексеем Кузьменко, выпускном МФТИ и сотрудником лаборатории оптики и роста кристаллов Университета Женевы

Наука в театре

78 Технологии взойшли на подмостки

80 Фотохроника



№4 (1960) 2019 год

Главный редактор Анна Дзарахохова

Приглашенный редактор Алексей Арсенин

Научный редактор Татьяна Небольсина

Арт-директор Елена Хавина

Дизайн и верстка Эмма Бурляева

Фотограф Евгений Пелевин

Цветокоррекция и пре-пресс

Максим Куперман

Корреспонденты

Андрей Бабёнышев, Анастасия Грачикова, Елена Егорова, Екатерина Жданова, Ильяна Золотарева, Мария Комарова, Вячеслав Мещеринов, Анастасия Митько, Сергей Мольков, Григорий Рашков, Марина Тебенькова, Алина Чернова, Елизавета Чернышева

Корректор Юлия Болдырева

Ректор МФТИ

Николай Кудрявцев

Проректор по научной работе и программам развития

Виталий Баган

Руководитель управления общественных связей

Варвара Новикова

e-mail и сайт редакции:

zn@phystech.edu, znanauku.mipt.ru

Подписано в печать 17.12.2019

Тираж 999 экз.

Отпечатано в типографии

«Сити Принт». г. Москва, ул.

Докукина, 10/41

Перепечатка материалов невозможна без письменного разрешения редакции журнала.

Мнения и высказывания, опубликованные в материалах журнала «За науку», могут не совпадать с позицией редакции.

На обложке: Олеся Капитанова, Дмитрий Пономарев, Дмитрий Свинцов, Глеб Целиков, Дмитрия Якубовский. Фотограф: Иван Потылицын.

СО₂-ДИЕТА

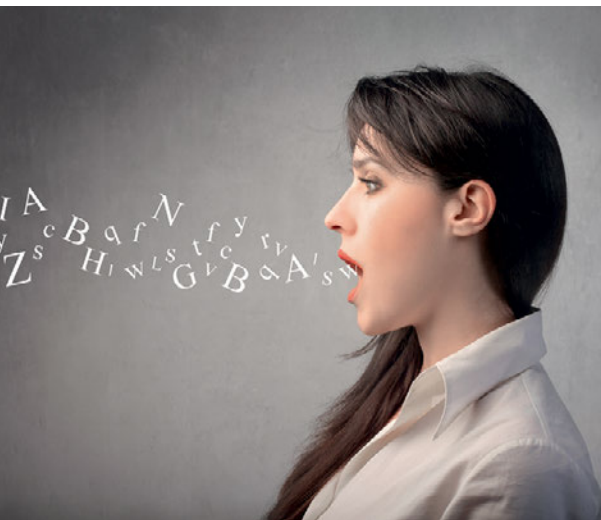
Биологи из Института Вейцмана модифицировали бактерию *Escherichia coli* так, чтобы она могла создавать сахара и другие органические молекулы, потребляя при



этом СО₂. Исследователи ввели в бактерию ген фермента, который позволил ей потреблять формиат — анион муравьиной кислоты, одно из простейших углеродсодержащих соединений. Ученые ввели еще три фермента и удалили несколько, которые бактерия обычно использует для метаболизма, чтобы организм стал использовать формиат для питания и роста. Спустя сотни поколений *E. coli* биологам удалось получить штамм, который потребляет только СО₂ и формиат для своего существования и может производить органические соединения.

ЧИТАТЬ ПО ГУБАМ

Китайские и американские исследователи разработали новый метод обучения нейросетей для распознавания речи по губам. Они предложили брать хорошо обученный алгоритм распознавания речи по аудиозаписям и использовать его в качестве учителя для алгоритма распознавания речи по видеозаписям. Разработчики обучали и проверяли работу метода на стандартных для такой задачи датасетах — это LRS2, содержащий более 45 тысяч предложений, произнесенных в эфире BBC, а также CMLR — крупнейший датасет для чтения по губам на севернокитайском (мандаринском) языке, содержащий более 100 тысяч предложений из эфира CNTV.



500

нанокельвинов — рекордно низкая температура, при которой провели химическую реакцию. Это позволило ученым «разглядеть» самые мелкие детали взаимодействия

НАПЕЧАТАНО ТИТАНОМ

Современные титановые сплавы в процессе 3D-печати при охлаждении часто кристаллизуются в не самой удачной форме — в виде столбцов. Это делает их склонными к растрескиванию или образованию дефектных структур. Ученые из Австралии и США провели успешные испытания титано-медных сплавов, которые решили проблему. Сплавы с такой микроструктурой могут выдерживать гораздо более высокие напряжения и менее подвержены образованию различных дефектов. «Есть также ряд других легирующих элемен-



Напечатанный брусок на фоне порошков титана и меди

тов, которые, вероятно, смогут оказать аналогичные эффекты. Все это может найти применение в аэрокосмической и биомедицинской промышленности», — отметил один из исследователей, старший научный сотрудник Государственного объединения научных и прикладных исследований (Австралия) Марк Гибсон.



ЛОВЕЦ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

© NASA/NRL/APL

Астрофизики представили результаты анализа данных, собранных солнечным зондом «Паркер», который подлетел к звезде ближе, чем любой другой аппарат. Он уже совершил три близких пролета мимо звезды, которые стали рекордными сближениями — 0,16 и 0,24 астрономических единиц (36 и 54 солнечных радиуса соответственно). В серии статей, опубликованных в журнале *Nature*, ученые рассказали о природе истекающего с экватора светила солнечного ветра, механизмах ускорения протонов и электронов, нашли ранее не наблюдавшиеся структуры в плазме короны и взаимосвязи вращения Солнца со сверхзвуковыми потоками частиц. Одним из неожиданных открытий стало обнаружение смены направления магнитных силовых линий.

© RMIT University

ДОЛГОВЕЧНЫЙ ПЕРОВСКИТ

Нанокристаллы перовскита находят применение в большом количестве устройств, особенно оптоэлектронных, от лазеров до светодиодов. Но они достаточно быстро разрушаются при контакте с водой. Исследователи из Технологического института Джорджии предложили упаковать материал внутри двухслойной системы защиты из пластика и кремнезема. По новой технологии сначала формируются сложные молекулы пластика, которые содержат три разных блока полимеров. Их структуры служат первым слоем защиты, отталкивая воду и предотвращая слипание нанокристаллов. Следующий слой кремнезема

добавляет дополнительную защиту, если какая-либо вода пройдет мимо водотталкивающих пластиковых «нитей». Новый метод открывает возможность настройки поверхностных характеристик двухслойного нанокристалла для повышения его устойчивости и эффективности преобразования энергии.



© McGill University

ЗВУК УПРАВЛЕН С ЭКСИТОНАМИ

Физики из Швейцарии, Германии и Франции обнаружили, что акустическими волнами большой амплитуды можно манипулировать оптическим откликом полупроводников. Для этого исследователи запустили высокочастотную (сотни гигагерц) волну с большой амплитудой в материале, используя ультракороткие лазерные импульсы. Свои исследования ученые проводили при комнатной температуре на диоксиде титана — дешевом и хорошем полупроводнике, который используется в самых разнообразных технологиях преобразования световой энергии. «Результаты нашего исследования открывают очень интересные перспективы для таких приложений, как дешевые акустооптические устройства или сенсорные технологии», — говорит сотрудник Федеральной политехнической школы Лозанны Маджед Черги.

Плавучий космодром Sea Launch



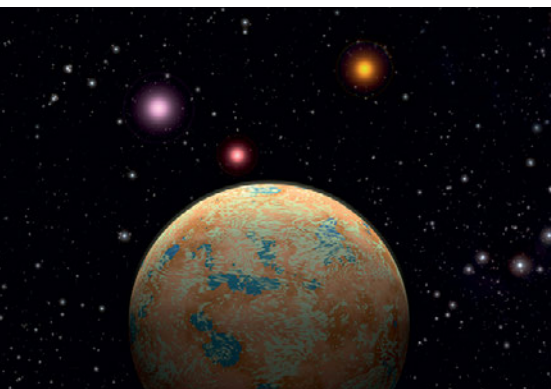
КОСМОДРОМ «ПЛЫВЕТ» В РОССИЮ

Космодром «Морской старт» был создан в 1995 году для запуска коммерческих спутников в космос, его основателями были американский Boeing, российская РКК «Энергия», норвежское судостроительное предприятие Kvaerner и украинские КБ «Южное» и ПО «Южмаш». В сентябре 2016 года S7 Group приобрела плавучий космодром «Морской старт», а в начале 2017 года получила лицензию на осуществление космической деятельности в России. В конце мая 2019 года «Роскосмос» и S7 Space обсуждали проект создания на базе «Союза-5» многоразовой ракеты грузоподъемностью 17 тонн с возвращаемыми ступенями. По данным газеты «Ведомости», самарский «Прогресс» готов сделать для проекта Sea Launch модификацию ракеты-носителя «Союз-5», облегчив ее за счет уменьшения топливных баков. Ее возможное название — «Союз-7», что созвучно с названием самой компании. Сейчас группе компаний S7 необходимо перебазировать плавучий космодром Sea Launch («Морской старт») из Лонг-Бич на территорию России, в порт Славянского судоремонтного завода вблизи Владивостока. «Переход стартовой платформы и сборочно-командного судна на Дальний Восток планируется в 2020 году», — добавили в S7 Space.

ЖИЗНЬ В КОСМОСЕ

Ученые из Корнеллского университета придумали способ поиска жизни на экзопланетах. Он основан на создании спектральных «карт». Астрофизики разработали спектральные модели высокого разрешения и сценарии, описывающие возможные сигналы, которые могут быть обнаружены при существовании жизни в далеких от нас мирах. Для сбора всех нужных данных

ученым необходимы большие телескопы следующего поколения, такие как Extremely Large Telescope (ELT), который в настоящее время строится в пустыне Атакама на севере Чили и, как ожидается, будет введен в эксплуатацию в 2025 году. Астрофизики считают самыми перспективными для наблюдения две экзопланеты: Проксиму b в обитаемой зоне одной из ближайших к нам звезд Проксимы Центавра и Trappist-1e.



ГЛАЗАМИ ФИЗТЕХА

Сотрудники лабораторий МФТИ совместно с ГК «Нейроботикс» разработали систему мобильного трекера глаз EyeRay. Основными задачами любых систем айтрекинга являются



отслеживание перемещения глаз, фиксация задержки взгляда и ее длительности. Также система широко применяется в маркетинговых исследованиях и спорте — например, чтобы определить предпочтения пользователей при покупке товаров в магазинах или оценить эффективность рекламы, размещенной на уличных билбордах. При этом EyeRay стоит втрое дешевле зарубежных аналогов и, помимо стандартного функционала, обладают возможностью соединения с нейрогарнитурами для ассистивной помощи людям с моторными дисфункциями.

СНОВА В ЛИДЕРАХ

По итогам двенадцатого заседания Совета Проекта 5-100 было рекомендовано продолжить оказание государственной поддержки 21 университету — участнику проекта в 2020 году. При этом вузы были разделены на 3 группы, в каждую из которых вошло по 7 университетов. МФТИ вошел в первую группу вместе с Высшей школой экономики, Университетом ИТМО, НИЯУ «МИФИ», НИТУ «МИСИС», Томским государственным университетом и Новосибирским национальным исследовательским университетом. По словам зампреда правительства РФ Татьяны Голиковой, как и в прошлом году вузам — участникам программы повышения конкурентоспособности будет выделено порядка 10 млрд рублей. Таким

образом, университеты первой группы, включая МФТИ, получают господдержку в объеме около 900 млн рублей, второй группы — порядка 450 млн рублей, а вузы, вошедшие в третью группу, — около 120–130 млн рублей. При распределении вузов учитывалась оценка по трем параметрам: достижения в рейтингах, значения показателей, характеризующих научно-образовательную, международную и финансовую деятельность университетов, а также оценка, полученная вузами от членов совета.

**КИТАЙСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО**

В октябре в Чжэнчжоу (провинция Хэнань в КНР) состоялось официальное открытие Ресурсного центра МФТИ — пилотного проекта по организации подготовки старшеклассников к поступлению на Физтех, а также профильной подготовки студентов к поступлению в магистратуру и аспирантуру МФТИ.

В рамках сотрудничества МФТИ и Университета Чжэнчжоу (Zhengzhou University) заместитель директора по последипломному образованию и международному сотрудничеству Физтех-школы биологической и медицинской физики Александр Мелерзанов провел серию рабочих встреч с руководством и преподавателями лучших школ провинции Хэнань.

**МНОГОМИЛЛИОННЫЙ ГРАНТ**

Лаборатория комбинаторных и геометрических структур МФТИ под руководством известного ученого — профессора Яноша Паха выиграла мегагрант правительства РФ на сумму 79 млн рублей. Лаборатория объединяет ведущих мировых специалистов в областях экстремальной комбинаторики, дискретной и вычислительной геометрии и теоретической информатики. Это очень активно развивающиеся и взаимосвязанные области, методы и результаты которых применяются как в других областях математики, так и в различных прикладных задачах. Планируется, что с лабораторией, которая входит в состав Физтех-школы прикладной математики и информатики, будут также сотрудничать всемирно известные ученые Рон Аарони и Габор Тардош.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯНДЕКСА

Яндекс и Физтех-школа прикладной математики и информатики МФТИ открывают совместную лабораторию, которая будет заниматься исследованиями в области компьютерных наук. Здесь будут работать над развитием технологий машинного обучения, компьютерного зрения, информационного поиска, рекомендательных систем, обработки естественного языка и машинного перевода. Сотрудники лаборатории займутся исследованиями с прицелом на публикацию статей на ведущих мировых научных конференциях, таких как ICML, NeurIPS и ACL. Руководить научной работой будут специалисты исследовательского подразделения Яндекса во главе с выпускником МФТИ Артёмом Бабенко.



Ректор МФТИ Николай Кудрявцев и генеральный директор Яндекса в России Елена Бунина

СОРЕВНОВАНИЕ «LEARN TO MOVE — WALK AROUND»

Второе место: команда МФТИ в составе Сергея Колесникова и Валентина Хрулкова.

ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

Первое место: сборная Физтеха в составе Андрея Уймина, Вячеслава Кузнецова, Андрея Николаева и Давита Геворгяна под руководством Александра Сахарова.

ХАКАТОН PRONASK 4.0

ОТ КОМПАНИЙ КРОК И СИБУР

Первое место: команда МФТИ CVisioners, в составе которой Клим Киреев, Эдгар Казиахмедов, Елизавета Киселева, Кежик Кызыл-оол и Григорий Мельников.

ЧЕМПИОНАТ ПО РОБОФУТБОЛУ ROBOCUP ASIA-PACIFIC-2019

Первое место: команда МФТИ «Старкит» в составе капитана Ивана Хохлова, Владимира Литвиненко, Ильи Рякина, Никиты Коперского, Павла Сеничкина и Ильи Осокина.

КОНКУРС МЁБИУСА

Третье место: аспирант МФТИ Арсений Сагдеев с работой «О несимметричных диофантовых приближениях».

КРУПНЕЙШИЙ ХАКАТОН В ЕВРОПЕ JUNCTION

Студенты 4 курса МФТИ Иван Глушков, Дмитрий Камальдинов и Раед Романов в составе Russian Hack Team стали призерами хакатона Junction.

ЛУЧШАЯ НА ICUMT 2019

Студентка четвертого курса МФТИ Дарья Устинова получила приз за лучшую студенческую работу одиннадцатого международного конгресса по ультра-



современным телекоммуникациям и системам управления ICUMT 2019. В своем исследовании «Анализ Т-кратной кодированной слотированной системы множественного доступа ALOHA при фиксированной вероятности ошибки» Дарья показала, каким образом при помощи правильного подбора вероятностей случайных запросов можно минимизировать число коллизий. Анализ был проведен для различных модификаций алгоритма, например, для разного числа подключенных устройств. Работа получила много положительных отзывов, и в настоящее время ее расширенная версия подготавливается для публикации в престижном журнале.



СОХРАНЯЯ ПОЗИЦИИ

В ноябре британское издание Times Higher Education (THE) обнародовало результаты предметных рейтингов по направлениям «Науки о жизни» и «Физические науки». Лучший результат среди российских вузов четвертый год подряд демонстрирует МФТИ. В предметном рейтинге «Физические науки» МФТИ занимает 45 место, сохраняя третий год подряд место в топ 50 лучших вузов мира. В рейтинге Life Sciences Физтех занял позицию 251–300 и стал вторым в Российской Федерации после МГУ.

НАУКА И ЖИЗНЬ®

НЕСТАНДАРТНЫЙ ПУЛЬСАР

<...> Весной 2019 года астрофизики из Института космических исследований РАН, МФТИ и Пулковской обсерватории РАН смогли «поймать» момент зарождения новой вспышки от GRO J2058+42 и оперативно организовать серию наблюдений космической рентгеновской обсерваторией NuSTAR (НАСА), обладающей выдающейся комбинацией высокого энергетического разрешения и широчайшего рабочего диапазона энергий.

Подробнее на стр. 17



RUSSIAN SCIENTISTS INVENT AMAZING "MIND-READING" TOOL THAT COULD BE FUTURE OF CONTROLLING PHONES WITH YOUR BRAIN

In a video released by scientists in Moscow, a test subject is shown with their head wired up to a complicated headset. They're played video clips while the mind-reading tool attempts to recreate what's on the screen by reading their brain waves. On several occasions, the tech appears to copy the videos bang on in an impressive display of brain-tracking prowess. The tool was developed by researchers at the Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT).

Подробнее на стр. 16



ИНФОРМАЦИОННОЕ
АГЕНТСТВО РОССИИ

УЧЕНЫЕ ИЗ МФТИ СОЗДАЛИ КОНДЕНСАТОРЫ ДЛЯ ФЛЭШ-ПАМЯТИ БУДУЩЕГО

Физики создали уникальные конденсаторы из оксида гафния, которые можно использовать в качестве ячеек сверхбыстрой и почти «вечной» флэш-памяти. Об этом сообщила пресс-служба МФТИ со ссылкой на статью научного журнала Nanoscale.

Подробнее на стр. 13



В МАГНОННЫХ СХЕМАХ НАУЧИЛИСЬ НЕ ТЕРЯТЬ СИГНАЛ

Ученые из Московского физико-технического института, Института радиотехники и электроники имени Котельникова РАН и Саратовского государственного университета выяснили, что неудачный волновод может привести к потере сигнала.



SCIENTISTS DEVELOP METHOD TO STANDARDIZE GENETIC DATA ANALYSIS

MIPT researchers have collaborated with Atlas Biomedical Holding and developed a new bioinformatics data analysis method. The developed program, EphaGen, can be used for quality control when diagnosing genetic diseases. The team published the article in Nucleic Acid Research.

SCIENTISTS TAME JOSEPHSON VORTICES

MIPT physicists have learned how to locally control Josephson vortices. The discovery can be used for quantum electronics superconducting devices and future quantum processors. The work has been published in the prestigious scientific journal Nature Communications.

Подробнее на стр. 11



RUSBASE

СЧИТАЕТЕ, ЧТО У ВАС БИРЮЗОВАЯ КОМПАНИЯ? ПРОВЕРЬТЕ ЭТО ПРЯМО СЕЙЧАС

Александр Белов, директор бизнес-инкубатора МФТИ, в колонке рассуждает, чем отличаются бирюзовые компании от других, и объясняет, каким критериям должны соответствовать организации, которые стремятся к такой системе устройства.

ИЗВЕСТИЯ

ПРОПУСКНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ: НОВЫЙ РОУТЕР РАЗГОНИТ БЕСПРОВОДНОЙ ИНТЕРНЕТ

Новый российский Wi-Fi роутер ускорит беспроводной интернет на 40% и позволит смотреть видео в разрешении 4K сразу на множестве устройств. Разработка отечественных ученых не имеет аналогов в мире благодаря реализации особого способа передачи данных. Устройство станет базовой частью будущего глобального стандарта связи Wi-Fi 7. <...> Важную роль в создании технологии сыграли молодые специалисты — студент МФТИ Илья Левицкий и аспирант Алексей Куреев. Они являются сотрудниками лаборатории беспроводных сетей, созданной в рамках мегагранта правительства России.



NATIONAL GEOGRAPHIC

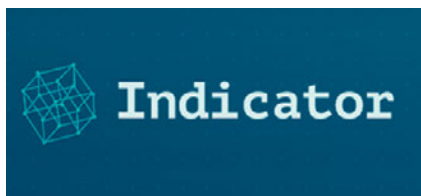
УСТАНОВЛЕН РЕКОРД ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СИГНАЛА

Исследователи из Московского физико-технического института совместно с инженерами компаний T8 (Россия) и Corning Incorporated (США) создали систему передачи высокоскоростного сигнала на большие расстояния без активного промежуточного усиления. Подобные системы помогут провести интернет и другие виды связи в отдаленные населенные пункты. Результаты работы опубликованы в журнале IEEE Photonics Technology Letters.



КИБЕРНЕТИКА В НАУКЕ И ЖИЗНИ

Чистая кибернетика сегодня — это теория управления в математике. Самый простой пример, который всегда все приводят, — это термостат, рассказывает Михаил Бурцев, заведующий лабораторией нейросетей и глубокого обучения МФТИ, руководитель проекта iPavlov НТИ, кандидат физико-математических наук.



НАЙДЕН НОВЫЙ СПОСОБ СОЗДАТЬ ЛЕКАРСТВО ДЛЯ АСТМАТИКОВ

Сотрудники МФТИ вместе с зарубежными коллегами пролили свет на структуру и особенности рецепторов CysLT, которые регулируют провоспалительные реакции, связанные с аллергическими расстройствами. Исследование было опубликовано в журнале Nature Communications.



УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ СПОСОБНЫ ИЗМЕНИТЬ БУДУЩЕЕ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНОВ

Пленки из углеродных нанотрубок с полупроводниковой проводимостью в будущем способны заменить оксид индия-олова — твердый прозрачный материал, который уже 60 лет используется для создания прозрачных электродов. Без редкоземельного индия дисплеи и сенсорные экраны станут дешевле, и кроме того, их можно будет без вреда сгибать и сворачивать. Ученые Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН и МФТИ совместно с коллегами исследовали влияние «ловушек» на оптические свойства углеродных нанотрубок.

Подробнее на стр. 12

МОСЛЕКТОРИЙ: КАК НАЙТИ ЧЕРНУЮ ДЫРУ

Какой путь пришлось пройти астрофизикам от первого предсказания до доказательства существования этих пугающих объектов во Вселенной? Представляют ли они опасность для человечества? Где находится «горизонт событий»? Об этом и не только гостям рассказал Юрий Ковалев, российский ученый-астрофизик, член-корреспондент РАН, заведующий лабораториями ФИАН и МФТИ.



Татьяна Небольсина

Прирученный вихрь

Физики из МФТИ показали возможность локального управления джозефсоновскими вихрями.

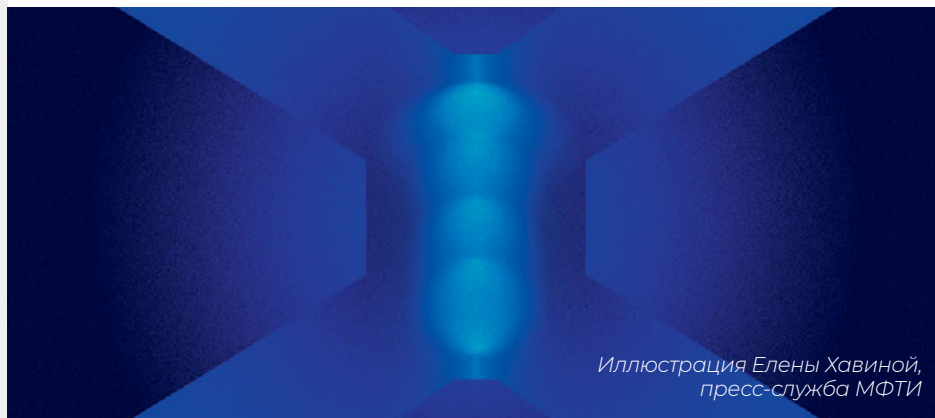
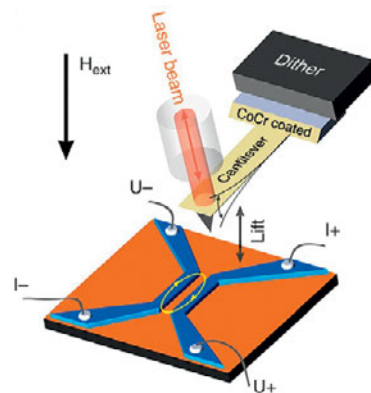


Иллюстрация Елены Хавиной,
пресс-служба МФТИ



Экспериментальная установка:
ниобий Nb (синий),
медь Cu (оранжевый).
Эллипс отмечает область
джозефсоновского перехода.
Игла магнитно-силового
микроскопа с магнитным
покрытием из Co/Cr колеблется
пьезоэлементом (dither)

ГДЕ СЛАБО, ТАМ И ТОКИ

Джозефсоновский вихрь — это вихрь токов, возникающий в системе из двух сверхпроводников, разделенных слабой связью (диэлектриком, нормальным металлом и др.) в присутствии внешнего магнитного поля. В 1962 году Джозефсон предсказал эффект протекания сверхпроводящего тока через тонкий слой изолятора, разделяющий два сверхпроводника. Такой ток назвали джозефсоновским, а соединение сверхпроводников — джозефсоновским контактом.

Между двумя сверхпроводниками через диэлектрик или металл, не являющийся сверхпроводником, образуется связь, называемая слабой, и устанавливается макроскопическая квантовая когерентность. Когда эту систему помещают в магнитное поле, сверхпроводники магнитное поле выталкивают. Чем большее магнитное поле прикладывается, тем больше сверхпроводимость сопротивляется проникновению магнитного поля в джозефсоновскую систему. Однако слабая связь — это место, в которое

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Василий Столяров, руководитель исследования, заместитель заведующего лабораторией топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах МФТИ:

— Мы показали, что в планарных (плоских) контактах «сверхпроводник — нормальный металл — сверхпроводник» джозефсоновские вихри имеют своеобразный отпечаток. Он был обнаружен при проведении магнитно-силовой микроскопии. Основываясь на этом открытии, мы показали возможность локальной генерации джозефсоновского вихря и манипулирования им магнитным кантилевером микроскопа.

поле может проникнуть в виде отдельных джозефсоновских вихрей, несущих квант магнитного потока. Вихри Джозефсона часто рассматриваются как настоящие топологические объекты, наблюдение и манипулирование которыми достаточно сложно.



МИКРОСКОП & МАНИПУЛЯТОР

Разнообразие сверхчувствительных сверхпроводящих устройств и архитектур для квантовых вычислений быстро растет. Джозефсоновские же контакты являются для них строительными блоками.

Ученые из лаборатории топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах МФТИ решили применить магнитно-силовой микроскоп (MFM) для изучения джозефсоновских вихрей в системе из двух сверхпроводящих контактов из ниобия и прослойки из меди (Nb/Cu/Nb), играющей роль слабой связи.

При определенных параметрах (местоположение зонда, температура, внешнее магнитное поле, электрический ток через образец) исследователи наблюдали особый отклик кантилевера микроскопа. Это сопровождалось появлением резких колец/дуг на изображениях. Во время процесса шел обмен энергией между кантилевером и образцом в точках бифуркации.

Открытие может быть востребованным в сверхпроводящих устройствах квантовой электроники и в будущих квантовых процессорах.

Оригинальная статья: Local Josephson vortex generation and manipulation with a Magnetic Force Microscope, Viacheslav V. Dremov et al.; Nature Communications, September 2019. **ЭН**

Ториевая сверхпроводимость

✍ Алина Чернова



Ученые нашли новый высокотемпературный сверхпроводник.

ТЕМПЕРАТУРА ИЛИ ДАВЛЕНИЕ

Сверхпроводимость — удивительное свойство полной потери электрического сопротивления, появляющееся у некоторых материалов в определенных условиях. Такие вещества очень интересны для электроники, так как могут найти применение в квантовых компьютерах и высокочувствительных детекторах. Однако есть большая сложность: проявляется это явление обычно при весьма низких температурах или крайне высоких давлениях.

До недавнего времени рекорд удерживал ртутьсодержащий купрат с температурой сверхпроводимости -138°C . Рекорд этого года составляет -13°C (декагидрид лантана, LaH_{10}), что очень близко к комнатной температуре, но достигается это при давлениях в почти 2 миллиона атмосфер, что затрудняет практическое использование вещества.

ПРЕДСКАЗАНИЕ & ЭКСПЕРИМЕНТ

В 2018 году в лаборатории профессора Сколтеха и МФТИ Артёма Оганова его сотрудником Александром Квашниным было сделано предсказание нового вещества, полигидрида тория ThH_{10} , с критической температурой -32°C при давлении в 1 миллион атмосфер.

Ученые под руководством профессора Сколтеха и МФТИ Артёма Оганова и доктора Ивана Трояна из Института кристаллографии РАН смогли синтезировать предсказанный сверхпроводящий материал — декагидрид тория ThH_{10} и исследовать его транспортные свойства и сверхпроводимость.

В согласии с теоретическим предсказанием было обнаружено, что ThH_{10} существует при давлениях выше 0,85 миллиона атмосфер и является выдающимся высокотемпературным

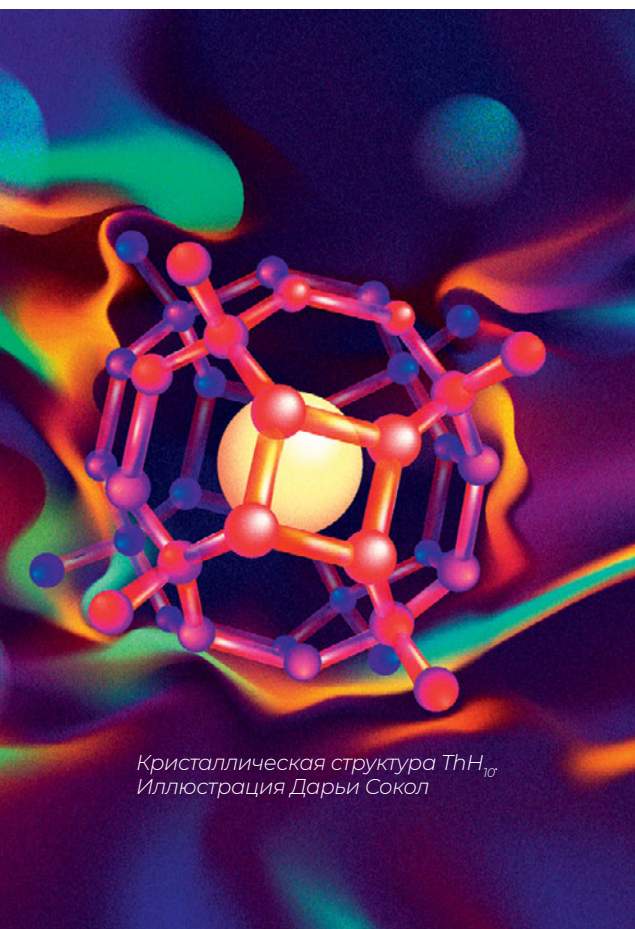
сверхпроводником. Критическую температуру определили при давлении в 1,7 миллиона атмосфер, она оказалась равна -112°C , что совпадает с теоретическим предсказанием для этого давления и уже сейчас ставит ThH_{10} в ряд рекордных высокотемпературных сверхпроводников.

ЧТО ДАЛЬШЕ

«Мы увидели предсказанную теорией сверхпроводимость при -112°C и 1,7 миллиона атмосфер. Учитывая замечательное согласие теории и эксперимента, интересно узнать, вырастет ли при более низких давлениях сверхпроводимость этого вещества до предсказанных -30 – -40°C », — отметил Иван Троян.

«Гидрид тория — это лишь отдельное звено большого, динамично развивающегося класса гидридных сверхпроводников. Я считаю, что в ближайшие годы гидридная сверхпроводимость покинет криогенную область и перейдет в плоскость конструирования электронных устройств на их основе», — подчеркнул Дмитрий Семенов, первый автор исследования, аспирант Сколтеха.

Оригинальная статья: Superconductivity at 161 K in thorium hydride ThH_{10} : Synthesis and properties; Dmitry V.Semenok et al.; Materials Today, November 2019. **ЭН**



Кристаллическая структура ThH_{10}
Иллюстрация Дарьи Сокол

✍ Анастасия Митько

Три плюс два

Внесение примесей в углеродные нанотрубки приводит к формированию «ловушек» для квазичастиц.

КВАЗИЧАСТИЦЫ И СМАРТФОНЫ

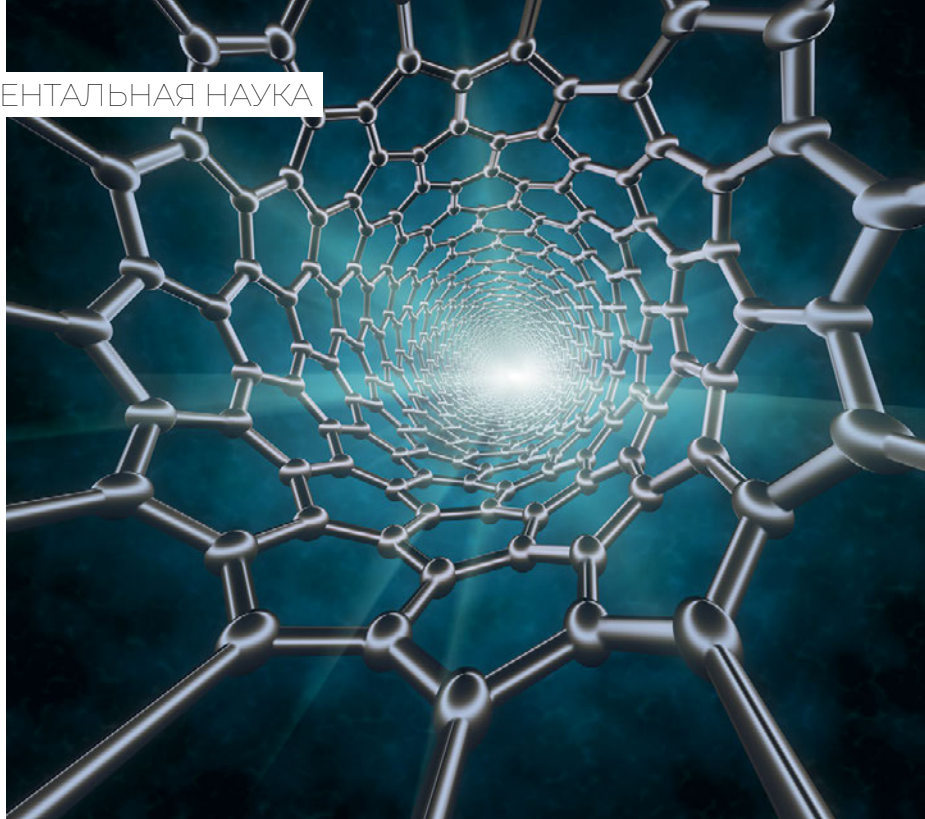
Углеродные нанотрубки — легкий и прочный материал, перспективный со многих точек зрения. Пленки из углеродных нанотрубок с полупроводниковой проводимостью в будущем способны заменить оксид индия-олова — твердый прозрачный материал, который уже 60 лет используется для создания прозрачных электродов. Без редкоземельного индия дисплеи и сенсорные экраны станут дешевле, и, кроме того, их можно будет без вреда сгибать и сворачивать.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Тимофей Ерёмин, младший научный сотрудник лаборатории наноуглеродных материалов МФТИ:

— Допированные, или, проще говоря, с внесенными примесями одностенные углеродные нанотрубки уже продемонстрировали ранее свои уникальные свойства в качестве проводящих прозрачных электродов. В этой работе мы выявили в них многочастичные оптические возбуждения и выяснили механизмы миграции энергии. Развитие этого направления открывает новые перспективы для нелинейной оптики.



За переключение пикселей на гибком экране отвечают тонкопленочные транзисторы. Чем быстрее заряд способен двигаться в материале, тем быстрее реагируют транзисторы и тем оперативнее отклик экрана. Для описания процессов переноса зарядов в полупроводниках физики ввели понятие «квазичастица». Примером может служить «дырка» — оставшееся после отрыва электрона свободное место на орбитали атома. Квазичастица экситон представляет собой пару «электрон — дырка», которая движется, будто частицы привязаны друг к другу. Если к экситону присоединяется еще одна частица, получается трион.

ЛОВУШКА ДЛЯ ТРИОНА

Ученые из Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН и МФТИ совместно с коллегами исследовали влияние «ловушек» на оптические свойства углеродных нанотрубок. При обработке соляной кислотой на поверхности трубок остаются отдельные атомы водорода. Они не образуют химических связей с поверхностью, и значит — не вносят дефекты в структуру

нанотрубки. Эти атомы служат «ловушками» — попавшая в их «зону влияния» квазичастица не может «сбежать» (является локализованной). Основываясь на данных, полученных методами спектроскопии, физики пришли к выводу — в «ловушку» попали экситон и трион.

ПОЙМАТЬ И ИЗУЧИТЬ

Чтобы исследовать квазичастицы, ученые добавляли в водную суспензию углеродных нанотрубок с полупроводниковой проводимостью соляную кислоту. Далее авторы исследовали спектры поглощения суспензий с разным количеством соляной кислоты. Чем выше была концентрация кислоты, тем больше формировалось «ловушек» и тем больше в них попадалось экситонов и трионов.

Работа выполнена коллективом ученых из МФТИ, ИОФ им. А. М. Прохорова РАН, МГУ, МИФИ, ФТИ им. Иоффе, а также Университета Восточной Финляндии. Оригинальная статья: Many-particle excitations in non-covalently doped single-walled carbon nanotubes, Timofei V. Eremin et al., Scientific Reports, October 2019. **ЭН**

Новая флешка

✍ Елена Егорова

Прорыв на пути к созданию новых типов энергонезависимых ячеек памяти совершила группа исследователей из МФТИ.

КТО РАНЬШЕ

В электронной промышленности всего мира сейчас идет гонка за «новой флешкой» — энергонезависимой памятью, основанной на новых принципах и обеспечивающей кратное превосходство в скорости доступа и количестве возможных циклов перезаписи над сегодняшней флешкой и твердотельным диском (SSD). Наиболее перспективной основой «новой флешки» считается оксид гафния (HfO_2), давно известный в электронной промышленности. Этот аморфный диэлектрик при определенных условиях может образовывать стабильные кристаллы, обладающие сегнетоэлектрическими свойствами — способностью «помнить» о приложенном электрическом поле.

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Андрей Зенкевич, заведующий лабораторией функциональных материалов и устройств для нанoeлектроники МФТИ:

— Созданные нашей командой в МФТИ сегнетоэлектрические конденсаторы, если их применить для промышленного изготовления ячеек энергонезависимой памяти, способны обеспечить более 10^{10} циклов перезаписи — в сотни тысяч раз больше, чем допускают современные компьютерные флешки.



ЧТО ПРОИСХОДИТ ВНУТРИ

Новая ячейка памяти представляет собой тончайший — менее 10 нанометров — слой оксида гафния, к которому с двух сторон примыкают электроды. Конструкция похожа на обычный электрический конденсатор. Но для того, чтобы сегнетоэлектрические конденсаторы можно было использовать в качестве ячеек памяти, необходимо добиться максимально возможной поляризации. Для этого должны быть изучены физические процессы, которые происходят внутри нанослоя в момент явления: как распределяется электрический потенциал внутри слоя при подаче напряжения на электроды. За десять лет, прошедших с момента открытия сегнетоэлектрической фазы HfO_2 , никому из исследователей этого не удавалось. А авторы опубликованной работы смогли.

НОВЫЙ МЕТОД

Для этого они применили метод так называемой высокоэнергетической рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Специальная методика, разработанная сотрудниками Физтеха, требует применения рентгеновского излучения, которое можно получить только на специальных ускорителях-синхротронах, таких как DESY в Гамбурге (ФРГ). Там и были проведены измерения на прототипах будущих ячеек «новой памяти» — сегнетоэлектрических конденсаторах на основе оксида гафния, изготовленных в ЦКП МФТИ.

Еще одно важное преимущество устройств памяти на сегнетоэлектриках — их полная, в отличие от полупроводниковых накопителей, нечувствительность к радиационному воздействию. «Новая флешка» сможет работать даже в космосе: ей не страшно космическое излучение.

Оригинальная статья: Polarization-dependent electric potential distribution across nanoscale ferroelectric $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ in functional memory capacitors; Yury Matveyev et al.; Nanoscale, Oct 2019. **ЭН**

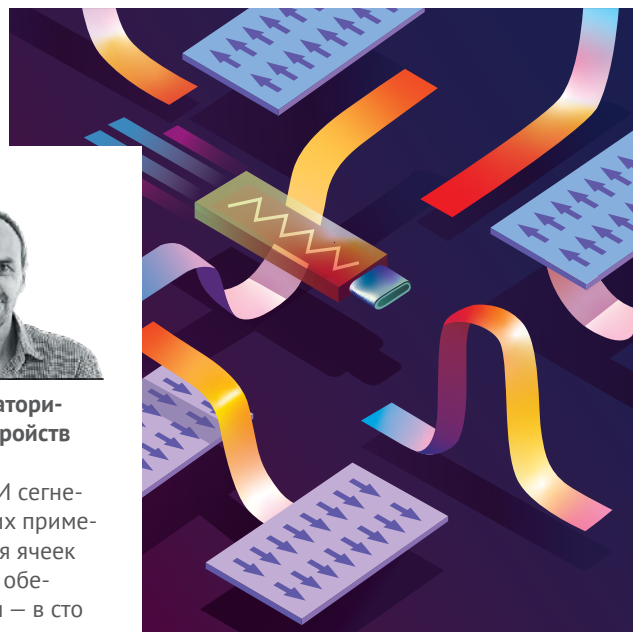
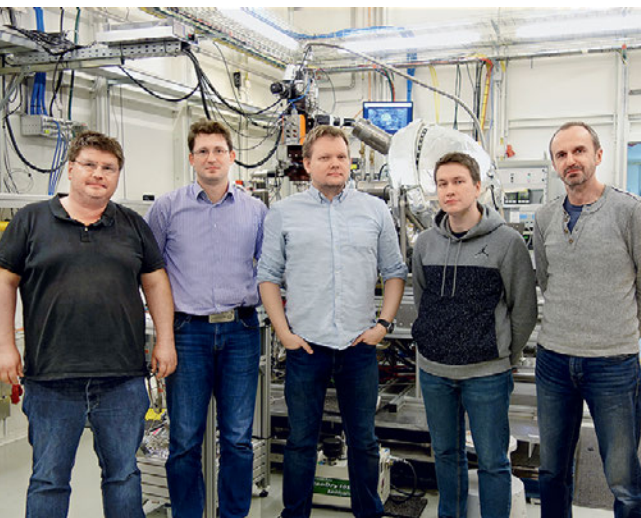


Иллюстрация Дарьи Сокол



Команда ученых, проводивших эксперимент, возле установки высокоэнергетической рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии на синхротроне PETRA III, Гамбург. Слева направо: Андрей Глосковский, Юрий Матвеев, Дмитрий Негров, Виталий Михеев и Андрей Зенкевич. Предоставлено Андреем Зенкевичем

Структура вирусного родопсина

✍ Елена Егорова

Устройство уникального белка стало известно благодаря работе выпускников и аспирантов МФТИ.

ПЕНТАМЕРНАЯ СТРУКТУРА

Вирусные родопсины были впервые обнаружены в так называемых гигантских вирусах несколько лет назад, однако до сих пор никому не удавалось изучить механизм функционирования этих белков, описать их структуру и выяснить функциональное предназначение. Исследование такого рода вирусов представляет большой интерес для экологии.

«В нашей работе мы получили пространственную структуру OLPVRII высокого разрешения и показали, что этот белок организован в пентамеры в липидной мембране», — сообщает Дмитрий Братанов, научный сотрудник Института комплексных систем Исследовательского центра города Юлих (Германия).

ДЛЯ СПРАВКИ

Гигантские вирусы (Giant Viruses) — огромные вирусы размером с бактерию, которые инфицируют клетки водорослей, ответственных за поддержание экологического баланса в природной среде Мирового океана.

Вирусный родопсин OLPVRII. Центральная пора обозначена красным контуром. Источник: Dmitry Bratanov et al., Nature Communications

Впрочем, сама по себе пентамерная структура для этого класса белков не нова: ее удавалось обнаружить и у некоторых других родопсинов, например, в случае светочувствительного натриевого насоса KR2. Но структура OLPVRII отличается тем, что в центре пентамера расположена уникальная пора, предназначение которой пока непонятно.

ЧТО ЗА ПОРА

«Возможно, эта пора выполняет роль ионного канала. Скорее всего, для хлора, — считает соавтор работы, аспирант МФТИ Кирилл Ковалев. — Однако канальное предназначение OLPVRII нами еще не доказано: для этого нужны дополнительные экспериментальные исследования».

Впрочем, кое-что о функциях вирусного родопсина удалось узнать уже в процессе изучения его

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Валентин Горделий, руководитель научных групп в Институте структурной биологии в Гренобле и в Исследовательском центре Юлиха и научный координатор Центра исследований молекулярных механизмов старения и возрастных заболеваний в МФТИ:

— Если удастся доказать, что данный вирусный родопсин является ионным каналом, то он может стать прекрасным инструментом для оптогенетики и биомедицинских приложений. Уже продемонстрировано, что с помощью оптогенетики можно восстанавливать потерянные зрение и слух, управлять мышцами при потере контроля над ними в результате неврологических заболеваний, бороться с болезнями Альцгеймера и Паркинсона.

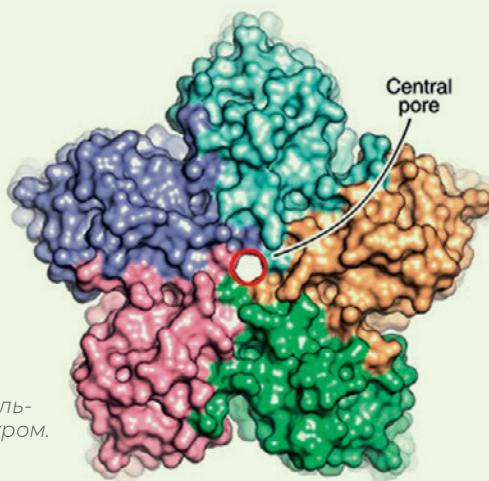
структуры: авторы работы показали, что этот белок, подобно большинству родопсинов, способен перекачивать протоны наружу клетки. Но это свойство у него выражено весьма слабо и, по мнению исследователей, может не быть основной функцией белка.

ИНСТРУМЕНТ ОПТОГЕНЕТИКИ

Ученые считают, что этот инструмент сможет превзойти все существующие аналоги за счет преимуществ его пентамерной структуры — свободы генетического манипулирования свойствами белка и, предположительно, высоких токов через широкую центральную пору.

Авторы работы закрепили за собой приоритет на оптогенетическое применение вирусного родопсина OLPVRII, подав патентную заявку на соответствующее изобретение.

Оригинальная статья: Unique structure and function of viral rhodopsins, Dmitry Bratanov et al.; Nature Communications October 2019. **зн**



Одно из 125 тысяч

✍ Андрей Бабенышев

Разработан быстрый способ поиска новых антибиотиков.

НА ОСНОВЕ ХЕМОТИПОВ

Антибиотики являются одним из ключевых открытий XX века, без которых сложно представить современную жизнь. Однако постоянное возникновение резистентных (устойчивых ко многим антибиотикам) штаммов бактерий приводит к необходимости быстрой разработки новых лекарств.

Анастасия Аладинская, один из соавторов работы, научный сотрудник лаборатории медицинской химии и биоинформатики МФТИ, рассказала: «Разработка новых антибактериальных препаратов, способных преодолевать резистентность современных клинически значимых штаммов бактерий, представляет большой



Иллюстрация Елены Хавиной, пресс-служба МФТИ

научный и социальный интерес. Стратегия разработки новых антибактериальных препаратов в большой степени направлена на поиск структурных аналогов в рамках химических классов известных антибиотиков. Однако мы полагаем, что более эффективным подходом для поиска таких препаратов является открытие соединений новых хемотипов».

НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА

Учеными из МФТИ совместно с коллегами из Сколтеха, МГУ и Института биохимии и генетики РАН (Уфа) был использован полуавтоматический метод анализа. В его основе лежит контроль жизнедеятельности бактерий, наглядно показывающий механизм действия веществ. Бактерии можно уничтожать разными способами — в данном случае проверялось либо нарушение генетического материала (то есть ДНК), либо блокирование синтеза белка. Сам метод анализа достаточно прост и может быть автоматизирован, что позволило в рамках работы изучить более 125 тысяч веществ. В качестве модельного объекта использовался штамм кишечной палочки, не обладающий резистентностью.

ОПТИМУМ

В ходе работы было показано, что 688 веществ обладают выраженной антибактериальной активностью. В 38 молекулах присутствует одинаковая подструктура 2-пиразол-1-ил-тиазол группа. Исследователи описали антибактериальные свойства этого класса химических соединений. В результате было отобрано восемь веществ-ингибиторов синтеза белка, для которых дополнительно проверили клеточную токсичность. Одно вещество по соотношению антибактериальных и цитостатических свойств оказалось оптимальным.

Таким образом, благодаря новой уникальной методике, позволяющей быстро и эффективно проверить огромное количество веществ, был выявлен потенциально новый класс соединений с антибактериальными свойствами. В будущем планируется исследование свойств данных молекул в изучении уже резистентных штаммов.

Оригинальная статья: 2-Pyrazol-1-yl-thiazole derivatives as novel highly potent antibacterials; Yan A. Ivanenkov et al.; The Journal of Antibiotics, July 2019. **ЭН**



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Анастасия Аладинская, научный сотрудник лаборатории медицинской химии и биоинформатики МФТИ:

— Наша лаборатория на Физтехе совместно с коллегами провела высокопроизводительный скрининг библиотек малых молекул с целью обнаружить структурно разнообразные соединения с антибактериальной активностью. В основе скрининговой платформы лежит уникальный описанный ранее метод определения механизма действия антибиотиков. В процессе работы нам удалось обнаружить класс малых молекул, производных 2-пиразол-1-ил-тиазола, продемонстрировавших способность подавлять жизнедеятельность штамма delta TolC *Escherichia coli* — бактерии, способной вызвать тяжелое пищевое отравление.

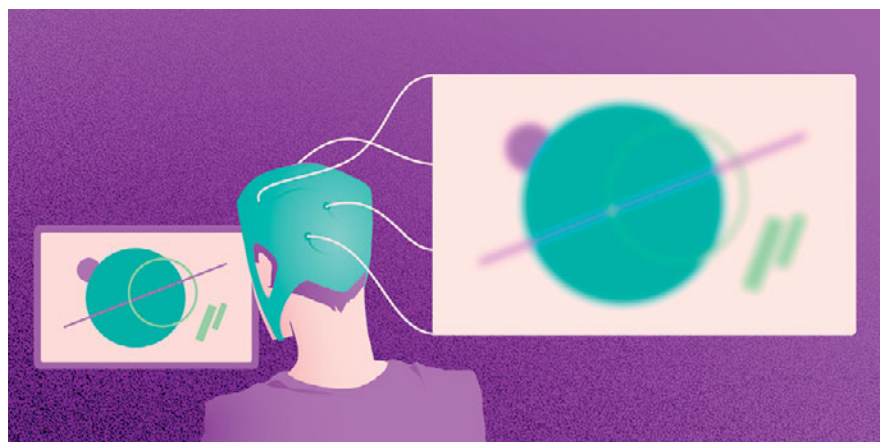


Иллюстрация @tsarcanide

Нейросеть прочитала мысли

✍ Григорий Рашков



Ученые научились воссоздавать по электрической активности мозга изображения, которые человек видит в данный момент.

СИГНАЛЫ МОЗГА

Для развития методов лечения когнитивных нарушений, постинсультной реабилитации и создания устройств, управляемых мозгом, необходимо понять то, как мозг кодирует информацию. Ключевая задача для понимания принципов его работы — исследование активности мозга, возникающей при визуальном восприятии информации. Интерфейс «мозг — компьютер», созданный командой ученых из МФТИ и компании «Нейроботикс», использует для этого электроэнцефалограмму (ЭЭГ), снимаемую с поверхности головы, и нейросети. Созданная технология с помощью ЭЭГ в режиме реального времени реконструирует кадры из видео, которое смотрит человек.

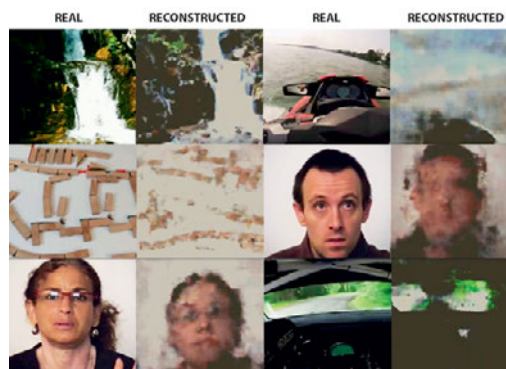
ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Владимир Конышев, руководитель лаборатории нейроробототехники МФТИ:

— Работа ведется в рамках проекта «Ассистивные технологии» НейроНет НТИ. Интерфейс «мозг — компьютер» разрабатывается для управления экзоскелетом руки при реабилитации после инсультов, а также для управления электроколяской парализованными людьми.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследователи произвольно выбрали несколько разных категорий роликов с YouTube: «абстракции», «водопады», «лица людей», «скорость», которые показывали испытуемым, записывая при этом ЭЭГ. Оказалось, что частотные характеристики волновой активности (спектры) ЭЭГ



для разных категорий видеороликов достоверно различаются. Это позволило анализировать реакцию мозга на видеоролики в режиме реального времени.

Далее специалисты разработали две нейросети, одна из которых генерировала произвольные изображения этих же категорий из «шума», а вторая — создавала похожий «шум» из ЭЭГ. Затем авторы работы обучили эти нейросети работать совместно.

Для проверки испытуемым показали совершенно новые видео, снимая при этом ЭЭГ и в реальном времени отправляя ее на нейросети. На их основе нейросети создавали реалистичные кадры, по которым в 90% случаев можно было определить категорию видео.

ВСЕ НА ЭЭГ НАПИСАНО

«Энцефалограмма — следовой сигнал от работы нервных клеток, снимаемый с поверхности головы. Раньше считалось, что исследовать процессы в мозге по ЭЭГ — это все равно, что пытаться узнать устройство двигателя паровоза по его дыму», — говорит Григорий Рашков, один из авторов работы, младший научный сотрудник МФТИ и программист-математик компании «Нейроботикс». — Мы не предполагали, что в ней содержится достаточно информации, чтобы хотя бы частично реконструировать изображение, которое видит человек. Сейчас создание инвазивных нейроинтерфейсов упирается в сложность хирургической операции. Мы надеемся, что сможем сделать нейроинтерфейсы, не требующие имплантации».

Оригинальная статья: Natural image reconstruction from brain waves: a novel visual BCI system with native feedback; Grigory Rashkov et al.; препринт, bioRxiv. **31**

Реконструирование изображений. Слева стоит кадр видеоролика, который показывали испытуемому, справа — воссозданный нейросетью. Фото Григория Рашкова

Звезда повернулась бочком

✍ Сергей Мольков



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Александр Лутовинов, профессор РАН, заместитель директора по научной работе ИКИ РАН, преподаватель МФТИ:

— Одним из фундаментальных вопросов образования и эволюции нейтронных звезд является структура их магнитных полей. С одной стороны, в процессе коллапса должна сохраняться дипольная структура звезды-прародительницы, с другой, мы знаем, что даже у нашего Солнца есть локальные неоднородности магнитного поля, что, например, проявляется в солнечных пятнах. Похожие структуры предсказываются теоретически и в случае нейтронных звезд. Это очень здорово — впервые увидеть их в реальных данных.

Российские астрофизики обнаружили нейтронную звезду с необычной структурой магнитного поля.

ОСОБЕННЫЙ ПУЛЬСАР

Нейтронная звезда в системе GRO J2058+42 была открыта почти четверть века назад и принадлежит к особому классу — вспыхивающим (или транзиентным) рентгеновским пульсарам. Этот объект ничем особенным не выделялся на фоне своих «одноклассников». И только недавние наблюдения с помощью американской космической обсерватории NuSTAR позволили «рассмотреть» особенности излучения этого пульсара, дающие возможность утверждать, что он претендует стать родоначальником нового семейства объектов.

Ученые из ИКИ РАН, МФТИ и Пулковской обсерватории РАН обнаружили, что магнитное поле звезды регистрируется только в тот момент, когда она поворачивается к наблюдателю определенным образом. Объект, исследованный учеными, приоткрывает «окно» к внутреннему строению магнитного поля нейтронной звезды только на определенной фазе вращения.

Открыть данное явление ученым удалось, проведя детальные «томографические» исследования системы. Для этого были сделаны рентгеновские снимки «космического пациента» с десяти ракурсов, и только на одном из них был обнаружен дефицит излучения на энергии около 10 кэВ, что соответствует напряженности магнитного поля 10^{12} Гаусс. Особый интерес полученному результату давала одновременная регистрация высших гармоник циклотронной линии на той же самой фазе излучения источника.

ДЛЯ СПРАВКИ

Циклотронная частота — частота обращения заряженной частицы (в данном случае электрона) в магнитном поле. На этой частоте может наблюдаться либо избыток излучения, либо избыток поглощения, который позволяет измерять магнитные поля.

Полученный результат был настолько необычен, что российские ученые обратились к американским коллегам с предложением провести дополнительные наблюдения, которые подтвердили первоначальные выводы. Открытие российских ученых впервые представило доказательства того, что магнитное поле нейтронной звезды имеет существенно более сложную структуру, чем считалось ранее.

Оригинальная статья: *Discovery of a Pulse-phase-transient Cyclotron Line in the X-Ray pulsar GRO J2058+42*; S. Molkov et al.; *The Astrophysical Journal Letters*, September 2019. **ЭН**

СБОКУ ПРИПЕКА

В энергетических спектрах источника была обнаружена линия циклотронного поглощения, дающая возможность однозначно определить напряженность магнитного поля в месте ее образования. Само по себе это не ново. Уникальность сделанного открытия состоит в том, что спектральная особенность проявляет себя только тогда, когда нейтронная звезда повернута к наблюдателю определенным образом.



Иллюстрация @tsarcyanide



Р
ученый





Давно ли вы задавали себе вопрос «кто я»? Герои нашего проекта однозначно отвечают на него: «Я — ученый». Уже студенческие работы этих ребят становились частью публикаций, выходивших в самых престижных научных журналах, а кандидатские диссертации стали заделом для новых областей знания. Они проводят исследования в одной из самых передовых и молодых наук — науке о двумерных материалах. Их работа в лабораториях сегодня определяет наше технологическое будущее завтра. На базе сделанных ими открытий уже лет через пять-десять будут работать гаджеты нового поколения. То, что рассказывают ребята о возможностях материалов и явлений, которые они исследуют, для нас звучит как фантастика, для них же это ежедневные эксперименты и расчеты.

Познакомившись с этими учеными, понимаешь: это о них писал в своей книге «Неизбежно. 12 технологических трендов» известный футуролог Кевин Келли: «Чудесные изобретения ждут своего часа, когда сумасшедшие мечтатели с подходом “никто не говорил мне, что это невозможно” начнут срывать низко висящие плоды». Таковы они, герои нашего времени — молодые ученые.

✍ Татьяна Небольсина



Дмитрий СВИНЦОВ,

*31 год, руководитель
лаборатории оптоэлектроники
двумерных материалов МФТИ.*



О НАУЧНОЙ КАРЬЕРЕ

Фундаментальной физикой я начал заниматься только на пятом курсе. До этого мы делали газоанализатор. Это была такая сурово прикладная работа. Потом стало с трудом получаться — подумал, что не мое, и познакомился с одним теоретиком, который стал моим научным руководителем, — это Владимир Владимирович Вьюрков. Он и я работали в Физико-технологическом институте академии наук. Мы занимались расчетами новых типов транзисторов на основе графена, разрабатывали гидродинамическую теорию для транспорта электронов и дырок в графене. Года через полтора после окончания института я защитил кандидатскую диссертацию по электронным транспортным свойствам графена. Тогда я не придавал нашим результатам большого значения: казалось, это такие примитивные модели, которые где-то работают, а много где неприменимы. А потом, в 2016 году, через четыре года после защиты течение электронов, подобное реальной вязкой жидкости, в графене было обнаружено экспериментально. Наверное, это было одно из основных достижений того времени.

Потом был проект по терагерцовой лазерной генерации в графене. Он активно велся в Японии, в университете Тохоку. С точки зрения развития, с точки зрения научного роста как физика-теоретика для меня это было одно из лучших времен. Как раз тогда мне удалось узнать много новых методов, которые потом нашли применение в работе.

Параллельно я пришел работать в лабораторию нанооптики и плазмоники МФТИ к Алексею Арсенину и Валентину Волкову по программе постдоков. А в 2016 году я уже подался на конкурс по созданию молодежных лабораторий на Физтехе и выиграл. В лаборатории мы более активно стали заниматься плазмонами — новым типом квазичастиц (также можно сказать — волн), которые более компактны, чем фотоны. Благодаря им можно увеличивать и чувствительность детекторов, и эффективность генераторов излучения. Эта область науки сейчас очень активно развивается. Например, с начала 2018 года мы проводим совместные работы с Университетом Манчестера по практическому воплощению плазмонно-резонансных детекторов терагерцового излучения на основе графена.

ЧТО ЗАЖИГАЕТ

Всегда нравится и мотивирует, когда осознаешь, что твоих старых знаний не хватает, чтобы описать реальность — описать то, что ты видишь. Когда ты ожидаешь, что в изучаемом приборе электроны потекут в одну сторону, а они текут в другую. Что они будут течь в виде постоянного тока, а они совершают колебательное движение... Все неизвестное, необычное, загадочное и людям не поддающееся является вызовом.

ФРОНТИР

Есть две подобласти, которыми мы активно занимаемся. Это область «оптическая» и область «электронная». Наша лаборатория называется «оптоэлектроника двумерных материалов». Она совмещает оптику и электронику, свет и электрический ток.

В области электроники сейчас происходит серьезное переосмысление того, как электроны текут в металлах и полупроводниках. Сначала физики усложняли модели, переходили от классических, где электроны текут подобно жидкости или потоку частиц газа по трубе, к квантовым. А сейчас происходит некоторый, как может показаться, шаг назад — переход снова к классическим моделям и к уравнениям гидродинамики для описания этого движения. Новые эксперименты показывают, что электроны зачастую текут подобно вязкой жидкости. Большим вызовом для ученых является вопрос, как породнить квантовые и классические языки для описания подобного движения.

Что касается оптоэлектроники, то это очень практическая наука. И здесь тоже есть вызов — необходимо закрыть последние «белые пятна» на шкале электромагнитных излучений, где не работают существующие источники излучения, а также создать высокочувствительные фотодетекторы для этих диапазонов.

А ЕСЛИ...

Чем я еще хотел бы заниматься? А может быть, даже и буду заниматься — это квантовая электродинамика. Довольно давно известно, что вакуум в строгом физическом смысле является не пустым. В нем постоянно рождаются на короткое время электрон-позитронные пары, возникают и исчезают виртуальные фотоны. И оказывается, что эти вакуумные колебания могут сильно влиять на наблюдаемые величины, даже на ход химических реакций и на фазовые переходы. Кажется удивительным, что некоторые физические явления возникают из-за взаимодействия с пустотой. Вроде бы, пустота — она по определению пуста. А из-за того, что она чуть-чуть колыхнется, может меняться реальный мир. Это завораживает.

НАЧАЛО

Я окончил МИФИ по специальности «физика конденсированного состояния» в 2009 году и с этого момента отсчитываю начало своей научной карьеры. Во время учебы я проходил практику в Институте сверхвысоко-частотной полупроводниковой электроники РАН. И мне очень понравились задачи, которые там решают. Один из создателей института — это Жорес Иванович Алферов, нобелевский лауреат. Так или иначе, физика твердого тела, гетероструктуры Алферова и нанoeлектроника, которой занимается институт, — все это вместе дало синергетический эффект, — после окончания аспирантуры я решил пойти туда работать.

МОНЕТИЗИРОВАТЬ ФИЗИКУ

Институт наш изначально создавался как фактически единственный в стране центр, который занимается нанoeлектроникой, то есть разрабатывает монолитные интегральные схемы и, в том числе, транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале, которые сейчас используются очень массово, например, в смартфонах.

У нас замечательная технологическая база. И мы подумали: как (давайте употреблю страшное слово) монетизировать, а на самом деле — как мы можем кооперировать с какими-то организациями и кому можем быть полезны?

В настоящий момент одно из наших ключевых направлений — это создание источников и детекторов терагерцового излучения. Примерно на рубеже 2013 и 2014 годов мы начали активно развивать данное направление в нашем институте, а в прошлом году у нас появилась лаборатория двумерных материалов и нанoустройств совместно с МФТИ под руководством Виктора Рыжия, члена-корреспондента РАН. У нас хорошая технологическая база, а Физтех дает хороших физиков, с мозгами. Такая кооперация уже имеет отличный эффект. В рамках сотрудничества с МФТИ мы предложили поляризационно-чувствительный ТГц-детектор на основе довольно уникальной структуры, которая была сделана в ИСВЧПЭ РАН.

Наша команда поставила себе амбициозную задачу: мы будем в России делать источники и детекторы на основе новых и активно используемых полупроводниковых материалов. Задача крупная, междисциплинарная, для ее решения мы создаем проектные группы,

где объединяются люди из разных лабораторий и даже институтов.

С 2014 года я занимаюсь этим направлением, активно его развиваю, сейчас уже в качестве заместителя директора института по научной работе.

ВСЕ В ДЕЛО

Существует несколько направлений, где уже есть большие наработки по внедрению. Первое — это биомедицина. Потому что уже сейчас создано много различных устройств, например, томографы нового поколения. Почему — потому что большая длина волны дает лучшее пространственное разрешение. Плюс терагерцовое излучение, в отличие от рентгеновского, неионизирующее, или неинвазивное: оно не разрушает биологические ткани, не оказывает какого-то негативного воздействия на человеческий организм.

Второе направление — это досмотровые системы безопасности, то есть то, что может использоваться в местах массового скопления людей: в аэропортах, на стадионах. Сейчас проблема упирается в цены.

Эти два больших направления связаны с развитием терагерцового излучения.

Мы занимаемся элементной базой — создаем новые материалы, делаем фотопроводящие источники и детекторы. Сейчас мы с коллегами из Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН поставили перед собой амбициозную задачу — сделать первый российский импульсный терагерцовый спектрометр на основе полностью отечественной элементной базы. В этом вопросе мы в России отстаем лет на 15–20.

Есть еще одно очень интересное направление по созданию квантово-каскадного лазера терагерцового диапазона. Его в свое время инициировал Жорес Алферов. Инфракрасный лазер уже существует, а вот с терагерцовыми было огромное отставание от мира. Мы в кооперации с рядом институтов и вузов этот разрыв преодолели — сделали первый отечественный терагерцовый квантово-каскадный лазер. Применение у него очень широкое, от биомедицины до астрофизики. Сейчас наша цель — сделать терагерцовый лазер для спектроскопии. Пока слишком много сил, ресурсов и времени требуется для изготовления одного экземпляра.

Я глубоко убежден, что физика должна себя монетизировать в любом случае, нельзя быть оторванным от технологии, от прикладного применения.

ДМИТРИЙ Пономарев,

33 года, заместитель директора по научной работе Института сверхвысококачественной полупроводниковой электроники имени В. Г. Мокерова РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории двумерных материалов и наноустройств МФТИ.





ОЛЕСЯ Капитанова,

*31 год, старший научный сотрудник
лаборатории накопителей энергии
Института арктических технологий МФТИ,
младший научный сотрудник
химического факультета МГУ.*

НАЧАЛО

Я училась в МГУ, на факультете наук о материалах. На старших курсах нас отправляли на стажировки за границу. Меня распределили в Сеул, в Квантовый полупроводниковый Исследовательский центр физического факультета Университета Донгук, в лабораторию, исследующую двумерные материалы для их дальнейшего применения в электронике. Там я поняла, что хочу работать в этом новом направлении. В результате магистерская и кандидатская работы были выполнены в МГУ и Донгуке и посвящены синтезу и изучению физико-химических свойств графеноподобных материалов.

В Корею меня пригласили как химика. Во время своей первой стажировки я синтезировала окисленный графен, а потом освоила литографию для изготовления структур на его основе и методы изучения их электрофизических свойств. В ходе экспериментов выяснилось, что при приложении электрического поля в этом материале нелинейно изменяется электрическая проводимость, — структура обратимо меняла свое сопротивление на три и более порядка. Возможность контролировать несколько резистивных состояний в оксиде графена открывает возможности хранения более одного бита на ячейку памяти. Моя диссертация была посвящена разработке методов формирования структур на основе оксида графена с резистивным переключением — мемристоров. В последние годы интерес к этому очень возрос в связи с необходимостью разработки новых технологий для обработки больших объемов информации. Оказалось, что не только окисленный графен, а еще двумерный материал дисульфид молибдена демонстрирует такой эффект. К сожалению, в России мне пришлось приостановить эту работу, потому что нужно специальное оборудование для проведения исследований в данной области.

СЕГОДНЯ

Дальше встал вопрос, оставаться в России или уезжать? Я подумала, что стоит сначала попробовать продолжить научную карьеру здесь, и осталась работать научным сотрудником в университете. Получи-

ла молодежный грант и проработала несколько лет. Потом появилась вакансия на Физтехе, куда я прошла по конкурсу. Это лаборатория по созданию арктических аккумуляторов, которые будут работать при низких температурах. Меня позвали как специалиста в области углеродных материалов. Не все электродные материалы, которые используются в аккумуляторах, хорошо проводящие, многие из них — диэлектрики, и для эффективного протекания электрохимических реакций нужно создать проводящую матрицу. Применение графеноподобных материалов вместо используемой сегодня сажи позволит существенно улучшить удельные показатели аккумуляторов. Я буду заниматься созданием электрохимических систем с высокими удельными емкостью и мощностью, а также систем, работающих при низких температурах.

К ТЕХНОЛОГИЯМ

Разговоров об уникальных свойствах графеноподобных материалов много, и возникает закономерный вопрос: где же их применение? Мне кажется, на сегодня наука и технология дошли до такого уровня, что можно внедрять двумерные материалы. Крупные корпорации, например, Samsung, LG, Nissan и многие другие пишут, что используют графен и его производные в аккумуляторах, в дисплеях. Однако почему до сих пор их не применяют массово? Оказывается, очень сложно получить материал в большом количестве с контролируемым размером частиц, содержанием дефектов, заданного состава. А если говорить об использовании графена в технологиях, при создании, например, аккумуляторов или чернил, то качество материалов должно быть стандартизовано. Я читала интересный обзор этого года в Nature Materials, в котором приведены характеристики коммерчески доступных графеноподобных продуктов в Южной Корее, Америке и Китае. Несмотря на одинаковое название, свойства — разные. Как материал с одним и тем же названием может обладать разными свойствами? Для воспроизводимости свойств материала от производителя к производителю и даже от партии к партии нужна стандартизация каждого из материалов. Но это не так просто.

ДВУМЕРНЫЕ ВОЛШЕБНЫЕ...

В Корею я видела впечатляющие презентации о том, как в глаз вживляют двумерную мембрану, человек моргает — и благодаря встроенному устройству фотографирует этим глазом, сканирует все вокруг. На сегодняшний день такие идеи кажутся далекими от реального применения. Если двумерные материалы действительно биосовместимы с человеческим организмом, если устройства на их основе способны улучшить физические способности организма, ускорить процессы обработки информации, защитить глаз от электромагнитного излучения — мне такое направление кажется очень увлекательным.

После школы я поступил на факультет физической и квантовой электроники МФТИ. С четвертого курса пошел сначала на кафедру фотоники, но потом перевелся на кафедру нанометрологии — там была уникальная возможность научиться работать на оборудовании, диагностирующем наноструктуры и наноматериалы, понять, как создавать и анализировать нанобъекты и какими методами измерять их свойства. Будучи студентом, мне удалось получить интересные результаты по оптическим свойствам тонких пленок в лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ. Потом вместе с руководителем мы решили, что их можно публиковать, и увидели продолжение этой работы. То есть после диплома у меня уже была почти готова хорошая публикация. А дальше я просто остался в своей лаборатории. Мне было интересно работать с теми же людьми, было понятно, что лаборатория и ее направления исследований перспективные, к тому же есть возможность работать с коллегами из иностранных центров. После магистратуры поступил в аспирантуру МФТИ, сейчас ее заканчиваю и защищаю диссертацию. Поэтому пока рано говорить о какой-то сложившейся научной карьере. Возможно, после этого она и начнется.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Тема моей диссертации посвящена взаимосвязи оптических, электрических и структурных свойств тонких металлических пленок и созданию на их основе плазмонных наноструктур. Для того, чтобы это исследовать, нужно проделать очень много рутинной экспериментальной работы, а потом все обобщить и выдать результат. Самый полезный прибор на котором я работаю, — это эллипсометр. На нем можно измерять оптические свойства почти любых отражающих материалов. В моем случае это тонкие металлические пленки. Второй прибор — это установка электронно-лучевого испарения в вакууме. Это такой большой «шкаф» с вакуумной камерой, в которой разогнанный электронный пучок испаряет твердый материал. Далее его частицы летят на подложку, и получается пленка. Еще — атомно-силовой микроскоп, с помощью него можно изучить структуру пленки и померить толщину, и сканирующий ближнепольный оптический микроскоп с разрешением, преодолевающим дифракционный предел.

В плазмонике мы создаем слоистые структуры, в которых нужно подобрать и толщину металлической пленки, и толщину диэлектрика в зависимости от за-

дачи. Например, нам надо было сделать эффективный плазмонный волновод из меди. От геометрии структуры и свойств металлической пленки зависят характеристики — длина пробега оптического сигнала и «сжатие» поля этой волны. Обычно в качестве металла берут золото, мы решили вместо него использовать медь: ее проще напылять, и она дешевле. Но проблема меди в том, что она окисляется, поэтому мы придумали способ, как избежать этого влияния. В целом, и другие эксперименты с пленками меди — как, например, медный плазмонный биосенсор — показали ее успешное использование.

К 2D-МАТЕРИАЛАМ

Сейчас мы в лаборатории перешли на тематику, больше связанную с 2D-материалами. Инициатором этого направления в МФТИ изначально является Алексей Арсенин. 2D-материалы есть совершенно разные, не только всем уже известный графен, но и еще дихалькогениды переходных металлов (MoS_2 , WSe_2 и другие), которые тоже способны демонстрировать стабильный монослой и уникальные физические свойства. Самое сложное — правильно измерить эти свойства, так как толщина материала — буквально один или несколько атомов. Для исследования 2D-материалов можно использовать примерно те же методы, которые используются и для обычных пленок, — тоже тонких. Особенность в том, что там могут быть совершенно новые и неизвестные ранее зависимости. Как раз в этом и состоит фундаментальная наука: суметь увидеть какой-то новый материал или новые свойства у известного и первыми их исследовать.

БЛИЖНЕПОЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ

Дальше я бы хотел углубиться в направление ближнепольной микроскопии. У нас в лаборатории несколько лет назад появился еще один микроскоп уникального типа, с помощью которого можно получать максимально хорошее разрешение ближнего поля и измерять фазу. Ближнепольным микроскопом можно визуализировать очень интересные оптические эффекты. Например, недавно в МФТИ была лекция Дмитрия Басова из Колумбийского университета про программируемые квантовые материалы, и как раз такие микроскопы они используют. Хотелось бы более глубоко разобраться в микроскопии как с точки зрения теории, так и с точки зрения эксперимента, чтобы мне любую структуру дали, а я мог ее померить. Раньше, например, создавали новые стали, исследовали их свойства и делали справочники, а мы исследуем новые наноматериалы!



Дмитрий ЯКУБОВСКИЙ,

28 лет, научный сотрудник лаборатории
нанооптики и плазмоники, ассистент
кафедры общей физики МФТИ.

Глеб ЦЕЛИКОВ,

*32 года, научный сотрудник
лаборатории нанооптики
и плазмоники МФТИ.*



ПО СТОПАМ

По окончании школы я решил пойти по стопам отца. Он окончил физфак МГУ, и я поступил туда же. При распределении по кафедрам мне показалось очень перспективным направление, связанное с оптикой наноструктур. Поэтому я выбрал кафедру общей физики и молекулярной электроники физфака МГУ. Там занимался оптическими свойствами квантовых точек под руководством профессора Виктора Тимошенко. Сразу после окончания обучения я поступил в аспирантуру физфака, защитился в 2013 году. Кандидатская диссертация была посвящена теории влияния примесей и молекулярного окружения на оптические свойства квантовых точек селенида кадмия. Квантовые точки — это такие полупроводниковые наночастицы размером до 10 нм, которые обладают очень яркими люминесцентными свойствами.

МАРСЕЛЬ

После аспирантуры я устроился на работу в Курчатовский институт, с которым тесно сотрудничала моя кафедра. Там занимался разработкой и изучением мемристоров под руководством Вячеслава Дёмина. Мемристоры — это устройства, принцип функционирования которых подобен работе синоптических связей между нейронами головного мозга. Через несколько лет мой научный руководитель предложил мне поехать в Марсель на 4 года, продолжить работу там в качестве постдока. Он порекомендовал мне позицию в группе под руководством профессора Андрея Кабашина в лаборатории LP3 университета Экс-Марсель, которая является одной из ведущих оптических лабораторий Франции и занимается применением лазеров для решения широкого спектра задач.

Работа в Марселе дала очень большой толчок для развития, сильно продвинула меня в понимании взаимодействия ультракоротких лазерных импульсов с веществом. Я получил много навыков по работе с современным оборудованием, приобрел опыт участия в больших междисциплинарных проектах, выполняемых одновременно коллегами из разных стран. Это дало глобальное представление о том, как функционирует современная междисциплинарная наука, в том числе та ее часть, которая занимается биомедицинским применением лазеров и наносистем для лечения и выявления разного рода заболеваний.

БИОСЕНСОРЫ

Вернувшись из Франции, в поисках финансирования я поучаствовал в нескольких конкурсах, проводимых в России. Один из них — это конкурс по отбору ученых, имеющих опыт работы за рубежом, в рамках Проекта 5-100 в МФТИ. Также я принял участие в молодежном конкурсе Президентской программы исследовательских проектов, проводимом РНФ. Получив грантовую поддержку по результатам обоих конкурсов, я оказался в лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ.

Сейчас я руковожу проектом по разработке сверхчувствительного биосенсора для детектирования онкозаболеваний на самой ранней стадии. Работу над этим проектом я начал в сентябре этого года, после переезда из Франции. За это время были проведены некоторые предварительные эксперименты, и есть понимание, куда двигаться дальше, какие материалы нужно применять. Концепция биосенсора с одной стороны базируется на тех разработках, которые были получены в Марселе, с другой — использует опыт лаборатории Физтеха в исследовании двумерных материалов.

Стоит отметить, что те сенсоры, которые сейчас коммерчески используются для детектирования биоматериалов, в основном работают на эффекте поверхностного плазмонного резонанса, который имеет ряд ограничений по чувствительности. Своей разработкой мы планируем поднять этот показатель на несколько порядков. Уникальность нашего подхода состоит в том, что в рамках одной системы мы можем объединить и двумерные материалы, и так называемые метаматериалы, например, массивы плазмонных наночастиц разной архитектуры.

ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время есть важнейшая задача по увеличению средней продолжительности жизни. В связи с этим одно из самых перспективных применений нанотехнологий, по моему мнению, состоит в их бионаправленности. Как пример, это может быть адресная доставка лекарств, когда наночастицы используются в качестве биоразлагаемых наноконтейнеров. Также стоит отметить очень активно развивающееся направление тераностики (терапия плюс диагностика), когда используются уникальные оптические свойства наночастиц для одновременной визуализации опухоли и ее уничтожения посредством, например, нагрева.

Если говорить о глобальных целях, то мне бы очень хотелось вылечить рак. Я уверен, что достижение этой цели находится в области мультидисциплинарного взаимодействия. Для этого необходима тесная коллаборация между физиками, химиками, биологами и медиками. **ЭН**

ГРАФЕН И ПОСЛЕ НЕГО

Графен, по мнению Константина Новосёлова, — лучший проводник тока и тепла с самой высокой подвижностью электронов. На исследование этого материала Европейским союзом уже было выделено несколько миллиардов евро. В перспективе графен сможет заменить многие используемые сегодня материалы и открыть совершенно новые приложения. Но фундаментальная цель, стоящая сегодня перед исследователями, — создание для каждой задачи уникального по своим характеристикам материала с нуля, выращивая его атом за атомом или слой за слоем, используя разные химические элементы. О будущем двумерных материалов мы поговорили с участниками Международного конгресса по графену, 2D-материалам и их приложениям в Сочи, организованного МФТИ.

«**П**очему 2D-материалы так популярны? Я думаю, что одна из причин в том, что они представляют интересное сочетание новых физических явлений и потенциальных применений. Другая причина в том, что это совершенно новая материальная база: существуют сотни различных 2D-материалов, вы можете комбинировать их, выбирая на свое усмотрение тип материала, изменяя угол между ними», — размышляет руководитель исследовательской группы в Каталонском институте нанонаук и нанотехнологий (Испания) Клаас-Ян Тиелрой.

Двумерные материалы обладают удивительными свойствами: то, что вы можете увидеть один слой графена на просвет, само по себе уникально. Он обладает хорошей проводимостью, механически стабилен. Благодаря двумерности им очень легко управлять. Ведь чтобы управлять чем-то, нужно находиться на минимальном расстоянии от объекта. Если у вас имеется трехмерное твердое тело, вы не смо-

жете управлять процессами, происходящими глубоко внутри него, имея доступ к его поверхности. Двумерный материал же весь перед вами, как лист бумаги. Вы можете дотянуться до каждой его точки, можете влиять на свойства каждого атома в двумерном материале просто из-за геометрии.

«Благодаря фундаментальной работе, проделанной Геймом и Новосёловым, во время которой они получили и начали изучать графен, мы узнали, что можно модулировать плотность носителей заряда в металлической системе. Это был шок! Потом люди поняли, что электроны в графене ведут себя словно безмассовые электроны в вакууме. Удивительный результат для теоретиков. У ученых появилась возможность проверить многие теоретические предсказания, которые были сделаны еще в 1930-х годах», — вспоминает профессор Института материалов Арагона (Испания) Луис Мартин-Морено.

КРИЗИС ГРАФЕНА

Если какое-то открытие производит фурор, создает новую область науки, ученые массово начинают работать в этой сфере, объем знания быстро растет. Все самое масштабное достается первопроходцам, затем в какой-то момент волна интереса проходит. И эта новая область начинает медленно и рутинно продвигаться вперед сотнями ученых — так же, как и многие другие. Так было со многими открытиями. Графен сейчас менее популярен, потому что физика чистого графена уже хорошо известна, фундаментальных задач осталось не очень много, и люди больше задумываются о его применении. Если же ученые ищут новой интересной физики, привыкнув жить в плоском мире, они обращаются к другим двумерным материалам.

«Свойства однослойного графена уже достаточно хорошо изучены, хотя в этой области все еще выходят редкие интересные работы. Сейчас же

интерес представляет двухслойный графен, у которого слои повернуты друг относительно друга, а также различные наноструктуры из графена. В мировой науке на первый план выходит и большое количество других экзотических двумерных материалов. К ним относятся материалы, которые обладают интересными магнитными свойствами: ферромагнетики и антиферромагнетики. Исследуют и оптически активные двумерные перовскиты, хотя с ними гораздо сложнее работать», — рассказывает научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ Юрий Стебунов.

Для двух слоев графена, слегка повернутых относительно друг друга, уже продемонстрирована сверхпроводимость при низкой температуре. Это интересный способ получать кристаллические структуры с новыми свойствами. Набор кристаллов в природе ограничен, так же появляется возможность создания новых кристаллов.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Алексей Кузьменко, старший научный сотрудник лаборатории оптики и роста кристаллов Университета Женевы (Швейцария), выпускник МФТИ:

— Для нас графен сам по себе — материал, который обладает таким интересным свойством, как релятивистская структура электронных уровней. Это дает новые магнитооптические свойства, например, очень сильное магнитооптическое поглощение, которое может быть свойственно только системам типа графена. Осталось много нерешенных вопросов, мы будем продолжать этим заниматься, пытаться делать структуры, которые состоят из графена и других соединений, делать периодические структуры — фотонные кристаллы.

ШИРЕ, ЧЕМ ГРАФЕН

Графен привлек внимание людей к возможности получения других 2D-материалов. Теперь уже существуют двумерные сверхпроводники, полупроводники, металлические материалы, магнитные материалы, и все их можно комбинировать друг с другом.

«Свойства графена очень интересны для науки, и мы должны продолжать их исследовать.

Графен открыл для нас возможность изучать другие двумерные материалы, которые также обладают весьма интересными свойствами и могут быть применены в ближайшем будущем. В конечном итоге мы дойдем до того, что сможем изготавливать высококачественный графен и 2D-материалы и внедрим их в производство. Думаю, будущее двумерных материалов обещает быть ярким!» — уверен профессор материаловедения Кембриджского университета (Великобритания) Маниш Чховалла.

Люди переключаются на другие соединения, и количество тех, кто занимается непосредственно графеном, уменьшается, хотя интерес к нему по-прежнему большой. Графен используется как составная часть систем из большого числа двумерных материалов, например, в гетероструктурах.

Постепенно перестает представлять значительный интерес для широких масс ученых →

**ПРЯМАЯ РЕЧЬ**

Мария Асенсио, профессор Мадридского института материаловедения (ICMM) при Высшем совете по научным исследованиям Испании (CSIC):

— Меня в первую очередь интересует описание экзотических и неожиданных свойств новых низкоразмерных материалов. На самом деле это старые материалы, но при уменьшении размерности — количества атомных слоев — мы видим, как поведение вещества резко меняется и появляются интересные свойства. Наша цель — найти альтернативные «умные» материалы, которые смогут делать то же самое, что привычные нам кремний, углерод и другие материалы, только еще лучше, быстрее и дешевле.

→ и изучение отдельных двумерных материалов.

Ученые стали пытаться соединять разные 2D-материалы, что требует точного позиционирования одного слоя относительно другого.

И так, слой за слоем создаются сложные структуры, напоминающие сэндвич. Используя такие двумерные кирпичики, можно получить трехмерный материал, которого никогда не существовало в природе. Однако, помещая один слой атомов поверх другого, нужно выдерживать расстояния между атомами в разных слоях одинаковыми. Невозможно соединить атом углерода с атомом меди, но в случае с двумерными материалами можно поместить один материал поверх другого за счет ван-дер-ваальсовых сил, обеспечивающих притяжение между слоями атомов.

Разнообразие материалов, которые можно создать таким образом, невероятно обширно. Эта идея — революция в дизайне материалов, и именно поэтому на эту тему так много исследований. Однако работа ученого — изучение природы, поиск новых явлений. Естественно, на их основе потом можно создать технологии, но это совершенно независимый процесс.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

Скоро появятся одномерные кристаллы, и такой же фурор произведут они. Переход от трехмерных к двумерным кристаллам вызвал 200 тысяч научных публикаций. Сколько интересных исследований будет проводиться при переходе от двумерных ма-

КСТАТИ

При уменьшении размерности с трех до двух возникает совершенно новая физика, которая проявляет себя, например, в возникновении квантового эффекта Холла. В одномерных системах взаимодействие между частицами — в данном случае электронами — намного сильнее, потому что в одномерном пространстве электроны, сближаясь, вынуждены взаимодействовать друг с другом. В трех измерениях или в двух это не обязательное условие. Поэтому к одномерным системам ученые проявляют тоже очень много интереса, и есть теории, которые предсказывают крайне необычные явления в одномерных материалах.

териалов к одномерным, можно лишь гадать.

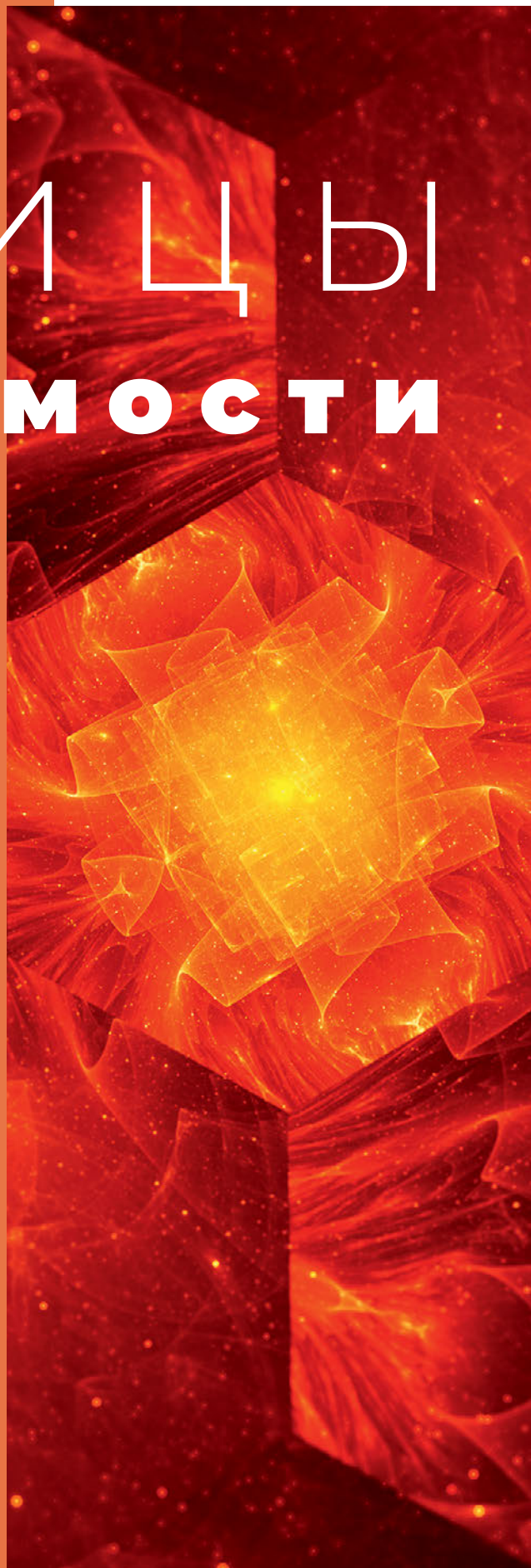
Одномерные материалы обладают совсем другими свойствами, да и просто непривычны для человека, в отличие от двумерных или трехмерных. «Мы над этим уже работаем: делаем одномерные кристаллы из атомов углерода — карбины. Карбин — это просто цепочка, бусы из атомов углерода. В вакууме они скручиваются, их очень сложно растить длинными и прямыми, но мы их стабилизируем золотыми наночастицами и уже получили первую прямую цепочку длиной в несколько десятков атомов. Эта цепочка — полупроводник, она излучает желтый или оранжевый свет, даже содержит экситоны. Это очень интересный объект», — рассказывает директор Международного центра поляритоники университета Вестлейк в Китае, профессор университета Саутгемптона, руководитель лаборатории оптики спина в Петербургском государственном университете и группы квантовой поляритоники в Российском квантовом центре Алексей Кавокин.

Сложно в точности предсказать дальнейшее развитие физики двумерных, а позже и одномерных материалов. Скорее всего, это направление будет все более рутинно развиваться все большим числом ученых по всему миру, пока не приведет к каким-то удивительным приложениям. Многие фундаментальные открытия десятилетиями ждали готовности технологий для своего применения. Время покажет. Но совершенно точно, что интерес к этой теме не будет спадать еще долго. **жн**

ГРАНИЦЫ применимости

✍ Вячеслав Мещеринов

С выхода статьи Андрея Гейма и Константина Новосёлова «Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films» в журнале Science, благодаря которой им была присуждена Нобелевская премия по физике 2010 года, прошло 15 лет. За это время процессоры прошли путь от 90-нанометрового технологического процесса до 7-нанометрового, уже практически достигнув своего предела производительности. Мир покрылся беспроводным доступом к интернету, успели смениться лидеры и аутсайдеры технологической гонки среди компаний. Даже модель общения между людьми за эти 15 лет успела измениться: сложно представить жизнь без мессенджеров и социальных сетей. Для человека 15 лет — немалая часть жизни. Но что такое 15 лет для совершенно нового типа материалов?





Наука и технологический мир устроены по-разному. Наука не может принести прибыль здесь и сейчас, а бизнес

должен. На научные изыскания редко выделяют такое финансирование, какое может потратить крупная компания, например, на строительство нового завода, считая, что эти вложения оправдаются за считанные месяцы. Научная деятельность финансируется в большинстве случаев из средств налогоплательщиков, поэтому финансовая пропасть между научно-исследовательской группой и крупной технологической компанией колоссальна.



Самый легкий в мире хронограф

на основе графена разработали Университет Манчестера в сотрудничестве с часовым брендом Richard Mille и McLaren F1. Общий вес часов RM 50-03 составляет 40 грамм, при этом они очень прочные. Стоимость — 1 млн евро

Предсказывать развитие технологий по большому счету невозможно. Совсем недавно была масса статей в Science и Nature, где говорилось, что молекулярная электроника — это будущее. Можно будет сделать процессор, слив несколько химикатов, подождать — и молекулы сами пойдут в заранее известные места и сформируют электрическую цепь. Но дальше отдельных

экспериментов дело так и не пошло.

Нужно понимать, что внедрением новых технологий занимается бизнес. Но он не всегда заинтересован в этом, особенно если не задолго до этого инвестировал в другие технологии, пусть даже менее передовые. И так будет всегда: какие-то новации пойдут в массы, а чему-то по разным причинам не суждено уйти дальше лабораторных исследований.

Графен уже вышел в технологические приложения, но многие из них довольно экзотичны. Как и многие новые материалы, графен стал использоваться в композитах, на его основе создали часы за миллион евро, он используется для облегчения спорткаров и охлаждения смартфонов.

Вопрос в том, сколько времени потребуются, прежде чем на рынке появятся действительно интересные приложения, созданные на

основе двумерных материалов. Например, уже можно получить лист графена большого размера, но для многих применений нужен очень качественный монокристаллический графен, и на данный момент ученые все еще работают над этим. Наконец, имеется потребность в интеграции двумерных материалов в существующие производственные системы. Так, создание графеновых устройств с химическим осаждением из газовой фазы (CVD-technology) уже удалось объединить с полупроводниковыми технологиями построения интегральных микросхем (CMOS). CVD-технология позволяет получать графен достаточно высокого качества для его применения в электронике.

СВЕТ В КОНЦЕ ТОННЕЛЯ

«Некоторые люди считают, что эпоха графена уже подошла к концу. Причина, по которой они так говорят, заключается в том, что они не могут представить, какие устройства вы можете создать из графена. Так что я думаю, что это только начало», — полагает профессор материаловедения Кембриджского университета Маниш Чховалла.

Приложения двумерных материалов будут связаны со смягчением последствий глобального потепления и изменения климата. Правительство Великобритании приняло решение, что к 2050 году экономика страны придет к нулевым выбросам углекислого газа. Идея заключается в том, что они перестанут вносить свой вклад в глобальное потепление. И для того, чтобы это произошло, должны появиться новые источники энергии: новые фотогальванические элементы, чистое производство водорода.

Чистый газообразный водород чрезвычайно эффективен для сжигания и не образует углекислый газ. Но для получения водорода нужны каталитические материалы, лучшие из которых сейчас — это благородные металлы, такие как платина и иридий. Они очень дороги. Разумеется, индустрия не станет использовать тонны платины для производства водорода, потому что с экономической точки зрения это не имеет смысла. Идея заключается в том, что некоторые двумерные материалы могут эффективно генерировать водород без больших затрат. Например, с их помощью можно будет для получения водорода расщеплять воду.

Некоторые люди считают, что эпоха графена уже подошла к концу



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Дмитрий Пономарев, заместитель директора Института сверхвысоко-частотной полупроводниковой электроники РАН имени В. Г. Мокерова РАН, ведущий научный сотрудник МФТИ:

— Я думаю, что бум двумерных материалов через какое-то время стихнет. Реальная работа и медийные всплески не всегда идут рука об руку. Двумерные материалы очень разные, взять черный фосфор — он был известен с начала XX века. Но сейчас это один из самых популярных двумерных материалов. С ним много проблем, например, за несколько часов все его необычные характеристики стремительно падают. За три года его бдительного изучения появились разные решения, как этого избежать. Если раньше поиск решения занимал 20 лет, сейчас это будет уже 5–10 лет.

Сжигая любое ископаемое топливо, вы получаете выброс CO_2 . Научившись улавливать двуокись углерода, можно преобразовать ее в другие соединения, такие как метанол, который может питать топливный элемент. Или в метан, который затем можно преобразовать обратно в водород. Существует своего рода замкнутый цикл с катализом, который вы можете сделать, при котором выбросов углерода вовне не происходит.

Маниш Чховалла размышляет: «Хотя графен очень интересен с научной точки зрения, я думаю, что его непосредственного применения стоит ждать через 25–30 лет. Впрочем, для некоторых двумерных материалов есть возможность скорого применения в электронике, катализе, накопителях энергии и тому подобном. Другая область перспективного применения двумерных материалов связана с биосенсорами и биосовместимыми электродами».

ГРАФЕН ГРАФЕНУ РОЗНЬ

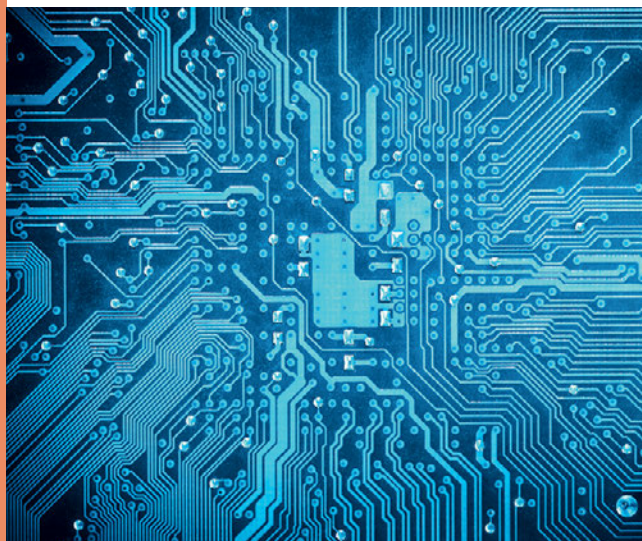
Сегодня можно услышать о создании в том или ином институте или R&D-отделе технологической компании листа графена с размерами в десятки сантиметров. Однако такой графен не является монокристаллом. На границах двух монокристаллов в таком листе будут рассеиваться электроны, на них садятся грязь и примеси, из-за чего повышается чувствительность к окружающей среде. Такой графен хорош с маркетинговой точки зрения, но для реального применения в ряде случаев не подойдет. Подобные громкие события подливают масло в и так не гаснущее пламя скепсиса среди многих ученых и представителей индустрии по поводу применимости двумерных материалов в реальных устройствах.

Впрочем, такого подхода придерживаются отнюдь не все. Своим опытом делится профессор мезоскопической физики в департаменте микротехнологий и нанонаук Технического университета Чалмерс (Швеция), выпускник МФТИ Сергей Кубаткин: «Мы смотрим на двумерные материалы, которые по

ДЛЯ СПРАВКИ

Если взять историческую ретроспективу, первым используемым человеком полупроводниковым материалом был германий, потом его сменил кремний, затем пришли арсенид галлия и полупроводниковые гетероструктуры, основанные на нем. И вот, появились двумерные материалы, которые обладают достаточно интересной физикой: графен называют бесщелевым полупроводником, что в корне отличает его от всех полупроводниковых материалов, которые обладают энергетической зоной, запрещенной для носителей заряда.

размером в 4 дюйма. Мы выращиваем монокристаллы графена. И это очень важно. Мы знаем, что если есть граница двух зерен, то она убьет квантовый эффект Холла. В хорошем двумерном кристалле все связи насыщены, и внешнему воздействию он практически не подвержен, если же что-то физически адсорбируется, то это легко удалить простым нагревом».



ДВУМЕРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Размер транзисторов в чипах, установленных в наших смартфонах и компьютерах, продолжает сокращаться, однако сегодня уже виден грядущий кризис кремниевой электроники. Техпроцесс создания новых элементов под-

аналогии с графеном можем вырастить на монокристалле на больших площадях. Это большая технологическая задача, которая должна быть решена. Сейчас наш стандарт — 7x7 или 10x10 миллиметров. Но мы пробуем вырастить графен на подложке

ходит к своему пределу: большая плотность упаковки транзисторов становится невозможна. Некоторые из существующих двумерных полупроводников можно будет внедрить в существующие процессы изготовления устройств, что позво-

→ лит продолжать миниатюризацию электроники еще 20–25 лет.

Микроэлектронная промышленность очень активно инвестирует в существующие кремниевые технологии. Поэтому не стоит ожидать крутого перелома в этой сфере уже завтра. Инвестиции больших компаний, разрабатывающих микроэлектронику, в кремний сперва должны окупиться. В настоящее время кремний является наиболее изученным материалом в мире. И никто не собирается менять всю технологию, потому что графен делает компьютеры на 15 процентов быстрее. Однако двумерные материалы обладают такими удивительными свойствами, что произведенная через 25 лет электроника будет иметь мало общего с тем, какой она выпускается сегодня.

«Для выхода в индустрию нужен запрос на что-то принципиально новое. Например, когда открыли алюминий, ученые изучили его свойства, и они оказались по тем временам просто фантастическими. Это очень легкий и ковкий металл, хороший проводник. Однако вскоре он оказался не нужен производству. Алюминий, который казался чудо-материалом для того времени, в итоге ни для

Эксперимент по облучению графенового детектора в лаборатории Физтеха

КСТАТИ

В графене нет запрещенной зоны, поэтому он восприимчив к излучению в тех областях спектра, где привычные полупроводниковые технологии не работают или работают плохо. Терагерцовое излучение хорошо поглощается веществом, потому что подвижность электронов в монослое атомов высока. В работах Гейма и Новосёлова было показано, что изолированный слой графена в вакууме поглощает около 2% излучения, при этом спектр поглощения очень широкий. Специальные резонансные структуры позволяют сильно увеличить этот процент за счет сужения полосы взаимодействия. Поглощенный свет очень эффективно превращается в электронную теплоту. Эффект нагрева от поглощения терагерцового излучения открывает возможности для обнаружения этого излучения, к тому же нагрев графеновой системы влияет на поглощение терагерцового излучения.

чего не использовался. Но затем появился новый рынок — авиация. И обнаружилось, что для авиации алюминий подходит как нельзя лучше. С графеном и другими двумерными материалами может произойти нечто подобное. Вероятно, они не заменят ничего, что сейчас действительно работает. Но в какой-то момент в индустрии может возникнуть такая совокупность требований к материалу, что именно графен окажется наилучшим вариантом. Я думаю, что очень важным фактором является стоимость, потому что сейчас графен еще не достаточно дешев в производстве», — делится мнением профессор Института материалов Арагона (Испания) Луис Мартин-Морено.

ласти фотоники уже достигнут большой прогресс: фотоприемники и трансиверы, модуляторы, оптическая передача данных — в лабораторных условиях все эти элементы, основанные на двумерных материалах, уже продемонстрированы.

«Мы производим образцы, которые состоят из различных 2D-материалов, но мы не делаем устройства, которые могли бы продавать людям или индустрии, это все еще научные инструменты, — рассказывает руководитель исследовательской группы в Каталонском институте нанонаук и нанотехнологий (Испания) Клаас-Ян Тиелрой. — Хотя в отдельных случаях мы довольно близки к производству реальных приборов: совсем недавно в кооперации с Баскским исследовательским центром nanoGune и Каталонским институтом исследования фотоники ICFO мы разработали терагерцевые фотоприемники — устройства, состоящие из графена, помещенного в капсулу из нитрида бора. В них есть металлические затворы и антенны, контакты. С их помощью можно измерять терагерцовое излучение с высокой чувствительностью, очень быстро и эффективно. Если сравнивать с другими фотодетекторами, работающими при комнатной температуре, то графеновые заметно лучше, чем большинство конкурентов, по чувствительности и значительно превосходят их по скорости».

ФОТОНИКА

Прежде всего люди стали пробовать применить двумерные материалы при создании источников и приемников излучения. Передача информации, зашифрованной или нет, военное применение, системы двойного и гражданского назначения — все завязано на этих элементах. В об-



КВАНТОВАЯ ТОЧНОСТЬ

Наша жизнь все больше зависит от электрических датчиков. Они установлены в автомобилях и самолетах, всевозможных гаджетах, они контролируют качество воздуха в наших домах, следят за нашим здоровьем. Эти датчики делают нашу жизнь комфортнее и безопаснее. Чаще всего подобные датчики отслеживают небольшие колебания сопротивления или измеряют небольшие электрические токи. Обеспечить их стабильную работу помогает калибровка.

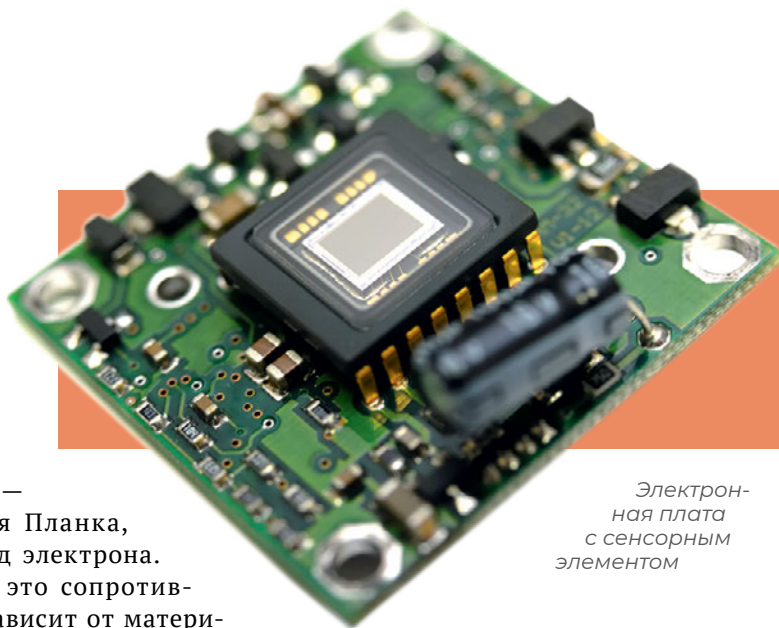
Такая калибровка проводится при помощи прецизионного проволочного резистора, который периодически проверяется на соответствие стандарту квантового сопротивления Холла, что гарантирует значение сопротивления, определяемое комбинацией фундаментальных констант. Этот эффект заключается в том, что поперечное сопротивление двумерного газа электронов, помещенного при

низкой температуре в сильное магнитное поле, квантуется в долях $h/2e$, где h — постоянная Планка, а e — заряд электрона.

Поскольку это сопротивление не зависит от материала, в резисторе, определяемом квантовым эффектом Холла, нет дрейфа величины сопротивления. Эти резисторы используются для лабораторной калибровки дрейфующих во времени проволочных резисторов, используемых, в свою очередь, для калибровки коммерческих датчиков.

Технологические компании вынуждены раз в полгода возвращать свои эталонные проволочные резисторы в лабораторию, чтобы их снова прокалибровали. Потому что невыгодно заниматься этим самостоятельно.

«Для того, чтобы это квантование получилось, надо приложить довольно высокие магнитные поля. А наш графен работает в очень широком диапазоне магнитных полей и прекрасно подходит для этой задачи. Мы измеряем поперечное напряжение около вольта. Через наш образец можно пропустить до 100 мА. Раньше при подобных измерениях пределом было 16 мА. До появления нашей разработки на проведение одной калибровки требовалось 10 тысяч литров гелия и 3 тысячи часов труда квалифицированных сотрудников. А сейчас можно провести калибровку вообще без гелия за три дня. Наша система может быть использована в метрологическом институте, а может использоваться бизнесом для самостоятельных калибровок продукции», — объясняет Сергей Кубаткин.



Электронная плата с сенсорным элементом

ВСЕЛЕННАЯ В 2D

Графен может использоваться и для болометрических измерений, при которых падающая мощность поглощается в графене. Это приводит к изменению температуры электронов, которая как раз измеряется. Малая теплоемкость электронов прекрасна подходит для создания эффективного детектора.

«Мы смогли показать практическое действие прибора, который называется гетеродинный смеситель, в терагерцовых частотах. И работает он так. Когда мы посылаем две терагерцовых волны с близкими частотами, возникает биение, которое приводит к осцилляциям температуры в графене. Поскольку наш графен достаточно быстрый, чтобы отследить эти колебания мощности и температуры через свое сопротивление, мы можем измерить изменение сопротивления. И более того, тестовый прибор, основанный на графене, оказался быстрее и более чувствительным по сравнению с существующими болометрическими смесителями, которые используются, например, в спутниках, изучающих химическую композицию Вселенной. Это позволяет создавать приборы, которые могут построить астрономическое изображение в терагерцовом диапазоне. Таких еще пока не существует», — заключает Сергей Кубаткин. **ЗН**



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Сергей Кубаткин, профессор мезоскопической физики в департаменте микротехнологий и нанонаук Технического университета Чалмерс (Швеция), выпускник МФТИ:

— Мои занятия в университете определяются не пользой, а моим научным интересом. Меня интересует объект, его необычные свойства. А потом, если эти необычные физические свойства разовьются в какое-то приложение, я буду очень счастлив. И я уже счастлив, потому что вижу, как наши абстрактные исследования низкоразмерных систем, которые начинались с идеи одномолекулярного транзистора, развились в прибор, основанный на абсолютно другом принципе. Он построен на эпитаксиальном графене и будет использоваться для калибровки резисторов и для построения электрического аналога килограмма.

ДВУМЕРНЫЕ

✍ Вячеслав
Мещеринов

МАТЕРИАЛЫ

В ТРЕХМЕРНОМ

МИРЕ

1 H								
3 Li	4 Be							
11 Na	12 Mg							
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt

После открытия графена ученые начали исследовать Периодическую таблицу Менделеева на предмет возможности создания других двумерных материалов из давно известных химических элементов. Вдохновленные возможностью исследовать новые физические проявления привычных соединений исследователи создали множество примеров таких двумерных материалов. В настоящее время постоянно растущий список уже включает большой набор карбидов металлов (MXenes), семейство одноэлементных 2D-материалов (Xenes), ряд дихалькогенидов переходных металлов, ультратонкие органические кристаллы и двухкомпонентные **нитриды**.

Углерод — не единственный элемент, который может образовывать одноатомные листы. В последние несколько лет элементы, которые сгруппированы в Периодической таблице рядом с углеродом (B, Si, P, Ge и Sn), освоили двумерность. Ученые называют это семейство **Xenes**, где X — название элемента, а «ene» задает рифмованность с «графен» («graphene»).

Исследователи создали большое разнообразие **MXenes**, которые представляют собой соединения M_2X , M_3X_2 и M_4X_3 , где M является переходным металлом, а X — углеродом или азотом. В настоящее время исследователи продемонстрировали около 30 MXenes.

Многоэлементные органические молекулы также образуют ультратонкие материалы. Богатство органической химии дает уникальную возможность настроить свойства этих органических 2D-материалов для создания химических и биологических сенсоров, химически

селективных мембран и электронных устройств. Но формирование этих двумерных кристаллов является сложной задачей из-за ковалентной связи между слоями.

Многочисленные исследовательские группы продемонстрировали, что ультратонкие **слои дихалькогенидов переходных металлов**, таких как MoS_2 и WS_2 , могут служить ключевыми компонентами схем высокочастотной электроники. Но методы изготовления тонких пленок этих соединений трудоемки и дают лишь незначительный выход материала.

Источник:
cen.acs.org

								2 He
			5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
			13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

✍ Вячеслав
Мещеринов



Проект
Университета
Вестлэйк

ИЗ ПЕТЕРБУРГА В ХАНЧЖОУ.

КУДА ЗАВОДИТ ФИЗИКА ЖИДКОГО СВЕТА

Как функционирует современная наука, что общего между светом и жидкостью, а главное, кто и зачем тратит деньги на фундаментальную науку? Об этом мы поговорили с Алексеем Кавокиным, директором Международного центра поляритоники Университета Вестлейк в Китае, профессором Университета Саутгемптона в Великобритании, руководителем лаборатории оптики спина в Петербургском государственном университете и руководителем группы квантовой поляритоники в Российском квантовом центре.



Команда Алексея Кавокина занимается физикой жидкого света — попадая в полупроводниковый кристалл, свет преобразуется и начинает вести себя, как жидкость: собираться в капельки, течь медленно или вовсе останавливаться, формировать «водовороты». Жидким светом можно управлять при помощи внешних полей, он протекает по капиллярам, выходит наружу и снова становится обычным светом.

ДЛЯ СПРАВКИ

Существует три типа кристаллов: металлы, диэлектрики и полупроводники. Металлы проводят электрический ток, диэлектрики — изоляторы, полупроводники иногда проводят, а иногда нет. Они ближе к диэлектрикам, потому что в них есть запрещенная зона, отделяющая энергетические уровни, заполненные электронами, и пустые уровни. Из-за взаимодействия между атомами решетки кристалла отдельные уровни уширяются, образуя энергетические зоны.

Чтобы перейти в зону, в которой он сможет распространяться, электрон должен получить энергию извне, например, от света. Электрон попадает в пустую зону — зону проводимости, а на том месте, где он был, образуется дырка — положительно заряженная квазичастица. Электрон притягивается к дырке, и образуется экситон — что-то вроде атома водорода, но внутри кристалла и размером в сто раз больше. В отличие от атома водорода, экситон может исчезнуть: электрон спокойно спускается на свое старое место, рекомбинирует с дыркой — и экситона больше нет. В процессе рекомбинации излучается квант света, который может снова поглотиться, создать новый экситон, и все повторится.

Получается цепочка состояний света и материи, которые образуют единое смешанное квантово-механическое состояние. Такое состояние обладает свойствами как света, так и вещества. Соответствующая ему квазичастица в кристалле называется экситонным поляритоном. Это и есть квант жидкого света. Вместо фотона, который распространяется в вакууме, внутри полупроводникового кристалла возникает наполовину фотон, наполовину экситон — то ли свет, то ли материальная частица.

Так же, как световые волны, поляритоны характеризуются длиной волны, но, в отличие от чистого света, могут взаимодействовать друг с другом за счет своей материальной компоненты. Два фотона столкнутся и сквозь друг друга пройдут, не заметив, а поляритоны из-за того, что в них есть материальная компонента, стол-

кнутся и разлетятся, как два бильярдных шара. Взаимодействие между ними приводит к тому, что они могут формировать капли, у них есть вязкость — а это свойство жидкости.

60 ЛЕТ В ТРЕХ АБЗАЦАХ

В середине прошлого века Владимир Агранович и Джон Хопфилд предсказали сильную связь света с веществом и возникновение поляритонов. Затем последовали экспериментальные работы, в ходе которых находили черты поляритонов в разных соединениях. Но это была чисто академическая задача, которой занимались несколько лабораторий во всем мире.

В 1992 году в Токио французский ученый Клод Вайсбуш поставил эксперимент вместе с японцем Ясухико Аракавой, в котором впервые показал режим сильной связи света с веществом в микрорезонаторе. Нахождение режима сильной связи вызвало большой интерес, потому что получается гибрид — состояние, которое не является ни светом, ни веществом, а представляет собой нечто среднее. Этим гибридом начали заниматься, и в 2005 году французский ученый вьетнамского происхождения Ли Си Данг в Гренобле получил экспериментальные доказательства наличия бозе-эйнштейновской конденсации экситонных поляритонов.

— Моя группа обеспечивала теоретическую поддержку этой работы, но Nature не брал наши результаты. Статью в итоге опубликовали в журнале Physical Review B. Редактор потребовал от нас изменить название статьи. Вместо «Бозе-эйнштейновская конденсация» мы были вынуждены написать «Неравновесная бозе-эйнштейновская конденсация». Через год на том же самом образце с теми же результатами, сделав дополнительные эксперименты в Политехнической школе Лозанны, группа Ли Си Данга опубликовалась в Nature. На этот раз им удалось отстоять термин «Бозе-эйнштейновская конденсация» без дисклеймера про неравновесность. И пошла лавина: эксперимент стали повторять по всему миру на разных материалах, и прогресс было уже не остановить. Два года спустя в Саутгемптоне группа Джереми Баумберга, в составе которой я отвечал за теоретические расчеты, показала это явление уже при комнатной температуре, что сделало его интересным для практического применения. В 2013 году Свен Хефлинг в Вюрцбурге сделал первый прибор, основанный на этом эффекте, — поляритонный лазер с электронной накачкой. Чем дальше, тем больше людей вовлекаются в эту область.

→ **КУДА ПРИЛОЖИТЬ?**

До конца XX века считалось, что бозе-эйнштейновская конденсация может наблюдаться лишь при экстремально низких температурах — около одной стомиллионной доли градуса Кельвина. За наблюдение бозе-эйнштейновской конденсации холодных атомов даже дали Нобелевскую премию. Это явление примечательно тем, что все атомы находятся в одном квантовом состоянии, как если бы все автомобили на дороге ехали с одной скоростью, одновременно ускоряясь и замедляясь.

— Мы показали, что бозе-эйнштейновская конденсация наблюдается при комнатной температуре. Скачок от стомиллионной доли Кельвина до комнатной температуры произошел буквально за десять лет. Это колоссальный прорыв в фундаментальной физике конденсированного состояния. Когда он произошел, стали думать, как же его использовать. Есть много вариантов: можно делать лазеры с очень низким порогом излучения, можно делать классические логические элементы для оптического компьютера или интерфейса между оптоволоконными линиями связи и классическим полупроводниковым компьютером. Самое интересное применение, на мой взгляд, — это светоиндуцированная сверхпроводимость. Поскольку бозе-эйнштейновская конденсация и сверхпроводимость — это очень близкие явления, и если бозе-эйнштейновскую конденсацию удалось наблюдать при комнатной температуре, почему бы не попытаться наблюдать в гибридных структурах и сверхпроводимость при комнатной температуре?

Все лазеры, существовавшие до сих пор, основаны на усилении света за счет вынужденного излучения. На основе конденсированных поляритонов уже делают поляритонные лазеры, которые основаны на другом физическом принципе — в них нет вынужденного излучения света, свет излучается спонтанно, так же, как его излучает свеча или электрическая лампочка. Тем не менее спонтанно излученный свет обладает всеми свойствами лазерного излучения: когерентностью, монохроматичностью и поляризованностью. Дело в том, что излучает его конденсат — миллиард частиц, сидящих в одном квантовом состоянии, из которого они рекомбинируют, излучая фотоны. Эти фотоны получают одинаковыми, поскольку начальное состояние у этого миллиарда частиц одинаковое.

— Первыми сделали поляритонный лазер, работающий при комнатной температуре, именно мы в университете Саутгемптона в 2007 году. По-моему, это самая цитируемая моя работа до сих пор. Такой лазер характеризуется гораздо более низким порогом энергии накачки, нежели привычный лазер, в котором необходимо тратить много энергии на поддержание инверсной заселенности энергетических уровней электронами.

Второе применение — квантовый компьютер. Для квантовых вычислений сейчас используют сверхпроводящие кубиты, но они работают при температуре меньше одного градуса Кельвина, для поддержания которой нужны мощные и дорогостоящие криостаты. Открытие конденсации поляритонов дает возможность реализовать на основе полупроводников квантовый компьютер, который сможет работать при температуре, близкой к комнатной. Внедрение квантовых технологий на основе полупроводников, создание квантовых процессоров, работающих не в криостате, будут очень большим прорывом в компьютерной науке.

РОССИЯ — АНГЛИЯ — КИТАЙ

— В 1993 году я защитил кандидатскую диссертацию в петербургском Физтехе и дослужился там до научного сотрудника. Научный сотрудник тогда получал три или четыре доллара в месяц. Я зарабатывал гораздо больше, потому что ездил на короткое время во Францию, в Германию. В 1997 году меня пригласили в Италию, и я там остался. Из Италии меня сразу позвали во Францию, где в том же году я получил постоянную профессорскую позицию. В 2005 году я стал профессором университета Саутгемптона в Англии. С этого времени до 2011 года я не работал в России, хотя приезжал часто. В 2011 году я получил мегагрант — \$5 млн, на которые мы построили лабораторию оптики спина имени Игоря Николаевича Уральцева в Петербургском государственном университете — теперь это наша главная экспериментальная база в России. В 2014 году я возглавил также небольшую теоретическую группу в Российском квантовом центре в Москве.

Сейчас в Китае, в городе Ханчжоу строят Университет Вестлейк. Физическое направление в нем попало в руки самого известного китайского физика — по версии журнала Nature, он был одним из десяти самых влиятельных ученых мира 2017 года. Цзянь-Вэй Пан — это



Команда Алексея Кавокина в Центре поляритоники. Источник: icp.westlake.edu.cn

китайский «отец кванта», человек, который запустил квантовый спутник и сейчас устанавливает через него связь между Москвой и Пекином. Цзянь-Вэй Пан вышел на меня и предложил подать на позицию в этом университете. Поскольку я с 1998 года работаю на постоянных профессорских позициях в ведущих западных университетах, для такого переезда я поставил массу условий.

Мне хотелось сделать то, чего я не могу сделать в Англии из-за отсутствия финансирования в достаточном количестве: построить большой научный центр, посвященный поляритонике — физике жидкого света. В этом центре будет и технологическая база, мы сами будем делать образцы — полупроводниковые структуры разного типа. Там будет мощная оптическая лаборатория, в которой мы будем делать все необходимые эксперименты, и будет теоретическая группа. На этот проект мне выделили 100 миллионов юаней, что составляет примерно 1 млрд рублей. Я занимаюсь созданием нового научного центра уже год. Помимо этого, в университете формируются другие центры, которые могут иметь отношение к квантовым технологиям или поляритонике, в результате вырастает большой кластер. Китай, вероятно, станет мировым лидером в этой области через несколько лет.

Работа в Китае — это интересный опыт в моей жизни. Китайская наука — великая наука. Там очень много хороших университетов,

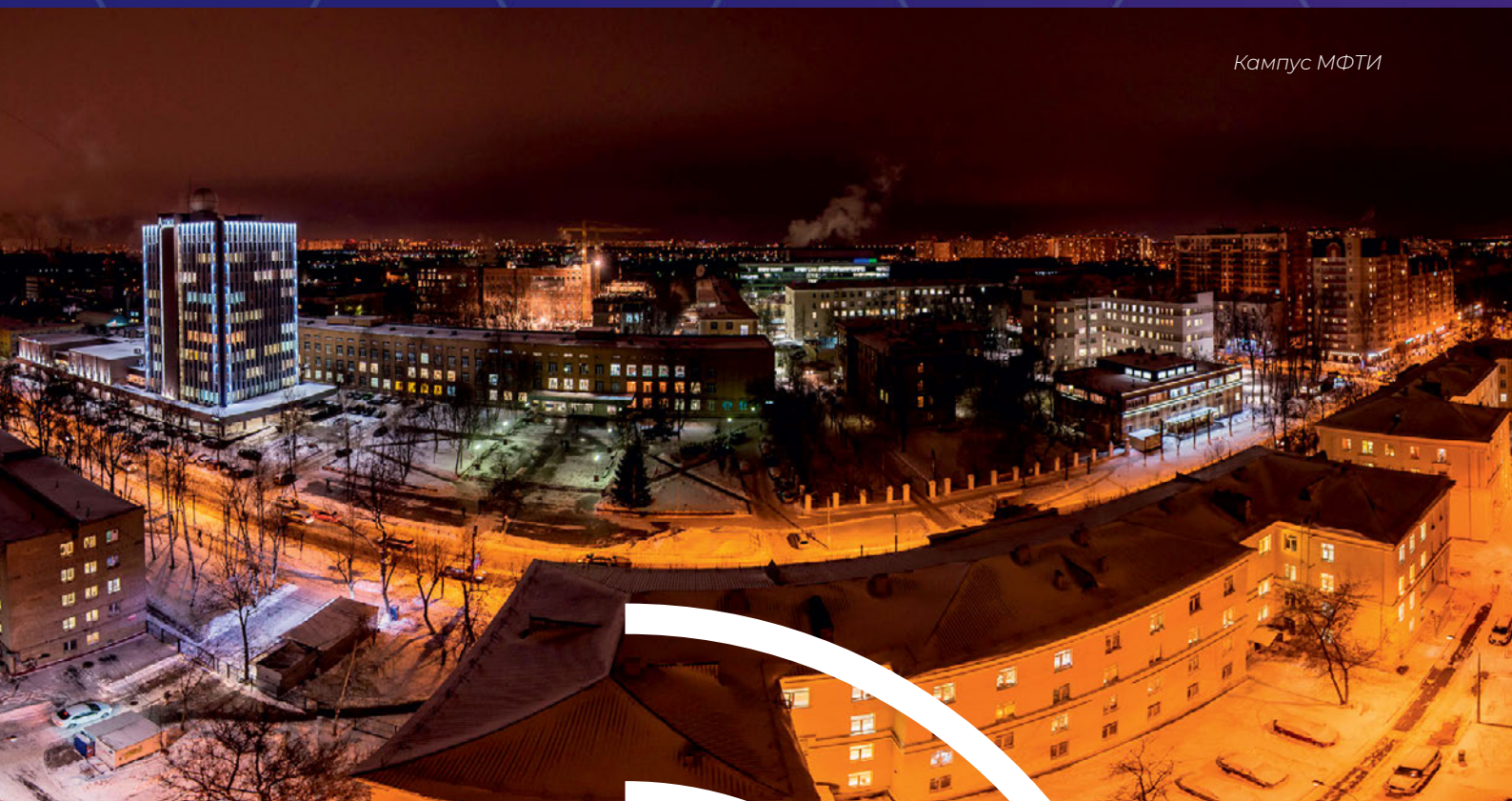
финансирование науки в Китае по объему превышает, мне кажется, финансирование науки в любой другой стране мира. Руководство китайских университетов активно заманивает назад китайских специалистов, которые работают или получили образование в США или Европе. Несколько лет назад было принято решение построить в Ханчжоу первый в стране частный университет, который в перспективе должен стать самым сильным университетом, ориентированным на естественные науки, в Азии и выйти на пято-шестое место в мире.

В Китае мы принимаем иностранных аспирантов. У китайских аспирантов есть особенности в программе, которую они изучают. Они слушают курсы социализма с китайским уклоном на китайском языке. Нам обещают, что со следующего учебного года мы сможем принимать в аспирантуру иностранцев, поэтому скоро заинтересованным студентам со всего мира можно будет попытаться счастья у нас в Китае. В аспирантуре все курсы читаются на английском. Есть конкурсные ставки постдоков и профессоров. Китай — отнюдь не страна третьего мира, которая к себе заманивает забешенные деньги кого угодно. Это первый мир, все там дается с трудом, на каждую позицию претендует много квалифицированных китайцев. Чтобы вас взяли, вы должны доказать, что вы чем-то лучше. С другой стороны, позиции есть, финансирование есть, все будет расти и дальше.

КСТАТИ

В поляритонном лазере порог есть, но он обусловлен преодолением потерь в структуре, поэтому может быть на несколько порядков ниже, чем в обычных лазерах. Это идеально подходит для условий, при которых не нужен очень мощный источник света, а нужен экономичный, который может жить очень долго, например, в космосе. Такие лазеры еще не начали выпускаться промышленностью, их изготавливают в основном в лабораторных условиях, но это уже готовый прибор, который скоро завоюет свое место на рынке.

Китайский опыт реинтеграции научной диаспоры мог бы очень пригодиться в России. Индивидуальный подход, создание постоянных позиций для приезжих ученых, помощь их семьям, организация международных научных центров и институтов — все это очень помогло бы развитию российской науки, укреплению ее позиций на мировой арене. **ЭН**



✍ Анастасия Грачикова

В ЦЕНТРЕ

ОГРОМНОЙ ПЛОСКОСТИ

Физтех, чьи выпускники получили Нобелевскую премию за открытие уникальных свойств графена, серьезно займется двумерной тематикой. Осенью здесь начал работу Центр фотоники и двумерных материалов МФТИ. Разбираемся в исследовательских планах, коммерческих перспективах 2D, а также в том, получит ли Долгопрудный звание Russian Graphene City.

ВИЗИОНЕРЫ И НАНООПТИКА

Директор Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ Валентин Волков только что вернулся в Россию вместе со всей семьей, жить и работать в Долгопрудном. До этого ученый много лет проработал в Университете Южной Дании под началом выпускника Физтеха Сергея Божевольного. Божевольный, известный специалист по нанооптике, входит в список самых цитируемых ученых мира в области физики. Он был одним из тех, кто уехал работать за границу в девяностые годы, построил там серьезную академическую карьеру, но при этом связей с родным университетом не терял. По его рекомендации в середине нулевых группа исследователей МФТИ обратила свое внимание на наноразмерные структуры, так возникла лаборатория нанооптики и плазмоники. Именно Божевольный привлек к работе на Физтехе своего сотрудника и выпускника физфака МГУ Валентина Волкова — последние несколько лет он возглавлял лабораторию в качестве приглашенного профессора.

Волков был привлечен в МФТИ как специалист по ближнепольной микроскопии — это методика, которая позволяет заглянуть в наномир и исследовать его оптические свойства. «В то время мы занимались наноразмерной оптоэлектроникой, но при этом всегда держали в голове двумерную тематику и понимали, что надо двигаться в этом направлении», — вспоминает заместитель директора центра Алексей Арсенин. Однако долгое время о графене в контексте оптики серьезно никто не говорил.

Работы Андрея Гейма и Константина Новосёлова, за которые ученые получили Нобелевскую премию по физике, были посвящены главным образом электрическим и механическим свой-

ствам графена: как материал ведет себя при низкой температуре, какова подвижность электронов. Казалось, что эти исследования поставили точку в вопросе того, что из себя представляет графен. Его оптические свойства начали изучаться многим позже, и только в 2012 году в графене обнаружили плазмоны. В этот момент все окончательно сошлось.

«На Физтехе меня заинтересовали двумерной тематикой еще до того, как она приобрела такую популярность в мировой науке, как это есть сейчас. Тем не менее мы не сразу начали двигаться в эту сторону, было неясно, как подступиться. Но с открытием плазмонов в графене мы поняли, что этот материал нам совершенно не чужд. Плазмоны были абсолютно нашей тематикой. Мы стали читать, смотреть на это уже сквозь призму своей экспертизы — думать, что мы непосредственно можем привнести в эту область. Сейчас уже идет настоящий бум на исследования с графеном, связанные с оптикой, и нам приятно думать, что мы во многом были визионерами в этом вопросе», — рассказывает Валентин Волков.

ДЛЯ СПРАВКИ

По сути, 2D — строительный материал для новой оптики. При создании достаточно компактных оптических приборов возникает серьезный барьер — длина волны видимого света. Она составляет порядка 1 микрона, это много для устройств наноэлектроники. Выйти за пределы этой размерности помогают нанооптика и плазмоника, но и здесь есть свои ограничения. Объектов, которые до сих пор не исследованы, становится все меньше. Двумерные материалы, которые сами по себе состоят всего из одного атомного слоя, позволяют выйти на принципиально новый уровень.



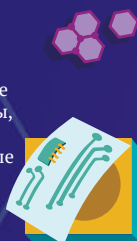
Валентин Волков с семьей

2D-БИО

Биологические и химические сенсоры, встраиваемые в современную носимую электронику и интернет вещей (IoT). Нейроинтерфейсы для медицины и кибернетических организмов. Тканевая инженерия, молекулярная доставка лекарств, лечение рака.

**2D-ЭЛЕКТРОНИКА**

Гибкая и печатная электроника. Тонкопленочные гибкие сенсоры, радиочастотные метки и идентификаторы, прозрачные дисплеи. Высокопроизводительные вычислительные системы.

**2D-ФОТОНИКА**

Быстродействующие оптоэлектронные устройства, фотодетекторы, оптические модуляторы, компактные источники излучения. Высокоскоростная беспроводная связь (6G, TГц Wi-Fi).



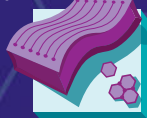
Центр фотоники и двумерных материалов МФТИ

2D-ЭНЕРГЕТИКА

Создание приложений в области солнечной энергетики, включая создание быстрозарядных аккумуляторных батарей и конденсаторов; тонкопленочные солнечные элементы для умной одежды и носимой электроники.

**2D-МАТЕРИАЛЫ**

Синтез и производство новых двумерных материалов. Изучение свойств новых 2D-материалов и поиск приложений. Программируемые искусственные материалы — ван-дер-ваальсовы материалы.

**2D-КВАНТ**

Поиск приложений в области квантовых технологий; создание однофотонных источников для квантово-защищенных линий связи.



Иллюстрация Дарьи Сокол

КОНЦЕПЦИЯ ЦЕНТРА

По сути, двумерные материалы — это новый физический базис. На нем строится все: оптика, механика, термодинамика. К 2D можно подступиться с разных сторон, а потому области исследований, где такие материалы могут быть применимы, чрезвычайно разнообразны.

Именно этот постулат заложен в концепцию устройства центра. Его работа разделена на шесть блоков: 2D-материалы, 2D-электроника, 2D-фотоника, 2D-био, 2D-квантовые технологии и 2D-энергетика. Несмотря на то, что работа разделена по направлениям, основная идея — создать на базе центра единое пространство для исследователей из разных областей.

Междисциплинарность — это то, что лежит в основе современной науки, а в случае с двумерными материалами такого подхода просто не избежать. Для работы с ними нужны специалисты из разных областей и решения на стыке их экспертизы. «Вы не можете просто предписать ученым делать междисциплинарные исследования и посадить их после этого по разным кабинетам, — рассуждает Валентин Волков. — Люди должны пересекаться, и не только непосредственно за работой. Многие неожиданные решения рождаются в неформальной обстановке: во время перерыва, за кофе, за случайным разговором, когда кто-то просто зашел в соседнюю комнату. Наша задача — создать такую среду, в которой исследователям из разных

областей будет естественно и органично работать друг с другом».

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ

Каждый блок будет курировать ученый с большим, в том числе международным опытом. Задача такого ученого — задавать общий вектор для исследований, показывать, в какую сторону необходимо двигаться. Так, например, исследования в области двумерной фотоники будут проводиться в сотрудничестве с известным специалистом в этой области, американским профессором Андрэ Алю.

Будучи достаточно молодым ученым, Алю является автором более 200 научных работ с индексом Хирша 93 и сейчас возглавляет подразделение фотоники в Центре перспективных исследований Городского университета Нью-Йорка. Двумерные материалы Алю рассматривает как одну из самых перспективных и интересных областей. Поэтому он согласился сотрудничать с центром в МФТИ, где есть возможность проводить передовые исследования, работая с талантливыми молодыми людьми, — на Физтехе традиционно высокая концентрация тех, кто готов браться за решение нестандартных, на первый взгляд в принципе нерешаемых задач.

Надо всей этой конструкцией учреждена еще одна — Международный консультативный совет. Так ученые хотят, с одной стороны, усилить экспертизу центра и его вес в глазах мирового

академического сообщества, а с другой — обеспечить максимальную открытость. Совет согласился возглавить нобелевский лауреат Константин Новосёлов.

КОММЕРЦИАЛИЗИРУЙ ЭТО

Отдельная большая задача в концепции работы Центра фотоники и двумерных материалов — создание инжинирингового подразделения, которое займется трансфером технологий в бизнес и коммерциализацией новых разработок. Дело в том, что ученые, которые создали в лаборатории ту или иную технологию, не могут и не должны отвечать за то, чтобы вывести ее на рынок, — это не их работа. Во всем мире этим занимаются отдельные специалисты, которые изучают рынок, привлекают к сотрудничеству крупные компании, запускают стартапы. Подразделения с такими специалистами работают при всех основных мировых центрах, которые проводят исследования по двумерной тематике. Например, в Манчестере, где Гейм и Новосёлов сделали свои открытия, под это построен отдельный центр — Graphene Engineering Innovation Centre.

Как правило, подразделения, занимающиеся коммерциализацией, финансируются за счет коммерческих компаний, которые ищут для себя перспективы применения 2D. Западный бизнес вообще проявляет достаточно большой интерес к новым материалам. Исследования с двумерными материалами проводят лаборатории практически всех технологических компаний из списка Fortune 500 — рейтинга крупнейших с точки зрения выручки мировых компаний. Среди корпораций, которые вкладываются в исследования с графеном, такие гиганты, как IBM, Boeing, Lockheed Martin, Samsung и LG.

В России бизнес пока не так заинтересован в двумерных материалах. Возможно, причина в отсутствии на российском рынке достаточного количества специалистов, способных донести до крупных компаний важность и актуальность области исследований, на которую в мире тратят миллиарды долларов. Технологическое предпринимательство — довольно молодая по мировым меркам область, и на то, чтобы подготовить людей, нужно время. Пока это единичные специалисты, которые точно и часто на ощупь работают над каждым проектом. Решить эту задачу и расширить возможности по коммерциализации будущих разработок центр планирует за счет создания образовательных программ совместно с кафедрами РВК и технологического предпринимательства МФТИ-Роснано. «На самом деле у всех, кто сейчас занимается графеном и другими двумерными материалами что за границей, что в России, есть очень

серьезная задача — донести до крупных игроков то, насколько большой потенциал несет в себе область 2D. Исследователям это абсолютно очевидно, и потому во многом на нас лежит ответственность правильно это коммуницировать и добиться того, чтобы нас услышали», — рассуждает Алексей Арсенин.

ДВУМЕРНОЕ БУДУЩЕЕ

Оценить, каким будет рынок графена и других материалов в перспективе 10–20 лет, очень сложно. Текущая оценка объема рынка графена составляет \$1,4 млрд. По прогнозам Adroit Market Research, среднегодовой темп его роста до 2025 года будет находиться на уровне 25,2%. По данным McKinsey, рынок графеновой полупроводниковой индустрии на 2030 г. оценивается в \$70 млрд. Рынок связанных полупроводниковых технологий по этим же оценкам составит \$190 млрд — сюда входят обработка данных, беспроводные коммуникации, бытовая электроника. Цифры хоть и внушительные, но мало относящиеся к реальности. Даже текущие прогнозы не учитывают целый ряд связанных с графеном технологий: сенсоры, нейроинтерфейсы, композитные материалы, системы очистки воды и многое другое.

Перспективы применения 2D-материалов не просто широки, фактически они безграничны. В среднесрочной перспективе двумерные материалы и технологии на их основе станут элементной базой для развития технологий ИИ, робототехники, аэрокосмоса и ряда других технологий. Сейчас никто точно не может сказать, в какой именно области «выстрелит» 2D, особенно учитывая количество новых материалов. Пока ученые ищут, что станет графеновым killer application — точкой приложения, после которой двумерные материалы прочно войдут в повседневную жизнь. Однако уже понятно, что графен не будет просто «материалом из лаборатории», а приведет к созданию технологий XXI века.

«Сейчас мы находимся в той точке, когда у нас есть все шансы побороться за лидерство. Если все делать правильно, то уже в перспективе ближайших лет можно будет говорить о Долгопрудном как о новом графеновом мегаполисе — Russian Graphene City», — с оптимизмом, присущим только большим исследователям, заключает Валентин Волков. **ЭН**

КСТАТИ

К настоящему моменту опубликовано более 150 тысяч научных работ, посвященных графену и другим двумерным материалам. Таких материалов насчитывается больше сотни, так что можно говорить о создании новой таблицы Менделеева — теперь в 2D.

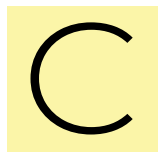
КАК РОЖДАЮТСЯ



✍ Екатерина Жданова

ТЕХНОЛОГИИ

Технологии появляются, развиваются, выходят из лабораторий и внедряются в нашу повседневную жизнь. Потом аппетиты прогресса растут, старые технологии оказываются недостаточно продвинутыми, ученые ищут новые, и цикл жизни запускается снова.



С начала существования технологии может быть только научной фантастикой. Хотя очень многие технологии так и остаются сказочными, какой-то процент все же становится объектом более серьезных научных исследований.

Если обнаруживаются какие-то интересные свойства и потенциальная возможность коммерциализации, находится дополнительное финансирование, которое эффективно отрабатывается, — получаются прототипы и коммерческие образцы.

Если коммерческие образцы успешны, они привлекают к себе больше внимания и денег. Технология развивается, и если она достаточно хороша, большие научно-технические игроки начинают обращать на нее внимание: она может стать одним из приоритетных направлений развития. На этом этапе вкладываются совсем другие деньги, подключаются все уровни разработок — от фундаментальных институтов до маленьких стартапов. И технологии идут в жизнь.

В какой-то момент улучшения выходят на плато, большие вложения уже дают небольшой прирост эффективности и не окупаются. Люди начинают искать альтернативные технологии, которые сменяют предыдущие и развиваются по такому же циклу.

Под технологией мы будем здесь понимать совокупность научных знаний, методов и инструментов для решения каких-то определенных задач. Причем эта совокупность относится к конкретному классу объектов, объединенных общим физическим принципом. Давайте посмотрим, как общие закономерности, приведенные выше, проявляются в случае конкретных технологий.

ГРАФЕН

Графеновые технологии объединяют всевозможные ситуации применения двумерного углерода для решения конкретных задач. Ученые в лаборатории хотят «пощупать» свойства материала, инженеры с помощью найденных интересных свойств — улучшить характеристики материалов или создать новые устройства. Бизнесмены раньше других стремятся найти среди множества научных разработок «золотое дно», развить его и, естественно, заработать.

Проследим, какой путь проделал графен в своей стремительной «карьере».

НЕВОЗМОЖНОЕ ВОЗМОЖНО

Лев Ландау, лауреат Нобелевской премии по физике 1962 года и один из отцов-основателей Физтеха, показал, что двумерные кристаллы нестабильны и не могут существовать из термодинамических соображений. «К графену никто не относился серьезно, потому что, вроде бы как, классики сказали — быть того не может! Гейму и Новосёлову дали Нобелевскую премию не за открытие графена, про него знали и раньше. У них просто хватило смелости заглянуть туда, куда другие не заглядывали, полагаясь на вес авторитетов», — говорит Валентин Волков, директор Центра фотоники и двумерных материалов.

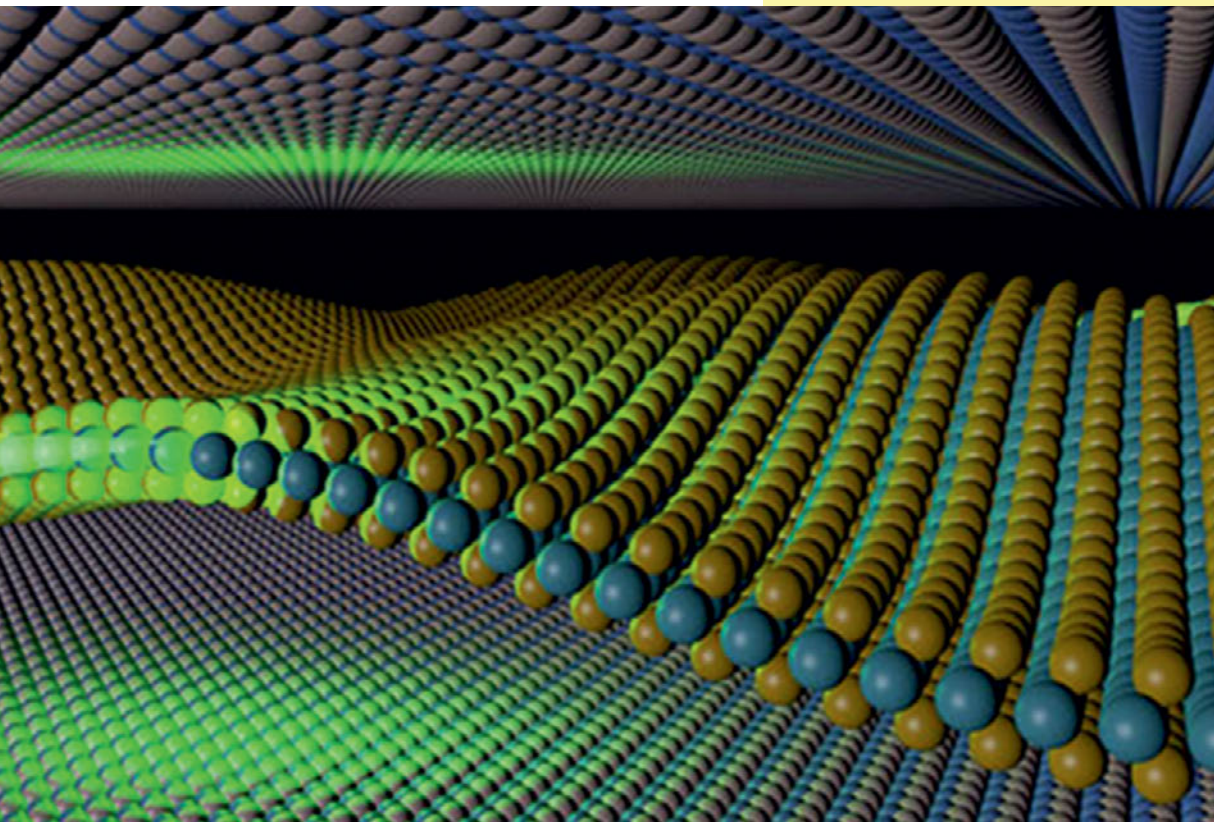
После пионерских опытов Андрея Гейма и Константина Новосёлова по получению и изучению графена в 2002–2004 годах и после присуждения им Нобелевской премии в 2010-м интерес проснулся громадный. Всего за 9 лет Манчестер превратился в «графеновый город»: создали Националь-

ный графеновый институт, вокруг которого выстроен инжиниринговый центр. А вокруг инжинирингового центра выросла целая экосистема из частных компаний, которые пытаются претворять научные наработки в реальные продукты. Китай, Европа и Америка тоже не отстают.

По мнению Валентина, графен от «лабораторной» до «приоритетной» стадии пробежал быстро: «Это естественный процесс, так устроена наша цивилизация. Бронзовый век был гораздо короче каменного. Полупроводники прошли путь от идей до внедрения за 70 лет, а графен, можно сказать, за 15. Ускорение в развитии связано с современными возможностями общества обрабатывать информацию, которые несоизмеримы с тем, что было в XX веке».

Сегодня, если вам захочется и найдется достаточно точная сумма, вы можете купить себе немножко графена или устройство с графеном в составе. Технологии уже близко, но до вхождения в массы и, соответственно, доступных среднему потребителю цен надо еще подождать.





Ван-дер-ваальсовы гетероструктуры.
Источник:
DOI: 10.1021/acs.nanolett.7b01248

СМЕНА ДЛЯ ГРАФЕНА

Могло случиться и так, что первым двумерным материалом стал бы не графен, а какой-то его аналог. Сейчас фокус постепенно смещается: плоский углерод не оправдал всех ожиданий, так как пока не смог заменить кремний в полупроводниковых технологиях и не совершил той революции, которой от него ждали.

Остальные двумерные материалы пока только «разогреваются». Какие из них выйдут на первый план и «затмят» графен, сказать сложно. Это могут быть популярные сегодня дихалькогениды переходных металлов или черный фосфор. Большой интерес вызывает новый класс искусственных материалов на основе комбинации различных двумерных материалов, так называемые ван-дер-ваальсовы гетероструктуры. А совсем недавно ученые заговорили о двумерном золоте и серебре.

Фокус постепенно смещается: плоский углерод не оправдал всех ожиданий, так пока и не совершил той революции, которой от него ждали

КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Квантовые технологии — это знания, методы и инструменты, которые в основе используют квантовую физику.

Грубо говоря, эти технологии существуют еще со времени появления таких вещей, как лазер, полупроводники, транзисторы. У «старых» квантовых технологий есть особенность: мы не оперируем с одиночным квантовым объектом или суперпозицией состояний. Есть какое-то макроскопическое свойство, которое объясняется квантово-механической теорией. Такие технологии появились примерно в 50–60-х годах, ознаменовав первую квантовую революцию.

Сегодня, когда говорят «квантовые технологии», подразумевают возможность манипулировать одиночными квантовыми объектами. В этой тематике все началось с теоретических работ Ричарда Фейнмана, где он предсказал, что можно использовать манипуляции с одиночными квантовыми объектами для того, чтобы производить квантовые вычисления.

Где-то в 90-х годах прошлого века стали развиваться теоретические основы квантовых вычислений. Тогда же научились манипулировать одиночными естественными атомами или ионами в ловушках. В 1999 году создали первую искусственную сверхпроводящую систему. Можно сказать, что в это время зародились современные квантовые

технологии и произошла вторая квантовая революция.

По словам Ивана Храпача, заместителя заведующего лабораторией искусственных квантовых систем МФТИ, и тогда, и сейчас квантовые технологии в большей степени — удел ученых: «Последние пять лет подключаются такие большие корпорации как Google, IBM, Microsoft и другие. И можно сказать, что квантовые вычисления из технологии лабораторного эксперимента превращаются в технологию, которую хотят как-то применить на практике для народного хозяйства. Но пока это такой интерес, когда рискуют и вкладывают деньги, хотя не очень понятно, где эти технологии выстрелят».

Сейчас скорее придумывают задачу под те квантовые компьютеры, которые уже умеют строить

Иван также рассказал, что квантовые технологии отличаются от, например, графеновых тем, что в своем развитии идут впереди задачи. Мы не знаем толком, для чего мы хотим прямо сейчас применить квантовый компьютер. Мы знаем, что он будет определенно полезен, но не знаем, где он будет полезен больше всего.

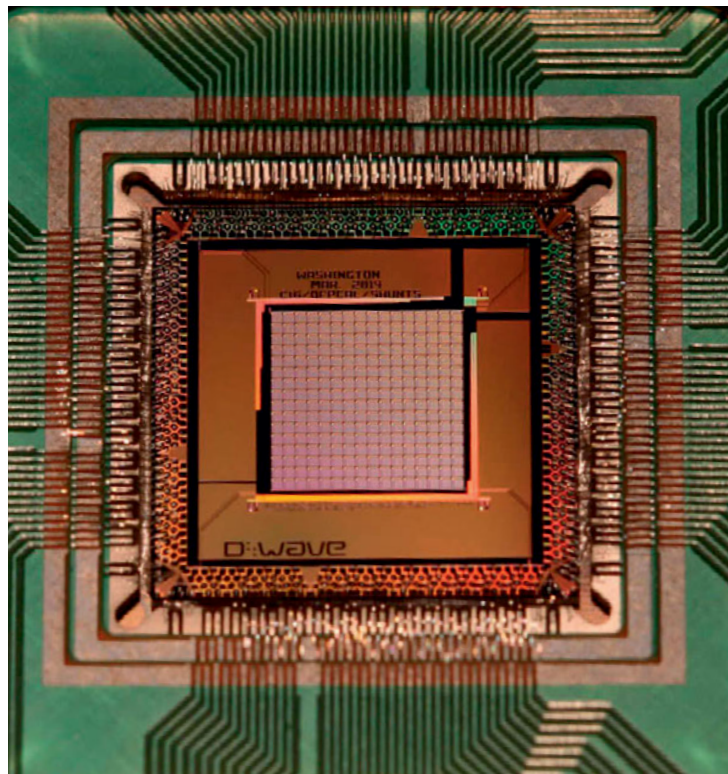
Сейчас скорее придумывают задачу под те квантовые компьютеры, которые уже умеют строить. В теории известно, как построить универсальный квантовый компьютер, каким критериям должно подчиняться это устройство. Предполагается, что найдется широкий класс задач, которые квантовые компьютеры решали бы быстрее обычного. Правда, пока ученые не умеют такие компьютеры строить. Сейчас создаются некие переходные устройства — системы кубитов. Чтобы показать, что они что-то могут решать лучше классического компьютера, придумывают специальную задачу для демонстрации так называемого квантового превосходства.

«Когда появился двумерный углерод, уже была уйма задач, где его можно было сразу применять: транзисторы, гибкие экраны, оптоэлектроника. Надо было доказывать не то, что вы с графеном можете что-то делать, а то, что вы это можете делать лучше, чем существующими технологиями. Но принципиально было понятно: вот я беру кусок графена, подвожу к нему такие-то контакты, подаю такие-то потенциалы — и устройство работает. Прототип можно было довольно быстро сделать. С квантовыми компьютерами ситуация другая. Нет такой задачи, которую квантовый

компьютер сейчас бы решал хорошо, но чуть-чуть хуже, чем классический компьютер. Ученым предстоит еще хорошенько поработать, прежде чем квантовые вычисления начнут конкурировать с обычными. Пройдет еще 10–15 лет, и такие устройства станут более универсальными и найдут свою нишу», — объясняет Иван Храпач.

НАУЧНЫЕ ЦЕНТРЫ

Квантовые центры устроены немного не так, как графеновые (см. стр. 44). По крайней мере, пока. Сейчас есть научные лаборатории, которые развиваются в своих университетах или в квантовых центрах. Эти центры — скорее собрание нескольких лабораторий. Лаборатории ведут научную деятельность, из которой может потенциально произойти какой-то стартап. За рубежом такие группы уже доросли до того, что их просто покупают крупные IT-корпорации. Выкуп состоит в том, что людей обеспечивают оборудованием и зарплатой. Конкретной компании, которая выдает продукт, пока нет.



Квантовый компьютер D-Wave. Источник: econet.ua

По мнению Ивана Храпача, впереди планеты по уровню развития квантовых технологий США, но прямо на пятки наступают Нидерланды, Швейцария, Швеция, Австрия, Германия, Япония и Китай. Также довольно быстро развиваются Россия, Великобритания, Франция, Австралия и Финляндия. →

Квантовый компьютер IBM Q.
Источник: futurescienceleaders

РАЗВИТИЕ В ЦИФРАХ

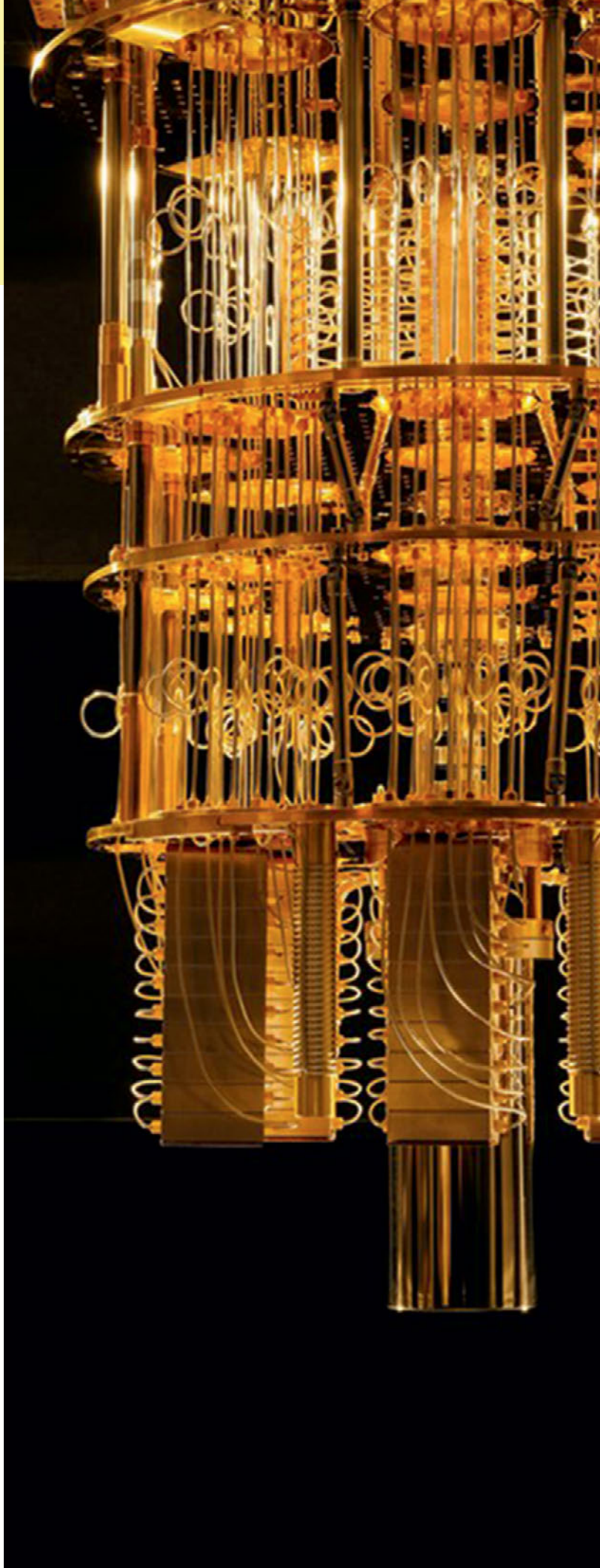
В графен и аналоги вкладываются большие деньги. В китайской части рынка в 2018 году обращались \$1,4 млрд, а к 2020 году ожидают \$14 млрд. В мировом масштабе рынок графеновой полупроводниковой индустрии, по прогнозу McKinsey, составит к 2030 году около \$70 млрд. Валентин Волков поясняет, что вкладывать надо много, и обычно равняются по самому сильному. В Китае и Европе графеновые центры растут, как грибы. Это заставляет остальных тоже финансировать в соизмеримых масштабах.

В квантовых технологиях похожие масштабы вложений. Первая квантовая революция привела к появлению сначала лазеров и транзисторов, а потом — компьютеров и прочих гаджетов и электроники. Сегодня объем рынка такой «квантовой» продукции составляет \$3 трлн в год.

Но гораздо интереснее, какой денежный масштаб имеет вторая квантовая революция. Согласно источникам в Сети, проект конгресса США рассчитан на \$20 млрд. Европейский Quantum Flagship имеет бюджет 3 млрд евро, Китай закладывает \$12 млрд на Национальную квантовую лабораторию. В квантовые компьютеры инвестируют Google, Microsoft, Intel и IBM, Airbus и Volkswagen. Частные инвестиции в эту область составляют примерно \$1 млрд в год.

В мировом масштабе рынок графеновой полупроводниковой индустрии, по прогнозу McKinsey, составит к 2030 году около \$70 млрд

По словам Ивана Храпача, примерно 100 миллионов долларов стоит создание с нуля лаборатории и технологии, с помощью которых можно построить примерно 50- или 70-кубитный процессор. В СМИ эта цифра всплывает под названием «стоимости квантового компьютера». Сделать одиночный кубит в уже готовой лаборатории по отработанной технологии — то есть рассчитать его, сформировать цепь на чипе в чистой комнате и продемонстрировать квантовые операции на уже установленном оборудовании — будет стоить где-то от ста тысяч до миллиона рублей.





В МФТИ занимаются квантовыми технологиями на сверхпроводящей платформе. Это один из физических методов реализации квантовых вычислений. Всего в России в квантовые технологии на сверхпроводящей платформе за последние 5 лет было проинвестировано около миллиарда рублей: на эти деньги создали несколько крупных лабораторий, которые уже дают результаты. Также у нас в стране развивают квантовые технологии на других физических принципах, в них инвестировали похожий порядок сумм.

ПОЛЬЗА ГОНОК

Стимулятором вложений не всегда является плановое ожидание какой-то определенной прогнозируемой прибыли. «Само существование “графеновой гонки” не оставляет серьезным игрокам — большим технологическим корпорациям и странам с развитым научно-техническим сектором — никакого выбора. Возможно, революции и не произойдет. Но жизнь — штука рискованная. Все должны вкладываться, если не хотят потерять свои позиции. К тому же сам процесс вложения несет в себе массу положительных последствий. Это ведь прежде всего инвестиции в науку, в образование, вокруг этого возникает бизнес. А насколько он эффективен или неэффективен — вопрос второй. Важно, что этот процесс наукообразен. Создание всей этой среды косвенно оздоравливает и усиливает конкретные государства, коммерческие компании и в целом общество», — считает Валентин Волков.

Что же до квантовых технологий, то, по мнению Ивана Храпача, правительства и частные компании инвестируют в эту область, потому что боятся упу-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Иван Храпач, заместитель заведующего лабораторией искусственных квантовых систем МФТИ:

— В этом году мы в лаборатории смогли реализовать алгоритм Гровера на 2 кубитах, и это примерно соответствует уровню 2009 года мировой практики. В 2015 году, когда сделали первый кубит, отставали почти на 16 лет, сейчас уже разрыв сокращается. Наверное, мы движемся быстрее, чем Великобритания. Но самые быстрые обороты у Китая, как и в области графена.

стить в будущем большую прибыль или, того хуже, безнадежно отстать от мира, где, возможно, править бал будут именно квантовые технологии.

«Если говорить о науке, то в процессе гонки развиваются и “технологии” в том смысле, как мы в нашем комьюнити это используем — как способ производства устройств на чипе в чистом помещении. Методики оттачиваются, совершенствуется измерительная техника. Развивается понимание квантовой механики, динамики простейших квантовых систем. Все это в конечном счете можно будет применить в электронике, — поясняет Иван. — Бурное развитие квантовой оптики, на мой взгляд, было бы невозможно без гонки по созданию квантовых компьютеров. Потому что для квантовых компьютеров необходимо было создавать устройства, в которых между квантовыми системами и электромагнитными полями есть сильная связь. Казалось, это нереально сделать. Но когда получилось, то выяснилось, что эти системы могут демонстрировать ряд интересных режимов взаимодействия излучения с веществом. Может быть, какие-то метаматериалы могут произойти отсюда, которые ученые еще до сих пор не придумали».

А еще можно взглянуть с другой стороны и задать вопрос, что будет, если мы не станем вкладываться в двумерные материалы и квантовый компьютер. Самый очевидный ответ: нам придется покупать технологии у других стран или компаний за куда большие деньги, чем вложили бы мы сами. Есть и более негативный сценарий, напоминающий, скорее, какое-нибудь кино. Например, использование тех же квантовых технологий в военных целях.

Мы не можем не развивать перспективные области науки, иначе останемся не у дел и вновь окажемся в ситуации зависимости от важных и экспортных технологий. Как, например, в истории с литий-ионными аккумуляторами (см. стр. 56). Вкладывая колоссальные интеллектуальные и финансовые ресурсы в двумерные материалы и квантовые технологии, передовые страны ожидают и получить немало. Как минимум — новые знания и умения. Как максимум — революцию в области электроники и вычислительной техники. **ЭН**

Graphene Engineering Innovation Centre (GEIC).
Источник: graphene.manchester.ac.uk



КОСМИЧЕСКАЯ ТРОЙКА

✍ Анастасия Митько

Вершина карьеры спортсмена — олимпийское золото, актеры и режиссеры мечтают о статуэтке Оскара, а в научном мире самой престижной наградой является Нобелевская премия. В этом году лауреатами в области физики стали космолог Джеймс Пиблз, астрофизик Мишель Майор и астроном Дидье Кело. Мы расскажем, часто ли дают двойные премии, как физтехи наступали Пиблзу на пятки, и заодно поделимся советом, как не упустить Нобелевскую премию! А разобраться во всем нам поможет астрофизик Геннадий Бисноватый-Коган.

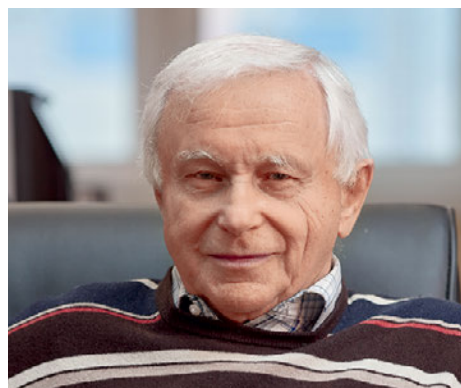
НЕМНОГО СТАТИСТИКИ

С 1901 года премия по физике была присуждена 112 раз. Было награждено 210 лауреатов, самому молодому — Лоуренсу Бреггу, на тот момент было 25 лет, самому пожилому — Артуру Эшкину — 96. Всего 47 раз премия была вручена одному лауреату, 32 — двум, 33 — трем, максимальному возможному количеству. Двое награжденных всегда получают по половине денежного вознаграждения, в случае трех возможны варианты $1/3$, $1/3$, $1/3$ или $1/2$, $1/4$, $1/4$. Последняя схема применяется либо чтобы отметить большие заслуги одного из ученых, либо когда премия, как в этом году, дана за два открытия.

В 2019 году Нобелевскую премию присудили Джеймсу Пиблзу ($1/2$) за теоретические открытия в физической космологии и Мишелю Майору ($1/4$) с Дидье Кело ($1/4$) за открытие экзопланеты. Это 23-я «двойная» премия, причем доля таких постепенно растет. Так, в 2018 году премия досталась Артуру Эшкину за «изобретение оптических пинцетов и их применение в биологических системах» и Донне Стрикланд с Жераром Муру — за «метод генерации высокоинтенсивных ультракоротких оптических импульсов». Награду, как и сейчас, разделили между теоретиками и практиками.

ЗНАЧИТ, БУДЕМ ДОЛЬШЕ ЖИТЬ

Ждать награды лауреатам пришлось долго — часть ключевых работ Пиблза написана в конце 60-х, Майор и Кело обнару-



Геннадий Семенович Бисноватый-Коган, выпускник аэромеханического факультета Физтеха, специалист в области плазменной астрофизики. Главный научный сотрудник, член Ученого совета Института космических исследований РАН и Ученого совета Учебно-научного института гравитации и космологии. Член Европейской академии наук с 2003 года.

жили экзопланету в 1995-м, но это еще не предел. Так, астрофизик Субраманьян Чандрасекар получил в 1983-м году премию за открытие, сделанное в 1930-м! В полушутливой статье «The Nobel Prize delay» группа ученых подсчитала, сколько в среднем времени ученый ждет награды. Оказалось, этот промежуток времени неуклонно растет. Такими темпами средний возраст лауреатов в обозримом будущем будет превышать среднюю продолжительность жизни!

— Видимо, средний срок ожидания растет, потому что прорывных открытий стало меньше. В начале XX века Беккерель открыл радиоактивность, Эйнштейн — фотоэффект, и значимость этих работ была очевидна. Теперь же все открытия связаны с огромными техническими затратами, над ними работает множество ученых, надо выбрать самых достойных, на это нужно время. Хотя если работа действительно яркая и выдающаяся, наградить могут достаточно быстро. Так, от открытия пульсаров до Нобелевской премии прошло всего семь лет.

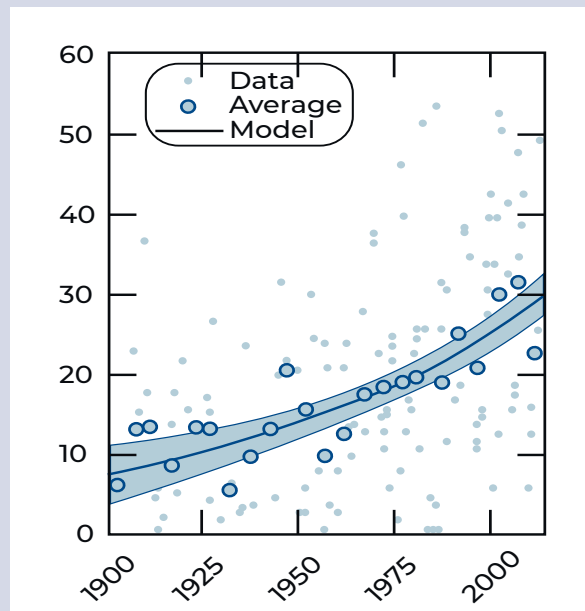
Есть и другой пример. Выпускники Физтеха Андрей Гейм и Константин Новосёлов были удостоены премии спустя всего шесть лет после публикации в Science их статьи о технологии получения графена в 2004 году.

КОСМИЧЕСКИЕ ГОНКИ

Работы Пиблза в области теоретической космологии оказали большое влияние на развитие современной астрофизики. Джеймс занимался исследованием реликтового излучения и был в шаге от Нобелевской премии за его открытие. Также он указал на принципиальные вопросы того, как будет происходить расширение Вселенной на ранних стадиях и как — в современную эпоху.

Пиблз был одним из первых космологов в Америке, возродивших к жизни модель горячей Вселенной Георгия Гамова, выдающегося советско-американского физика-теоретика. Широта научных интересов Гамова достойна восхищения — им написаны фундаментальные работы в физике (теория альфа-распада), астрофизике (горячая вселенная) и биофизике (расшифровка генетического кода).

Гамов предположил, что, раз сейчас Вселенная расширяется, значит, когда-то она была очень сильно сжата и расширилась взрывообразно. Кроме того, в 1948 году он же предсказал существование реликтового излучения. Сразу после Большого взрыва возникло облако электромагнитного излучения очень горячего тела — новорожденной Вселенной. По прошествии миллиардов лет оно



Временной промежуток от открытия до вручения Нобелевской премии. Источник: Becattini, F., Chatterjee, A., Fortunato, S., Mitrović, M., Pan, R. K., & Parolo, P. D. B. (2014). The nobel prize delay. arXiv preprint arXiv:1405.7136

существенно ослабло, и теперь аналогично излучению абсолютно черного тела с температурой всего несколько Кельвинов.

— Группа ученых в Принстоне под руководством американского астрофизика Роберта Дикке, в которую входил и Пиблз, начала строить радиотелескоп для обнаружения этого излучения. Оно еще не называлось реликтовым — просто микроволновым фоном, оставшимся после расширения Вселенной. Уже в процессе строительства телескопа выяснилось, что в другой лаборатории в США при тестировании телескопа Арно Пензиас и Роберт Вильсон выявили неустранимый шум примерно 3-градусной яркостной температуры. Когда об этом узнал Бёрк — был такой известный радиоастроном — он понял, что 3-градусный шум и есть реликтовое излучение, и посоветовал сообщить об этом в Принстон.

Как позже будет вспоминать Пиблз, Дикке, выслушав рассказ Пензиаса по телефону, положил трубку, обвел взглядом всю свою группу и произнес: «Boys, we were scooped!» («Ребята, нас обскакали!»). В науке бывает и так... В итоге в 1965 году в «The Astrophysical Journal» вышло две статьи — Пензиаса и Вильсона, рассказывающая об обнаружении «шума», и Пиблза и Дикке — о теоретических аспектах этого явления. Теория «горячей Вселенной» получила убедительное →



Джеймс Пиблз
© Niklas Elmedhed /
Nobel Media



Мишель Майор
© Niklas Elmedhed /
Nobel Media



Дидье Кело
© Niklas Elmedhed /
Nobel Media

→ подтверждение. В 1978 году Пензиас и Вильсон были удостоены Нобелевской премии за открытие реликтового излучения.

— Если вспомнить историю — в 57-м году в Ленинграде происходило тестирование нового, сравнительно небольшого студенческого телескопа, во время которого был замечен неустраняемый шум температурой около 4 градусов Кельвина. Радиоастроном Тигран Арамович Шмаонов, на тот момент аспирант, опубликовал статью об этом в журнале «Приборы и техника эксперимента», где ее потенциал никто не разглядел. Температура шума была определена с большой погрешностью, $\pm 3\text{K}$, но, конечно, если бы кто-то понял, что речь идет о реликтовом фоне, увеличить точность было бы легко. Но этого не случилось. Работа была закончена, Шмаонов защитил диссертацию и ушел работать в другое место.

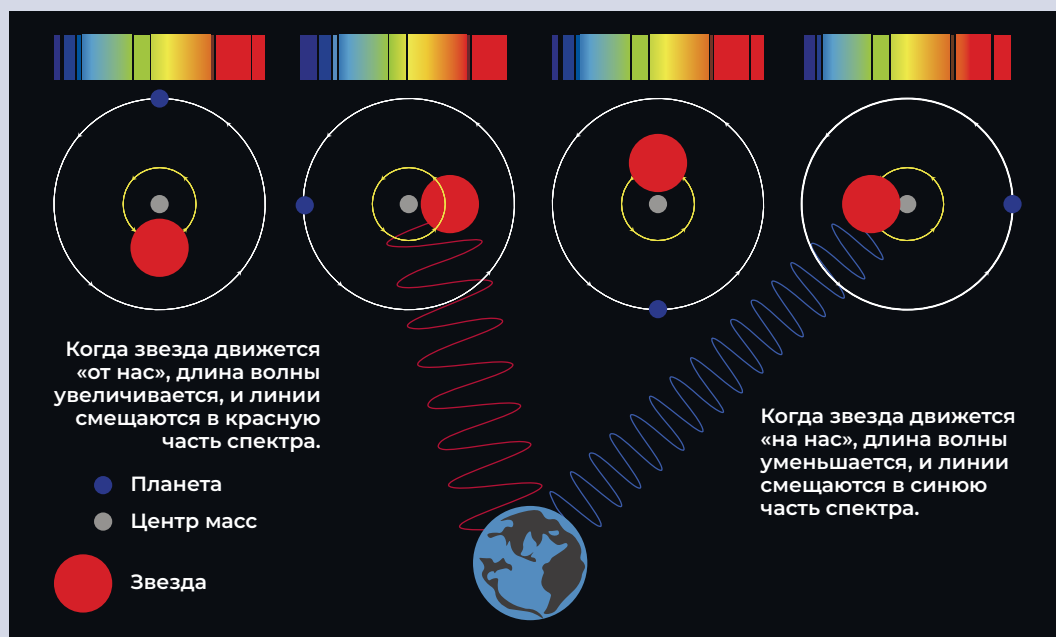
Я думаю, что единственным человеком в Советском Союзе, который мог бы понять, насколько на самом деле интересна работа Шмаонова, был руководитель нашей группы, выдающийся физик Яков Борисович Зельдович. Конечно, он тогда был увлечен моделью холодной Вселенной, но знал и о горячей, в его группе работали астрофизики Дорошкевич и Новиков, в 1964 году теоретически выяснившие, где нужно искать реликтовое излучение. Увы, статья была опубликована в неастрономическом журнале, и на глаза никому из них не попала, результат был потерян для советской науки. Что ж, как говорил Яков Борисович, «без публицити нет просперити».

Конкуренция между группами Зельдовича и Пиблза была очень острой. Так, например, Яков Борисович со своими сотрудниками работал над статьей, посвященной рекомбинации водорода. Идея заключается в том, что когда на пути излучения, распространяющегося от квазара, попадает облако нейтрального водорода, водород «выедает» из спектра фотоны с длиной волны, соответствующей переходу атома из первого возбужденного состояния в основное. Так как Вселенная расширяется, свет по мере пути к нам «краснеет» — смещается в более длинноволновую область, смещаются и «провалы». Изучая расположение провалов, можно узнать, на каком расстоянии от нас расположен квазар. Статьи групп Зельдовича и Пиблза вышли с разницей буквально в две недели — Пиблз оказался впереди.

Зато Яков Зельдович и его ученик Рашид Сюняев, кстати, тоже выпускник МФТИ, опередили Джеймса в исследовании рассеяния фотонов реликтового излучения на электронах межзвездного газа. Сталкиваясь с электронами, фотоны «забирают» их энергию, и увеличивают свою частоту. В результате число фотонов с низкими частотами падает, а с высокими — растет. Наблюдая этот эффект, названный впоследствии эффектом Сюняева — Зельдовича, можно определить, в каком направлении расположено скопление газа.

— Я могу еще рассказать одну историю, которая произошла на моих глазах. На конференции по нелинейным процессам присутствовали два нобелевских лауреата. Одним из них был Гинзбург, вторым Клод Коэн-Таннуджи — француз, который только что получил Нобелевскую премию за создание методов охлаждения и улавливания атомов лазерным лучом.

Метод
радиальных
скоростей.
Источник:
elementy.ru



Во время выступления Гинзбурга, посвященного его Нобелевской премии, один из присутствующих в аудитории сказал: «Вот наших все время зажимают в Нобелевских премиях. Сейчас дали какому-то Коэн-Таннуджи, хотя у нас был Летохов, который то же самое открыл». И все закричали: «А Коэн-Таннуджи, он же здесь сидит. Он сейчас может рассказать». Вышел этот нобелевский лауреат Коэн-Таннуджи и сказал... Говорил он довольно долго, но основная суть такая. «Да, действительно, темой занималось еще 20 групп, в том числе и группа Летохова. Все они получали интересные и важные результаты, но обобщить все эти результаты и дать полную картину удалось только мне, поэтому мне и дали Нобелевскую премию». Так же и Пиблз был награжден, в том числе и за то, что он сумел обобщить различные исследования в области космологии и объяснил это всем в более популярной форме.

В ДАЛЕКОЙ-ДАЛЕКОЙ ГАЛАКТИКЕ

Вторая половина Нобелевской премии 2019 года досталась Дидье Кело и его учителю Мишелю Майору за открытие экзопланеты у 51 звезды Пегаса. Планеты светят отраженным светом, поэтому не так легко увидеть даже относительно близкие к нам. Однако есть способы обнаружить планету без прямого наблюдения, и тот из них, что использовали Майор и Кело, называется методом радиальных скоростей. Его суть заключается в том, что планета и звезда вращаются вокруг общего центра масс (то есть когда мы говорим, что Земля вращается вокруг Солнца, мы не правы). Получается, что звезда то приближается к нам, и тогда, согласно эффекту Доплера, ее свет для нас «синееет», то удаляется, «краснеет».

Однако заметить этот эффект достаточно сложно — ведь масса звезды намного больше, чем планеты, требуется высокая точность приборов. Так, массивный Юпитер заставляет Солнце двигаться со скоростью 12 м/с, а Земля — всего 10 см/с. Вклады всех планет складываются. Майор совместно с коллегами разработал спектрограф ELODIE, точность которого оказалась в 20 раз выше, чем у старого. Он позволял фиксировать колебания звезды со скоростью 10 м/с, так что неудивительно, что первая обнаруженная планета по параметрам оказалась ближе к Юпитеру, чем к Земле. Интересно, что она оказалась так близко к своей звезде — в 20 раз ближе, чем Земля к Солнцу! До этого считалось, что другие системы устроены подобно Солнечной: некрупные каменные планеты на внутренних орбитах, потом идут газовые гиганты, затем — ледяные.

Дидье и Кело повезло оказаться первыми, ведь поиск планет вели сразу несколько научных коллективов. Всего через несколько недель поступило сообщение об открытии еще двух планет того же типа, «горячих юпитеров».

— Сейчас счет экзопланет уже идет на тысячи. Открытие Кело и Майора сделало поиск экзопланет одним из самых модных направлений в астрофизике. Сперва были найдены большие объекты типа Юпитера, потом научились находить и поменьше, больше похожие на Землю. Теперь уже встал вопрос о поиске обитаемых планет, пусть даже жизнь там представлена бактериями или вирусами. Это крайне интересно, поэтому Майор и Кело как первооткрыватели, несомненно, Нобелевскую премию заслужили. **ЭН**

ЗАРЯДИЛИСЬ ДО «НОБЕЛЯ»

✍ Екатерина Жданова

В 2019 году премию памяти Альфреда Нобеля присудили за разработку литий-ионных аккумуляторов. В равных долях вознаграждение в 9 миллионов шведских крон разделят Джон Гуденаф (John Goodenough) из университета Техаса в Остине, Стэнли Виттингхэм (Stanley Whittingham) из Университета Бингемтона, США, и Акира Ёсино (Akira Yoshino) из корпорации Asahi Kasei и Университета Мейдзё.

Литий-ионные аккумуляторы есть практически у каждого человека на планете, спектр применения — от источника питания смартфонов до электромобилей и электростанций возобновляемых источников энергии. Давайте разберемся с прошлым, настоящим и будущим батареек в мировом и российском масштабах.

РЕВОЛЮЦИЯ И ОБРАТНЫЙ ХОД ИСТОРИИ

Химические батареи начали использовать более двухсот лет назад. И важным их применением были первые электромобили. Внутри пионерских электрокаров находились свинцово-кислотные аккумуляторы. Накопители энергии того времени обладали маленькой емкостью и быстро деградировали, то есть теряли емкость после нескольких циклов зарядки-разрядки.

Основной вклад нобелевских лауреатов в историю накопителей электроэнергии был в том, что они нашли материалы электродов, которые позволили собрать достаточно емкий, перезаряжаемый и долговечный (в смысле количества перезарядок) аккумулятор. Эти характеристики сделали возможными создание и развитие электроники в том виде, к какому все уже привыкли, — карманные телефоны, умные браслеты и роботы-пылесосы.

А еще именно развитие литий-ионных батарей дало второй шанс экотранспорту. Сто лет назад электромотор проиграл битву топливному двигателю, сегодня есть все шансы на реванш.

ДВА КАТОДА И АНОД

Идея литий-ионных накопителей электрической энергии зародилась давно. Первые исследования в этой области датируются 1912 годом и связаны с именем Гилберта Льюиса (G. N. Lewis).

Интересно, что тогда концепцию считали развлечением для фундаментальных исследователей.

В 70-х годах прошлого века во время топливного кризиса стали появляться первые коммерческие образцы литиевых аккумуляторов. Стэнли Виттингхэм обнаружил, что в кристаллической структуре сульфида титана можно разместить ионы лития — то есть такой материал подходит для их накопления. Он изготовил батарею, катод которой был изготовлен из сульфида титана, а анод — на основе металлического лития, который хорошо отдает электроны. Такой источник давал неплохую разность потенциалов — около двух вольт. Но из-за высокой реакционной способности лития он был слишком взрывоопасным, поэтому не принес коммерческого успеха.

Джон Гуденаф предположил, что катод будет давать больший потенциал, если использовать оксиды вместо сульфидов. В 1980 году он продемонстрировал, что оксид кобальта с интеркалированным (помещенным в кристаллическую структуру в результате химической реакции) литием может иметь большую емкость и более высокий потенциал. Так удалось сделать мощный аккумулятор с разностью потенциалов около четырех вольт.

Используя идею Гуденафа в качестве основы, Акира Ёсино в 1985 году создал первый коммерчески успешный аккумулятор. Вместо литиевого металлического анода он использовал материал на основе нефтяного кокса, графитоподобного материала, который, как и оксид кобальта в катоде, мог принимать ионы лития в свою структуру в результате химической реакции.

Получился легкий и безопасный аккумулятор, который можно перезаряжать сотни раз. Свойства материалов катода и анода, открытые и исследованные нобелевскими лауреатами, позволили запастись достаточное количество энергии, чтобы удовлетворить потребности развивающейся и жаждущей автономного питания электроники.

ВНУТРИ АККУМУЛЯТОРА

В процессе разрядки литий-ионного аккумулятора положительно заряженные

ионы лития движутся от анода к катоду через электролит, а электроны — по электрической цепи. Получаемая в этом процессе полезная энергия идет на питание смартфона, фитнес-браслета или электробуса.

Батарея разряжена — это значит, большая часть ионов лития уже в катоде, и остаточное напряжение уже не может создавать достаточный ток. Дальше черед зарядки: под воздействием внешнего электрического поля розетки литий с катода переходит обратно на анод. Когда большая часть ионов вернулась, напряжение ставится достаточно высоким: аккумулятор заряжен.

РАЗНЫЕ КАТОДЫ

Сегодня накопители делают двух основных типов: из литий-кобальт-оксидных и литий-железо-фосфатных (более позднее предложение Гуденафа) катодов. Первые преимущественно служат источником энергии для электроники, вторые питают электротранспорт.

Такое «разделение труда» вызвано в большей степени стоимостью: аккумуляторы первого типа стоят около 250 долларов за киловатт-час, а железо-фосфатные — примерно в 1,5 раза дешевле из-за входящих в их состав более доступных материалов.

Топовые электромобили, например, Tesla или Audi ездят на таких же аккумуляторах, которые используются в смартфонах, — то есть на литий-кобальт-оксидных. А московские голубенькие электробусы — на морозоустойчивых и быстрозаряжающихся литий-титанатных.

Коммерциализация транспорта в России идет медленно. По словам Дмитрия Семененко, заведующего лабораторией накопителей энергии в МФТИ, аккумулятор для электробуса стоит как два-три обычных бензиновых или газовых автобуса. Причина не только в новизне. У нас в стране аккумуляторы не производят, и их надо закупать из Японии.

БЫСТРЕЕ, ЕЩЕ БЫСТРЕЕ

Для электротранспорта хотелось бы, чтобы мы могли заряжать автомобиль примерно с такой же скоростью, как заправляем бензином. А еще здорово



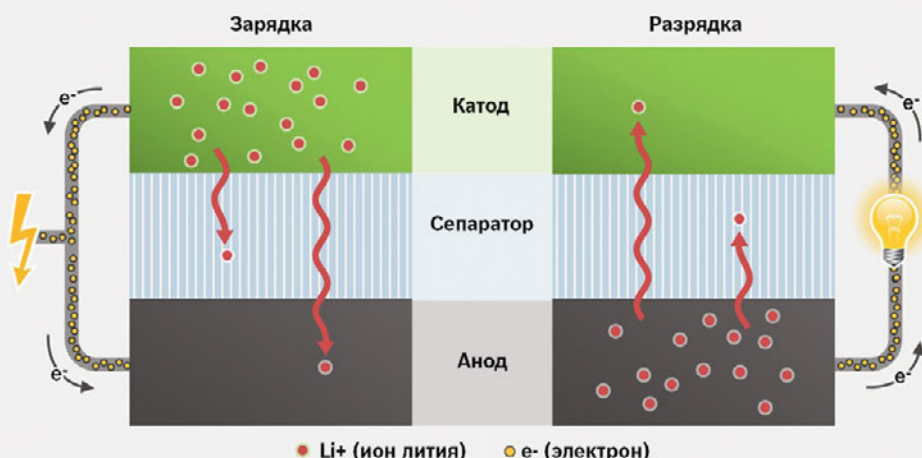
Акира Ёсино
© Niklas Elmedhed / Nobel Media



Стэнли Виттингхэм
© Niklas Elmedhed / Nobel Media



Джон Гуденаф
© Niklas Elmedhed / Nobel Media



Принцип работы
литий-ионного
аккумулятора

было бы хотя бы сравнить пробеги при полной заправке и полном заряде.

В гаджетах технология быстрой зарядки уже реализована, но у электромобилей очень большой аккумулятор. Чтобы быстро заряжать электромобили один за другим, нужно где-то такую большую энергию предварительно запастись — из обычной электросети достаточно количество получить проблематично. Поэтому для нужд электротранспорта требуется не только быстрая зарядка самих машин, но еще и быстрая разрядка аккумуляторов на зарядной станции.

Перенос атомов лития между катодом и анодом при зарядке / разрядке — упрощенная модель описания работы литий-ионного аккумулятора. По словам Дмитрия Семененко, при зарядке и разрядке происходит больше 10 различных химико-физических процессов. Каждый из них — источник электрического сопротивления, которое в первую очередь влияет на скорость зарядки и разрядки аккумулятора. Соответственно, фундаментальное решение проблемы ускорения перезарядки аккумуляторов — это поиск принципиально новых материалов, в которых такое сопротивление будет минимизировано.

НУЖНО БОЛЬШЕ ЭНЕРГИИ

Исследователи ищут для аккумуляторов способы запастись больше энергии и повышать ресурс — количество циклов заряда / разряда. Для этого материаловеды разрабатывают но-

вые катоды и аноды, химики — новые электролиты.

Одна из основных причин деградации аккумуляторов — пассивация и разрушение анода. При реакции углеродного материала с литием, помимо основного процесса (накопления ионов), происходят несколько побочных. Это когда со временем — после сотен циклов жизни — электроды покрываются пленками продуктов химических реакций, часть лития теряется, а сопротивление сильно возрастает. Поэтому эффективность аккумулятора сильно снижается. Чтобы решить эту проблему, ученые ищут новые составы электролита, в котором пассивации не происходило бы.

ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

В истории развития литий-ионных батарей технологическое развитие идет в ногу с фундаментальными исследованиями. Батарея, изготовленная Виттингхэмом в 1973 году, обладала энергетической емкостью 45 ватт-час. С того момента энергетическая плотность — киловатт-часы на единицу массы — увеличилась в 4-5 раз. Согласно комментарию Дмитрия Семененко, в ближайшие 10 лет этот параметр можно увеличить еще в 1,5 раза.

В Азии литий-ионные накопители энергии развивают для нужд электроники, в Европе и Америке — для электротранспорта и сетевой электроэнергетики. При этом исследования и

КСТАТИ

На момент вручения премии Джону Гуденафу исполнилось 97 лет. Таким образом, он побил рекорд прошлого года: в 2018-м премию по физике получил Артур Эшкин, которому тогда было 96 лет.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Дмитрий Семененко, заведующий лабораторией накопителей энергии в Институте арктических технологий МФТИ:

— Догнать и победить китайцев в борьбе за цену в современных технологиях — это задача совершенно нерешаемая. Мы работаем над так называемыми постлитий-ионными технологиями. Если сделать что-то новое, перспективное и начать его производить — это как раз тот путь, которым можно идти, и мы ему следуем.

разработка технологий идут как на уровне коммерческих компаний, так и в масштабе фундаментальных исследований при университетах.

Начало коммерческого пути литий-ионных аккумуляторов пришлось как раз на момент распада Советского Союза, и эта отрасль в российской науке по большому счету даже не зародилась. Поэтому у нас аккумуляторные технологии развиваются с оглядкой на передовые мировые научные центры.

В МФТИ благодаря Федеральной Арктической программе и проекту «Автономная энергетика Арктического региона» исследователи ищут решения, которые позволят обеспечивать регион энергией без завозного топлива. Возобновляемые методы генерации электроэнергии — ветряной или солнечный — нерегулярны и требуют накопителей.

Сейчас в России есть несколько лабораторий по разработке современных аккумуляторов. Причем, как рассказал нам Дмитрий Семененко, в МФТИ разрабатываются батареи на основе других технологий, чтобы можно было удешевить производство и организовать его в России.

СЕКРЕТНЫЙ ИНГРЕДИЕНТ

Электроды, которые сегодня используют в аккумуляторах, делаются по более-менее универсальному «рецепту»: литий-оксид или литий-фосфат-железные катоды и углеродосодержащий анод. Однако в игре есть третий важный компонент — электролит. Именно он отвечает за успешный переход атомов лития между электродами в процессах перезарядки. И именно он в состоянии значительно влиять на характеристики аккумуляторов.

Электролит — многокомпонентная система, в которую могут входить до 20 различных веществ. Строго общепризнанного состава нет, у каждой коммерческой компании свой рецепт.

«TESLA декларирует для аккумулятора несколько тысяч циклов перезарядки, а от самого дешевого из магазина не стоит ждать больше сотни. В том числе потому, что в дорогих аккумуляторах используется секретный многокомпонентный электролит, который обеспечивает большой ресурс, а в дешевых — самый простой, лишь бы было напряжение и шел ток», — пояснил Дмитрий.

Благодаря реализации идей нобелевских лауреатов технология, которая сто лет назад казалась теоретическим развлечением, сегодня доступна большей части населения планеты: наверняка, у читателя есть хотя бы одно устройство, питающееся от «нобелевского» аккумулятора. Литий-ионные батареи обеспечили революцию в области портативной электроники. Рынок аккумуляторов оценивается сегодня в 38 миллиардов долларов и явно не собирается сбавлять обороты. **зн**

ТАЙНА ГИПОКСИИ

✍ Ильяна Золотарева

Нобелевскую премию по медицине и физиологии в этом году вручили трем ученым за открытие механизма регуляции уровня кислорода в клетке. Что это значит, и почему это важно?



© Mattias Karlén / The Nobel Committee for Physiology or Medicine

КИСЛОРОДНЫЙ ЭВЕРЕСТ

Без кислорода не было бы жизни на Земле, и без него клетки нашего организма не смогут преобразовать пищу в энергию. Каждый день наш организм следит, чтобы в крови было достаточное количество кислорода, неважно, дышите ли вы спокойно или бежите на электричку, хорошо питаетесь или не очень, расслаблены или волнуетесь перед ответственным событием.

Стартом исследований в области адаптации к гипоксии можно считать период конца 60-х годов XX века, когда физиологи приступили к внимательному изучению реакций организма человека на подъем в горы. Эверест был покорен совсем недавно (в 1953 году), начались попытки бескислородного восхождения. Эти исследования привели к открытию эритропоэтина — гормона, который выделяется в кровь в ответ на

дефицит кислорода. Эритропоэтин стимулирует формирование эритроцитов, что обеспечивает улучшение снабжения тканей кислородом уже в течение нескольких часов после начала гипоксии.

Но как же наше тело понимает, что мы находимся в среде с низким содержанием кислорода, например, поднимаемся на Эверест, и адаптируется в ответ? Нобелевская премия 2019 года в области физиологии и медицины была присуждена трем ученым, которые смогли выяснить, как клетки человека чувствуют и адаптируются к окружающей среде с различным уровнем кислорода. Уильям Кейлин-младший (Гарвард, Институт онкологии Дана — Фарбер), сэр Питер Рэтклифф (Оксфорд, Институт Фрэнсиса Крика) и Грегг Семенца (Университет Джонса Хопкинса) независимо друг от друга разобрались в разных частях головоломки, и оказалось, что все сводится к паре белков.

КТО ОНИ

Питер Рэтклифф первоначально получил медицинское образование, затем перешел в молекулярную биологию. В конце 80-х его исследовательская работа была связана с изучением болезней почек, а в 1990 году Рэтклифф основал в Оксфорде

КСТАТИ

В 2016 году работы этих исследователей уже получили оценку в виде другой престижной награды — премии Альберта Ласкера, ежегодно присуждаемой в США за фундаментальные медицинские исследования. Ее рассматривают как «вторую Нобелевскую для США» и предсказателя будущих лауреатов Нобелевской премии. 86 лауреатов премии Ласкера получили научный Оскар, 32 из них — за последние двадцать лет.

лабораторию биологии гипоксии, которую возглавлял более 20 лет, поставив перед собой цель разобраться в механизмах регуляции экспрессии гена эритропоэтина.

Грегг Семенца до начала 90-х годов исследовал заболевания, обусловленные нарушениями эритропоэза, такие как талассемия. Так же, как и Рэтклифф, в 90-х Семенца практически полностью переключился на исследование молекулярных и клеточных механизмов адаптации организма к гипоксии.

Уильям Кейлин-младший — специалист по опухолям, занимавшийся наследственным заболеванием Гиппеля — Линдау. Этот синдром выражается в повышенном риске возникновения рака. В 1988 году было установлено, что причиной заболевания являются мутации в гене VHL. Как выяснилось впоследствии, белок, кодируемый этим геном, является также одним из ключевых игроков в ответе клеток на вариации в концентрации кислорода в среде.

ТОГДА И СЕЙЧАС

Первый шаг сделал Семенца, который в 1995 году обнаружил и охарактеризовал ген, который кодирует белок, под названием фактор, индуцируемый гипоксией, или HIF-1 (hypoxia inducible factor). Последующие независимые кросс-атлантические исследования, проведенные им совместно с Рэтклиффом, показали, что HIF-1 действует так: когда концентрация кислорода низка, он изменяет активность многочисленных генов, таких как ген гормона эритропоэтина (ЕРО), который запускает выработку эритроцитов, чтобы до тканей доходило больше кислорода. Таким образом, клетки быстро адаптируются и выживают в среде с низким содержанием кислорода.

Независимые исследования Семенцы и Рэтклиффа показали, что чувствительность клеток к кислороду присутствует практически во всех тканях, а не только в клетках почек, где обычно вырабатывается ЕРО. Другой белок под названием VHL был описан Уильямом Кейлином-младшим, который обнаружил, что VHL ответственен за разрушение HIF, когда концентрация кислорода высока. Результаты, полученные этим трио, описывают в общих чертах молекулярный переключатель, триггером которого является концентрация кислорода.

Недавно выяснилось, что HIF играет ключевую роль в стимулировании роста раковых опухолей, поскольку он может активировать гены, ответственные за строительство новых кровеносных сосудов, а некоторые раковые опухоли и вовсе процветают в условиях низкого содержания кислорода. Также оказалось, что увеличение концентрации HIF в раковых клетках вызывает лекарственную устойчивость к химиотерапии. Фармацевтические компании в настоящее время работают над препаратами, нацеленными на HIF, в лечении некоторых видов рака. А если они придумают лекарства для активации нужных генов, врачи смогут лечить заболевания, связанные с низким содержанием кислорода в тканях, например, анемию или легочные заболевания.

Рэндалл Джонсон, член комитета Нобелевской премии, прокомментировал важность этого исследования, сказав, что «это открытие “для учебника”, и скоро дети 12 лет будут знать базовые аспекты работы клетки». В общем, не стоит переживать, что мы родились слишком поздно, чтобы исследовать Землю и открывать новые континенты: открытия, сделанные в наше время, уже становятся знаниями из энциклопедий, а мы — их современниками. **ЭН**



Уильям Кейлин-младший
© Niklas Elmedhed / Nobel Media



Сэр Питер Рэтклифф
© Niklas Elmedhed / Nobel Media

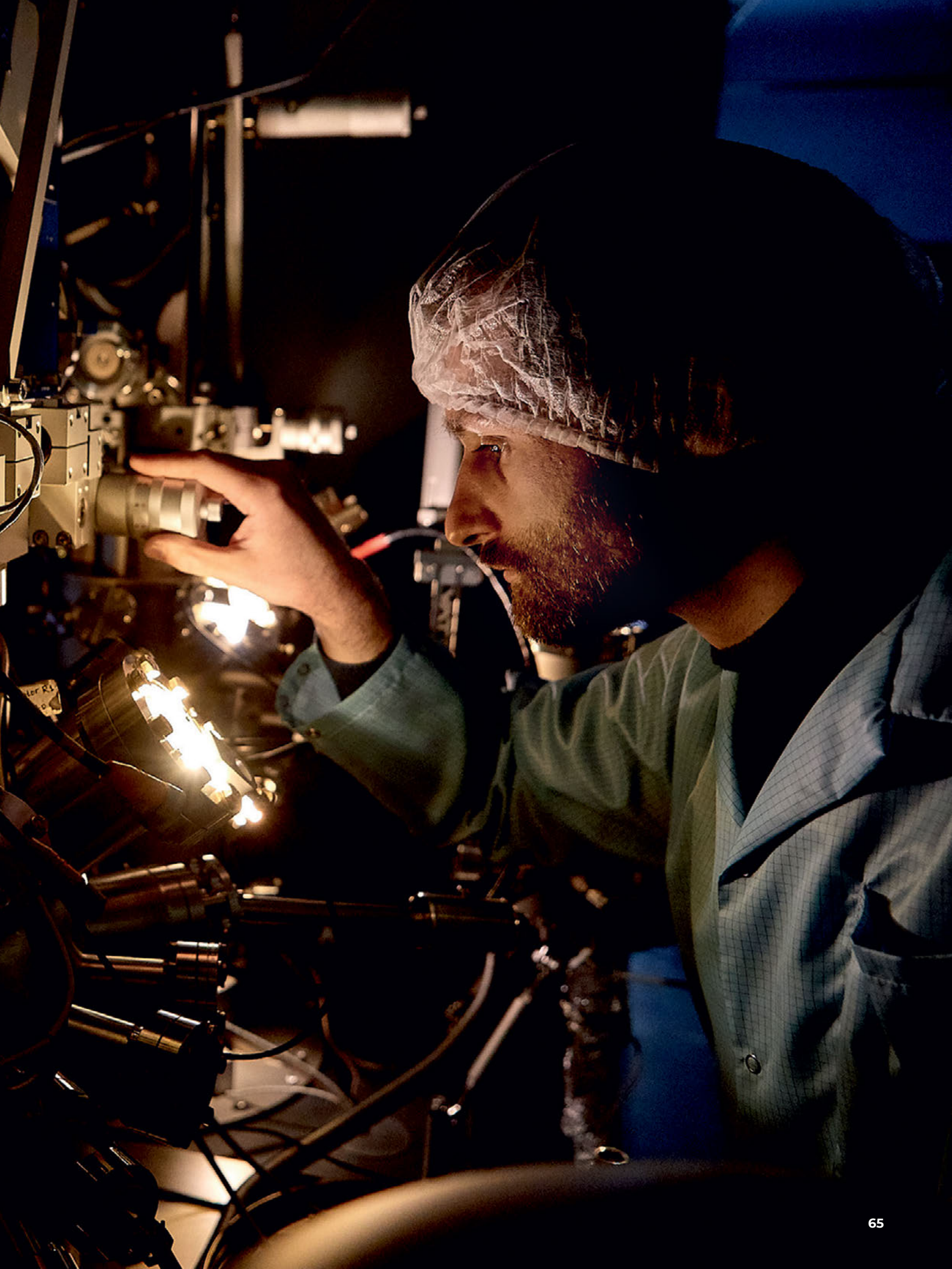


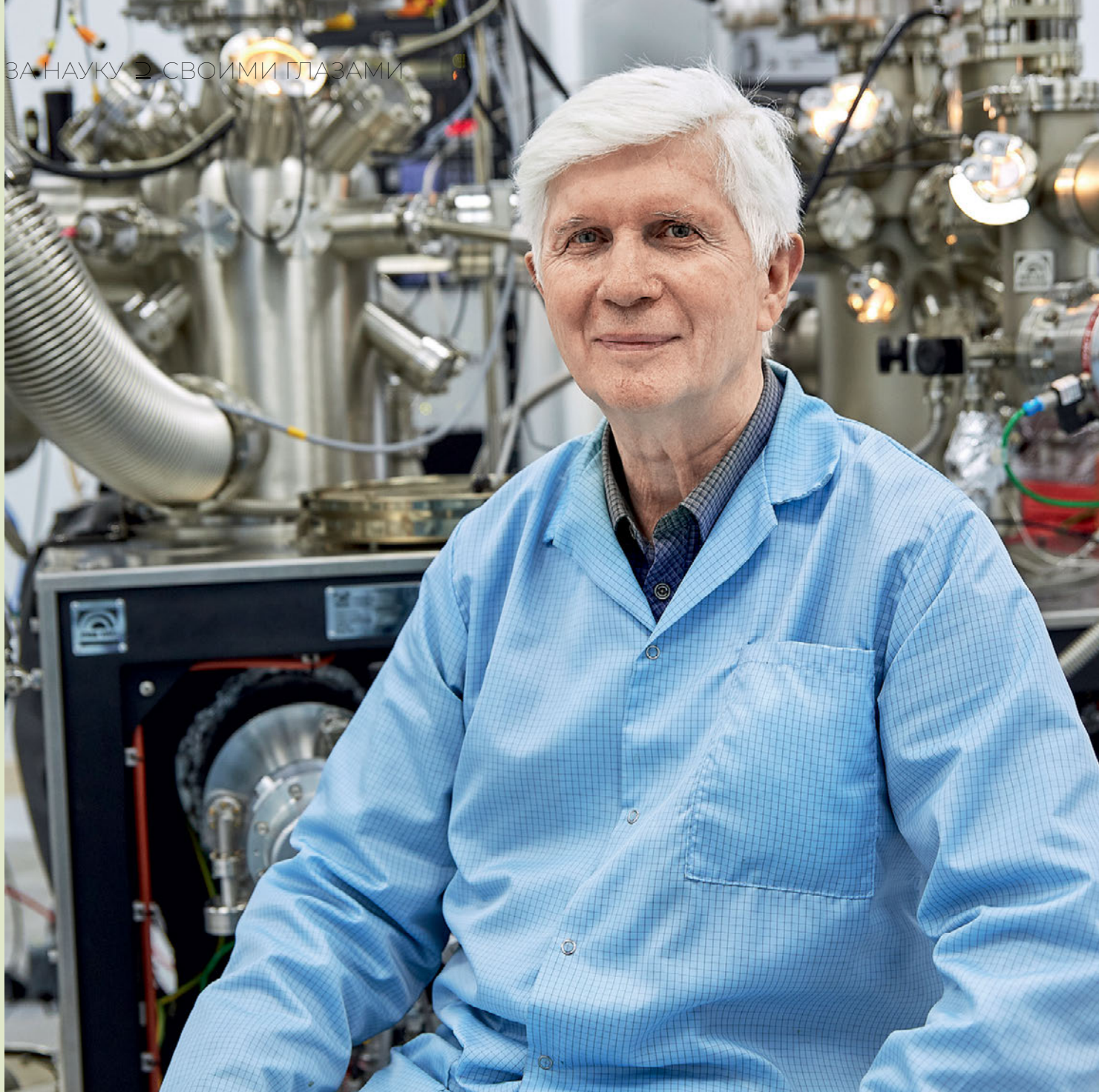
Грегг Семенца
© Niklas Elmedhed / Nobel Media

✍ Марина Тебенькова

НОВАЯ ЖИЗНЬ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Сравнительно недавно, в 2017 году на базе ФИАН был организован Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов имени В. Л. Гинзбурга. Это научное подразделение уверенно заявляет о себе в самых актуальных областях, в частности, в физике конденсированного состояния: изучении строения и электронной структуры материала на масштабах вплоть до нескольких ангстрем. Что немаловажно и что отличает этот центр от многих других — здесь реализован полный цикл научного исследования, начиная с изготовления образца нового материала в «ростовой зоне» с последующей его характеризацией и постановкой самого эксперимента и завершая созданием наноструктур на его основе. О тонкостях поэтапной научной работы узнал корреспондент журнала «За науку».





Владимир Пудалов, руководитель центра, главный научный сотрудник ФИАН, член-корреспондент РАН, д. ф.-м. н., выпускник МФТИ

ВСЕ ВРЕМЯ С НУЛЯ

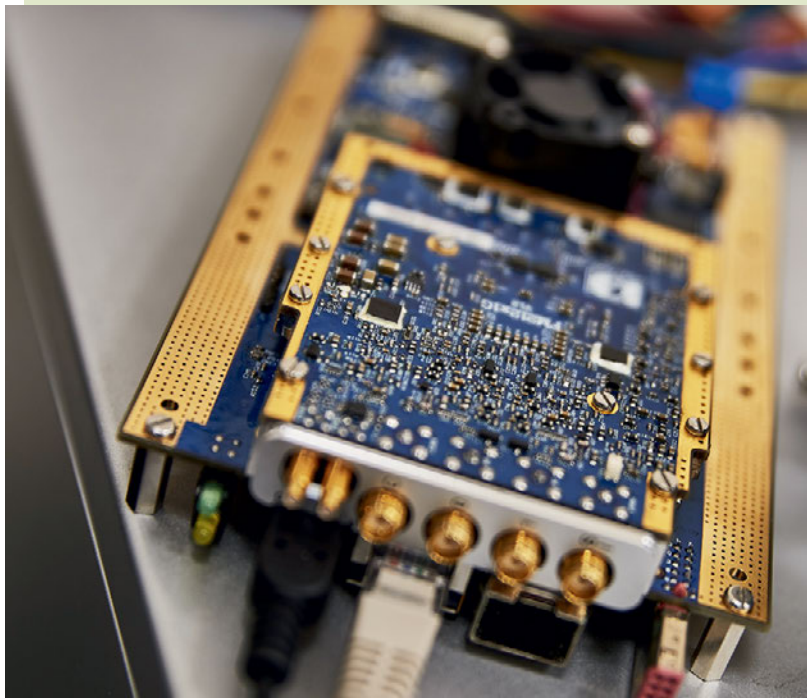
Идея создания такой научной структуры, как центр, была выдвинута Нобелевским лауреатом академиком Виталием Лазаревичем Гинзбургом (теперь центр носит его имя). Более десяти лет назад Гинзбург убедил Владимира Пудалова, доктора физико-математических наук, выпускника МФТИ в смене тематики исследований, чтобы заняться проблемой высокотемпературной сверхпроводимости, поскольку твердо верил в перспективность данного направления и в возможность достижения сверхпроводимости при комнатной температуре. Вместе они разработали

концепцию современного научного центра, проект которого, после несколько стадий обсуждения был одобрен и, наконец, воплотился в жизнь.

До этого Владимир Пудалов проработал несколько лет в Канаде, затем — в различных лабораториях Австрии, Нидерландов и США. Здесь же, в России, ему пришлось все начинать с нуля, чтобы спустя 12 лет создать ту высококласную научную лабораторию, которую мы можем увидеть теперь; сплотить вокруг себя коллектив молодых ученых-единомышленников.

КРЕМНИЕВЫЙ ВЕК НА ИСХОДЕ

На протяжении последних 70 лет кремниевая электроника все глубже и глубже проникала в нашу жизнь: вначале через созданные на основе кремния полупроводниковые электронные приборы и устройства, а теперь уже и через использующие их информационные технологии. Однако с развитием технологии, которое требует постоянного уменьшения размеров электронных схем, разработчики сталкиваются с проблемой отвода тепла, которое неизбежно выделяется в полупроводниковых элементах, и при высокой плотности их упаковки может приводить к выходу прибора из строя. Это ограничивает возможность повышения интеграции, которая необходима, если мы хотим, чтобы компьютеры работали как можно быстрее и были как можно более мощными и умными. Поэтому в центре работают над разработкой и других технологий передачи информации, в частности, технологией спинтроники, где перенос информации осуществляется не с помощью заряда электрона, а с помощью его спина.



Плата АЦП, созданная на основе кремниевой технологии



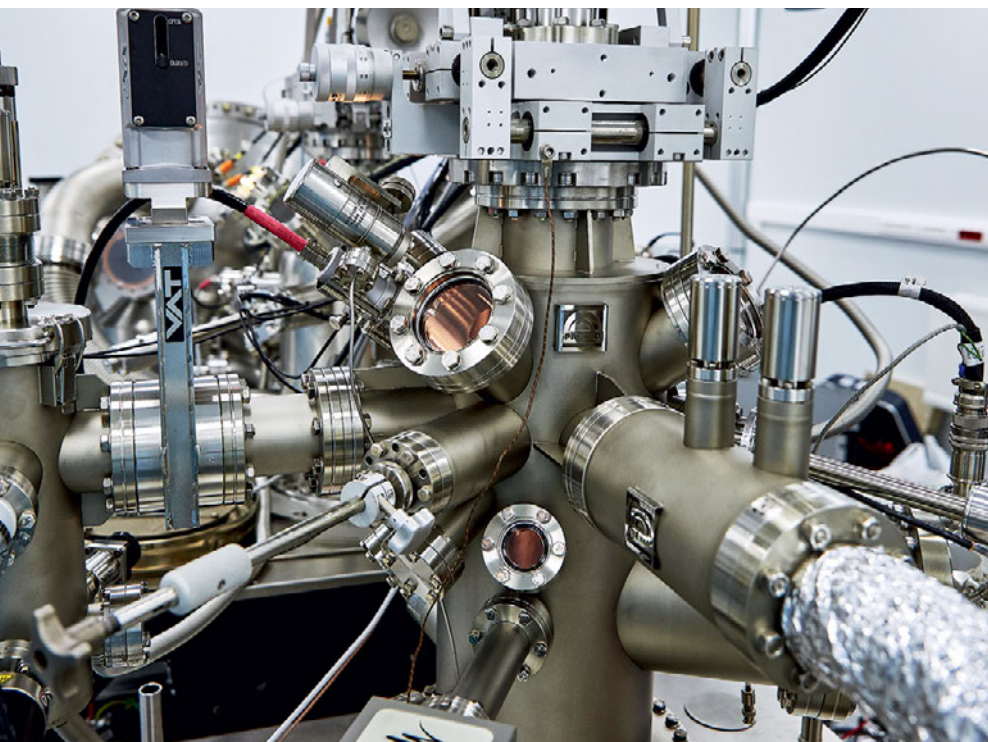
Установка плазмо-химического травления

ВТОРОЕ ДЫХАНИЕ

Спинтроника реализуется в центре как одно из направлений в исследованиях так называемых «квантовых материалов». Данный термин, как и понимаемые под ним твердотельные структуры, был известен научному сообществу еще 10–15 лет назад, но пора ярких ощутимых результатов пришлось именно на последние годы. Вся квантовая механика, казалось бы, полностью описанная еще восемьдесят лет назад и жившая в своем неизменном виде столь долго, обрела второе дыхание: «Мы называем это второй квантовой революцией, — рассказывает руководитель центра. — Открыты новые материалы, имеющие удивительные свойства, открыты новые классы симметрии. Квантовые материалы таковы, что их свойства совершенно не описываются классической физикой. Раньше мы знали, что есть изоляторы, есть металлы. А теперь появились материалы таких типов, которых раньше не было. Это топологические изоляторы, дираковские полуметаллы. Как раз-таки Нобелевская премия была присуждена выпускникам физтеха Гейму и Новосёлову за дираковский полуметалл — графен. Да и топологические изоляторы еще ждут своей премии. А здесь, в лабораториях, мы сами творим такой материал, какой хотим, с желаемым спектром электронов, а затем собираем атомно-послойно гетероструктуры: из монослоев, из чешуек делаем такие структуры, которые в природе сами по себе не вырастают».



Студент МФТИ Евгений Гузовский настраивает сканирующий туннельный микроскоп

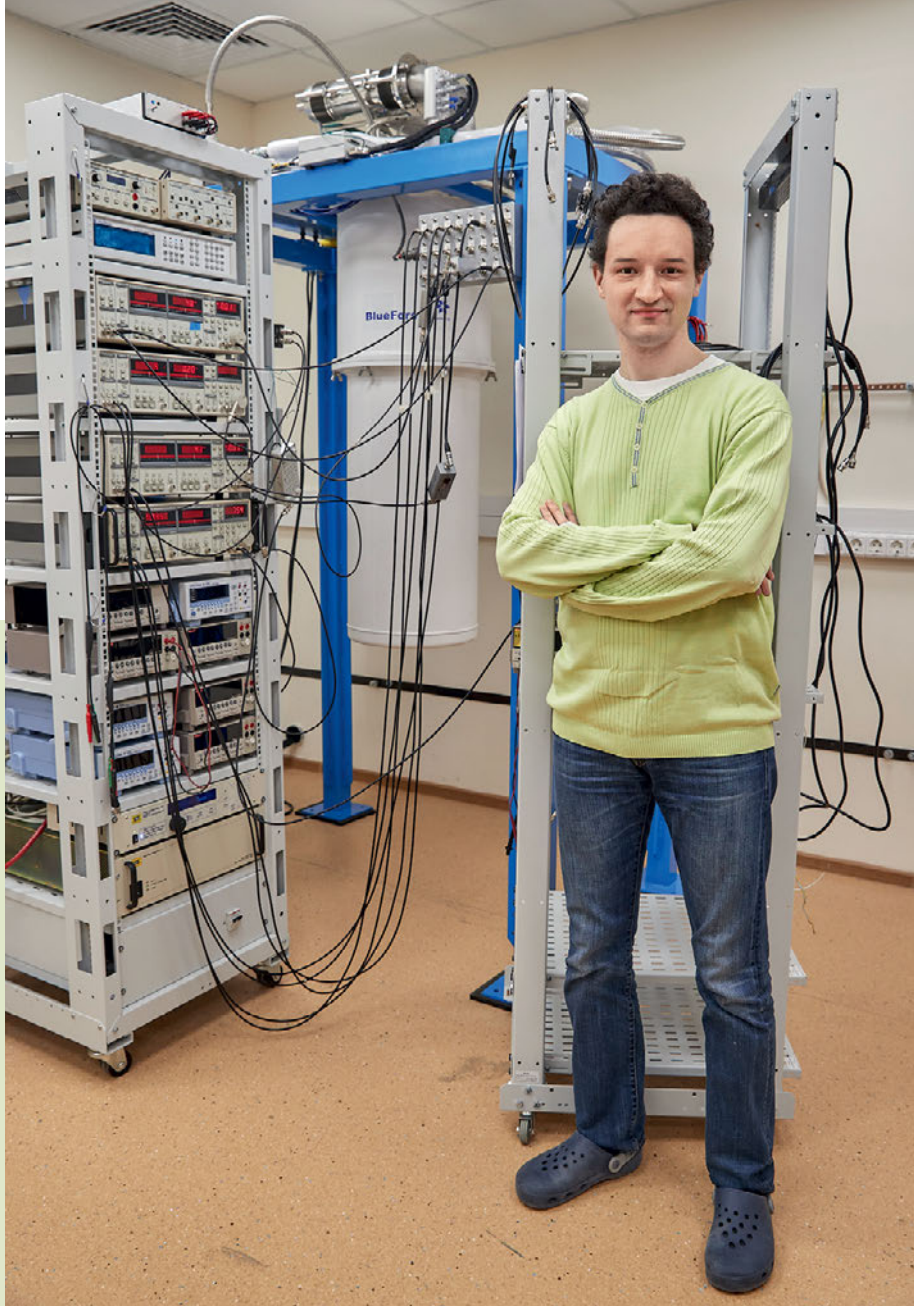


Установка для фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) используется для определения энергетического спектра электронов в материале. Это последняя, наивысшая ступень характеристики новых материалов

«ХРУПКИЕ» ТЕХНОЛОГИИ

Квантовые материалы невозможно «конструировать» в привычных для повседневной жизни условиях, равно как невозможно изучать в таких условиях сверхпроводимость, которая является главным направлением исследований в центре. Поэтому в лабораториях, где создаются наноструктуры, речь неизбежно заходит о таком понятии, как классы чистоты: «По международной классификации чистоты помещений, самый высокий уровень из тех, что у нас есть, — это 5, — делится Владимир Моисеевич. — Надо, чтобы ни одна пылинка не попала на структуру во время изготовления, иначе все будет испорчено. В этих условиях оказывается возможным создавать искусственные структуры размерами до 2 нанометров, а также исследовать их свойства с субатомным разрешением. Операция изготовления столь малых объектов выполняется с помощью фокусированного пучка ионов, которым, как скальпелем, можно вырезать структуры не только двумерные, но и трехмерные. Для работы с таким оборудованием необходимы навыки в решении суперсложных инженерных задач. Каждая установка здесь практически не имеет аналогов, поэтому перед работой на такой установке необходимо пройти специальное обучение».

Сотрудники центра, освоившие работу на самом современном нанотехнологическом оборудовании, могут продолжить свое обучение и пройти стажировку в ведущих научных лабораториях Германии, Франции, Нидерландов, Англии — в дружественных лабораториях, с которыми ведутся совместные исследования.



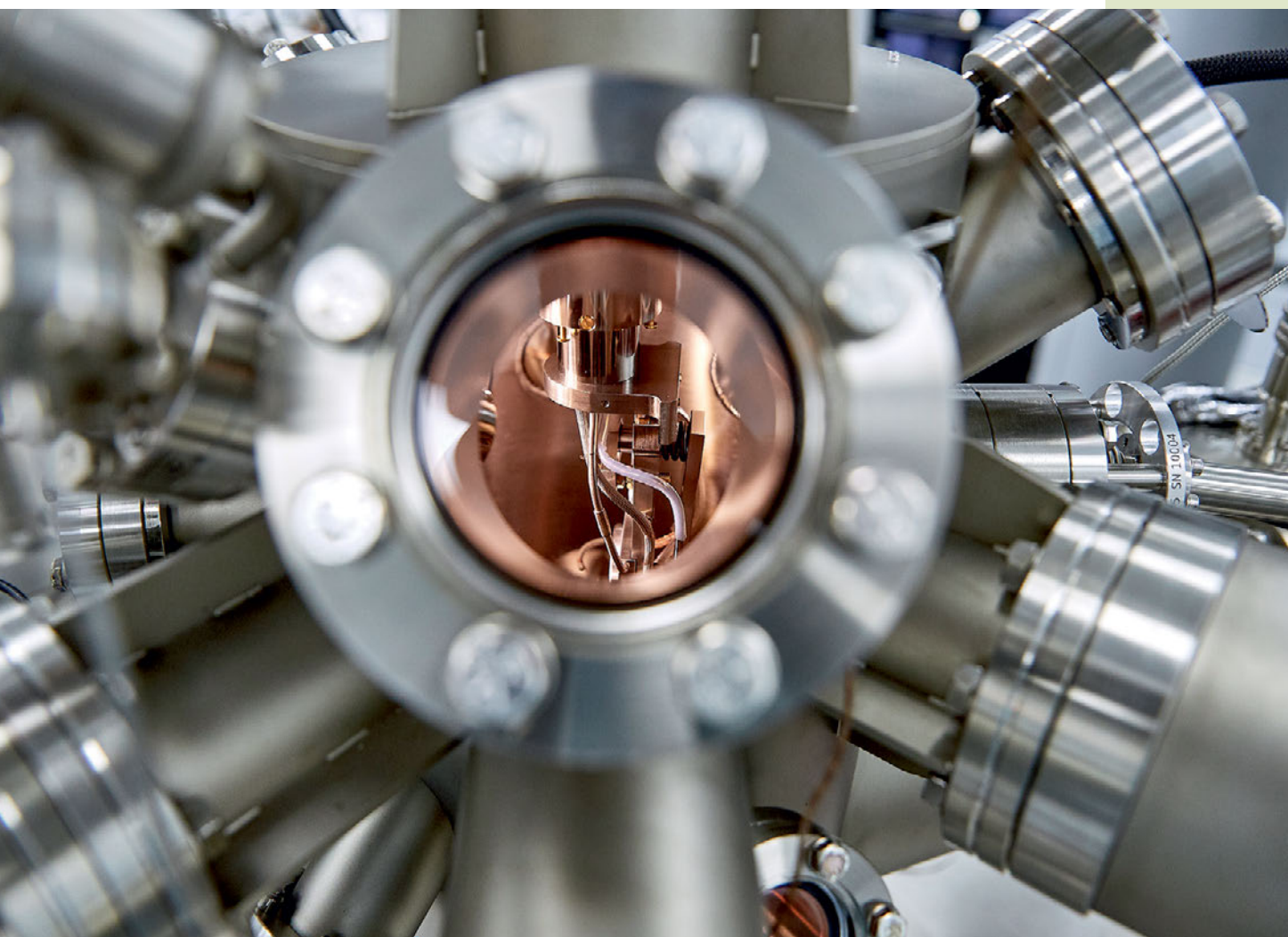
Леонид Моргун, младший научный сотрудник центра, выпускник МФТИ, рядом со своей установкой для измерений при сверхнизких температурах

НА НАНОМЕТРОВКЕ

Понимание уровня филигранности, требуемого для «общения» с квантовыми материалами, приходит в сравнении с ремеслом героя известного рассказа: Левша со своей блохой и крошечной (не такой уж крошечной в масштабах десятков нанометров) наковальней остался далеко позади. Да, теперь мы можем сделать детальную «зарисовку» структуры квантовых материалов не на привычной инженерам старой закалки миллиметровой бумаге, а на нанометровой. Однако в своем желании «дойти до самой сути» ученые, в частности исследователи центра, копнули еще глубже и теперь видят объекты размером в десятые и сотые доли нанометра в отличном разрешении.

«Здесь установки уникальны тем, что с их помощью можно анализировать локально, смотреть, что происходит в окрестности буквально одного атома, как устроено электронное состояние в материале, — поясняет Леонид Моргун, младший научный сотрудник центра. — Мы наблюдаем, как электронные волны интерферируют, какие при этом возникают особенности».

Это дает возможность изучать эффекты, возникающие в материалах, соединяющих свойства сверхпроводника и топологического изолятора. В них ученые могут наблюдать предсказываемые теорией новые квазичастицы, так называемые фермионы Майорана, которые безуспешно пытаются обнаружить в экспериментах на ускорителях.



НАУКОЕМКИЙ КОНСТРУКТОР

Как бы иронически это ни звучало, но на столь ничтожных межатомных расстояниях есть где развернуться масштабному творческому процессу. По словам Александра Кунцевича, старшего научного сотрудника ФИАН и выпускника МФТИ, слоистость многих веществ позволяет расщеплять эти материалы и собирать гетероструктуры: «класть в стопку» пласти по одному или по несколько атомарных слоев, обладающих различными свойствами, пытаясь «наиграть» новое качество. Данный принцип конструктора может быть использован для создания новых материалов, объединяющих различные свойства, например, полупроводника и сверхпроводника, только в данном случае вместо слоев применяются вкрапления различных веществ в основной проводник, который, кстати говоря, сам по себе должен быть неклассическим: «Двумерные классические системы делают из широкозонных полупроводников: арсенида галлия, кремния. Но постепенно мир сместился в сторону узкозонных материалов (их сейчас используем и мы), у которых ширина запрещенной зоны мала. Когда зоны находятся близко друг к другу, они начинают перемешиваться. И возникают удивительные зонные топологии, — рассказывает Александр Кунцевич. — Поскольку нашим полупроводникам нужно было дрейфовать в сверхпроводники, мы, как и весь мир, решили эти проводники залегировать. Так из узкозонных полупроводников получились топологические сверхпроводники».

Передача образца в сверхвысоком вакууме, как «эстафетной палочки» в сканирующем туннельном микроскопе центра

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПАРАДОКС

«Здесь присутствует установка, которую мы используем в основном для транспортных исследований сверхпроводников и топологически нетривиальных материалов, а также вейлевских и дираковских металлоидов. Это крайне современная физика. Например, в этом году у нас вышла статья в Physical Review B: была открыта сверхпроводимость в пленках топологически нетривиального вещества, арсенида кадмия, который сейчас активно исследуется, — делится Леонид Моргун. — Оказалось, что сверхпроводящий переход происходит при достаточно низких температурах порядка нескольких сотен милликельвинов. Вот такой парадокс: для того, чтобы исследовать высокотемпературную сверхпроводимость, нужно иногда спуститься в как можно более низкие температуры. Собственно, поэтому даже в центре высокотемпературной сверхпроводимости нужны и сверхнизкие температуры».



Электронно-ионный двухлучевой микроскоп. Инженер Бурхан Массалимов производит загрузку образца для его обработки с разрешением 2 нм фокусированным пучком ионов Ga

ЗАЧЕМ ИСКАТЬ СВЕРХПРОВОДНИК?

На сегодня глобальной целью своей работы сотрудники центра видят получение сверхпроводников с как можно более высокой температурой сверхпроводящего перехода. Но, к великому сожалению, никто до сих пор не знает, при каких обстоятельствах такой материал отыщется: где-то ученые просто перебирают вещества в надежде набрести на то, которое неожиданно начнет сверхпроводить. В центре же дорога к заветному сверхпроводнику вымощена не случайными «научными тыками», а полноценными фундаментальными исследованиями. Поэтому на пути к главной цели появляется ряд более мелких задач, которые также необходимо решить.

Почему именно сверхпроводимость находится сейчас под столь пристальным вниманием? С какими принципиальными трудностями она позволит бороться? На этот вопрос вновь отвечает руководитель центра Владимир Пудалов: «Весь мир глобально идет к исчерпанию ресурсов, поэтому очень серьезно нужно думать об экономии электроэнергии. Наша энергия добывается в Сибири, а потребляется здесь. Использование линий электропередач при таких больших расстояниях предполагает колоссальные потери электроэнергии на джоулево тепло. Сверхпроводимость, в принципе, может свести эти потери к нулю. Однако пока сверхпроводящие кабели слишком дороги и, кроме того, требуют на всем своем протяжении охлаждения до достаточно низких температур. Наша же задача — сделать эти системы доступными. Одно из решений данной задачи – создание материалов, сверхпроводящих при комнатной температуре. Успехи и достижения последних лет обнадеживают!». **зн**



Наука — это спорт

Выпускник МФТИ Николай Колачевский — директор Физического института Академии наук имени П. Н. Лебедева, член-корреспондент РАН и потомственный физтех. Мы встретились в стенах рабочего кабинета на втором этаже ФИАНа, где, к слову, в разные годы трудились Сергей Вавилов (он же и обставил кабинет), Николай Басов и Леонид Келдыш. В такой академической атмосфере Николай поделился воспоминаниями об учебе на Физтехе, рассказал, почему не уехал за границу в девяностые и в чем заключаются главные составляющие успеха в науке.

✍ Анна Дзарахохова

Основное впечатление от учебы на Физтехе — было все время некогда. То есть некогда вообще жить. Могу сказать, что с нашим деканом Фёдором Фёдоровичем Каменцом я познакомился на вручении дипломов. Как говорил Фёдор Фёдорович: «Если ты отличник, ты деканату неинтересен! Иди, занимайся своими делами и учись».

Без экзаменов я мог поступить на факультет физико-химической биологии, тогда это называлось ФФХБ. Они придумали такую смешную олимпиаду, почти без вводных, только там надо было ответить на вопросы, причем обоснованно, — до какой массы может дорасти рыба, питающаяся на мелководье? Или, например: «Мож-

но ли умереть от удара грома?», «Сколько весит комар, если он пищит на частоте 1 кГц?». Такую олимпиаду больше нигде никогда не встречал. Тем не менее, я решил, что правильнее идти на ФОПФ.

Почему, кстати, очень активно студенты идут в лаборатории внутри Физтеха? Одна из причин — социальная: потому что при этом они не вылетают из обоймы научно-социальной жизни.

Был соблазн уехать за границу. Но каждый раз не доходил я до этого рубежа, когда хотелось уж совсем сорваться и уехать. Много чего интересного было и есть и у нас в России, если уметь получать от этого удовольствие. Сейчас я, признаться, очень рад, что никуда не подорвался — и не только после Физтеха. Здесь, в Москве особенно, почти каждые полгода такие изменения! Там дом построят, тут какое-то новое культурное мероприятие, здесь какой-нибудь «Сколтех», тут — квантовый центр. Что-то все время происходит. А в какой-нибудь Германии ничего такого нет! Там все по полочкам, причем уже лет эдак 50.

Наука — это спорт! Если техническую часть науки отбросить, и только игры разума брать, то это действительно глобальный мировой спорт. Кто умнее? Кто что-нибудь придумает? Кто что-то изобретет? Здесь случайностей не то, чтобы меньше, чем в бизнесе или административной работе, — они менее регулируемые.

Очень часто должно повезти, чтобы в науке продвинуться. Тема должна быть удачной, или ты попасть должен на какое-то новое направление. Или ты начинаешь работать с какими-нибудь образцами, которые никому сегодня не интересны, а потом вдруг становятся. И предсказать нельзя. Нобелевских лауреатов, например, часто спрашивают: «Где вы ждете прорыва?» Ответ на это резко негативный, потому что предсказать, где будет прорыв, невозможно. Нет такой предсказательной силы в науке.

Мне очень интересны работы по синтезу сложных ядер в Дубне. За эти исследования вполне могли бы дать Нобелевскую премию.

Была надежда яркая, что быстро дадут нобелевку за аттосекундные импульсы. Это как раз из моей области. Сейчас мы живем в мире фемтосекундных технологий и лазеров. Фемтосекундными лазерами уже сорняки полют за океаном. Без шуток! В случае с аттосекундами мы уходим из длительности импульса 10^{-15} с в 10^{-18} с. Там уже можно фактически проследить, как меняется волновая электронная функция атомов, потому что это характерное время.

Успеха можно достичь только если ты очень плотно занимаешься тем вопросом, который тебе действительно нравится. Ты работаешь не потому, что ты деньги зарабатываешь, или потому, что ты думаешь, что это хорошая карьерная лестница — а потому, что ты в азарте в этом направлении.

Есть проблема на Физтехе, как и во многих других вузах — ребята приезжают со всей страны, а общаться, кроме как с горизонтальной структурой, не с кем. Возникает такое «общажное» братство — оно, в том числе, идеологическое. Взгляд на мир получается довольно однобокий. Я не могу сказать, что он плохой или хороший. Он однобокий. А с кем поговорить? На базовых кафедрах, в базовых организациях. Надо искать места, где научный руководитель или аспиранты с тобой разговаривать будут. Потому что иначе может возникнуть полная потеря ориентиров в пространстве.

Студенты МФТИ, если говорить уже как научному руководителю, мне всегда ужасно нравились. Они очень разные и очень хорошие. Когда говорят про деградацию уровня, я этого почти не чувствую, если работать с физтехами.

Физтех не выращивает банкиров. Это мы должны понимать. Был период, и он к моему времени относился, когда люди с техническим образованием очень ценились в финансово-экономической среде. Сейчас есть два момента: во-первых, есть свои люди грамотные в этой сфере. Во-вторых, их просто столько не надо.

Для современного топового уровня в науке PhD надо иметь. Вот надо! И тогда, если тебя поддерживает семья, — в общем-то, успех почти гарантирован.

Если бы у меня были дополнительные пять часов в сутках, то я бы их копил и иногда отдыхал. Я очень люблю путешествовать, но в последнее время у меня на это нет ни времени, ни сил. Поэтому я бы взял под мышку свою дочку и поехал бы отдыхать.

Карьера ученого радикальна, поэтому я желаю студентам Физтеха, чтобы они нашли себе пару в будущем, которая их будет всячески поддерживать. Это очень важно. Второе пожелание, которое скорее тоже к личному относится, — детей родить в России. Я человек в хорошем смысле патриотичный. Мне наша страна очень нравится. **✎**

Интервью с Николаем Колачевским читайте на сайте zanauku.mipt.ru.

«Ключевой точкой было открытие графена»

✍ Анна Дзарахохова

Каждое такое биографическое интервью — как небольшое, но очень насыщенное путешествие. Сегодня мы пройдем путь из Долгопрудного в Швейцарию, где теперь живет и работает выпускник МФТИ Алексей Кузьменко, старший преподаватель и научный сотрудник лаборатории оптики и роста кристаллов Университета Женевы.



— Когда вы поняли, что физика — это ваше?

— Я стал интересоваться физикой с 6-го или 7-го класса. Сразу она меня очень сильно зацепила, наверное, отчасти потому, что я вырос в технической семье: у меня мама химик, папа физик, учился на Физтехе, на факультете химической физики. Мне было интересно в олимпиадах участвовать, при этом я не стремился занять какие-то высокие места. Потом узнал, что есть ЗФТШ, и учился там.

— Папа настаивал на том, чтобы вы пошли на Физтех? Почему не мехмат МГУ, например?

— Он не настаивал. Я бы мог пойти в МГУ, это было бы даже проще, потому что мы жили рядом с метро «Юго-Западная». Помог случай. Когда я поехал сдавать документы после школы, у меня был выбор в голове, МГУ или Физтех. Я сел в метро на «Юго-Западной»: «Еще есть две остановки подумать». Уже двери открылись на «Университете», я стою, потом пришло в голову: «Физтех лучше», — и поехал дальше до «Новослободской». Был шанс пойти в МГУ, но получилось, что пошел в МФТИ, и несколько об этом не жалел. Стиль Физтеха мне очень нравится, подход преподавателей, уровень студентов — все соответствовало моим запросам.

— На какой факультет вы поступили?

— Первые два курса я учился на факультете проблем физики и энергетики, в группе, которая занималась вычислительной математикой. Базой ее был отдел вычислительной математики при академии наук, директор — Гурий Иванович Марчук, очень известный человек в вычислительной математике. Позже решил перейти на факультет общей и прикладной физики. Серьезный шаг, потому что это совершенно другое направление: физика низких температур, физика твердого тела, квантовая физика. После вычислительной математики — шок. Мне пришлось переучиваться, менять стиль обучения, отношение к физике изменилось. Пришлось много учиться. В какой-то момент меня это увлекло, и потом я уже стал физиком. Вычислительная математика и программирование все равно всегда оставались для меня чем-то очень важным и помогали в работе.

— Почему вы решили сменить факультет?

— Оказались хорошие знакомые на кафедре, которые прорекламировали это направление. Были люди, которые убедили, что было бы хорошо заниматься физикой, которая ближе к реальной жизни, чем чистая или даже прикладная математика.

Базовая кафедра была в Институте физических проблем им. Капицы. Там очень хорошая атмосфера для занятия любимой темой по физике, потому что политика этого института такая: человек занимается физической проблемой, которую он понимает и знает, как двигаться вперед. Нет направляющего движения и требований, чтобы все занимались одной темой, которая важна для народного хозяйства. Это пошло еще от Петра Капицы, поэтому он и назвал институт Институтом физических проблем. Моим научным руководителем был профессор Эдуард Афанасьевич Тищенко, который, кстати, был учеником Капицы.

Я поступил на Физтех в 1988 году — в не самое простое время. В 1990 году перешел на другой факультет, в 1994 году сделал свой диплом в Институте физических проблем, там же окончил аспирантуру в 2000 году. Довольно много времени ушло, сейчас так много не учатся, но время было немного другое: требовалось еще на стороне работать, кормить семью. И в этом навыки программирования помогли: работал в коммерческой организации, которая занималась оптовой торговлей. Ничего общего с физикой, но это тоже был неплохой жизненный урок.

Потом я решил, что было бы неплохо провести какое-то время в зарубежной лаборатории. Работал в Гронингене (Нидерланды) в группе профессора Дирка ван дер Марела, где тоже научился многому, что помогло с диссертацией. Со всем этим в 2000 году мне удалось защититься. Тема у меня была «Отражательная инфракрасная спектроскопия монооксидов меди и висмута».

— Расскажите про ваш путь в Женеву.

— В Женеве я оказался довольно просто. Я поехал туда, когда мой руководитель в Гронингене переехал в Женеву. У меня не было четкого понимания, что делать дальше, он предложил переехать вместе, чтобы там поднимать лабораторию, и я согласился. Какое-то время мы с моим тогдашним руководителем занимались в одной группе похожими вещами. Потом я стал там больше преподавать, получил позицию старшего преподавателя-исследователя. В какой-то момент ключевой точкой, которая сильно повлияла на мои дальнейшие исследования, было открытие графена. На меня это произвело огромное впечатление.

Вычислительная математика и программирование все равно всегда оставались для меня чем-то очень важным и помогали в работе



У входа в ИФП РАН им. П. Л. Капицы (1997). Верхний ряд, слева направо: Ю. М. Ципенюк, Л. А. Прозорова. В. С. Эдельман, Г. Д. Богомолов, А. Б. Кузьменко

— Статья 2004 года или Нобелевская премия?

— Статья 2004 года. В какой-то момент я понял, что нужно создавать независимое направление деятельности, и стал активно продвигать направление двумерных материалов, которое было основано на графене, написал заявку на грант в швейцарский научный фонд и, к своему удивлению, грант получил. Это дало мне возможность купить оборудование, взять аспирантов, и с этого момента началось формирование моей собственной подгруппы.

— Вы знали, что графен открыли физтехи?

— Нет. Слышал краем уха, что гениальное изобретение произошло, но тогда это мало кто оценил, наверное. Я сначала не придавал этому особого значения, а в 2006 году мне это стало интересно после разговора с теоретиками. Теоретики написали, что у графена должны быть особые оптические свойства. Я как оптик заинтересовался, почитал, что-то даже посчитал. Мне стало интересно, решил тоже что-то измерить. Мы начали проводить измерения на графите — у нас не было графена. И даже на графите — толстом графене — нашлись интересные свойства, например, универсальная оптическая проводимость. Я решил, что это необычно и уникально, мы написали статью.

Андрей Гейм был в Женеве с коллоквиумом, мы с ним это обсуждали, было очень интересно. В это время они делали свои оптические измерения. Меня это сильно зацепило, мы начали взаимодействовать с ними, потом они даже прислали нам свои образцы. Это было еще до Нобелевской премии — 2008 или 2009 год. Они еще не были так знамениты всемирно. Образцы лично сделал Костя Новосёлов, сказал: «Я сам тебе спаяю». Он был одним из немногих, кто умел делать образцы. Даже сам привез их в Женеву. Мы вместе установили их в криостате и после этого начали мерить. Это был двухслойный графен, потому что однослойный был достаточно хорошо уже изучен, а у двухслойного немного другие свойства.

В 2019 году у нас с Андреем Геймом вышла статья на образцах графена совершенно нового уровня, это инкапсулированные образцы на нитриде бора. Связь с этой группой никогда не прекращалась. Для меня это очень важно.





Образцы лично сделал Костя Новосёлов, сказал: «Я сам тебе спаяю»

На инаугурации лаборатории криогенной нанооптики Университета Женевы, Швейцария (2018). Слева направо: Жан-Марк Трисконе (Jean-Marc Triscone, проректор университета), Кристоф Реннер (Christoph Renner), Дирк ван дер Марел (Dirk van der Marel), Алексей Кузьменко

→ — Помогает то, что вы один вуз окончили?

— Очень помогает. Когда мы стали общаться с Костей, у нас было абсолютное взаимопонимание и по физике, и по стилю того, как надо делать эксперименты, что важно, что нет. Мы понимали друг друга с полуслова. Это было очень приятно.

— Вы уехали из России только по случаю, не потому что все было плохо?

— Уехал потому, что устал бороться за выживание. Было непонятно, как можно продолжать заниматься активно физикой в такой ситуации. Я знаю, что многие люди остались, занимаются хорошей наукой, но мне было трудно объяснить своей семье, почему мы вынуждены очень сильно себя ограничивать. Другое соображение — приборная база устаревала, а мне хотелось иметь возможность пользоваться последними достижениями техники. Мне всегда приятно общаться с русскими учеными, сотрудничать с ними. Я стараюсь поддерживать моральную связь.

— Расскажите о своей текущей работе. На какой позиции работаете?

— Моя должность — старший преподаватель-исследователь. Состою в группе «Квантовые материалы». Там представлены два больших направления: рост кристаллов и оптическая инфракрасная спектроскопия. Оптическая спектроскопия состоит из измерений более или менее стандартными оптическими методами и ближнепольной спектроскопии. Приборы измеряют с помощью эффекта ближнего поля, когда источник находится в непосредственной близости от образца. Они очень сильно отличаются.

Моя подгруппа занимается ближнепольной спектроскопией. Это новое и интересное направление. Мы начали это делать сравнительно недавно, и я собираюсь этим заниматься значительное время. Думаю, что группа будет расширяться по темам. Мы будем заниматься разными направлениями: сверхпроводимостью, сильно

коррелированными электронными системами, переходом металла в диэлектрик, плазмоникой, двумерными материалами, топологическими системами.

— Как вам местные студенты?

— Я веду курс лабораторных работ уже довольно долго. Лабораторные работы рассчитаны на студентов-физиков второго курса. Там представлено множество разных тем по общей физике: оптика, электродинамика, термодинамика, физика твердого тела. Мне нравится, что там много-много разных экспериментов, и у каждого студента есть возможность самостоятельно сделать работу. Объем работы такой, что студент проводит, по крайней мере, два полных рабочих дня за лабораторной. За это время он успевает многому научиться и почувствовать себя в шкуре экспериментатора.

— Это не две пары лабораторных на Физтехе.

— Да. Студенты пишут отчеты, как небольшую научную статью: с введением, основной частью, описанием экспериментальной установки, немного теории, описание собственно эксперимента и результата с выводами. Это делается, чтобы люди, когда придут в настоящие лаборатории и им придется писать статьи и отчеты, не хватались за голову, а вспомнили свои навыки. Им будет проще. Это сильно отличается от того, что у нас было на Физтехе, когда нам надо было просто построить график, получить значения и поговорить с преподавателем.

Еще интересная особенность: мы предлагаем рассказать о своих результатах на студенческой конференции. У нас есть специальный обучающий курс, где мы рассказываем студентам, как делать научные презентации, используя лабораторные работы в качестве материала. Каждый готовит свою лабораторную работу, представляет перед другими, все это обсуждают. Это получается естественнее, чем когда устраиваются специальные презентации и каждый выбирает тему с потолка.

— Это очень круто. Презентации — ваша идея?

— Я это ввел не помню, в каком году, когда стало понятно, что презентация — очень важная часть научной работы, и что дать правильную хорошую презентацию, может быть, так же важно, как и написать статью. Мы решили, что стоит дать студентам это не как отдельный абстрактный курс, а как что-то прикрепленное к реальной работе.

— Чем современные студенты отличаются от вашего поколения? Тяжело с ними находить общий язык?

— Способности к обучению и желание учиться остались прежними — изменились ситуация и среда. Студенты стали намного практичнее и больше думающими о своей карьере, что я могу только приветствовать. Уже стало меньше альтруизма, романтики. Прежде чем взять тему, люди намного больше думают, насколько хорошо это удастся представить, сколько человек это прочтут. По нашим представлениям, может быть, некоторые студенты стали слишком меркантильными, но это правильно. Стоит заниматься тем, что, с одной стороны, фундаментально важно и приносит удовлетворение тебе самому, но, с другой стороны, что можно потом представлять на конференциях, о чем писать в статьях, что позволит сделать научную карьеру, не побоюсь этого слова. Карьера — это важно. Человек, который почувствовал, что его положение стабильно, может позволить себе заниматься чем-то, что интересно больше ему.

— Получается, современные студенты более осознанные?

— Они больше готовятся к жизни, и это правильно. В Швейцарии при поступлении будущие студенты пытаются понять, что будут делать после учебы, куда смогут пойти работать. Они осознают, что 10% или чуть больше студентов, которые получают докторскую степень, смогут получить постоянную позицию в Швейцарии. Это очень низкая цифра, и многие себе говорят: «Я не пойду в академическую науку. Я буду искать место в фирмах, в разработке». Или вообще резко меняют тему.

Здесь нет проблемы, что мало студентов защищают диссертации, есть проблема, что мест, которые соответствуют квалификации защитившихся, не так много. Поэтому некоторые вынуждены искать места, для которых они слишком образованны.

В Швейцарии людей хотят сподвигнуть заниматься предпринимательством. Одна из возможностей решить проблему малого количества постоянных позиций в науке — убедить ученых открывать свои фирмы, пытаться продавать свои идеи.

— Чего вы пожелаете нынешним физтехам?

— Оптимизма, конечно. Пожелаю в этом меняющемся мире быть самими собой, что очень непросто. Думать о будущем, осознавать, что надо подстраиваться под этот мир, но всегда оставлять что-то свое, иметь мечту и не унывать, если не сразу удастся ее реализовать, никогда не забывать о своей самой главной мечте и к ней идти. **ЭН**



Сотрудники лаборатории криогенной нанооптики Университета Женевы, Швейцария (2019). Слева направо: Алексей Кузьменко, Иван Ардиццоне (Ivan Ardizzone), Адриан Берше (Adrien Bercher), Ирис Крассе (Iris Crassee)

ТЕХНОЛОГИИ ВЗОШЛИ НА ПОДМОСТКИ

✍ Марина Тебенькова

В последнее время на театральных подмостках среди Орфеев, Юпитеров и Нарциссов все больше нашего брата. Да, теперь значимыми фигурами в драматических произведениях становятся и ученые. Замечательно то, что образ исследователей приятно эволюционирует: вместо безумных злобных гениев появляются более сложные, противоречивые, фактурные персонажи.

На самом же деле драматурги не только всерьез заинтересовались учеными, исследователями и разработчиками как любопытными героями для страниц своих пьес, но и вообще стали охотно пускать высокие технологии в свои писательские уголья. Теперь даже в нейронную сеть вдохнули жизнь и сделали полноценным персонажем.

«SIRI», ЦЕНТР ИМЕНИ МЕЙЕРХОЛЬДА

«Слова, слова, слова», — скептически заявил бы об этой постановке Шекспир, вооружившись репликой персонажа собственной пьесы. Однако сегодняшние театралы поспорят: «Это вовсе не пустая болтовня, это жанр такой, мамблкор!» — он и впрямь подразумевает обилие диалогов, от английского «tumble» — бормотать. Декораций нет, вершины любовного треугольника плюс Siri, пытающаяся помочь, — квадрат с собеседниками в его углах — вот и все, что есть на сцене.

Siri не психоаналитик по рождению и призванию, однако пытается быть рассудительной и искать выход из западни для этих троих. Так как она самообучающаяся система по распознаванию образов, постигшая все, что можно знать о людях, то задача оказывается для нее вполне подъемной. Далее она проникает в сосуды человека и там в виде структуры, сопоставимой по размерам с форменными элементами крови, занимается генной инженерией: восстанавливает поврежденные участки ДНК в телах взрослых. Система осознанно стремится к справедливому распределению биологических ресурсов в мире. Это наталкивает на определенные размышления: кто же в действительности помогает искренне, без задней мысли? Не настало ли время использовать ИИ как жилетку, в которую можно выплакаться, или же плечо, на которое можно опереться?

«ГАЛИЛЕО. ОПЕРА ДЛЯ СКРИПКИ И УЧЕНОГО», ЭЛЕКТРОТЕАТР СТАНИСЛАВСКИЙ

Несмотря на название, вместо общепринятых вокальных партий мы наблюдаем беседу с залом: мимо слушателя проходят вехи жизни Галилея. На сцене человек, для которого переживания реального существовавшего «лирического» героя — не пустой звук: итальянского физика играет Григорий Амосов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики МФТИ.

Исполнитель главной и единственной роли является также соавтором текста. Эмоции монологов задаются в первую очередь музыкой: неоакадемических

Американская
актриса
Джордан Фрай
в роли
системы Siri



композиторов, писавших для этого перформанса, в пять раз больше, чем актеров. Каждый из них работал с конкретными оттенками настроений, конкретными историями из жизни Галилея. И режиссер Борис Юхананов, и соавтор-исполнитель Амосов относятся к музыке как к могущественному сподвижнику режиссера. Последний так и вовсе на протяжении своей научной деятельности пытался описать звучание, оперируя математической статистикой, стохастическими методами. Здесь повествуется о столкновении галилеевского гелиоцентризма с теорией устройства мира в интерпретации церкви, о переживаниях и сомнениях эмпирика. Новое время, пожалуй, — тот самый период, когда наука и религия перестали жить в согласии.

«В СЕРДЦЕ ДЖУНГЛЕЙ», SEINENDAN (ТОКИО)

Театральная труппа «Seinendan» под руководством Ориза Хирата играет на сценах всего мира бок о бок с роботами. И у живых актеров, и у зрителей по мере развития проекта складывалось неоднозначное впечатление о постановках. С одной стороны, многие думали, они больше похожи на выставки для робототехников, нежели на художественные перформансы, другим, напротив, казалось, что это естественное направление в развитии театра, которое стоит воспринимать как должное.

В постановке «В сердце джунглей» всякий человек-актер задействован в роли ученого, а робот, как ни удивительно, — в роли карликового шимпанзе: группа исследователей приехала в глухие джунгли, чтобы изучать поведение человекообразных обезьян и ответить на вопрос о том, где пролегает когни-

Оркестр в красном литургическом церковном одеянии, лишь первая скрипка у пюпитра в белом. Позади всех — сам Галилей: вокруг него и за его спиной раскинулась та самая картина мира, которую он столь яростно отстаивал. Фото Андрея Безукладникова, © electrotheatre.ru

Спектакль «Три сестры. Андроид-версия», исполняемый «Seinendan» по мотивам пьесы Чехова. Андроид в роли младшей сестры Икуми выкатывается на сцену в кресле ее старшим братом, а за семейной зарисовкой наблюдает робот-дворецкий. Источник: kino-teatr.ru



тивная черта, за которую апробируемым путь заказан. Чем характеризуется та исключительная степень сознательности в системе мышления человека по сравнению с прочими (именно системами мышления, а не формами жизни, так как данный вопрос возникает и при взгляде на робоактеров)?

Репетиции и перерывы между ними были, по словам актеров труппы, не менее занимательными, чем сами спектакли. Людям приходилось изощряться, контролируя свою мимику и жестикуляцию при общении с роботами: ведь то, как мы воспринимаем одушевленный объект в значительной степени отличается от того, как мы воспринимаем кого-то (что-то?) из микросхем и пластика. Актерам нужно было в буквальном смысле разглядеть биение жизни в роботах. В истории труппы случались постановки, где роботы и антроиды должны были играть слуг, братьев и сестер. Тогда задача становилась куда менее тривиальной: лишь спустя некоторое время актеры старой закалки начинали говорить со своими высокотехнологичными коллегами уверенно, как друг с другом, без нервного ожидания ответов.

Механические актеры учатся. Учатся играть и чутких собеседников, и диких обезьян. Во время одной из репетиций спектакля «В сердце джунглей» маленькому роботу никак не удавались характерные движения горилл — стучать кулаками себе по груди. После трудового дня, когда обыкновенные актеры расходились по домам, инженер еще долго возился со своим подопечным. Судя по тому, что премьера состоялась, инженеру все удалось. **ЭН**

Что еще происходило в МФТИ, смотрите в нашем фоторепортаже.



❶ Сотрудникам МФТИ вручили почетные награды главы города Долгопрудного

❷ Церемония награждения почетным знаком «Звезда Физтеха». Фото @ashen.kruei



Сборная Казахстана прошла в МФТИ подготовку к Международной естественно-научной олимпиаде юниоров (IJSO) ➡



Выставка лабораторий в рамках 62-й научной конференции МФТИ ➡



Праздничный концерт в честь Дня рождения МФТИ. Фото @ashen.kruei ➡



❶ Открытый шахматный блиц-турнир в рамках VI конференции выпускников МФТИ. Фото Анны Родичевой

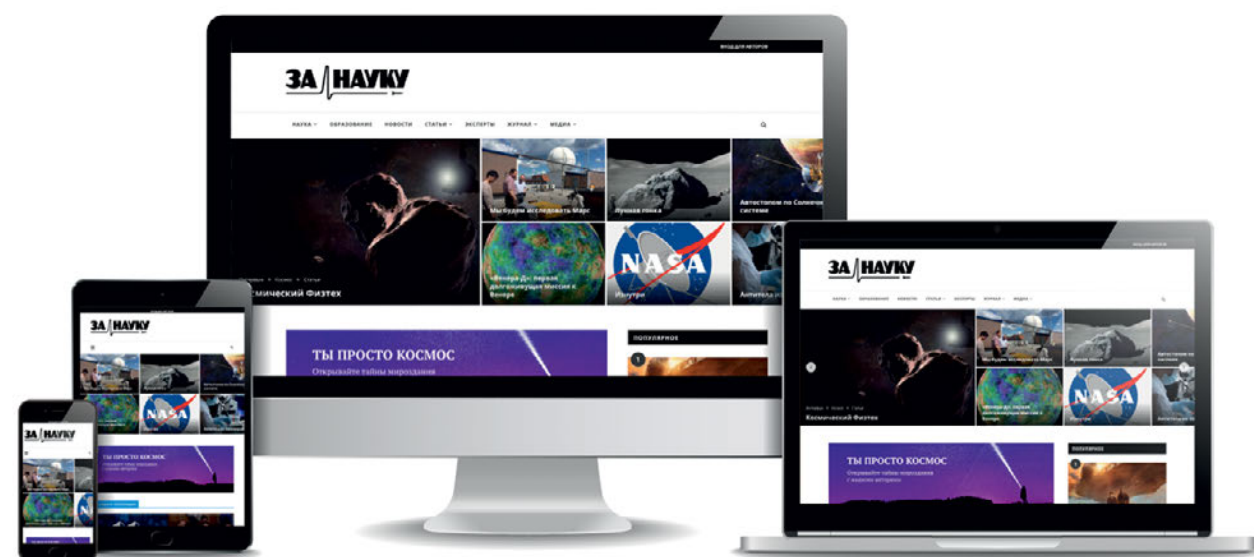


❶ Антинаучная конференция МФТИ в рамках осеннего развлекательного марафона «Физтехи шутят». Фото Дмитрия Новосёлова



❶ 20–21 ноября в стенах Физтеха прошла конференция «Инжиниринг & Телекоммуникации — EnT-2019»

**Читайте нас
из любой точки мира
онлайн**



znanauku.mipt.ru



больше материалов, больше форматов, больше экспертов

Сюда пришли люди, которым было приятнее быть друг с другом, чем порознь, которые терпеть не могли всякого рода воскресений, потому что в воскресенье им было скучно. Маги, Люди с большой буквы, и девизом их было — «Понедельник начинается в субботу»

Аркадий и Борис
Стругацкие