

ЗА НАУКУ

ВЫХОДИТ С 1958 ГОДА

SAPERE AUDE

ДИВНЫЙ
ДВУМЕРНЫЙ
МИР





От редакции

Вы когда-нибудь задумывались, что происходило в научном мире во времена открытий Эйнштейна, Рёнтгена, Резерфорда, Капицы? Специальная теория относительности, открытие строения атома, рентгеновское излучение — это лишь малая часть того, что подарили нам ученые начала XX столетия, но как много новых областей в науке, а затем и в технике благодаря им появилось.

И вот, когда стали поговаривать о том, что все главные открытия уже совершены, два наших соотечественника, выпускники Московского Физтеха Андрей Гейм и Константин Новосёлов представили в 2004 году первый двумерный материал — графен. За это спустя всего шесть лет ученые были удостоены Нобелевской премии по физике.

На первый взгляд людям, далеким от науки, может показаться, что в этом нет ничего особенного. Двумерный и двумерный. Все в школе учили планиметрию и строили на плоскости квадраты и треугольники. Но только представьте: на протяжении истории человечества весь мир использовал только трехмерные материалы. Теперь же есть и 2D-материалы, буквально совершившие революцию в науке и уже проникнувшие во многие ее разделы.

Добро пожаловать в дивный двумерный мир.

Содержание

6

№4 (1955) 2018 год

Главный редактор
Анна Дзарахохова

Приглашенный редактор
Алексей Арсенин

Научный редактор
Татьяна Небольсина

Дизайн и верстка
Эмма Бурляева,
Елена Хавина,
Любовь Ярошинская

Фотограф
Евгений Пелевин

Корреспонденты
Николай Горькавый,
Екатерина Жданова,
Изабелла Затицкая,
Ильяна Золотарева,
Максим Казарновский,
Мария Комарова,
Тимофей Кочкар,
Ася Макарова,
Вячеслав Мещеринов,
Николай Посунько,
Виктория Стельмах,
Алексей Тимошенко,
Олег Фея,
Елена Хавина,
Алина Чернова,
Константин Шевченко

Корректор
Юлия Болдырева

Цветокоррекция и пре-пресс
Максим Куперман

На обложке:
Сэр Андрей Гейм, лауреат
Нобелевской премии
по физике 2010 года
Фото: Mark Epstein,
The University of Manchester

НОВОСТИ 4

Новости науки 4
Новости вуза 6
МФТИ в СМИ 8

КРУПНЫМ ПЛАНOM 10

Нейрогарнитура Neuroplay

ОБРАЗОВАНИЕ 12
Изменения в университетах
Европы

ОТКРЫТО 14
Биотехнологии 14
На заре нанобиороботов

Фундаментальная наука 16
Новые соединения урана

Фундаментальная наука 17
Топологический
3D-сверхпроводник

Биология 18
Белок FZD4 расшифровали

Квантовые технологии 19
Телепортация светом

Геофизика 20
Шепот Земли

Квантовые технологии 21
Магнитометр
на обученных кубитах

ГЛАВНОЕ 22
Дивный двумерный мир

Революция в плоскости 24
Как графен меняет мир

Физтех.2D 30
Что исследуют
в лабораториях МФТИ

10

14

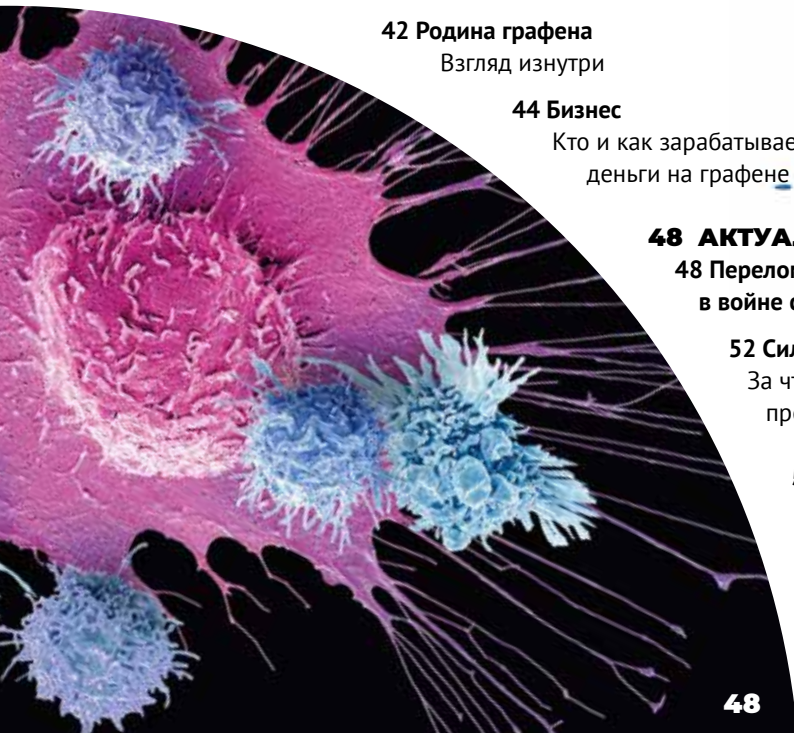
Нанотрубки 31

Графен.Био 32

Графеновая фотоника 34

Графеновому центру
на Физтехе быть? 37

«Чтобы благополучно выживать в науке,
нужно очень быстро бежать» 38
Интервью с Андреем Геймом



42 Родина графена
Взгляд изнутри

44 Бизнес
Кто и как зарабатывает
деньги на графене

48 АКТУАЛЬНО
48 Переломный момент
в войне с раком

52 Сила света
За что дали Нобелевскую
премию по физике

56 ИТОГИ ГОДА
ТОП-5 научных статей
ученых МФТИ

58 МНЕНИЕ
Вселенная как феникс

**62 СВОИМИ
ГЛАЗАМИ**
Осаждая атомы
Чем занимаются
в лаборатории атомно-
слоевого осаждения

68 BACKGROUND
«Сложности мотивируют»
Алексей Кобец, старший
вице-президент
по разработке ПО
компании Virtuozzo

70 ИНТЕРВЬЮ
Физтех в АПЛ
Рассказывает data-scientist
в «Арсенале» Михаил Жилкин

74 КАРЬЕРА УЧЕНОГО
Краткий FAQ по научным конференциям

76 НАУЧНЫЕ РАЗОБЛАЧЕНИЯ
Сигнал в небеса

78 РАЗБОР ПОЛЕТОВ
Первый человек

80 ФОТОХРОНИКА



21

Ректор МФТИ
Николай Кудрявцев

**Проректор по научной
работе и программам
развития**
Виталий Баган

**Начальник пресс-службы
МФТИ**
Алёна Гупайсова

Экспертный совет
Денис Бандурин,
Валентин Волков,
Борис Горшунов,
Елена Жукова,
Михаил Кацнельсон,
Андрей Москаленко,
Виктор Рыжий,
Дмитрий Свинцов,
Юрий Стебунов

e-mail и сайт журнала:
zn@phystech.edu
zanauku.mipt.ru

Подписано в печать
03.12.2018
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.

Опечатки в №3 (1954):
на стр. 22 вместо
4 сентября должно
быть 4 октября;
на стр. 25 вместо
14 января 2015 года –
14 января 2005 года.



Эталон килограмма, Japs 88/Wikimedia Commons

ПОХОРОНЫ ЭТАЛОНА

Участники 26-й Генеральной конференции по мерам и весам в Версале решили отказаться от материального эталона килограмма. Теперь масса килограмма будет определяться через постоянную Планка. Ранее эталоном килограмма был металлический цилиндр, на 90% состоящий из платины и на 10% — из иридия. Нынешний эталон был изготовлен в 1899 году и хранился под вакуумным колпаком в Палате мер и весов в Севре (Франция). Примерно каждые 40 лет его использовали для калибровки копий эталона, которые хранятся в других странах. Наряду с метром, ампером, секундой, кельвином, моле и канделой килограмм — одна из семи основных единиц международной системы единиц (СИ). Изменения войдут в силу с 20 мая 2019 года. Сейчас для измерения постоянной Планка метрологи используют так называемые весы Киббла (также прибор называют балансом Киббла). Они определяют, какой ток нужен для того, чтобы создать электромагнитное поле, способное уравновесить чашу с образцом.

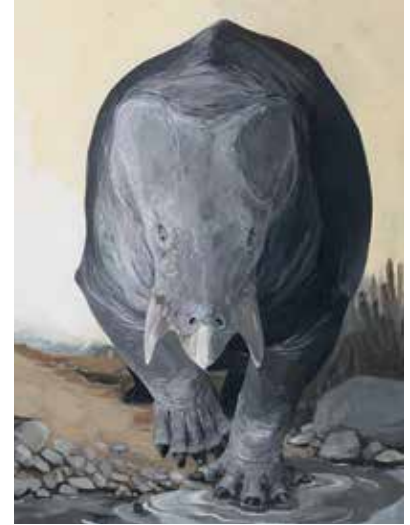
ПРЕДОК РАЗМЕРОМ СО СЛОНА

Палеонтологи нашли на территории Польши необычные останки дицинодонта, древнейшего «прямого» предка людей и всех других млекопитающих, указавшие на то, что эти животные не уступали по размерам слонам и динозаврам. Описание окаменелости было представлено в журнале Science.

Первые млекопитающие появились на нашей планете примерно 220–225 миллионов лет назад, ближе к концу триасового периода, одновременно с первыми примитивными динозаврами. После своего появления древние теплокровные животные очень быстро распространились по всей Земле.

Длина найденных останков составляет примерно 4,5 метра, высота — 2,6 метра, а масса животного приближалась к девяти тоннам. Этот гигант был, скорее всего, травоядным существом почти в два раза больше, чем

любой другой звероящер или родич млекопитающих, и не уступал по размерам африканским слонам. Ученые назвали его «лисовицией Боянуса» в честь деревни, где были найдены останки этого гиганта, а также Людвиг Боянуса, немецкого зоолога и члена Петербургской академии наук.



© Karolina Suchan-Okuliska

20 лет Международной космической станции

20 ноября 1998 года на орбиту был выведен первый элемент МКС — функционально-грузовой блок «Заря».



Архипелаг Новая Земля

Источник: pika.by.ru

ДРЕВНИЕ КОНТИНЕНТЫ

Ученые Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН доказали существование Арктиды — континента,

который предположительно существовал на Земле в далеком прошлом, там, где сейчас находятся арктические архипелаги, в числе которых Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, Северная Земля и Новосибирские острова. Около 750 миллионов лет назад он полностью распался. Второй раз Арктида была сформирована около 250 миллионов лет назад и вошла в состав нового суперконтинента — Пангеи. Уже после его распада, во время образования Северного Ледовитого океана, фрагменты второй Арктиды были вновь перераспределены,

сформировав арктический континентальный шельф.

В то же время международная группа геофизиков обнаружила подо льдами Антарктики следы древних континентов. Исследователи установили, что некоторые области Восточной Антарктиды связаны с древним суперконтинентом Гондваной, который включал в себя Африку, Индию, Австралию, а также Южную Америку. Гондвана образовалась в конце докембрийского периода (750–540 миллионов лет назад) и распалась примерно 180 миллионов лет назад.

«ИОННЫЙ» САМОЛЕТ

Ученые из MIT создали первый самолет, оснащенный «воздушными» ионными двигателями, и успешно испытали его в лаборатории. Дебютный полет машины продлился всего двенадцать секунд, говорится в статье, опубликованной в журнале Nature. Исследователи открыли методику ионизации воздуха, которая позволит повысить КПД работы подобных двигателей на несколько порядков уже в ближайшем будущем. Как обнаружили ученые, крыло особой формы, покрытое тонкой сеткой из электродов, может вызывать своеобразную «цепную реакцию» в воздухе, заставляя при-

сутствующие в нем свободные электроны сталкиваться с нейтральными молекулами и выбивать из них другие частицы, заполняя окружающее их пространство «супом» из множества ионов и незаряженных частиц. «Наша машина стала первым самолетом, который под-

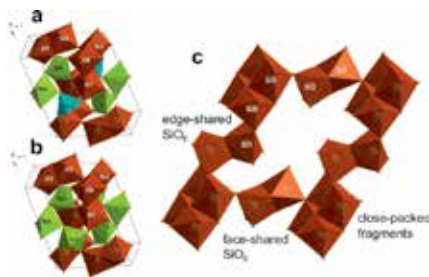
нялся в воздух при помощи двигателя без движущихся частей. Это открывает дорогу для создания полностью бесшумных летательных аппаратов, очень простых с механической точки зрения и при этом не выбрасывающих выхлопных газов», — заявил Стивен Барретт, профессор MIT.



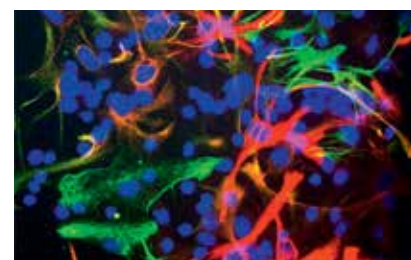
© MIT

ГРАНЬ К ГРАНИ

Российские ученые совместно с немецкими и шведскими коллегами совершили фундаментальное открытие в области кристаллохимии. Они обнаружили экспериментально



и объяснили теоретически новую форму вещества, существование которой раньше считалось невозможным. Ученые взяли кристалл коэсита (одна из форм оксида кремния SiO₂) и с помощью алмазных наковален подвергли давлению примерно 700 тыс. атмосфер. В результате в кристалле произошли четыре фазовых перехода. В двух новонайденных формах оксида кремния атомы кристаллической решетки — вопреки правилам Полинга — соединены друг с другом не вершинами или ребрами, а гранями.



Нейроны и глия

Источник: phosphosolutions

МИКРОФЛОРА В МОЗГЕ

Новое исследование предполагает, что человеческий мозг может содержать микроорганизмы, похожие на те, что населяют человеческий кишечник. Эксперты из Алабамского университета (США) изучили образцы мозга, взятые у 34 умерших людей. Выяснилось, что во всех образцах содержатся бактерии разных видов и в разных количествах. Населяли они в основном не сами нейроны, а астроциты — клетки нейроглии, поддерживающие работу нервных клеток. Последующие эксперименты показали, что это бактериальное явление не ограничивается человеческим мозгом: исследования с мышами также выявили признаки микробиома мозга у здоровых мышей. Если будущие исследования подтвердят данные, это открытие может стать таким же революционным, как открытие микробиома кишечника.

КРУПНЕЙШИЙ НЕЙРОМОРФНЫЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕР

2 ноября 2018 года запущен самый большой на данный момент в мире (миллион процессорных ядер) нейроморфный суперкомпьютер. Система, построенная на архитектуре импульсной нейронной сети, сокращенно SpiNNaker, способна выполнять более 200 миллионов операций в секунду. SpiNNaker спроектирован и построен в Школе информатики Манчестерского университета. Для осуществления проекта потребовалось 15 миллионов фунтов стерлингов, 20 лет разработок и более 10 лет для реализации системы «в железе». Результатом стала машина, способная моделировать работу максимально

возможного на данный момент количества биологических нейронов. Создатели компьютера в конечном итоге надеются смоделировать работу до миллиарда биологических нейронов в реальном времени. Один миллиард нейронов — 1% человеческого мозга, состоящего из чуть менее 100 миллиардов взаимосвязанных нейронов.



Нейроморфный суперкомпьютер в Школе информатики Университета Манчестера

АБСОЛЮТНЫЙ ЧЕМПИОН

В ноябре в Пекине (Китай) завершилась XII Международная олимпиада по астрономии и астрофизике (International Olympiad on Astronomy and Astrophysics — IOAA). Студент первого курса

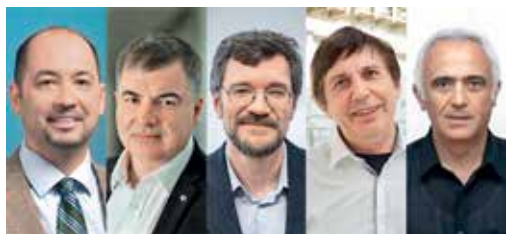


Станислав Цапаев на шоу «Вечерний Ургант»

Физтех-школы фундаментальной и прикладной физики Станислав Цапаев стал абсолютным чемпионом, показав лучший общий результат и лучший результат по теории. В составе российской сборной выступило еще двое студентов из МФТИ: Даниил Долгов завоевал золотую медаль, а Иван Старостин — серебряную. Всего сборная России получила четыре золота и одно серебро. В олимпиаде приняли участие команды из более чем 40 стран. Победитель определялся по результатам четырех туров: теоретического, практического, наблюдательного и командного.

САМЫЕ ЦИТИРУЕМЫЕ

Аналитическая компания Clarivate Analytics опубликовала рейтинг наиболее цитируемых ученых за 2018 год — Highly Cited Researchers (HCR). В него попали руководитель лаборатории структурной биологии рецепторов, сопряженных с G белком, МФТИ Вадим Черезов и преподаватель



На фото (слева направо): Александр Баландин, Константин Новосёлов, Вадим Черезов, Андрей Гейм и Сулейман Аллахвердиев

кафедры молекулярной и клеточной биологии ФБМФ Сулейман Аллахвердиев. Также в списке выпускники Физтеха Александр Баландин, Михаил Лукин, Андрей Гейм, Константин Новосёлов и Сергей Божевольный. Всего в рейтинге 4058 ученых в 21 области естественных и гуманитарных наук. Ежегодный список наиболее влиятельных ученых, который формируется на основе цитирований в базе данных Web of Science, компания публикует в пятый раз. Чтобы в него попасть, нужно находиться среди 1% исследователей, которых больше всего цитировали в их области за прошедший год.

ЛИДЕРЫ 5-100

В ноябре были подведены итоги оценки вузов Советом по повышению конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров (Международный совет Проекта 5-100). Физтех представил результаты своей «дорожной карты» и успешно защитил проекты на 2019 год. По итогам собрания МФТИ вошел в первую группу вузов-лидеров и получит максимальное финансирование наряду с еще шестью вузами: НИТУ «МИСиС», НГУ, НИУ ВШЭ, НИУ ИТМО, НИЯУ МИФИ и ТГУ. На заседании совета также стало известно о том, что оказание государственной поддержки российским университе-



там в целях повышения международной конкурентоспособности будет продолжено после 2020 года. Особое внимание в рамках нацпроекта планируется уделить развитию экспорта российского образования.



МФТИ В РЕЙТИНГАХ

Британский журнал Times Higher Education опубликовал рейтинг лучших университетов мира по естественным наукам. МФТИ сохранил свои позиции в топ-50 по физике, а также вошел в топ-250 по направлению life science и стал вторым российским вузом в этом списке. Ректор МФТИ Николай Кудрявцев прокомментировал: «МФТИ ежегодно подтверждает звание лидера российского естественнонаучного образования. Мы не останавливаемся на достигнутом и развиваем свои приоритетные направления — это искусственный интеллект, квантовые технологии, перспективные двумерные материалы, а также генетика и технологии старения. И сейчас мы видим международное признание высокого уровня образования Физтеха не только по физике, но и по направлению life science. Это результат комплексной работы по привлечению талантливой молодежи в науку, создания лабораторий для будущих наставников — ведущих ученых, а также укрепления сотрудничества с академией и высокотехнологическими компаниями».

МАТЕМАТИКА ДЛЯ ГУМАНИТАРИЕВ

Книга преподавателя МФТИ и сотрудника кафедры дискретной математики ФПМИ Алексея Савватеева «Математика для гуманитариев. Живые лекции» вошла в шорт-лист «Естественные и точные науки» российской премии «Просветитель» и выиграла народное голосование. За книгу проголосовали почти 15 тысяч человек из примерно двадцати тысяч, отдавших голос в этой категории. «Математика для гуманитариев. Живые лекции» — это текст лекций Алексея Савватеева, записанных в режиме реального времени, с догадками и комментариями слушателей. В книге нет последовательного введения математических понятий, лекции идут от простых логических конструкций к сложным построениям и по пути знакомят читателя с базовыми понятиями и языком современной математики.



ЗОЛОТАЯ БОЛГАРИЯ

Школьники — участники сборов по подготовке к Международной олимпиаде по информатике IOI на базе МФТИ стали победителями Международного турнира по информатике IATI в болгарском городе Шумене и привезли 11 золотых медалей. «Победа на соревновании в Болгарии — это проба пера для будущих побед. В этом году МФТИ передала ответственную миссию — подготовку школьников к Международной олимпиаде по информатике. И в результате в сентябре 2018 года с Международной олимпиады в Японии наши ребята привезли две золотые и две серебряные медали», — рассказал руководитель сборов, проректор по международным программам и технологическому предпринимательству МФТИ Алексей Малеев.



ПОБЕДЫ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕЖВУЗОВСКИЕ ОТКРЫТЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ VOLGASTF

Командный зачет: четвертое место.

Победители в номинации «Лучшая защита»: команда МФТИ Lights Out (Игорь Редько, Алексей Иванов, Никита Фирсов, Булавас Владас, Александр Иванов, Максим Кочуков).

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СБОРЫ ПО СПОРТИВНОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ HELLO BARCELONA IN COLLABORATION WITH MOSCOW WORKSHOPS ICSP

Первое место (дивизион А): Илья Степанов, Евгений Белых, Андрей Сергунин.

Второе место (дивизион А): Александр Голованов, Максим Мачула, Никита Уваров.

ГРАНТ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Лаборатория структурной биологии рецепторов, сопряженных с G-белком, МФТИ под руководством кандидата наук Алексея Мишина. Грант выдан на два года для поддержки биофизических исследований функциональной активности GPCR-рецепторов.

КОНКУРС ИННОВАЦИОННОЙ ЖУРНАЛИСТИКИ TECH IN MEDIA' 18

Трек «Науки о жизни» в номинации «Лучшая передача, телевизионный или радиосюжет»: первое место занял Михаил Ерохин с роликом «Физтех.Science #16 — За Био-Русь!».

КОНКУРС СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ РОССИЙСКОЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ SPE-2018

Номинация «Магистры»: победитель — Максим Елизарьев.

ЧЕТВЕРТЬФИНАЛ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО СПОРТИВНОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ ICSP

Второе место: Илья Степанов, Евгений Белых и Андрей Сергунин.

КУБКОВЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ ПО СПОРТИВНОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ НА ПРИЗ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЛИГИ СТУДЕНЧЕСКИХ КЛУБОВ (НЛСК)

Первое место и Кубок НЛСК: Александр Кульков, Михаил Мосягин, Юрий Семёнов.

Второе место: Максим Лаврик-Кармазин, Дмитрий Запольский, Дмитрий Судаков.

SCOPUS AWARDS RUSSIA

Евгений Хоров, заместитель заведующего межфакультетской кафедрой проблем передачи информации и анализа данных МФТИ, — в списке самых высокоцитируемых российских молодых ученых.

Сулейман Аллахвердиев, преподаватель кафедры молекулярной и клеточной биологии ФБМФ, — самый цитируемый ученый в категории life science.

XIX ОТКРЫТАЯ ВСЕСИБИРСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ ИМЕНИ И. В. ПОТТОСИНА

Первое место: Илья Степанов, Евгений Белых, Андрей Сергунин.

Третье место: Александр Голованов, Максим Мачула, Никита Уваров.

ВСЕРОССИЙСКАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА ПО МЕХАНИКЕ

Командный зачет — первое место (Василий Югов, Иван Ермаков, Андрей Уймин, Александр Смирнов).

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНКУРС ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ СВОЙСТВ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Второе место: доцент МФТИ Василий Писарев и аспирант ФЭФМ Николай Кондратюк.



**СОЗДАННОЕ В РОССИИ
«СЕРДЦЕ В ПРОБИРКЕ» ПОМОЖЕТ
В РАЗРАБОТКЕ ЛЕКАРСТВ**

Российские ученые в ходе исследования сумели вырастить особую культуру клеток сердца, которая позволяет эффективно тестировать

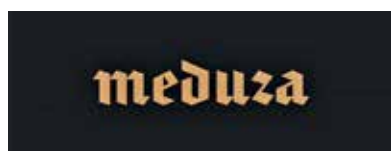
различные экспериментальные лекарственные средства. О работе специалистов из Московского физико-технического института и Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук сказано в статье, опубликованной в издании Toxicological Sciences.



**ФИЗИКИ ИЗ РОССИИ
ОСУЩЕСТВИЛИ
«РАЗНОРОДНУЮ»
КВАНТОВУЮ
ТЕЛЕПОРТАЦИЮ**

Ученые из МФТИ и Российского квантового центра выяснили, как можно заставить кубиты, элементарные ячейки квантового компьютера, обмениваться информацией посредством телепортации даже в том случае, если они построены на базе разных принципов работы. Их выводы были представлены в журнале Nature Communications, передает РИА Новости.

Подробнее читайте на стр. 19



**НОБЕЛЕВСКУЮ ПРЕМИЮ
ПО ХИМИИ ДАЛИ ЗА МЕТОДЫ
СОЗДАНИЯ НОВЫХ
ФЕРМЕНТОВ И АНТИТЕЛ.
КАК ЭТО РАБОТАЕТ И ГДЕ
ПРИМЕНЯЕТСЯ?**

Нобелевскую премию по химии в 2018 году присудили трем исследователям: Фрэнсис Арнольд, Джорджу Смиту и Грегори Уинтеру. Руководитель лаборатории геномной инженерии Московского физико-технического института Павел Волчков объясняет, что именно сделали эти ученые.

**ПОБЕДИТЕЛИ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО ФИЗИКЕ
В ЭФИРЕ «ВЕЧЕРНЕГО УРГАНТА»**



Студенты первого курса МФТИ, победители международной олимпиады по физике Вячеслав Кузнецов и Станислав Цапаев приняли участие в «Вечернем Урганте». Видео с физтехами стало невероятно популярным: не считая миллиона зрителей, примкнувших к экранам в прямом эфире, видео набрало более 320 000 просмотров на youtube-канале передачи.



**РОССИЙСКИЕ ХИМИКИ
НАШЛИ СПОСОБ УСКОРИТЬ
ПОИСК «ЧУДО-ВЕЩЕСТВ»**

Химики Московского физико-технического института (МФТИ), Сколтеха и Самарского технического университета создали технологию, позволяющую ускорить работу USPEX, помогающего открывать сверхпроводники и причудливые соединения урана и редких металлов. Работа опубликована в журнале Computer Physics Communications.



**SUPERCONDUCTIVITY
AND FERROMAGNETISM
FIGHT AN EVEN MATCH**

Russian physicists from MIPT teamed up with foreign colleagues for a groundbreaking experimental study of a material that possesses both superconducting and ferromagnetic properties. In their paper published in Science Advances, the researchers also propose an analytical solution describing the unique phase transitions in such ferromagnetic superconductors.

**В МФТИ «ДЕФОРМИРОВАЛИ
ВРЕМЯ» ДЛЯ ПОНИМАНИЯ
КВАНТОВЫХ СИСТЕМ**



Ученые из России и Польши создали математические инструменты, позволяющие «деформировать» время при описании поведения физических систем, что ускорит поиски квантовых объектов с необычными и интересными свойствами. Их выводы были представлены в журнале Physical Review A.



ОБУЧЕННЫЕ КУБИТЫ НАЙДУТ ЖЕЛЕЗНУЮ РУДУ, ПАТОЛОГИИ МОЗГА И ДАЛЕКИЕ КВАЗАРЫ

Ученые из Московского физико-технического института, финского Университета Аалто и Политехнического университета Цюриха представили прототип устройства, которое использует эффекты квантовой физики и методы машинного обучения, чтобы измерять магнитные поля точнее, чем любой классический аналог. Подобные измерения нужны, чтобы искать полезные ископаемые и далекие космические объекты, диагностировать заболевания мозга и создать более чувствительные радары.

Подробнее читайте на стр. 21



ФИЗИКИ РАЗРАБОТАЛИ ПРОГРАММУ ДЛЯ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТИ

Ученые из МФТИ написали компьютерную программу для геологических расчетов, которая может заменить импортные, недоступные из-за санкций. Разработка физиков предсказывает, как разрушаются породы при добыче сланцевой нефти из низкопроницаемых пород.



ВЗЯТЬ СЛЕД

Ученые из Института общей физики РАН и Московского физико-технического института разработали первый в мире метод, позволяющий быстро, всего за 30 минут, находить ультра-низкие концентрации, по сути, следы низкомолекулярных соединений. Его чувствительность в 100 раз выше, чем у стандартных исследований.



ПОЛ-ИГОЛКИ В СТОГЕ СЕНА

Российские ученые из Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН и Московского физико-технического института разработали первый в мире ультрачувствительный метод быстрой детекции низкомолекулярных соединений. Метод может использоваться для обнаружения следовых количеств токсинов, гормонов, витаминов и биологически активных малых молекул, важных для современной медицинской диагностики, для контроля безопасности пищевых продуктов и многих других целей. Исследование опубликовано в журнале *Analytica Chimica Acta*.

MOTHERBOARD

SCIENTISTS WANT TO MONITOR SPACE DEBRIS FROM WARMING RUSSIAN ARCTIC

<...> To lay the groundwork for potential Arctic observatories, Alexander Rodin, head of the Applied Infrared Spectroscopy Laboratory at Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), is leading an expedition to build and test experimental telescopes in Nenets Autonomous Region over the coming weeks.



В ЧЕМ СУТЬ НОВОГО МЕТОДА ЛЕЧЕНИЯ РАКА, ЗА КОТОРЫЙ ДАЛИ НОБЕЛЕВКУ? ОБЪЯСНЯЕТ БИОЛОГ

Нобелевскую премию по медицине вручили за новый метод лечения рака. Пожалуй, это самое удивительное открытие из всех, за которые в этом году давали Нобелевки. «Афиша Daily» попросила Николая Барлева, руководителя лаборатории клеточного сигналинга МФТИ, объяснить простыми словами, в чем заключается открытие и является ли оно панацеей от рака.



ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО РОССИИ

РОССИЙСКИЕ ФИЗИКИ РАЗРАБОТАЛИ КАРМАННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОЙ УКАЗКИ

Специалисты Российского квантового центра (РКЦ), МГУ, Московского физико-технического института (МФТИ) и исследовательского центра компании Samsung создали карманный

химический анализатор на основе обычной лазерной указки. Компактное устройство сможет заменить дорогие и более сложные аналоги, сообщила пресс-служба МФТИ.



Нейрогарнитура Neuroplay

ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Считывание электрических сигналов мозга с поверхности головы (ЭЭГ) в реальном времени, распознавание от 2 до 8 состояний, которые можно использовать в качестве команд в интерфейсе мозг — компьютер.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Беспроводная передача данных, маленький вес, адаптивность и универсальность. Технология сухих активных электродов позволяет не использовать гель, что значительно повышает удобство использования. Программное обеспечение предоставляет широкие возможности для анализа биопотенциалов коры головного мозга (ЭЭГ).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Образование. Благодаря простоте использования нейрогарнитуру можно применять в учебных заведениях, чтобы дать возможность школьникам и студентам изучать мозговые ритмы и проектировать собственный нейроинтерфейс.

Исследования. Компактность устройства позволяет мониторить электрическую активность мозга в любых условиях.

Нейроуправление. С помощью гарнитуры как здоровые люди, так и с ограниченными возможностями могут управлять играми, роботами и устройствами (например, инвалидной коляской).

Реабилитация. Neuroplay можно использовать в системах реабилитации с биологической обратной связью.

Тренировка когнитивных навыков и медитация. Устройство позволяет оценить степень внимания, концентрации или расслабления и помогает научиться их регулировать.

АВТОРЫ РАЗРАБОТКИ

Гарнитура разработана сотрудниками компании «Нейроботикс» и лаборатории нейроробототехники МФТИ: Алексеем Плотниковым, Дмитрием Коньшевым, Артёмом Бондаревым, Александром Зоновым и Михаилом Ходоковским. **ЭН**

✍ Татьяна Небольсина, перевод — Николай Посулько

Изменения в университетах Европы

Осенью в Москве проходила 31 международная конференция CHER (Консорциума высших учебных заведений), на которой собрались представители университетов со всего мира. Речь шла о современных направлениях развития высшего образования. Редакция ЗН воспользовалась случаем, чтобы поговорить с приехавшим на конференцию экспертом ЮНЕСКО в этой области, социологом Марекком Квиком, об изменениях, происходящих в европейских университетах. Приводим здесь основные тезисы.

ПРИЧИНА ИЗМЕНЕНИЙ

У текущих изменений в европейских вузах есть несколько причин. Пожалуй, основные — это рост академического сообщества и трудности с получением финансирования. Количество кандидатов, претендующих на гранты, увеличивается. Академики конкурируют за совсем небольшое количество действительно высокооплачиваемых мест, процентов за 10. При этом общий объем доступных средств остается неизменным, если не уменьшается.



ДЕЙСТВИЯ ГОСУДАРСТВА

Государству, научным советам приходится решать, кому предоставлять финансирование, а кому — нет. В условиях такой конкуренции остается одно: смотреть на результативность исследовательской работы. Чтобы принять решение, кого финансировать, ис-

пользуются данные о публикациях. Отбираются лучшие вузы, в течение некоторого времени им предоставляется повышенное финансирование, но правительство при этом ожидает от них повышенной результативности. Государство исходит из того, что если университету платят больше, то он не просто проводит больше исследований, но и качество этих исследований повышается. Практически во всех странах это допущение работает. И поэтому мы, академики, пишем чаще. Не только чаще, но и лучше. Очевидно, что качество здесь не менее важно, чем количество. Нужны публикации, которые приносят престиж, а именно его стремятся приобрести вузы. Но его нельзя просто купить.

ПЕРЕМНЫ В УПРАВЛЕНИИ

С вопросом финансирования тесно связаны перемены в области управления. Сильные менеджеры нужны — в той мере, в которой они помогают заполучить лучших ученых, публикации в престижных изданиях и качественные исследования. Привлекать и удерживать, добиваться того, чтобы ученые

были удовлетворены условиями труда, чтобы не ушли в другой вуз или не уехали работать за рубеж. Они должны координировать работу топовых ученых. Сами по себе менеджеры ничего не привносят, университет существует не ради них. Даже самые лучшие менеджеры без ученых — никто. В то же время с отличными учеными, но плохими управленцами вуз попросту развалится. Вложенные в него деньги уйдут в никуда. В общем, нужны и ученые, и менеджеры.

ТРИ ФАКТОРА

Таким образом, перемены затрагивают финансирование, управление и академическую карьеру. Эти три фактора складываются, и мы получаем обратную реакцию от самих ученых, от кафедр, от университетов и, в конечном итоге, от государств — в виде политики реформ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРПЛАТ

Мы провели социологическое исследование среди ученых 11 европейских стран: Австрии, Финляндии, Германии, Ирландии, Италии, Нидерландов, Норвегии, Польши, Португалии, Швейцарии и Велико-



Марек Квик,
профессор, председатель
ЮНЕСКО в области
институциональных
исследований и политики
высшего образования,
директор Центра исследова-
ния государственной
политики Познаньского
университета (Польша).

Если ученый хочет больше времени заниматься исследованиями и не получать больше административной нагрузки, при прочих равных он выберет США, а не Европу

британии. Анкетирование прошли 17 211 человек. Приглашались люди не моложе 40 лет и имеющие не менее 10 лет академического опыта. Все участники исследования работают на полную ставку в университетах, преподают и занимаются исследованиями.

ТАК БЫЛО РАНЬШЕ

Традиционно считается, что ученые покупают свою свободу, автономность, гибкие условия работы ценой более низкой зарплаты. Но времена меняются. И меняются быстро. Если говорить о Европе, то свободы в исследовательской деятельности все меньше. Мы изучаем то, за что платят компании и институты. Наука становится ближе к бизнесу. При этом зарплаты снижаются. И, что немаловажно, удовлетворения от работы тоже меньше. На фоне всего этого в Европе падает престиж научной карьеры. Классические исследования предыдущих 50 лет указывали на то, что чем больше исследований проводит ученый, тем больше он зарабатывает; высокая зарплата связана с большей автономией; самые продуктивные ученые — это и самые уважаемые, следовательно, им и платят больше. Мы привыкли считать, что это так. Но похоже, что в современной Европе дела обстоят иначе. США и Европа — два разных мира.

ГЕНЕРАЦИЯ ПРЕСТИЖА

Университеты платят зарплату за то, что ученые генерируют престиж, репутацию, имидж. Чем больше значимых грантов и публикаций у ученого, тем больше авторитета приобретает вуз, тем

большую зарплату он готов платить. Университеты конкурируют главным образом на рынке престижа. Вузы захватывают личный имидж ученых и конвертируют его в «институциональный престиж». Они покупают престиж.

АДМИНИСТРАТИВНАЯ НАГРУЗКА

Согласно нашему исследованию, высокооплачиваемые ученые не работают в лаборатории больше остальных! Статистически значимой связи нет. Традиционно считается, что больше зарабатывают те, кто больше часов посвящает исследованиям и меньше — преподавательской работе. Но этот принцип не работает в случае с современной европейской выборкой. С точки зрения почасовой нагрузки, статистически значимое различие есть как раз не в преподавании и не в научной работе, а в административной и общественной нагрузке.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ВЫШЕ В ДВА РАЗА

Так вот, связи между количеством часов в аудитории или лаборатории и зарплатой нет, зато есть связь с продуктивностью ученого. Чем многочисленнее и качественнее его публикации, тем выше зарплата. Все решают продуктивность и качество! Конечный продукт имеет наибольший вес.

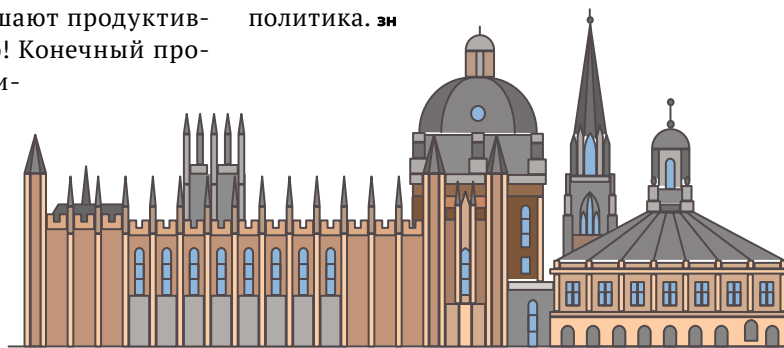
Тем не менее, в целом высокооплачиваемые научные сотрудники работают больше. Чем они занимаются

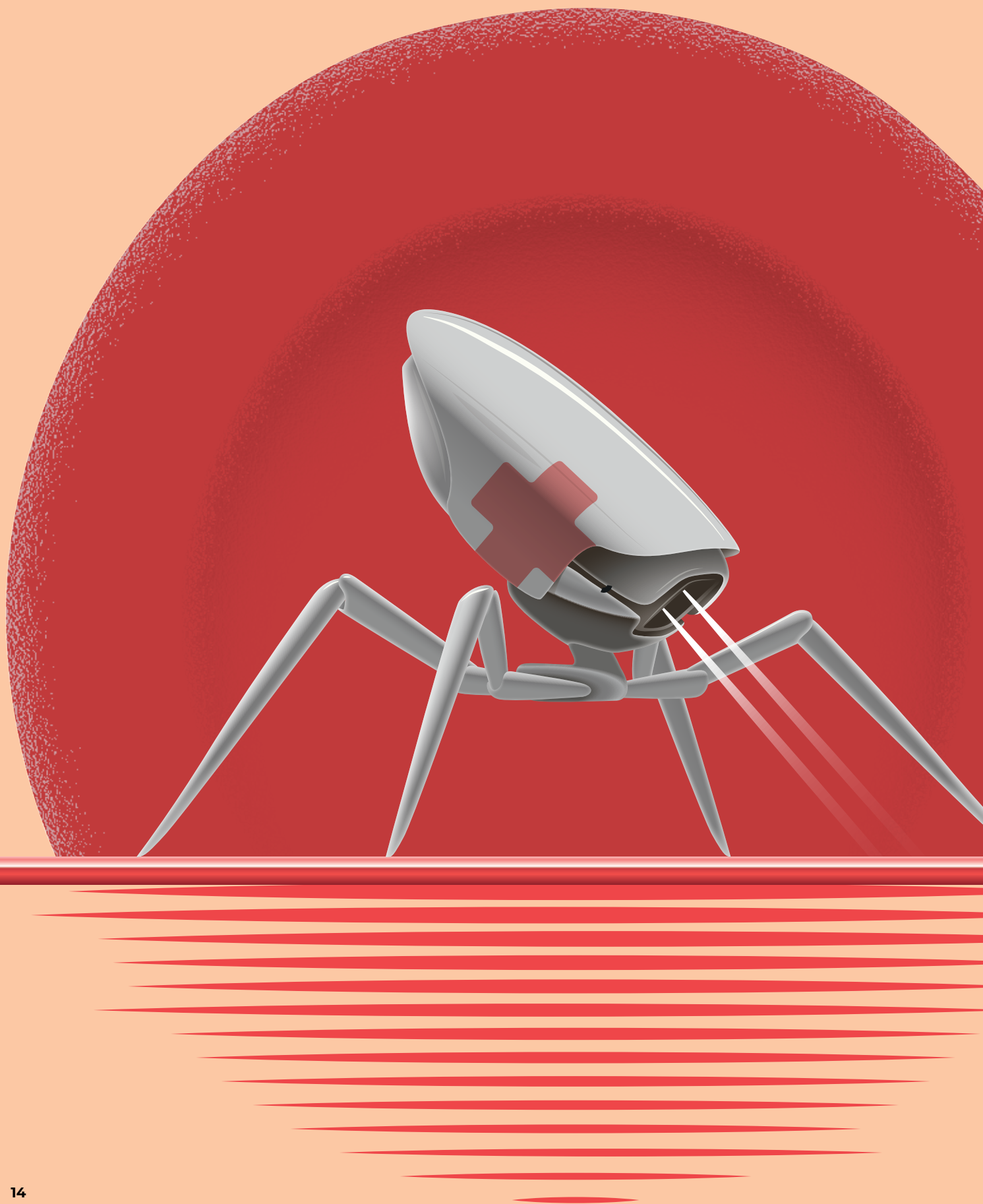
в это время? Они руководят проектами, аспирантами и постдоками. Мы измеряли продуктивность по разным показателям: работы в рецензируемых журналах, статьи в заграничных изданиях, публикации в составе международного авторского коллектива и т. д. Но какую метрику ни возьми, везде один результат: высокооплачиваемые ученые продуктивнее в среднем раза в два!

ЧТО ДЕЛАТЬ

Выводы, которые я сделал из нашего исследования: если хочешь много зарабатывать на научной работе в Европе, тебе придется принять на себя большую административную (administrative hours) и общественную (service hours) нагрузку. И главный вывод с точки зрения управления в сфере науки: ввиду вышесказанного существует угроза утечки мозгов из Европы в США. Если ученый хочет больше времени заниматься исследованиями и не получать больше административной нагрузки, при прочих равных он выберет США, а не Европу.

Самые продуктивные ученые будут всегда стремиться получить лучшие условия. Во-первых, зарплату, во-вторых, распределение нагрузки: больше исследовательской работы и меньше административной, и в третьих — независимость. Именно комбинация этих трех факторов делает ту или иную страну привлекательной для научного сотрудника. Когда изменяется к худшему любой из них, престиж профессии ученого падает. Так что именно на этих вещах должна быть сконцентрирована политика. **ЭН**





Оригинальная статья: *Advanced Smart Nanomaterials with Integrated Logic-Gating and Biocomputing: Dawn of Theranostic Nanorobots*; Andrey A. Tregubov, Petr I. Nikitin, and Maxim P. Nikitin; *Chemical Reviews*, 2018.

На заре нанобиороботов

Обзор российских ученых в журнале из top-5 мирового рейтинга.

✍ Константин Шевченко

Мы являемся свидетелями того, как самые смелые идеи писателей-фантастов становятся реальностью, а порой и обыденностью. Чрезвычайно привлекательная идея крошечных роботов, запрограммированных самостоятельно выявлять и лечить болезни, а также постоянно отслеживать состояние организма, изначально относилась к области фантастики. Однако сейчас такие биологические нанороботы обсуждаются не только на научных симпозиумах, но и в обществе – о них спорят, их боятся, их ждут.



Обложка журнала *Chemical Reviews* от 24 октября 2018 года, Том 118, выпуск 20, вышла с аннотацией статьи: «Недавно появился новый класс интеллектуальных наноматериалов: биокomпьютеры наноагентов, которые реализуют заранее запрограммированные действия, основанные на автономном анализе нескольких параметров микросреды в соответствии с законами булевой логики. Эти устройства обещают беспрецедентную эффективность в тераностике. На обложке показан биокomпьютер, циркулирующий в кровеносном сосуде». Автор обложки: Элла Марущенко



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Максим Никитин, заведующий лабораторией нанобиотехнологий МФТИ: – Мы гордимся тем, что редакция *Chemical Reviews* остановила свой выбор на работе нашего коллектива.

Множество разработок, проводимых в мире в области программируемых диагностических и терапевтических наноагентов, побудило такое авторитетнейшее научное издание, как *Chemical Reviews* обратиться к данной теме. Журнал занимает четвертое место в мировом рейтинге научных изданий, по импакт-фактору (52,613) он значи-

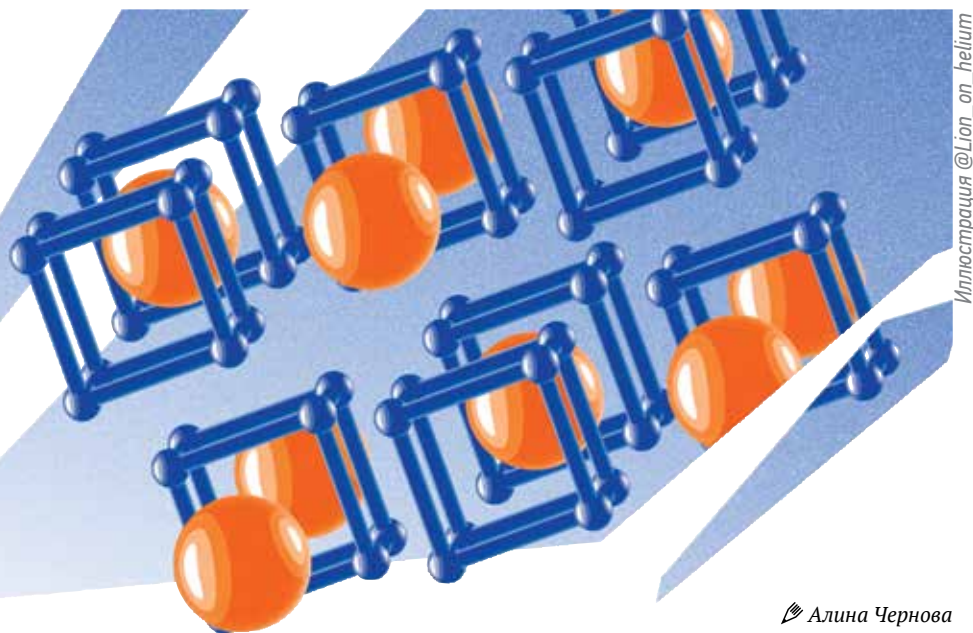
тельно превосходит такие журналы, как *Nature*, *Science* и *Cell*.

Chemical Reviews опубликовал обзор современного состояния в области наноробототехники и биокomпьютинга «Advanced Smart Nanomaterials with Integrated Logic-Gating and Biocomputing: Dawn of Theranostic Nanorobots» («Продвинутые умные наноматериалы со встроенными возможностями выполнения логических операций и биокomпьютинга: начало эпохи тераностических нанороботов»).

Право раскрыть данную тему редакция журнала предоставила ученым из лаборатории нанобиотехнологий МФТИ и лаборатории биофотоники Института общей физики РАН, активно ведущим исследования в этой области. Это является признанием передовых позиций российского коллектива в столь перспективном научном направлении. Печатная версия вышла в октябрьском номере *Chemical Reviews*, причем обложка номера посвящена именно этому обзору.

«Прогресс, достигнутый в данном научном направлении во всем мире за последние четыре года, не может не впечатлять. Когда в конце 2014 года мы опубликовали в журнале *Nature Nanotechnology* нашу работу, в которой впервые показали возможность превращения любой наночастицы в биокomпьютерный агент, количество научных публикаций в этой области было незначительным. Сейчас же количество статей исчисляется сотнями. Они затрагивают самые различные применения таких систем: распознавание клеточных мишеней для адресной доставки лекарств, управление сенсорными возможностями наноагентов, контролируемое высвобождение лекарственных средств, направленную трансформацию химического окружения и многие другие. Очень приятно, что наши разработки были у истоков этого тренда. Постараемся удерживать лидерство в этом научном направлении», — говорит Максим Никитин.

Работа была поддержана Российским научным фондом. **ЭН**



Оригинальная статья: «Uranium polyhydrides at moderate pressures: Prediction, synthesis, and expected superconductivity»; Kruglov, Kvashnin, Goncharov, Oganov, Lobanov, Holtgrewe, Shuqing Jiang, Prakapenka, Greenberg, Yanilkin; Science Advances, Oct, 2018.

Новые соединения урана

Ученые теоретически вычислили и экспериментально обнаружили новые гидриды урана, а также предсказали для некоторых из них сверхпроводимость.

Явление сверхпроводимости было открыто группой голландского физика Камерлинг-Оннеса в 1911 году. Оно проявляется в полном исчезновении электрического сопротивления при понижении температуры и приводит к вытеснению магнитного поля из материала. Изначально сверхпроводимость была обнаружена только в некоторых простых металлах, таких как алюминий и ртуть, при температурах всего на несколько градусов выше абсолютного нуля ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Большой интерес для ученых представляют так называемые «высокотемпературные сверхпроводники», которые могут похвастаться сверхпроводимостью при более «человеческих» температурах. Самые высокотемпературные на данный момент сверхпроводники, используемые в приборах, работают при температуре $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а рекорд высокотемпературной сверхпрово-

димости, державшийся с 1993 года, равен $-138\text{ }^{\circ}\text{C}$), то есть их требуется постоянно охлаждать. В 2015 году был поставлен новый рекорд высокотемпературной сверхпроводимости при температуре $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, для экзотического гидрида серы (H_3S), но для этого требуется создание давления в 1,5 миллиона атмосфер.

Группа теоретиков под руководством профессора Сколтеха и МФТИ Артёма Оганова предсказала, что при гораздо более низких давлениях, начиная с 50 тысяч атмосфер, возникают 14 новых гидридов урана (до сих пор известен

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

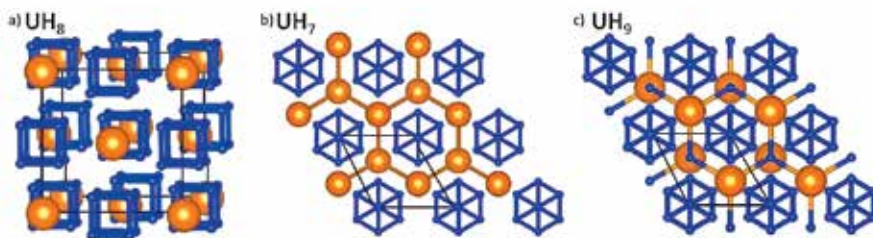


Артём Оганов, заведующий лабораторией компьютерного дизайна материалов МФТИ, профессор Сколтеха:

— В полученных нами результатах наиболее примечательны два момента. Во-первых, невероятно богатая химия гидридов урана под давлением — большая часть которых не вписывается в правила классической химии. А во-вторых, возможность их получения и сверхпроводимость при совсем небольших давлениях, возможно, вплоть до атмосферного.

был только один, UH_2), в том числе богатых водородом (например, UH_7 , UH_8), для которых ученые также предсказали сверхпроводимость. Многие из этих соединений были затем получены в экспериментах группы профессора Александра Гончарова из Института Карнеги в Вашингтоне (США) и Института физики твердого тела Китайской академии наук (Китай). Согласно расчетам, самым высокотемпературным сверхпроводником оказался UH_7 , он будет проявлять это удивительное свойство при $-219\text{ }^{\circ}\text{C}$, и это значение можно увеличить легированием материала.

«После открытия H_3S ученые ринулись проверять на сверхпроводимость гидриды других неметаллов — селена, фосфора и т.д. Наши работы показали, что гидриды металлов не менее перспективны», — говорит Иван Круглов, первый автор исследования, научный сотрудник лаборатории компьютерного дизайна материалов МФТИ. **ЭН**



Оригинальная статья: *4π-periodic Andreev bound states in a Dirac semimetal*; Chuan Li, Jorrit C. de Boer, Bob de Ronde, Shyama V. Ramankutty, Erik van Heumen, Yingkai Huang, Anne de Visser, Alexander A. Golubov, Mark S. Golden & Alexander Brinkman, *Nature Materials* 2018.

Топологический 3D-сверхпроводник

Ученые обнаружили способность непроводящего висмута, легированного сурьмой, проводить сверхпроводящий ток внутри своего объема.

✍ Вячеслав Мещеринов

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗОЛЯТОРЫ

Существует группа материалов, у которых в объеме сложная структура энергетических зон. Благодаря этому на поверхности возникает проводящее состояние с жесткой зависимостью возможного направления движения электрона от направления его спина. Такие материалы называются топологически защищенными или топологическими изоляторами. Изоляторами — поскольку чаще всего в объеме эти материалы работают как изоляторы, они не проводят электрический ток. А на поверхности проводят. Топологическими — потому что именно их внутренняя топология делает поверхность проводящей.

Подобные материалы являются перспективными элементами буду-

щих квантовых устройств, поскольку они могут обеспечить защиту квантовых состояний.

ЭКСПЕРИМЕНТ С ДИРАКОВСКИМ ПОЛУМЕТАЛЛОМ

Новое слово в области создания топологически защищенных материалов — так называемые дираковские полуметаллы. Они характеризуются тем, что защищенные состояния могут быть даже в объеме вещества. Полуметаллами они называются потому, что занимают по электрическим свойствам промежуточное положение между металлами и полупроводниками.

Именно этот класс материалов на примере висмута, легированного сурьмой, изучался в рамках проделанного эксперимента. Было показано, что, действительно, топологи-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Александр Голубов, заведующий лабораторией топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах МФТИ:

— Эксперимент показал, что если барьером будет служить топологический изолятор, в котором спин жестко связан с направлением движения, ток будет 4π -периодичным, что интуитивно кажется невероятным. В обычном случае электрон с заданным спином может двигаться и вправо, и влево. Но когда мы одну степень свободы у электрона отняли, то разрешено движение только в одном направлении. В результате для возвращения системы в прежнее состояние вместо 2π разность фаз между сверхпроводниками должна стать 4π , т.е. получается кажущееся нарушение принципа квантовой механики.

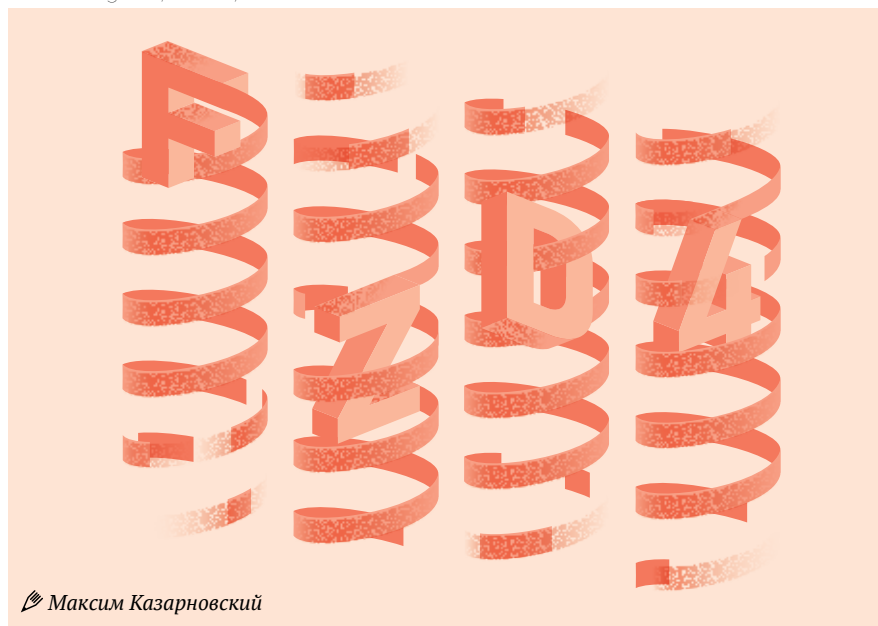
ческая защищенность присутствует в объеме пленки толщиной несколько сотен нанометров.

Ученые расположили на пленке из висмут-сурьмы контакты из сверхпроводящего ниобия. По сверхпроводящим электродам из ниобия в заданном направлении пропускался ток, который стимулировал движение электронов в висмут-сурьме от одного электрода к другому. Сверхпроводник позволил получить Джозефсоновский контакт. Эффект Джозефсона сводится к тому, что при разделении двух сверхпроводников несверхпроводящим материалом через этот материал может течь сверхпроводящий ток. **ЭН**



Розовая подложка — кристаллик висмут-сурьмы, голубые полосы — ниобий, который становится сверхпроводником при -264°C . По ниобию пропускали сверхпроводящий электрический ток

Оригинальная статья: «Crystal structure of the Frizzled 4 receptor in a ligand-free state». Shifan Yang & al., Nature, 2018.



Максим Казарновский

Иллюстрация @Lion_on_helium

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Пётр Попов, научный сотрудник лаборатории структурной биологии рецепторов, сопряженных с G-белком, МФТИ:

— Рецепторы GPCR являются мишенью для примерно 30–40% лекарственных препаратов, поэтому структурные исследования этих белков имеют большую научную и прикладную значимость. С использованием машинного обучения мы создали вычислительный метод ComproMug, который позволяет предсказать, какие минимальные изменения можно внести в рецептор, чтобы улучшить его стабильность, тем самым способствуя кристаллизации и получению структуры.

Белок FZD4 расшифровали

Ученые раскрыли структуру одного из важнейших рецепторных белков в организме.

ФАРМАКОЛОГИЧЕСКАЯ МИШЕНЬ

Объектом интереса международной группы исследователей из Китая, США и России, в которую входят Всеволод Катрич и Пётр Попов из МФТИ, стал трансмембранный домен белка под названием FZD4. Эта молекула играет важную роль в эмбриональном развитии человека, а мутации в ее гене связаны с несколькими наследственными заболеваниями.

FZD4 относится к группе рецепторов, ассоциированных с G-белком (GPCR-белки), а конкретнее — к классу F (Frizzled). Это сигнальные молекулы, которые пронизывают клеточную мембрану

насквозь и путем изменения своей структуры передают информацию внутрь клетки. Исследование структуры таких белков является очень важной задачей для фармакологии, так как многие из них ассоциированы с различными заболеваниями, а знание структуры позволяет подобрать молекулу, которая потенциально будет обладать лекарственным действием.

Однако получение структур этих рецепторов сопряжено с большими методологическими трудностями. Для выявления расположения атомов методом рентгеновской кристаллографии белок необходимо кристаллизовать и поместить в рентгеновский аппарат. Обычно

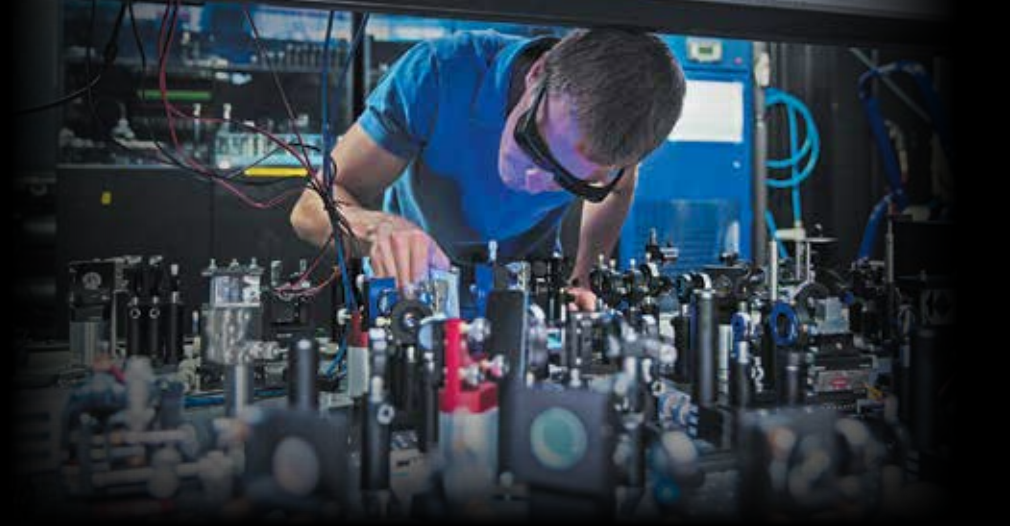
исследователи стабилизируют белки, соединяя их с лигандами — молекулами, связывающими различные участки белка.

ТОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Чтобы достичь цели, ученым пришлось изменить некоторые аминокислоты в белковой последовательности для повышения стабильности укладки молекулы при пробоподготовке. Этого удалось добиться с использованием программного комплекса ComproMug, разработанного специалистами из МФТИ и Университета Южной Калифорнии.

Полученная структура довольно сильно отличается от аналогичных у рецепторов, не относящихся к классу F. Ключевое отличие, обнаруженное исследователями, заключается в наличии между пронизывающими мембрану спиральюми белка очень узкого и длинного гидрофильного кармана. В норме такой карман у белков этой группы есть, но он имеет совершенно другую форму. Именно на него обычно действуют лекарственные препараты к 7-доменным рецепторам других групп. Таким образом, работа ученых показала возможную причину неудач в разработке лекарств. **ЭН**

Работа проливает свет на эволюцию большой группы подобных рецепторов и открывает перспективы разработки новых лекарственных препаратов, которые ранее зашли в тупик



✍ Тимофей Кочкар

Оригинальная статья: *Entanglement and teleportation between polarization and wave-like encodings of an optical qubit*; Demid V. Sychev, Alexander E. Ulanov, Egor S. Tiunov, Anastasia A. Pushkina, A. Kuzhamuratov, Valery Novikov & A. I. Lvovsky; *Nature Communications* volume 9, 2018.

Телепортация светом

Ученые телепортировали кубиты, закодированные в разных степенях свободы света.

ДИСКРЕТНО ИЛИ/И НЕПРЕРЫВНО

Различные физические системы с потенциалом для квантовой обработки информации можно разделить на две категории в зависимости от того, в каком виде в них удобно кодировать квантовые биты. В одних, например, таких как одиночные атомы, удобнее использовать дискретную (квантованную) величину. В других системах удобнее кодировать информацию в виде непрерывной величины — например, напряженность электрического поля в оптическом или микроволновом резонаторе. Поскольку каждая из категорий имеет свои достоинства и недостатки, они подходят для выполнения различных задач. Соответственно, ученые стремятся разработать подход, который позволил бы обмениваться квантовой информацией между кодировками в дискретных и непрерывных степенях свободы.

Естественным медиатором такого обмена является электромагнитное поле (проще говоря, свет), способное переносить квантовую информацию на значительные расстояния. К счастью, свет мо-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Александр Уланов, один из авторов работы, аспирант МФТИ, научный сотрудник лаборатории квантовой оптики РКЦ:

— Объединение преимуществ квантовых состояний, закодированных в дискретных и непрерывных переменных, откроет новые горизонты для применения квантово-оптических технологий на практике.

жет поддерживать обе кодировки. Дискретной кодировкой является поляризация (направление вектора колебаний в электромагнитной волне) фотона, а непрерывной — напряженность электрического

Аспирант МФТИ Александр Уланов производит юстировку установки, на которой проводился эксперимент. Фото пресс-службы РКЦ

поля. Однако до сих пор технология преобразования квантовой информации из дискретной кодировки в непрерывную и обратно для света не была разработана. Именно эту задачу и решили физики из РКЦ и МФТИ.

КВАНТОВАЯ ТЕЛЕПОРТАЦИЯ

Одним из способов передачи информации в квантовых системах является квантовая телепортация. Но это не та телепортация, которую мы привыкли видеть в кино. При квантовой телепортации не происходит физической передачи объекта на расстояние, передается лишь квантовое состояние с одной частицы на другую с помощью вспомогательного запутанного состояния.

В своей работе ученые сгенерировали запутанное состояние между поляризационным и волновым кубитами. Затем они изготовили еще один поляризационный кубит и применили процедуру телепортации. При этом фотон, несущий поляризационный кубит, уничтожился, но его состояние — квантовая информация, содержащаяся в этом кубите, — не пропало. Оно перенеслось на волновой кубит благодаря явлению квантовой нелокальности.

Предполагается, что развитие этого способа запутанности приблизит эру оптических квантовых коммуникаций и квантового интернета. **ЭН**



Группа ученых, работавших над статьей, состоит из студентов, аспирантов и выпускников МФТИ



Иллюстрация @Lion_on_helium

Оригинальная статья: *Traces Of Laboratory Earthquake Nucleation In The Spectrum Of Ambient Noise*; Gevorg G. Kocharyan, Alexey A. Ostapchuk & Dmitry V. Pavlov, *Scientific Reports*, 2018.

Шепот Земли

Физики разработали новый метод предсказания землетрясений, основанный на анализе слабых колебаний, возникающих в зоне тектонического разлома.

✍ Алексей Тимошенко

ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясения возникают при внезапном сдвиге одной части земной коры относительно другой вдоль существующих разломов. Такие сдвиги возникают тогда, когда действующие на блоки земной коры силы начинают превышать прочность разлома. Приближение момента сдвига можно зафиксировать по ряду косвенных признаков. Для прогнозирования подземных толчков неоднократно пытались следить за такими явлениями, как выход из-под земли газа радона, изменения сейсмической активности, скорости распространения сейсмических волн и даже уровня воды в скважинах — однако все это не давало четкой картины происходящего непосредственно в области будущего очага землетрясения.

«Все перечисленные феномены характеризуют не зону разлома как таковую, а скорее большую область вокруг разлома, в которой проис-

ходит накопление упругой энергии деформации. Из-за этого все попытки найти надежные способы краткосрочного прогнозирования землетрясения не дали результата — хотя ретроспективно можно связать некоторые изменения с уже произошедшими толчками», — комментирует соавтор работы Геворг Кочарян, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем МФТИ, заместитель директора Института динамики геосфер РАН по научной работе.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ШУМ

Для понимания процессов в зоне разлома ученые предложили использовать запись сейсмического шума, которая содержит информацию о настолько слабых колебаниях, что речь идет не о землетрясениях как таковых (пусть даже небольших), а скорее о шумах, создаваемых медленно деформируемыми блоками земной коры. В сво-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Алексей Остапчук, сотрудник кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем МФТИ и Института динамики геосфер РАН: — Обнаруженные нами закономерности указывают на то, что переход разлома в состояние готовности к сейсмическому толчку можно обнаружить, анализируя спектр фонового шума. Выявление колебаний, возникающих вблизи разлома, и слежение за их изменением могут стать новым полезным методом наблюдения за разломами в режиме реального времени.

ей работе исследователи показали, что на участке разлома — области зарождения будущего землетрясения — характеристики этого шума меняются при увеличении тектонических напряжений до критической величины и переходе разлома в метастабильное состояние, когда любое небольшое воздействие извне способно запустить катастрофический сдвиг. В потенциально опасной зоне разлома существенно меняется спектр сейсмического шума. Проведенные в лабораторных условиях измерения с использованием гранитных блоков показали, что в низкочастотной области возникают характерные пики, частота которых существенно снижается перед сдвигом. **ЭН**

**ПРЯМАЯ РЕЧЬ**

Андрей Лебедев, ведущий научный сотрудник лаборатории физики квантовых информационных технологий МФТИ:

— Наша работа является прекрасным примером того, как квантовые технологии могут быть использованы на практике: объединяя квантовые явления с техникой измерения, основанной на методах машинного обучения, мы можем улучшить чувствительность магнитометров и преодолеть ограничения, налагаемые стандартным квантовым пределом.

Например, чтобы выиграть в точности в 10 раз, нужно проводить измерение в 100 раз дольше. Это ограничение справедливо для всех классических инструментов.

КУБИТНЫЙ МАГНИТОМЕТР

«Когда изучаешь природу, всегда имеешь так или иначе дело с электромагнитными сигналами, будь то человеческий мозг или вспышка сверхновой, — поясняет Андрей Лебедев, автор работы. — Поэтому измерять магнитные поля приходится в самых разных областях, и хотелось бы делать это как можно точнее».

Принцип работы кубитного магнитометра основан на использовании квантово-механических свойств сверхпроводящего «искусственного атома» — миниатюрного устройства, сделанного из перекрывающихся тонких пленок алюминия, нанесенных на поверхность кремниевого чипа.

Однако для того чтобы преодолеть стандартный квантовый предел, потребовался еще один трюк: авторы совместили квантовые технологии с методами машинного обучения, воспользовавшись одним из распространенных подходов к задаче распознавания образов. **ЭН**

Оригинальная статья: *Quantum-enhanced magnetometry by phase estimation algorithms with a single artificial atom*; Danilin, S., Lebedev, A. V., Vepsäläinen, A., Lesovik, G. B., Blatter, G., & Piraouanu, C. S.; *npj Quantum Information* 4, 29 (2018).

Магнитометр на обученных кубитах

Разработан сверхчувствительный кубитный магнитометр для измерения магнитных полей точнее, чем любой классический аналог.

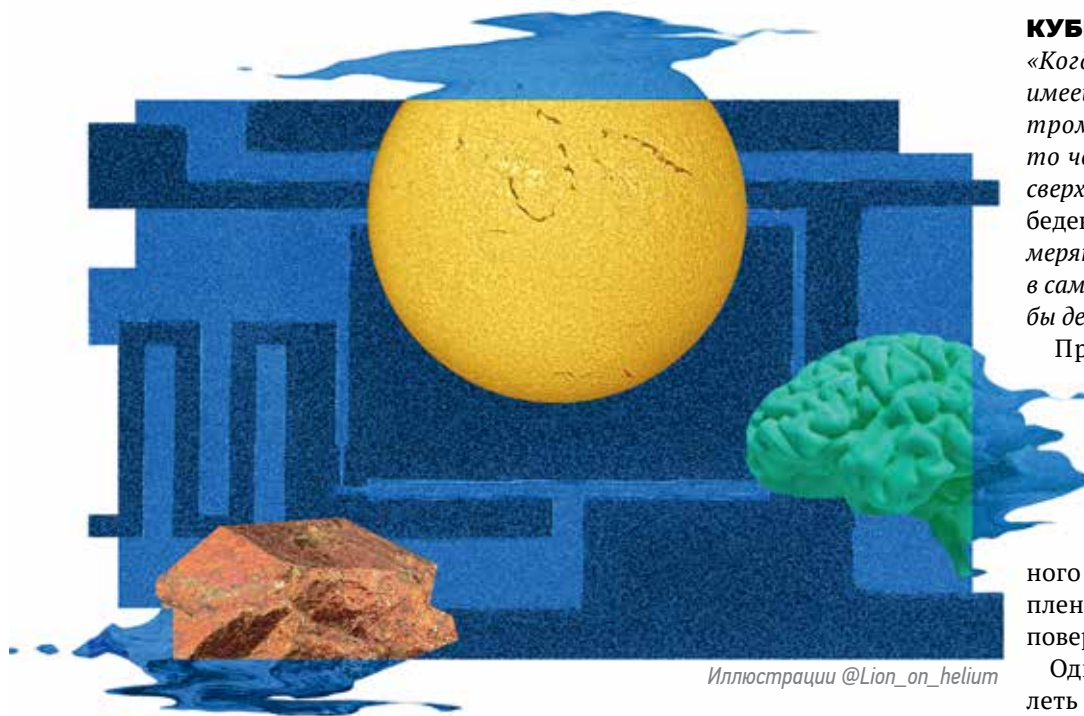
✍ Николай Посулько

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

В природе существуют ограничения на точность измерения. Представьте рентгеновский снимок: как правило, он довольно размыт, только опытный врач может правильно интерпретировать его. Слабый контраст между различными тканями может быть улучшен более долгим

временем экспозиции, но человек не может подвергаться продолжительному облучению.

Характерным пределом точности измерения является так называемый стандартный квантовый предел: точность измерения обратно пропорциональна квадратному корню из использованных «ресурсов».



Иллюстрации @Lion_on_helium

Кубитный магнитометр нужен для сверхчувствительных детекторов в медицине, геологоразведке и астрономии

ДИВНЫЙ ДВУМЕРНЫЙ МИР

Первые попытки синтезировать сверхтонкие графитовые пленки были сделаны больше полувека назад — в 1960-х. Однако детально изучить однослойную пленку необходимого качества и достаточно большого размера никак не удавалось. К тому же физики-теоретики того времени считали невозможным существование стабильных двумерных кристаллов.

Все изменилось уже в XXI веке. В 2002 году в Манчестерской группе Андрея Гейма под микроскоп попала клейкая лента с чешуйками, удаленными с образца высокоориентированного пиролитического графита. Несколько месяцев исследований этих чешуек привели ученых к созданию техники расслоения тонких пластинок графита на монослои. Так и был получен графен, реальные свойства которого заставили по новому посмотреть на мир наноматериалов и пересмотреть некоторые теоретические построения прошлого.

В 2004 году Андрей Гейм, Константин Новосёлов и их коллеги опубликовали статью о полученных результатах в журнале Science. Спустя 6 лет они получили Нобелевскую премию за свои пионерские исследования. С этого момента графен и другие двумерные материалы становятся горячей темой, которая захватывает все больше и больше ученых. По всему миру открываются графеновые центры, государства и корпорации стремятся стать лидерами в гонке изучения и применения этого нового вида материалов. Количество упоминаний слова «графен» в научных работах догоняет упоминания слова «лазер», а пионерскую статью выпускников Физтеха процитировали уже более 40 тысяч раз!

2D-материалы сильно изменили модели фундаментальной физики.

На их основе уже создаются высокочувствительные химические и биологические сенсоры, ультраширокодиапазонные фотодетекторы, наноразмерные лазеры и нейроинтерфейсы. Сегодня 2D-материалы перемещаются из университетов в исследовательские лаборатории практически всех технологических компаний из списка Fortune 500. Сфера применений двумерных материалов постоянно расширяется, они имеют огромный потенциал в таких областях, как электроника, транспорт, энергетика, композитные материалы, авиация и космос, робототехника, нейротехнологии, медицина и даже индустрия моды. Секрет успеха графена и ему подобных мы выяснили из первых уст.



Андрей
Гейм

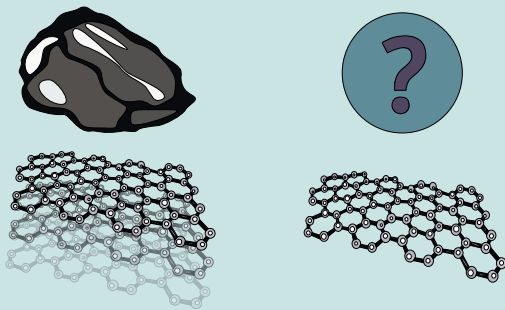


Константин
Новоселов

Манчестерский
университет,
Великобритания

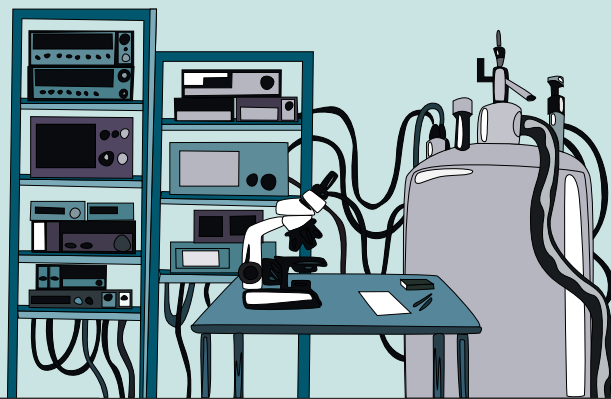


Вопрос

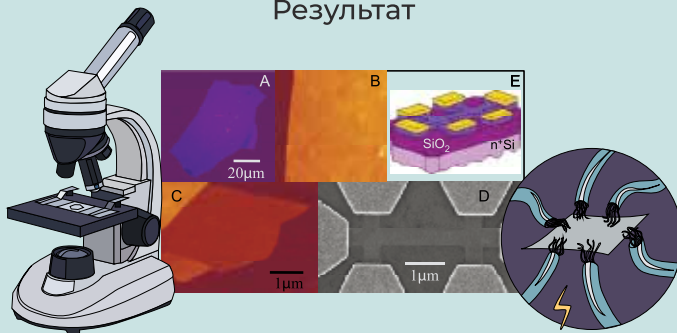


Возможно ли выделить из графита
стабильный одноатомный слой?
Каковы будут свойства нового материала?

Лаборатория



Результат



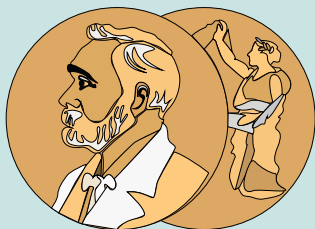
Экспериментально получен первый двумерный материал — графен.
Его механические и электрические свойства заставили ученых
пересмотреть некоторые построения теоретической физики

Статья



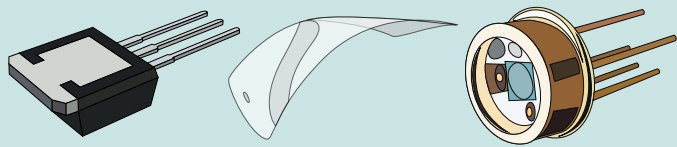
Electric Field Effect in Automatically
Thin Carbon Films,
K. S. Novoselov, et. al., Science 306, 666(2004)

Нобелевская премия



А. Гейм, К. Новоселов,
за передовые опыты с двумерным материалом — графеном,
физика, 2010

Сегодня



Областей применения графена и других двумерных материалов
с каждым годом становится все больше — от фотоники
до электроники и нейроинтерфейсов

Революция в плоскости

✍ Вячеслав Мецеринов

Графен — первый полученный материал толщиной в один атом. Двумерность приводит к большим технологическим вызовам, поскольку далеко не просто включить 2D-материал в трехмерный мир современных электронных устройств. Однако именно двумерность графена скрывает в себе удивительные свойства квантово-релятивистской природы этой углеродной структуры. Казалось бы, с 2004 года, когда графен был впервые получен, прошло не так много времени. Но за последние годы область исследований двумерных материалов переживает настоящий бум, сравнимый с интенсивностью построения квантовой физики век назад. Какие же перспективы видятся специалистам в этой сфере? В поисках ответа на этот вопрос мы отправились на конференцию METANANO-2018, где поговорили с ведущими учеными в области двумерных материалов.

Со стороны может показаться, что графен — достаточно простой материал. Его можно представить как один из слоев кристалла графита. Несложный, знакомый еще со школьной скамьи узор из шестиугольников. Однако дьявол кроется в деталях. Тысячи экспериментаторов по всему миру сегодня бьются над тем, чтобы совместить плоский мир двумерных материалов с трехмерными электродами, инструментами и вообще всем, что умеет изготавливать современная промышленность. Более того, окружающий трехмерный мир влияет на свойства графена: контакты, подведенные к образцу, или подложка, на которую он помещен, — все это оставляет свой отпечаток на его свойствах.

И все-таки, невзирая на сложности, интерес к двумерным материалам лишь увеличивается. Причем среди лидеров этой гонки не только привычные гиганты научного мира — США, Европа, Китай и Южная Корея, но и Индия, Иран, Сингапур. И если в Европе была запущена десятилетняя программа Graphene Flagship с бюджетом в €1 млрд для финансирования исследовательских центров из 23 стран, то в одном лишь городе-государстве Сингапуре только начальные вложения в эту область превысили \$300 млн.

В чем же причина такого пристального внимания к 2D-материалам? Дело в парадоксальных для трехмерного мира физико-химических свойствах этого класса материалов. Благодаря уникальным свойствам своей электронной системы графен сегодня позволяет открывать новые и новые фундаментальные эффекты, а также демонстрировать те явления, которые уже давно были предсказаны теорией и ждали своего часа. Именно в работах с графеном ученые продемонстрировали такие эффекты квантовой физики, как парадокс Клейна и квантовый эффект Холла. Графену свойственны рекордная теплопроводность и высокая проводимость

КСТАТИ

Достигнутые учеными результаты на поприще исследования двумерных материалов уже подталкивают инвестировать в эту сферу и крупный бизнес. Некоторые компании, например, Samsung, IBM и Fujitsu финансируют создание собственных центров по изучению графена. Одна из важных задач промышленности в этой области — встроить двумерные материалы в автоматизированный цикл производства микроэлектроники, поскольку до сегодняшнего дня устройства на основе графена изготавливаются только вручную.



Неровный лист графена на кремниевой подложке.
Источник: news.umanitoba.ca

Сотни экспериментаторов по всему миру сегодня бьются над тем, чтобы совместить плоский мир двумерных материалов с трехмерными электродами, инструментами и вообще всем, что умеет изготавливать современная промышленность

электрического тока, химическая и термическая стабильность, а также достаточно высокая прочность.

И хотя, по словам Андрея Гейма, начиная с 2007–2009 годов исследователи знают о графене почти все, что нужно знать, графен не только остается горячей темой для научного сообщества, но и «разогревается» все сильнее. Не последнюю роль в этом сыграло то, что качество получаемых образцов графена стремительно растет: за последнее десятилетие подвижность электронов была повышена в тысячу раз.

ЗА ЧТО МЫ ЕГО ЛЮБИМ

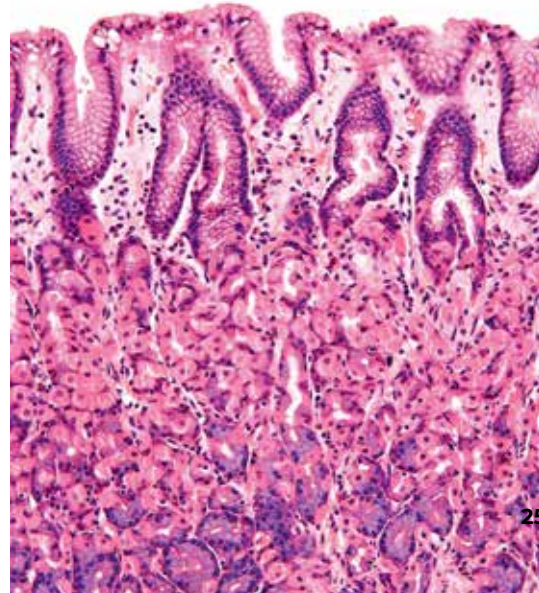
Графен как мембрана

«Как написано в учебнике Ландау–Лифшица, двумерный кристалл не существует. Однако он все-таки существует, но в своем интересном смысле. Задача, связанная с графеном, которая меня интересовала с самого начала, — мембранные аспекты графена и других двумерных материалов. Это задача с сильными длинноволновыми флуктуациями, взаимодействующими друг с другом. В рамках этой задачи происходит полное безумие: рушится стандартная механика сплошных сред, константы упругости уже не константы, коэффициент Пуассона — вообще непонятно, что такое. Жесткость мембраны в зависимости от размера образцов на три порядка может меняться, что подтверждено экспериментально. Классическая статистическая физика флуктуирующих мембран — очень живая область, где до сих осталась масса проблем.

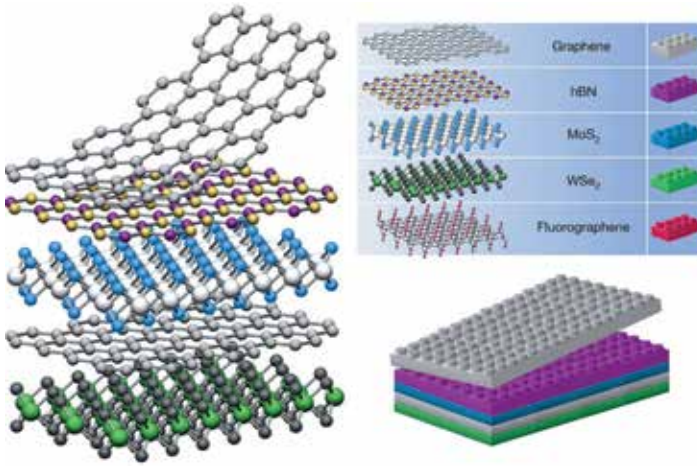
«Это лично для меня интереснее всего в этой науке», — делится профессор Университета Радбауда Михаил Кацнельсон.

Мембраны играют большую роль в химии, в биологии, в геологии — множество важных эффектов происходит в очень тонких пленках. Это направление развивалось давно, в основном, в применении к полимерам, жидким кристаллам, биополимерам и биоматериалам. До недавнего времени существовала лишь феноменология, основанная на макроскопических уравнениях теории упругости, ни о каком реальном описании взаимодействий в мембранах не было и речи. Графен же оказался в каком-то смысле прототипной мембраной. В этой двумерной системе присутствуют все эффекты, которые люди обсуждали в контексте бесконечно более сложных биологических и химических мембран. Графен же — достаточно простая система, состоящая только из углерода, а взаимодействие между атомами углерода значительно проще посчитать.

Михаил Кацнельсон поясняет: *«Благодаря графену оказалось возможно сугубо макроскопическую феноменологическую теорию мембран спроецировать на какую-то реальную микроскопическую систему, уточнить все параметры, провести детальные расчеты. Это был прорыв в статистической физике и вообще в науке о двух измерениях».* →



Слизистая оболочка как пример мембраны



Кирпичики из двумерных материалов

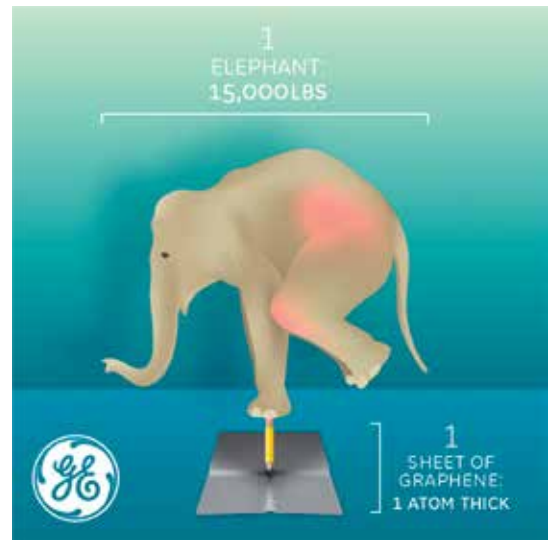
→ **ДВУМЕРНОЕ НИЧТО**

«Два года назад нам пришла в голову мысль: мы же умеем составлять кирпичики из LEGO, почему бы не попробовать сделать то же самое с двумерными материалами? Ничего не должно было выйти, казалось бы. Но по причинам, которые только потом стали понятны, получилась довольно интересная новая система», — вспоминает профессор Манчестерского университета сэр Андрей Гейм.

Что обычно делают ученые, работающие с двумерными материалами? Извлекают одноатомный слой образца и забывают об остальном кристалле. Исследователям из группы Андрея Гейма удалось изменить привычный ход своих мыслей. Они решили попробовать исследовать свойства тех пустот, откуда были извлечены двумерные «кирпичики LEGO».

«Что если наоборот забыть о полученном образце и посмотреть на то, что останется на его месте в первоначальной структуре? Затем можно увеличить число удаленных из основной части кристалла слоев, при этом стенки полученной полости будут гладкими с точностью атомной структуры. Пустое пространство, которое возникло на месте удаленного двумерного слоя, его свойства — это то, что мы сейчас активно исследуем. Я назвал полученное явление «Двумерное ничто», — говорит Андрей Гейм.

Иллюстрация прочности графена. Источник: ge.com



КАК ЗАКАЛЯЛАСЬ СТАЛЬ

Сегодня можно часто прочитать, что графен примерно в 200 раз прочнее стали, и при этом он гибкий. Но что это означает на самом деле? Имеется в виду, что если взять одноатомный слой стали, то модуль Юнга, характеризующий прочность на растяжение, в слое графена будет в 200 раз больше. Это, конечно, немного отдаст абсурдом, поскольку при всем желании не удастся получить одноатомный слой стали. Эта разница совершенно ничего не характеризует, поскольку в реальности все зависит от размера образца и его температуры. При комнатной температуре эффективный модуль Юнга изменится под действием флуктуаций так, что в пределе большого размера он приблизится к нулю, и графен окажется не таким уж и прочным.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МЕД ГРАФЕНА

«Тема, которой мы занимаемся в Манчестере уже года 3–4, — так называемая электронная гидродинамика. Оказывается, электроны в твердых телах могут себя вести как очень вязкая жидкость. Мы всегда представляли себе, что электроны путешествуют как отдельные частицы, которые рассеиваются на примесях, фононах, краях. Графен же — очень чистое вещество, в котором электроны могут пролетать большие расстояния без рассеяния. Если же нагреть графен до определенных температур, электроны начнут часто сталкиваться друг с другом. Движение электронов в этом случае сильно напоминает поток вязкой жидкости в обычной трубе», — описывает исследователь из лаборатории физики конденсированного состояния вещества Андрея Гейма Денис Бандурин.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

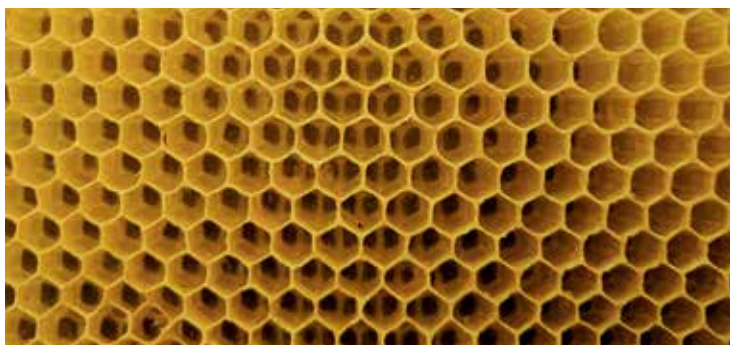
Михаил Кацнельсон, профессор Университета Радбауда (Нидерланды): — На постере, который был выпущен Нобелевским комитетом в 2010 году к премии Андрея Гейма и Кости Новосёлова, был нарисован кот в графеновом гамаке. Подпись гласила, что метровый однослойный графеновый гамак может запросто удержать кота. Эта оценка была сделана на основе классической теории упругости, которая не работает. Смешным образом мы решили задачу с котом в графеновом гамаке количественно. Как теоретики мы рассмотрели два предельных случая. Когда сферический точечный кот в вакууме лежит в центре гамака, вес кота получается около 3 кг. Другая модель, когда кот равномерно размазан по гамаку. В этом случае вес кота может быть до 8 кг.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Денис Бандурин, исследователь из лаборатории физики конденсированного состояния вещества **Андрея Гейма** в Манчестере:

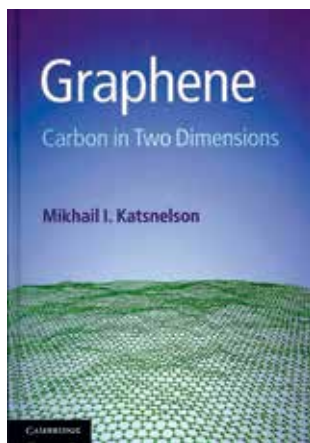
— Мы не думаем о поведении отдельных частиц, а пишем уравнение Навье–Стокса для всей электронной жидкости, похожее на то, которое написали бы для воды. Проведя эксперимент, мы обнаружили, что наши наблюдения напрямую указывают на вязкое течение электронной жидкости и полностью согласуются с гидродинамическим описанием. Кроме того, недавно мы выяснили, что в таких вязких заряженных системах может не работать эффект Холла. Представим себе, что у нас есть поток заряженных частиц. Если приложить магнитное поле, частицы изменят направление своего движения из-за силы Лоренца. Но оказалось, что помимо обычной вязкости у такой электронной жидкости еще существует холловская вязкость. Эта необычная вязкость противодействует силе Лоренца, которая пытается завернуть движущиеся заряженные частицы, и не дает электронной системе установить холловское распределение потенциала, тем самым локально нарушая эффект Холла.



Ученые измерили вязкость электронной жидкости в графене. Она оказалась довольно большой и может в 100 раз превосходить вязкость меда. Таким образом, классическое представление о независимом движении электронов несколько расходится с действительностью в случае чистых образцов, таких как графен. В такой ситуации для описания электронной системы разумно использовать приближение гидродинамики, которое в данном случае очень хорошо работает.

БУГРИСТАЯ ПЛОСКОСТЬ

«Графен на самом деле не совсем плоский. На обложке моей книги про графен нарисован типичный результат симуляций структуры графена при комнатной температуре, которые мы делали. Это графен при комнатной температуре. За счет своей разболтанности и термических флуктуаций связи в плоскости ослабляются. В результате эффективный модуль Юнга начинает резко подавляться флуктуациями и в пределе бесконечного размера системы подавляется



до нуля. Это очень тонкие вещи. Мой учитель Сергей Васильевич Вонсовский говорил, что важный результат — тот, который имеет смысл включать в учебники для студентов, об очень важном результате имеет смысл рассказывать школьникам. С этой точки зрения получается, что то, чем все мы почти все время занимаемся, не очень важно — это не затрагивает основы. А вот о том, что обычная теория упругости, закон Гука не работают для очень тонких систем, что двумерных кристаллов в каком-то смысле не бывает, а в каком-то смысле они все-таки бывают, вполне имеет смысл рассказывать школьникам в старших классах», — считает Михаил Кацнельсон.

Другое очень интересное и неожиданное свойство графена — клейновское туннелирование. Если бы не было клейновского туннелирования, графен был бы малоинтересен с точки зрения электронных свойств, он вообще не мог бы проводить ток, потому что электроны были бы заперты в электронных «лужах», а дырки — в дырочных «лужах». И при приложении электрического поля носители заряда не могли бы течь в таком неоднородном рельефе. Парадокс Клейна заключается в том, что безмассовые дираковские фермионы с высокой вероятностью проходят сквозь потенциальные барьеры независимо от того, насколько они высокие и широкие, поэтому «лужи» не так сильно портят проводящие свойства графена, как могли бы.

Михаил Кацнельсон продолжает: «Это интересное явление следует из фундаментальной физики. На мой взгляд, оно определяющее для электронных технологий с использованием графена. Такое свойство резко отличает графен от классических полупроводников типа кремния и германия. Из этого следует, что из-за клейновского туннелирования графеновый транзистор не может быть просто копией кремниевого или германиевого транзистора. Вы никогда не сможете запереть этот транзистор: какое бы напряжение на базу ни прикладывали, все равно там будет течь ток. Поэтому его надо совершенно иначе делать. Когда мы писали статью про клейновское туннелирование, искали, в каких работах оно упоминается. Типичными примерами оказались радиация Хокинга и испарение черных дыр: около горизонта черной дыры рождается пара частица–античастица, одна падает на дыру, а другая за счет эффекта Клейна уходит на бесконечность. Совершенная научная фантастика, которая непонятно к чему имеет отношение. В то время как в графене это базовое явление, которое определяет его свойства».



→ ДВУМЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Графен для квантовой оптики

Для создания сверхбыстрых инструментов на основе квантовой оптики требуются эффективные электрооптические элементы. Графен является перспективным нелинейным элементом для этой сферы. И вот почему: в классическом полупроводнике зависимость энергии от импульса квадратичная, а в графене она линейная. Соответственно, если считать скорость как производную энергии по импульсу, получится, что в полупроводнике у электронов на нижних энергетических уровнях скорость мала. Исходя из распределения носителей по уровням энергии, нужно иметь довольно высокую концентрацию электронов на верхних энергетических уровнях, чтобы их скорость стала достаточно большой. В графене же электроны почти сразу становятся быстрыми.

Одна из задач, связанных с графеном, — создание терагерцовых эмиттеров. Сделать такой эмиттер очень важно, потому что до сих пор не существует компактных эффективных источников излучения в этом диапазоне, которые бы могли работать на оптическом столе. Раньше их пробовали создать на основе полупроводников. После открытия графена начались исследования возможности его использования для того, чтобы построить такие устройства.

Теоретически предсказано, что графеновый терагерцовый эмиттер может функционировать как высокоэффективный терагерцовый лазер

ДЛЯ СПРАВКИ

Принцип работы классического транзистора не очень сложен. Есть область с электронной проводимостью и с дырочной проводимостью, есть барьер между этими областями. Прикладывая внешнее напряжение, то есть меняя высоту барьера, можно управлять током через транзистор. Но этот принцип работать не будет в графене из-за клейновского туннелирования: ток будет течь, и запереть его не получится, транзистор все равно будет пропускать электроны.

«С помощью графена можно перекрыть диапазон от 1 ТГц до 50 ТГц. Теоретически предсказано, что графеновый терагерцовый эмиттер может функционировать как высокоэффективный терагерцовый лазер. Вместе с создателем квантово-каскадных лазеров Джеромом Фейстом наша группа создавала периодические структуры из графена, на которых мы собирались построить компактный, мощный, работающий при комнатной температуре перестраиваемый эмиттер. Мы провели несколько интересных работ по изучению плазмонных свойств использованных графеновых структур. Но, к сожалению, создать на их основе лазер нам пока не удалось», — делится сотрудник

Констанцского университета (Германия) доктор Андрей Москаленко.

В работах манчестерской группы Андрея Гейма был описан способ построения транзистора на основе графена. Но не обычного, а туннельного: электроны текут не вдоль графена, а из одного слоя графена в другой. Такой транзистор состоит из двух слоев, между которыми находится разделитель — нитрид бора, дисульфид или диселенид молибдена. Такой разделитель представляет из себя диэлектрический слоистый двумерный материал. При приложении внешнего напряжения электроны начнут туннелировать из одного слоя графена в другой. Это туннелирование нужно сделать управляемым, для чего снаружи ставится управляющий электрод.

«В Манчестере продемонстрировали, что отношение токов при включенном и выключенном транзисторе может достигать до миллионов. Этого более чем достаточно для любых практических приложений, но нужна радикальная перестройка всей индустрии. Настолько ли целесообразно, чтобы люди этим стали заниматься, сказать сложно. Перестройка всего существующего производства и технологий — высочайший барьер. Чтобы новая система пошла в жизнь и народное хозяйство, она должна быть не просто немного лучше старой, а несопоставимо лучше. Научно эта задача решена: есть работающий графеновый транзистор, у него хорошие



Графен с примесью азота и атомами кобальта.
Источник: scitechdaily.com

характеристики. Но заменит ли он кремний, не уверен», — говорит Михаил Кацнельсон.

ГРАФЕН ДЛЯ НЕЗРЯЧИХ

В Испании существуют коммерческие компании, которые продают нейроинтерфейсы. В последнее время они пробуют сделать искусственную сетчатку глаза из графена, хотя из традиционных материалов она была сделана достаточно давно. В последнем случае сетчатка получается довольно зернистая, то есть качество зрения, которое она может дать пациенту, не очень высокое. К тому же учиться ею пользоваться нужно месяцами. Конечно, незрячему человеку это все равно большой подарок. Но если сетчатку получится сделать из графена, все электроды будут меньше, значит, она будет менее зернистой и более удобной. Что немаловажно, сетчатка будет не такой токсичной для организма, поскольку графен, даже попадая в кровь, не несет опасности для человека и может разлагаться в организме.

«Первые прототипы уже изготавливались. Изображение получают с помощью CCD-камеры или массива фотодиодов, которые подключают к клеткам сетчатки и зрительному нерву. Люди учатся этим пользоваться: получают зрительный сигнал, передают его в мозг. Первое время сигнал не обрабатывается мозгом. Потом он начинает распознаваться, и человек начинает видеть с помощью искусственной сетчатки — различает крупные предметы и отличает светлое от темного. Это уже работает: первым пациентам уже поставили подобные сетчатки», — рассказывает старший научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ Юрий Стебунов.



Сетчатка на основе графена. Источник: phys.org

Графен, даже попадая в кровь, не несет опасности для человека и может разлагаться в организме


Фундаментальная физика зачастую отрывается от реальности, изучая всевозможные экстремальные объекты. Графен же эту науку немного заземляет, позволяя демонстрировать многие эффекты, предсказанные теорией, не в ядрах далеких звезд и даже не на ускорителях, а в типичных лабораторных условиях. И это поразительно для сегодняшнего дня.

«Первые 5–6 лет в этой теме мне было фантастически интересно. Можно было работать одному, без студентов, аспирантов, без расчетов на компьютере. Буквально на листочке бумаги что-то посчитал, и получалось что-то новое, интересное, имеющее отношение к эксперименту. Таких ситуаций в современной теоретической физике очень мало, потому что все, что можно было сделать на коленке, уже давно сделали. Это был чудесный период, когда можно было работать, как основоположники в 20–30-х годах. На мой взгляд, этот героический период закончился. Для решения тех задач, касающихся графена, что еще остались нерешенными, уже нужны батальоны ученых, деньги, компьютерные ресурсы», — вспоминает Михаил Кацнельсон. **ЭН**

Ком из графена. Источник: advancedscience-news.com





 Вячеслав Мещеринов

Исследованиями двумерных материалов сегодня активно занимаются не только на родине графена — Великобритании, но и в Китае, США, Южной Корее, Индии, Японии, Германии, Иране... Россия же понемногу теряет свои позиции в графеновой гонке: с 5,6% от общего числа публикаций по этой тематике в середине прошлого десятилетия до 2% в 2017 году. В нашей стране по-прежнему отсутствуют целевые программы по исследованиям двумерных материалов. Поэтому работы в этой области ведутся по инициативе отдельных ученых. Ситуация могла бы измениться в случае создания в России собственного графенового центра, подобного тем, что активно открываются в последние годы по всему миру. Какую же роль играет Физтех в этой сфере сегодня и какую может сыграть в ближайшем будущем?

В сентябре 2016 года на Физтехе был организован Центр фотоники и двумерных материалов, который сегодня включает четыре лаборатории: нанооптики и плазмоники, оптоэлектроники двумерных материалов, терагерцовой спектроскопии, двумерных материалов и наноустройств. Основные задачи центра — разработка на основе графена и других двумерных материалов нового класса оптоэлектронных приборов и компонентов, таких как



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Алексей Арсенин, директор Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ:

— Помимо лабораторий центра, ряд других ученых МФТИ ведут исследования в области 2D-материалов. Например, в нашем институте занимаются синтезом двумерных дихалькогенидов переходных металлов, разработкой функциональных элементов электроники и созданием печатной электроники на основе двумерных материалов, фундаментальными исследованиями двумерных топологических изоляторов. Сотрудники Физтеха уже достигли значимых результатов в разработке устройств на основе графена, моделировании новых двумерных материалов и исследовании их свойств.

нано- и биосенсоры, нанолазеры, высокочувствительные фотодетекторы и ИК-камеры.

Для продвижения своих результатов и привлечения внимания научного сообщества к своей деятельности уже давно изобретен рецепт — проведение крупной научной конференции. И на этом поприще центр также активно работает. В этом году ИТМО в сотрудничестве с Центром фотоники и двумерных материалов МФТИ была проведена международная конференция METANANO.

«В конце сентября 2019 года мы с коллегами при поддержке МФТИ организуем в Сочи международную конференцию, посвященную исследованию и применению графена и других двумерных материалов. Организация такой конференции в России имеет целью привлечение внимания специалистов к исключительным перспективам этого принципиально нового класса материалов. В России соберутся признанные мировые лидеры в этой области, с которыми мы обсудим в том числе создание в нашей стране международного центра графена и 2D-материалов», — сообщает заведующий лабораторией нанооптики и плазмоники Валентин Волков.

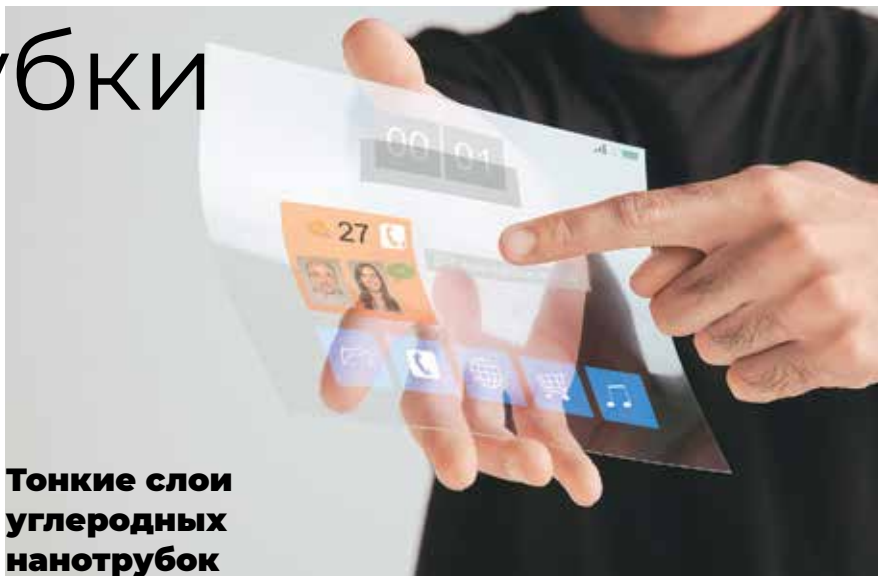
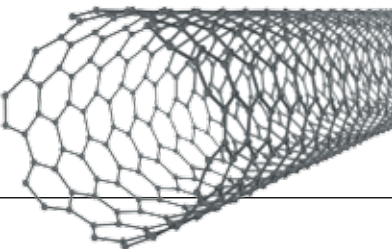
Нанотрубки

При разработке и конструировании электронных устройств абсолютно необходимой стадией является определение таких свойств носителей тока в «рабочем материале» как концентрация, подвижность, зависимость от температуры и других внешних факторов. Эта диагностика выполняется при помощи методов спектроскопии инфракрасного и терагерцового диапазона. И перспективность терагерцовой спектроскопии в отношении характеристики электронных свойств графена была продемонстрирована на Физтехе.

«Мы исследуем свойства носителей заряда вне зависимости от того, двумерный это материал или трехмерный. Смотрим, как ведут себя заряды в данном материале и почему они себя так ведут. Одними из наиболее интересных объектов, которые мы исследовали методами оптической спектроскопии, для нас стали однослойные углеродные нанотрубки и пленки из этих нанотрубок. Спектроскопические методы позволяют определять микроскопические механизмы электропроводности таких объектов и вычислять их макроскопические характеристики, необходимые для разработки приборов», — расска-

КСТАТИ

Углеродная нанотрубка — объект с довольно простой структурой, состоящий из одного элемента — углерода. По сути, это тот же самый графен, только свернутый в трубку. Существуют модели, которые хорошо описывают их электродинамические и механические свойства.



Тонкие слои углеродных нанотрубок пропускают свет и могут проводить электричество

зывает заместитель заведующего лабораторией терагерцовой спектроскопии Елена Жукова.

С точки зрения теории углеродные нанотрубки — это довольно простой объект, его легко промоделировать и потом сравнить полученные экспериментальные результаты с тем, что предсказывает теория. Однако совокупность нанотрубок, их взаимная ориентация, плотность упаковки и т. п. могут приводить к довольно неожиданным эффектам. Изучая электродинамические свойства сложных систем из нанотрубок можно объяснить эти результаты.

Елена Жукова добавляет: «Наша настоящая работа связана с тем, что из углеродных нанотрубок можно сделать довольно тонкие и плотные слои. Несмотря на высокую плотность такой слой нанотрубок, как ни странно, все еще остается прозрачным в видимом диапазоне частот и при этом достаточно хорошо проводит электрический ток. То есть это хорошо проводящий по полупроводниковому типу проводимости материал, который является прозрачным в оптическом диапазоне частот. Дополнительную привлека-



Автоматизированная система визуализации

тельность для различных применений нанотрубочным пленкам придает их легкость (относительно сплошных металлических пленок), химическая и механическая стабильность».

Тонкие слои углеродных нанотрубок пропускают свет и могут проводить электричество. Это делает их перспективным материалом для оптоэлектроники, например, для разработки фотодетекторов и прозрачных солнечных элементов. Собственная проводимость нанотрубок не очень высокая. Чтобы ее повысить или изменить в желательном направлении, их допируют различными соединениями, что приводит к увеличению проводимости постоянного или низкочастотного тока. При этом пропускная способность в видимой области почти не меняется. По словам Елены Жуковой, о сверхпроводимости нанотрубок речь пока не идет.



Графен.Био

Биосенсоры

В 2011 году на Физтех пришла компания ViOptix — американский стартап из города Боулдера, Колорадо. Один из основателей компании — Вячеслав Петропавловских, выпускник Физтеха. Здесь сотрудники ViOptix провели курс обучения работе с производимым ими прибором — биосенсором. Этот прибор представляет из себя кейс, в котором находится лазер, оптическая система и система микрофлюидики — маленькие трубки с переключателями, которые могут забирать раствор и подводить к стеклянной пластинке с тонкой металлической пленкой и биослоями сверху. На пластинку прикрепляют молекулярные мишени. Прибор точно отслеживает с помощью оптического метода, как меняется масса молекул на поверхности этого чипа.

«Молекулы прикрепляются на поверхность биосенсорного чипа с помощью связующего слоя из оксида графена. Если светить на металлическую пленку через призму, угол минимального отражения будет меняться в ходе изменения массы молекул на поверхности пластинки. Так можно наблюдать в реальном времени за биохимическими реакциями и, соответственно, извлекать из них кинетику. Это практически единственный метод, как можно получить кинетику таких реакций, что обусловило популярность этого прибора у фармакологов. Для них очень важно исследовать, как лекарство действует на

Полученный результат — увеличение чувствительности прибора в 30 раз

какую-то мишень в организме», — описывает старший научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ Юрий Стебунов.

В последнее время на рынок начали выходить так называемые биодженерики, то есть «копии» биотехнологических лекарств. В их число входят лекарства от рака на основе антител. Однако есть проблема: невозможно синтезировать идентичное антитело. Молекулу с химической формулой, как у аспирина, можно получить точно такую же, но и она будет по-другому действовать в зависимости от того, как ее упаковать в таблетку. С биодженериком такое невозможно вовсе.

Используемые в подобных лекарствах молекулы очень большие, они состоят из аминокислот и синтезируются клетками. После того как клетка произвела такую молекулу, она может принять другую конформацию. То есть даже если химический состав молекул будет одинаков, они могут действовать очень по-разному.

И сейчас на рынке уже представлены биодженерики, которые на первый взгляд должны работать как оригинальное лекарство, а стоят в 5-10 раз дешевле. Но при детальном изучении с помощью биосенсора обнаруживается, что лекарство абсолютно по-другому работает. Организации FDA (Food and Drug Administration) в США и EMA (European Medicines Agency) в Европе вставляют в регламенты испытаний обязательное тестирование биодженериков этими приборами. Изучается также и то, как собственный иммунитет человека реагирует на эти лекарства: после приема биодженерика у пациента берут анализ крови. Антитела в крови также проверяют с помощью биосенсора.

«Однако он не может использоваться на всех стадиях разработки лекарств, потому что у него недостаточно высокая чувствительность. В организме есть целый ряд интересных молекул — рецепторов. И сейчас больше половины новых лекарств действуют на них. Поэтому было бы очень интересно посмотреть, как именно лекарство действует на рецептор, как оно связывается, и численно это измерить. Но сделать это с помощью биосенсора сейчас невозможно. Рецептор очень большой, а молекула очень маленькая, и нам не хватает чувствительности, чтобы посмотреть, как она присоединяется. Мы стали думать, как повысить чувстви-

Оптический стол в лаборатории нанооптики и плазмоники





Графен хорошо проводит ток, при этом доказано, что он биосовместим: на нем растут клетки

тельность прибора, и предложили для этого использовать графен, оксид графена и ряд других двумерных материалов», — делится Юрий Стебунов.

Изначально на пластинку наносился полимерный гидрогель, к которому цепляются исследуемые молекулы. В лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ заменили гидрогель на оксид графена. Поскольку это двумерный материал, его площадь поверхности на единицу массы или объема максимальна из всех возможных. Большая площадь поверхности означает, что будет прикрепляться больше молекул, то есть большую чувствительность измерений. Полученный результат — увеличение чувствительности прибора в 30 раз.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Юрий Стебунов, старший научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ:

— Как делается такой биосенсор? Берется специальная стеклянная подложка. После химической и плазменной очистки на нее в чистой зоне напыляют металлические пленки и получают базовую подложку для биосенсорного чипа. Нами разработана технология нанесения тонких слоев оксида графена для создания связующих слоев на таких подложках. Далее готовый биосенсорный чип можно вставить в специальный контейнер-держатель (для конкретного коммерческого прибора он свой) — и все, можно использовать. От идеи до фактической реализации у нас ушло около семи лет, большая часть времени ушла на подготовку патентов, создание компании. Сейчас мы продумали, как производить эти пластинки в количествах несколько тысяч в месяц. Рыночная стоимость одного такого чипа для потребителя может достигать до 200–300 долларов. И для большинства применений они одноразовые.

Нейроинтерфейсы

Естественным продолжением биосенсорной тематики в лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ стала разработка нейроинтерфейсов на основе двумерных материалов. Это новое направление в лаборатории. Графен хорошо проводит ток, при этом доказано, что он биосовместим: на нем растут клетки. Более того, в организме человека есть ферменты, которые его перерабатывают. То есть можно говорить о безопасности графена: все последние исследования показывают, что он нетоксичен для человека. И как электрод в нейроинтерфейсах он гораздо лучше металлов или полупроводников. Полупроводники достаточно токсичны, а электроды из металла, естественно, массивнее и оказывают более заметное воздействие на живые ткани, по сравнению с одноатомным слоем углерода, который можно назвать практически неинвазивным.

Любой нейроинтерфейс должен выполнять по крайней мере три функции: считывание, запись и обработку сигналов. Первая и вторая функции могут быть осуществлены при помощи электродов на гибкой подложке, которые непосредственно взаимодействуют с мозгом. Обрабатывающее устройство может быть вынесено наружу. В ряде лабораторий уже проведены эксперименты на мышах и крысах и показано, что графеновые нейроинтерфейсы работают.

«Мы сейчас делаем графено-металлические структуры, которые должны использоваться в нейроинтерфейсах. Изучаем их свойства. Контакт хорошего металла и графена сделать непросто. Потому что металлы по-другому растут, нежели графен. И мы подбираем условия, при которых они растут нужным образом. Для создания работающего прототипа еще многое предстоит сделать, но мы оптимистичны и предполагаем сделать такой нейроинтерфейс в течение двух лет», — заключает Юрий Стебунов. →

Графеновая фотоника

«Мы занимаемся двумерными материалами для приложений в оптоэлектронике: в основном для фотодетекторов и для источников излучения разных частот. Эта задача может показаться уже решенной — действительно, лазеры и датчики излучения есть повсюду, без них нашу жизнь невозможно представить. Но на самом деле они существуют далеко не для всех длин волн. Оказывается, на шкале электромагнитного излучения, которая висит в любом кабинете физики, есть темные пятна, где практически ничто не светит и не детектирует. И одно из таких темных пятен — это терагерцовый диапазон: от 0,1 ТГц до 10 ТГц, то есть длины волн порядка миллиметра. Большинство полупроводниковых материалов пассивны для этого излучения, они его не по-



Фотодетектор на основе графена

На основе графена можно создавать эффективные детекторы и источники терагерцового излучения

Сотрудники лаборатории оптоэлектроники двумерных материалов

глощают и, соответственно, не излучают», — рассказывает заведующий лабораторией оптоэлектроники двумерных материалов МФТИ Дмитрий Свинцов.

Графен и его модификации взаимодействуют с терагерцовым излучением. Это связано с тем, что у него другая структура энергетических уровней, нежели у привычных материалов. Например, в атоме водорода энергетические уровни разнесены на единицы электрон-вольт и, соответственно, поглотиться может только фотон с маленькой длиной волны, то есть с большой энергией. В графене эти уровни лежат гораздо ближе друг к другу, он взаимодействует с фотонами малой энергии, а значит, на основе графена можно создавать эффективные детекторы и источники терагерцового излучения.

Говоря более научным языком, минимальная энергия фотона, которую может поглотить полупроводник, называется шириной запрещенной зоны. И для терагерцовых приложений нужны материалы с узкой запрещенной зоной. В графене же ее вообще нет: валентная зона и зона проводимости слипаются вплотную.

Двумерность графена, точнее то, что он представляет собой атомарную плоскость, удобна для его применения в технологии. Компактность позволяет легко разместить этот материал в оптическом волноводе или сделать фотодетектор на чипе.



Разработка фотодетектора

«Фотодетектор на основе графена будет представлять собой не просто фоточувствительную плоскость из этого материала, его устройство сложнее. Мы работаем с транзисторными фотодетекторами, где у графена есть два электрических контакта — сток и исток, а также управляющий контакт — изолированный затвор. Сток и исток выводятся на антенну, напоминающую галстук-бабочку, в узле которой находится графен. Задача этой антенны — сфокусировать падающее излучение на графен. Под действием излучения между этими двумя контактами возникает фотоотклик — постоянное напряжение. Так выглядит наиболее перспективная конструкция прибора», — продолжает Дмитрий Свинцов.

Потребность в малошумящих фотодетекторах остро испытывается и в более привычных областях спектра, например, в среднем ИК-диапазоне, где длина волны составляет около 5–10 микрон. В этой области находятся многие спектральные линии поглощения органических молекул. Сейчас в этом диапазоне чаще всего применяются полупроводниковые детекторы на основе кадмия, ртути и теллура. Для подавления шумов существующие детекторы надо охлаждать до температуры жидкого азота. Одним из главных стимулов к исследованию

Фотография терагерцового детектора на основе графена. Терагерцовое излучение собирается антенной-бабочкой и фокусируется на слой графена в центре. В самом графене высокочастотный сигнал конвертируется в постоянный фототок I_{ph} , который измеряется амперметром



Одним из главных стимулов исследования графеновых инфракрасных фотодетекторов является возможность их работы при комнатной температуре

графеновых инфракрасных фотодетекторов является возможность их работы при комнатной температуре.

Фотодетекторы на основе графена будут обладать широкой полосой длин волн, в которой будет возможно принимать излучение, низким уровнем шумов и высокой чувствительностью по сравнению с представленными сегодня на рынке приборами. Благодаря высокой электронной подвижности в графене эти детекторы будут работать очень быстро — то есть обладать коротким временем отклика, порядка пикосекунд. Недавние исследования сотрудников МФТИ Дмитрия Свинцова и Георгия Федорова, а также их коллег из университета Манчесте-

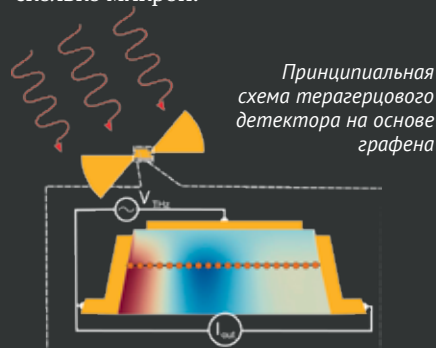
ра (родины графена) и Московского педагогического государственного университета выявили еще одно удивительное явление*. Оказалось, что электроны в графене под действием терагерцового излучения могут резонировать подобно гитарной струне, и частоту этого резонанса можно менять с помощью электрического напряжения — подобно изменению частоты струны путем напряжения механического. Это открытие позволит создавать детекторы, чувствительные не только к интенсивности, но и к частоте излучения, — то есть полноценные спектрометры размером всего в несколько микрон.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Дмитрий Свинцов, заведующий лабораторией оптоэлектроники двумерных материалов МФТИ:

— В графене существует множество механизмов фотодетектирования, или превращения света в ток. Некоторые из них присущи только графену и не реализуются в привычных материалах — кремнии, германии и арсениде галлия. Обычно фотодетектирование происходит при растаскивании электрон-дырочных пар, которые образуются при освещении полупроводникового p-n-перехода. В графене к этому добавляются сильные термоэлектрические эффекты. В исследуемой нами схеме транзисторного фотодетектора дополнительный фототок возникает из-за асимметричного эффекта поля. Важно, что все три механизма детектирования работают сообща и тянут ток в одну сторону.

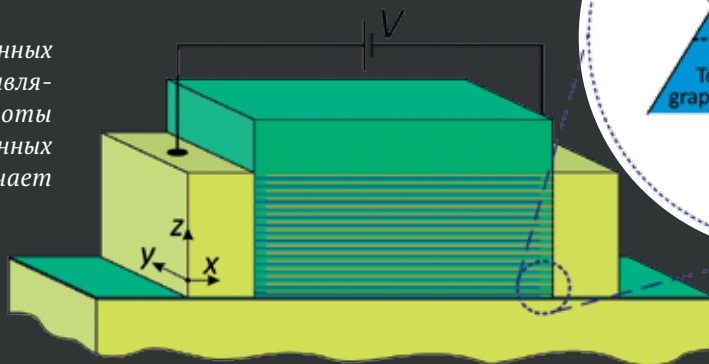


* (D. A. Bandurín, D. Svinцов, I. Gayduchenko, S. G. Xu, A. Principi, M. Moskotin, I. Tretyakov, D. Yagodkin, S. Zhukov, T. Taniguchi, K. Watanabe, I. V. Grigorieva, M. Polini, G. Goltsman, A. K. Geim, G. Fedorov "Resonant Terahertz Detection Using Graphene Plasmons" arXiv:1807.04703 — принято к печати в Nature Communications).

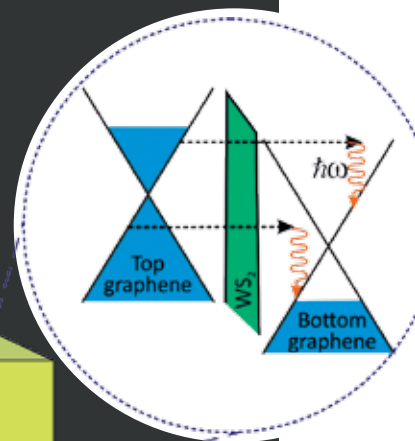
Создание источника излучения

«Предел частоты излучения современных полупроводниковых лазеров составляет порядка 10 ТГц. Предел рабочей частоты генераторов, основанных на радиоэлектронных принципах — около 0,1 ТГц. Все, что излучает в промежуточной области, — в так называемой терагерцовой щели — требует либо низких температур, либо огромной подводимой мощности при низком КПД. Мы работаем над закрытием терагерцовой щели с помощью приборов на основе двумерных электронных систем. Движемся мы одновременно с двух сторон — и со стороны радиоэлектроники, с низких частот, и со стороны фотоники, с высоких частот», — говорит Дмитрий Свинцов.

В двумерных электронных системах, например, в графене и теллуриде кадмия-ртути, можно сблизить энергетические уровни электронов и дырок так, чтобы излучение лежало в желаемом терагерцовом диапазоне. Но этого недостаточно: необходимо, чтобы при взаимном уничтожении электрона и дырки энергия уходила в свет, а не в тепло. Решение последней проблемы возможно благодаря тому, что электроны и дырки во многих двумерных системах похожи по своим свойствам на релятивистские электроны и позитроны в ускорителях элементарных частиц. А для последних безызлучательная рекомбинация запрещена законами сохранения. Реализация идеи запрета безызлучательной рекомбинации в двумерных системах — одно из ключевых направлений работы лаборатории оптоэлектроники двумерных материалов. Недавние теоретические исследования ее сотрудников, а также эксперименты, проведенные их коллегами в университете Тохоку и Институте физики микроструктур РАН,



Принципиальная схема лазера на основе структуры «графен-диэлектрик-графен», использующей явление резонансного туннелирования. На вставке: энергетическая диаграмма туннелирования электрона между слоями графена с испусканием фотона



подтверждают возможность создания эффективного терагерцового лазера на основе двумерных электронов.

«Вторым фронтом мы наступаем на терагерцовую щель со стороны низких частот, используя принципы СВЧ-электроники. Мы работаем над генерацией терагерцового излучения при пропускании постоянного тока в транзисторах с двумерным каналом. Дело в том, что постоянный электрический ток при некоторых условиях переходит в быстропеременный режим, а переменное движение заряженных частиц приводит к излучению. Полевой транзистор с двумерным каналом здесь аналогичен флейте, где постоянный поток воздуха рождает звук», — поясняет Дмитрий Свинцов.

До недавнего времени гидродинамическое описание течения электронов считалось самым примитивным, и исследователи все больше обращались к продвинутой квантовой механике для описания переноса тока. Возвращение к идеям гидродинамики и переосмысление законов протекания тока произошло, опять же, благодаря графену. Манчестерская группа Андрея Гейма продемонстрировала в графене возникновение «водоветров» в потоке электронов, что свидетельствует в пользу гидродинамического характера течения. Эти исследования, а также теоретические работы ученых из лаборатории оптоэлектроники двумерных материалов МФТИ, говорят о возможности создания терагерцовых источников излучения на основе неустойчивостей электронных потоков.

СПРАВКА

Принцип работы полупроводникового лазера состоит в стимулированном излучении света при взаимном уничтожении электрона и дырки. Необходимыми условиями лазерной генерации являются одновременное присутствие множества электронов и дырок — состояние инверсной заселенности, а также многократное прохождение фотона через активный слой полупроводника — это достигается созданием лазерного резонатора.

Графеновому центру на Физтехе быть?

Иллюстрация структуры графена



Двумерные материалы — своего рода новая «квантовая механика» XXI века. Количество публикаций по этой теме выросло с 0,2% от всех научных статей в 2010 году до 1,3% в 2017. Для сравнения, число публикаций с упоминанием слова «лазер» составляет около 1,7%. С двумерными материалами связаны большие ожидания в части их практического применения в самых различных областях — фотонике и электронике, авиастроении, технологиях освоения космоса, вооружении и военной технике, а также энергетической отрасли.

Эти ожидания привели к созданию по всему миру специализированных научных центров. В Европе и Азии именно в графеновых центрах выполняются наиболее значимые исследования в области двумерных материалов. Такие центры уже сегодня помогают осуществлять переход от фундаментальных исследований к передовым технологиям. И если наша страна не хочет остаться на обочине в гонке современных технологий, создание графенового центра, например, подобного Национальному институту графена в Манчестере, просто необходимо.

В Европе и Азии именно в графеновых центрах выполняются наиболее значимые исследования в области двумерных материалов

Семь десятилетий назад одним из прообразов создававшегося Физтеха был Кембриджский университет, в котором долгое время работал Пётр Капица — один из отцов-основателей нашего института. Кажется, опыт перенесения успешных западных моделей научных учреждений на отечественную почву в Долгопрудном уже неплохо отработан. Возможно, стоило бы всерьез задуматься о создании Национального научно-образовательного и инжинирингового центра графена и 2D-материалов именно на Физтехе?

«Я согласен с нобелевским лауреатом Жоресом Алфёровым, что главное для успеха науки — потребность своей промышленности. Сегодня в промышленности есть потребность в передовой науке, хотя, возможно, они еще не совсем это осознают. Когда-то давно я придумал формулу, которая мне казалась оригинальной. Слепо копировать то, что делается на Западе, конечно, можно. Но наступит момент, когда, заимствуя, вы не сможете понять, зачем в этом устройстве такой-то элемент. Если вы не будете заниматься наукой, постепенно утратите понимание, и заимствование станет бессмысленным. А сегодня в науке главное — это финансирование. И графеновому центру



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Борис Горшунов, заведующий лабораторией терагерцовой спектроскопии МФТИ:

— Сегодня в России существует острейшая необходимость в изучении свойств графена и его внедрении в практические разработки. И одного энтузиазма исследователей различных уровней здесь недостаточно. Определяющее значение имеет финансирование исследований и разработок. В очередной раз мы получили этому яркое подтверждение во время нашего посещения церемонии открытия графенового центра в городе Вэйхай в Китае. Щедрое государственное финансирование не только способствует выдвиганию Китая на передовые позиции в данной области, но и привлекает в курортный город ученых и инженеров со всего мира. Думаю, что концентрация уже ведущихся в МФТИ фундаментальных исследований и практических разработок послужит хорошей затравкой для более масштабного исследования двумерных материалов и возможностей их применения для нужд нашей экономики.

на Физтехе безусловно быть, если на это будут выделены деньги, конечно. Это было бы правильно, потому что в Европе, США, Южной Корее, Японии и особенно в Китае на эти исследования выделяются очень большие средства», — считает заведующий лабораторией двумерных материалов и наноструктур Виктор Рыжий. эн



✍ Вячеслав Мецеринов, Алёна Гунаисова

«Чтобы благополучно выживать в науке, нужно очень быстро бежать»

Нобелевский лауреат и первооткрыватель графена Андрей Гейм в интервью журналу «За науку» и portalу ITMO.NEWS рассказал о своих взглядах на фундаментальную физику, будущее двумерных материалов, Физтех, популяризацию науки, левитацию лягушек и графеновые презервативы.

— Вы пионер исследований графена. Что привело вас в ту сферу исследований, в которой работаете сейчас, почему выбрали именно эту область?

— То, чем я сейчас занимаюсь, я называю «Графен 3.0». Графен — первый вестник из нового класса материалов, у которых нет толщины. Ничего тоньше, чем один атом, не сделаешь. Графен был снежком, который впоследствии превратился в лавину научных исследований. Область развивалась шаг за шагом, на сегодня люди занимаются двумерными материалами уже больше 10 лет. Мы здесь были первопроходцами.

*Фото: Mark Epstein,
The University of Manchester*



После нам стало интересно, как эти материалы складывать друг на друга, то есть собирать многослойные структуры. Я назвал это «Графен 2.0», поскольку это было разумным развитием идеи, этим занимались те же самые люди, а экспериментальная и теоретическая работы очень схожи.

Мы по-прежнему занимаемся тонкими материалами, но за последние несколько лет я немного «отпрыгнул» в сторону от своей специальности — квантовой физики, особенно электрических свойств твердых веществ, — и занимаюсь молекулярным транспортом. Мне интересно, как меняются свойства воды, свойства потока гелия или чего угодно, если их пустить не в обычные трубы, а в трубы толщиной в несколько атомов. Мы научились вместо графена делать пустое место, антиграфен. Свойства полостей, как они разрешают молекулам течь, — новая экспериментальная система, никто этого не делал. Существует куча интересных явлений, которые мы опубликовали, но нужно развивать эту область, посмотреть, как свойства воды меняются, если ее так ограничивать.

Это вопросы не праздные, поскольку вся жизнь состоит из воды. Всегда считалось, что вода — самый поляризуемый из всех известных материалов. В одной из последних работ мы нашли, что у поверхности вода совсем теряет свою поляризованность. Это один пример того, что имеет множество приложений для всевозможных областей исследований не только в физике, но и в биологии.

Большое видно издали. Что графен вырастет в такую большую область, стало очевидно только через несколько лет. Мы делаем первые шаги в области молекулярного транспорта, но знать, как ведет себя вода у поверхности, важно для катализа. Работа батареи в вашем компьютере во многом основана на присутствии воды, на том, как про-



Графеновый аэрогель — самый легкий твердый материал в мире

Графен был снежком, который впоследствии превратился в лавину научных исследований

исходит ее транспорт, как работают конденсаторы. Во многих случаях там есть вода, а расстояния, на которых все это работает, — 1–2 слоя воды. Это маленький элемент в большой картине, который мы поправили в нашем мировоззрении. У некоторых это вызовет большое удивление, другим даст идеи, куда дальше двигаться.

— Возможен ли сегодня прямой квантово-механический расчет свойств графена с разными примесями, выращенного на разных подложках?

— Я всегда говорю: не бывает плохой теории, но очень часто бывают плохие приближения. Все теории строятся на конкретных приближениях, которые зачастую упрощаются. Вы можете посчитать свойства идеального графена. Однако жизнь двумерных материалов не такая простая, как теория, поэтому дело экспериментаторов — находить новые явления. Потом на основании этих явлений можно уже обсуждать: вер-

ны ли были те приближения, которые закладывались в теорию.

Что-то теория недооценивает. Например, как в графене работает электрическая проводимость? Казалось бы, уже сотни теоретиков по этому поводу все возможные вычисления сделали. Но в графене электроны двигаются не как бильярдные шары — они, оказывается, двигаются, как вязкий мед. Еще пару лет назад люди даже не догадывались, что нужно такого типа эффекты учитывать в квантово-механических расчетах. Эксперимент всегда очень важен, всегда дает идею, что правильно, что можно отбросить, а что нужно взять во внимание.

— В одном из интервью вы сказали, что история XX века свидетельствует о том, что путь новых материалов или новых лекарств от академической лаборатории до своего запуска в массовое производство обычно занимает 20–40 лет. Справедливо ли это утверждение для графена?

— Не нужно быть ученым, мыслителем, чтобы увидеть: все материалы, которые мы использовали до недавнего времени, были трехмерными. И спустя 10 тысяч лет существования цивилизации мы вдруг нашли десятки материалов, которые кардинально отличаются от материалов каменного, железного, бронзового, кремниевого веков. Это новый класс материалов. Не software: написал программку — и через несколько лет стал миллионером, как было с Facebook. Люди скоро будут думать, что телефон изобрел Стив Джобс, а компьютер — Билл Гейтс. На самом деле эта работа длилась 70 лет: изучали физику конденсированного состояния, сначала разобрались, как работают кремний и германий, потом свитчи начали делать.

Если вернуться к графену, в Китае несколько сотен компаний уже получают прибыль. Там он внедряется где угодно: даже в производстве презервативов. Они уже продаются в магазинах. У меня есть три разных →

Я всегда говорю: не бывает плохой теории, но очень часто бывают плохие приближения

экземпляра. Делают подошвы для ботинок, есть большое производство защитного покрытия в красках. Медленно, но раскручивается. Не так давно люди научились делать графен в больших количествах, не как мы — только под микроскопом. Дайте время, и через десять лет вы увидите не только лыжи и теннисные ракетки, на которых написано «графен», а что-то действительно революционное и уникальное.

— Существующая оценка науки — цитируемость, количество публикаций — это правильный, на ваш взгляд, подход? Насколько давит на ученых грантовая система финансирования исследований?

— Как сказал Грибоедов, а судьи кто? В науке тот же самый вопрос: «А судьи кто?» Кроме нас, других судей нет. Все основывается на консенсусе. Примерно 7–8 млн человек в мире занимаются наукой. Они смотрят: область новая, интересная или уже устарела и загнивает? Эти люди голосуют ногами — переходят в новую область и начинают ей заниматься.

Деньги на науку дают налогоплательщики. Это 2–3%, но все равно свои кровные деньги. А то, какие исследования финансировать, решают рееры, которые также являются учеными. Им нужно доказывать важность твоей работы, это порождает конкуренцию. Денег никогда на всех не хватит, поэтому это неизбежная составляющая науки: нужно писать заявки на гранты и хорошие статьи.

Жизнь в науке, особенно фундаментальной, несладкая. Это не стометровка — это марафон на всю жизнь, поэтому нужно всю жизнь учиться

Неважно, в каком журнале статью опубликовать: если на нее будут ссылаться, значит, это хорошая статья.

Число ссылок на статью говорит, насколько ты успешный, насколько коллеги уважают твой результат. Как в Олимпийских играх, всегда будут те, кто не прошел отбор. Им нужно находить, в чем они сильны. Конкуренция в науке высока, как и в спорте.

В Европе это не так сильно проявляется, а в Америке люди в моей позиции — полные профессора — все свое время тратят на написание заявок на гранты. И лишь раз в неделю или в месяц — разговоры со студентами. Не могу похвастаться: большая часть моего времени уходит на написание статей для моих студентов и аспирантов. Когда хорошие результаты представлены плохо, сердце кровью обливается. Лучше ли это, чем писать гранты, или хуже, не знаю, но тоже много бюрократии.

— Как вы относитесь к популяризации науки? Ведь уважение и признание в научном сообществе безусловно важны, но как обстоят дела с донесением результатов научных исследований до широкой аудитории — тех самых налогоплательщиков. И нужно ли это?

— А как иначе? Сначала налогоплательщики не понимают, потом правители перестают. Люди по-прежнему к науке относятся с уважением, особенно люди с образованием. Если бы этого не было, все деньги шли бы на хлеб с маслом, и было бы так же, как в Африке, где на науку ничего не тратится. Как известно, эта спираль приводит к крушению экономики.

Поэтому к людям, которые умеют и любят представлять научные результаты, я отношусь с большим уважением. Среди моих знакомых профессоров многие с ухмылочкой смотрят на тех, кто выступает по телевидению. В нашем департаменте работает Брайан Кокс (английский физик, профессор Манчестерского университета и известный популяризатор науки — прим. ред.). Большинство ученых относятся к нему со скепсисом: «Он не настоящий профессор, ничего в науке не сделал». Но очень важно кому-то этим делом заниматься, если такие косноязычные, как я, не могут представить свои результаты людям.

— Стремятся ли молодые ученые сейчас заниматься фундаментальными исследованиями?

— Люди пробуют свои силы, кому-то не нравится. Жизнь в науке, особенно фундаментальной, несладкая. Когда вы аспирант, вам кажется, что приходите на работу наукой заниматься. Когда получаете постоянную работу, на вас и учеба наваливается, и нужно заявки на гранты писать, статьи пропихивать в журналы. Сплошная нервотрепка, от которой люди сидят. Выжить всегда, конечно, можно, но чтобы благополучно выживать, нужно очень быстро бежать. Это не стометровка — это марафон на всю жизнь, поэтому нужно всю жизнь учиться.



Национальный институт графена в Манчестере. Источник: www.manchester.ac.uk



Нобелевские лауреаты Андрей Гейм и Константин Новосёлов в Манчестере.
Фото: Jon Super/AP

Кому-то это нравится, как мне. У меня столько адреналина каждый раз, когда открываю referee report на свою статью. Я так и не привык. Быть нобелевским лауреатом не помогает при этом. «А, нобелевский лауреат? Давайте поучим, как науку по-настоящему делать». Вечером, чтобы спокойно спать, я не открываю комментарии рецензентов никогда.

Адреналина хватает, что-то новое узнаешь всю жизнь. Некоторые молодые люди из того же теста слеплены и хотят пробивать дорогу в науке. Однако среди тех ученых, кто трудился под моим началом, наиболее успешными стали те, кто приходил PhD-студентами, когда немножко расслабуха и можно о душе подумать. В аспирантуре достаточно несложно выучить верный стиль работы. Меняться же на постдоке часто бывает тяжело, уже существует внешнее давление: нужно публиковаться, искать гранты. Если у вас был не слишком удачный научный руководитель, потом очень тяжело перестроиться, если вообще возможно.

— Работаете ли вы с кем-то с Физтеха? Видите ли перемены

К людям, которые умеют и любят представлять научные результаты, я отношусь с большим уважением

ны в подготовке российских ученых?

— Когда я переехал за границу и появились деньги, чтобы нанимать кого-то на работу, из любви к альма-матер я, конечно, никого, кроме физтехов, брать не хотел. И то ли физтехи изменились, то ли что-то со всей системой стало, но все попытки, кроме Кости Новосёлова, были очень неудачными. Костю мне посоветовал мой хороший друг из Черногоровки.

В какой-то момент я просто махнул рукой не только на физтехов, но и на всех российских ученых, поскольку решил, что у них нет времени на то, чтобы наукой заниматься, — ведь им нужно семьи кормить. Так, наверное, складывалась ситуация у многих, кто заканчивал институт в конце 90-х — начале 2000-х годов.

Четыре года назад ко мне пришел первый за долгое время молодой ученый из России — Денис Бандурин, выпускник МГУ, — и оказался хорошим. Еще через три года пришел Алексей Бердюгин, физтех. От них обоих просто замечательное впечатление.

Еще ко мне год назад приехали люди с Физтеха, AFM-щики (AFM — atomic-force microscope — прим. ред.).

Причем одному из них за 60, Славик Дрёмов (Вячеслав Дрёмов — старший научный сотрудник лаборатории топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах, к.ф.-м.н. — прим. ред.) приехал с относительно молодым парнем, у которого

своя лаборатория в МФТИ (Василий Столяров — заместитель заведующего лабораторией топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах, к.ф.-м.н. — прим. ред.). Они работают на очень высоком уровне. Техника и квалификация совершенно замечательная.

В какой-то момент произошел bottom out — и ситуация переломилась к лучшему, и сейчас что-то происходит, особенно на Физтехе, в Сколково что-то происходит. Физтех твердо становится на обе ноги. Может быть, я раньше не замечал, но это случилось только лет пять назад.

— Как изменилась работа в вашей группе после получения Нобелевской премии? Проводите ли вы пятничные эксперименты?

— Пятничных экспериментов никогда не было — их придумали журналисты. Я когда-то рассказал, как, напившись в пятницу вечером, левитировал лягушку. И они решили, что мы каждую пятницу напиваемся и идем в лабораторию.

Впрочем, это в некотором смысле хороший стиль работы — не замыкаться на одном направлении. Как я обычно говорю, с научной колыбели до научного гроба по одним и тем же рельсам шпарить. Везде такое есть. В Советском Союзе это была очень популярная история. Люди начинают делать свою кандидатскую, докторскую работу — и делают одно и то же до пенсии, сорок лет. Профессионализм нужен в любом деле, но в то же время нужно смотреть, что есть и в стороне.

Прыгать, как лягушка, с одной области на другую. Даже если никакого знания нет, но есть научный бэкграунд, можно прыгнуть в другую область и посмотреть со своей точки зрения, что ты там можешь сделать. Особенно хорошо это делать со студентами. Они твоему слову верят, у них три или четыре года впереди, поэтому они работают с большим энтузиазмом. **эн**



Денис Бандурин

Родина графена. Взгляд изнутри

Опыт работы с нобелевскими лауреатами могут похвастаться далеко не все крупные ученые. Что же до студентов и аспирантов, шанс заниматься наукой под началом такого человека выпадает единицам. Мы поговорили с Денисом Бандуриным — молодым российским ученым из группы Андрея Гейма — о том, что представляет из себя Национальный институт графена в Манчестере и каково это — трудиться под научным руководством пионера в области исследований двумерных материалов.

— Расскажи, как ты попал в лабораторию к Андрею Гейму? Сложно ли это было? Работает ли у вас еще кто-то из России?

— В Манчестере довольно много сотрудников родом из постсоветского пространства. Например, в одно время со мной в аспирантуре учились бывшие студенты Физтеха Алексей Бердюгин и Давид Казарян. Путь у нас был, наверное, одинаковый. Открывался набор студентов — мы подавали свои резюме.

Уже в России моей тематикой был графен и другие углеродные наноматериалы. Я занимался полевой эмиссией в МГУ. И там получил некоторые представления о том, что такое графен. После этого было уже проще ориентироваться в Манчестере. Туда я поехал на PhD. Это было в марте 2014 года, сразу после защиты диплома.

— Ты проходил какое-то собеседование прежде, чем тебя взяли?

— Да, у меня было собеседование с Ириной Григорьевой (супругой Андрея Гейма — прим. ред.), профессором

в Манчестерском университете. Я в течение часа рассказывал о том, чем занимался в Москве. У меня к тому моменту уже было две публикации, которые, вероятно, помогли с приемом на работу и в аспирантуру в Манчестере. Видимо, мне удалось показать, что в Москве я занимался чем-то осознанным, и поэтому я получил оффер.

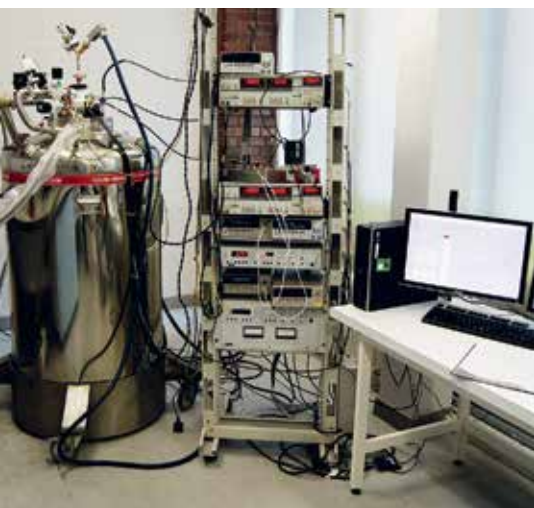
— Какие задачи перед тобой ставили?

— Задачи совершенно разного характера. Я начинал заниматься созданием образцов. Пытался заниматься разными темами как физик, был и некоторый элемент химии в моих исследованиях. Потом я сосредоточился на электронном транспорте — той теме, которой я занимаюсь последние годы вместе с Андреем и Ириной.

— Как у вас в лаборатории ведется работа? Андрей принимает непосредственное участие в исследованиях, или он эти процессы только курирует?

— Я знаю, что во многих группах работа происходит так: есть большой босс, который сидит где-то в кабинете, и ты его редко видишь. С Андреем абсолютно не так. Это совершенно уникальный, удивительный человек, которого ты можешь встретить в коридоре, сказать: «Можно я вам что-то покажу?» Он всегда придет и с тобой пообщается. Он может прийти просто потому, что ему интересно, спросит: «Что-нибудь интересенькое есть?», сядет — и вы с ним все обсудите.

Я был у Андрея PhD-студентом, и это самое крутое время, которое у меня было, потому что я целыми днями был



Рабочая установка аспиранта-измерителя. Большая бочка с гелием, в которую опускается образец и охлаждается до 4 К. К образцу подключают множество приборов для измерения его свойств

Я был у Андрея PhD-студентом, и это самое крутое время, которое у меня было, потому что я целыми днями был погружен в передовую науку

Выпускники Физтеха,
аспиранты
лаборатории физики
конденсированного
состояния вещества
Алексей Бердюгин
и Давид Казарян



Получается, не получается — ты должен делать то, что нужно, и выключать эмоции

погружен в передовую науку. Это невероятное счастье — заниматься наукой с Андреем и Ириной. Когда вы переходите к вопросам физики, они дают тебе определенную свободу действий, в то же время задают очень правильное направление. То есть, с одной стороны, у тебя есть к кому прийти и сказать: «У меня не получается». А с другой стороны, ты можешь начать разбираться в каком-то вопросе, тебя оставят на некоторое время покопаться в этом. Затем ты расскажешь — тебя выслушают и скажут, что делать дальше.

Добавлю, что для меня работа с Андреем — это что-то совершенно невероятное. Ты учишься такому количеству всевозможных навыков. Ты видишь, что он думает не так, как мы, а совершенно иначе. А еще Андрей очень здорово пишет статьи. Он и нас учит писать, чтобы мы пытались правильно мыслить. Это безумно сложно. Если посмотреть на обыденные научные статьи, в том числе и мои, обнаружится, что никто толком не умеет писать. Нам всем нужно учиться писать у Андрея. Если почитать его статьи — они читаются легко, как маленькие рассказы.

— **А сколько у вас людей всего в группе?**

— Трудно даже сосчитать. В нашей лаборатории физики конденсированного состояния вещества очень много подгрупп и много разных тематик. Сейчас в Манчестере построили огромный центр — Национальный графеновый институт. И некоторые люди действительно работают только с Андреем, некоторые работают в своих группах. Поэтому само комьюнити, которое занимается графеном в Манчестере, колоссальное. Электронным транспортом вместе с Андреем занимается человек 15–20. Есть люди, которые делают образцы, есть люди, которые их измеряют.

— **Хотелось бы задать тебе еще один вопрос. Вряд ли для тебя секрет, что в какой-то момент у большого количества ребят, которые погружаются в физику, случается кризис, происходит**

разочарование в своем выборе, если, например, не повезло с научным руководителем. По многим пунктам должно повезти, чтобы ты сразу понял, что это действительно дело твоей жизни. Что, по-твоему, стоит предпринимать тем, кому все-таки не повезло сразу?

— Меньше об этом думать. Нужно делать по максимуму, что можешь. Ты в любом случае начинаешь заниматься какой-то темой со своим научным руководителем. Пока ты студент или аспирант, ты не можешь заниматься тем, что тебе самому кажется правильным. Получается, не получается — ты должен делать то, что нужно, и выключать эмоции. И когда ты сделал свой проект, даже если он не получился, нужно идти дальше. Если не нравится работа в одной лаборатории, нужно все равно выложиться, а потом делать дальнейшие выводы. Я так это воспринимаю. В науке ведь постоянно что-то не выходит.

— **Есть ли, на твой взгляд, разница в том, как взаимоотношения внутри научного коллектива и сама научная деятельность организованы у нас, и тем, как это устроено в Европе?**

— На мой взгляд, количество времени, которое мы уделяем науке в Манчестере, превосходит время, затрачиваемое на науку в России. Поясню. Я был студентом в Москве: приходилось подрабатывать и зарабатывать деньги на жизнь. Аспирантам неизбежно нужно работать дополнительно, чтобы нормально жить, потому что стипендия в России — это не зарплата. Как результат, когда ты распределяешь свои дела таким образом, что на науку уходит 50% времени, естественно, ты ничего не можешь добиться в этой сфере. На науку должно уходить 150% времени, когда ты 24/7 в лаборатории, как, например, Андрей. Он постоянно в лаборатории — в субботу, в воскресенье. При таком подходе, скорее всего, и результат не заставит себя долго ждать. **эн**

✍ Екатерина Жданова

Бизнес: кто и как зарабатывает деньги на графене

Наш хай-тек мир гонится за новым и светлым будущим, и многим картина грядущего немислима без масштабного присутствия в ней графена.

После присуждения Андрею Гейму и Константину Новосёлову, нашим соотечественникам и выпускникам Физтеха, Нобелевской премии по физике в 2010–11 годах начался настоящий бум интереса к двумерным материалам в принципе и графену в частности. Если раньше графеном занимались в нескольких элитных лабораториях общим штатом порядка 100 человек, то теперь его изучают во всем мире, а за последние 15 лет было выпущено более 130 тысяч публикаций.

ЕЩЕ «НАШИ» И ГРАФЕН

Елена Полякова и Даниил Столяров в числе немногих «наблюдателей», способных рассказать о развитии интереса к графену от самых истоков. Оба исследователя, как и Гейм с Новосёловым, бывшие россияне и выпускники МФТИ, а также одноклассники по Южно-Калифорнийскому университету. Елена начала работу с графеном еще в 2005 году, вскоре после публикации пионерской статьи Гейма. Задачей аспирантки было определение молекулярной структуры графена, которая тогда еще была неизвестна. Елене удалось получить первые изображения материала с помощью сканирующего туннельного микроскопа. Далее последовала работа над несколькими проектами, целью которых было изучение

Китайский вертолет Z-10 с усиленной графеном броней. Источник www.defenseworld.net

различных свойств двумерного углерода, в некоторых из них принимал участие ее коллега по Физтеху и Университету Южной Калифорнии Даниил Столяров.

«Где-то через четыре года такой работы нам стало понятно, что графен будет интересен не только для ученых, но и для бизнеса. К этому моменту мы оба получили грин-карты и решили, что можно оторваться от тихого и спокойного места в академии и пуститься на поиски приключений», — говорит Елена Полякова, главный исполнительный директор Graphene 3D Lab, Inc., президент и исполнительный директор Graphene Laboratories, Inc.



КСТАТИ

Основное достоинство графена, которое гарантировало ему билет в перспективное будущее в мире прикладных технологий, заключается в способности улучшать свойства других материалов. Небольшая «щепотка» графена (менее процента, часто около десятой его доли) способна значительно влиять на механические свойства композитов, повышая сопротивление удару и образованию трещин. Также добавка борется с усталостью материалов, увеличивает тепло- и электропроводность. Магическое улучшение свойств из-за добавки легко объяснимо: материалы взаимодействуют друг с другом за счет поверхности, а у графена только она и есть, никакого объема. Вот и получается, что такое взаимодействие весьма эффективно. Для сравнения, при «усилении» материалов углеродными волокнами (конкурирующая технология) их необходимо добавлять в размере 15–30%.

ПРОДАВАЛИ ДО МЕЙНСТРИМА

В 2009 году Елена и Даниил основали компанию Graphene Laboratories, Inc. Эта организация сначала занималась тем, что предлагала графеновые материалы ученым. Все начиналось буквально с трех-четырех позиций, потом из года в год ассортимент расширялся, и сейчас на graphene-supermarket.com можно увидеть огромный выбор графеновых продуктов.

У этого бизнеса порядка 20 000 клиентов, из них примерно 10–12 тысяч — исследовательские университеты, остальная часть — различные организации. По словам создателей, каждая из крупных компаний на рынке высоких технологий что-либо да покупала у них в графеновом супермаркете. Например, NASA приобретало материалы и запускало их в космос.

Как можно заметить по дате, магазин открылся еще до вручения Нобелевской премии Гейму и Новосёлову. И это было весьма удачно: под стремительно возросший спрос на графен было предложение, и продажи [graphene-supermarket](http://graphene-supermarket.com) возросли почти в пять раз. За время существования магазина он обеспечил почти 90% всех возможных университетов мира и тем самым внес весомый вклад в развитие графеновой науки. Авторы проекта считают его успешным стартом своей карьеры и на одной продаже графена останавливаться не собираются.

Где-то через четыре года после основания графенового магазина Елена и Даниил решили, что пришло время расши-

рить спектр графеносодержащих продуктов, обогатив его материалами для промышленных потребителей. И вот, в течение последних четырех-пяти лет несколько их новых компаний занимаются исследованием полимерных композитов-гибридов для трехмерной печати, а также для изготовления проводящих клеев.

ДВИГАТЕЛИ И ТОРМОЗА ГРАФЕНОВОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Если датировать старт миропомешательства на графене присуждением Нобелевки, то можно сказать, что графеновые технологии слишком юны. В истории человечества еще ни одна технология не внедрялась в повседневность быстрее, чем за 20–30 лет.

«Главная проблема в том, что все графеновые материалы чересчур революционные, то есть у каждого потенциального применения уже есть своя более-менее устоявшаяся индустрия. Чтобы поменять то, что уже используется, надо многое переделывать — а это небыстро и непросто», — комментирует Даниил Столяров, главный исполнительный директор Graphene 3D Lab, Inc., один из основателей Graphene Laboratories, Inc.

Например, для усиления пластика и укрепления композитов сейчас широко используются углеродные волокна, с ними работать гораздо проще, и уже устоялась процедура того, как их можно добавлять в полимеры, чтобы улучшить их свойства, а для графена все процессы надо разрабатывать с нуля. И если дело не касается моды или рекламы, то многие компании пока решают «не заморачиваться», но ситуация меняется.

Сейчас индустрия на том уровне, что сам графен уже могут делать хорошо и в больших количествах. Дело стоит за коммерциализацией. Те, кто работает с графеновыми материалами сегодня, не только создают новые технологии, но и пытаются сделать так, чтобы замена старых продуктов не вызвала сложности у пользователя.

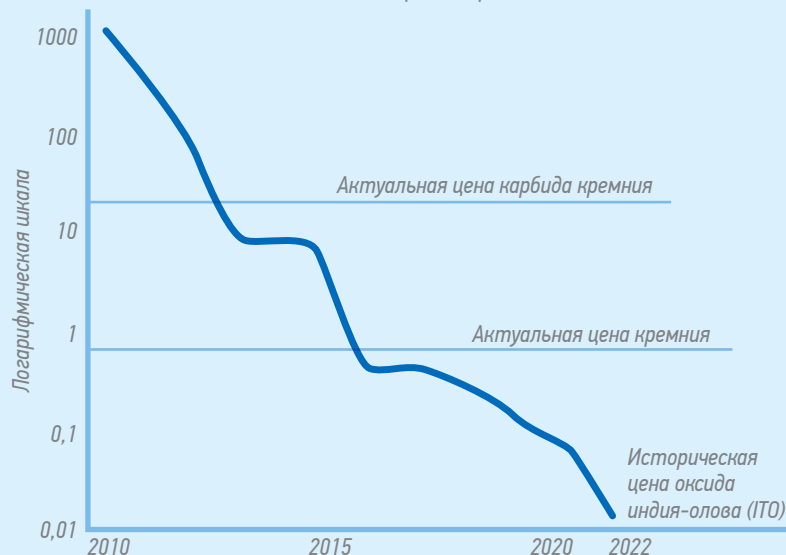
Коммерческому потребителю графен нужен в двух основных формах: в виде пленок и в виде «обогащенных» материалов.

Для выхода пленочного графена из лабораторий в «жизнь» есть основной технологический барьер: подложки, на которых можно вырастить графен, отличаются от материалов, необходимых для прило-

Графеновая пленка



Оптовая цена однослойного графена, произведенного технологией химического осаждения из газовой фазы, евро за см²



Источник: Graphene estimations

жений. Согласно комментарию Елены Поляковой, проблемы возможно решить не с помощью улучшений, а только за счет какого-то нового революционного прыжка вперед, поэтому сложно предсказать, когда это все будет широко использоваться.

В технологической области, связанной с производством графеносодержащих («обогащенных») материалов, нет особых проблем, есть понимание технических процессов. Их разработка и внедрение имеет коммерческий смысл. Графен сам по себе все еще относительно дорогой (стоит более 100 долларов за кг). Но его количество, достаточное для улучшения свойств материала, добавляет к стоимости продукта не более чем несколько долларов за килограмм.

ДРУГИЕ ИГРОКИ

«Спасибо профессорам Гейму и Новосёлову, главный их вклад — то, что они привлекли много внимания: больше людей узнало про графен и начало им играть. Многие компании начали пытаться внедрять графен в продукты, но в 2010–11 году не было такого выбора графеновых материалов, как сейчас. Поэтому большое количество компаний попробовали “поиграть” с графеном, у них что-то не получилось, и они перестали. Сейчас наблюдается вторая волна интереса: производство налажено, процессы хорошо поняты, мы можем производить мате-

риалы в больших количествах по разумной цене. Мы идем к тем компаниям, у которых 7 лет назад что-то не получилось, и сейчас мы стремимся возродить в них интерес», — рассказывает о динамике «графенового рынка» Елена.

Хотя у графенового супермаркета довольно большая аудитория, размер самого рынка маловат, чтобы говорить о конкуренции. Пока графеновые технологии — это небольшой мир, где все друг друга знают и не соревнуются между собой. Если когда-либо графен будет использоваться в больших количествах, то те, кто сегодня делает и продает графен, помогут вывести материал на рынок. Опять же, история показывает, что для внедрения нового материала нужно, чтобы его производили как минимум 7 компаний. Если нельзя материал купить из нескольких разных мест, ни одна из крупных компаний не захочет рисковать. Поэтому все игроки — не конкуренты, а скорее соратники по оружию.

«Что касается материалов для 3D-печати, то и в этом случае мы конкурируем с другими компаниями, производящими их. Также мы делаем проводящие клеи — в этом случае мы соревнуемся не с графеновыми компаниями, а с компаниями, производящими проводящие клеи. Людям ведь не так важно, есть ли внутри клея графен или нет, а важно, чтобы сопротивление было ниже какого-то уровня», — комментирует Елена ситуацию с конкуренцией в занимаемых ее проектами областях рынка.

То есть в целом важно не то, будет ли именно графен в составе новых клеевых материалов, а то, смогут ли ученые изготовить, а бизнесмены — преподнести и продать продукт, как и в любой другой инновационной области.

ГОНКА СООРУЖЕНИЙ

Мир графеновых технологий не ограничивается сегментами, занятыми компаниями Поляковой и Столярова. Существуют отдельные группы организаций, занимающихся производством самого графена. Есть компании,

СПРАВКА

Графен интересен для промышленных покупателей в двух формах. Первая — тонкие пленки в один атом толщиной, которые обычно нанесены на подложку. Такие моноатомные пленки могут быть использованы при разработке фотодетекторов, гибкой электроники и солнечных батарей. Вторая форма — порошки из графена с толщиной от одного до нескольких монослоев. Эти материалы возможно изготавливать в больших количествах. Такие порошки добавляют в полимеры, керамику и металлы. Кроме того, их используют для изготовления аккумуляторных батарей, суперконденсаторов и проводящих чернил.

производящие продукты на основе графена, их в списке ресурса graphene-info.com более пятидесяти.

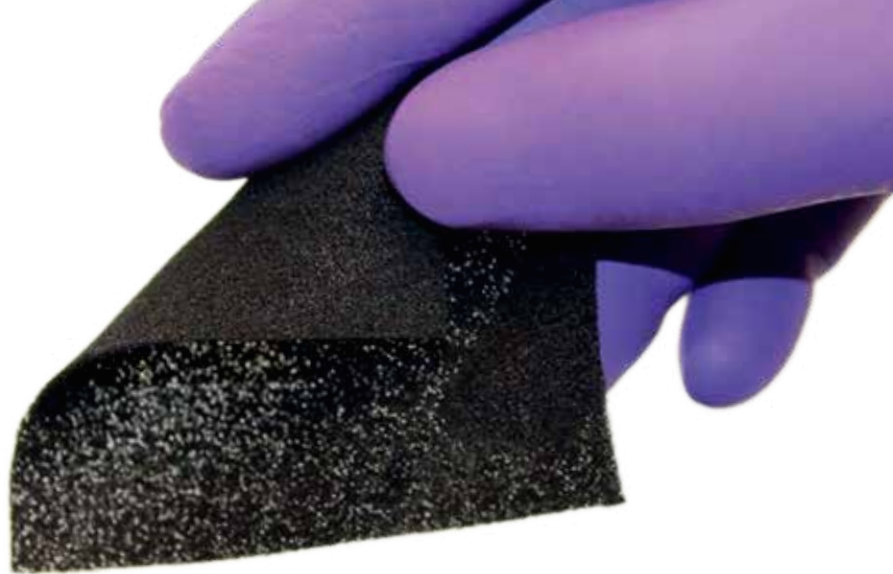
Отдельный пласт — компании, которые связаны с добычей графита. По словам директора Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ Алексея Арсенина, в Китае чуть ли не любая графитодобывающая компания открывает при университетах графеновые центры в надежде на новые применения своего сырья. Графит многими рассматривается как основное сырье для графена, тут уж грех не поисследовать и не попробовать урвать кусочек нового рынка.

Если говорить об именах, то ACS MATERIAL, NANOGRAFI, Graphenea — это братья Graphene Supermarket. Haydale наряду с Graphene 3D Lab производят модифицированные графеном материалы для 3D-принтеров. Большие компании тоже «в теме»: Xiaomi и Huawei уже используют графен в смартфонах и наушниках, Samsung и LG работают над его внедрением в аккумуляторы своих устройств. Совсем недавно Ford анонсировал использование графена для дополнительной шумоизоляции в своих автомобилях.

Китай оценивает текущий рынок графена в \$1,4 млрд

В Китае настоящий графеновый бум. Энергетические компании открывают исследовательские лаборатории по применению графена. Красивый пример — начало масштабного производства электрических кабелей из медно-графенового композита, разработанного в рамках сотрудничества китайцев с австралийским университетом (Университетом Нового Южного Уэльса). В случае успешной коммерциализации и замены существующих кабелей разработка способна сократить энергетические потери китайской промышленности на объемы годового потребления Австралии. И всего, куда находчивые китайские ученые и бизнесмены пристраивают графен, не перечсть.

Китай оценивает текущий рынок графена в \$1,4 млрд, а к 2020 г. дает оценку более \$14 млрд (согласно www.chinadaily.com.cn и <https://www.researchandmarkets.com>). Рынок только графеновой полупроводниковой индустрии, по данным McKinsey на 2030 г., оценивается в \$70 млрд, а рынок связанных полупроводниковых технологий (обработка



Гибкая графеновая пена — перспективное сырье для батарей.

Источник:
i-graphenelab.com

данных, беспроводные коммуникации, бытовая электроника) оценивается в \$190 млрд. Прогнозом не охвачены другие связанные с графеном технологии (сенсоры, нейроинтерфейсы, энергетика и композитные материалы, системы очистки воды и прочее).

НЕ УГЛЕРОДОМ ЕДИНЫМ

Графен — самый популярный из двумерных материалов, наиболее изученный и освоенный. Но вся область 2D технологий — это целый неизведанный мир. И есть фирмы, которые этот мир активно осваивают.

«Никто толком не знает ничего о свойствах двумерных материалов. Здесь все только начинается. Здесь своя физика, своя поверхностная химия. Эти материалы будут использованы для разработки электронных устройств будущего, которые придут на смену существующей электронике. Смартфоны, известная носимая электроника не будут вечными — им на смену придут другие устройства, которые будут встраиваться в одежду или, например, контактные линзы. Такие материалы интересны для интерфейсов мозг-компьютер, здесь нет никакой фантастики, над этим работают», — поясняет ситуацию Алексей Арсенин. **ЭН**

Устройство для контроля уровня глюкозы в крови на основе графена.

Источник:
www.bath.ac.uk



✍ Ильяна Золотарева, Николай Посулько

Переломный момент в войне с раком

Нобелевской премии по медицине и физиологии за 2018 год удостоились Джеймс Эллисон и Тасуку Хондзё за создание нового метода противораковой терапии. Независимо друг от друга они нашли способ активировать клетки иммунной системы для борьбы с раком.

В науке случаются открытия, которые ознаменовывают конец одной эпохи и начало другой, совершенно новой реальности. 12 апреля 1961 года Юрий Гагарин стал первым человеком в мировой истории, совершившим полет в космос, и в этот день началась новая эра в освоении космического пространства. Другим достижениям нужно много лет, чтобы их значение проявилось: например, так было с механическими часами, которые изобрели еще в XVI веке, а повсеместно их стали носить только в XIX.

Нобелевская премия по физиологии и медицине в 2018 году присуждена Джеймсу Эллисону и Тасуку Хондзё за исследование способности иммунной системы организма бороться с раковыми клетками. Подход, известный как чекпойнт-терапия «произвел переворот в лечении рака», говорится в заявлении комитета. Эллисон и Хондзё полностью изменили понимание того, как иммунная система распознает опухолевые клетки, это переворот в клинической онкологии, в том, как будут лечить рак в обозримом будущем. Джеймс Эллисон и Тасуку Хондзё совершили свое открытие еще в 90-х, а Нобелевскую премию им дали только в этом году. Давайте разберемся, почему.

КСТАТИ

Согласно завещанию Нобеля, премия вручается за открытия, изобретения и достижения, сделанные в год присуждения. Однако выяснилось, что естественнонаучные открытия должны пройти проверку временем.



Джеймс Эллисон (сверху) и Тасуку Хондзэ (снизу), нобелевские лауреаты по медицине 2018 года.

Иллюстратор Niklas Elmehed/Nobel Media

СТАНДАРТНОЕ ОРУЖИЕ

Доступные на сегодня методы лечения агрессивных видов рака, помимо хирургии, — это радиотерапия, химиотерапия и гормональная терапия. Они убивают раковые клетки, повреждая их ДНК или прерывая другие важные клеточные процессы.

Беда в том, что раковая опухоль состоит из собственных клеток тела, поэтому такие методы лечения, как лучевая и химиотерапия, не избирательны: они атакуют как больные, так и здоровые клетки. Хирургия может быть более селективной, но при некоторых видах рака, например, крови, хирургическое вмешательство невозможно.

СПРАВКА

Сейчас премия по физиологии и медицине традиционно присуждается в самом начале нобелевской недели, в первый понедельник октября. Впервые ее вручили в 1901 году Эмилю фон Берингу за создание сывороточной терапии дифтерии. За период с 1901 по 2017 год премия присуждалась 108 раз 214 ученым, в том числе 12 женщинам. Средний возраст нобелиата — 58 лет. Самым молодым лауреатом в области физиологии и медицины стал 32-летний канадец Фредерик Бантинг, в 1923 году получивший премию за изобретение инсулина. Самым пожилым оказался лауреат 1966 года американец Пейтон Роус. В возрасте 87 лет ученый удостоился премии за открытие онкогенных вирусов.

Нобелевский лауреат Пол Эрлих (Нобелевская премия присуждена ему совместно с Ильёй Мечниковым за работы в области иммунологии) впервые предположил, что иммунная система может контролировать рак, более 120 лет назад. Действительно, почему бы не приспособить эту хорошо продуманную систему?

Взять, к примеру, наши Т-лимфоциты: у них есть рецепторы для распознавания «своих» и «чужих» клеток. Если бы ученые могли просто немного подкорректировать Т-лимфоциты, чтобы те распознавали раковые клетки как «чужие», у них бы появился готовый метод терапии рака.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ЧЕКПОИНТ-ТЕРАПИИ

Но все не так просто. Задолго до Нобелевской премии этого года Эллисон и Хондзэ по отдельности обнаружили, что существуют «ускорители» и «тормоза» — специфические белки, которые, связываясь с Т-лимфоцитами, могут подавлять или активировать работу иммунной системы. Гармоничный баланс между тормозами и ускорителями позволяет иммунной системе распознавать и уничтожать чужаков, при этом не трогая своих. Стоит отметить, что слишком активный иммунитет становится причиной развития аутоиммунных заболеваний — патологий, при которых клетки иммунной системы начинают →

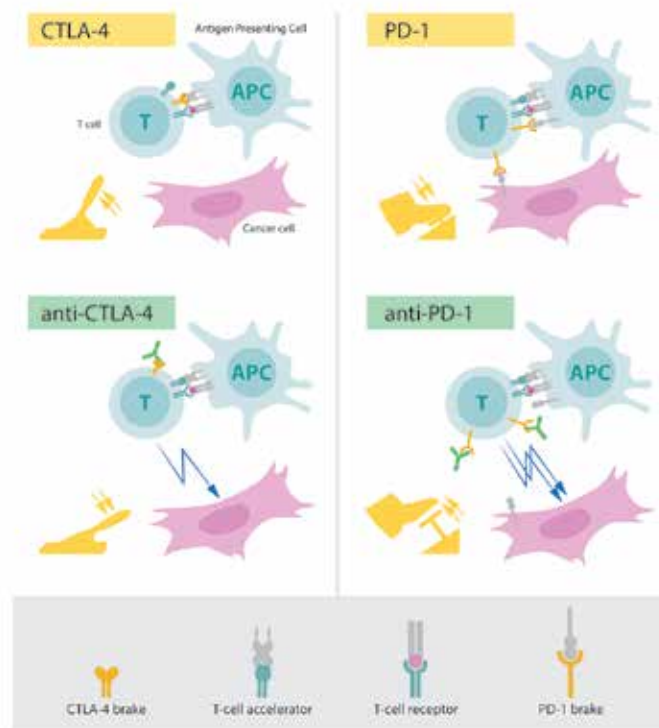


Рисунок. Верхний левый: CTLA-4 выступает тормозом Т-лимфоцитов. Нижний левый: антитела к CTLA-4 (зеленым) блокируют функцию тормоза, что приводит к активации Т-лимфоцитов, которые атакуют раковые клетки. Верхний правый: PD-1 — это еще один Т-клеточный тормоз, который ингибирует активацию Т-клеток. Нижний правый: антитела к PD-1 ингибируют функцию тормоза, активизируя Т-лимфоциты и запуская высокоэффективную атаку на раковые клетки. Источник: <https://www.nobelprize.org/>

→ работать против собственных клеток организма. Чтобы не допустить этого, существуют тормоза.

В 1990 году Джеймс Эллисон в лаборатории Университета Беркли (Калифорния) изучал рецептор под названием CTLA-4, который тормозит активность Т-лимфоцитов. В то же время фармкомпания разрабатывали препараты для лечения людей с аутоиммунными заболеваниями, основанные на усилении рецептора CTLA-4. И несмотря на то, что результаты были неплохими, Эллисона этот аспект применения CTLA-4 не интересовал. У него была идея использовать для блокировки белка антитело, чтобы освободить Т-лимфоцит из капкана для борьбы с раковыми клетками. Уже в 1994 году Эллисон поставил первый свой эксперимент на лабораторных мышках. Рабочая гипотеза была такова: Т-лимфоциты станут более активными и начнут атаковать раковые клетки.

Результаты были феноменальными! Благодаря антителам к CTLA-4, которые подавили угнетение иммунного ответа, мышам удалось вылечить. Такая

противоопухолевая терапия оказалась очень эффективной.

Практически одновременно с Джеймсом Эллисоном, в 1992 году, на другом берегу Тихого океана Таку Хондзэ в Университете Киото в Японии открыл белок Т-лимфоцитов PD-1, который также действовал в качестве тормоза иммунной системы. Блокировка PD-1 показала аналогичный результат: Т-лимфоциты атаковали опухоль. Более того, оказалось, что блокировка PD-1 подходит для более широкого спектра раковых заболеваний.

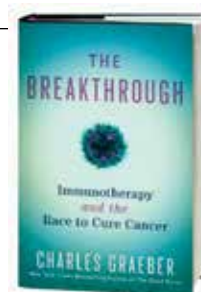
Спустя почти 20 лет, в 2010-х, результаты клинических испытаний показали, насколько важна работа Эллисона и Хондзэ. Доказано, что терапия PD-1 эффективна против рака легких, почек, кожи, а также лимфомы. Более того, комбинированная терапия блокировки CTLA-4 и PD-1 еще более эффективна у пациентов с меланомой. CTLA-4-блокирующий препарат Ipilimumab, одобренный Управлением по контролю за продуктами питания и лекарствами (FDA) в 2015 году, был первым из нового класса препаратов чекпойнт-терапии.

CTLA-4 и PD-1 — это лишь первые хорошо описанные мишени для чекпойнт-терапии: есть более десяти других, и над ними уже ведутся клинические испытания. К тому же можно бесконечно комбинировать новые чекпойнты (мишени) с теми, для которых уже доказан положительный клинический ответ у пациентов.

Сразу после объявления лауреатов Нобелевской премии по медицине и физиологии нам удалось поговорить с профессором молекулярной биологии и химии Научно-исследовательского института им. Скриппс в Ла-Холле (Калифорния) Раймондом Стивенсом (Raymond Stevens), который приехал в МФТИ на конференцию «Биомембраны-2018». Как оказалось, Стивенс работал с Джеймсом Эллисоном в университете Беркли и очень обрадовался решению комитета. «На мой взгляд, одной из главных проблем современной науки является то, что каждый ученый работает в своей области и редко объединяется с учеными из других областей для совместной работы, — сказал Стивенс. — Эта Нобелевская премия примечательна тем, что иммунология и онкология объединились, чтобы научить иммунную систему бороться с раком. Я надеюсь, что это побудит больше людей ду-

РЕКОМЕНДУЕМ

Книга
The Breakthrough:
Immunotherapy
and the Race
to Cure Cancer.
Автор
Charles Graeber.





ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Павел Волчков, руководитель лаборатории геномной инженерии МФТИ:

— Эта Нобелевская премия — подтверждение того, что собственные иммунные клетки человека — наиболее перспективное и эффективное средство борьбы с раком. Эта работа вызвала новую волну исследований, которая привела к многочисленным клиническим методам лечения рака. В недавнем выпуске журнала *Nature Medicine* от июня 2018 года ученые описали клинический случай: у пациентки диагностировали рак молочной железы со множественными метастазами, классическое лечение ей не помогло. Авторы статьи забрали Т-лимфоциты из опухоли пациентки, выделили их, амплифицировали и вернули обратно вместе с блокирующими антителами к PD-1. В результате пациентка полностью излечилась. Без фундаментальной работы Эллисона и Хондзэ этого никогда бы не произошло.

КСТАТИ

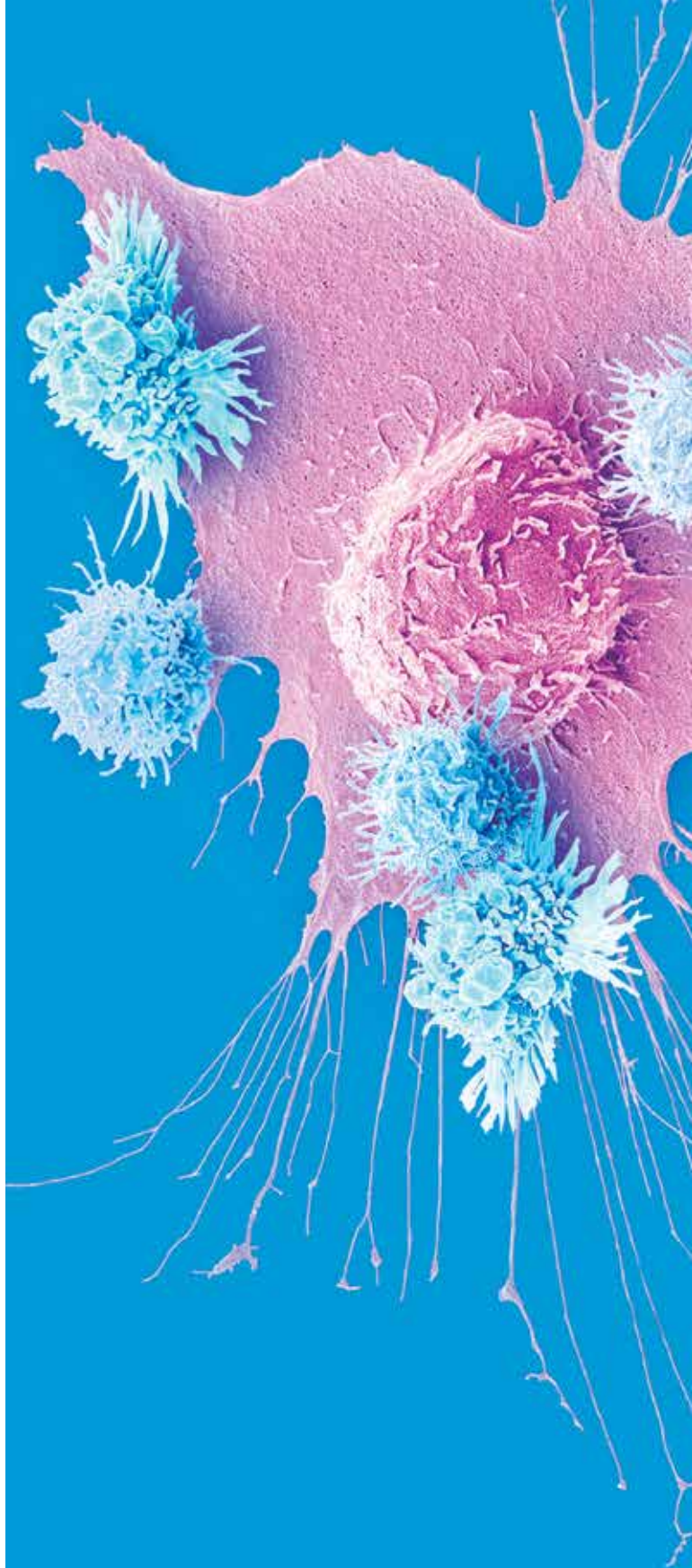
Всего два наших соотечественника были удостоены Нобелевской премии в области медицины: физиолог Иван Павлов в 1904 году за работы в области физиологии пищеварения и биолог и патолог Илья Мечников в 1908 году за исследование иммунитета.

мать: “Ого, мы можем работать на стыке разных областей и делать действительно большие открытия!”».

ЧТО ДАЛЬШЕ?

В этом году первый российский иммунотерапевтический препарат пролголимаб на основе моноклонального антитела к PD-1 показал хорошие результаты в клинических испытаниях против меланомы. Несмотря на возможный успех лечения, предсказать, поможет ли иммунотерапия конкретному пациенту, почти невозможно. На данный момент уменьшение количества или исчезновение очагов опухоли наблюдается в зависимости от режима приема у 14–44 процентов пациентов. В рамках испытаний препарата один из двух использованных режимов терапии позволил добиться уменьшения или исчезновения опухоли у 44 процентов участников, что является высоким показателем для препаратов подобного класса.

Согласно прогнозам, в ближайшем будущем у трети человечества будет диагностирован рак. И даже несмотря на успехи в области профилактики и раннего выявления рака, значительная часть этих людей будет сталкиваться с уже прогрессирующей болезнью. Хочется верить, что дальнейшие исследования на основе новаторских открытий Эллисона и Хондзэ докажут, что собственная иммунная система пациента является наиболее эффективной защитой от рака. **ЭН**



Здесь и на странице 48:

Т-лимфоцит (синим) атакует раковую клетку (розовым). Раскрашенное изображение, полученное на сканирующем электронном микроскопе.

Источник: Steve Gschmeissner/Science Source

✍ Екатерина Жданова

Сила света

В 2018 году Нобелевский комитет решил отметить работу трех ученых с общей формулировкой «за новаторские изобретения в области лазерной физики». Причем премия делится дважды пополам. Артур Эшкин награжден половиной за «оптический пинцет и его приложение к биологическим системам», а другая половина досталась совместно Жерару Муру и Донне Стрикленд «за метод генерации высокоинтенсивных ультракоротких оптических импульсов».

ПЕРЕМЕЩАЮЩИЙ СВЕТОМ

Оптический пинцет (в англоязычной литературе optical tweezers) — просто чудо чудесное: инструмент позволяет захватывать, перемещать и размещать микроскопические частицы с точностью до сотен нанометров. Причем самым замечательным для основного поля приложений — биологии — оказалось то, что метод неразрушающий: клетки и даже их части остаются вполне жизнеспособными после воздействия.

Нобелевский «именинник» Артур Эшкин свою премию заслужил сполна. Именно он сначала получил результаты о воздействии оптического рассеивания и градиентных сил на частицы, имеющие размеры порядка микрон (1970 год, статья в Physical Review Letters). В статье докладывалось о том, что микронные частицы были ускорены и удержаны в стабильной оптической трехмерной яме. Яма была организована лазером, работающим в непрерывном режиме, а удержание происходило только за счет сил светового давления. Помимо демонстрации эффекта, в статье обсуждались различные возможности подобного воздействия на атомы и молекулы и приложения реализации таких возможностей.

Годы спустя Эшкин с коллегами выпустил статью о сильно сфокусированном луче света, способном удерживать микроскопические частицы в трех измерениях. Другими словами, в 1986 году группа сообщила миру о первом оптическом пинцете. А уже в 1987 году Артур Эшкин и Джозеф М. Джиджик продемонстрировали применение технологии в биологии, захватив отдельный вирус табачной мозаики и бактерию кишечной палочки.

Начиная с 90-х годов XX века стартовало развитие силовой спектроскопии на основе оптических ловушек, где в качестве объектов исследования выступали молекулярные биологические моторы

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Александр Залесский, старший научный сотрудник лаборатории био- и нанофотоники ИХФ РАН им. Н. Н. Семёнова:

— С одной стороны, в присуждении премии Эшкиму восстановлена историческая справедливость, ведь за охлаждение атомов дали премию. Но, с другой стороны, его работу нельзя назвать переоцененной или недостойной: благодаря описанной Эшкиным технологии у биологов всего мира появился очень мощный метод, такая микрорука, которая способна делать удивительные вещи.

(например, такие молекулярные структуры, которые сокращают и расслабляют мышцы; бактериальный жгутик — тоже биомотор, и многие другие системы, которых не счесть внутри клеток). Именно оптические ловушки помогли биофизикам наблюдать наномоторы, исследовать их динамику и возникающие силы.

Оптический пинцет успешно применяют и в других областях биологии. Например, в синтетической биологии с помощью девайса можно создавать сети искусственных клеток, напоминающих ткани. С 2003 года технология применяется в сортировке клеток за счет их внутренних оптических характеристик. С помощью оптического пинцета ученые зондируют цитоскелет, измеряют вязкоупругие свойства биополимеров и изучают подвижность клеток.

Помимо расширения поля приложений, ученые также работали над уменьшением и упрощением технологии — так, чтобы она была «по карману» небольшим исследовательским бюджетам.

Одной биологией поле приложений оптического пинцета не ограничивается. Например, физики изучают свойства отдельных атомов, химики могут себе позволить проводить реакции между отдельными атомами и молекулами, инженеры



конструируют хитрые микросхемы из квантовых точек и создают трехмерные голограммы.

Стоит упомянуть, что один из соавторов пионерской работы об оптическом пинцете Стивен Чу развил технологию до применения в охлаждении атомов и получил за это Нобелевскую премию по физике в 1997 году (совместно с Клодом Коэном-Таннуджи и Уильямом Филлипсом). А основоположнику идеи пришлось подождать еще 21 год. Справедливости ради, Стивен Чу в нобелевском интервью рассказывал, что именно Эшкин первым фантазировал о том, что лазерным пинцетом можно было бы охлаждать атомы.

КАК УХВАТИТЬ КЛЕТКУ

В целом идея «силового» воздействия света сильно старше 50 лет. Еще в XVII веке Исаак Ньютон догадывался, что свет может «давить» на вещество. В XIX веке Джеймс Максвелл с помощью авторской теории электромагнитных явлений предложил подход для подсчета светового давления. Экспериментально этот эффект был измерен в начале XX века российским физиком Петром Лебедевым.

Инструмент позволяет захватывать, перемещать и размещать микроскопические частицы с точностью до сотен нанометров

Детальное объяснение физических принципов, руководящих работой оптического пинцета, зависит от относительного размера удерживаемых частиц по сравнению с длиной волны используемого лазера. В случае, когда диаметр частицы сильно превышает длину волны, для объяснения поведения частицы достаточно приближения геометрической оптики. Если длина волны гораздо больше размера частицы, поведение последней в оптической ловушке описывается моделью электрического диполя. Например, в пионерских опытах Эшкина по удержанию биообъектов вирус табачной мозаики был по своим размерам меньше длины волны света лазера, а кишечная палочка — больше.

В приближении геометрической оптики поведение частицы объясняется действующими на частицу импульсами от преломленного, отраженного и рассеянного света. Из-за преломления света луч лазера изменяет свое направление после прохождения через частицу. Свет имеет ассоциированный с ним импульс, и так как этот импульс после прохождения сквозь объект изме-



*Артур Эшкин, Жерар Муру и Донна Стрикленд (сверху вниз), нобелевские лауреаты по физике 2018 года.
Иллюстратор Niklas Elmehed/Nobel Media*

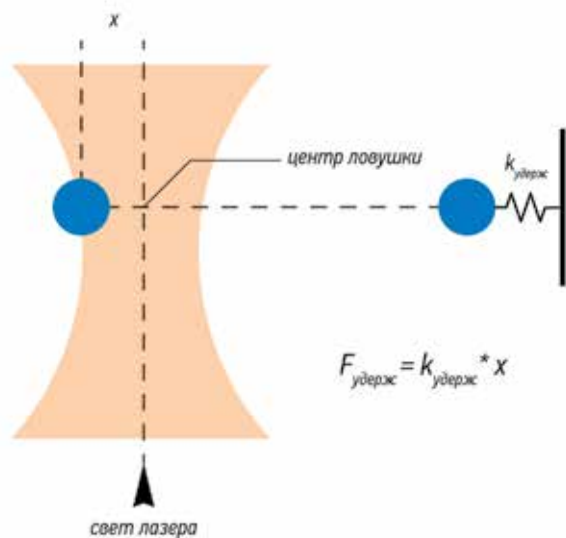


Рисунок 1. Схема принципа работы оптической ловушки

→ нилась, частица должна приобрести аналогичный по величине и противоположный по направлению импульс. Изменение импульса по второму закону Ньютона приводит к воздействию импульса силы.

Обычно профиль интенсивности в лазерном пучке имеет форму распределения Гаусса (напоминает горб одногорбого верблюда). В таком пучке интенсивность в центре максимальна и плавно убывает к краям. Соответственно, если частица смещается от центра, то равнодействующая сила стремится вернуть беглянку обратно, так как более интенсивные лучи в центре вызывают более интенсивное изменение импульса, направленное к центру. При этом на частицу действует сила, пропорциональная смещению (как упругая сила Гука). То есть чем дальше частица удаляется от центра, тем сильнее ее влечет назад (см. рисунок 1). Аналогичным принципом удерживаются ионы в трехмерных радиочастотных ловушках в масс-спектрометрии, но уже за счет электрических сил

Если частица находится в центре пучка, то отдельные лучи преломляются симметрично и не приводят к появлению боковой равнодействующей. В несфокусированном пучке существует сила, действующая вдоль оси и вызывающая перемещение прочь от источника пучка. Ее возникновение также вписывается в модель геометрической оптики — она возникает из-за давления рассеянного света.

В сфокусированном лазерном пучке, помимо стабильности в радиальном направлении, возникает и стабильность вдоль оси. В сфокусированном лазере есть место наименьшей толщины и наибольшей интенсивности — перетяжка пучка света (beam waist). Вблизи этого места и находит-

ся точка стабильности частицы, в которой силы светового давления, вызванные рассеянием и преломлением, компенсируют друг друга.

Если частица мала относительно длины волны падающего света, то происходит так называемое рэлеевское рассеяние. В пределах этой модели частицу можно считать точечным диполем, помещенным в неоднородное электромагнитное поле лазерного излучения. Детальный расчет производится с помощью уравнений Максвелла. Качественно же в представлении точечного диполя можно сказать, что сила действует на частицу пропорционально градиенту интенсивности, приводя к постоянному стремлению частицы в центр пучка.

Оптические ловушки очень чувствительны к изменению положения частиц (способны «замечать» перемещения частиц субмикронного масштаба на расстояния меньше нанометра). Это свойство как раз и позволяет изучать различные биологические сценарии на молекулярном уровне.

ОТКУДА ИМПУЛЬСЫ РАСТУТ

Технология, отмеченная второй половиной физической Нобелевки 2018 года, называется «усиление chirпированных импульсов» (Chirped-pulse amplification, CPA). Первоначально технику разрабатывали для увеличения доступной мощности в радарах (1960 год). Адаптация методики для лазеров принадлежит новоиспеченным нобелевским лауреатам — в 1985 году они опубликовали работу, в которой предложили четырехступенчатый метод генерации коротких и высокоинтенсивных импульсов.

Первоначальный короткий импульс пропускается через дисперсионную систему и таким образом растягивается по частоте (по принципу радуги и Ньютоновской призмы). Полученный «длинный» импульс готов к усилению и может быть запущен в соответствующий специальный оптический элемент. После усиления импульс снова сжимается, проходя через отрицательную дисперсионную систему, которая заново сжимает импульс. На выходе имеем ультракороткий импульс высокой энергии (см. рисунок 2).

В усиливающей среде возникают различные нелинейные эффекты. Так, например из-за этого существует некоторое насыщение по энергии — мы не можем бесконечно усиливать энергию импульса. Растянув его, мы можем «накачать» каждый кусочек до предела. А сжав обратно, получим суммарно более высокие энергии, чем если бы усиливали нерастянутый импульс.

Технология CPA заслужила признание многих — благодаря идее Муру и Стрикленд появилось разнообразие приложений в науке, промышленности, медицине, энергетике и обеспечении безопасности.

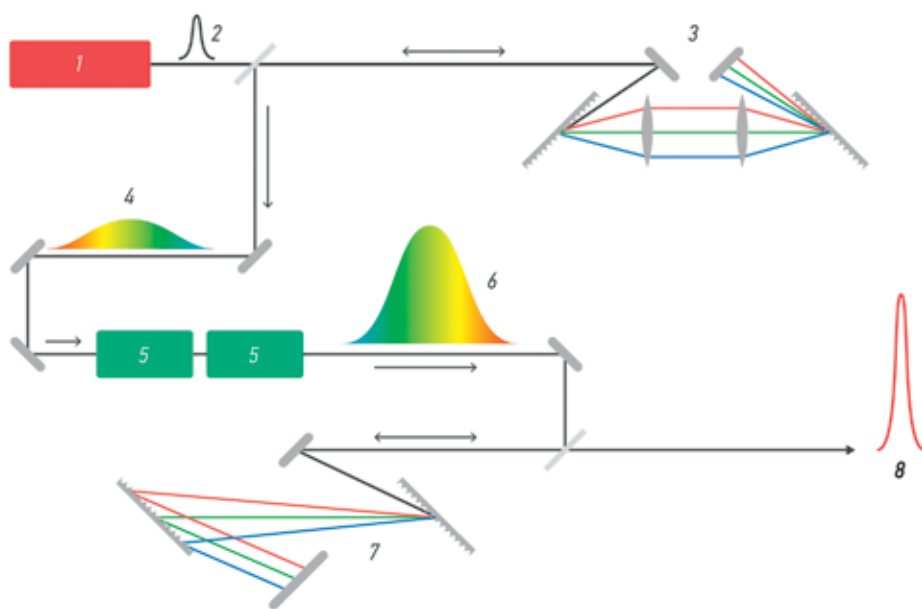


Рисунок 2. Схема технологии усиления чирпированных импульсов. 1 — генератор коротких импульсов; 2 — изначальный короткий импульс; 3 — пара решеток за счет дисперсии растягивает импульс примерно в 1000 раз; 4 — импульс теперь длинный и слабый, безопасный для усиления; 5 — усилители мощности; 6 — импульс высокой энергии после усиления; 7 — вторая пара решеток обращает дисперсию от первой пары и сжимает импульс; 8 — результирующий ультракороткий импульс высокой энергии



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Алексей Щербаков, старший научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ:

— Жерару Муру и Донне Стрикленд давно собирались дать Нобелевку, все только и ждали — еще 10 лет назад шли об этом разговоры. Их идея блестящая. Она простая и в то же время красивая. И при всем этом выстрелила так, что вывела лазерную технику на новый уровень.

При этом технология позволяет производить ультракороткие, ультраяркие импульсы ионизирующего излучения относительно компактно и недорого. СРА используется для генерации рентгеновских лучей, гамма-излучения, терагерцового излучения, энергичных электронов, протонов или ионов. Недавние стремительные достижения в области специального ускорения ступков электронов в плазме (кильватерное ускорение) служат многообещающей заменой больших (и дорогостоящих!) ускорительных установок. Это наиболее актуально для передовой науки, медицинской терапии и диагностики, для безопасности.

«Идея Муру и Стрикленд не была новаторской, подобный метод применялся до них в радарах, но именно их обобщение на оптический случай позволило лазером ультракоротких импульсов перейти из разряда научных приборов в разряд коммерческих», — говорит Даниил Мясников, начальник отдела научно-исследовательских разработок НТО «ИРЭ-Полус».

В основе обеих половинок премии нынешнего года лежат красивые физические идеи и колоссальный труд авторов. А приложения уже радуют многих, хотя наверняка их потенциал еще не исчерпан. **ЭН**

В научных приложениях техники прогресс продолжается. Наиболее яркие примеры применения — изучение сверхбыстрых процессов в химии, биологии и материаловедении. Например, наблюдение перераспределения электронов в ходе реакций. Также важное место занимают исследования динамических свойств материалов, производство и изучение горячего плотного вещества, моделирующего экстремальные процессы в астрофизике (физика плотности высоких энергий). Среди ярких научных приложений стоит отметить постоянное отодвигание «границы интенсивности», где появляется возможность изучать не исследованную ранее физику высоких полей на интенсивностях, которые сегодня уже превышают 10^{22} Вт / см².

Промышленное применение мотивировано различными воздействиями на материалы импульсов разной продолжительности. К примеру, длинные импульсы обеспечивают высокую точность в удалении очень малых количеств материалов без таяния, что весьма полезно при обработке материалов. Ультракороткие импульсы нашли себя в медицинских приложениях благодаря высокой точности и нанесению минимального ущерба при проведении хирургических операций. Особенно интересное применение СРА находит и в разработке будущих источников энергии на основе термоядерного синтеза с инерциальным удержанием плазмы. На военной арене рассматривается использование ультракоротких импульсов для эффективного производства длинных проводящих плазменных каналов в воздухе (плазменных нитей), в физике плотности высоких энергий используется для проверки эффективности ядерного оружия.

✍ Екатерина Архипова, Татьяна Небольсина

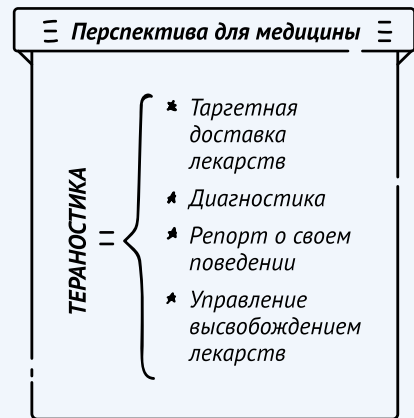
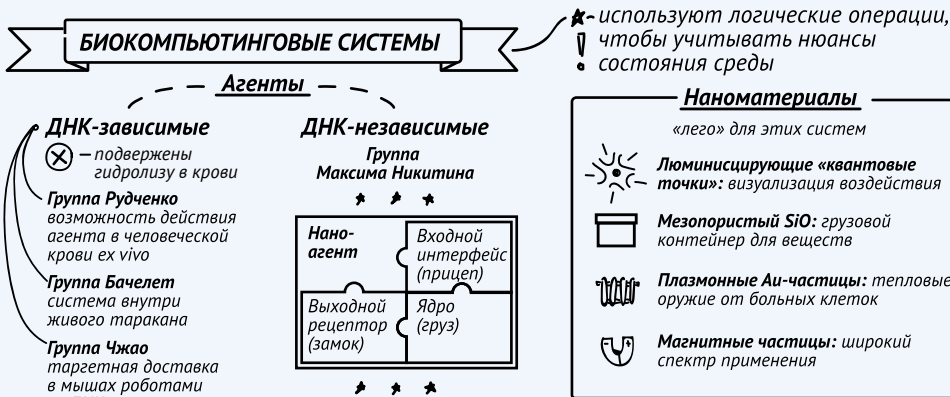
ТОП-5 научных статей

В конце года принято подводить итоги. Редакция ЗН решила представить вашему вниманию в виде инфографики 5 самых высокоимпактных научных статей, вышедших в 2018 году с участием ученых МФТИ. Для получения информации мы воспользовались базой данных Физтеха АСУ ПАС. Попавшие в топ статьи посвящены биотехнологиям, молекулярной биологии, генетике и физике. Нам кажется, что этот рейтинг хорошо отражает наиболее прорывные направления науки и может стать неплохим подспорьем для школьников и студентов при выборе профессии и специализации.

НА ЗАРЕ НАНОБИОРОБОТОВ

В журнале из топ-10 мирового рейтинга вышла обзорная статья об успехах биокомпьютерных технологий.

CHEMICAL REVIEWS IF 52.6



Advanced Smart Nanomaterials with Integrated Logic-Gating and Biocomputing: Dawn of Theranostic Nanorobots; Andrey A. Tregubov, Petr I. Nikitin, and Maxim P. Nikitin.

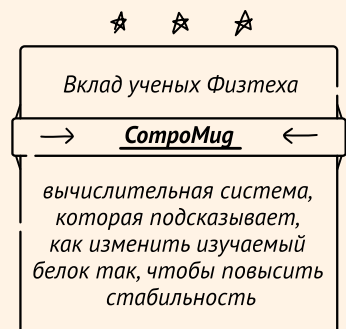
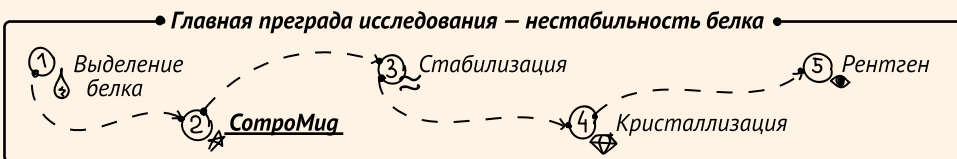
ОТКРЫТИЕ СТРУКТУРЫ FZD4

Новая методология позволила ученым выявить структуру важного рецепторного белка.

NATURE IF 41.6

FZD4 важен, потому что

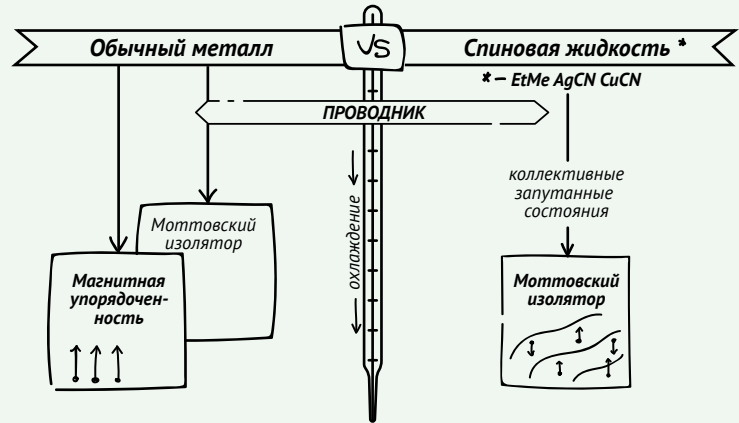
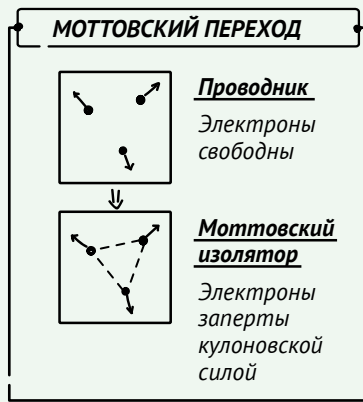
- 📡 Это сигнальная молекула клеточной мембраны
- 🌀 Участвует в эмбриональном развитии
- 🧬 Мутации в его гене связаны с наследственными заболеваниями
- 🎯 Является фармакологической мишенью



Crystal structure of the Frizzled 4 receptor in a ligand-free state; Shifan Yang, Yiran Wu, Ting-Hai Xu, Parker W. de Waal, Yuanzheng He, Mengchen Pu, Yuxiang Chen, Zachary J. DeBruine, Bingjie Zhang, Saheem A. Zaidi, Petr Popov, Yu Guo, Cye Won Han, Yang Lu, Kelly Suino-Powell, Shaowei Dong, Kaleeckal G. Harikumar, Laurence J. Miller, Vsevolod Katritch, H. Eric Xu, Wenqing Shui, Raymond C. Stevens, Karsten Melcher, Suwen Zhao & Fei Xu.

МОТТОВСКИЙ ПЕРЕХОД В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Спиновая жидкость оказалась наиболее пригодной для наблюдения моттовского перехода.



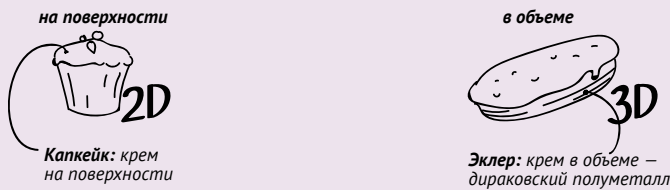
Quantum spin liquids unveil the genuine Mott state; A. Pustogov, M. Bories, A. Löhle, R. Rösslhuber, E. Zhukova, B. Gorshunov, S. Tomić, J. A. Schlueter, R. Hübner, T. Hiramatsu, Y. Yoshida, G. Saito, R. Kato, T.-H. Lee, V. Dobrosavljević, S. Fratini & M. Dressel.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Впервые получены топологически защищенные состояния в объеме полуметалла.



Топологическая защита электронов от рассеяния



4π-periodic Andreev bound states in a Dirac semimetal; Chuan Li, Jorrit C. de Boer, Bob de Ronde, Shyama V. Ramankutty, Erik van Heumen, Yingkai Huang, Anne de Visser, Alexander A. Golubov, Mark S. Golden & Alexander Brinkman.

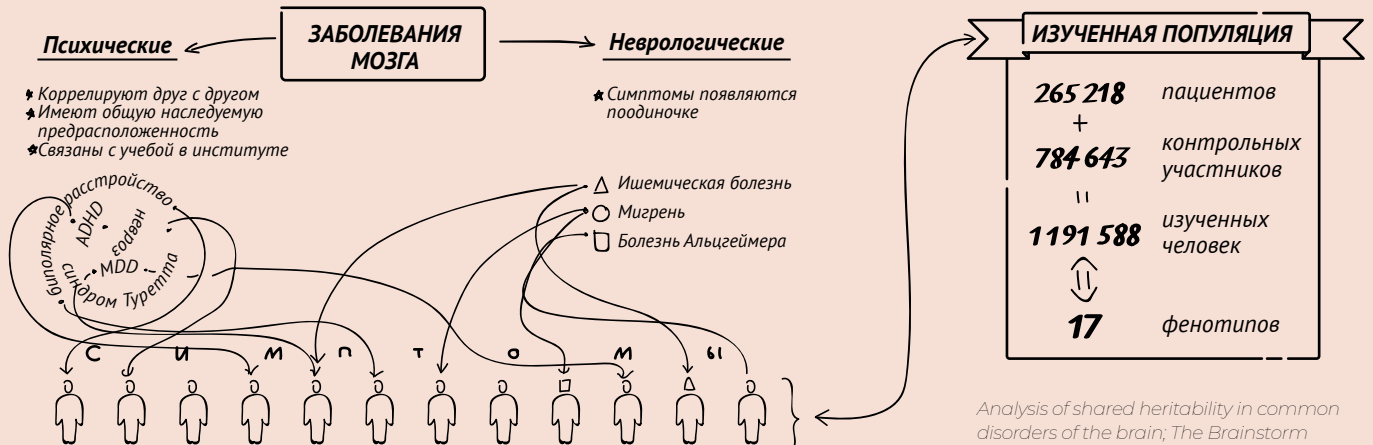
NATURE MATERIALS IF 40

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА *



БРЕЙНШТОРМ НАСЛЕДСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Ученые провели количественную оценку степени совпадения генетических факторов риска 25 распространенных нарушений головного мозга.



Analysis of shared heritability in common disorders of the brain; The Brainstorm Consortium (Ramensky V).

SCIENCE IF 37



✍ Николай Горькавый,
советский и российский астрофизик,
ведущий аналитик компании «Science Systems and
Applications», автор серии научно-популярных
книг и научно-фантастической трилогии
«Астровитянка».

Вселенная как феникс

Какие законы управляют Вселенной, из чего она состоит, как родилась и какая судьба ее ждет? На протяжении веков величайшие умы человечества пытались найти ответы на эти вопросы. С новыми открытиями появлялись и новые теории. Хочется помечтать об идеальной космологической супермодели, состоящей только из известных частиц и полей, подчиняющейся лишь теориям, которые подтверждены на опыте. А может, это не такая уж несбыточная мечта? Чтобы ответить на этот вопрос, мы начнем с истоков. А в следующем выпуске журнала обсудим удивительную космологическую модель, по которой Вселенная на 99% состоит из гравитационных волн.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ КОСМОЛОГИИ

Иммануил Кант был гениальным астрономом. Современная теория происхождения планет носит имя Канта–Лапласа. Расслоение колец Сатурна на тонкие колечки из-за столкновений частиц Кант предсказал за 230 лет до фотографий «Вояджеров». Опередив общее мнение на 170 лет, он не сомневался, что Млечный Путь — это всего лишь одна из многих галактик. *«Дайте мне материю, и я построю из нее мир»*, — гордо сказал космолог Кант, считавший, что космические миры находятся в состоянии непрерывного образования и гибели, а волна рождения миров идет от центра Вселенной к ее периферии. Кант наслаждался размышлениями о Вселенной, *«когда через всю бесконечность времен и пространств мы следим за этим фениксом природы, который лишь затем сжигает себя, чтобы вновь возродиться юным из пепла...»*



Иммануил Кант

Астрономические исследования начинаются с определения расстояния до объекта и его скорости. Современная космология родилась в работе Генриетты Ливитт, которая в 1908 году нашла способ измерения космических расстояний с помощью пульсирующих звезд-цефеид. Весто Слайфер в 1913 году с помощью эффекта Доплера впервые измерил скорость не отдельной звезды, а целой галактики — Туманности Андромеды. Через год на собрании Американского астрономического общества он сообщил, что из пятнадцати исследованных им туманностей двенадцать разбегаются от Земли в разные стороны. Зал встал и устроил Слайферу овацию. Ему аплодировал и Эдвин Хаббл — молодой студент, только что принятый в ряды астрономов. В 1927 году Жорж Леметр, а через два года — Хаббл установили, что скорость разбегающихся галактик пропорциональна расстоянию до них. Международный астрономический союз

назвал этот закон именем Хаббла–Леметра. Эти достижения наблюдательной космологии первой половины XX века дополняются работой Фрица Цвикки, который в 1937 году обнаружил, что основная масса Вселенной содержится в виде темной материи.

В 1965 году Арно Пензиас и Роберт Вильсон открыли фоновое свечение неба с температурой около 3 кельвинов. В 1994 году группа спутника COBE под руководством Джона Мазера и Джорджа Смуты с высокой точностью измерила это свечение. Было доказано, что оно является излучением черного тела и имеет степень однородности по небосводу до сотой доли процента. Позже группы наблюдателей во главе с Солом Перлмуттером, Брайаном Шмидтом и Адамом Риссом усовершенствовали метод измерения больших космических расстояний по вспышкам сверхновых и обнаружили, что Вселенная расширяется с ускорением. За эти результаты Пензиасу и Вильсону, Мазеру и Смуту, Перлмуттеру, Шмидту и Риссу присудили Нобелевские премии.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КОСМОЛОГИИ

Современная теоретическая космология началась в 1915 году, когда Альберт Эйнштейн записал уравнения общей теории относительности (ОТО). Спустя два года он построил стационарную модель Вселенной, введя гипотетическую космологическую постоянную, описывающую антигравитацию. Александр Фридман в 1922 году показал, что стационарная модель Эйнштейна нестабильна, и предложил расширяющуюся, сжимающуюся и циклическую модели Вселенной без космологической постоянной. Циклическая модель Вселенной была элегантна и очень напоминала «феникса» кантианской вселенной. Но Ричард Толмен в 1934 году указал, что циклические модели сталкиваются с проблемой роста энтропии, которая, по второму закону термодинамики, должна нарастать от цикла к циклу, разрушая идеальную периодичность.

В 1948 году советский и американский физик-теоретик Георгий Гамов ввел понятие Большого Взрыва как начала расширения Вселенной в виде горячего облака из смеси нейтронов, протонов, электронов и квантов света. В том же году Гамов, его студент Альфер и молодой ученый Херман предсказали тепловое реликтовое излучение, оставшееся после остывания Вселенной, и оценили его температуру в несколько кельвинов. В книге «Создание Вселенной» Гамов писал: «Большое



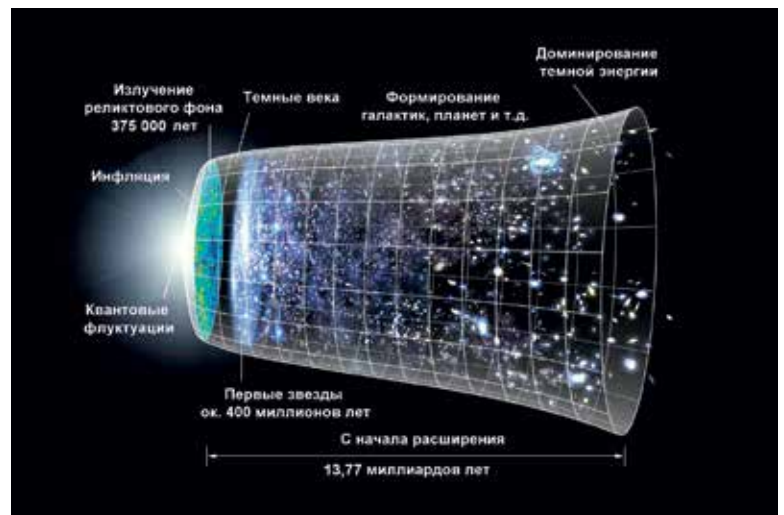
Георгий Гамов

сжатие, которое имело место в ранней истории нашей Вселенной, было результатом коллапса, который случился в еще более раннюю эру. Нынешнее расширение есть просто «упругий» отскок, который начался, как только была достигнута максимально возможная плотность». Концепция Вселенной, расширяющейся после сильного сжатия, безусловно красива, но механизм «упругого отскока» был неизвестен. Проблема энтропии снималась в модели отскока тем, что она рассматривала половину космологического цикла (сжатие и расширение) и не волновалась о накоплении энтропии.

Космология отскока изящно решала проблему тяжелых ядер, накопленных в предыдущем цикле: когда Вселенная сжималась в 10 миллиардов раз — примерно до нескольких световых лет в диаметре, то температура реликтовых фотонов вырастала от 3 кельвинов (-270°C) до 30 миллиардов градусов. Такие гамма-кванты разбивали все атомные ядра, возникшие в ходе прошлой эволюции Вселенной, до уровня протонов и нейтронов (эффект фотодиссоциации). По-кантиански поэтично выразился Роберт Дикке с соавторами в 1965 году: *фотоны перерабатывают «пепел предыдущего цикла»*. Поэтому расширение Вселенной после упругого отскока происходило со свежим набором барионов, готовым к созданию звезд.

Природа упругого отскока Вселенной, или Большого Взрыва — это, пожалуй, самая интригующая загадка современной физики. Действительно, упругий отскок мяча нам понятен. А если взять десятикилограммовую гирию и бросить ее на землю, то отскока не получится — только вмятина на асфальте (лишь бы не на ботинке). Хороший инженер может постро-

Этапы развития Вселенной.
© NASA / WMAP science team





Туманность
Андромеды

→ ить устройство, которое сохранит энергию падающего тела и позволит гире отскочить. Но вряд ли он возьмется за создание пружины для отскока многотонного камня, падающего со скоростью звука. Что же говорить о падении Вселенной — объекта весом в 10^{50} тонн, который движется со скоростью, близкой к скорости света? Какой естественный механизм может вызвать остановку и отскок такой массы?

ВРЕМЯ КВАНТОВЫХ ДЖИННОВ

В середине 70-х годов была успешно создана Стандартная модель элементарных частиц, которая опровергла все альтернативные теории. Квантовые теоретики стали искать новые пути применения своих знаний. В 1981 году появилась статья Алана Гута про инфляционную модель расширения Вселенной — и в космологию хлынули специалисты по квантовым полям. Они отказались как от циклической модели мира, так и от космологии отскока и совместными усилиями развили одноразовую модель Вселенной, урезанную до четверти цикла и вырастающую из квантовой микрочастицы. Для объяснения причины Большого Взрыва смелые квантовые физики поступили, как сказочный Алладин: они потеряли волшебную лампу и вызвали могущественного джинна, которого назвали Инфлантон. Это гипотетическое квантовое поле, которое вызывает ускоренное расширение Вселенной на первых долях секунды и увеличение ее до макроскопических размеров.

Проблему темной материи квантовые космологи решили аналогично, вызвав второго джинна, которого назвали Вимп. Вимп (или Аксион) — это неизвестная частица вне Стан-

дартной модели, которая должна ответить за феномен темной материи. Эту темную частицу безрезультатно ищут уже больше двадцати лет в космических, наземных и подземных обсерваториях, потратив на это несколько миллиардов долларов.

Когда в 1998 году наблюдатели открыли современное ускоренное расширение Вселенной, то квантовые космологи прибегли к испытанному средству. Они вызвали третьего волшебного джинна, у которого много звучных имен, например, Квинтэссенция, но чаще его называют Темной Энергией. Попытки получить этого джинна не из лампы, а из квантовой теории приводят к ошибке на 120 порядков.

Для объяснения причины Большого Взрыва смелые квантовые физики поступили, как сказочный Алладин

Третий джинн переполнил чашу терпения многих ученых. В последние годы недовольство квантовой космологией, использующей множество гипотетиче-

ских допущений, выросло настолько, что некоторые еретики даже перестали называть ее наукой — и среди них такие фигуры, как Пол Стейнхард, отец-основатель теории инфляции и эйнштейновский профессор Принстонского университета, и Абрахам Лоеб, главный астроном Гарвардского университета. Возникло сразу несколько космологий, альтернативных теории инфляции, в том числе реанимировались и циклические модели Вселенной.

МЕЧТА О СУПЕРМОДЕЛИ

Попробуем представить себе идеальную космологическую модель или «супермодель». ОТО, космология, квантовая механика, геология, термодинамика и планетология — среди этих научных дисциплин три являются фун-

даментальными теориями, а три — науками о конкретных объектах. По канонам научных исследований, в них не требуется создания новых фундаментальных теорий, они должны применить уже существующие теории к полному описанию объекта. Конечно, в ходе этого описания можно наткнуться на необъяснимый феномен — типа аномальной (для ньютоновской теории) прецессии орбиты Меркурия, обнаруженной в XIX веке и инициировавшей создание эйнштейновской теории гравитации. Но те же самые каноны требуют, чтобы для описания объектов, даже таких, как Вселенная, возможности известных и экспериментально подтвержденных теорий были использованы до конца. Можно ли построить модель Вселенной, используя только существующие теории? Многие ответят категорично «нет!», но научные вопросы общим голосованием никогда не решаются.

Итак, космологическая супермодель должна объяснить три главных загадки: раскрыть механизм Большого Взрыва, объяснить феномены темной энергии и темной материи. Она должна базироваться, в первую очередь, на ОТО, потому что других теорий гравитации, подтвержденных на эксперименте, не существует. В микромасштабах она должна следовать обычной квантовой механике и Стандартной теории элементарных частиц. Это означает, что никаких неизвестных частиц или неоткрытых квантовых полей предполагать нельзя, равно как и загадочных фазовых переходов в масштабах Вселенной, а также новых пространственных измерений, параллельных миров и прочих чудес, неизвестных современной экспериментальной науке. Следовательно, Вселенная должна состоять из уже известных компонентов: протонов, нейтронов, электронов, нейтрино, фотонов и небольшого количества других элементарных частиц. Наблюдения уверенно определяют концентрацию каждого указанного компонента Вселенной. Есть только две составляющие мира, которые известны плохо: черные дыры и гравитационные волны, которые наблюдать очень трудно. Поэтому в космологической супермодели допустимы вариации количества черных дыр и гравитационных волн.

Какие еще есть возможности для интеллектуального маневра? Определенная свобода интерпретации существующих теорий. Например, в общей теории относительности сто лет обсуждается проблема нетензорности гравитационной энергии. Мнения ученых разделились: большинство считает, что, не-

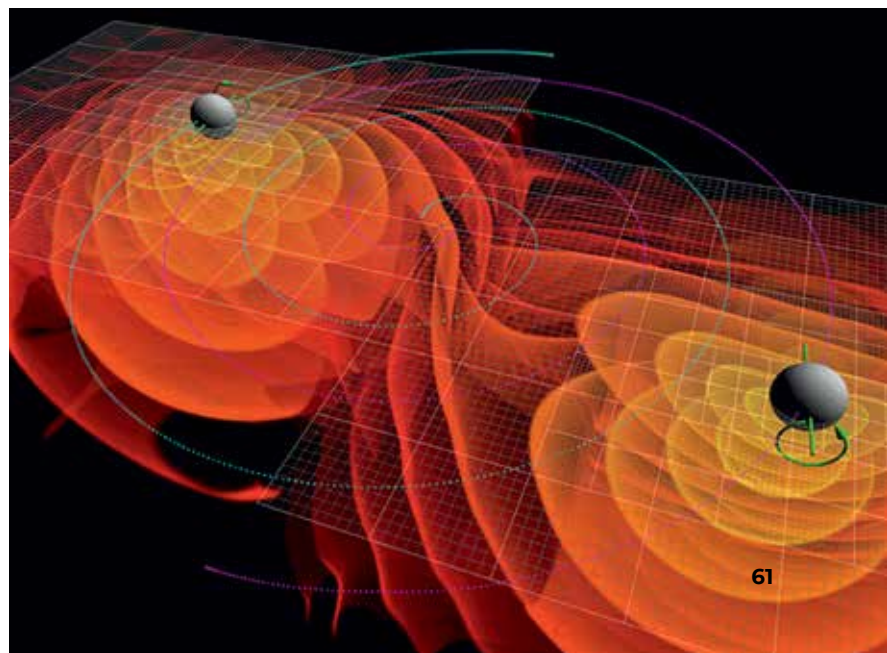
смотря на этот явный дефект, гравитационные волны равноправны электромагнитным и сами порождают гравитационное поле, но меньшинство считает, что гравитационные волны, в отличие от электромагнитных, не могут служить источником нового гравитационного поля. Обе группы представлены видными специалистами и нобелевскими лауреатами. Сам Эйнштейн до 1916 года призывал к первой группе, а после 1916 года — ко второй.


Никаких неизвестных частиц или неоткрытых квантовых полей предполагать нельзя

Теоретическими аргументами трудно решить этот спор, который относится к аксиоматике общей теории относительности или к рецептуре применения уравнений Эйнштейна. Безусловно, космологическая супермодель может использовать различие в подобных интерпретациях — и успех одной из них станет ее подтверждением. Немаловажно, чтобы эти интерпретации не принадлежали космологам и не подгонялись под их желания, а существовали независимо в научном сообществе физиков. Можно ли создать космологическую супермодель, связав себя по рукам и ногам такими жесткими условиями? Будет ли эта супермодель циклическим фениксом кантианской космологии? Помогут ли здесь новые открытия в области гравитационных волн и черных дыр, которые потрясли научный мир в 2016 году? **зн**

(Ответы на эти вопросы ищите в следующем номере).

Визуализация моделирования сливающихся черных дыр, излучающих гравитационные волны. © NASA/Ames Research Center C. Henze



 Анна Дзарахова

Осаждая атомы

Лаборатория атомно-слоевого осаждения — одна из немногих по-настоящему инженерных лабораторий на Физтехе, которой удалось найти баланс между прикладной и научной деятельностью. Здесь все как полагается: патенты, статьи в журналах с высоким импакт-фактором, разработка технологий для промышленности, создание собственных научных методов и главное — команда настоящих профессионалов, увлеченных своим делом.





Еще до недавнего времени считалось, что метод атомно-слоевого осаждения (АСО) был изобретен в Финляндии доктором Туомо Сантола (Tuomo Suntola), который получил патент в середине 70-х годов прошлого века. Метод достаточно быстро стал развиваться, особенно в коммерциализированных областях. Но, как это часто случалось, и тут советские ученые оказались быстрее. Член-корреспондент Академии наук Валентин Борисович Алесковский еще в 1965 году, на несколько лет раньше Сантолы, независимо сформулировал принципы АСО и провел эксперименты, которые показали, что по слоям можно собирать структуры. В СССР были свои журналы, своя информационная структура, и ученые мало общались между собой. Поэтому сейчас широко признано, что метод независимо был открыт как минимум в двух странах: Финляндии и СССР.

Учеником Алесковского был профессор МФТИ Анатолий Павлович Алёхин, который и предложил создать на Физтехе лабораторию АСО. Руководство института встретило идею с интересом, потому что Анатолий Павлович понимал метод, стоял у его истоков, работая вместе с изобретателем. Институт одобрил покупку достаточно уникального современного оборудования. Так в 2008 году возникла лаборатория атомно-слоевого осаждения МФТИ, которую возглавляет сегодня Андрей Маркеев, выпускник МИФИ и ученик Анатолия Алёхина.

«Я считаю, что у нас неплохая лаборатория, созданная чисто на Физтехе. Но пусть нас судят по количеству публикаций. Мы очень напряженно и требовательно работаем. У нас система, близкая к потогонной. Наши студенты защищают диссертации, выступают в качестве соавторов публикаций, постоянно участвуют в международных конференциях, — рассказывает Андрей Маркеев. — В прикладных областях можно очень легко превратиться в инженера, оператора, специалиста. Мы пытаемся сочетать все так, чтобы у нас оставалась наука, может быть, даже преваляла. Я считаю важным соблюсти баланс между инженерной, прикладной и научной деятельностью».



Лаборатория идеологически и формально относится к Физтех-школе электроники, фотоники и молекулярной физики. Метод оказался очень востребованным именно для микроэлектроники, где нужны тончайшие слои с очень высокой прецизионностью и качеством нанесения. *«Основное наше направление — слои, получаемые с помощью АСО, применительно для полупроводниковой памяти. Это очень важно, ведь памяти требуется все больше, — объясняет Андрей Михайлович. — По памяти у нас выделяется два блока. Первый — сегнетоэлектрическая память на новых материалах. В частности, используем оксид гафния, который оказался очень подходящим по своим технологическим параметрам для современной микроэлектроники. Оксид гафния известен больше 100 лет, но только в 2011 году в нем были обнаружены сегнетоэлектрические свойства».*

И здесь команда Андрея Маркеева уже может похвастаться серьезными результатами. В лаборатории разработали чип памяти, главным функциональным элементом в котором является новый четырехкомпонентный диэлектрик, выращенный методом АСО, на основе оксида гафния с легирующими компонентами, которые позволили получить ресурс у памяти на порядок выше, чем у конкурирующих научных групп. Наши ученые достигли порядка 10^{11} циклов переключения, результат был опубликован

в журнале ACS AMI. Это очень важно, потому что флеш-память выдерживает всего лишь 10^5 циклов перезаписи, что заметно ограничивает области ее применения в некоторых типах памяти.

Второй блок — оксидно-резистивная память. Если взять простую структуру (диэлектрик и два электрода) и приложить к ней определенное напряжение, то может возникнуть электрический пробой МИМ-структуры.

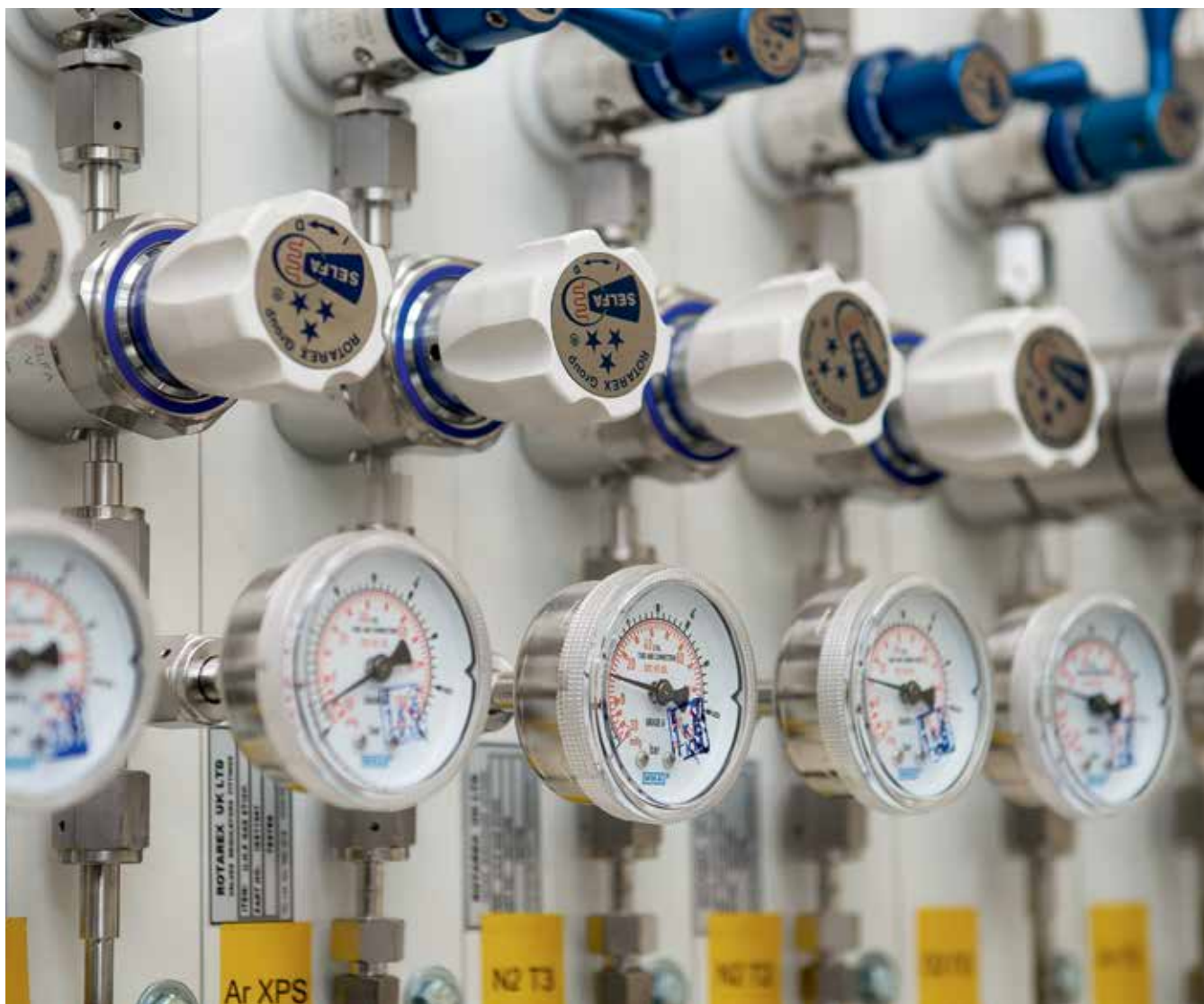
Потом, если изменить полярность напряжения, то удастся «залечить» сформировавшийся в процессе пробоя проводящий канал, после чего структура опять перестает проводить ток. Различие в сопротивлении ячейки позволяет получить два разных состояния, иначе говоря, 0 и 1, что может быть эффективно использовано для создания энергонезависимой памяти нового поколения.

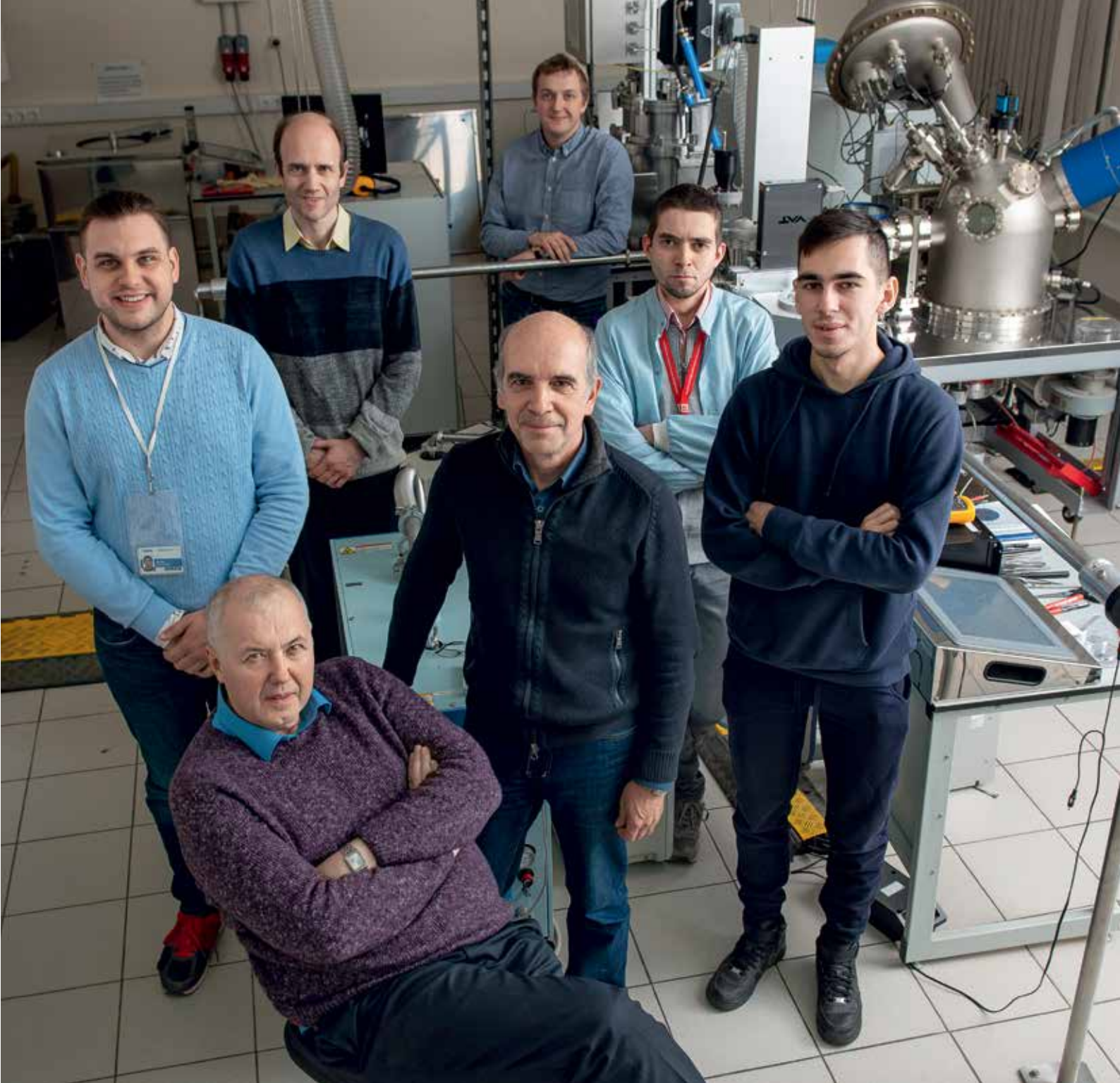
В лаборатории недавно удалось получить с помощью собственного метода оксидный диэлектрик с дефицитом кислорода. *«Этот метод устроен так, что мы должны получать качественные стехиометричные диэлектрики, но нам удалось подобрать реагент — активный водород, который позволил контролируемо иметь кислородную вакансию, то есть дефицит кислорода. Мы опубликовали пару статей об этом методе и выиграли два проекта в Российском научном фонде, что тоже помогает нам проводить эти исследования», — делится Андрей Маркеев.*

Еще одно направление, несколько более экзотическое, связано с отечественной промышленностью. В лаборатории научились получать оксид титана в определенной кристаллической модификации, который хорошо биосовместим с костной тканью. Для отечественного предприятия, которое производит до 10% титановых дентальных имплантатов, ученые разработали технологию и процесс покрытия титановых дентальных шурупов-имплантатов. В результате они приживаются за 2 недели, тогда как обычно этот процесс длится около 2–3 месяцев.

«Особенность нашей лаборатории в том, что мы пытаемся использовать диагностику in situ при выращивании слоев. Электронный спектрометр позволяет нам на любой стадии роста понять, что мы выращиваем, каков химический состав, какие примеси есть, каковы границы раздела. В результате удастся исследовать свойства структуры намного быстрее, так как мы быстрее понимаем, что получается, а что не получается», — поясняет Андрей Маркеев.

Лаборатория АСО не обошла стороной и тему двумерных материалов. Одним из наиболее перспективных материалов является дисульфид молибдена, который ранее рассматривался исключительно как объемный материал, однако недавние исследования показали, что он, в силу своей кристаллической структуры при нормальных условиях, обладает рядом интереснейших свойств, если рассматривать его двумерные слои. По словам Андрея Маркеева, сейчас в науке стоит вопрос, как получать 2D-материалы в масштабах, которые интересуют электронику. И именно на него собираются дать ответ на примере дисульфида молибдена ученые из МФТИ: *«Наш план двухстадийный: мы надеемся, что если АСО позволяет хорошо растить оксиды, то в первую очередь мы вырастим сверхтонкий оксид молибдена на большой площади при помощи АСО, а затем воспользуемся высокотемпературными методами его сульфидизации, например, в сероводороде. Высока вероятность, что так мы наконец-то получим приемлемые площади двумерного материала».*





Несмотря на такое количество разнообразных задач коллектив лаборатории не очень большой: вместе со студентами получается всего одиннадцать человек. Основной специалист в области сегнетоэлектриков – Анна Черникова, она выиграла проект РНФ на три года. Максим Козодаев – ключевой человек по всем вопросам, но научно он сконцентрирован на четырехкомпонентной сегнетоэлектрической системе. В области резистивной памяти трудится Дмитрий Кузьмичёв. Недавно к коллективу присоединился Роман Романов, который занимается исследованием возможности применения АСО для создания двумерных материалов – дихалькогенидов переходных металлов. Это нормальные полупроводники с запре-

щенными зонами, с их помощью проще конструировать электронные приборы, чем только из графена, который является полуметаллом. А Юрий Лебединский – один из опытнейших людей в России по рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии.

Есть у лаборатории АСО и коллаборации с двумя научными центрами. С группой по диэлектрикам из Технического университета Дрездена написан ряд совместных статей. Также идет плотное сотрудничество по сегнетоэлектрикам и резистивной памяти с профессором Чеолем Сеонгом Хвангом (Cheol Seong Hwang) из Сеульского национального университета. Недавно он получил статус визит-профессора МФТИ. **эн**



✍ Ася Макарова

Сложности мотивируют

Сегодня Алексей Кобец — старший вице-президент по разработке ПО компании Virtuozzo. С тем количеством судьбоносных поворотов, которые были в его жизни, начинаешь верить: пазл обязательно сложится. Все детство он мечтал ходить в море, но в 9 классе случилась олимпиада по физике, Физтех — и план дрогнул. Когда приехал поступать, планировал идти на ФАЛТ, но друг по олимпиаде убедил подать документы на ФОПФ. А пока изучал физику, увлекся программированием и пошел к Торماسову. Но Алексей шутит, что так хорошим программистом он и не стал. Скорее, менеджером программистов.

Образование на Физтехе — это нечто. Он дает отличную базу и воспитывает студентов исследователями. Это умение позволяет применить себя где угодно, потому что ты можешь разобраться в теме, копнуть глубже и прийти наутро с отличными результатами.

Не знаю, откуда идет миф, что учиться на Физтехе тяжело. Нельзя сказать, что все было легко: да, волновались, кто-то вылетал, но это были полезные сложности. Их нужно иметь в жизни.

Долгое время я не мог спать на Физтехе из-за проходящих ночью электричек. А к концу учебы вообще перестал их замечать.

На собеседованиях коллеги часто говорят: «Ты сейчас столько в него вольешь, что у него голова лопнет». Так это же здорово! Пусть она лучше лопнет сейчас, до того, как мы его найдем. Иначе мы поймем, что кандидат негоден, когда будет уже поздно.

Мы были одними из первых, кто сдавал лабы, сделанные в MATLAB. Преподаватель был в восторге и, похоже, оценку ставил только за внешний вид.

Молодым специалистам не хватает умения подниматься после ошибок и неудач. Потому что российская школа учит избегать ошибок, и у нас вырастают перфекционисты. Но ведь не все получается с первого раза, не все в принципе получается в жизни. Иногда нужно просто на что-то махнуть рукой и двигаться дальше.

Сложности мотивируют. Человек за свою жизнь постоянно проверяет себя на какие-то лимиты: насколько он умный, сильный, насколько долга жизнь. Чем умнее человек, тем более сложную задачу он хочет решить. Понимая это, человеку важно давать челлендж.

В 2003 году меня спросили: Лёша, сможешь ли ты написать программу, которая подтвердит гипотезу, что ядро Linux при большом количестве соединений упадет? За месяц я много чего изучил и написал программу. И она ничего не могла сделать. Тогда я понял, что надо запускать ее не на сервере с одним процессором, а на мультипроцессорном. Я украдкой залез на эти сервера к своему коллеге и запустил свою программку, которая все уронила. Я так кричал и радовался, что забыл, что залез туда украдкой. Но челлендж был реализован!

Я учил норвежский язык, правда, это было не на Физтехе. Конечно, это оказалось абсолютно бесполезным! Но однажды я применил свои знания, когда к нам приехал Биргер Стин, и я на первой встрече с ним сказал пару слов на норвежском. Он сделал вид, что понял.

Знаете, чего безумно не хватало на Физтехе? Способности внятно излагать свои мысли и умения общаться. Выйти и рассказать

что-то перед аудиторией было безумно сложно. Здесь очень многие интроверты, я и сам интроверт, хотя и переделанный. Но хочется, чтобы этого было меньше.

Александр Геннадьевич Тормасов. Не знаю, как описать, что он дал. Волшебный пендель он дал. Он умеет объединять вокруг себя причудливых людей, которые что-то делают, иногда кажется, что что-то странное и абсолютно сумасшедшее. Но потом раз — и пазл складывался, и оттуда вырастали такие технологии, как Acronis, Virtuozzo.

Технологии не имеют границ. Какая разница, где находится человек: здесь или в Америке? Вопрос в том, где ему проще применять свои знания. Специалисты живут там, где у них есть челлендж. Пока челлендж есть в какой-то компании здесь, в России, специалисты будут здесь. Когда его нет, они утекают. Надо смотреть с этой точки зрения.

Я живу на Земле. И голова у меня одна, независимо от континента. Есть физические сложности, связанные с работой на два континента, но они не самые трудные. Самое трудное — умение преодолевать неопределенность и стресс, с ней связанный.

Семья очень помогает отвлечься от работы. Например, сын начал ходить или поехал на велосипеде без балансирующих колес. Или он увидел, как дерево упало на дорогу, и ты весь вечер обсуждаешь с ним это событие, которое почему-то для него важно. А потом еще он просыпается ночью и продолжает спрашивать. Эти хлопоты, которые добавляются с возрастом, они помогают отвлечься от стресса. В конечном итоге работа — это работа, семья — это семья.

Пазл сложится. Вот это чувство и помогает преодолевать неведанное. Собственно, есть поговорка: «Искушение сдаться будет особенно сильным незадолго до финиша».

20 лет не ездил на мотоцикле, а вчера купил его. Такой же, как был, Иж Юпитер. На меня могут смотреть как на сумасшедшего: зачем я купил мотоцикл, который уже не производится. А те, кто меня знают, поймут: я его заведу, понюхаю, как пахнет горелый бензин с маслом, и обратно загоню в гараж.

В чем мерить технологическую отсталость? Мне кажется, неправильно делать бинарные выводы, что мы отстали или опередили. Видно другое: что технологии внедряются и продуктивизируются в Америке или Азии легче и быстрее. С этим России предстоит что-то сделать. Мы хорошо делаем военные вещи и плохо применяем их в гражданке. Как только мы научимся так же быстро, как мы делаем военные технологии, применять их в быденной жизни, тогда вопрос о технологической отсталости России сам отпадет.

В каждой сфере от нефтяной промышленности до реальной жизни количество генерируемой информации будет только нарастать. В перспективе 10–20 лет с большим количеством данных появятся технологии и продукты, которые будут помогать нам среди этих данных ориентироваться, обрабатывать и хранить их. Как следствие, потребуются и технологии, которые позволят отслеживать правообладателей данных, разделять права доступа. Думаю, в эту сторону все будет идти.

Чего пожелать физтехам? Удачи! Не бояться проблем и верить в удачу. Ведь пазл всегда сложится. эн

Казалось бы, что может быть общего у выпускника МФТИ и одного из лучших клубов Англии? Футбол — это не только большой спорт, это огромное количество информации и данных. А данные — именно то, в чем хорош выпускник ФРТК, а сейчас — data-scientist в «Арсенале» Михаил Жилкин. С ним мы встретились во время его краткого отпуска, чтобы поговорить. Не только о футболе.



Физтех в Английской Премьер-лиге

✍ Анна Дзарахохова
📷 Никита Веремьев

— Почему решил поступать на Физтех?

— На Физтех я хотел пойти еще в последних классах школы. Тогда уже он был известен как один из лучших технических вузов. Мне нравилась сама система только письменных экзаменов. При поступлении я разрывался между ФРТК и ФУПМ. Собирался пойти на ФУПМ, но когда пришел в административный корпус — увидел, что на РТ конкурс чуть выше, и решил подать заявление именно на РТ. Баллов мне хватило.

— Мы брали интервью у выпускников постарше, слышали много про развал и упадок в 90-е, про то, как в 70-е все было замечательно.

Что было на Физтехе в нулевые?

— Сейчас новые корпуса, мебель, турникеты, скамейки в парках, автоматы по продаже кефира. В 2000-х такого, естественно, не было. На поле был не искусственный газон, а утрамбованная кирпичная крошка. Сейчас учиться комфортнее. И в 2000-х можно было учиться. Правда,

оборудование достаточно старое было. Я помню все эти осциллографы, которые периодически не работали, но это учило не полагаться на то, что оборудование функционирует, как должно.

— **Чем запомнилась учеба в МФТИ?**

— Я бы отметил наступление интернета. До поступления на Физтех я не видел, что это такое. Свой компьютер у меня появился на втором курсе, в 2001-м. Я постоянно привозил домой фильмы, музыку. Понятное дело, все пиратское, скачанное из локальной сети. То, что здесь компьютерные технологии продвинулись, особенно по сравнению с провинцией, — важный момент. Первую работу я нашел тоже на втором курсе, потому что смог начать изучение компьютерных технологий в целом. Возможно, если бы я пришел на Физтех на несколько лет раньше, такого бы не было, если на несколько лет позже, знание компьютерных технологий уже не было бы таким конкурентным преимуществом. Самый значимый момент — компьютеризация, локальные сети, достаточно быстрый интернет.

— **Расскажи про свою работу на втором курсе.**

— Она была связана с компьютерами, но программирования не было. Максимум — базовое системное администрирование, работа с клиентами, переписка на английском языке с иностранными вендорами. Работал в Москве на полставки в «Академии Айти». Для первой работы в 18 лет это было неплохо: «белым воротничком» с компьютерами, с интеллигентными людьми. Это был хороший опыт. Единственное, что приходилось ездить полтора часа в один конец, и это было сложно совмещать с учебой.

После года работы я нашел вакансию в Acronis и перешел туда. Они тогда работали прямо в кампусе, и я мог работать практически полный день, иногда бегая на семинары и лабораторные работы, поскольку все находилось в одном месте.

— **Acronis, кстати, тоже с «Арсеналом» недавно заключил соглашение о технологическом партнерстве и будет обеспечивать защиту данных для растущей ИТ-инфраструктуры клуба.**

Ты с ними будешь напрямую работать?

— Нет, но было очень забавно об этом услышать. Когда я начинал в Acronis работать, это была совсем маленькая контора — буквально десять программистов. Я пошел работать в отдел техподдержки, нас там было два-три человека. А сейчас они сотрудничают с такими организациями, как «Арсенал». По-моему, в Acronis мало кто остался из моих бывших коллег. Я не ушел, а переехал работать в Японию с их партнерами, но это было в начале 2007 года.

— **Сразу после окончания МФТИ уехал в Японию?**

— Через несколько месяцев. Университет окончил, в Долгопрудном меня ничего не держало. Я довольно давно хотел попробовать переехать за рубеж. Правда,

Футболисты — народ не очень организованный, нужно за ними следить

собирался в Великобританию уже тогда, но подвернулась возможность поехать в командировку в Японию. Я подумал: «Ладно, попробую». Очень понравилось, в итоге прожил там 3,5 года. Это было очень интересно.

— **Язык удалось подучить?**

— Минимально. У меня с языками не очень хорошо. Чтобы выучить язык на хорошем уровне, нужно его постоянно использовать, а чтобы использовать, уже нужно знать его на каком-то уровне. После того как ты выучил совсем базовые фразы, слова, несколько иероглифов, тебе этого достаточно, чтобы в ресторане заказать курицу, а не свинину, но не хватает, чтобы практиковаться в повседневных разговорах.

— **После Японии куда тебя дальше жизнь забросила?**

— Acronis открыл свой офис в Токио, и моя позиция этого посредника в компании японских партнеров потеряла актуальность, мой контракт закончился. У меня не было работы, и год я зарабатывал на жизнь, играя в онлайн-покер. Но Япония — страна довольно дорогая, покер приносил не так много денег. В 2010 году я вернулся в Россию, где продолжал играть в онлайн-покер. Какое-то время жил с родителями, потом женился. Мы с женой решили переехать. Сначала в Финляндию, но там было сложно найти работу, в итоге мы решили посмотреть варианты в других скандинавских странах. Удалось зацепиться за работу в Швеции, и в 2012-м мы туда поехали.

С первой работой в Швеции у меня не очень хорошо получилось, и после окончания испытательного срока я перешел в King, который тогда был небольшой компанией, хотя Candy Crush уже начал набирать обороты. Там я начал карьеру data-scientist.

— **Как создаются игры?**

— Я могу рассказать только о King, причем процесс создания игр постоянно меняется. Думаю, что дело всегда начинается с какого-то прототипа. Люди могут придумать новую игровую механику. Это должно быть что-то новенькое или сиквел успешной игры, как Candy Crush, с чем мне и пришлось работать.

Когда готовится сиквел, ты просто добавляешь нововведения, художники рисуют новую графику, новых персонажей, дизайнер уровней разрабатывает новые уровни, а движок может быть использован тот же самый. Если ведется разработка совершенно новой игры, сначала прорабатывают ключевые механики, причем потом этот прототип, скорее всего, будет показан высокому начальству, которое уже решит, дать ресурсы на разработку или нет.

Дальше разработка разбивается на несколько этапов. Сначала готовится альфа-версия новой игры, которую можно под рабочим названием запустить в отдельно взятой стране и посмотреть на основные метрики: какой процент людей продолжает играть в нее на второй день, на седьмой. Если добавляются платные фишки, можно посмотреть, какой процент людей конвертируется, и принимать объективное решение, есть у этой игры будущее или нет. King старалась не выпускать на рынок игру под своим брендом, если не была уверена, что игра получится высокого качества и приобретет определенную популярность. По-моему, превзойти Candy Crush ей так и не удалось.

— Сам играл?

— Конечно. Это приветствовалось, плюс этим можно было заниматься в рабочее время. Мне больше всего нравился первый сиквел Candy Crush Soda, там я дошел до шестисот какого-то уровня, но по сравнению со многими людьми это было ничто.

После King я перешел в компанию, которая занималась спортивными ставками (тоже в Стокгольме). Они поставляли решения для букмекеров: выставляли коэффициенты, в том числе в режиме реального времени. К сожалению, там было довольно скучно. В Швеции я к тому времени прожил пять лет, получил гражданство, поэтому можно было безнаказанно куда-то поехать перебраться.

Поскольку я скучал и понимал, что надо найти что-то новое, чтобы совсем не зачахнуть, больше внимания обращал на вакансии. Так я увидел позицию в «Арсенале». Поскольку неравнодушен к футболу, особенно англий-



Если слишком много думать, будет сложно попробовать что-то совсем новое

скому, пройти мимо не мог. Я не думал, что у меня есть шансы на нее устроиться, потому что позиция достаточно специфическая, а у меня нет никакого релевантного опыта, но все-таки откликнулся.

Одно из собеседований было про футбол — не столько про цифры и данные, сколько про понимание игры. Поскольку я сам любил в футбол играть, смотрел аналитические передачи, старался думать о том, что происходит на футбольном поле, мне удалось его успешно пройти. Я бы не сказал, что глубокое понимание игры мне сейчас нужно, но если ты работаешь в футбольном клубе, должен интересоваться этим видом спорта.

— Как выглядит твой обычный рабочий день?

— Автобусом я приезжаю на тренировочную базу, которая находится недалеко от Лондона, — около получаса езды. На работе переодеваю в ту же спортивную форму, что и футболисты. Так чувствуешь себя практически спортсменом. Уже здесь начинаются отличия от обычного офиса.

Дальше завтрак в столовой. Можно даже попросить омлет сделать, как в каком-нибудь отелем ресторане. Это очень помогает, экономит время и деньги, особенно если ты не умеешь готовить. В 8:30 планерка.

Одна из особенностей моей позиции в том, что я работаю непосредственно в команде, которая отвечает за физподготовку футболистов. Я сижу с ними в тех же комнатах, одеваю, как они, переодеваю в той же комнате, где и они. Дальше многое зависит от того, какое расписание у команды. Чаще всего, когда сезон уже начался, они тренируются до обеда один раз. Приходится помогать самыми простыми вещами. Например, на тренировке они надевают специальную обтягивающую манишку, в нее вставляется GPS-передатчик, чтобы мы могли отслеживать их перемещения, ускорение, торможение, также на них вешается прибор для снятия пульса, и кто-то все это должен подготовить. Причем нужно убедиться, что каждый футболист надевает свой GPS-передатчик и ничего не путает. Футболисты — народ не очень организованный, нужно за ними следить. Мне приходится и с этим помогать. Там есть ручная работа, которая, вроде бы, не относится к аналитике, но раз уж ты здесь, каждый старается помочь чем может.

Я могу присутствовать и на тренировке футболистов, но это необязательно. Обычно наблюдением за тренировкой, ведением записей занимается sports scientist, мой коллега. Но если он отсутствует, скорее всего, его заменить придется мне. Буквально выходишь на поле, там бегают футболисты, у тебя в руках айпад, ты следишь, чтобы все работало. Возможно, кто-то из тренеров может поинтересоваться, сколько в таком-то режиме интенсивности набегал футболист, чтобы понять, нужно ему дать отдых или дополнительную нагрузку. Чаще я могу остаться в офисе, и, пока все ушли на тренировку, у меня будет полтора-два часа тихого времени, чтобы заниматься своими непосредственными обязанностями.

Я бы посоветовал в первую очередь выучить английский язык практически всем без исключения

— В процессе подготовки команды каков твой вклад в победу? Что зависит от твоей работы?

— Пока вклад минимальный, но я только начал. У меня нет больших амбиций, потому что в футболе изначально результат во многом зависит от везения. Естественно, он зависит от главного тренера, от игроков, от больших решений: кого продать, кого купить, кого выставить в стартовом составе. Какое-то влияние, естественно, оказывает физподготовка, но ей уже занимается дюжина профессионалов. Пока я пытаюсь помогать совсем по мелочам: стараться дать людям больше информации для принятия решений, чтобы они были точнее и объективнее. Мы только начинаем. Возможно, через год-два будем делать продвинутые вещи, которые, может быть, будут большее влияние оказывать на решения. Решения, связанные с подготовкой игроков и их готовностью к матчу, лишь один кусочек всей головоломки. Я бы не сказал, что то, что я делаю, оказывает критическое влияние. Но это большой клуб, большой спорт, большие деньги. Даже если ты можешь чуть-чуть сдвинуть стрелку в нужном направлении, это уже вполне может придать смысл твоему присутствию.

— Так все необычно и интересно.

— Затем и ехал.

— Можно сказать, что ты человек достаточно смелый.

— Мне кажется, это беспечность — необязательно хорошее качество. Я часто сначала что-то делаю, а с последствиями разбираюсь потом. Сомнительный подход, но если слишком много думать, будет сложно попробовать что-то совсем новое. При переходе на такую работу очень сложно просчитать, что там тебя ждет. Мне иногда интереснее броситься с головой в омут и посмотреть, что из этого выйдет. Переехать в Японию? Ну попробую. В Англию? Почему бы и нет. В футбольный клуб? Какой у нас наихудший вариант развития событий? Ну не сможешь ты работать в футбольном клубе, уволят тебя, найдешь другую работу.

— Какой совет можешь дать студентам, которые думают про работу в области data science?

— Я бы посоветовал в первую очередь выучить английский язык практически всем без исключения, в какой бы области ты ни хотел работать. Доступ к материалам, даже к фильмам и мультикам на английском языке, возможность поехать за рубеж и просто посмотреть, как там



живут люди, очень важны для развития любого человека, необязательно профессионального, но для профессионального в том числе. То, что на Физтехе достаточно серьезно преподавали английский, тоже сказало — возможно, больше, чем математика и физика.

Я бы дал совет пробовать разные вещи, разные работы, разные проекты. Я далеко не сразу понял, что мне интересно работать с данными. Пока не попробуешь, скорее всего, не поймешь. Возможно, не стоит выбирать себе какую-то одну конкретную мечту, планировать на десять лет вперед и за ней гнаться, потому что есть шанс, что тебе интересно что-то совершенно другое. **■**

Полную версию интервью с Михаилом Жилкиным читайте на сайте журнала «За науку»: zanauku.mipt.ru.

✍ Елена Хавина

FAQ: научные конференции

Продолжаем цикл прикладных статей, полезных для построения карьеры в науке. На этот раз говорим о конференциях: зачем ездить, где находить и как подаваться. Постерные сессии, устные доклады, конкурсы для молодых ученых, travel-гранты и командирование — все это в нашем кратком FAQ.

ЗАЧЕМ

Современные научные исследования — это, как правило, международные междисциплинарные проекты, в которые вовлечены ученые нескольких исследовательских центров. Такая работа не может идти эффективно в условиях изоляции. Она требует постоянного обмена мнениями с коллегами из смежных областей.

Для анонсирования и последующего обсуждения крупных результатов и итогов значимых этапов работ используются публикации в научных журналах. Каждая научная статья является подтверждением признания результатов исследования сообществом. За публикацией следуют новые исследования, основанные на вышедших статьях. Но что делать, если для статьи пока результатов мало, а те, что есть, вызывают вопросы и сомнения? Или, например, если хочется погрузиться в смежную со своей область, а то и вообще прикоснуться к какой-то достаточно далекой теме и понять, «что там на передовой». Для таких случаев и существуют конференции — то есть, по сути, собрания ученых одной или нескольких областей исследований, на которых обсуждаются самые свежие результаты и самые новые гипотезы и идеи.

КАК НАЙТИ КОНФЕРЕНЦИЮ?

Верный способ выбрать хорошо организованную, уважаемую кон-

ференцию — воспользоваться рекомендациями коллег. Если с ними не складывается, а поучаствовать в конференции хочется, то полезны тематические рассылки и новости различных организаций для молодых ученых.

Если в вашей области особым уважением пользуется какой-то исследовательский центр, то полезно следить за его сайтом — там информация о конференции в стенах центра появится раньше всего.

Для абсолютно самостоятельно поиска пригодятся тематические сайты-агрегаторы.

СЕКЦИИ И СЕССИИ: КАКИЕ БЫВАЮТ ДОКЛАДЫ?

Крупные конференции разделены по секциям — тематическим блокам. Определиться с секцией не сложно: организаторы, помимо списка названий, предоставляют краткое словесное описание проблематики, которую будут обсуждать на секции.

Каждая секция конференции состоит из нескольких частей — сессий. Сессии различаются по формату доклада: постерная и устная сессии, лекции, пленарные заседания и круглые столы.

Выбор формата доклада зависит от опыта выступающего и масштабы работы. Студенты чаще выступают в постерных сессиях. Это самый «дружелюбный» формат, предполагающий менее формальное общение и обсуждение. Реже сту-

денты подаются на устные доклады. Пленарные заседания и круглые столы формируются из экспертов, и студентам туда пробраться в качестве выступающего, а не зрителя, практически невозможно.

ЧТО ТАКОЕ ТЕЗИСЫ?

На конференцию не подают полное содержание доклада. Вместо этого отправляют тезисы — краткое изложение сути выступления.

Тезисы для конференции похожи на абстракт для статьи. Они содержат предпосылки, отличия и преимущества методов, перечисление проделанной работы, основные результаты и перспективы.

Как правило, тезисы строго ограничены в объеме организаторами конференции. Это вынуждает писать «по делу», без лишних подробностей. Особое влияние на судьбу тезисов оказывает название доклада. И сам текст, и заголовок лучше сделать броскими, чтобы организаторы сходу понимали, почему ваш доклад стоит включить в конференцию.

ДЕДЛАЙНЫ, ПРАВИЛА И ВЗНОСЫ

При подаче тезисов на конференцию стоит внимательно относиться к правилам оформления и срокам приема. Не стоит надеяться, что дедлайн перенесут на неделю вперед в последний момент (такой подход — частая практика для не-

больших российских конференций, но это не работает с международными крупными зарубежными конференциями). Не пренебрегайте требованиями к оформлению тезисов. В случае превышения объема или ненадлежащего оформления даже очень интересный доклад могут отклонить.

Также важно не пропустить сроки оплаты регистрационных взносов. Крупные конференции имеют «тарифы» для студентов и для состоявшихся ученых, а также «раннюю регистрацию» — период оплаты с меньшей суммой сборов.

Сроки подачи тезисов у разных конференций разные. У крупных международных симпозиумов подача может закрываться за полгода, а оплата регистрационных взносов — за несколько месяцев. Это связано со сложностью организации таких мероприятий.

TRAVEL-ГРАНТЫ

Участие в любой конференции в другом городе — это поездка, которая требует денег. Любимая студентами «опция» крупных международных конференций — travel-гранты — финансовые дотации со стороны организаторов. Они могут «покрывать» расходы на проживание, питание, перелет.

Travel-гранты могут предоставляться на конкурсной основе молодым ученым, чтобы помочь им построить научную карьеру. Победителями, как правило, становятся авторы самых интересных докладов. Правила предоставления грантов и условия участия в конкурсе публикуются на сайте конференции. Обычно сроки подачи на travel-грант истекают раньше подачи «основного потока».

КОМАНДИРОВАНИЕ

Если грант получить не удалось, то стоит попытаться получить финансовую поддержку со стороны организации, которую вы представляете. Для оформления командирования и получения денег на поездку точно потребуются при-

глашение со стороны конференции (подтверждение того, что доклад принят). Полный пакет документов для оформления командирования регулируется внутренними правилами организаций.

Финансовая поддержка может перечисляться как до поездки, так и после ее завершения — в формате возмещения расходов. Для получения возмещений всегда требуются чеки, подтверждающие оплату проживания, проезда и накладных расходов. Важно сохранить билеты (посадочные талоны) с отметками о том, что поездка осуществлена.

Какие расходы и в каком объеме будут компенсированы, зависит от статуса заявителя — студент вы или сотрудник, а также от внутренних правил организации — на Физтехе и на базовой кафедре они могут отличаться (в МФТИ оформлением командирования за рубеж занимается Международный департамент).

Начинать оформление командировки стоит заранее — лучше за месяц или хотя бы за пару недель до поездки. Времени потребует рассмотрение заявки на финансирование, а также оформление визы (если речь о зарубежной конференции). Для получения последней может потребоваться лично посетить визовый центр или посольство, куда можно попасть на прием только по предварительной записи. Само рассмотрение заявки на визу может занять несколько недель.

НА КОНФЕРЕНЦИИ

Конференция для любого участника начинается с регистрации и получения программы. Помните, что само мероприятие организовано в первую очередь для общения и обмена мнениями, поэтому просмотрите программу, выберите интересные для вас мероприятия и участвуйте в них.

Не бойтесь общаться с коллегами во время сессий и в кулуарах, обсуждать с ними свои идеи, задавать вопросы и делиться впечатлениями — и вы, и они собрались на конференции для этого. Удачи!

ВИДЫ СЕССИЙ

На постерных сессиях, как правило, презентуют небольшие по объему результаты более передовых исследований. То, чего не хватает «на статью», или то, что еще не успели опубликовать, обсуждают здесь. Сессия представляет собой выставку плакатов, на которых изложена вся суть исследования: от методов до результатов. Участники представляют свои работы всем желающим — блуждающим по выставке ученым. Не стоит недооценивать постерную сессию: здесь встречаются как студенческие, так и серьезные работы, еще не прошедшие публикацию.

Устные доклады — это рассказы о каких-то крупных, как правило, уже опубликованных результатах исследований. Доклады проводятся в формате выступления с презентацией, строго ограниченного по времени. Вопросы докладчику обычно задают в конце.

Лекции тоже бывают в составе конференций. Этот формат выделен для выступлений именитых в своей области специалистов перед большой аудиторией. Такие доклады редко выделяют в отдельную сессию, чаще всего их ставят в программу устной сессии.

Пленарная сессия — самые крупные заседания конференции с участием президиума или кворума — группы людей, руководителей секции или конференции. На пленарной сессии выступают самые значимые и уважаемые участники конференции, чьему мнению доверяет сообщество. Во время пленума могут также оглашаться отчеты руководителей секций и приниматься какие-то решения (резолуции).

Круглый стол — обсуждение по заданной теме в формате публичного разговора нескольких ученых. Как правило, круглые столы проводят по актуальным вопросам, требующим обсуждения и привлечения внимания сообщества. **зн**

✍ Олег Фей

СИГНАЛ В НЕБЕСА

Оригинальная статья: Clark, J. R., & Cahoy, K. (2018). Optical Detection of Lasers with Near-term Technology at Interstellar Distances. *The Astrophysical Journal*, 867(2), 97.

Джеймс Кларк и Керри Кахой из Массачусетского технологического института предлагают использовать лазеры мощностью от 2 мегаватт в комбинации с 35-метровыми телескопами для общения с инопланетянами. Возможно, их вдохновила Нобелевская премия по физике этого года, выданная Жерару Муру и Донне Стрикленд за создание фемтосекундного лазера. Согласно статье ученых, опубликованной в *The Astrophysical Journal*, излучение от лазера можно будет поймать на расстоянии до 20 тысяч световых лет и оно без проблем достигнет, например, системы TRAPPIST-1 с тремя землеподобными планетами в «обитаемой зоне» в 40 световых годах от нас. Необходимые телескопы сейчас только планируются к постройке. Например, чрезвычайно большой телескоп ELT (это так и расшифровывается, Extremely Large Telescope) в Чили с диаметром зеркала 39 метров. Естественные колебания светимости Солнца, как утверждается в статье, достигают лишь 0,01%. Если же повысить колебания источника света от нашей звездной системы хотя бы до 0,1%, этого должно стать достаточно, чтобы инопланетяне поняли — они приняли искусственный сигнал.





БОРИС ШТЕРН,
доктор физико-
математических наук,
ведущий научный
сотрудник ИЯИ РАН,
главный редактор газеты
«Троицкий вариант —
наука»:

Конечно, с помощью лазеров можно передавать сигналы на межзвездные расстояния. Однако то же самое можно делать и с помощью радио, причем не хуже, а скорее лучше. Во-первых, в радиодиапазоне предполагаемому адресату гораздо меньше мешает Солнце — в радио оно гораздо тусклее, чем в оптике. Во-вторых, фотонов в радио на четыре порядка больше, чем при той же мощности в оптике (оптимальная длина волны для радиосвязи — 10 см). В третьих, большая антенна на длину волны 10 см гораздо дешевле, чем большое зеркало. Авторы предлагают использовать для связи зеркала крупнейших телескопов, но вряд ли им выделяют дорогое время для столь смутной задачи. Наконец, декларируемая дальность связи (десятки тысяч световых лет) совпадает с возможностями радиосвязи, которые были рассчитаны давным-давно. Инопланетяне, если существуют и имеют достаточно развитую цивилизацию, смогут поймать такие сигналы на предельной мощности приемников.



**АРТЕМ
КОРЖИМАНОВ,**
кандидат физико-
математических наук,
старший научный
сотрудник Института
прикладной физики
РАН:

Лазеры мощностью ~1 МВт существуют, хотя и не очень доступны — в основном, военные ими занимаются. Телескопы с зеркалом ~30–60 метров не существуют, но планируются и, по всей видимости, могут быть построены, хотя и весьма дороги — это мегапроекты стоимостью в миллиарды долларов. Все, что касается физики, в статье выглядит корректным, но учтены не все факторы. В частности, неясно, насколько сильно будут мешать флуктуации в атмосфере, о чем авторы открыто пишут. Плюс отражение от зеркала у них идеальное. Неизвестно, как на таких мощностях будет вести себе оптика. Особенно в режиме непрерывного облучения: поток излучения там предполагается на уровне порядка солнечного потока на Земле. Но главная проблема — это, конечно, возможность реализации технически сложного многомиллиардного проекта, объединяющего технологии на переднем крае, как минимум, двух совершенно разных направлений, для более чем эфемерной цели установления контакта с гипотетической и, весьма вероятно, несуществующей внеземной цивилизацией. Слишком велик риск технической неудачи проекта и слишком низки шансы успешного выполнения основной миссии даже в случае решения всех технических сложностей по сравнению с относительной стоимостью установки.

А почему бы не использовать более мощные лазеры? Например, те же фемтосекундные, с мощностью в петаватты. У приемника всегда есть какое-то временное разрешение. Грубо говоря, это минимальное время, в течение которого он накапливает сигнал. И это в лучшем случае наносекунды. Поэтому использовать фемтосекундные импульсы бесполезно. У наносекундных лазеров сейчас предел мощности порядка тераватта. Есть, конечно, National Ignition Facility и Laser Megajoule, используемые для термоядерного синтеза, — у которых почти петаватт, но там не один лазер, а две сотни. И стоит такая установка несколько миллиардов. Проблема с такими мощными импульсными лазерами в малой частоте повторения. В лучшем случае это десятые доли Герца. То есть средняя мощность у них невелика. Десятки киловатт в лучшем случае. Поэтому я не уверен, что принимать такой сигнал будет проще, чем непрерывный мегаватт. **ЭН**

ПЕРВЫЙ ЧЕЛОВЕК

✍ Виктория Стельмах

«Человек на Луне» (First Man), 2018 г. — картина известного режиссера Дэмьена Шазелла, основанная на биографии астронавта Нила Армстронга. Сценарий, в том числе наполняющие события диалоги, был написан с использованием официальных документов, записей и протоколов событий, происходивших в NASA, а также воспоминаний родных и близких Армстронга. Удалось ли картине стать особо достоверной и глубокой? Получилось ли у режиссера привнести что-то новое по сравнению с существующими картинами об исторических событиях в космосе? Корреспондент «За науку» попытался разобраться в увиденном с помощью популяризатора космонавтики Филиппа Терехова.

ИГРА В «КАМУШКИ»

В кино: Действие картины начинается с испытательного полета Нила Армстронга. Зрителю дают понять, что происходит нештатная ситуация, но не поясняют детали. При этом кажется, что ситуация вышла из-под контроля по вине главного героя. Высота аппарата сначала росла, а затем внезапно стала критически небольшой. Действия Армстронга указывают на неисправность систем, но по приземлении он слышит в свой адрес упреки в непрофессионализме.

В жизни: В фильме демонстрируют полет, в ходе которого проводилось испытание адаптивной системы управления МН-96 экспериментального ракетоплана для суборбитальных полетов X-15. Эта система представляет собой электронный контроллер, делающий процесс пилотирования максимально предсказуемым. В конкретном полете производилась проверка способности системы ограничивать перегрузки — защиты от неосторожных действий пилота или ошибок электроники. У испытания был четкий сценарий: X-15 сбрасывали из-под крыла бомбардировщика, пилот включал двигатель, поднимал аппарат на высоту больше 50 км и затем снижался, не выходя на орбиту, при этом на участке снижения пилот должен был создать перегрузку, необходимую для активации ограничителя, приподняв нос ракетоплана немного вверх, чтобы затем система взяла управление на себя и стабилизировала X-15. И если на симуляторах перед полетом Армстронг с командой провели испытания успешно, то на реальном аппарате система не включилась. Крылатый X-15 на высокой скорости при угле тангажа примерно пятнадцать градусов, в условиях большой перегрузки и с отказавшей аварийной подсистемой действительно оттолкнулся от атмосферы, снова набрал высоту и, пока спускался обратно, улетел дальше на юг, чем было запланировано. Чтобы все-таки приземлиться на специально подготовленном участке, Нил Армстронг пожертвовал большей частью изначально заложенного запаса высоты для выполнения разворота, и в итоге произошло то, что показали достаточно достоверно. Это подтверждает высокий профессионализм астронавта, но никак не наоборот.



ОГРОМНЫЙ СКАЧОК ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В кино: Большие расходы на космическую программу вкупе с сомнениями в ее целесообразности приводят к народным волнениям в Америке. Ситуация особенно накаляется после катастрофы «Аполлона-10», и в сцене старта «Аполлона-11» создается впечатление, что миссии объявлен негласный бойкот. С моральной поддержкой выступает лишь группа репортеров по пути к ракете.



В жизни: Три астронавта являются только вершиной айсберга. Даже «ближний круг» миссии «Аполлон-11» включал в себя как минимум работу огромного количества людей в Космическом центре Кеннеди на мысе Канаверал, откуда производился запуск ракеты, и Центре управления полетами (ЦУП) в Хьюстоне. Конечно, несмотря на все проблемы и противоречия, земляне поддерживали программу, болели за ее участников, в том числе в непосредственной близости от стартовой площадки. Как и в ходе предыдущих исторических миссий, на открытые пляжи Флориды приехали тысячи людей с биноклями, чтобы увидеть происходящее собственными глазами. Космическая программа — это симфония, и исполняет ее огромный оркестр, слаженную работу которого, к сожалению, показали незаслуженно скупо.

ВЗВЕШЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

В кино: Посадка на Луну сопровождается некоторыми проблемами и включается аварийная сигнализация. Астронавты сообщают об этом в ЦУП, но в ответ по связи им тут же говорят: «Продолжайте». В итоге эмоциональное напряжение в критический момент «самой опасной миссии в истории» гораздо слабее, чем в открывающей фильм сцене испытаний X-15.

В жизни: На «Аполлоне-11» в процессе посадки бортовой компьютер лунного модуля выдал две ошибки с определенным интервалом: 1202 и 1201. То, что на экране свернули до нескольких секунд и спокойного ответа из Хьюстона, в реальности было действительно очень напряженными минутами в Центре. Астронавты не знали, в чем дело, но и в ЦУПе информацию не смогли найти достаточно быстро. В итоге проблема разрешилась благодаря специалисту по навигационным системам лунного модуля Стиву Бэйлзу: он выписал все возможные ошибки компьютера на отдельные листы и достаточно быстро нашел расшифровку. Ошибки оказались сравнительно безвредными индикаторами перегруженности компьютера, и Бэйлз сообщил руководителю полетов, что это не поставит посадку под угрозу. Только после этого Центр смог передать на лунный модуль, что посадку можно продолжать. Позднее Стив Бэйлз был награжден Президентской медалью Свободы наравне с астронавтами.



ВКЛЮЧИТЕ СВЕТ!

В кино: Визуально фильм очень мрачный: большинство сцен полетов происходят в пасмурный день, а слабое освещение в кабинах летательных аппаратов не позволяет разглядеть детали приборных панелей.

В жизни: И испытания X-15, и старт «Аполлона-11» происходили в солнечные дни, а реальные кабины были хорошо освещены. Общую сдержанность в освещении бытовых сцен и даже вариацию погодных условий можно принять за желание режиссера передать эмоциональное состояние Нила Армстронга — человека, по воспоминаниям близких, достаточно закрытого и необщительного. Но представить, что эта отстраненность и подавленность сопровождала его во время полетов и могла повлиять на восприятие происходящего, невозможно: психологическое здоровье экипажа было не менее важно, чем физическое. **ЭН**





Выступление группы «Моральный кодекс» в Концертном зале МФТИ. Фото Валерии Литвак

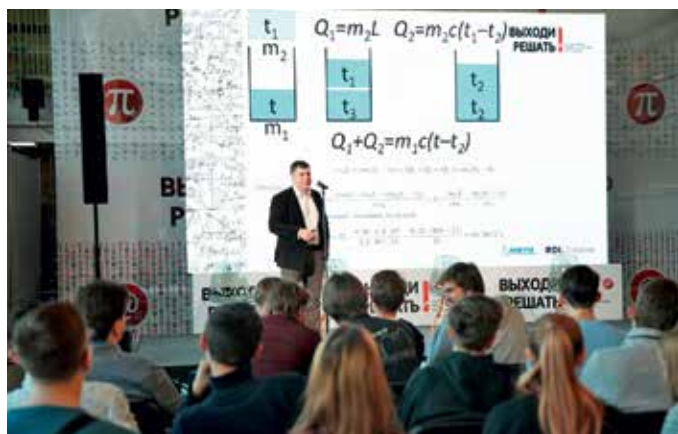


День карьеры в МФТИ



Ректор МФТИ Николай Кудрявцев награждает Любовь Скоророву почетным знаком «Звезда Физтеха»

Выпускники Физтеха Игорь Рыбаков, Илья Дубинский, Сергей Дашков и Андрей Иващенко обсуждают проекты по развитию альма-матер в рамках V конференции выпускников



Нобелевский лауреат Константин Новосёлов объясняет решение задачи на Всероссийской физико-технической контрольной «Выходи решать!»



Фестиваль НАУКА 0+ на Физтехе. Фото Никиты Веремьева



Олег Тиньков отвечает на вопросы физтехов

Новый корпус Физтех.Цифра



Читайте нас теперь из любой точки мира онлайн



zanauku.mipt.ru



больше материалов, больше форматов, больше экспертов

Наука — это, на самом деле, глагол, а не существительное. Наука — это не истина, но это лучший компас, который мы изобрели, чтобы до нее добраться

Алан Бёрдик,
The New York Times