

ЗА НАУКУ

ВЫХОДИТ С 1958 ГОДА

SAPERE AUDE

ЧТО ТАКОЕ СОВРЕМЕННАЯ МАТЕМАТИКА?

BACKGROUND: КОСТЯ НОВОСЕЛОВ, НОБЕЛЕВСКИЙ ЛАУРЕАТ
ОБРАЗОВАНИЕ: ИЗ ШКОЛЫ В ШКОЛУ?
ЛАБОРАТОРИЯ: МАШИННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ФИЗТЕХЕ



ОТ РЕДАКЦИИ

Человечество всегда связывало с наукой свои надежды и мечты. Но, мечтая о будущем, мы часто забываем прошлое и не замечаем настоящего. А тем временем SpaceX отправляет в космос ракеты и производит посадку на платформе в океане, обсерватория LIGO детектирует гравитационные волны, предсказанные Эйнштейном еще сто лет назад, искусственный интеллект играет лучше человека в шахматы, покер и го. Мы уже мало чему удивляемся, нам кажется, что все именно так, как должно быть. Научно-фантастические фильмы рисуют такое будущее, где роботы неотличимы от людей, путешествия со сверхзвуковыми скоростями стали обыденностью, а о таких болезнях, как рак и alzгеймер, все давно позабыли. Все это формирует у нас завышенные ожидания, поэтому новости о том, что ученые приблизились к созданию полноценного искусственного интеллекта, нас не так «цепляют», мы ждем новости о том, что ученые уже создали полноценный искусственный интеллект. Но ведь нельзя построить дом, не заложив фундамент. Человечество достигло невероятных научных высот, но готово ли оно нести за это ответственность? Можем ли мы грамотно распоряжаться всем этим богатством? Успеваем ли мы осознавать все то, что вокруг нас создается, открывается, изобретается? Порой надо сделать паузу для самих себя, чтобы осмыслить наше наследие и понять, а к чему мы, собственно, движемся.

СОДЕРЖАНИЕ



6

Главный редактор
Анна Дзарахова
Научный редактор
Татьяна Небольсина
Дизайн и верстка
Эмма Бурляева,
Максим Гелик,
Заира Панаева,
Любовь Ярошинская
Иллюстраторы
Lion on helium,
Елена Хавина
Фотограф
Евгений Пелевин
Корреспонденты
Михаил Аксёнов,
Вячеслав Гарамов,
Анастасия
Грачинова,
Алёна Гурьева,
Фёдор Ильин,
Фёдор Киташов,
Мария Комарова,
Дмитрий Кузьмичёв,
Егор Марьин,
Фёдор Мещанинов,
Эмиль Миликов,
Анастасия Митько,
Алексей Тимошенко,
Олег Фея,
Ксения Цветкова,
Ася Шепунова
Корректор
Юлия Болдырева
**Цветокоррекция
и пре-пресс**
Максим Куперман

НОВОСТИ 4

Новости науки
Новости МФТИ
МФТИ в СМИ

КРУПНЫМ ПЛАНOM 10

Зеемановский лазерный гироскоп

ОТКРЫТО 12

Генетика
Вариант Туретта

Технологии

Суперпленки для ReRAM

Технологии

«Заправиться»
нанодисками

Фундаментальная наука

Магнитные атомы
в двумерном
мире

Оптика

Сохраняя
свойства света

Моделирование

Имитация сердца

Астрофизика

Квазары и их «хвосты»

Биофизика

Механизм «обоняния»
бактерий

ГЛАВНОЕ 28

Матанализ

Что такое современная математика?

Наука об устройстве мира

ДЕНЬ В ИСТОРИИ 48

Первый искусственный спутник Земли



50 АКТУАЛЬНО

Квантовое превосходство

52 СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Дела сердечные
Лаборатория биофизики
возбудимых систем

54 ЛАБОРАТОРИЯ

Глубже сети —
выше интеллект

56 ЛАБОРАТОРИЯ

Машинный интеллект
на Физтехе

58 STARTUP

Революция от физтеха

60 ПОЛНЫЙ ВПЕРЕД

Анна Гапонова

62 BACKGROUND

«Физтех» для меня —
как национальность
Костя Новосёлов,
нобелевский лауреат

64 ОБРАЗОВАНИЕ

Из школы в школу?
Итоги приемной кампании 2017

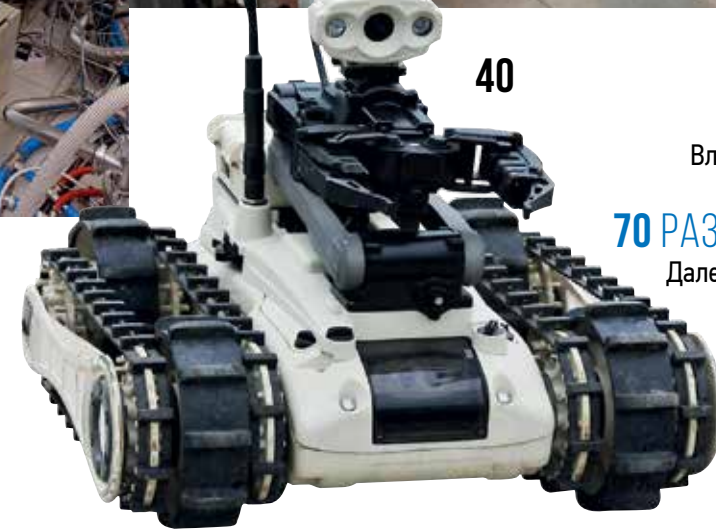
68 НАУЧНЫЕ РАЗОБЛАЧЕНИЯ

Влияет ли будущее на прошлое?

70 РАЗБОР ПОЛЕТОВ

Дальнее близкое будущее

72 ФОТОХРОНИКА



62

Ректор МФТИ

Николай Кудрявцев

Директор по развитию

Виталий Баган

Начальник пресс-службы

МФТИ

Алёна Гупаисова

Экспертный совет

Григорий Иванов,
Нелли Литвак,
Игорь Петров,
Андрей Райгородский,
Андрей Соболевский

e-mail редакции:

zn@phystech.edu

Подписано в печать

19.10.2017

Тираж 999 экз.

Отпечатано в типографии

«Сити Принт». г. Москва,
ул. Докукина, 10/41

Перепечатка материалов
невозможна без письменного
разрешения редакции журнала.

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

На обложке:

Долина вилок.
© sunandstuff.com



© Red Bull

АЛГОРИТМ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Алгоритм, разработанный учеными из MIT, поможет предсказать экстремальные возмущения в потоках жидкости и газа. Многие экстремальные события, такие как волны-убийцы (гигантские одиночные волны высотой около 30 метров) или нестабильности в воздушном потоке, чаще всего невозможно предсказать. Однако математики разработали вероятностный алгоритм для выявления шаблонов, которые предшествуют экстремальному событию. В основе алгоритма лежит сочетание наблюдательных данных и динамических уравнений. Обычно ученые в подобных моделях опираются только на математические уравнения, однако, по словам авторов разработки, физика некоторых экстремальных событий слишком сложна и не до конца изучена, а это может привести к возникновению ошибок при моделировании. Чтобы сделать предсказания алгоритма более правдоподобными, ученые использовали данные о системах, встречающихся в реальном мире.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ «РУЖЬЕ» ДЛЯ ОТСТРЕЛА БЕСПИЛОТНИКОВ

Главный научно-исследовательский испытательный центр робототехники Минобороны РФ создал электромагнитное «ружье». «Ступор» предназначен для подавления беспилотных летательных аппаратов, в том числе коптерного типа. Прибор излучает электромагнитные импульсы и в первую очередь будет использоваться для подавления канала управления беспилотником, который под воздействием излучения теряет связь с оператором, что приводит к неуправляемому полету и падению. «Ступор» действует на дальности до 2 км и в 20-градусном секторе.

© Дмитрий Решетников / ТАСС



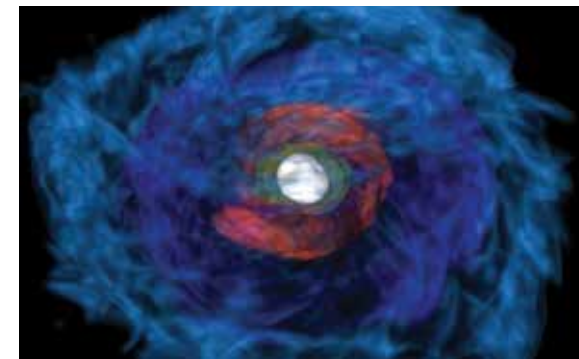
ПЯТАЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ

17 августа автоматические системы на одном из двух детекторов обсерватории LIGO зарегистрировали приход уже пятой гравитационной волны с 2015 года. Через две секунды космический телескоп Fermi зафиксировал вспышку гамма-излучения на южном небе. Почти

в этот же момент вспышку увидела европейско-российская космическая обсерватория INTEGRAL. Гравитационную волну увидел и второй детектор LIGO, а также европейская обсерватория Virgo. Ученые пришли к выводу, что источник вспышки находился в галактике

NGC 4993 на расстоянии около 130 миллионов световых лет от Земли. Это невероятно близко, до сих пор гравитационные волны приходили к нам с расстояний в миллиарды световых лет. Источником волн было слияние двух объектов с массами в диапазоне от 1,1 до 1,6 масс Солнца — это могли быть только нейтронные звезды. Впервые килоновая — вспышка от слияния двух нейтронных звезд — была зарегистрирована сразу в гамма-диапазоне, оптическом диапазоне и в виде гравитационных волн.

© W. Kastaun/T. Kawamura/B. Giacomazzo/R. Ciolfi/A. Endrizzi



7400 км — новый рекорд дальности квантовой связи, установленный 29 сентября с помощью спутника «Мо Цзы». Китай и Австрия впервые провели сеанс трансконтинентальной связи между Пекином и Веной с использованием спутниковой квантовой криптографии.

ЕЩЕ БОЛЬШЕ И МОЩНЕЕ

Мощнейший лазер European XFEL выдал первое излучение. Прибор установлен в Германии, в подземных тоннелях протяженностью 3,4 километра — они начинаются от лаборатории в Гамбурге и доходят до окраин Шенефельда. В строительстве лазера участвовали 12 стран, основные расходы взяли на себя Германия (58 %) и Россия (27%). С нашей стороны были задействованы ученые и инженеры из Объединенного института ядерных исследований в Дубне, Института ядерной физики СО РАН, Курчатовского института и еще нескольких научных центров, в том числе МФТИ.

XFEL генерирует очень короткие и очень мощные импульсы рентгеновского излучения, обладающие свойствами лазерного луча. Их интенсивность выше, чем у любой другой аналогичной установки. Это означает, что физики, химики и биологи смогут в режиме реального времени изучать быстрые химические и биохимические реакции, структуру молекул; создавать новые материалы. Длина волны, которую испускает установка, составит 0,05–4,7 нанометра, что позволяет различать отдельные атомы.



© Кот Шредингера



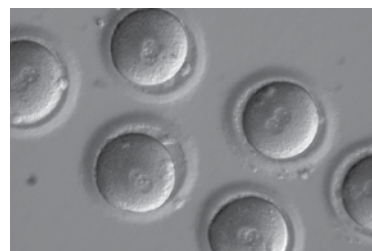
© Magspace.ru

ВМЕСТЕ У ЛУНЫ

Главы космических агентств России и США договорились о создании новой космической станции Deep Space Gateway на орбите Луны, первые модули которой могут быть выведены в 2024–2026 годах. На первом этапе будет построена орбитальная часть с дальнейшей перспективой применения отработанных технологий на поверхности Луны и впоследствии — Марса. Оговорено, что участие в проекте могут принять Китай, Индия, Бразилия и ЮАР.

ИСПРАВИЛИ НА СТАРТЕ

Ученым удалось избавить эмбрион человека от дефектного гена, приводящего к развитию тяжелого заболевания — гипертрофической кардиомиопатии. Работа была сделана международной группой генетиков из США, Южной Кореи и Китая. Исследователи использовали технологию CRISPR-Cas9, которая позволяет найти в ДНК нужный ген и удалить или подправить его. У людей с гипертрофической кардиомиопатией одна копия гена под названием MYBPC3 нормальная, а другая — с мутацией. В половых клетках (сперматозоидах или яйцеклетках) остается только одна копия каждого гена. В исследовании ученые использовали сперму мужчины с гипертрофической кардиомиопатией, и в ней, соответственно, половина сперматозоидов была нормальной, а половина —



Результаты успешного введения в яйцеклетку редактора Cas9 и сперматозоида.
© OHSUTelevision

с мутацией. После редактирования зигот (оплодотворенных яйцеклеток) здоровых эмбрионов стало не 50 процентов, а 72 процента. Другими словами, почти половину зигот с мутацией удалось отредактировать. Авторы новой работы показали, что если вводить в яйцеклетку редактор Cas9 одновременно со сперматозоидом, мозаичность существенно снижается, то есть «исправленный» вариант гена присутствует почти во всех клетках эмбриона.



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ 2017

Нобелевская премия в области медицины присуждена за открытия молекулярных механизмов, определяющих циркадный ритм, Майклу Янгу, Джеффри Холлу и Майклу Росбашу. «Они смогли проникнуть внутрь биологических часов организма и объяснить их работу», — прокомментировали в Нобелевском комитете. Открытие объясняет, как люди, растения и животные приспосабливаются к разным фазам суточного цикла.

Кто получит Нобелевскую премию по физике в этом году, было без колебаний предсказано многими аналитиками. Ее присудили Райнеру Вайссу, профессору физики MIT, а также Кипу Торну и Барри Барришу, профессорам физики Калифорнийского технологического института, с формулировкой «за решающий вклад в детектор LIGO и за наблюдение гравитационных волн».

Нобелевскую премию по химии вручили «за развитие криоэлектронной микроскопии высокого разрешения для определения структуры биомолекул в растворе» Жаку Дюбоше, Йоахиму Франку и Ричарду Хендерсону.

ГОРДИМСЯ

По итогам голосования во втором туре большинством голосов был избран новый президент Российской академии наук, доктор физико-математических наук Александр Сергеев. Помимо выборов президента РАН, в ее отделениях прошли переизбрания вице-президентов, академиков-секретарей и членов президиума РАН, среди которых немало выпускников и ученых Физтеха.

Академик Валентин Пармон, выпускник ФМХФ 1972 года и научный руководитель Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН стал новым председателем Сибирского отделения Российской академии наук, а также был избран вице-президентом РАН.

На должность академика-секретаря Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН был избран выпускник ФАКИ 1968 года Владимир Фортов, ранее возглавлявший РАН.

На должность академика-секретаря Отделения биологических наук РАН был избран декан Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова и выпускник МФТИ Михаил Кирпичников.

Также членами Президиума РАН стали выпускники и преподаватели МФТИ:

Юрий Гуляев, научный руководитель Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, выпускник 1958 года;

Лев Зелёный, директор Института космических исследований РАН, выпускник ФАКИ 1972 года;

Геннадий Месяц, член президиума Российской академии наук, профессор и заведующий кафедрой электрофизики МФТИ;

Борис Четвертушкин, научный руководитель Института прикладной математики им. М. В. Келдыша, выпускник ФУПМ 1966 года;

Владислав Хомич, директор Института электрофизики и электроэнергетики РАН, выпускник ФРТК 1975 года;

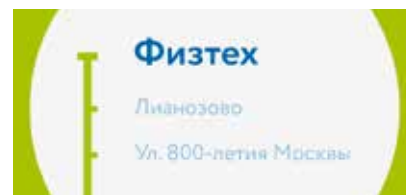
Геннадий Красников, генеральный директор НИИ молекулярной электроники, возглавляет базовую кафедру микро- и наноэлектроники МФТИ.



АБСОЛЮТНЫЕ ЧЕМПИОНЫ

Российские школьники завоевали пять золотых медалей на 48-й Международной физической олимпиаде IPhO 2017, которая в этом году проходила в Джокьякарте (Индонезия). Впервые за всю историю участия России и СССР в международных олимпиадах по физике удалось достигнуть такого результата, который также является максимально возможным. Подготовка команды российской сборной шла под руководством проректора по учебной работе и довузовской подготовке МФТИ Артёма Воронова, а также доцента кафедры общей физики МФТИ Михаила Осина и сотрудника лаборатории по работе с одаренными детьми Виталия Шевченко. Привести школьников к победе также помогла команда тренеров МФТИ: Валерий Слободянин, Александр Киселёв, Виталий Шевченко, Фёдор Цыбров, Алексей Алексеев.

32 СРЕДНИЙ ИНДЕКС ХИРША УЧЕНЫХ, ПРИНИМАВШИХ УЧАСТИЕ В КОНКУРСЕ ВИЗИТ-ПРОФЕССОРОВ МФТИ



ЭТО НЕ ШУТКА

Студенты и выпускники Физтеха ждут станцию с середины 90-х годов. Первоапрельская шутка 1996 года становится реальностью: строительство станции «Физтех» в поселке Северном может начаться после 2021 года, сообщил руководитель Департамента строительства Москвы Андрей Бочкарёв. Она станет продолжением Люблинско-Дмитровской линии («салатовой ветки») и выйдет за МКАД.

СО ВСЕГО МИРА

В МФТИ подведены итоги конкурса визит-профессоров. На 17 позиций отобраны исследователи таких университетов, как EPFL, ParisTech, University of Edinburgh, Arizona State University, Universität Zürich, University of Illinois at Urbana-Champaign и другие. Гранты выделяются действующим ученым, имеющим значительный опыт работы в ведущих международных исследовательских центрах и университетах. Привлечение профессоров с мировым именем позволит укрепить научные связи МФТИ с лидирующими научными коллективами и вовлечь студентов и аспирантов Физтеха в выполнение НИР в рамках совместных проектов по наиболее актуальным тематикам.

НЕТ СТАРЕНИЮ

21 и 22 сентября на Физтехе прошла международная конференция «ФизтехБиоМед-2017». Цель конференции — объединить на одной площадке лидеров и экспертов в области биоинженерии, нейротехнологий и гериатрии для обсуждения идей, связанных с «активным долголетием», неврологией и биотехнологиями, улучшением здоровья и медициной будущего для борьбы с различными заболеваниями. Конференция дала возможность специалистам из десятков стран и отраслей науки скоординировать свои усилия в борьбе со старением, сформировать общие приоритеты и программу действий, направленных на продление жизни.



BIG DATA ДЛЯ НЕФТЯНКИ

Специалисты Научно-технического центра «Газпром нефти» совместно с инженеринговым центром МФТИ начали разработку алгоритмов, основанных на методах машинного обучения. Применение Data Science дает возможность обрабатывать огромные массивы данных (Big Data), вдвое сократить время оперативного анализа эксплуатационных данных, выявлять новые закономерности и учитывать их при дальнейшей разработке месторождений, а также подбирать оптимальные методы разработки для увеличения добычи нефти, при этом сокращая затраты.

НОВАЯ СТЕПЕНЬ СВОБОДЫ

МФТИ вошел в список вузов, которые смогут самостоятельно присуждать ученые степени. 23 августа премьер-министр России Дмитрий Медведев подписал соответствующее распоряжение. Согласно пояснительному документу, новые полномочия включают в себя присуждение ученых степеней кандидата и доктора наук, создание диссертационных советов и установление их полномочий. Это позволит быстрее формировать советы по новым направлениям, привлекая в них выпускников МФТИ, которые работают в передовых российских и зарубежных лабораториях.

СНОВА В СОТНЕ

В середине октября британский журнал Times Higher Education опубликовал рейтинг 300 лучших университетов мира по направлению Computer Science. Физтех занял 67-е место, став одним из трех российских вузов в сотне наряду с МГУ им. М. В. Ломоносова (60-е место) и ИТМО (76-е место). Также в сентябре МФТИ вошел в топ-300 общего рейтинга вузов THE, улучшив свой прошлогодний показатель на 50 пунктов.



ПОБЕДЫ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТСКИЙ ХАКАТОН VISIONHACK 2017

Второе место: Команда МФТИ: Артур Фаттахов (ФИБТ), Артём Куприянов (ФИБТ), Кирилл Тушин (ФРТК), Ахмедхан Шабанов (ФРТК).

ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НИР В РАМКАХ ФОРУМА «НАУКА БУДУЩЕГО — НАУКА МОЛОДЫХ»

Первое место Юлия Кадина.
Второе место Алексей Пушняков (ФУПМ).
Третье место: Иван Калинов (ФРТК), Сергей Павлов (ФМХФ), Михаил Слотвицкий (ФБМФ).
Победа в номинации «Начинающий эксперт» Анастасия Янина (ФИБТ).

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО МИКРОАППАРАТАМ IMAV-2017

Первое место в номинации «Best MAV design», **второе место в номинации «Record breaking session»:** Борис Макаев (ФАЛТ), Артём Кисловский (ФАЛТ) и Ахмед Мохарам (ФАЛТ).

ЧЕМПИОНАТ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ GOOGLE CODE JAM

Второе место Константин Семёнов (ФИБТ).

ОЛИМПИАДА ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ «KPI-OPEN 2017»

Первое место: Команда MIPT SBS: Илья Степанов (ФИБТ), Евгений Белых (ФИБТ) и Андрей Сергунин (ФИБТ).

КОНКУРСЫ ПРЕЗИДЕНТСКОЙ ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОЕКТОВ

Направление «Проведение инициативных исследований молодыми учеными»: Константин Арефьев, лаборатория гиперзвуковых и плазменных технологий. Наталья Пальчиковская, ФАЛТ, ЦАГИ. Андрей Вишневы, лаборатория нанооптики и плазмоники. Виктория Саламатова, лаборатория физиологии человека. Артём Жмуров, лаборатория компьютерного и математического моделирования биологических систем.

Направление «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых»:

Дмитрий Федянин, лаборатория нанооптики и плазмоники. Алексей Щербаков, лаборатория нанооптики и плазмоники. Елена Жукова, лаборатория терагерцовой спектроскопии.



АЛМАЗНЫЙ «РЕВОЛЬВЕР» ЗАЩИТИТ ЛИНИИ КВАНТОВОЙ СВЯЗИ

Исследователи из Московского физико-технического института и Университета Зигена (Германия) объяснили механизм генерации одиночных фотонов в алмазных диодах. Результаты работы, опубликованной в журнале Physical Review Applied, открывают путь к созданию быстрых однофотонных источников для квантовых линий связи и квантовых компьютеров будущего. Кратко о результатах рассказывает пресс-релиз МФТИ.



ЭКСПЕРИМЕНТ. РАЗДЕЛЯЙ И ЗАРАБАТЫВАЙ

24 августа студент Московского физико-технического института Никита Никишкин завершил эксперимент, посвященный разделению мусора. Результаты впечатляют: новый способ разграничения отходов позволяет сохранить 85 процентов полезного вторсырья. «ВМ» первой узнала секрет.



ШЕРОХОВАТОСТИ МЕШАЮТ ФОРМИРОВАНИЮ СПОНТАННОГО ТОКА В СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Физики из МФТИ и НИИЯФ МГУ описали процессы формирования спонтанных токов на различных типах поверхностей р-волнового сверхпроводника. Эксперимент показал, что шероховатые поверхности материала мешают образованию спонтанного тока в связи с изменением симметрии функции спаривания электронов. При этом, если покрыть сверхпроводник нормальным металлом, в металлическом слое спонтанные токи исчезают, а весь сверхпроводящий ток вталкивается внутрь сверхпроводящего материала.



О ЧЕМ ГОВОРЯТ МАШИНЫ: ПОЧЕМУ ЧАТ-БОТЫ ПОКА НЕ ОПАСНЫ ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Исследователь лаборатории нейронных систем и глубокого обучения МФТИ Валентин Малых рассказывает о будущем чат-ботов. Пока компьютеры лишь делают вид, что понимают собеседника, — они просто подставляют в разговор те слова, которые видели раньше в похожем окружении. Что эти слова означают, им по-прежнему неизвестно. В МФТИ сейчас разрабатывается чат-бот, который отвечает на вопросы из определенной области, например, он сможет помочь вам заказать пиццу. Пока он работает только с шаблонными ответами, потому что сгенерированные ответы не всегда «падают». Кроме того, для бота не существует, например, понятия вежливости.



МФТИ ЗАПУСКАЕТ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОНЛАЙН-КУРСЫ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ

2 октября 2017 года начинает работу «Phystech Academy» — дистанционные курсы для школьников из стран ближнего и дальнего зарубежья. Программа построена на опыте Заочной физико-технической школы МФТИ. ЗФТШ была основана на Физтехе 50 лет назад. Ее выпускники смогли поступить в ведущие технические вузы; среди них был и будущий лауреат Нобелевской премии по физике Константин Новосёлов.



ШКОЛЫ МОСКВЫ: ПОИСК ТАЛАНТОВ ВЕДЕТСЯ ПОВСЮДУ

Среднее образование — почти рулетка. Еще недавно выпускники школ штурмовали вузы, где готовили абстрактных управленцев и менеджеров. Но время расставило все на свои места: школьники все чаще выбирают точные и высокотехнологичные науки. С чем это связано? О результатах нынешней вступительной кампании и многих других вопросах — в интервью с ректором Московского физико-технического института (МФТИ) Николаем Кудрявцевым.



ОТКРЫТЫ РАЗРУШАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ

Российские ученые из МФТИ совместно с коллегами из Гонконга и Тайваня объяснили происхождение высокоэнергетических космических лучей, источник которых не был известен раньше. Исследователи обнаружили, что они могут возникать в пузырях Ферми, сформировавшихся благодаря сверхмассивной черной дыре, разрушающей звезды. Кратко о научной работе рассказывается в пресс-релизе, опубликованном на сайте EurekAlert!



МФТИ ВОШЕЛ В ТОП-300 ОБЩЕГО РЕЙТИНГА TIMES HIGHER EDUCATION

Московский физико-технический институт поднялся на 50 позиций в международном рейтинге Times Higher Education и продолжает оставаться вторым самым престижным вузом России после МГУ, сообщает пресс-служба МФТИ.

«Сегодня МФТИ актуализирует свои образовательные программы и научные исследования со стратегией научно-технологического развития России. В этом году мы открыли новые лаборатории, занимающиеся редактированием генома и исследованиями в области искусственного интеллекта. Эти изменения дают не моментальный, но стабильный эффект, который и отражается в рейтинге THE, в котором Физтех уже три года подряд показывает стабильный рост», — заявил ректор МФТИ Николай Кудрявцев



РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ ВПЕРВЫЕ СМОДЕЛИРОВАЛИ АРИТМИЮ НА «ВИРТУАЛЬНОМ СЕРДЦЕ»

Исследовательская группа из МФТИ и Гентского университета (Бельгия) разработала первую реалистичную модель, которая воспроизводит сложное строение сердечной ткани. С ее помощью ученые надеются установить связь между структурными изменениями сердечной ткани (например, развитием фиброза) и возникновением аритмии. Хотя модель описывает пока только один слой сердечных клеток, электрические волны распространяются по виртуальному слою так же, как и по реальному.

Подробнее на стр. 22



ПАМЯТЬ СТАНЕТ ЭКОНОМНЕЙ

Физики из МФТИ и ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН совместно со специалистами Международной ассоциированной лаборатории, занимающейся критическими и сверхкритическими явлениями в электронике, акустике и жидкостной технике (LIA LICs) разработали и продемонстрировали работоспособность магнито-электрической ячейки памяти. По их оценкам, она позволит снизить затраты энергии на запись и чтение информации в десятки тысяч раз. Рассказывающая об этом статья опубликована в журнале Applied Physics Letters.



ПОДНИМИ ГОЛОВУ

Заведующий лабораторией прикладной инфракрасной спектроскопии МФТИ Александр Родин — о том, почему астрономия в школе важна для всех. В этом году после долгого перерыва в российских школах вновь ввели курс астрономии. Раз в неделю учитель физики будет рассказывать ученикам выпускного класса о внесолнечных планетных системах, черных дырах, космологических теориях. За время отсутствия астрономии в расписании российского школьника — а это почти десять лет — в науке о космосе многое изменилось.



В РОССИИ ПОЯВИЛСЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ

В Лаборатории нейронных систем и глубокого обучения Московского физико-технического института появился первый в мире суперкомпьютер, спроектированный специально для обучения искусственных нейронных сетей.

Подробнее на стр. 54



БИТВА ЗА ГРАФЕН: МИРОВОЕ СОСТЯЗАНИЕ ЗА ЛИДЕРСТВО В ТЕХНОЛОГИЯХ БУДУЩЕГО

Алексей Арсенин, директор центра фотоники и двумерных материалов МФТИ, и Юрий Стебунов, научный сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ рассказали о мировой гонке за лидерство на зарождающемся рынке двумерных материалов.



ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО РОССИИ

УЧЕНЫЕ НАШЛИ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ СИНДРОМА ТУРЕТТА

Международная группа исследователей выявила генетические особенности, которые увеличивают риск развития синдрома Туретта, сообщила в понедельник пресс-служба МФТИ.

Ученые обнаружили большие перестройки в генах NRXN1 и CNTN6 у людей с синдромом Туретта. Результаты опубликованы в журнале Neuron.

Подробнее на стр. 12

ЗЕЕМАНОВСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП

ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

Определение угловой скорости вращения и измерение углов поворота по разности частот световых лучей, генерируемых во встречных направлениях в кольцевом лазере.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Новый уровень точности, которого удалось добиться благодаря использованию усовершенствованной схемы резонатора и уникальных зеркал, напыленных на подложках с шероховатостями менее одного ангстрема.

ОТСУТСТВИЕ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

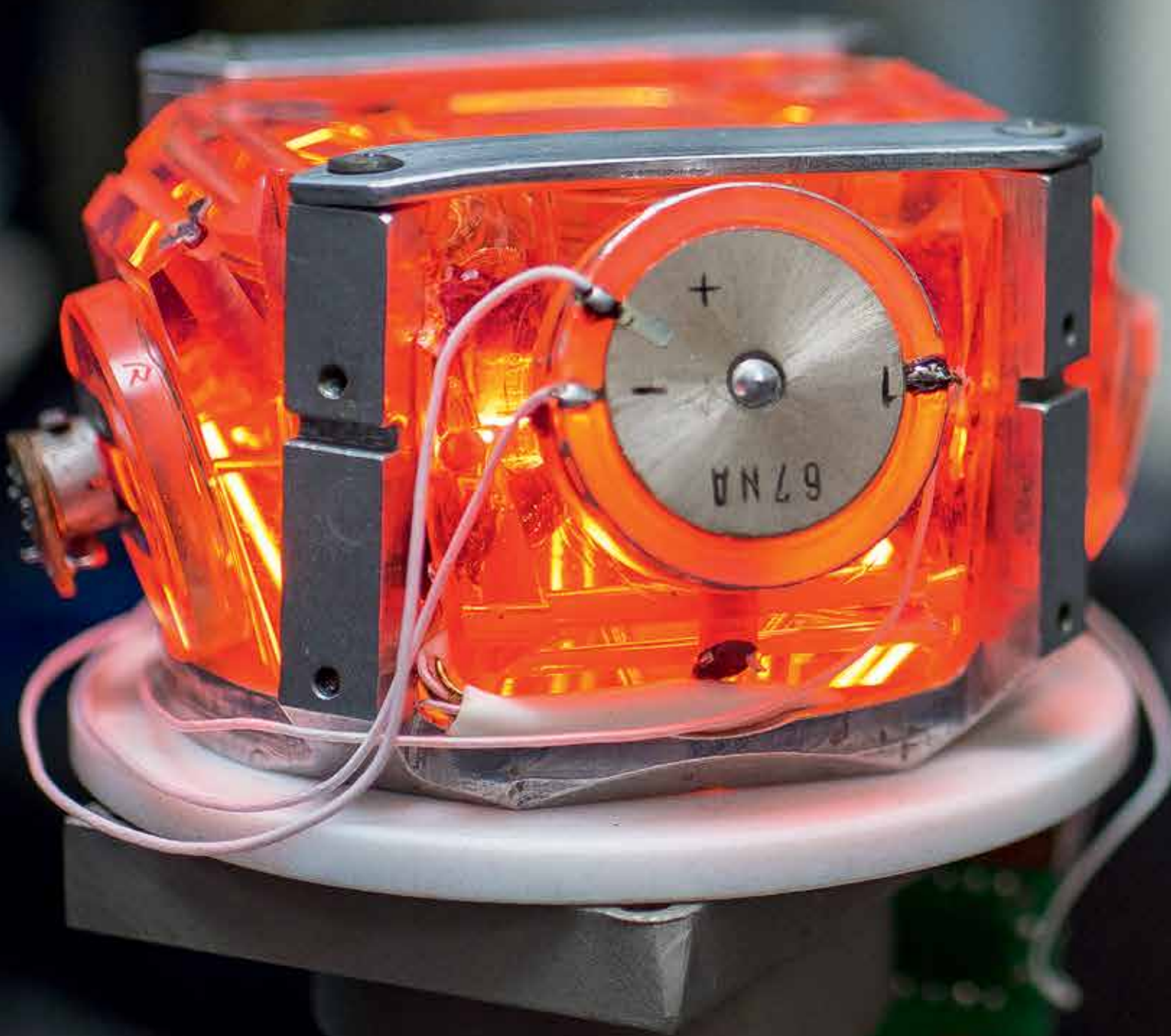
Высокая механическая прочность и устойчивость к ударам и ускорениям. Использование магнитооптической частотной подставки на эффекте Зеемана с целью смещения характеристики в линейную область работы гироскопа.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Авиация. На базе этого зеемановского лазерного гироскопа разработаны бесплатформенные инерциальные навигационные системы НСИ-2000 и НСИ-2000МТ, которые устанавливаются на самолеты Ил-76ТД, Ил-76ТД-90ВД, Ту-154М, Бе-200, Ту-334, Ил-96-300, Ту-204, Ту-214, Ил-96-400.

АВТОРЫ РАЗРАБОТКИ

Гироскоп разработан в НИИ «Полус» им. М. Ф. Стельмаха и модифицирован сотрудниками лаборатории лазерных навигационных систем МФТИ и АО «ЛАЗЕКС»: Алексеем Фомичёвым, Андреем Колчевым, Юрием Брославцем, Павлом Ларионовым, Александром Морозовым.





ВАРИАНТ ТУРЕТТА

Ученые нашли генетические предпосылки синдрома Туретта, которые теоретически могут пролить свет на механизмы не только этого, но и других нейropsychиатрических заболеваний. Исследование проводилось на рекордно большой выборке: около 2 тыс. больных и 4 тыс. здоровых людей, — поэтому результаты являются статистически достоверными (чего нельзя сказать о предыдущих исследованиях).

НЕ ПРОЩЕ ШИЗОФРЕНИИ

Некоторые нейropsychиатрические заболевания имеют генетическую компоненту: шизофрения, биполярное расстройство, синдром Туретта. Однако что это за компонента, до сих пор до конца неизвестно. Если оценить соотношение генетического вклада и вклада окружающей среды, то из всего круга таких заболеваний синдром Туретта покажет самую высокую наследуемость, равную 0,77 (наследуемость 1 означает, что имеют место только генетические факторы). Казалось бы, синдром Туретта должен быть благодатным объектом для исследования.

Если родители ребенка больны, то риск синдрома Туретта повышается в 60 раз по сравнению с общей популяцией. Да и в общей популяции синдром Туретта встречается не так уж и редко — у 0,3–0,9% людей.

Он проявляется в детском возрасте и достигает пика в подростковом. Так как в этот период происходит развитие мозга, то считается, что синдром Туретта как-то связан с нарушениями именно в этом процессе. Естественно, синдром Туретта сильно осложняет жизнь: у детей появляются трудности с обучением, с общением со сверстниками. Однако тики — это только вершина айсберга. У большинства пациентов (>85%) есть сопряженные болезни: обсессивно-компульсивное расстройство (невроз навязчивых состояний), синдром дефицита внимания и гиперактивности, расстройства аутистического спектра, тревожные и депрессивные расстройства. Поэтому синдром Туретта часто называют образцовым нейropsychиатрическим заболеванием. Это значит, что если мы поймем лежащие в его основе

ДЛЯ СПРАВКИ

Отличительной особенностью синдрома Туретта является наличие как минимум одного моторного тика и как минимум одного вокального. Моторные тики связаны с навязчивыми движениями, а вокальные — с произношением каких-то звуков или слов. И те, и другие невозможно контролировать. В массовой культуре синдром Туретта прослыл болезнью, при которой человек непроизвольно выкрикивает матерные слова, однако копролалия (так называется этот симптом) встречается лишь в 10% случаев.

молекулярные, клеточные и нейробиологические механизмы, это может пролить свет на другие психиатрические расстройства.

В случае таких заболеваний, как синдром Туретта или шизофрения,

нельзя указать на определенную вредную мутацию. Несколько генов вносят свой вклад, болезнь «строится» на комбинации разных нарушений — в таком случае говорят о генетической архитектуре заболевания. Хотя синдром Туретта является самым наследуемым расстройством своего круга, «кирпичики» его генетической архитектуры до сих пор не выявлены. Разные исследования давали наводки на разные участки генома, и между ними очень мало пересечений, а статистическая значимость этих работ сомнительна. Более-менее достоверно показано, что на участке второй хромосомы что-то есть, но там тысячи генов.

КОПИИ, КОПИИ

Группа ученых, в которую входил Василий Раменский из МФТИ, сфокусировала свое внимание на крупных перестановках генома — так называемых вариантах числа копий (ВЧК). Ученые взяли 2434 случая синдрома Туретта и 4093 случая контролей, то есть здоровых людей из той же популяции, и проанализировали их на наличие ВЧК. Под внимание попали не все варианты числа копий. Во-первых, рассматривались только редкие ВЧК, которые встречаются не больше, чем у 1% от общей популяции. Ведь если какая-то перестройка встречается чаще, значит, естественный отбор на нее не действует, и следовательно, она не опасна.

Для справки: у человека геном представлен парами гомологичных (подобных друг другу) хромосом, в которых упакована ДНК. В паре хромосом содержится один и тот же набор генов, то есть в идеале каждый ген представлен двумя копиями (не обязательно идентичными). Однако на деле в хромосомах происходят перестройки: делеции и дупликации. Делеция — это утрата куска хромосомы, а дупликация — повторение куска хромосомы. Поэтому у разных индивидов одни и те же участки хромосомы могут быть представлены разным числом копий (2, 1, 3, 4, ...). В таком случае говорят,

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Василий Раменский, биоинформатик, сотрудник лаборатории геномной инженерии Центра живых систем МФТИ:

— Если в среднем по популяции риск заболеть составляет около 0,8%, то у человека с найденными вариантами риск будет составлять, скажем, 1,6%. То есть, с одной стороны, риск повышается в два раза, но с другой, он все равно очень мал. Это такой статистический парадокс, его важно всегда иметь в виду, когда речь идет об интерпретации таких исследований.

что на этом участке есть варианты числа копий, или ВЧК.

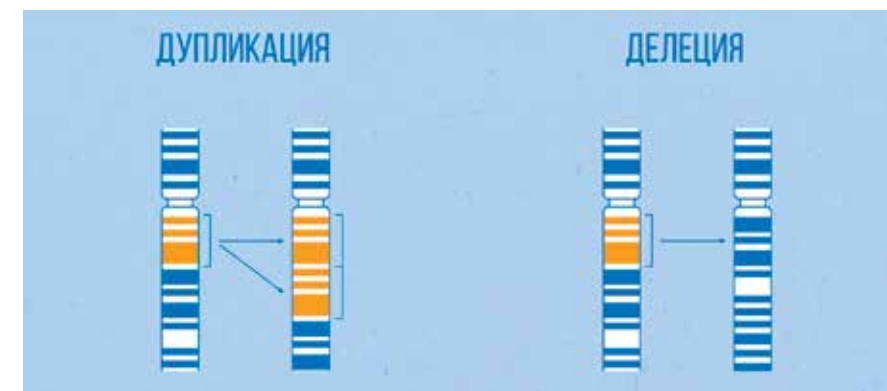
Во-вторых, ВЧК можно охарактеризовать по длине и по перекрытию с генами, ведь не все перестройки обязательно задевают гены. Ученые отобрали длинные ВЧК, которые перекрываются как минимум с одним экзоном (кодирующим участком гена). Оказалось, что таких ВЧК у людей с синдромом Туретта в среднем больше, чем у здоровых. Причем если сравнить количество коротких и не зацепляющих гены перестановок, то разницы практически не будет. Отсюда ученые сделали вывод, что длинные перестройки, которые зацепляют гены, действительно играют значимую роль в предрасположенности к болезни.

РАЗДВОЕНИЕ И ОТСУТВИЕ

Далее ученые задались вопросом, какие гены страдают в первую очередь. Стали искать и нашли два значимых участка. Оказалось, что с синдромом Туретта сильно ассоциированы

делеции в гене NRXN1 и дупликации в гене CNTN6. В этих генах закодированы белки нейрексин-1 и контактин-6, соответственно. Оба этих белка участвуют в процессах слияния клеток в нервной системе. Есть надежные данные, свидетельствующие о том, что делеции в NRXN1 ассоциированы с другими нейropsychиатрическими заболеваниями, включая шизофрению.

Дупликации в CNTN6 впервые связали с синдромом Туретта, хотя варианты числа копий, затрагивающие CNTN6, уже наблюдались в разных неврологических исследованиях. Полученные данные о ВЧК в генах NRXN1 и CNTN6 являются результатом самой масштабной работы, нацеленной на поиск генетических основ синдрома Туретта. Однако ученые считают, что нужно продолжать работать с еще большими группами людей, а также прицельно изучать гены NRXN1 и CNTN6 с их делециями и дупликациями. ■



Хромосомные перестройки



СУПЕРПЛЕНКИ ДЛЯ ReRAM

Экспериментальный кластер для роста и исследования тонких покрытий без контакта с атмосферой (Центр коллективного пользования МФТИ)

Ученые из Центра коллективного пользования МФТИ научились управлять концентрацией кислорода в пленках оксида тантала, получаемых методом атомно-слоевого осаждения (АСО). Такие покрытия могут стать основой для создания перспективного типа энергонезависимой памяти.

□ ВСЕ ПРЕИМУЩЕСТВА В ОДНОМ ФЛАКОНЕ

В современном мире способы хранения и обработки информации играют ключевую роль, поэтому большое количество научных групп и корпораций работают над разработкой новых типов компьютерной памяти. На сегодня актуальной задачей является создание «универсальной памяти», способной объединить быстроту оперативной памяти и энергонезависимость флешки.

Одним из кандидатов является память на основе резистивного переключения — ReRAM. Ее принцип работы заключается в изменении сопротивления ячейки памяти под действием приложенного напряжения. За счет этого высокое и низкое сопротивления ячейки могут быть использованы для хранения информации. Например, «0» и «1».

Функциональной основой ReRAM-ячейки является структура металл-диэлектрик-металл. В каче-

ДЛЯ СПРАВКИ

Метод атомно-слоевого осаждения (АСО, или atomic layer deposition — ALD) — нанесение тонких пленок, обусловленное протеканием химических реакций на поверхности образца. В последние десятилетия он получил широкое распространение: оптические покрытия, биомедицинские активные поверхности, функциональные слои для наноэлектроники. Есть два ключевых преимущества атомно-слоевого осаждения. Во-первых, уникальный контроль над толщиной получаемых пленок: покрытие в несколько нанометров может быть нанесено с ошибкой в доли нанометра. Во-вторых, метод позволяет однородно покрывать трехмерные структуры, что затруднительно для большинства современных подходов создания нанопокровов.

стве диэлектрического слоя хорошо зарекомендовали себя оксиды переходных металлов (HfO_2 , Ta_2O_5). В этом случае приложенное к ячейке напряжение приводит к миграции кислорода, что вызывает изменение сопротивления всей структуры. Таким образом, управление концентрацией кислорода в оксиде является важнейшим параметром, который определяет функциональные свойства ячеек памяти.

Однако, несмотря на заметные успехи в разработке ReRAM, позиции флеш-памяти довольно стабильны. Это происходит благодаря тому, что для производства флеш-памяти можно использовать трехмерные массивы ячеек. Это позволяет значительно увеличить плотность ячеек на чипе, в то время как методы создания пленок с дефицитом кислорода, используемые для ReRAM, не подходят для нанесения функциональных слоев на трехмерные структуры.

ХИТРОСТИ АСО

Чтобы обойти эти трудности, ученые из МФТИ применили метод атомно-слоевого осаждения.

В процессе АСО обычно используются два химических реагента: прекурсор и реагент, которые поочередно наносятся на подложку. Химическая реакция между ними ведет к образованию желаемого покрытия. Стоит отметить, что, помимо необходимого химического элемента, прекурсоры содержат дополнительные соединения — лиганды (например, на основе углерода, хлора и т. д.). Они способствуют протеканию химических реакций и в идеальном процессе АСО должны быть полностью удалены из наносимого покрытия после взаимодействия со вторым реагентом — реагентом. Поэтому подбор реагирующих веществ является ключевым для атомно-слоевого осаждения. Однако создание оксидов с различной концентрацией кислорода, столь необходимых для ReRAM, является непростой задачей для атомно-слоевого осаждения. Эта задача была

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Андрей Маркеев, к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник МФТИ:

— Самым трудным в задаче получения оксидов с дефицитом кислорода было найти нестандартные реагенты, позволяющие не только полностью «убрать» лиганды металлического прекурсора, но и контролировать содержание кислорода в получаемой пленке.



успешно решена за счет использования танталового прекурсора, уже содержащего кислород, а в качестве реагента — активного водорода, генерируемого в удаленном плазменном разряде.

Еще одна трудность крылась в подтверждении полученного результата. Дело в том, что если экспериментальный образец вынести из условий вакуума, в котором происходит АСО, то верхний слой

диэлектрика под действием атмосферы модифицируется настолько, что обнаружить дефицит кислорода такими «поверхностными» методами анализа, как электронная спектроскопия, уже не удается. В решении этой задачи исследователям помогло оборудование Центра коллективного пользования МФТИ, которое позволяет проводить рост и исследование осажденных слоев, не нарушая вакуума. ■



Сотрудники Центра коллективного пользования МФТИ и авторы работы Дмитрий Кузьмичёв, Константин Егоров, Андрей Маркеев и Юрий Лебединский (слева направо)



«ЗАПРАВИТЬСЯ» НАНОДИСКАМИ

Липидные нанодиски, которые широко используют в медицинских целях, приспособили для получения водородного топлива. Изобретение представляет собой нанобиоконструкцию из частиц полупроводника и нанодисков со встроенным светочувствительным белком. Благодаря синергии технических и биологических материалов можно получить больше водородного топлива.

□ БЕСКОНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ

Вместе с развитием прогресса обостряются экологические вопросы. Основной источник топлива, нефть, во-первых, стремительно истощается, а во-вторых, загрязняет атмосферу продуктами сгорания. Поэтому наука активно занимается поисками источника альтернативной энергии, а техническая промышленность разрабатывает оборудование для его получения и использования. Водород является одним из лучших источников энергии. При его сгорании образуется безвредный водяной пар, а его КПД (коэффициент полезного действия) как минимум на 10% выше, чем КПД дизельного или бензинового топлива. Водородный транспорт уже производится автомобильными компаниями: Toyota, Honda, Hyundai, BMW, Ford, Nissan и другими. Однако массовому переходу на водородное топливо препятствует ряд проблем, связанных с транспортировкой, хранением и производством водорода. В частности, на производство водородного топлива сейчас тратится большое количество электроэнергии.

Но выход есть: использовать альтернативный источник энергии для получения водорода, такой как солнечный

свет — он бесплатный и нескончаемый. С помощью света и усиливающего элемента, фотокатализатора, можно расщепить воду на водород и кислород. Самый распространенный фотокатализатор — это полупроводник диоксид титана TiO₂, однако сам по себе он не слишком эффективен. Чтобы усилить TiO₂, можно увеличить площадь поверхности полупроводника, размельчив его до частиц, или можно соединить диоксид титана с другими материалами.

МОЛЕКУЛА, КОТОРАЯ КАЧАЕТ

В отличие от людей, некоторые микроорганизмы давно научились использовать энергию света. Например, морская бактерия *Halobacterium salinarum* имеет в своей мембране (клеточной оболочке) специальный светочувствительный белок — бактериородопсин. Под действием солнечного света бактериородопсин качает протоны (положительно заряженные частицы) из внутренней среды клетки, или цитоплазмы, в окружающую среду. Когда протонов внутри становится меньше, чем снаружи, активируется АТФ-синтаза, которая и производит для клеток энергию. Почему бы и не воспользоваться фоточувствительными свойствами этого мембранного белка?

Бактериородопсин можно синтезировать «в пробирке», но чтобы воссоздать его естественную структуру в искусственных условиях, его нужно держать в мембраноподобной среде. Мембранные белки представляют большой интерес для медицины, именно на них действует большинство лекарственных препаратов, поэтому технологии воспроизводства мембранных белков постоянно развиваются. Так, бактериородопсин можно «посадить» в кусочек билипидного слоя, в котором он будет сохранять свою естественную форму. Если опоясать такой кусочек специальными белками, диаметр кусочка будет зависеть от длины «пояса» и его можно будет контролировать. Все это вместе называется липидным нанодиском.

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Владимир Чупин, профессор МФТИ, доктор химических наук и руководитель лаборатории химии и физики липидов Центра исследований молекулярных механизмов старения и возрастных заболеваний МФТИ:

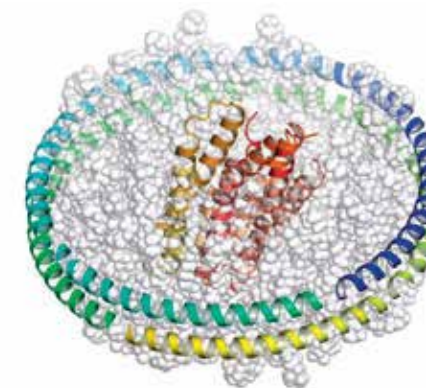
— Пока водорода получается не слишком много, так что над этим надо работать дальше. Вся сборка проходила в США, у них не было опыта и технологии производства нанодисков. Нужно развивать это и улучшать экспериментальную схему. Может, надо в качестве источника электронов использовать не метанол, а какое-то другое вещество, скажем, этанол. Спирты гораздо дешевле многих растворителей, поэтому их хорошо использовать.

МОЩНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

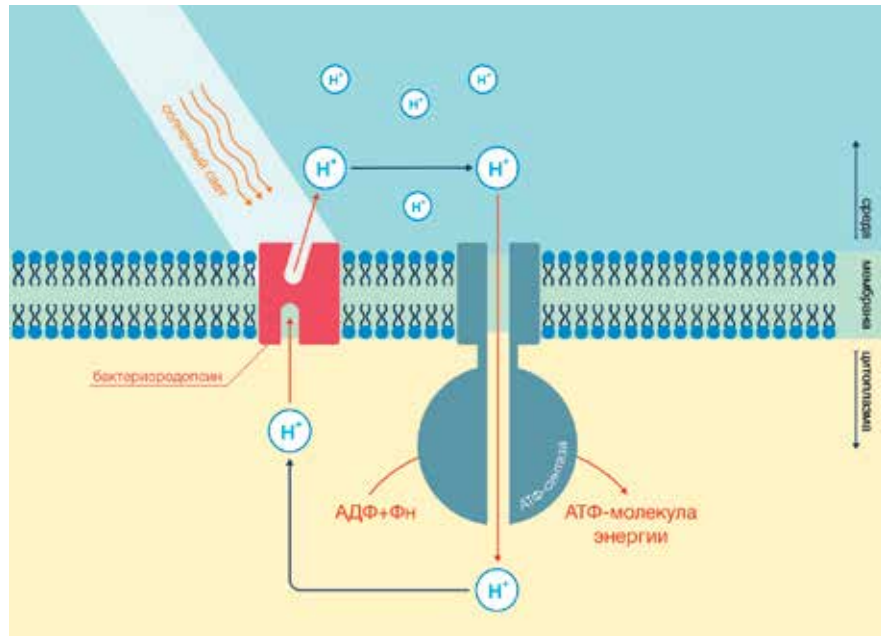
Исследователи из Аргоннской национальной лаборатории (США) решили объединить технические и биологические наноконпоненты — частицы TiO₂ с платиновыми вкраплениями и бактериородопсин. В результате получилась фотокаталитическая система, функциональность которой намного выше, чем сумма свойств ее частей. Бактериородопсин здесь не только качает протоны, которые восстанавливаются до водорода на платиновом катализаторе, но и увеличивает светочувствительность TiO₂. В то же время, диоксид титана увеличивает диапазон длин волн света, который захватывает бактериородопсин (в одиночку он захватывает свет длиной волны около 560 нм, то есть зеленый свет). Раньше уже собирали такую

систему, но с натуральным бактериородопсином в натуральной мембране.

Исследователи обратились к синтетической биологии, а именно, к нанодискам, которые собирает лаборатория перспективных исследований мембранных белков МФТИ. Результатом совместной работы стала самособирающаяся конструкция: нужно было только замешать в водном растворе частицы TiO₂ с платиновыми вкраплениями и нанодиски с бактериородопсином. Чтобы протоны восстанавливались до водорода, в воду добавили источник электронов — немного метилового спирта. На эту смесь направляли сначала зеленый, а потом белый свет и смотрели, сколько водорода выделится. Под белым светом получилось в 74 раза больше водорода, чем под зеленым. Кроме того, выяснилось, что нанодиски позволяют использовать меньше бактериородопсина и производить столько же и даже больше водорода, сколько давала конструкция с натуральной мембраной. Благодаря компактности нанодисков, с частицами TiO₂ связывается больше молекул белка. Хотя натуральные мембраны сейчас использовать дешевле, биосинтетические методы стремительно развиваются и должны скоро открыть возможности для создания новых биотехнологических сборок. ■



Липидный нанодиск



Работа бактериородопсина в живой природе. H⁺ — протон. АТФ — молекула энергии. АТФ-синтаза производит АТФ с помощью энергии протонов. Мембрана состоит из двойного слоя липидов — молекул с «хвостиками»

МАГНИТНЫЕ АТОМЫ В ДВУМЕРНОМ МИРЕ

Физики из МФТИ и Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН сделали еще один шаг на пути к применению топологических изоляторов — материалов с уникальными электрическими свойствами, которые еще недавно считались лишь гипотетическими объектами. Исследователям удалось выяснить, как в подобных материалах устроено взаимодействие между атомами магнитных примесей.

МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО

Топологические изоляторы — это достижение физики XXI века. Они были предсказаны теоретически в 1980-е годы, но лишь в 2007 году открыты экспериментально, значит, им как лабораторному объекту всего десять лет.

Внутри топологические изоляторы ведут себя как полупроводники, а на поверхности (у границы) их свойства похожи на свойства металла. Например, по поверхности подобного материала свободно протекает электрический ток. Сейчас этот новый класс материалов активно изучают по всему миру, включая МФТИ. Ожидается, что их необычные свойства будут востребованы при создании электронных схем с минимальными потерями на тепло, квантовых компьютеров и других перспективных устройств.

ВСЕ ДЕЛО В ПРИМЕСЯХ

Но для того, чтобы создавать полезные устройства на основе топологических изоляторов, необходимо понимать, как на их свойства влияют различные несовершенства их структуры: в частности, присутствие атомов с ненулевым магнитным моментом. Напомним, что магнитный момент характеризует величину магнитного поля, которое может создавать атом.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Игорь Бурми́стров, сотрудник ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН и лаборатории топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах МФТИ:

— Интересный аспект задачи состоял в том, что, в зависимости от расположения магнитных атомов относительно границы двумерного топологического изолятора, их взаимодействие меняется: если оба магнитных атома находятся у границы, то они взаимодействуют как в металле, если оба магнитных атома находятся вдали от границы, то — как в полупроводнике. А что будет, если один атом находится у границы, а другой вдали?

То, как такие атомы (например, атомы железа или марганца) взаимодействуют между собой, давно исследовалось на примере различных веществ. В металлах их взаимодействие носит название взаимодействия Рудермана-Киттеля-Касуи-Йосиды (Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) в честь теоретиков, которые его впервые изучили еще в середине 50-х годов прошлого века.

В полупроводниках взаимодействие магнитных атомов называется «косвенным обменным взаимодействием», и его впервые теоретически исследовали Бломберген и Роуланд (Bloembergen, Rowland) в 1955 году. Большой вклад в изучение этого взаимодействия внес и советско-американский физик, нобелевский лауреат, занимавшийся фунда-

ментальными вопросами физики твердого тела, Алексей Абрикосов. Знание косвенного обменного взаимодействия — энергии связи между магнитными атомами, ее зависимости от расстояния между ними и температуры — позволяет предсказывать то, как будут упорядочиваться магнитные моменты этих атомов при низких температурах в данном веществе.

В КВАНТОВОЙ ЯМЕ

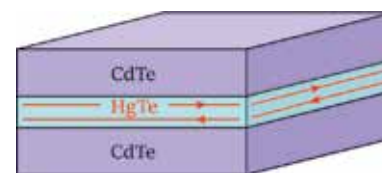
В новой статье, опубликованной журналом Physical Review B, исследователи рассмотрели взаимодействие атомов с ненулевым магнитным моментом в том случае, когда они расположены недалеко от границы двумерного топологического изолятора. Игорь Бурми́стров вместе со

ДЛЯ СПРАВКИ

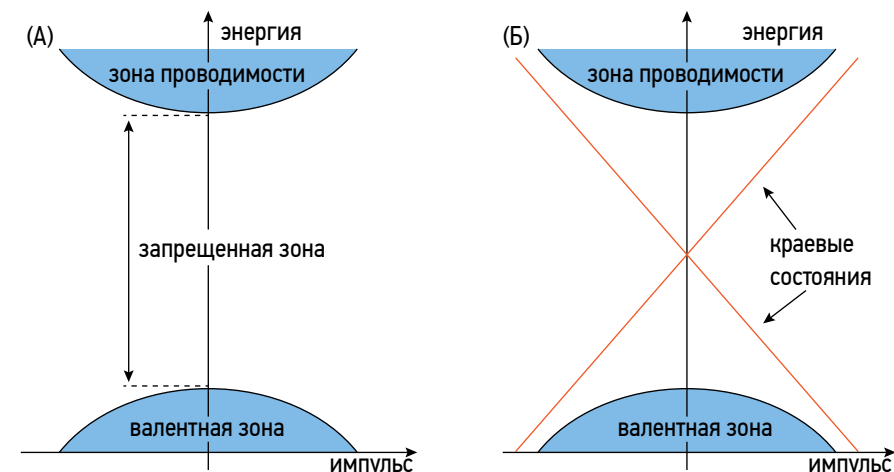
Квантование — феномен, который дал название квантовой механике. В классической физике любая величина (например, импульс частицы) может принимать любое значение от нуля до бесконечно больших величин. Но в самом начале XX века физик Макс Планк показал, что энергия, испускаемая нагретым телом, квантуется, то есть передается порциями фиксированной величины. Идея о квантах оказалась столь плодотворной, что на ней была построена вся современная физика и такие современные технологии как, например, лазеры и оптоволоконная связь.

студентами пятого курса кафедры проблем теоретической физики факультета общей и прикладной физики МФТИ Павлом и Владиславом Куриловичами изучали косвенное обменное взаимодействие между атомами марганца в двумерном топологическом изоляторе на основе квантовой ямы CdTe/HgTe/CdTe.

Фраза «на основе квантовой ямы CdTe/HgTe/CdTe» означает, что между пленок теллурида кадмия CdTe исследователи поместили тонкую полосу из теллурида ртути HgTe. Квантовые характеристики этих веществ разные, поэтому электроны внутри полосы из теллурида ртути не могут свободно перейти за ее пределы, они как бы находятся на дне «ямы-ловушки». Слово «яма» здесь обусловлено аналогией с простой и наглядной ситуацией в классической физике: шарик, лежащий на дне ямы, не может выкатиться из нее, потому что



Схематическое изображение структуры квантовой ямы CdTe/HgTe/CdTe. Красными линиями изображены краевые состояния, которые переносят электрический ток по краю слоя HgTe. Авторы Павел и Владислав Куриловичи



Схематическое изображение зависимости энергии от импульса в обычных (а) и топологических (б) изоляторах. Авторы Павел и Владислав Куриловичи

для этого требуется совершить работу по переходу из точки с меньшей в точку с большей потенциальной энергией. В «квантовой яме» роль стенок выполняет материал, для попадания в который частице нужно иметь некую ненулевую энергию.

ПЛОСКИЙ МИР

В двумерных топологических изоляторах движение квазичастиц происходит в плоскости, что связано с большой величиной энергии размерного квантования в квантовой яме. Квантованием называют эффект, при котором какая-либо система может иметь энергию только с определенными значениями, а размерное квантование — это то, что наблюдается при ограничении размеров системы. В очень тонких слоях или полосках вещества частицы ведут себя иначе, чем в «классических» образцах вроде

куска медного провода или полупроводникового кристалла.

Главным результатом теоретического анализа стало предсказание нового типа косвенного обменного взаимодействия между магнитными атомами в двумерном топологическом изоляторе. С одной стороны, оно напоминает аналогичное взаимодействие в металлах, а с другой — типичную для полупроводников картину. Такое необычное сочетание является определяющим для взаимодействия пар магнитных атомов, один из которых находится вблизи границы, а другой — вдали от нее. Несмотря на то, что прямого практического применения полученные теоретические результаты не имеют, они важны для дальнейшего исследования влияния магнитных атомов на распространение электрического тока вдоль границы двумерного топологического изолятора. ■

КСТАТИ

Важно подчеркнуть также разницу между топологическим изолятором и известным по курсу общей физики скин-эффектом: явлением, которое заключается в способности проводников пропускать ток в тонком приповерхностном слое без проникновения в толщу материала. Скин-эффект хорошо описывается классической физикой, и речь идет о проводимости в слое пусть небольшой, но все-таки заметной по меркам микромира толщины. Топологический же изолятор проводит ток в истинно двумерном слое, и этот эффект обусловлен сугубо квантовыми феноменами. С теоретической точки зрения на поверхности двумерных топологических изоляторов существует двумерный электронный газ.

СОХРАНЯЯ СВОЙСТВА СВЕТА

Ученые из МФТИ и ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН совместно с коллегами из Финляндии создали оптоволокно с экстремально большим размером сердцевин, сохраняющее когерентные свойства света. Данная разработка найдет применение при конструировании мощных импульсных оптоволоконных лазеров и усилителей, а также поляризационных сенсоров.

МОДЫ СВЕТА

Оптоволокно представляет из себя вытянутую нить из стекла или прозрачного для света пластика. На первый взгляд это довольно простая система, однако на практике возникает ряд серьезных проблем, ограничивающих его применение. Первой проблемой являлось затухание сигнала в оптических линиях. Решение было придумано уже довольно давно, что позволило создавать оптоволоконную связь. Но связь — не единственная область, где можно и нужно использовать оптические волокна. Так, на сегодняшний день одним из наиболее распространенных типов лазеров являются волоконные. В них, как и в других видах лазеров, есть резонатор — среда, которую свет многократно проходит в обоих направлениях. Ввиду геометрических параметров волоконного резонатора, пучок света на выходе может иметь лишь ряд строго определенных форм поперечного распределения интенсивности излучения, так называемых попереч-

ных мод резонатора (см. рисунок). Естественным желанием является контролировать модовый состав света, причем на практике чаще всего ученые и инженеры желают получить лишь одну чистую фундаментальную моду (верхний левый угол рисунка), не изменяющуюся со временем.

Для поддержки одномодового режима работы волокно должно состоять из сердечника и оболочки — материалов с разными показателями преломления, толщина же внутренней части, по которой распространяется излучение, составляет, как правило, менее 10 микрон.

ДЛЯ СПРАВКИ

Вопрос сохранения характеристик света является краеугольным камнем, когда речь заходит об использовании оптоволокон. Существует два основных параметра, которые в ряде приложений необходимо сохранять: распределение интенсивности в поперечном сечении и поляризация (характеристика направления колебания электрического или магнитного поля в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны). В своей работе исследователям удалось добиться выполнения обоих этих условий.

АНИЗОТРОПНАЯ СТРУКТУРА

При увеличении оптической мощности света, распространяющегося по волокну, растет и количество поглощаемой энергии, что приводит к изменению характеристик волокна. Например, происходит неконтролируемое изменение показателя преломления в материале, из которого волокно изготовлено. Это приводит к тому, что возникают паразитные нелинейные эффекты, дополнительные спектральные линии излучения и т. д., что в значительной степени ограничивает мощность передаваемых сигналов. Решением этой проблемы, которое использовали и авторы данной

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Василий Устимчик, сотрудник ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, РКЦ и преподаватель МФТИ:

— В данной работе внутри оптоволоконной структуры была создана строго определенная структура, различная по двум перпендикулярным осям, причем размеры этой структуры пропорционально изменяются по длине волокна. Такие решения по отдельности уже нашли широкое применение в производстве, и потому крайне важно продолжать разработки в этом направлении.

статьи, является вариация диаметра сердцевин и оболочки вдоль длины волокна.

При условии, что расширение волокна происходит адиабатическим образом, то есть достаточно медленно, можно сократить долю перекачиваемой в другие моды энергии до уровня ниже одного процента, даже если диаметр сердцевин волокна может достигать 100 мкм, что является очень большим размером для одномодовых волокон. При этом большой диаметр сердцевин

и его нерегулярность по длине волокна увеличивают порог возникновения нелинейных эффектов.

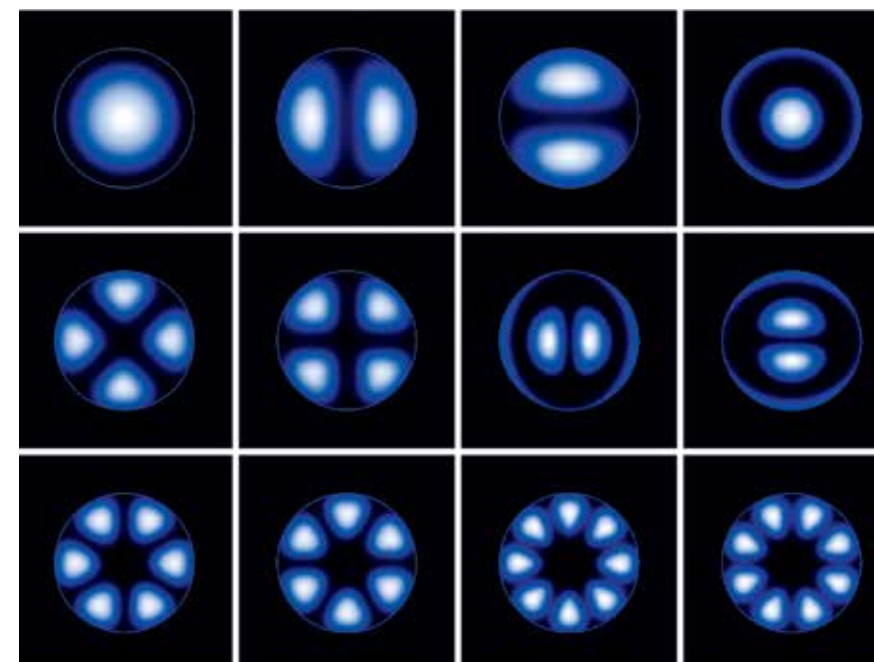
Для решения второй задачи — сохранения поляризации — авторы сделали оболочку волокна анизотропной: внутренняя часть оболочки имеет различную ширину и высоту (эллиптическую форму), и это приводит к тому, что скорость распространения света с различным направлением колебаний поля отличается. Процесс перекачки из одной поляризационной моды

в другую при такой структуре волокна практически сходит на нет. В работе ученые показали, что длина пути света через волокно, при которой колебания разных поляризаций оказываются в противофазе, — так называемая длина поляризационных биений — зависит от диаметра. Чем диаметр больше, тем меньше эта длина, которая соответствует полному обороту состояния поляризации внутри волокна. То есть при вводе линейно поляризованного света в волокно свет станет снова линейно поляризованным после прохождения именно этой длины по оптическому волокну. Возможность измерения данного параметра сама по себе является свидетельством сохранения поляризации в волокне.

ДЛЯ СПРАВКИ

Исследование оптических волокон — одна из наиболее бурно развивающихся областей в оптике. За последнее десятилетие было придумано и осуществлено множество технологических решений. В Институте радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН на сегодняшний день делают нити оптоволоконной почти любой толщины с произвольной поперечной структурой.

Созданные образцы оптоволокон продемонстрировали высокие результаты. Они найдут применение не только в лазерных системах, но и в волоконных датчиках — инструментах, в которых изменение поляризационных характеристик заранее известно в зависимости от внешних условий, таких как, например, температура, давление, биологические и другие примеси. Эти датчики обладают своими преимуществами перед полупроводниковыми (например, не нуждаются в электропитании) и находят все больше применений в различных отраслях промышленности, например, в нефтегазовой индустрии для контроля состояния нефтепродуктов. ■



Поперечное распределение интенсивности оптического излучения в модах оптического волокна

ИМИТАЦИЯ СЕРДЦА

В 40% случаев причиной сердечно-сосудистых заболеваний является аритмия. Чтобы понять предпосылки развития аритмии, необходимо учитывать сложную структуру сердечной ткани. Исследовательская группа под руководством Константина Агладзе и Александра Панфилова разработала первую компьютерную модель, которая имитирует форму и взаимодействие реальных клеток.

ЧУВСТВО РИТМА

Сердце — это насос, который гонит кровь по организму. Чтобы насос работал, сердце должно ритмично сокращаться. Если насос работает неправильно и ритм сокращений отличается от нормального (так называемая аритмия), это приводит к нарушениям в организме, порой смертельным. Согласно докладу Всемирной организации здравоохранения, сердечно-сосудистые заболевания являются самой частой причиной смерти по всему миру, причем 40% случаев вызваны аритмией. Таким образом, чтобы уменьшить смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, необходимо изучать развитие аритмии. Однако *in vivo*, то есть на пациентах, можно увидеть только финальную стадию, а наблюдать постепенные изменения, которые приводят к аритмии, невозможно. Поэтому логичным шагом является применение методов *in silico* — имитация живого сердца с помощью компьютерной модели.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Константин Агладзе, руководитель лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ:

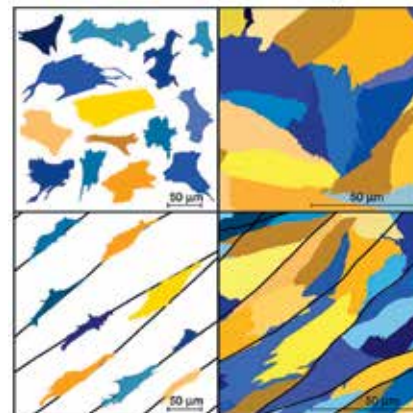
— С помощью экспериментов мы получили виртуальный монослой сердечной ткани, на котором можно моделировать аритмию. То есть мы можем менять разные факторы и смотреть, к чему это приведет и какова в таком случае вероятность аритмии.

Модель должна повторять проводящие свойства сердечной ткани, потому что сокращение сердца зависит именно от этого. При аритмии электрические волны распространяются не так, как в норме. На распространение волн могут повлиять значительные изменения в устройстве сердечной ткани. Например, если фибробластов становится слишком много, развивается фиброз — болезнь, приводящая к аритмии. Вообще, структура сердечной ткани строится на взаимодействии фибробластов, кардио-

миоцитов и структурных белков. Такую сложную структуру и попытались воспроизвести ученые с помощью математической модели.

ВОСПРИЯТИЕ ФОРМ

Передача возбуждения между клетками представляет большой научный интерес, поэтому ее уже пытались моделировать. Было несколько простых моделей, на которых можно было наблюдать некоторые качественные эффекты. Однако они не учитывали формы клеток, их взаимодействие, объединение



Эксперимент: клеточная культура в четырех случаях. Желтыми оттенками показаны кардиомиоциты, синими — фибробласты. На верхних двух картинках отдельные клетки и клетки в составе единого монослоя без нановолокон, на нижних двух — на подложке из нановолокон

в группы, а все эти факторы влияют на распространение волн. Исследовательская группа из лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ и Гентского университета (Бельгия) решила разработать модель, в которой все эти факторы будут учтены.

Для моделирования было необходимо собрать как можно больше экспериментальных данных о формах клеток. Ученые высеивали культуру из сердечных клеток двух типов: кардиомиоцитов и фибробластов. Сначала клетки высаживали изолированно друг от друга, потом — так, чтобы они составляли единый монослой. Первый случай более простой, поскольку там не присутствует взаимодействие клеток, только их форма. Характерные параметры, взятые из экспериментов, использовались в модели.

РАЗНОСТОРОННЕЕ РАЗВИТИЕ

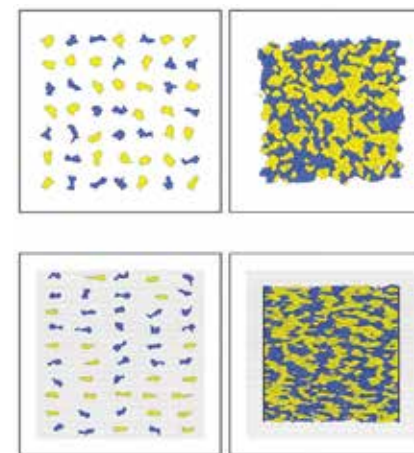
В сердце волны распространяются в разные стороны по-разному. Из-за того, что клетки вытянуты в одну сторону, вдоль мышечного волокна возбуждение передается быстрее, чем поперек. Этот эффект называется анизотропией (когда в разные стороны одинаково — изотропией). В сердечной ткани этот эффект обе-

ДЛЯ СПРАВКИ

Сердечная ткань представляет собой мышцу, которая состоит из возбудимых и невозбудимых клеток — кардиомиоцитов и фибробластов. Кардиомиоциты («кардио» — сердце, «миоциты» — мышечные клетки) передают друг другу электрические импульсы, и таким образом в ткани распространяется волна возбуждения. Фибробласты («фибро» — волокно, «бласт» — росток) синтезируют так называемый внеклеточный матрикс, который состоит из структурных белков, например, из коллагена. Внеклеточный матрикс служит для клеток чем-то вроде каркаса.

спечивает внеклеточный матрикс. Чтобы воспроизвести анизотропию в модели, ученые повторили вышеописанный эксперимент, но на подложке из нановолокон. Высаженные клетки вытягивались вдоль волокна, как это происходит и в сердце.

В итоге удалось собрать статистику (около 200 клеток) по клеточным формам в четырех разных условиях и об их взаимодействии друг с другом и подложкой. Эти данные использовали, чтобы параметризовать модель. За основу была взята математическая модель, которая широко используется для описания роста тканей, но до этого момента не была оптимизирована для исследований сердечной ткани. После корректировки модель смогла воспроизвести клетки во всех четырех случаях.



Моделирование в четырех случаях. Желтым показаны кардиомиоциты, синим — фибробласты. На верхних двух картинках отдельные клетки и клетки в составе единого монослоя без нановолокон, на нижних двух — на подложке из нановолокон

«В течение полугода мы пробовали разные варианты моделей, но ни один из них не давал желаемого результата, — говорит инженер лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ Нина Кудряшова. — Мы попробовали отойти от традиционных подходов к моделированию форм клеток и в явном виде включили в модель точки контакта с подложкой. Мы сразу же получили очень приличный результат. Затем большое время заняли сбор и обработка данных, параметризация модели. Важным шагом был анализ всевозможных морфологических параметров клеток и выбор тех параметров, которые характеризуют клетки».

Далее исследователи проверили функциональную достоверность модели. С помощью электрода они стимулировали реальный клеточный монослой и следили за распространением волн. То же самое они проделали с виртуальным монослоем. Результаты совпали и в изотропном, и в анизотропном случаях. То есть полученная модель повторяла свойства анизотропии, которые присутствуют в реальном сердце, а виртуальные волны распространялись с такой же скоростью, как и реальные. Конечно, надо помнить, что ученые пока смоделировали только монослой, и в будущем модель предстоит расширить до 3D-модели. Однако уже сейчас компьютерной имитации можно «дать» некоторые научные вопросы. В частности, разработчики модели уже заметили несколько особенностей распространения волн, но об этом — в следующей научной статье. ■

КВАЗАРЫ И ИХ «ХВОСТЫ»

Неожиданные расхождения данных высокоточных измерений международной сети радиотелескопов и европейского оптического космического телескопа «Гайя» позволяют ученым определить свойства невидимых «хвостов» активных ядер галактик, которые выбрасываются сверхмассивными черными дырами.

ГАЙЯ

Европейский космический телескоп «Гайя» был запущен в 2013 году. Его главная задача — составление нового каталога миллиарда звезд нашей Галактики с точными данными об их координатах и скоростях. Преподобный аппарат «Гиппарх» собрал данные о положении миллиона звезд с точностью до одной угловой миллисекунды. Точность «Гайи» будет почти в 100 раз лучше — до 24 микросекунд дуги. Помимо звезд нашей галактики, телескоп видит и внегалактические объекты.

На данный момент в каталоге «Гайи» более 100 тысяч таких объектов, в основном это активные ядра галактик — квазары, в центре которых находятся сверхмассивные черные дыры, окруженные

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Юрий Ковалёв, руководитель лаборатории фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ, заведующий лабораторией Астрокосмического центра ФИАН:

— Без преувеличения можно сказать, что это открытие нового направления в наблюдательной астрофизике. Сопоставление данных радиointерферометров и оптических телескопов поможет нам получить информацию об аккреционных дисках вокруг черных дыр и горячих

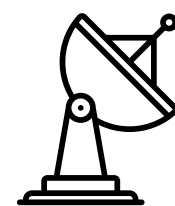
джетах в центрах галактик в видимом свете. Теперь мы лучше понимаем, как они устроены и какие процессы там происходят.

аккреционным диском падающего на них вещества и испускающие струи материи — джеты. Вещество, падающее в черную дыру, разогрева-

ется до крайне высоких температур и интенсивно излучает практически во всех диапазонах электромагнитного спектра.

КСТАТИ

У открытия есть и прикладной аспект: наблюдения квазаров с помощью радиointерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) используются для создания системы отсчета в навигации. На основе этой системы, например, ученые отслеживают движение континентов, измеряют параметры вращения Земли для системы ГЛОНАСС. Сопоставление данных РСДБ и «Гайи» показывает, что координаты активных ядер галактик в оптике могут «плыть» со временем, а значит, их надо использовать для навигации с осторожностью.



ДААННЫЕ СОВМЕСТИЛИ

До сих пор для исследования таких объектов использовался метод радиointерферометрии со сверхдлинной базой — система из нескольких радиотелескопов, разнесенных на большое расстоя-



Наземные радиointерферометры (например, американский VLBA) позволяют строить изображения квазаров и измерять их координаты с разрешением лучше угловой миллисекунды. Раньше им не было равных. Однако Европейским космическим агентством был недавно запущен в космос оптический телескоп «Гайя», точность измерения координат звезд и галактик у которого обещает быть еще лучше.

ние, работающих как одно целое. Это позволяло получить угловое разрешение в сотни раз лучше, чем у оптических телескопов. Поэтому именно в радиодиапазоне ученые могли разглядеть структуру джетов у квазаров.

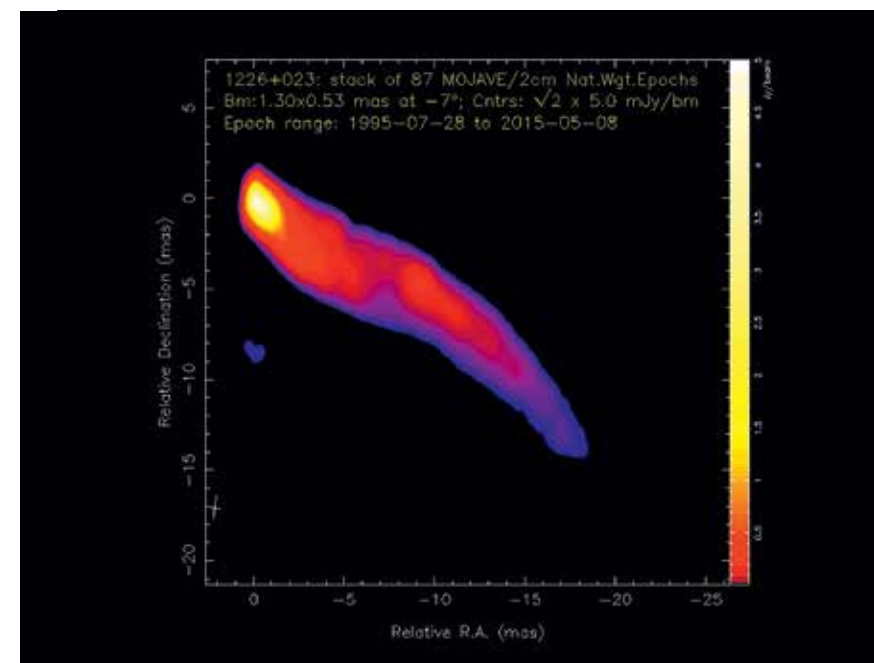
«Но в радио видно далеко не все, например, аккреционный диск сверхмассивной черной дыры ярк именно в оптике и ультрафиолете. Поэтому мы решили попробовать совместить

данные из двух источников», — говорит Юрий Ковалёв.

Сама по себе «Гайя» не дает изображений, как, например, «Хаббл», она лишь фиксирует координаты центра яркости небесного объекта. Юрий Ковалёв и Леонид Петров из ФИАНа совместно со студентом МФТИ Александром Плавиным сопоставили координаты квазаров по данным РСДБ и «Гайи». Оказалось, что около 6% объектов продемонстрировали значительные расхождения. Как правило, сдвиг положений соответствует направлениям джетов.

«Теперь, совместно используя данные о переменном излучении и положении квазаров по данным радиointерферометров и «Гайи», мы сможем воссоздать и исследовать структуру сотен очень далеких квазаров на масштабах парсек, тысячных долей угловой секунды, которые недоступны для обычных оптических телескопов и даже для Хаббла», — говорит Ковалёв. По его словам, при анализе данных у многих квазаров неожиданно обнаружили в видимом свете яркие и протяженные выбросы.

Не менее интересная задача — проследить, как будут меняться их положения и яркость со временем, проанализировать причины ярких вспышек и других процессов, что в целом поможет понять физику аккреционных дисков и сверхмассивных черных дыр. ■



Радиоизображение выбросов горячей плазмы в далеких квазарах, построенное с разрешением лучше одной миллисекунды дуги. Яркость радиоизлучения показана псевдоцветом: от высокого (желтый) до низкого (синий) уровня. Предоставлено Юрием Ковалёвым и коллаборацией MOJAVE



МЕХАНИЗМ «ОБОНЯНИЯ» БАКТЕРИЙ

Ученые из МФТИ в сотрудничестве с коллегами из исследовательского центра Юлих, Института структурной биологии в Гренобле и Европейского центра синхротронного излучения узнали детали механизма работы «обоняния» бактерий. Это удалось сделать благодаря получению структуры белка NarQ из кишечной палочки.

□ ДВЕ КОМПОНЕНТЫ КЛЕТОЧНОГО «ОБОНЯНИЯ»

Любая клетка отделена от окружающей среды плотной мембраной, через которую не проходят практически никакие химические вещества. Это позволяет ей держать условия внутри себя постоянными и правильно функционировать. Однако мембрана сильно ограничивает обмен информацией с окружающей средой. Для того, чтобы узнавать о происходящем снаружи, клетка использует особые молеку-

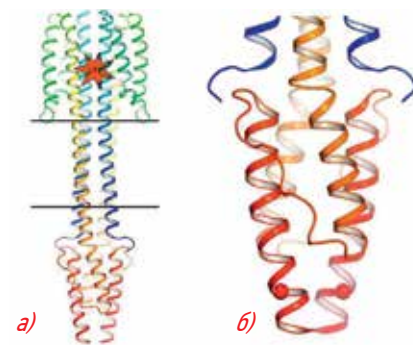
лярные машины — белки. Те из них, что предназначены для общения с окружающей средой, чаще всего «живут» прямо в мембране или около нее и отвечают за передачу сигналов или химических веществ внутрь клетки или наружу.

Наиболее универсальным механизмом «восприятия» окружающей среды у бактерий являются двухкомпонентные регуляторные системы. Такая система состоит из двух белков: киназы, которая принимает сигнал снаружи клетки

и передает его вовнутрь, и регулятора, который принимает сигнал внутри клетки и запускает дальнейшие реакции.

МЕМБРАННЫЕ «ПОРШНИ»

Авторам исследования удалось получить структуру в двух состояниях киназы NarQ из кишечной палочки *E. coli* — представителя универсального класса сенсорных киназ, отвечающих за передачу сигнала об окружающей среде внутрь бактерий. Эта киназа «ощущает» присутствие ионов NO₂- и NO₃- в окружающей среде и передает сигнал об этом через клеточную мембрану. Оказалось, что белок образует «димер»: два белка работают вместе, чтобы захватить ион. Первое состояние — неактивное, в котором белок не связан с ионом нитрата и не пере-



Механизм передачи сигнала внутрь бактерии белком-сенсором NarQ. а) После присоединения нитрата сдвигаются мембранные спирали. б) Внутриклеточная часть меняется после сдвига спиралей-поршней

дает никакого сигнала. Второе состояние, напротив, активное, или сигнальное: в нем киназа сообщает внутрь клетки о наличии нитратов в окружающей среде.

Выяснилось, что сигнальное и неактивное состояния отличаются в месте связывания нитрата совсем немного, на 0,5–1 ангстрема (примерно одна пятая размера самого иона). Однако присоединение этого иона посередине между двумя киназами вызывает каскад изменений в белке: сначала, как поршни, сдвигаются трансмембранные спирали разных мономеров. Эти «поршни» передают небольшое изменение в 0,5–1 ангстрема через



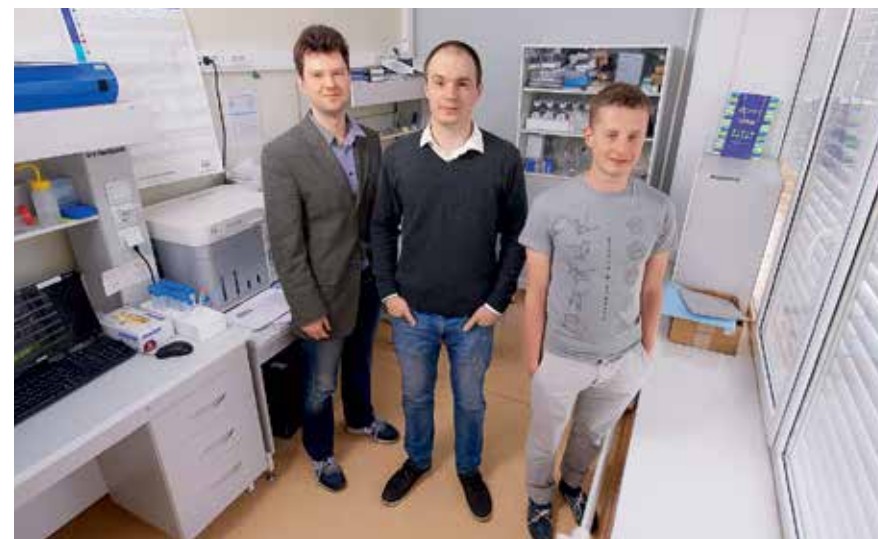
ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Иван Гущин, заведующий лабораторией структурного анализа и инжиниринга мембранных систем МФТИ: — Передача сигнала через клеточную мембрану — один из фундаментальнейших вопросов современной биологии. В этой работе мы в деталях показали, как сигнал (в данном случае связывание нитрата) может передаваться на сотни ангстрем внутрь клетки — бактерий и архей, а также грибов и растений. Понимая механизмы передачи сигнала более полно, мы можем рассчитывать в будущем научиться манипулировать такими клетками, в частности, ослаблять или нейтрализовать вредные эффекты патогенных микроорганизмов.

мембрану, и их внешние концы при этом раздвигаются на ~2.5 ангстрем в разные стороны. На выходе из мембраны, в НАМР-домене продольные сдвиги спиралей конвертируются во вращение двух частей сенсора друг относительно друга. Эти сдвиги в итоге изменяют положение спиралей регулятора на целых 7 ангстрем, завершая передачу сигнала.

Кроме структур, в которых два белка образуют пару (димер), симметричную относительно центральной оси, ученым удалось получить структуру с асимметричным положением двух белков в паре. В этом состоянии белок «уложен» в кри-

сталле иначе и сильно изогнут. Однако все спирали смещены так, что воздействие на внутриклеточную часть белка почти не меняется. Подобная универсальность открытого движения позволяет сказать, что механизм передачи сигнала универсален, и для того, чтобы «ощутить» другие химические соединения, достаточно будет изменить только внешнюю часть рецептора, не меняя при этом «поршневой» механизм. Работа, опубликованная в журнале Science, позволяет понять, как бактерии «общаются» между собой и образуют устойчивые группы на стерильных поверхностях или в организме человека. ■



Валентин Борщевский, Иван Гущин и Павел Буслаев (слева направо), сотрудники Центра исследований молекулярных механизмов старения и возрастных заболеваний МФТИ, проводившие исследование

ДЛЯ СПРАВКИ

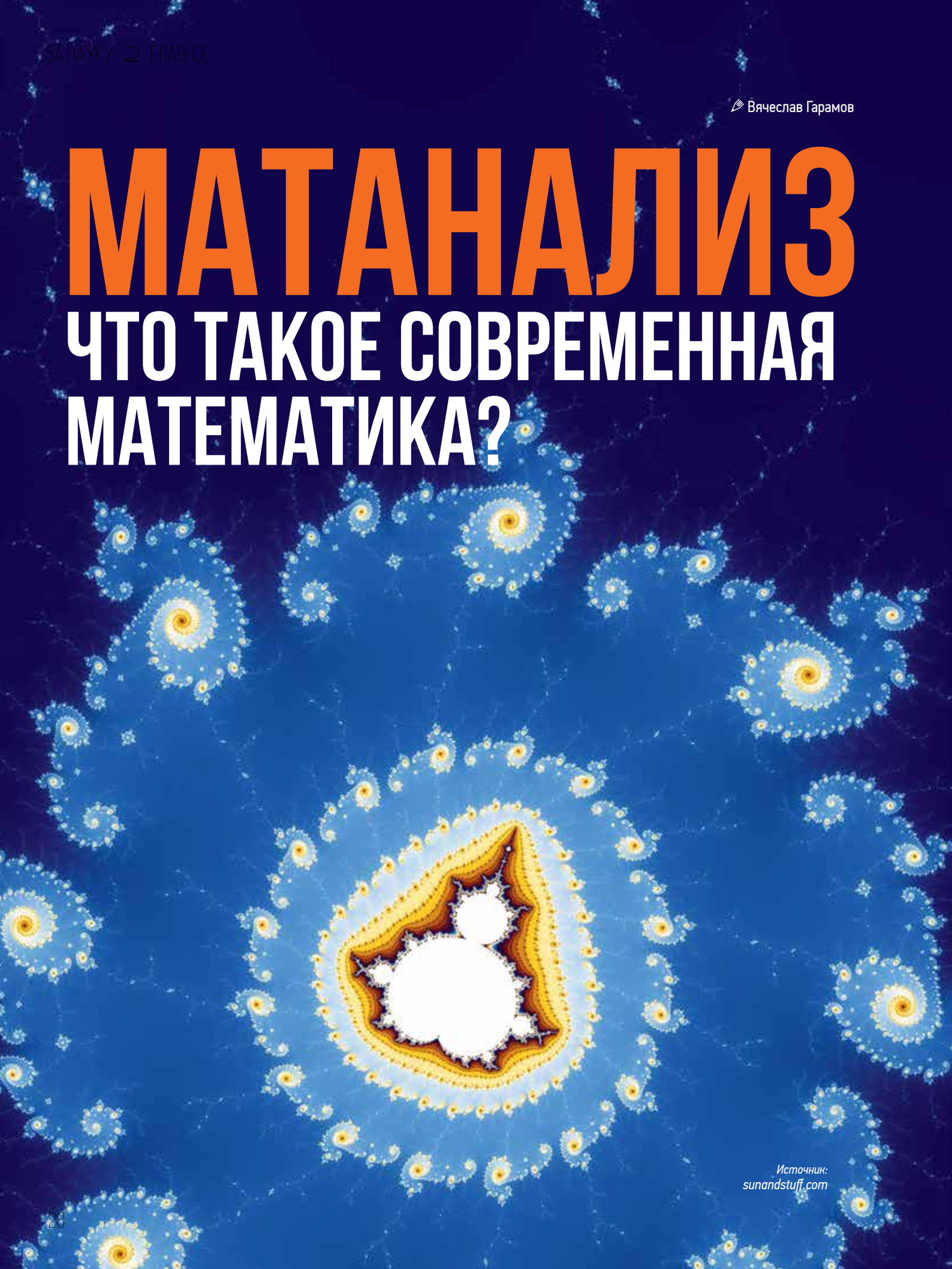
Лекарства, влияющие на бактериальное «обоняние», — перспективные заменители современных антибиотиков. Они не убивают бактерии, а лишь подают им сигналы для того, чтобы те стали безвредными для организма. Так как лекарства такого типа не нарушают нормальную жизнедеятельность микроорганизмов, к ним не может выработаться устойчивость, в отличие от классических антибиотиков.

ДЛЯ СПРАВКИ

Для понимания работы белков хорошим подспорьем может служить их структура, полученная с атомной точностью. На данный момент большинство белковых структур (более 100 000) получено методом кристаллографии. Суть этого метода заключается в наблюдении картины дифракции от упорядоченных в кристаллическую решетку молекул белка. Однако таким образом можно получить только структуру какого-то одного состояния белка, как на фотографии. Если получится «сфотографировать» начальное и конечное состояния какого-то процесса, можно предположить, как именно работает белок при переключении между этими состояниями.

МАТАНАЛИЗ

ЧТО ТАКОЕ СОВРЕМЕННАЯ МАТЕМАТИКА?



Источник:
sunandstuff.com

Андрей РАЙГОРОДСКИЙ, директор Физтех-школы прикладной математики и информатики, заведующий лабораторией продвинутой комбинаторики и сетевых приложений МФТИ, заведующий кафедрой дискретной математики МФТИ, руководитель исследовательской группы компании «Яндекс»:

— В настоящее время математика в МФТИ представлена содружеством Физтех-школы прикладной математики и информатики с институтскими кафедрами высшей математики и информатики и вычислительной математики. Наши усилия направлены на создание в Институте одного из самых мощных в мире научно-образовательных центров в области фундаментальной и прикладной математики. И уже сейчас наши успехи хорошо видны как в России, так и за ее пределами. Это отражается и в рейтингах МФТИ (по математике мы на 159-й позиции в мире по данным предметного рейтинга QS и в ближайшее время рассчитываем войти в первую сотню), и во мнении о нас профессионального сообщества. Такое положение дел во многом связано с созданием Физтех-школы, которая, с одной стороны, бережно сохраняет уникальную физтеховскую систему базовых кафедр, а с другой стороны, проактивно работает над формированием новых международных научных коллективов, новых лабораторий «на кампусе», новых образовательных программ, в том числе дистанционных.

Среди наших базовых кафедр как лучшие в стране академические исследовательские центры (ВЦ РАН, ИПМ РАН, ИСП РАН, ИВМ РАН, ИППИ РАН, ИСА РАН и др.), так и крупнейшие IT-компании: Яндекс, АBBYY, 1С, Акронис, Сбертех, Тинькофф-Банк и другие. Буквально за последний год появились три новых перспективных лаборатории: «Машинного интеллекта» (под руководством профессора РАН Константина



Воронцова, крупнейшего в России специалиста в области машинного обучения и, в частности, тематического моделирования), «Лаборатория мехатроники и робототехники» (под руководством крупнейшего специалиста в этой области профессора Алексея Борисова) и «Лаборатория прикладных исследований МФТИ-Сбербанк» (под моим общим руководством). Но и до того у нас уже был целый спектр весьма сильных лабораторий: «Нейронных систем и глубокого обучения», «Продвинутой комбинаторики и сетевых приложений», «Структурного анализа данных в предсказательном моделировании», «Флюидодинамики и сейсмоакустики», «Прикладной вычислительной геофизики», «Математического моделирования нелинейных процессов в газовых средах», — которые продолжают развиваться, привлекать студентов и промышленных партнеров, формировать международные коллаборации.

ФПМИ находится в центре самых современных научных и образовательных проектов. У нас уже работа-

ет первая в России онлайн-магистратура по математике, планируется создание двух новых онлайн-магистратур по информатике и технологиям. У нас есть англоязычные магистратуры и аспирантуры, есть программы совместных дипломов с университетами Европы. В ближайшее время будут открываться аналогичные программы с США, Канадой, Китаем и другими партнерами.

ФПМИ сотрудничает с ведущими университетами и научными центрами мира, среди которых MIT, GATech, Ryerson University, Microsoft Research, Fields Institute, Renyi Institute, Twente University, UCL, Cambridge, INRIA, EPFL, ETH и многие другие. У нас регулярно проходят международные конференции и воркшопы, стажироваются студенты со всего мира.

ФПМИ совместно с институтскими кафедрами и ЦРИТО активно участвует в работе со школьниками. Проводятся десятки школ, тренировочных сборов, организуются кружки, в том числе дистанционные, профессора и студенты регулярно ездят по всей России с популярными лекциями и семинарами.

Все это отражается в уникальном наборе на наши факультеты: Факультет инноваций и высоких технологий и Факультет управления и прикладной математики. В этом году, например, на направлении ПМИ результаты ЕГЭ по математике у поступающих дали средний балл 99,4 из 100 с учетом олимпиад! У нас один из самых высоких наборов победителей всероссийских и международных олимпиад по математике и информатике среди всех университетов страны.

В этом номере мы постарались рассказать об истории, современном состоянии и перспективах развития математики и информатики. Для этого мы пригласили ведущих экспертов с базовых кафедр, институтских кафедр, лабораторий, а также наших зарубежных партнеров. Разумеется, поговорим мы и о науке, и об образовании. ■

PER ASPERA AD ASTRA. ИСТОРИЧЕСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА

Как происходило развитие математики? Случались ли в ее истории этапы взрывного роста и революции? Как случилось, что математика стала языком технических наук? Об этом нам рассказал ученик Андрея Николаевича Колмогорова, одного из величайших математиков XX века, заслуженный профессор МГУ Владимир Михайлович Тихомиров.



Владимир Тихомиров,
заслуженный профессор МГУ



Платон и Аристотель
(фреска «Афинская школа» Рафаэля)

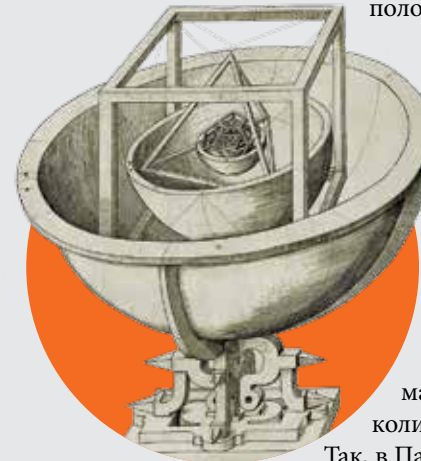
Один из старейших сохранившихся фрагментов «Элементов» Евклида



(ок. 365 — ок. 300 до н.э.) заложил основание теории чисел, доказав бесконечность числа простых чисел, а прикладные аспекты этой теории были получены также в XX веке. Евклиду принадлежит и создание элементов дедуктивной науки на примере геометрии, а завершение его замысла произошло в начале XX века в трудах Клейна и Гильберта. Понимание сущности геометрии реализовалось в теории пространства и времени Пуанкаре, Эйнштейна и Минковского, чьи труды были написаны у порога и в первые

годы XX века. Архимед (287–212 до н.э.) заложил основы одной из глав математического анализа — интегрального исчисления, что в XX веке нашло завершение в теории Лебега, а кроме того, ему принадлежат открытия в механике (теория рычага, например). Аполлоний (262–190 до н.э.) создал основы теории конических сечений, что нашло применение в трудах Галилея и Кеплера и привело в итоге в двадцатые годы XX века к созданию квантовой механики — теории Бора,

Гейзенберга и Шредингера. Так протянулись «нити» от истоков нашей науки к первой половине XX века.

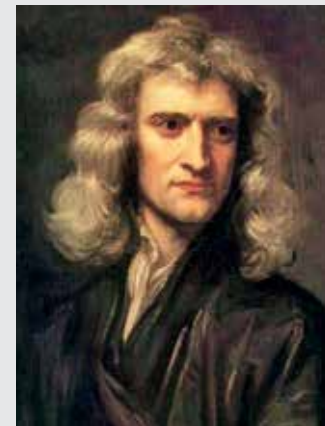


Солнечная система Кеплера

XVI-XIX ВЕКА

Математика и как самостоятельная наука, и как язык естествознания возродилась после времен античности в XVI веке. При этом в XVI веке математиков было в пределах десятка, в XVII и XVIII веках — несколько десятков, и лишь в XIX веке число математиков начало быстро расти — их количество исчислялось уже сотнями. Так, в Парижском математическом конгрессе 1900 года приняло участие 226 человек из 26 стран.

Стоит обозначить основные идеи и открытия, принадлежащие великим ученым XVI–XIX веков. Галилео Галилей (1564–1642) впервые высказал идею о том, что математика является языком естествознания, и выразил первые законы механики на математическом языке — закон инерции и закон свободного падения. Иоганн Кеплер (1571–1630), обработав наблюдения своего учителя Тихо Браге, сформулировал законы обращения планет вокруг Солнца. Рене Декарт (1596–1650) и Пьер Ферма (1607–1665) выразили геометрию на языке арифметики и алгебры, а Ферма к тому же первым высказал мысль о том, что законы природы «управляются» вариационными принципами. Исаак Ньютон (1643–1727) — один из величайших ученых всех времен — создал Систему Мира, разработав начала математического аппарата для решения проблем математического естествознания; важнейшей частью этого аппарата стали дифференциальные уравнения. Фундаментальный



Исаак Ньютон

Мехмат МГУ (Главное здание)

вклад в философское осмысление науки принадлежит Вильгельму Лейбницу (1646–1716); помимо создания математического анализа, основанного на идее локальной линейной аппроксимации, он высказал важные суждения, касающиеся математической логики, и по сути дела стал родоначальником информатики. Леонард Эйлер (1707–1883) и Жозеф Луи Лагранж (1736–1813) широко раздвинули рамки математического анализа

и математической физики. Карл Фридрих Гаусс (1777–1855), названный королем математики, внес большой вклад во все названные выше области математики: превратил теорию чисел в фундаментальный раздел математики, был провозвестником новых геометрий и создал теоретические основания для измерения Земли и исследования движения спутников планет Солнечной системы. Новый взгляд на геометрию как модель Вселенной высказал Фридрих Бернхард Риман (1826–1866). Пуанкаре был математиком широчайшего диапазона, в частности, он заложил основания физики XX века. Давид Гильберт (1862–1943) завершил осмысление геометрии и создал математический аппарат квантовой механики.

ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XX ВЕКА

Выделим здесь три периода — перед Первой мировой войной, время между мировыми войнами и послевоенный период, который доведем до московского Математического конгресса 1966 года. Укажем некоторые этапы развития математики этого периода.

В начальный период XX века родился бесконечномерный анализ. Среди его основателей были Вольтерра, Адамар, Гильберт и Банах. Были высказаны первые идеи построения всей математики как единого целого на базе аксиоматического метода, основывающегося на теории множеств Кантора. Получили выдающееся развитие математические центры в Париже и Геттингене.

В послевоенный период до прихода Гитлера к власти большую роль играли, помимо крупнейших школ — французской и немецкой, — несколько замечательных новообразованных математических школ: в Польше (Банах, Куратовский, Серпинский, Шаудер), в Венгрии (Ф. Рисс, Сеге, Туран, Фейер, Эрдеши), в Москве (Егоров, Лузин, Александров, Колмогоров, Люстерник, Понтрягин, Урысон). В середине тридцатых годов, после прихода к власти нацистов стали происходить изменения, которых не было на протяжении всей предшествующей истории математики. Почти все математические школы стали переживать трагические перемены. Была фактически разрушена немецкая, очень пострадали польская и венгерская школы, во французской школе происходила смена поколений.

И московская математическая школа — школа одного университе-



та — стала самой крупной математической школой в мире. Но при этом наука в СССР была отделена от науки остального мира. Научные контакты советских ученых с учеными других стран прекратились.

Среди достижений в математике периода между двумя мировыми войнами надо условно назвать теоремы Гёделя, положившие конец надеждам «все доказать», а также создание нового мира — мира случая: были очень далеко продвинуты теория вероятностей и математическая статистика. Определяющую роль в этом сыграли исследования Колмогорова.

В послевоенные годы стали зарождаться две тенденции, которые привели к нынешнему состоянию не только математики, но и всей науки. Возникли секретные исследования. Наука стала решать проблемы по созданию оружия всех типов — атомного, водородного, — стали создаваться ракеты для доставки оружия, создавались химическое и биологическое оружие, усовершенствовались традиционные вооружения — авиация, артиллерия, надводный и подводный флот, — развивались средства кодирования и декодирования информации. Апофеозом достижений меняющегося мира были атомная бомбардировка Хиросимы и Нагасаки в 1945 году, наши испытания атомной бомбы в 1948 году, испытание водородной бомбы у американцев в 1952, а у нас — в 1953 году, первый спутник, запущенный в 1957 году, первый космический полет Гагарина в 1961 году, первая посадка на Луну в 1967 году.

Первый спутник, запущенный на орбиту Земли



Юрий Гагарин (Хельсинки, 1961 год)

Арифмометр Veuve Rayen

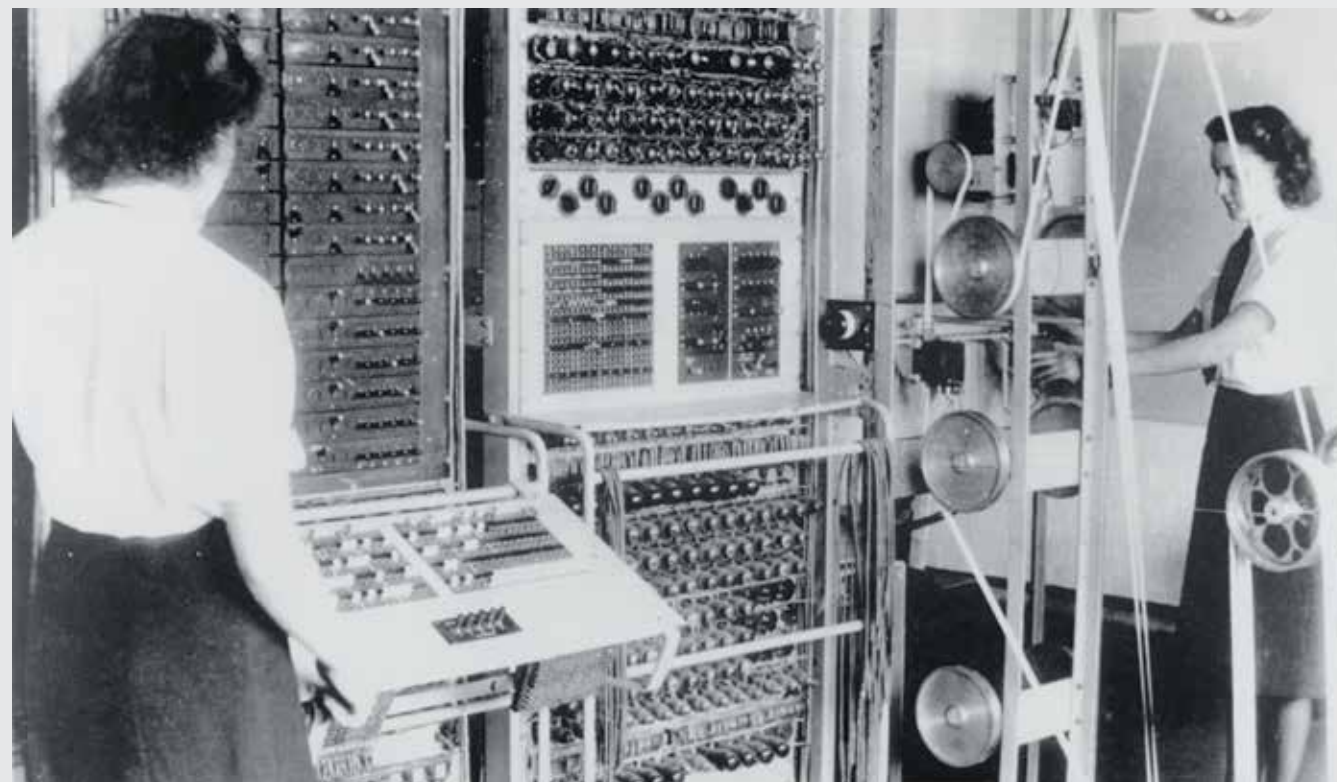


Все это потребовало невероятных усилий тех, кто участвовал в осуществлении этих программ, в частности, математиков, привело к интенсивному развитию прикладных математических направлений. И вместе с тем группы молодых математиков Франции и Америки предприняли попытку построить нечто вроде гигантской чаши, в которой можно было бы разместить всю математику. Была надежда, что все безграничное многообразие математики в единстве с естествознанием, инженерией, экономикой и вообще со всем, чему можно придать точный смысл, можно будет выстроить как единое целое и разместить все в едином строении.

ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

В последние 50–60 лет произошли колоссальные перемены. Прежде всего — исторические, особенно в нашей стране. У нас изменился государственный строй, Советский Союз распался. Железный занавес, который не позволял нашим соотечественникам покидать свою страну, рухнул, и многие получили возможность путешествовать по всему миру. Началась эмиграция, особенно интенсивная среди математиков.

И к тому же произошел неслыханный по силе информационный взрыв. На глазах моих сверстников счеты и логарифмическая линейка как средство вычислений сменились сначала ручными, потом электрическими арифмометрами, затем появились первые маломощные ламповые вычислительные машины, потом — электронно-вычислительные машины. Они были очень громоздкими, но потом наступила эра персональных компьютеров и сверхмощ-



Ламповый компьютер

ных компьютерных систем. Еще тридцать лет тому назад единственным средством общения был телефон, сейчас мгновенно, не покидая дома, мы связываемся со всем миром. Исчезает необходимость в книгах и библиотеках, любую справку можно получить по интернету.

Изменилась ментальность молодежи. Если мои сверстники, окончившие Московский университет, Физтех, Инженерно-физический институт, направлявшиеся на край земли в места вроде Байконура или Плесецка, где не было никаких условий для жизни (баракы, плохо отапливаемые избы, с отсутствием туалетов и ванн, с плохо организованным питанием), и все это с женами и малыми детьми, шли на все это, считая что выполняют свой долг перед своей стра-

ной, то сейчас внукам это уже невозможно объяснить.

И если недавно, те же шесть десятилетий назад, в развитии человечества основную роль играла Наука, то теперь на первые рубежи вышла Технология, которую обслуживает Информатика. Научные школы утрачивают прежнее значение, наука воистину становится мировой.

И если вернуться к математике, то она, в силу всего сказанного, утрачивает ощущение единства: огромная чаша, в которой была надежда разместить всю математику, оказалась разбитой и представляет собой множество осколков, на каждом из которых работает группа математиков, понимающих друг друга, но удаленных от остального мира. Лидеров и авторитетов, подобных Келдышу в прикладной математике, Канторовичу, Колмогорову, Лаврентьеву, Петровскому, Понтрягину, Соболеву в математике «широкого профиля» — и теоретической, и прикладной, — сейчас не видно.

И нелегко на фоне фантастического развития в наши дни Науки о Вселенной, Биологии и Технологий назвать фундаментальные идеи, цели и открытия в математике в изменившемся мире последних десятилетий, которые были бы сравнимы с открытиями упомянутой цепочки ученых, представляющей все времена от XVI до середины XX века: Галилея, Ньютона, Эйлера, Гаусса, Римана, Пуанкаре, Колмогорова. Но надо осознать, что решить проблемы, стоящие перед человечеством, без математики невозможно. ■



Доставка ракеты на космодром Байконур

СОСТОЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ МАТЕМАТИКИ

Пауза или кризис? Почему сегодня не наблюдается такого стремительного развития фундаментальной математики, как это было столетие назад? В чем заключаются главные проблемы современной математики и чем она отличается от других технических наук? Мы спросили у ведущих экспертов.

Дмитрий Трещёв,
директор Математического
института им. В. А. Стеклова РАН:

— Современная математика — продукт многовековой деятельности чрезвычайно большого числа хороших обученных, квалифицированных и талантливых специалистов. Сейчас трудно ожидать построения новых фундаментальных теорий, таких, какими когда-то явились топология или функциональный анализ. Однако это не означает, что развитие математики возможно в дальнейшем лишь в приложениях. Оценивать прогресс в этой области числом новых фундаментальных теорий в современных условиях, видимо, неправильно. Это все равно, что говорить, что современное мореплавание находится в кризисе, поскольку не открываются новые континенты и острова. Математика — сложный цельный организм, с одной стороны, развивающийся по своим внутренним законам, а с другой — испытывающий влияние «соседних» областей: естественных



наук, информатики, экономики. Эти два механизма являются источниками новых вопросов и задач. Пока есть новые интересные задачи, математика будет жива.

Определенная проблема состоит в том, что традиционные области постепенно исчерпывают себя. Я имею в виду то, что всякая область математики (и не только математики) оперирует ограниченным набором объектов и понятий, и, если нет постоянного взаимо-

действия с другими областями, интересные задачи часто переходят в разряд очень трудных или безнадежных. В связи с этим сфера интересов и компетенций у современного математика должна быть максимально широкой. К этому я постоянно (хотя и с не очень большим успехом) призываю своих студентов. К сожалению, как правило, современные молодые специалисты слишком быстро начинают концентрироваться исключительно на своей узкой тематике и теряют интерес ко всему остальному. Особенно сильно это заметно в провинциальной науке. В итоге риск оказаться экспертом в вопросах, которые почти никого не интересуют, сильно повышается.

Как адекватно оценить полученный результат ученому, не являющемуся экспертом в области, в которой этот результат получен? Еще одна проблема современной математики. Я, конечно, здесь не говорю о классических, всем известных задачах типа гипотезы Римана или проблеме существования решений уравнений Навье-Стокса. Дело в том, что не всегда легко понять формулировку результата из «чужой» области. Но даже если результат полностью понятен, для его оценки чрезвычайно важно осознать его значимость в данной области. Без этого легко дать высокую оценку эффектно сформулированной тавтологической переформулировке чего-то хорошо известного и недооценить важное и трудное продвижение, которое выглядит на первый взгляд скромным и очевидным.

“ Оценивать прогресс в математике числом новых фундаментальных теорий в современных условиях, видимо, неправильно. Это все равно, что говорить: современное мореплавание находится в кризисе, поскольку не открываются новые континенты и острова ”



Андрей Соболевский,
директор Института проблем передачи информации
им. А. А. Харкевича РАН:

— В математике, насколько я понимаю, крупных фундаментальных событий в последние десятилетия не происходило. Вообще я бы сказал, что большие новые теории в математике создавались в первой половине XX века, и к 60-м годам этот процесс более-менее закончился. Последние десятилетия преимущественно решались задачи, сформулированные ранее, но каких-то концептуальных прорывов не было. Наверное, это в каком-то смысле пауза в развитии. Иногда математика развивалась очень бурно, например, между XVII и XVIII веками, когда по большому счету современная математика и возникла. Очень активное развитие было в начале XX века. Сейчас же наметилась пауза. Сколько она продлится, непонятно. Но ясно, что в данном случае масштабы времени — это десятки лет.

Впрочем, это только пауза. Сказать, что развитие фундаментальной математики будет замедляться, я ду-

маю, нельзя, потому что математика, в конечном счете, все-таки наука о структуре того, как мы понимаем мир. И если человечество не соберется махнуть на себя рукой, развитие этой науки будет продолжаться.

Интересно, что математика впервые стала наукой непосредственного, прямого применения в приложениях сравнительно недавно. Это произошло за счет появления и развития компьютеров в середине XX века сразу по нескольким направлениям: математическое планирование и математическая экономика, телекоммуникации, связь, теория информации. Такой пример: 100 лет назад инженер за решением своих задач мог обратиться только к физики или химии. У него не было таких задач, с которыми он прямо бы пошел к математику. В середине XX века инженеры начали видеть в математиках непосредственных коллег, с которыми можно поговорить. На-

“ Математика — наука о структуре того, как мы понимаем мир. И если человечество не собирается махнуть на себя рукой, развитие этой науки будет продолжаться ”

чала обособливаться в отдельную область знания прикладная математика, которая сегодня фактически стала информатикой. Математика тем самым превратилась в науку прямого приложения в технологиях. Не опосредованно через естественные науки, а напрямую.

Наверное, отсюда вытекает вопрос своего рода симбиоза современной математики и информатики. С некоторой натяжкой можно сказать, что информатика — это и есть математика, которая превратилась в техническую науку. Математика развивается, и в какой-то момент возникает результат, имеющий технологический смысл. И такие результаты — это ветви, которые отходят от ствола фундаментальной математики и образуют крону — информатику.

Фундаментальная математика от других естественных наук отличается тем, что она не развивается через кризисы и научные революции. Это, пожалуй, единственная из точных наук, в которой знания накапливаются без кардинальных сдвигов. Она расширяется, но все, что в математике было, все, что знал Евклид, мы по-прежнему знаем. В этом смысле, если есть какие-то новые трудности, которые теперь в математике существуют, — это именно потому, что общество вдруг заметило, благодаря появлению computer science, что эта наука может иметь какую-то непосредственную значимость для жизни, для экономики, для всего.

В каком-то смысле в математике есть некий кризис завышенных ожиданий. Может быть, это связано с тем, что мы наблюдали, как из математики неожиданно на глазах пары поколений вдруг отделился целый пласт технологий и технической науки. Это событие произошло, и дальше, я думаю, они будут просто развиваться рядом. Во внутреннем развитии самой фундаментальной математики, все-таки, парадигмальных сдвигов и научных революций нет. Этим она и отличается от естественных наук.

Григорий Иванов,
заведующий кафедрой высшей математики МФТИ:

— В 2000 году Математический институт Клэя сформулировал семь математических задач тысячелетия (Millennium Prize Problems), это «важные классические задачи, решение которых не найдено вот уже в течение многих лет». За решение каждой из этих задач институтом Клэя предложено вознаграждение в миллион долларов США. Этот список проблем призван выполнять такую же роль, как и список проблем Гильберта, представленный в 1900 году и оказавший существенное влияние на математику XX века. Из 23 проблем Гильберта большинство уже решены, и только одна — гипотеза Римана — вошла в список задач тысячелетия. По состоянию на 2017 год только одна из семи задач тысячелетия решена. Это гипотеза Пуанкаре, доказанная Григорием Перельманом в серии статей 2002–2003 годов. За решение гипотезы Пуанкаре Перельману была присуждена Филдсовская премия, но он отказался принять ее, заявив: «Я не хочу быть выставленным перед людьми, как животное в зоопарке».

К самым громким открытиям математики за период последних 20–30 лет следует также отнести доказательство Великой теоремы Ферма, выполненное Эндрю Уайлсом в 1995 году. Стоит сказать, что значение доказательства Великой теоремы Ферма состоит не столько в самом ее результате, сколько в том, что она стимулировала развитие теории чисел, имеющей важные приложения, например, в кодировании информации.

История доказательства этой теоремы весьма интересна, она описана в книге Иэна Стюарта «Величайшие математические задачи». Великая теорема возникла из невинного, на первый взгляд, замечания, сделанного одним из ведущих математиков



XVII века Пьером Ферма на полях «Арифметики» — классического сочинения древнегреческого математика Диофанта. Несмотря на простоту и доступность формулировки, в течение более 300 лет все усилия математиков доказать или опровергнуть эту теорему были тщетны. В возрасте 10 лет Эндрю Уайлс так заинтересовался этой проблемой, что решил стать математиком и обязательно решить ее. Он действительно стал математиком и даже выбрал своей специальностью теорию чисел — обширную область математики, к которой относится Великая теорема Ферма. После нескольких лет бесплодных усилий

“**Приложения очень часто стимулируют развитие фундаментальной математики, иногда указывают перспективные пути ее развития. Но здесь нужно быть аккуратным, чтобы не выбросить важные разделы, которые на данный момент кажутся неперспективными**”

Эндрю Уайлс решил, что его детская мечта неосуществима, и отложил доказательство теоремы Ферма. В 1985 году Герхард Фрай предположил, что гипотеза Таниямы-Симур-Вейля из другой области теории чисел является обобщением Великой теоремы Ферма. В 1986 году Кен Рибет доказал предположение Фрая. Теперь, когда связь была установлена, Уайлс мог работать над загадкой Ферма и одновременно проводить значимые исследования в рамках современной теории чисел. Через семь лет усердных трудов Уайлс пришел к выводу, что решение найдено. На престижной конференции по теории чисел он прочел серию лекций под невнятным названием, которое никого не обмануло. Новость разлетелась и произвела сенсацию, причем не только в академических кругах, но и в средствах массовой информации. Полученное Уайлсом доказательство, полное оригинальных идей, оказалось красивым и элегантным. К несчастью, специалисты вскоре обнаружили в его логике серьезный пробел. Однако при помощи бывшего своего ученика Ричарда Тейлора Уайлсу удалось ликвидировать пробел, исправить доказательство и завершить работу.

Приложения очень часто стимулируют развитие фундаментальной математики, иногда указывают перспективные пути ее развития. Но здесь нужно быть аккуратным, что-

“**По состоянию на 2017 год только одна из семи задач тысячелетия решена**”

бы не выбросить важные разделы, которые на данный момент кажутся неперспективными. Приведу пример из статьи Фримена Дайсона «Математика в физических науках», опубликованной в журнале Scientific American:

В 1910 году при обсуждении программы по математике Принстонского университета физик Джеймс Джинс заявил: «Вполне можно выбросить теорию групп; этот предмет никогда не найдет применения в физике». Этому совету руководство университета не последовало, и случилось так, что именно принстонские профессора Вейль и Вигнер в 20-х годах прошлого века оказались основателями теоретико-группового подхода в физике, который сейчас является одним из ключевых математических методов в физике элементарных частиц и квантовой теории поля. Как известно, в 2012 году на Большом адронном коллайдере был обнаружен бозон, предсказанный британским физиком Питером Хиггсом в 1964 году, и тем самым было, в основном, завершено построение Стандартной модели взаимодействия элементарных частиц, базирующейся на теории групп.

Примеры, приведенные выше, показывают, что современная фундаментальная математика бурно и динамично развивается. Как и у частей большого живого организма, у разных разделов математики есть свои активные и пассивные этапы развития, свои кризисы и периоды бурного роста.



Игорь Петров,
заведующий кафедрой информатики и вычислительной математики МФТИ:

— В последние десятилетия бурно развивались сетевые технологии, имеющие прямое отношение к математике и информатике. Так, в 1969 году была создана сеть интернет, в 1973–75 годах были реализованы беспроводные сети Wi-Fi. На рубеже 60–70-х годов появились оптоволоконные каналы передачи данных.

На моих глазах появилось новое понятие — компьютерный инжиниринг, которое включило в себя компьютерное моделирование, программные пакеты для численного решения сложных инженерных и физических задач. Была реализована замечательная технология виртуальной реальности, концепция которой возникла еще в 60-х годах прошлого века. В 1961 году появилась первая система 3D-визуализации. Были созданы алгоритмы поисковых систем, которые фактически заменили сегодня — вкупе с огромными объемами цифровой информации — библиотеки и архивы.

Стала активно развиваться робототехника (интересно, что этот термин относится к 1941 году, хотя

концепция «механических человеков» насчитывает несколько столетий): машинное зрение, которое является областью искусственного интеллекта, разрабатывается с 60-х годов прошлого века; беспилотные системы (первые беспилотники использовались в Первой мировой войне в 1915 году) и многое другое. Успехи в этом направлении за последние 20–30 лет особенно впечатляющие.

Также отмечу создание Тимом Бернес-Ли всемирной паутины в 1989 году, веб-сервера и веб-браузера в 1990 году, URI, HTTP и HTML (1991–1993). Если же резюмировать результаты разработок в области технологий ИКТ и попытаться их сформулировать в одной фразе, то за это время был построен инструментарий совершенно нового качества для проведения любых исследований и разработок, в том числе, для решения фундаментальных проблем в различных научных сферах.

Можно сделать вывод, что даже не такое большое количество фундаментальных результатов в математике может привести к росту многочисленных различных трендов развития в технологических сферах ИКТ. Ряд технологий ИКТ строился как инженерный инструментарий для решения очень практических задач, не имея в своей основе больших математических теорий. Однако большая часть из указанных достижений в информатике была бы невозможна без фундаментальной математики, которая была и остается базисом для многих наук. В свою очередь, задачи, стоящие перед информатикой, стимулируют развитие фундаментальной математики. ■

“**Даже не такое большое количество фундаментальных результатов в математике может привести к росту многочисленных различных трендов развития в технологических сферах ИКТ**”

ТЕХНОЛОГИИ НАСТОЯЩЕГО

В XX веке математика впервые стала наукой прямого приложения в технологии. Фактически весь сектор high-tech был бы невозможен без ряда событий середины прошлого века, которые привели к появлению современной информатики. Мы постарались рассмотреть основные технологии, которые уже преобразили повседневную жизнь и которые меняют ее прямо на наших глазах.

□ «За последние десятилетия фундаментальная и прикладная математика, в связи с развитием технологий ИКТ, кардинально обновили исследовательский и научный инструментарий. Но что более важно для общества — они реально изменили социальную, политическую, культурную, финансовую, общественную, бытовую стороны жизни огромного числа людей. Сегодня невозможно представить работу финансовой сферы, транспорта, производства, образования и даже культурной сферы без использования информационных технологий.

Развитие вычислительных мощностей значительно стимулирует прогресс математики и решение сложнейших задач. О работе над многими из них еще пару десятилетий назад не могло быть и речи. За последние 30 лет многое сделано для применения математических теорий в различных прикладных областях, в том числе и в информатике», — рассказывает Игорь Петров, заведующий кафедрой информатики МФТИ.

И в самом деле, за прошедшие 20 лет мир изменился самым удивительным образом. Сегодня уже вызывают улыбку попытки писателей-фантастов XX века придумать мир века XXI. Увы, космические корабли не столь активно бороздят просторы Вселенной, но и перфокарты как носитель информации в наши дни можно увидеть только в музее. Технологии, созданные на основе математических алгоритмов, меняют понимание «привычного» с небывалой скоростью.

«Скоротечный прогресс вычислительных мощностей очень сильно повлиял на развитие математики. Коллега, который занимается численным анализом, рассказал мне, как его начальник, уходя на пенсию, оставил ему множество журналов по анализу 1960-х годов. Коллега сказал: “Там столько статей, и довольно сложных. Но сейчас все эти статьи совершенно не нужны! Эти задачи мы



решаем численными методами, совершенно по-другому!» При этом численные методы тоже нетривиальны. Они также требуют научных подходов, только других.

Мне кажется, что, безусловно, у математики стало гораздо больше возможностей с появлением современных компьютеров! Я сама доказала несколько результатов только потому, что у меня была возможность “прогнать” процесс на компьютере и посмотреть что будет. В данном случае задачи были аналитические, но без экспериментов мне было очень трудно понять, что доказывать!» — делится профессор математики Университета Твенте Нелли Литвак.

OK, GOOGLE...

Одни из главных таких разработок последних десятилетий — это поисковые системы во всемирной паутине и социальные сети.

«Поисковые системы очень “научоемкие”. Создатели Гугла Сергей Брин и Ларри Пэйдж были аспирантами Стэнфордского университета, их исследования были как



Иллюстрация работы финансового рынка

Страница Google в 1998 году

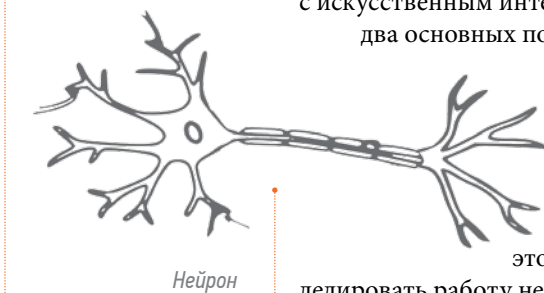


раз на тему поисковых систем. Когда они разработали идею Гугла, они опубликовали эту статью на одной из самых престижных конференций — World Wide Web Conference в 1998 году. Диссертации они так и не защитили, вместо этого начали внедрять свой поисковик, как мы все знаем, — с невероятным успехом! Но изначально это была научная работа, абсолютно новая концепция. Эта работа очень влиятельная, на нее почти 17 тысяч ссылок (!), то есть она повлекла за собой множество других исследований, которые, в свою очередь, помогли улучшить поиск», — рассказывает Нелли Литвак.

Социальные сети тоже требуют новых научных подходов. Число их пользователей стремительно растет, и им нужно быстро и адекватно реагировать на действия каждого из миллионов пользователей. Здесь заложены и статистика, и машинное обучение, и управление базами данных, и теория случайных графов. Фейсбук, как и Гугл, часто нанимает на работу талантливых молодых ученых, которые занимаются исследованиями на пользу компании. В МФТИ тоже есть научно-исследовательские лаборатории,



Офис Google в Нью-Йорке. Сотрудники могут приводить на работу друзей, детей, родителей или родственников
Источник: varlamov.ru



Нейрон

Работа поисковой системы Яндекса

которые имеют свои «филиалы» в Яндексе, Сбербанке и других крупнейших IT-компаниях. Например, лаборатория продвинутой комбинаторики и сетевых приложений и лаборатория прикладных исследований МФТИ-Сбербанк, возглавляемые Андреем Райгородским.

«Сейчас очень стремительно развивается теория случайных графов — это самая естественная модель для социальных сетей. Далеко не все результаты теории случайных графов имеют прямые приложения. Зачастую это чисто фундаментальные задачи. Но я бы не стала делить математику на “фундаментальную” и “прикладную”. Во всех областях фундаментальные исследования развиваются с большой скоростью, и их важность для математики и науки в целом, на мой взгляд, никто не оспаривает», — полагает Нелли Литвак.

ВКАЛЫВАЮТ РОБОТЫ, А НЕ ЧЕЛОВЕК...

Последние 5 лет происходят большие преобразования в области искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI) и машинного обучения. Чтобы понять суть этих преобразований, стоит посмотреть примерно на полвека назад. В то время появилось понятие искусственного интеллекта, это было новое направление научных исследований. Постепенно в исследованиях, связанных с искусственным интеллектом, выделились два основных подхода.

Первый подход был основан на представлениях о работе нервной системы человека и животных. Сторонники этого подхода хотели смоделировать работу нервной системы и отдельных нейронов живого организма и тем самым получить способность к обучению и адаптации, воспроизведенную в алгоритмах. Второй подход основывался на знании о том, как человек решает интеллектуальные задачи, и моделировании этого процесса. Например, если мы знаем, как математики доказывают теоремы, можно смоделировать процесс доказательства теорем, и тогда мы получим программу, которая будет доказывать теоремы.

Можно сказать, что первый подход — это своего рода путь от биологии, моделирования отдельных элементов, отдельных нейронов и сборки из них искусственного

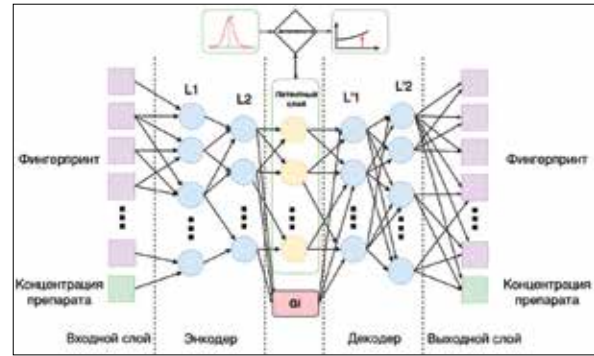
интеллекта. Второй же подход («психологический») заключается в анализе и воспроизведении поведения человека в процессе решения интеллектуальных задач с целью моделирования высокоуровневой психологической деятельности.

«Конечной задачей исследователей, работающих над созданием искусственного интеллекта, является создание некоторой системы, способной автономно решать задачи. В ситуациях, которые мы не могли предугадать и запрограммировать, искусственный интеллект должен самостоятельно принимать решения и самообучаться.

Возьмем для примера робота, который должен спасти людей из-под завала в условиях отсутствия связи и управления человеком. Мы не можем запрограммировать все возможные варианты развития событий. Он должен по ходу принимать решения, какие действия производить, и обучаться. Так что можно рассматривать искусственный интеллект в рамках построения подобных интеллектуальных систем, которые помогают нам в какой-либо деятельности.

С другой стороны, в процессе построения таких систем мы все лучше разбираемся в том, как работает естественный интеллект. Ричард Фейнман говорил: «Если я что-то не могу сделать, значит, я не понимаю, как это работает». В нашем случае создание искусственного интеллекта становится проверкой того, насколько хорошо мы понимаем, как работает мозг человека. Появляется своего рода философская роль построения искусственного интеллекта, заключающаяся в осмыслении того, как человек думает и принимает решения. На стыке психологии и исследований искусственного интеллекта возникло новое направление — когнитивные науки», — рассказывает заведующий лабораторией нейронных систем и глубокого обучения МФТИ Михаил Бурцев.

Оба подхода к построению искусственного интеллекта возникли с самого начала и развивались параллельно. В прошлом веке ведущим подходом был «психологический», и большинство исследований было направлено на моделирование схем рассуждений,



Нейронная сеть

логического вывода, проверки гипотез, то есть моделирования интеллектуальной деятельности как алгоритмизированной последовательности выполнения действий. Этот подход достаточно быстро дал результаты, и люди рассчитывали, что уже к концу XX века получат искусственный интеллект, который будет обладать интеллектуальными способностями на уровне человека. Однако этого не произошло, и интерес к «психологическому» подходу построения искусственного интеллекта постепенно упал. Другой подход — метод нейронных сетей — развивался параллельно, интерес к нему то увеличивался, то угасал. Но к началу XXI века, поскольку надежды на создание мощных интеллектуальных систем не оправдались, отношение к искусственному интеллекту стало не вполне серьезным. Говоря про него, имели в виду, как правило, философскую мечту, но не реально возможную технологию.

В это время появилось понятие машинного обучения, которое включило в себя существующие наработки обоих подходов по искусственному интеллекту. Потенциальные приложения сузились до решения конкретных задач статистики, анализа данных. Вопрос о создании полноценного искусственного интеллекта уже не ставился. Так было примерно до начала 10-х годов. Тогда выяснилось, что старые нейросетевые методы вдруг стали показывать очень впечатляющие результаты в задачах, которые рассматривает машинное обучение. Около 5 лет назад нейросетевой алгоритм впервые победил в соревновании по распознаванию образов на изображении. К 2015 году нейросети могли определять объекты на изображениях уже лучше, чем человек: человек делал 5% ошибок, а нейросеть — 4,5%. Буквально на наших глазах произошло очень быстрое и неожиданное возрождение нейронных сетей.

Дело в том, что при увеличении размера уже разработанной нейросети (увеличением количества ее элементов — искусственных нейронов, и числа слоев нейросети, то есть числа прохождений сигнала через нейросетевые преобразования) результат работы сети оказывается заметно лучше. Такое увеличение должно быть значительным — если раньше количество слоев в нейросети было около 1–3, в победившей нейронной сети их было несколько десятков. Такие сети, в которых информация обрабатывается многократно, получили название глубоких нейросетей.

«Чтобы получить хороший результат на нейронной сети, нужно большое количество данных для ее обучения. Допустим, у нас есть много картинок с известными нам объектами. Мы подаем их на вход нейросети, а на выходе она должна определить изображенный объект. Регулируя веса, связывающие между собой нейроны, можно добиться наибольшей вероятности правильного ответа нейросети. Оказалось, что для того, чтобы получить хороший результат, нужны сотни тысяч примеров. Если у нас есть такое количество примеров и глубокая нейронная сеть, то мы получим результат, который будет превосходить все, что могут дать другие алгоритмы. Раньше такие результаты не достигались, поскольку не было такого количества данных для обучения нейросетей — их учили на 200–300 примерах, чего, как оказалось, было недостаточно для получения нейросети нужного качества. С другой стороны, глубокие нейросети требуют больших вычислительных мощностей, которых тоже не было еще несколько лет назад», — говорит Михаил Бурцев.

Сейчас происходит настоящая революция. Так, за последние 2 года количество внутренних проектов Google, которые используют нейросети, выросло с 5 до 5000. То есть если мы возьмем любой современный смартфон, то большинство сервисов в нем использует нейросети. Например, распознавание голоса, машинный перевод, поиск по картинкам — все это работает на основе нейросетей.

ПЕРСПЕКТИВЫ AI

Касательно ближайшего будущего нейронных сетей можно сказать, что наиболее явным изменением в привычном укладе жизни, связанным с этой технологией, станет повсеместное внедрение автопилотов в автомобилях. Это, скорее всего, приве-

дет к большим переменам в транспортной ситуации в городах и другим интересным эффектам. Сама технология автопилота будет постепенно дешеветь, поэтому вскоре мы увидим достаточно бюджетные автомобили, управляемые автопилотом. Другим проявлением нейронных сетей в нашей жизни станут персональные помощники в гаджетах, которые наконец станут по-настоящему полезными. Они станут лучше понимать запросы человека, и, поскольку сервисы будут хранить все больше и больше информации о пользователях, появится возможность из большой массы данных извлекать ту информацию, которая будет действительно полезна людям.



Персональный помощник в смартфоне



Иллюстрация работы автопилота Google. Источник: businessinsider.com

«Однако не стоит ожидать, что в ближайшее время будет создан искусственный интеллект, достигающий уровня человеческого или высокоразвитого животного. Да, компьютер уже обыгрывает человека в шахматы и го, считает быстрее, чем человек, но общеинтеллектуальный уровень подобных систем еще очень далек от человеческого. Впрочем, не существует на сегодня какого-либо известного фактора, который бы запрещал воспроизведение полноценного интеллекта в небиологическом виде. Человеческий мозг потребляет 100 Вт энергии и позволяет пользоваться всеми плодами интеллекта. И эта система значительно сложнее, чем компьютер. Если природа создала «компьютер», замкнутый в сравнительно небольшом объеме, который выдает такой интеллект при подобном энергопотреблении, то и человек когда-нибудь сможет его воспроизвести», — убежден Михаил Бурцев. ■



Автопилотируемый автомобиль Google. Источник: businessinsider.com

Робот-спасатель

ОБРАЗОВАНИЕ. КАК ПЕРЕСТАТЬ БОЯТЬСЯ И ПОЛЮБИТЬ МАТЕМАТИКУ

Андрей Соболевский, директор ИППИ РАН:



— Меняется ли преподавание математики в последние годы? Мне кажется, здесь стоит сформулировать два тезиса, и оба они существенны для Физтеха. Во-первых, научно-преподавательское сообщество сталкивается с необходимостью быстро вводить в курс дела и давать возможность быстро овладеть математикой ребятам, которые

приходят в вузы со все худшими знаниями из школы. С одной стороны, время уплотнилось, и сегодня нужно людей вводить в науку очень быстро. А с другой, базовые школьные знания первокурсников, на которые мы могли рассчитывать одно-два десятилетия назад, уже становятся, скорее, исключением из общего правила. Второй тезис — это то, что университетский курс математики, сам канон преподавания математики, который сейчас существует, создан, в общем, для физиков, даже для инженеров.

Так вот сейчас, может быть, даже наиболее значительная часть студентов, которые математику учат, — это не физики и даже не инженеры с физико-техническим уклоном. Это те, кто будет работать с данными, с информационными технологиями, для которых физика уже не важна. Входя в аудиторию, ты не можешь сказать этим студентам: «сейчас я расскажу некий математический факт, который нужен в механике». Им-то он в механике не нужен, и они это слушают с таким же вниманием, как если бы я сказал, что это нужно в классической психологии. Но при этом на сегодняшний день практически нет хороших учебников по математике, в которых она излагалась бы именно для инженеров, которые будут заниматься информационными технологиями.

“ На сегодняшний день практически нет хороших учебников по математике, в которых она излагалась бы именно для инженеров, которые будут заниматься информационными технологиями ”

Как меняется и по какому пути развития должно пойти математическое образование в школах и вузах? Какие проблемы сегодня существуют? Как они решаются в России и в мире? В современном состоянии математического образования разбираемся вместе с теми, кто знает об этом не понаслышке.

Мотивировки для нового класса специалистов должны быть совершенно другие. Нарбатыванием мотивировок и идейной оснастки для университетского курса математики, который будет ориентирован не на физику, а на информационные технологии, уже занимаются в лучших вузах. Однако однозначного ответа на вопрос, как именно мы теперь должны учить математике, учитывая этот новый контингент, пока нет. Но, наверное, в ближайшие годы он обозначится, дело дойдет до учебников и нового канона.

Можно еще сформулировать такую мысль, что если в детстве вовремя прочитать правильные книжки, например, по биологии, то люди вырастут биологами. Мне же в детстве попадали в руки хорошие книжки по математике. Сначала, когда мне было лет 10–11, это была книжка Перельмана. Потом это был журнал «Квант», переводные англоязычные статьи. Этот золотой фонд вполне дееспособный, он не устарел. Он переиздается, и такие книги вполне можно дать ребенку и сегодня, если ему интересна математика.



Книги по информатике



Журнал «Квант». Источник: im-possible.info

Нелли Литвак, профессор математики Университета Твенте:

— Преподавание математики, особенно в школе, оказалось очень острой проблемой. Я даже не представляла размаха этой проблемы, пока мы с Андреем Михайловичем Райгородским не написали книгу про приложения математики. Книга называется «Кому нужна математика? Понятная книга о том, как устроен цифровой мир». В апреле в Москве я прочитала несколько популярных лекций по книге. Мне хотелось поделиться, какая полезная наша наука! А люди приходили совсем с другими вопросами: «Зачем мы мучаемся в школе с синусами и логарифмами? Неужели всем это надо знать? И почему?»

Математику очень легко отмахнуться от таких вопросов, мол, не понимают и не поймут никогда. Но потом я прочитала несколько книг и статей про дидактику математики и поняла, что вопросы вполне правомерные! Для многих школьная математика — это бесконечная зубрежка формул. Мы, ма-

“ Не любой ребенок в состоянии зазубрить формулы, но все в состоянии понять математические закономерности ”



“ Проще всего сказать, что у людей «гуманитарные мозги». Только «гуманитарных мозгов» в природе не существует ”

тематики, знаем, что в математике ничего запоминать не нужно, что все логично и что самое главное — видеть эту логику и эти связи. Но в школе «смысл» объясняют так быстро, что большинство детей не в состоянии его ухватить. В результате, чтобы сдать контрольную, они полагаются на зубрежку. Это явление глобального масштаба, и не только в России, но и во всем мире.

Я могу говорить об этом с полной уверенностью, потому что наблюдаю это каждый день в своем недавнем проекте по популяризации. Вместе с журналистом Аллой Кечеджан я начала группу на Фейсбуке «Математика великая и ужасная». Я пытаюсь обучить взрослых «гуманитариев» математике. К моему удивлению, многим это очень интересно, в группе 2600 человек набралось за 3 месяца! Это журналисты, врачи, преподаватели, психологи, менеджеры — все подряд!

Что же я вижу? Люди делают для себя много открытий. Например, что степенная функция растет очень быстро. Что число раундов в турнире по теннису навывлет — это логарифм от числа участников. Что турнир по теннису и размножение бактерий описываются одной и той же экспоненциальной моделью. Что тригонометрия связана с окружностью. И что площадь треугольника — это половина основания на высоту, потому что это половина прямоугольника! Зато многие помнят терминологию типа «луч», «абсцисса»... Напрашивается вывод, что в школе был упор на зубрежку и очень мало внимания уделялось смыслу и связям. Хотя именно в понимании смысла и заключается математика, разве не так?

Проще всего сказать, что у людей «гуманитарные мозги». Только «гуманитарных мозгов» в природе не существует. Ну правда, почему есть такое понятие, как «школьная математика» и «высшая математика», а вот «школьной» и «высшей» биологии или литературы, или даже физики — нет. Чем математика заслужила такое отличие? Почему в школе нельзя показать, как математика описывает закономерности реальной жизни? Не любой ребенок в состоянии зазубрить формулы, но все в состоянии понять математические закономерности.

«Гуманитарии» в нашей группе все-все понимают, после стольких лет (возраст участников группы 35–54)!

В университете, с очевидностью, проблема менее острая, чем в школе. Но и здесь много что можно изменить к лучшему.

Однажды у нас в университете выступал профессор из Гарвардского университета Эрик Мазур на тему экзаменов. Он сказал примерно так: «Представьте себе письменный экзамен. Студент сидит в полной изоляции от других людей и источников информации и должен за ограниченное время решить несколько стандартных задач. После того, как вы сдали свой последний экзамен, когда еще в реальной жизни вы оказывались в такой ситуации?» Ответ очевидный — никогда! Всегда есть возможность посоветоваться, поискать информацию, всегда есть время подумать, и задачи никогда не бывают стандартными! Тогда что же мы тестируем и за что ставим оценки?!

В нашем университете все больше внимания уделяется самообучению и проектам. Например, наши первокурсники-математики в первой четверти делают проект: рассчитать ограничение скорости в дорожном туннеле, чтобы была максимальная пропускная способность. Проект они делают в группе, в конце четверти презентации. Конечно, всю математику на проектах не изучишь. Но даже в классическом курсе линейной алгебры я стараюсь дать студентам возможность подумать и самим найти доказательство, вместо того, чтобы писать доказательство на доске. Мне кажется, современные методы преподавания все больше будут направлены именно на умение самообучаться, видеть связи и решать нетривиальные проблемы.



Роман Карасёв, федеральный профессор, главный научный сотрудник кафедры высшей математики МФТИ:

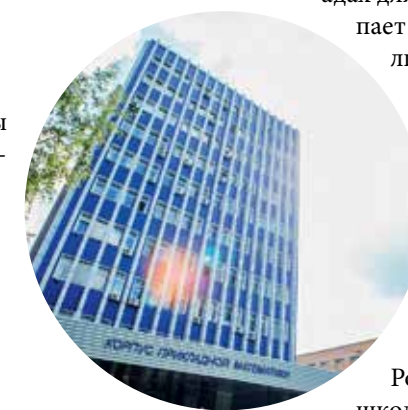
— По поводу преподавания математики могу немного порассуждать, так как я этим занимаюсь. В России пока остаются живы традиции качественного преподавания математики в физмат-школах и на младших курсах ведущих университетов. На Западе это все не так развито, хотя еще в XX веке большинство ведущих математиков и учились, и далее работали на Западе, как-то справлялись. Конечно, сейчас на уровне graduate study университеты США и Западной Европы могут компенсировать свое отставание в преподавании математики на ранних стадиях и пригласить к себе готовых лучших студентов со всего мира. И пока стипендия у них будет больше зарплаты профессора в менее развитых странах, западные университеты будут чувствовать себя хорошо.

Но и в этой статичной картине тоже происходят небольшие изменения. Российские команды традиционно хорошо выступали на олимпиаде для школьников IMO (Международная математическая олимпиада. — Прим. ред.). Однако сегодня уверенно идут вверх США, Китай, Южная Корея и несколько других азиатских стран. Причем нельзя сказать, что в России что-то ухудшается, работа со школьниками остается на уровне и возникают новые ее формы; скорее просто другие страны тоже осваивают разные формы работы с математически одаренными школьниками. В этой области нет каких-то нераскрываемых секретов, материальное и финансовое обеспечение требуется минимальное, и для заведения в той или иной стране физмат-школ и олимпиадной деятельности нужно лишь желание.

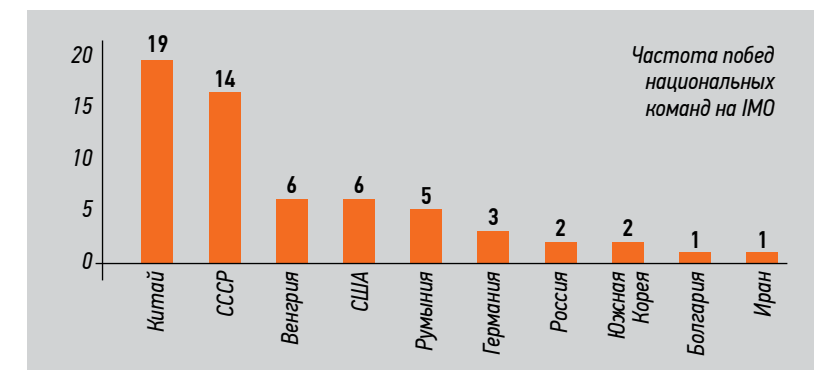
Внимание США, Китая и других стран к школьной математике, на мой взгляд, объясняется тем, что сейчас (в отличие от ситу-

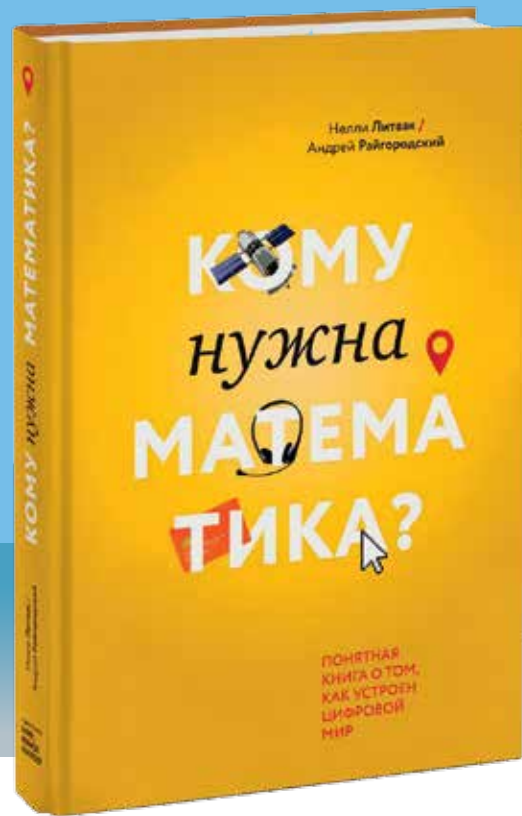
ации 50-летней давности) математикам уже не нужно оправдываться, что их наука тоже нужна сама по себе, а не является каким-то оторванным от реальности разделом физики. С развитием вычислительной техники всем уже предельно понятно, что ее бурный прогресс имеет под собой теоретическую базу из чистой математики. Работодатели в области программирования и финансов (и в некоторых других областях) уже охотятся на студентов с хорошим математическим образованием и солидным списком успехов на математических олимпиадах; многие математики даже считают, что такое отвлечение очень способных людей от занятий чистой математикой наносит вред. В этом свете постепенное нарастание интереса к математическому образованию в разных странах выглядит достаточно закономерно.

Возвращаясь к более конкретным вопросам и к делам в МФТИ, я могу отметить, что на международных математических олимпиадах для студентов команда МФТИ выступает неплохо, обычно находится в тройке лидеров вместе с СПбГУ и Тель-Авивским университетом, ну и в целом команды из России и Восточной Европы (бывшего Восточного блока) на этих мероприятиях смотрятся хорошо. Можно сделать вывод о приличном уровне подготовки по математике в МФТИ, с учетом того, что МФТИ даже не является главным вузом России по поступлению победителей школьных математических олимпиад (СПбГУ и математический факультет ВШЭ сейчас в этом лидируют). Но расслабляться не стоит, в других странах тоже развивают математическое образование на младших курсах университетов, и МФТИ в этом деле есть над чем поработать. Да мы, собственно, и работаем. ■



Корпус прикладной математики МФТИ





НАУКА ОБ УСТРОЙСТВЕ МИРА

Специально
для наших читателей
Издательство Манн, Иванов
и Фербер предоставляет промокод
ZANAUKU на скидку 15%,
который будет действовать на
сайте «МИФ» до 31 декабря
2017 года.

Многие люди, живя в высокотехнологичном мире сегодня, по-прежнему задаются вопросом: «Зачем мне нужна такая сложная математика, для чего мне понадобятся все эти знания?» Известные профессора математики Андрей Райгородский и Нелли Литвак решили раз и навсегда объяснить всем непонимающим о роли столь важной, основополагающей, порой незаметной в жизни в явном виде науки. Книга «Кому нужна математика?» издательства «МИФ» вышла в свет только в этом году, но уже успела стать бестселлером и войти в шорт-лист премии «Просветитель»!



Андрей Райгородский,
федеральный профессор,
директор Физтех-школы
прикладной математики
и информатики МФТИ:

Про математику нужно рассказывать всем, чтобы люди понимали, что это на самом деле содержательная и нужная наука, а не какая-то сухая абстракция, которая ни к чему не ведет.

Моя наука — комбинаторика — замечательна тем, что делает очень многие формулировки и доказанные сложные результаты понятными даже школьнику, интересующемуся математикой. Поэтому рассказывать о ней исключительно круто. Однако эта наука богата и задачами, которые при всей простоте своих постановок пока совершенно не поддаются решению. В книге мы рассмотрим некоторые из них: они до сих пор остаются открытыми, несмотря на их актуальность.



Нелли Литвак,
профессор математики,
преподаватель
в Университете Твенте
(Нидерланды):

Я считаю, что математика должна быть либо красивой, либо полезной. А лучше — как это часто бывает в настоящей науке — и то и другое! Наверное, без

специальной подготовки красоту математики понять довольно сложно. Но мне кажется удивительным, что в эпоху цифровых технологий широкой публике так мало известно о невероятной полезности математики. В этой книге мне хотелось понятно и интересно рассказать именно об этом. Ну и о красоте, конечно, тоже. Надеемся, читатель сможет ее увидеть и оценить.

ОТРЫВОК ИЗ КНИГИ

Глава 6. Секретные числа

Массовый обмен шифровками

Классическая музыка по радио прервалась, и голос диктора стал зачитывать цифры, которые Штирлиц быстро записывал в аккуратные колонки. Диктор называл цифры привычно сухо и четко. «Для него эти цифры всего лишь цифры», — подумал Штирлиц. Когда сообщение закончилось, Штирлиц взял с полки томик Шиллера, открыл на нужной странице и начал превращать цифры в слова. «Центр — Юстасу...»

Сообщение передавалось по открытому радиоканалу, но прочитать его мог только Штирлиц, потому что только он знал, как расшифровать переданные цифры. Шифрование — это не что иное, как сокрытие информации от посторонних.

Шифрование в том или ином виде существует много тысячелетий. Однако в середине XX века произошла своего рода революция. Если раньше шифровками пользовались, как правило, представители государственных спецслужб (или, если угодно, сами спецслужбы и даже государства), то к 70-м годам XX века стало ясно, что совсем скоро шифрование понадобится самым обычным людям, причем не изредка, а буквально каждый день. Это связано с лавинообразным развитием технологий, плоды которых доступны каждому: компьютеры, сотовые телефоны и тому подобное.

Каждый раз, когда вы вводите свой пароль или номер кредитной карты на сайте, вы отправляете личную конфиденциальную информацию по открытым каналам интернета. У многих к этим каналам есть доступ, например, у вашего интернет-провайдера. В принципе перехватить ваше сообщение может даже компьютерщик-любитель с обычным ноутбуком и подходящим для этой цели программным обеспечением. Конфиденциальность информации обеспечивается именно тем, что она передается в виде шифровки. Вы можете легко узнать сайты, на которых действует протокол безопасной передачи данных: в этом случае веб-адрес начинается с <https://...> HTTP — обычный протокол передачи данных по интернету. А дополнительная буква S происходит от английского слова secure (безопасный) и означает, что данные будут передаваться в зашифрованном виде.

Каким образом зашифровывается и расшифровывается ежедневный гигантский поток конфиденциальной информации? Естественно, математика, как всегда, опережала технологии и стояла у их истока. Задачами шифрования занимается криптография — очень активная и интересная область математики и информатики*.

Ключ к шифру

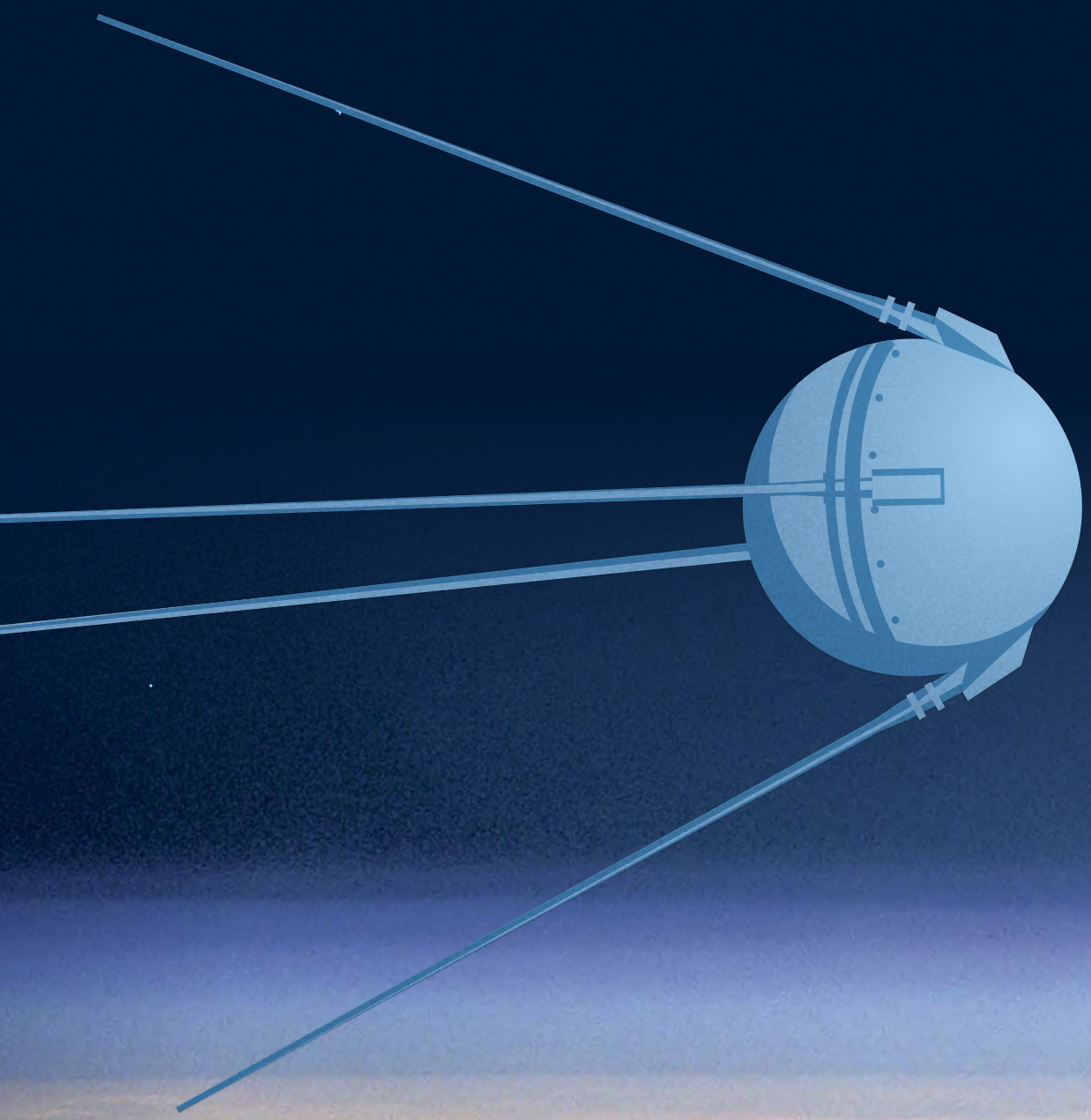
В зашифрованном сообщении каждая буква заменяется какой-либо другой буквой, числом или знаком. Например, возьмем самый простой шифр. Будем зашифровывать каждую букву следующей буквой алфавита. Вместо А напишем Б, вместо Б — В и так далее, а вместо Я — А. Например, слово ПРИВЕТ будет выглядеть так:

РСЙГЁУ

Это очень простой шифр, потому что каждая буква всегда зашифровывается одной и той же буквой, и взломать его — пара пустяков. Достаточно угадать одно слово в сообщении. Например, мы догадались, что сообщение начинается со слова «привет», и вот в нашем распоряжении уже шифры для шести букв: П, Р, И, В, Е и Т. С их помощью мы можем угадать другие слова, пока наконец не расшифруем весь алфавит. Именно так расшифровал секретные послания Шерлок Холмс в рассказе «Пляшущие человечки».

Конечно, любой серьезный шифр гораздо сложнее. Например, одна и та же буква, скажем, А, может каждый раз обозначать разные буквы. Или, как в фильме «Семнадцать мгновений весны», буквы могут быть зашифрованы с помощью цифрового кода. Понятно, что у Штирлица в сборнике Шиллера были не стихи, а ключи для расшифровки секретных сообщений. Если бы у Штирлица не было этой книги, то для него, как и для диктора, цифры так и остались бы только цифрами. ...

* Заметим, что не нужно путать шифрование и кодирование. Как мы уже рассказывали в главе 3, задачи теории кодирования состоят вовсе не в том, чтобы скрыть от кого-либо информацию. Коды строятся прежде всего для того, чтобы обеспечить бесперебойную передачу данных, в том числе и тех, которые подвержены помехам и искажениям. А вот шифрование — это как раз «сокрытие информации от посторонних». Этим и занимается криптография.



4 ОКТЯБРЯ 1957 БЫЛ ЗАПУЩЕН

ПЕРВЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

СПУТНИК-1

83,6

КИЛОГРАММА

58

САНТИМЕТРОВ
В ДИАМЕТРЕ

92

ДНЯ ПОЛЕТА

96,2

МИНУТЫ НА ВИТОК

1440

ВИТКОВ

КВАНТОВОЕ ПРЕВОСХОДСТВО



Этим летом в Российском квантовом центре (РКЦ) на 4-й международной конференции по квантовым технологиям ICQT-2017 профессор Гарварда, сооснователь РКЦ и выпускник МФТИ Михаил Лукин заявил о создании 51-кубитного программируемого квантового компьютера на базе холодных атомов в ловушках, чем вызвал ажиотаж в СМИ. Но специалистов больше заинтересовало другое событие конференции — лекция «Квантовый компьютер: жизнь после закона Мура», с которой выступил глава квантовой лаборатории Google Джон Мартинис.

Мы обсудили лекцию с экспертом РАН, зам. директора НИКС по научной работе и доцентом кафедры теоретической физики МФТИ Леонидом Федичкиным.



Джон Мартинис объявил, что к концу этого года они в Google построят квантовый компьютер на 49 сверхпроводящих кубитах

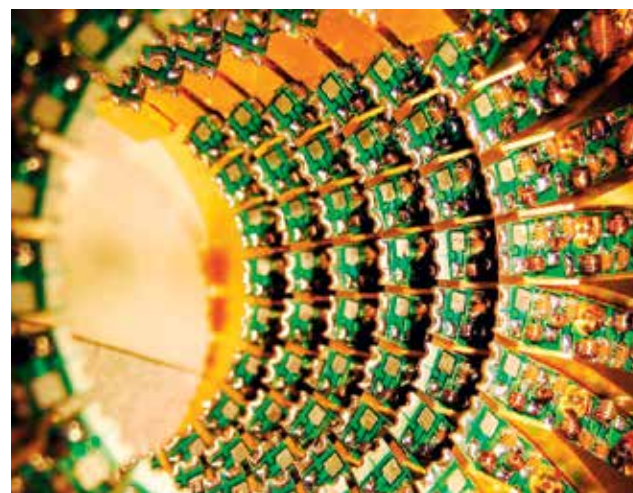
В предыдущие годы уже были представлены многокубитовые прототипы квантового компьютера на ионах в ловушках, на молекулах в ЯМР и т. д. Но в настоящее время важными являются квантовые компьютеры на сверхпроводящих элементах.

Сейчас IBM занимается 17-кубитной системой, в Google команда Джона Мартиниса работает с 9-кубитовой, а на Физтехе под руководством Олега Астафьева проводятся

исследования 2-кубитовой квантовой системы. Это немного, но компьютеры данного типа обладают важным свойством: они обещают масштабируемость. Квантовые компьютеры на сверхпроводящих элементах, подобные тем, что изучаются в МФТИ, изготавливаются с помощью достижений современной микроэлектроники, и нет видимых физических ограничений на масштабируемость таких систем. Сверхпроводящие кубиты привлекательны и тем, что они проявляют хорошую когерентность.

В принципе, возможно построить масштабируемые системы из кубитов на полупроводниковых квантовых точках. Этой темой занимается наша научная группа. Я выступал на ICQT-2017 с докладом о динамике запутанности двух электронов в квантовых блужданиях по кольцевому графу.

Что является общим для квантовых компьютеров на полупроводниковых квантовых точках и на сверхпроводниковых кубитах? В большом компьютере необходимо локально управлять многими тысячами кубитов. На данный момент предлагается управление с помощью маленьких металлических электродов, напыленных близко к местам расположения этих элементов. Альтернативой могло бы быть только управление сфокусированными пучками света, но эта технология не так хорошо разработана. Если кто-то сегодня построит квантовый компьютер, то это будут многие тысячи электродов, которые будут управлять чем-то квантовым под ними. Хорошо с этим совместимы только полупроводники и сверхпроводники. И поэтому работа Мартиниса важна и интересна.



Квантовый компьютер компании D-Wave. © Copyright 2006 D-Wave Systems Inc. All rights reserved. Photo by M. Thom

В своей лекции Джон Мартинис говорит о том, что правильность работы 45-кубитного квантового компьютера можно проверить, используя суперкомпьютеры

Сегодняшние классические компьютеры могут моделировать примерно 30- и 40-кубитные системы. Свыше этого уже не хватает мощностей. Моделирование 45- или 49-кубитных систем требует астрономически больших временных затрат. Если универсальный квантовый компьютер будет создан, то для проверки можно будет дать решить ему, например, задачу факторизации. Проверяют не все возможные варианты работы, а некоторые базовые. На деле в работу квантового компьютера вмешиваются ошибки, и, если на них не обращать внимания, они будут накапливаться. Поэтому необходимо использовать коррекцию ошибок. Так возможно сделать, но это утяжеляет конструкцию компьютера. Коррекция ошибок происходит так, что на один логический кубит приходится 5–9 физических кубитов, а также производятся дополнительные шаги в алгоритмах для исправления ошибок. Поэтому квантовый компьютер с коррекцией ошибок работает медленнее и содержит большее число кубитов. Если использовать коррекцию ошибок, то 50 кубитов — это ничто. Даже если кодировать один логический кубит пятью физическими, то 50 физических кубитов — это всего лишь 10 логических, а такие системы можно промоделировать на обычном компьютере. Тогда понятно, что практической пользы от такого компьютера не будет. Мартинис пытается показать, что можно осуществить некоторые процедуры, не проводя коррекцию ошибок на 50 кубитах.

Возникает вопрос, может ли такая система принести практическую пользу. На сегодняшний день не существует доказательств, что такие несовершенные квантовые машины могут проводить быстрые вычисления для решения практических задач.

Квантовый компьютер может быть использован для оптимизации различных процессов и оценки вероятностных распределений

Мартинис утверждает, что квантовые компьютеры могут быть использованы для моделирования химических процессов

Подобные системы могли бы быть полезны в квантовом моделировании, т. к. фактически 50-кубитный квантовый компьютер можно рассматривать как квантовую систему, в которой мы можем управлять взаимодействием и наблюдать за ее поведением. Любая химическая реакция — сугубо квантовый процесс, и результат ее вытекает из квантовых свойств электронов, окружающих атомы. Химическое многообразие — порождение уравнения Шредингера для нескольких ядер и нескольких десятков-сотен электронов, окружающих их. Как сейчас описывают химические процессы? Это в каком-то роде искусство: ученые знают, чем можно пренебречь, чем пренебречь нельзя, выделяют главное, моделируют это и во многом руками вводят квантовые эффекты, учитывая влияние электронов на ход химической реакции.

На самом деле мы знаем уравнение Шредингера, так как знаем гамильтониан. Мы знаем заряды ядер, взаимодействие всех электронов со всеми ядрами, достаточно точно знаем полный гамильтониан молекул, участвующих в каких-то элементарных реакциях. В 90-е годы было показано, как эффективно промоделировать квантовую систему с заданным гамильтонианом с помощью квантового компьютера. Квантовый компьютер как квантовая система естественным образом подходит для моделирования других квантовых систем. Изначально считалось, что одна из областей применения квантовых компьютеров — прямое моделирование многочастичных квантовых систем. С помощью такого прямого моделирования можно надеяться выловить полезные для человечества реакции, по словам Джона Мартиниса, это может быть, например, эффективный способ получения аммиака.

Основной причиной смерти, по данным Всемирной организации здравоохранения, являются сердечно-сосудистые заболевания. С ними борются не только врачи на операционном столе, но и ученые в научных центрах. Так, в лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ исследуют особенности структуры сердечной ткани и механизмы возбуждения в сердце.

ДЕЛА СЕРДЕЧНЫЕ

✍ Алена Гурьева



👤 *Аспирант второго года ФБМФ Виктор Балашов работает на электроспиннинге над созданием нановолоконной полимерной подложки. Такой тип подложек позволяет контролировать строение выращиваемых на них тканей, придавая им нужные свойства. Конкретно данная подложка будет использоваться в рамках проекта по созданию искусственного синоатриального узла. На нее будут высажены пейсмекерные клетки, после чего будет производиться имплантация этой конструкции в сердце.*



👤 *Айгуль Низамиева, аспирантка первого года ФБМФ, наблюдает в инвертированный световой микроскоп за состоянием выращенных клеток. Ее работа посвящена моделированию фиброза — постинфарктного состояния сердца, при котором отмершие сердечные клетки заменяются соединительной тканью. Это исследование позволит понять, при каких условиях сердечная ткань после фиброза может сокращаться и продолжать себя вести как единая ткань, а также изучить механизмы формирования сердечной ткани при небольшом количестве кардиомиоцитов.*



👤 *Инженер лаборатории биофизики возбудимых систем Василий Горбунов с помощью микроскопа исследует механические способности посаженных на подложку кардиомиоцитов. Сложенную механическую работу последних можно использовать для прокачки жидкости по каналам. В искусственных органах такая конструкция становится аналогом кровеносной системы, что позволяет питательным веществам перемещаться по организму.*

👤 *Получение сердечных клеток состоит из нескольких этапов. Сначала ученым необходимо провести декапитацию крысят и выделить сердце. Затем при помощи ферментов трипсина и коллагеназы они получают отдельные клетки кардиомиоцитов, из которых выращивают первичную культуру сердечных клеток на протяжении 3–4 дней. Аспирантка первого года Алиса Подгурская меняет в ламинар-боксе среду клеткам. Этот лабораторный прибор обеспечивает требуемый уровень стерильности работы.*



👤 *Исследователям важно знать действие конкретного вещества на культуру сердечной ткани. Для этого они окрашивают клетки кальциевым красителем и через флуоресцентный микроскоп следят за волнами возбуждения — сигналами, которые появляются в клетке под действием тока вследствие выброса кальция. Скорость передачи сигнала и последующие эксперименты с изменением условий позволяют делать выводы о влиянии конкретного вещества на культуру сердечной ткани. На фото Ирина Калита, выпускница бакалавриата ФОПФ, пускает волну возбуждения между электродами.*



👤 *Перед аспиранткой второго года Шейдой Фроловой находится пуллер, который вытягивает стеклянные заготовки в пипетки с кончиком определенного размера. После этого кончики полируют на микроузлище. Затем в пипетки добавляют внеклеточный раствор, надевают их на электрод и «присасываются» к клетке. После образования гигаомного контакта с клеткой ученые снимают показания ионных токов и анализируют электрофизиологические характеристики ионных каналов кардиомиоцитов.*



👤 *Студент четвертого курса Михаил Слотвицкий с помощью микро-манипулятора опускает стеклянную заготовку, в которой находится электрод, к клеткам в намере на рабочем столе микроскопа. Следующим этапом станет поиск кончика заготовки под микроскопом и «подкрадывание» к мембране клетки с помощью тонкой настройки прибора. Ученому необходимо подать отрицательное давление и подождать, пока клетка «приклеится» к электроду. Внеклеточный и внутриклеточный растворы с разной концентрацией ионов позволяют детектировать токи. Воздействие на токи различных химических веществ или лекарственных соединений позволяет понять, как они влияют на ионные каналы, а значит — на сердце в целом и его возбудимость.*





На Физтехе установили первый в мире компьютер, специально созданный для работы с искусственными нейронными сетями. Его мощности в основном будут использованы в работе лаборатории нейронных систем и глубокого обучения над проектом по созданию разговорного искусственного интеллекта iPavlov. О самом проекте, новой коммуникационной среде и принципиальной важности вычислительных мощностей в современных исследованиях рассказывает заведующий лабораторией Михаил Бурцев.

□ ДИАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ

За последние годы количество пользователей мессенджеров значительно превысило количество пользователей соцсетей, мобильные мессенджеры используются пользователями гораздо чаще, чем другие приложения. Именно обмен сообщениями стал самым популярным действием на всех устройствах. «Фактически мы видим, как складывается новая коммуникационная среда, — рассказывает Михаил Бурцев. — Это открывает новые возможности для бизнеса, который теперь может по-новому выстроить общение с клиентами. Пользователь сможет найти необходимую информацию, сделать запрос, не выходя из мессенджера. Представьте, что вам не нужно будет блуждать по интернету в поисках самых дешевых билетов на самолет, достаточно будет просто отправить сообщение боту с указанием даты и направления вылета, и он предложит вам наиболее оптимальный вариант. Мессенджер может стать каналом для обмена сообщениями с организациями, сервисными центрами: вы можете отправить запрос

в банк, соседний магазин, автосалон — куда угодно, и получить необходимую услугу или консультацию».

Сами по себе диалоговые системы существуют достаточно давно, однако технологии их создания постоянно совершенствуются. Раньше такие системы были основаны главным образом на заданных правилах ответа, однако в общении с реальным человеком такой подход не дает хороших результатов: человек зачастую формулирует одну и ту же информацию совершенно разными способами, и компьютер просто не может его понять. Сейчас мы фактически наблюдаем бум искусственных нейронных сетей, и особенно хорошие результаты они показывают в области использования естественного языка. Так, например, перевод Google Translate на нейросетевые алгоритмы значительно повысил качество прямого перевода с одного языка на другой. Поэтому именно разработка «разговорного» машинного интеллекта, основанного на работе с естественным языком, кажется сейчас одной из самых перспективных и интересных областей.

«РАЗГОВОРНЫЙ» ИНТЕЛЛЕКТ

Проект лаборатории iPavlov, названный в честь создателя науки о высшей нервной деятельности Ивана Павлова, концентрируется на разработке «разговорного» машинного интеллекта, который будет способен вести содержательный диалог с человеком. Исследования реализуются в рамках дорожной карты «Нейронет» Национальной технологической инициативы, а организационно-техническую, экспертно-аналитическую и финансовую поддержку обеспечивает Проектный офис Национальной технологической инициативы (АО «РВК»). Диалоговая система, разработанная в рамках проекта, сможет не только отвечать на вопросы собеседника, но и запрашивать информацию, необходимую для того, чтобы решить поставленную в диалоге цель. Для этого нейронная сеть будет «обучаться» на больших массивах документов и текстовых записей диалогов между людьми.

В результате работы над проектом будет создано универсальное решение:

фактически алгоритм будет способен учиться общаться на любом языке. Это возможно благодаря посимвольному интерфейсу разрабатываемой системы, для обучения которой совершенно не важна морфологическая структура языка. На основе созданной технологии планируется также разработать конкретное технологическое решение для индустриального партнера проекта — Сбербанка. Обучение сети будет вестись в том числе на реальных диалогах сотрудников банка с пользователями, после чего может быть создана платформа, которая сможет полноценно общаться с клиентами.

ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ

В развитии искусственного интеллекта есть особенность, которая ранее не была характерна для создания передовых технологий — большинство базовых алгоритмов современного машинного обучения публикуется под открытыми лицензиями. Именно эта открытость позволила искусственному интеллекту стать одной из самых перспективно развивающихся областей последнего времени. «Пожалуй, самый яркий пример в этом смысле — один из проектов Илона Маска OpenAI. Открытые библиотеки есть у компании Google, например, TensorFlow. Всего же у Google несколько тысяч проектов с открытой лицензией. Именно такие библиотеки определяют технологические стандарты в области машинного обучения», — рассказывает Михаил Бурцев. Философия «открытого» искусственного интеллекта придерживается и лаборатория МФТИ, которая по итогам работы над проектом планирует создать открытую платформу с базовыми инструментами



Сотрудники лаборатории нейронных систем и глубокого обучения Ольга Кайрова, Рафаэл Айрапетян, Михаил Бурцев, Вадим Полулях (слева направо)

«разговорного» машинного интеллекта, которая станет основой для стартапов и разработок для всевозможных отраслей индустрии.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МОЩНОСТИ

Лаборатория планирует проводить свои исследования на первом в мире суперкомпьютере, спроектированном специально для обучения искусственных нейронных сетей. Для работы с ними принципиально важна вычислительная мощность устройств. Чем более мощное «железо» есть в вашем распоряжении, тем с более сложными нейросетевыми архитектурами вы можете работать. Сложность модели зачастую позволяет совершить революционный скачок в решении практических задач. Так, например, текущая революция в компьютерном зрении и распознавании речи связана, в том числе, с ростом вычислительных возможностей. «Мощностей двух вычислительных узлов системы Nvidia DGX-1 достаточно для того, чтобы войти в Топ-50 самых высокопроизводительных компьютеров России (суперкомпьютер лаборатории занял 31 место в этом рейтинге — Прим. ред.). Мы будем использовать DGX для экспериментов со сложными моделями диалоговых агентов, это позволит решать практические задачи, за которые без него мы бы даже взяться не смогли», — делится планами Михаил Бурцев.

Вычислительные узлы суперкомпьютера установлены в Центре обработки данных МФТИ, и проводить свои исследования с его помощью могут и другие научные коллективы института, которые также занимаются искусственными нейронными сетями. ■



МАШИННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ФИЗТЕХЕ

На Физтехе начинает работу новая научная лаборатория — машинного интеллекта. Наряду с лабораторией нейронных систем и глубокого обучения, это уже вторая лаборатория в кампусе МФТИ, которая займется одним из самых перспективных направлений последнего времени. Об исследовательских планах, работе со студентами и взаимодействии с бизнесом рассказывает заведующий лабораторией Константин Воронцов.

□ В НАЧАЛЕ БЫЛА КАФЕДРА

Лаборатория машинного интеллекта создана на Физтехе этим летом, однако работа начинается не с нуля. В 2003 году на ФУПМе была открыта кафедра «Интеллектуальные системы» на базе Вычислительного центра РАН под руководством члена-корреспондента, а теперь академика РАН Константина Рудакова. «За эти годы нам удалось накопить значительный опыт преподавания и выполнения прикладных проектов вместе со

студентами, — говорит заведующий лабораторией Константин Воронцов. — Мой коллега по кафедре Вадим Стрижов разработал великолепный практикум по машинному обучению и анализу данных, который со временем оформился в хорошо отлаженную методику». Цель этого практикума — научить третьекурсника Физтеха, который только что пришел на кафедру, делать собственное научное исследование от начала до конца: от постановки

задачи до написания научной статьи и выступления с докладом. Каждый студент получает индивидуальное задание и куратора, который хорошо разбирается в задаче. При этом совершенно не обязательно, чтобы куратор позже стал научным руководителем. Задача должна быть решаемой за семестр, и постановка должна быть предельно четкой, чтобы ее не приходилось менять по ходу работы (как это часто бывает в научных исследованиях). «На этом адаптация задачи под студенческий уровень заканчивается, — поясняет Константин Воронцов, — в остальном это реальные «боевые» условия. Студент погружается в проектную деятельность с жесткой этапизацией и еже-

недельной отчетностью. Для некоторых это оказывается тяжеловато, но в конце ожидает награда — огромная радость от того, что ты усердно потрудишься, получил первый собственный результат, что-то сделал своими руками». Более половины из этих работ превращаются в полноценные научные публикации после некоторых доработок. Всего же за годы существования кафедры было выполнено более 500 индивидуальных научных студенческих проектов. Все они выложены в открытый доступ на вики-ресурсе MachineLearning.ru. «Мы часто направляем на эти страницы студентов младших курсов, которые спрашивают нас о кафедре. Если просто немного полистать эти отчеты, то уже не останется вопросов «зачем мне нужен маган и линал»». Видимо, все это и определяет популярность кафедры: в 2014 году она заняла первое место в студенческом рейтинге среди 121 базовой кафедры МФТИ.

НАУКА В КАМПУСЕ

Деятельность лаборатории основана на том опыте, который был накоплен на базовой кафедре ВЦ РАН. «Мне нравится стратегия преобразования базовой системы Физтеха, — делится Константин Воронцов. — Хорошо, что научные исследования все больше концентрируются в кампусе. Это способствует объединению исследователей и преподавателей, теории и практики. Увеличивается плотность идей на квадратный метр. Имея опыт сильной базовой кафедры, мы будем переносить его сюда, теперь в формате лаборатории».

В центре внимания лаборатории все то, что сейчас принято считать «трендом»: большие данные, машинное обучение, искусственный интеллект. Системы, имитирующие человеческий интеллект, в том числе нейросети, появились и развивались еще в 1940–1960-х, однако настоящего бума достигли только сейчас. Этому способствовало три причины. Во-первых, развитие электронной вычислительной техники. Возможность хранить, обрабатывать,



Константин Воронцов, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник Вычислительного центра РАН, профессор кафедры интеллектуальных систем ФУПМ МФТИ, заведующий лабораторией машинного интеллекта МФТИ, один из создателей и администраторов MachineLearning.ru

“ Мы хотим делать науку максимально практичной, чтобы она была непосредственно востребована в компаниях ”

передавать терабайты данных раньше была по карману только крупным корпорациям. Теперь это можно делать на персональном компьютере. Во-вторых, появился краудсорсинг — дешевый способ формирования огромных обучающих выборок усилиями тысяч пользователей через интернет. В-третьих, математика также не стояла на месте. Был накоплен огромный опыт в области математической статистики, численных методов оптимизации, машинного обучения, нейронных сетей. Сегодня, во многом благодаря этим технологиям, создаются системы компьютерного зрения и управления беспилотными автомобилями, диалоговые и рекомендательные системы, средства компьютерной и персонализированной медицины. В лаборатории Воронцова

упор в исследованиях сделан на анализ текстов и медицинскую диагностику, однако со временем, уверены в лаборатории, основные направления могут измениться: анализ данных вездесущ и области его применения практически безграничны.

СДЕЛАТЬ ПРАКТИЧНЕЙ

Сейчас машинное обучение приходит во все сферы бизнеса для автоматизации принятия решений и предсказательного моделирования. Неудивительно поэтому, что одной из основных задач лаборатории станет работа на стыке науки и бизнеса. Константин Воронцов объясняет: «Помимо того, что мы делаем научные исследования, публикуем статьи по машинному обучению, искусственному интеллекту и анализу данных, мы хотим делать науку максимально практичной, чтобы она была непосредственно востребована в компаниях». Обычно компании неохотно работают с учеными, предпочитая готовые решения или аутсорсинг. Но именно сейчас и именно в data science ситуация меняется: востребованность анализа данных огромная, и многие компании принимают мучительное решение, не открыть ли собственный исследовательский отдел. «На российском рынке трудно находить квалифицированные кадры, а мы их как раз готовим и можем готовить под конкретные проекты». Именно в этой ситуации лаборатория Физтеха могла бы выступить в роли «пилотной версии» подразделения data science, формируя проектные команды в процессе выполнения заказов на НИР и ОКР. «По сути, это та же Система Физтеха, но приспособленная под более изменчивую среду. Компании — это не советские НИИ, за редкими исключениями им нет смысла открывать базовые кафедры на Физтехе. Но существует масса других разумных форм сотрудничества, — мы готовы экспериментировать, чтобы постепенно сойтись к оптимуму. Или к нескольким... В анализе данных решение часто оказывается не единственным». ■

Ася Шепунова, Фёдор Киташов

РЕВОЛЮЦИЯ ОТ ФИЗТЕХА



В 2014 году, закончив карьеру трейдера, выпускник ФОПФ 2007 года Николай Сторонский создал Revolut — глобальную альтернативу локальному банковскому счету. Дебетовая карта позволяет хранить деньги в долларах, евро и фунтах стерлингов. Если средств в одной из трех валют хватает для проведения операции, сумма списывается с соответствующего счета. Когда пользователь хочет расплатиться в другой валюте или денег, скажем, в фунтах стерлингов, не хватает, то в момент совершения транзакции происходит конвертация по межбанковскому валютному курсу, который на 3–5 процентов выгоднее, чем розничный. Редакция журнала «За науку» пообщалась с Николаем и попыталась рассказать историю создания и развития Revolut — global money app.

□ **Что вдохновило вас на идею создания Revolut? Вы изначально были уверены в успехе проекта?**

— Мне хотелось делать что-то свое, а не просто быть наемным работником. После того, как я закончил МФТИ, я поехал в Лондон на стажировку в Lehman Brothers — работать в трейдинге. Они мне предложили остаться. Я работал у них два года, потом в Credit Suisse еще пять лет. Уже во время работы я начал думать над созданием собственного стартапа.

У меня было несколько идей, от микрокредитования до электронной коммерции. Я все взвесил, проранжировал по вероятности хорошего выхлопа и выбрал Revolut как наиболее перспективную идею, поэтому я был уверен в успехе на 100 процентов.

Вначале нашим продуктом был счет плюс карточка, которая тебе позволяла платить по самому лучшему курсу. То есть на 500 евро, которые ты тратишь, 40 евро экономятся, что в принципе довольно много. Так как я сам жил в другой стране, я хотел нацелить продукт на экспатов, поэ-

тому наша карта позволяла пользователю отправлять деньги за границу по самому лучшему курсу бесплатно. Так мы начинали. В течение двух лет добавляли разные фишки, например, сейчас можно брать кредит, есть премиум-аккаунт, есть бизнес-аккаунт. Сейчас мы даже начали делать страховки, запускаем wealth management. Как Амазон, который начал с продажи книг, а потом потихонечку добавил и другие товары, так и мы двигаемся в сторону one-stop solution for financial services.

— **Что больше всего вас удивило, когда вы начали вести бизнес?**

— Больше всего меня удивило расслоение людей. Только когда я ушел из банка, я понял, что в моей индустрии качество людей на порядок выше, чем в других сферах. В топ-индустрии очень жесткий отбор, и он начинается довольно рано: сначала нужно попасть в хорошую школу, потом в хороший университет, потом те, кто проявляют себя хорошо, едут на стажировку, и последний отбор — самые успешные получают работу.

Влад Яценко и Николай Сторонский (слева направо) — основатели Revolut



В результате получается такое расслоение: в инвестиционной индустрии работают очень качественные люди. И когда я ушел в пэймент-индустрию, заметил, что качество людей хуже в плане мозгов, исполнительности, организованности и энергии, с которой они работают.

— **Инвестиции, которые вы привлекли в этом году для Revolut, оценивают в 50 миллионов фунтов. При этом компания планирует собрать 4 миллиона фунтов на краудфандинге. Почему вам это интересно?**

— Уже собрали. Мы делали краудфандинг дважды. Причем делали это больше не из-за денег. Краудфандинг — это прекрасный маркетинговый ход, когда ты позволяешь своим пользователям инвестировать в себя. В результате они становятся агрессивны в привлечении других юзеров. Проще говоря, мы нанимаем несколько тысяч маркетологов за их же деньги. Как и в самом начале развития компании, наша команда не тратит деньги на маркетинг.

— **С какими самыми тяжелыми проблемами вы столкнулись, когда только начинали свое дело?**

— В разные времена были разные челленджи. Вначале было психологически сложно. Я работал в банке на трейдинг-доске, был суперуспешным трейдером с огромным PnL, с огромной компенсацией. А потом пришлось с нуля начинать, не было офиса, я работал в Старбаксе. И это большой скачок вниз, психологически это очень тяжело.

Когда бизнес был уже запущен, тяжело было поднять деньги, найти инвесторов, сделать банковскую инфраструктуру. Чтобы найти инвесторов, надо уже иметь продукт и команду.

— **Расскажите о первых шагах и главных сложностях в развитии компании.**

— Самая большая сложность — найти хорошую инфраструктуру и сделать банковскую процедуру: за-



Николай Сторонский в офисе Revolut в Лондоне

ключить контракты, чтобы получить доступ к банковской среде. Я «убил» на это около девяти месяцев. После этого команда выросла до 10 человек и нужно было поднимать деньги. Когда нам это удалось, у нас уже появились клиенты, хороший flow и обороты. Нас даже пытались закрыть несколько раз, потому что мы уже тогда составляли конкуренцию.

Сейчас самое сложное — это провести интернациональную экспансию вне Европы. Если сможем успешно запустить две страны и построить процесс, мы танковой бригадой двинемся на остальные страны, потому что уже будем знать, как делать правильно, то есть у нас будет отлаженный процесс, отлаженная методика. Это будет самым трудным.

— **Как набирали команду?**

— Сначала нанимал сам, а потом уже люди из команды набирали к себе новых сотрудников. В первые два года я совершил много ошибок. Сейчас, возвращаясь назад, я бы не стал нанимать некоторых людей. Сначала ты учишься, а потом у тебя в голове просто создаются темплейты, на что надо обращать внимание, а на что не обращать. Помню, когда начинал, поставил себе вопрос, как мне за час определить, толковый человек или нет. Я выписал кучу вопросов, но со временем это все смылось и осталось три вещи: насколько

человек замотивирован, второе — его IQ и скиллы, и третье — это энергия, с которой он готов работать.

— **Что должны знать начинающие молодые предприниматели? Чего они НЕ должны делать?**

— Самое главное — это идти к своей цели, не обращая внимания ни на что. Найти любой способ, какой только возможен, а он всегда существует. Нужно четко следовать своим принципам и не тратить время на ненужные встречи. Я понял, что моя задача — сделать продукт и продать его людям. Я задавал себе вопрос: поможет ли мне эта встреча или эта конференция сделать продукт лучше? Если ответ нет, то зачем это надо? Поэтому я трачу 5 процентов своего времени на встречи и 95 процентов — на продукт и команду.

— **Что должно случиться в следующие 12 месяцев, чтобы вы сказали, что «сейчас все идет как надо»?**

— Когда миллиард долларов заработаем, тогда немного расслабимся.

— **Чему вас научил Физтех, что на данный момент вам кажется наиболее полезным?**

— Я очень мало встречал в своей жизни людей, которые бы отличались правильным умением решать задачи. И Физтех формирует у выпускников эту способность успешно решать любые поставленные задачи. ■



Компания Revolut сейчас активно расширяется. Если вы выпускник Физтеха и заинтересованы в работе в компании, то пишите на e-mail: nikolay@revolut.com



Центрифуга используется для самых разных целей: от выделения клеток крови и растительных клеток до выделения белков и ДНК



Планшет — место, где «живут» клетки и над ними проводят эксперименты



Амплификатор — прибор для проведения ПЦР — реакции, которая нужна для получения фрагментов будущих конструкций и их проверки



Прежде чем начать сборку конструкций из молекул ДНК, мы проводим виртуальную симуляцию всех этапов эксперимента, чтобы предотвратить возможные ошибки



Нуклеофектор — прибор для доставки готовых конструкций в клетки, в геном которых мы хотим их встроить

АННА ГАПОНОВА, 26 ЛЕТ

постдок в лаборатории геномной инженерии МФТИ

ВАЖНЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Окончила медико-биологический факультет РНИМУ, вела и закончила несколько научных проектов в области cancer cell biology в Fox Chase Cancer Center (Филадельфия, США), написала диссертацию.

ЛЮБИМЫЕ КНИГИ

Стивен Кинг, «Долгая прогулка»; Братья Стругацкие, «Пикник на обочине»; Ильф и Петров, «Одноэтажная Америка»; Ричард Йейтс, «Дорога Перемен»; произведения Антона Чехова и Габриэля Гарсиа Маркеса.

ЛЮБИМЫЕ ФИЛЬМЫ

Фильмы Эмира Кустурицы и Уэса Андерсона; «Покровские Ворота», «Курьер», «Назад в Будущее», сериал «Черное зеркало» («Black Mirror»).

ПОЧЕМУ МФТИ?

На Физтехе самые интересные проекты, крутой коллектив лаборатории геномной инженерии и правильная атмосфера, если вы понимаете, о чем я.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ПОДРАЖАНИЯ

Подражание деструктивно, у каждого свой путь. А вдохновляюсь многими — энергичными, открытыми, позитивными, трудолюбивыми и любящими свое дело, область деятельности не имеет значения, великий ученый или владелец велосипедного магазина — это неважно.

ДЕВИЗ

Будь собой!

ЦЕЛЬ В ЖИЗНИ

Быть счастливой.

МОЕ БУДУЩЕЕ ОТКРЫТИЕ

Эффективная клеточная терапия рака.

Я ЧЕРЕЗ 20 ЛЕТ

Продолжаю заниматься тем, что мне нравится, в самых разных областях.

МИР ЧЕРЕЗ 20 ЛЕТ

Боюсь представить, но в любом случае будет интересно.



«ФИЗТЕХ» ДЛЯ МЕНЯ — КАК НАЦИОНАЛЬНОСТЬ

Этим выпускником гордится не только Физтех, им гордится вся страна. Он — лауреат Нобелевской премии по физике 2010 года, рыцарь-бакалавр, член Лондонского королевского общества, один из самых влиятельных ученых по версии Thomson Reuters, профессор в Манчестерском университете. Он играет по средам со студентами в футбол и увлекается рисованием (одна из работ находится в коллекции президента Китая Си Цзиньпина). Для него идеальный день — это когда удалось сделать то, что до этого момента никому не удавалось. Константин Новосёлов (или Костя, как он представляется уже много лет) — выпускник факультета физической и квантовой электроники МФТИ.

□ **У МЕНЯ БЫЛО ДОСТАТОЧНО БАЛЛОВ ДЛЯ ПОСТУПЛЕНИЯ НА ЛЮБОЙ ФАКУЛЬТЕТ — ФОПФ, ПРОБЛЕМЫ, КВАНТЫ.** Выбирая факультет при поступлении, я много разговаривал со знакомыми студентами и в последний день решил перенести документы с ФОПФа на ФФКЭ. Это было скорее сумбурное, не очень осознанное решение, однако в итоге этот факультет меня нисколько не разочаровал.

СТУДЕНЧЕСКИЕ ГОДЫ ВСЕГДА САМЫЕ ЛУЧШИЕ. Друзья, свобода, новые впечатления. Жизнь на Физтехе была нескучной сама по себе. Теперь приходится прикладывать для этого некоторые усилия.

«ФИЗТЕХ» ДЛЯ МЕНЯ — КАК НАЦИОНАЛЬНОСТЬ. Сразу знаешь, на каком языке общаться с человеком.

А ЧЕГО МНЕ СМОТРЕТЬ ЮМОРИСТИЧЕСКИЕ ШОУ? Я сам шучу.

С РОССИЙСКОЙ СИСТЕМОЙ ОБРАЗОВАНИЯ Я ЗНАКОМ ТОЛЬКО ПОНАСЛЫШКЕ. Различие между советской и британской высшей школой определено. Советское образование — более структурированное, более направленное. Возможно, в нем меньше свободы, но за счет этого больше структуры и материала. Физтеховская система базовых кафедр позволяет заниматься наукой и общаться с научным руководителем на ранней стадии.

В БРИТАНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ, КОНЕЧНО, НЕТ БАЗОВЫХ КАФЕДР. Однако здесь все переложено на плечи самих студентов — сам находи научного руководителя, если сможешь, сам развивайся. С одной стороны, это требует усилий, с другой — развивает независимость, важное качество для ученого.

Я СМЕНИЛ НЕСКОЛЬКО БАЗОВЫХ КАФЕДР, ПОКА НЕ ПОПАЛ В ЧЕРНОГОЛОВКУ. В начале 90-х мало научных институтов блистали инициативностью. В Черногловке все еще оставался какой-то оптимизм, инициатива и мотивация. Эти же качества я сейчас ищу в своих студентах.

В МОЕЙ ЛАБОРАТОРИИ НЕ ТАК МНОГО ФИЗТЕХОВ, ОДНАКО ВСЕ ОНИ — ХОРОШИЕ РЕБЯТА. С мозгами и мотивированные.

ПРЕПОДАВАНИЕ — КОЛОССАЛЬНАЯ, ОЧЕНЬ ТЯЖЕЛАЯ РАБОТА, ПРИ ЭТОМ С НЕ ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ ОТДАЧЕЙ. Если студенты все поняли — это их заслуга, а если запутались — то виноват преподаватель. В данный момент я преподаю очень мало, поскольку у меня профессорская стипендия от Королевского общества.

УСПЕХ ГРАФЕНА СЛОЖНО ПОВТОРИТЬ. Графен действительно интереснее многих других двумерных материалов. Он самый простой и в то же время содержащий в себе самое большое количество необычных свойств. Сложно предсказывать, повторит ли какой-то материал успех графена, но это и не важно. Наука движется вперед, и если просто повторять старые эксперименты или даже искать старые эффекты в новых материалах — ничего полезного из этого не получится. Наука развивается по своим законам, а мы — только лишь посредники между наукой и ее объектами. Попробовать повторить успех графена, наверное, невозможно.

МЕНЯ ВСЕГДА УВЛЕКАЛА ДВУМЕРНАЯ ФИЗИКА. Сейчас я занимаюсь другими двумерными материалами, например, мы научились получать двумерные сверхпроводники и двумерные ферромагнетики. Также мы делаем искусственные материалы на основе двумерных кристаллов — Ван-дер-Ваальсовы гетероструктуры. Здесь есть простор как для их практического применения, так и для новой физики

ВПЕЧАТЛЕНИЯ ОТ ВСТРЕЧИ С МИНИСТРОМ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ОЧЕНЬ ПОЗИТИВНЫЕ. Обсуждали проблемы науки в России, я высказал свое мнение, и мы поговорили о том, как можно исправить ситуацию, как привлечь молодежь в науку, вернуть престиж профессии, как сделать так, чтобы ученые в России занимались более амбициозными и интересными проектами. У меня сложилось впечатление, что какие-то шаги в этом направлении будут предприниматься.

В ВЕЛИКОБРИТАНИИ ТОЛЕРАНТНО ОТНОСЯТСЯ КО ВСЕМ ИНОСТРАНЦАМ — НЕВАЖНО, РУССКИЙ ТЫ ИЛИ НЕТ. Это, наверное, другой уровень толерантности, когда не просто к иностранцам относятся как к своим, а когда такое деление на «своих» и «чужих» в принципе отсутствует.

Я ГОЛОСОВАЛ ПРОТИВ BREXIT. Однако это не помогло.

ОТКУДА МЫ ЗНАЕМ, ПОЧЕМУ ПЯВЛЯЮТСЯ ОДАРЕННЫЕ И МОТИВИРОВАННЫЕ ЛЮДИ: может, они появляются вопреки, а не благодаря нашим усилиям? Воспитание мозга молодого человека — очень сложная область, не возьмусь ее обсуждать. Но точно могу сказать одно: появляются ребята с хорошими мозгами, мотивацией и желанием работать в науке. Причем, наверное, с такой же частотой, как и раньше. Если судить по этому критерию — то никакого кризиса научного образования в мире нет.

МОИ ДОЧЕРИ ОЧЕНЬ РАЗНЫЕ — у одной однозначно есть склонность к техническим наукам, другая больше гуманитарий. И, ко всему прочему, обе уже играют в футбол лучше меня (хотя это и не показатель — я тот еще футболист). Пока слишком рано судить о том, пойдут ли они в науку или в футбол, но я буду стараться, чтобы они развивали свои способности, получали образование и чтобы им было интересно учиться. А дальше — дело за ними.

РЯДОМ С МОЛОДЫМ ЧЕЛОВЕКОМ ДОЛЖЕН БЫТЬ КТО-ТО, КТО ВОВРЕМЯ «ПОДТОЛКНЕТ» В КАКУЮ-ТО ОБЛАСТЬ. Возможно, без такого толчка сложно определиться. Причем уровень поддержки в плане углубленного изучения физики или математики тут совершенно вторичен — важен сам факт ее присутствия.

У МЕНЯ БЫЛИ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ В ШКОЛЕ. Хотя школа была совершенно обычной.

ХОТЕЛОСЬ БЫ ПОЖЕЛАТЬ АКАДЕМИИ НАУК помнить о том, что Академия наук и Наука — это не совсем одно и то же. И развивать надо именно Науку.

ПО СРЕДАМ Я ИГРАЮ СО СТУДЕНТАМИ В ФУТБОЛ. А еще рисую немножко.

ИННОВАЦИИ МОГУТ БЫТЬ СТОЛЬ ЖЕ УВЛЕКАТЕЛЬНЫМ ЗАНЯТИЕМ, как и наука, и на это совершенно не зорно потратить свою жизнь. ■

ИЗ ШКОЛЫ В ШКОЛУ?

В 2017 году приемная кампания в МФТИ впервые прошла по новой системе — абитуриенты подавали документы не на привычные всем факультеты, а в Физтех-школы. Кроме того, отмечен рост популярности IT-специальностей. Мы решили разобраться в особенностях приема этого года и в том, как новшества повлияли на абитуриентов и набор в целом.

□ МЫ ВЫБИРАЕМ, НАС ВЫБИРАЮТ...

До этого лета конкурс на Физтех проводился по направлениям подготовки и был общим для всех факультетов. Подал документы на направление «прикладные математика и физика», абитуриент теоретически мог оказаться на любом из 11 факультетов — в зависимости от проходного балла. Сейчас же перемещение возможно только между факультетами в составе одной школы.

ТРИ ПИШЕМ, ОДИН В УМЕ

Новый порядок сказался на количестве заявлений — оно значительно выросло, ведь теперь подавать документы нужно отдельно в каждую школу. Так, например, один школьник написал 17 заявлений при поступлении на Физтех. Если в прошлые годы среднее количество поданных заявлений составляло порядка 1,7, то в этот раз абитуриент в среднем написал 2,8, хотя сейчас в МФТИ пришло всего на два

процента больше поступающих, чем в прошлом.

Это значительно увеличило нагрузку приемной комиссии, но здесь же подстерегала еще одна проблема. Абитуриент писал заявления сразу в несколько школ — для подстраховки, — хотя на деле должен был поступить только в одну из них. В итоге конкурс заявлений оказался значительно выше реального. Ситуацию прокомментировал директор Физтех-школы фундаментальной и прикладной физики (ФФПФ), декан ФОПФа Валерий Киселёв: «По закону университет обязан публиковать именно список по конкурсу заявлений, так что абитуриент вместо реальной ситуации видел раздутый пузырь. В качестве примера могу привести отрывок из своей беседы с абитуриентом на собеседовании ФОПФ, который был почти уверен, что со своими 299 баллами (с учетом 10 баллов за индивидуальные достижения) ему вряд ли удастся поступить на наш факультет; на вопрос “почему?” ответил, что в конкурсном списке он видит себя во второй сотне».

При этом у членов приемной комиссии были инструменты для просмотра реальной ситуации: абитуриенты указывали свой приоритет по факультетам, так что с 299 баллами поступление можно было считать гарантированным. В срочном порядке пришлось дополнительно предоставить поступающим такую же опцию просмотра конкурсной ситуации, максимально верно отражающей реальность.

ПЛЮСЫ:

- Раньше, по сути дела, факультеты набирали себе студентов, теперь инициатива в руках абитуриента. Поступающий может подать заявление в интересующие его школы и присвоить им приоритет, таким образом самостоятельно выбрав для себя основной и запасные варианты.
- Каждая школа получила возможность самостоятельно оценивать индивидуальные достижения поступающих. Например, диплом победителя олимпиады по биологии — профильному предмету — будет большим плюсом для ФМБФ, а для другого факультета — лишь свидетельством разносторонней подготовки будущего студента. Логично, что в первом случае диплом должен цениться выше, — теперь так и происходит.

МИНУСЫ:

- Распределение мест по школам фиксировано. Число студентов для каждого факультета всегда рассчитывалось заранее, однако эта цифра была плавающей. При необходимости места перераспределялись — так, в 2016 ФОПФ за счет факультетов, поток на которых оказался меньше, набрал на 15 человек больше, чем планировалось изначально. Теперь столь же оперативно реагировать на ажиотажный конкурс в какой-либо школе стало труднее.
- Большая самостоятельность влечет за собой большую ответственность. Раньше, когда абитуриент ставил чересчур высокую для себя планку, приемная комиссия могла предложить другой факультет. Порой поступающий первокурсник и не задумывается, что может заниматься интересующими себя вопросами и на другом факультете, а иногда совершенно напрасно игнорирует специальности, в которых мог бы добиться успеха. Совет от приемной комиссии в таком случае мог бы быть очень ценным. Но увы, если документы в соответствующую школу не поданы, прибегнуть к нему можно будет лишь в следующем году.



5222
ЗАЯВЛЕНИЯ
ПОДАНО

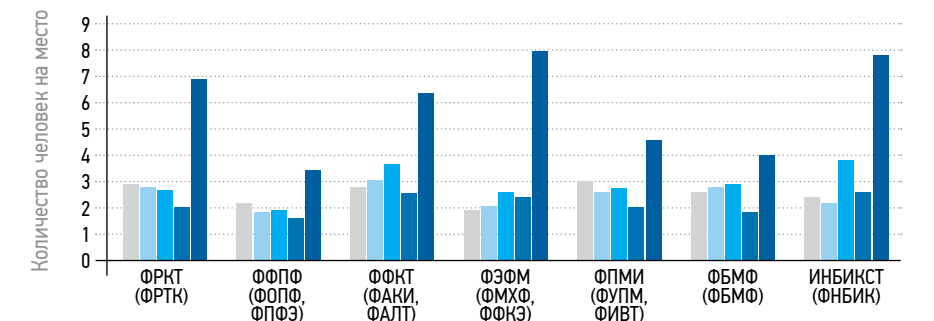
Однако к этому моменту многие абитуриенты, во-первых, «не доехали» до МФТИ, увидев переполнение конкурсных групп заявлениями с высокими баллами, во-вторых, сменили генеральный ориентир поступления на другой университет по той же причине.

Но заместитель директора Физтех-школы прикладной математики и информатики (ФПМИ) по младшим курсам Иван Эрлих отмечает, что для абитуриентов сложившаяся ситуация прошла практически безболезненно: «Хотя степень бюрократии невольно увеличилась из-за конкурса по школам, абитуриенты и их родители отмечали четкость и быстроту работы центральной приемной комиссии МФТИ на фоне других вузов. Абитуриенты оперативно получали информацию и при необходимости могли дистанционно переписать заявление».

«Наша школа полностью поддерживает порядок поступления абитуриентов, который был опробован этим летом, — заявляет заместитель директора Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики (ФЭФМ) Владимир Талисманов. — Как поступление происходи-

ло раньше? Абитуриент мог подать заявление только на один факультет, определившись сразу, доверив свою судьбу конкурсной ситуации и приемной комиссии этого факультета. Увы, при таком порядке абитуриенты далеко не всегда доходили до других факультетов, а этим летом —

КОНКУРС ПО ЗАЯВЛЕНИЯМ ЗА 2013–2017 ГОДЫ НА НАПРАВЛЕНИЕ «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА» НА ГОСБЮДЖЕТ



дошли! Абитуриентам рассказали, чем же занимаются на факультете, для кого и чему учат, с кем сотрудничают, на что делается упор в образовательной программе, а самое главное — развеяли все (надеюсь, что все!) опасения и ответили на все вопросы, спросили, к чему лежит в науке душа, дали советы. Конечно, раздаточные рекламные материалы, дни открытых дверей очень и очень важны, но именно в “час икс”, обдумав, взвесив все “за” и “против”, абитуриент, как мне кажется, делает более осознанный выбор».

КТО ПРИШЕЛ?

В этом году традиционно большой набор победителей и призеров всероссийских и вузовских олимпиад. На Физтехе будут учиться трое из пяти членов национальной сборной по физике, взявшей пять золотых медалей из пяти возможных. Помимо трех российских школьников, в МФТИ поступили семеро участников Международной олимпиады по физике из других стран. Это представители Белоруссии, Киргизии и Армении. Примечательно, что участники всероссийских олимпиад, которые всегда шли на ФОПФ, в этом году также поступали, например, на ФБМФ и ФРТК. Возможно, сыграло роль разделение по школам — абитуриенты увидели, что есть и другие факультеты, которые занимаются интересными вещами. Особенно популярными в этом году оказались специально-



Заседание приемной комиссии МФТИ — 2017

сти, связанные с компьютерными технологиями. Абитуриенты приходят в МФТИ, чтобы заниматься Computer Science и современной дискретной математикой — дисциплинами на стыке математики и программирования.

«Так как я работаю на ФБМФ, я могу сказать, что к нам поступило два всероса по химии, три всероса по физике, один — по астрономии. Также мы приняли члена юниорской сборной на международной олимпиаде по естественнонаучным дисциплинам (физика, химия, биология).

И это впервые, когда член сборной команды пошел не на ФОПФ, — рассказывает ответственный секретарь приемной комиссии Денис Дмитриев. — Такого на ФБМФ еще не было. С прошлого года, когда стали принимать результаты ЕГЭ по химии, начали приходить всеросы-химики, по физике максимум один человек, а тут сразу целый букет».

На ФИВТ на направление «прикладная математика и информатика» поступило 20 участников

всероссийской олимпиады по информатике. Процент олимпиадников, если считать и вузовские, примерно совпадает с прошлогодним, у 60% в качестве вступительного испытания засчитана хотя бы одна олимпиада.

В этом году было принято решение выдать меньше дипломов победителей олимпиады «Физтех», которые позволяют зачислять без вступительных испытаний. В прошлом году 150 таких дипломов привели к резкому притоку абитуриентов на ФОПФ.

«Для Физтеха аудитория олимпиадников традиционно очень важна. Это люди, способные нестандартно мыслить, решать задачи, требующие нетривиального подхода, — отмечает проректор МФТИ Артём Воронов. — И все же правильно при приеме, помимо олимпиад, ориентироваться на результаты ЕГЭ как на более точную оценку. Сейчас и победители, и призеры олимпиад получают либо право поступить без вступительных испытаний, либо сто баллов, хотя решили разное количество задач. Возможно, стоило бы ранжировать эти льготы — давать разное число баллов за олимпиады разного уровня и учитывать показанный результат — победитель должен получить больше баллов, чем призер».

В целом же зачислять в вуз только ребят с высокими баллами — не значит повышать качество приема. Учебные группы, собранные из студентов одного — пусть и очень высокого — уровня, как правило, менее эффективны. В каждом учебном коллективе должны быть студенты разных уровней — и самые сильные, на которых будут равняться остальные, и олимпиадники, способные к нестандартным решениям, и ребята с хорошо написанным ЕГЭ, обладающие усидчивостью и техничностью в решении заданий, и обязательно несколько человек с более низкими баллами, которые, возможно, не проходят в бюджетный конкурс, но будут тянуться за более сильными одногруппниками».

ПРОХОДИТЕ, САДИТЕСЬ

Самое мучительное в ходе поступления — это, обладая баллами чуть выше (или чуть ниже) проходных прошлых лет, ждать, появится ли твоя фамилия в приказе. Чтобы избавить абитуриентов и их родителей от мучительных метаний по институтам, приемная комиссия Физтеха заранее прогнозирует проходной балл (с некоторой погрешностью), используя статистику прошлых лет. Абитуриенты с высокими результатами после собеседования могут быть уверены — их фамилия появится в списках рекомендованных к поступлению, что с вероятностью 99% гарантирует поступление. Но как быть, если балл на грани проходного?

«В этом году мы вывешивали еще списки на грант, — поясняет ответственный секретарь приемной комиссии Денис Дмитриев. — Грант МФТИ существует уже несколько лет, он позволяет оплачивать обучение студента за счет средств выпускников. Благодаря ему мы уверенно можем обещать абитуриенту с пограничным баллом, хорошо зарекомендовавшему себя на собеседовании, что он будет учиться на Физтехе бесплатно. Что это значит? Если вдруг проходной балл оказался чуть выше, то мы зачисляем поступающего на платное место, но обучение оплачивается из фонда выпускников. Таким образом, с одной стороны, мы немного снимаем напряжение у абитуриентов и родителей, с другой — можем принять талантливых людей, которым не хватило буквально одного-двух баллов. В 2017 обучающихся за счет гранта набралось порядка десяти».

После двух сессий без троек обучающихся за счет гранта переводят на бюджет, по тому же правилу, что и «обычных» платников. Однако если до перехода студент учится на «хорошо» и «отлично», ему, как и бюджетникам, выплачивается стипендия.

94,1
СРЕДНИЙ БАЛЛ
ЗАЧИСЛЕННЫХ

ТОП-10 ВУЗОВ СТРАНЫ ПО КАЧЕСТВУ БЮДЖЕТНОГО ПРИЕМА

№	Вуз	Качество бюджетного приема на основе ср. балла ЕГЭ			Зачислено на бюджетные места, чел.	
		2017	2016	Рост / падение 2016–2017	2017	2016
1	Московский государственный институт международных отношений	95,6	95,4	0,2	454	460
2	Московский физико-технический институт	94,1	93,8	0,3	860	910
3	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва	93,9	92,2	1,7	1948	1963
4	Санкт-Петербургский государственный университет	90,7	90	0,7	1927	2003
5	Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург	90,3	86,9	3,4	1229	1175
6	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», филиал, г. Санкт-Петербург	88,8	87,1	1,7	475	500
7	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	88,5	87,8	0,7	3727	3678
8	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва	88,4	87,8	0,6	513	542
9	Московский государственный лингвистический университет	87	84,7	2,3	547	804
10	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва	86,9	85,8	1,1	600	613

Данные из ежегодного мониторинга качества приема в российские вузы в 2017 году, подготовленные Высшей школой экономики и компанией «Яндекс»

1126

ЧЕЛОВЕК
ЗАЧИСЛИЛИ

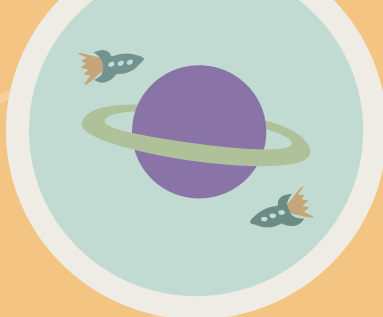
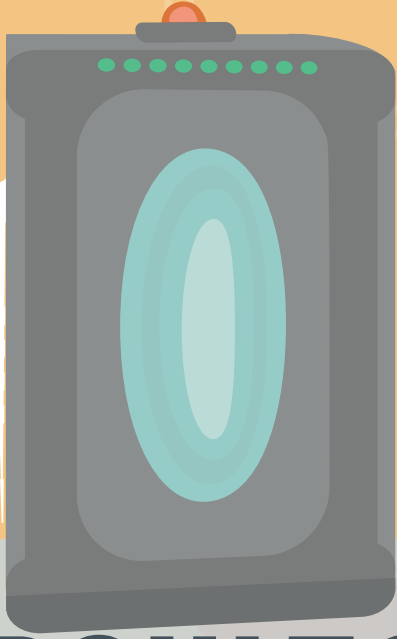
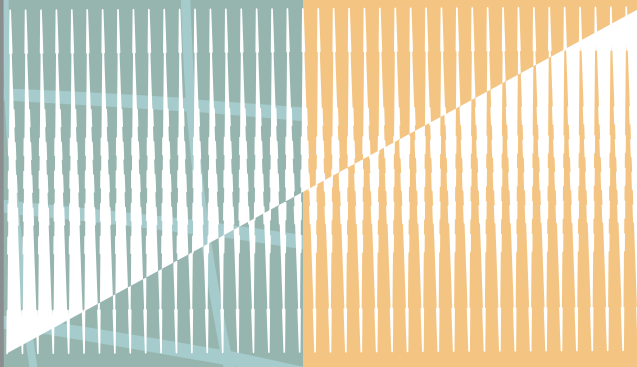
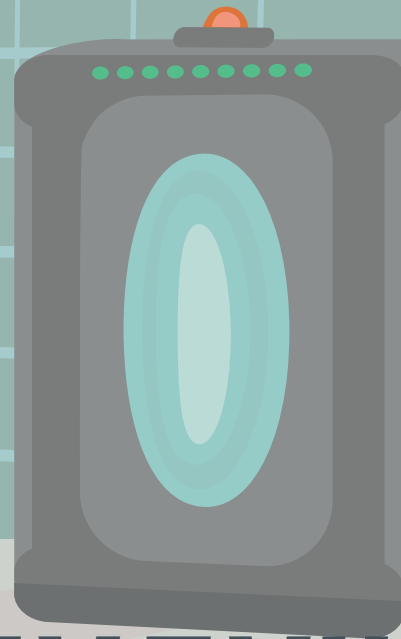
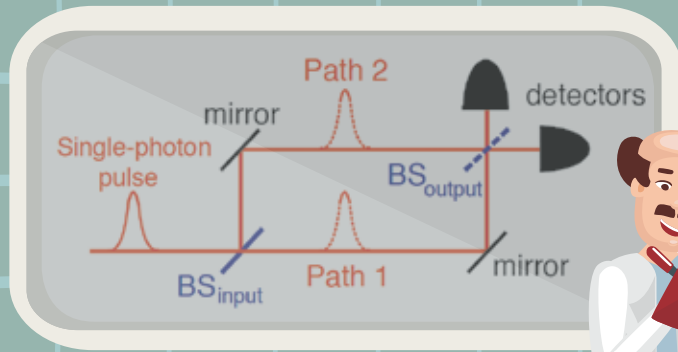
312 ДЕВУШЕК
814 ПАРНЕЙ

ОЛИМПИАДНИКИ, ПОСТУПИВШИЕ НА БЮДЖЕТ В 2017 ГОДУ

Физтех-школа	Победители и призеры всероссийской олимпиады	БВИ* (призеры и победители заключительных этапов олимпиад РСОШ)	Олимпиадники** (100 баллов РСОШ)	Всего
ФРКТ	11	12	59	81
ФФПО	16	31	87	134
ФАКТ		4	42	46
ФЭФМ	1	1	24	36
ФПМИ	34	14	132	186
ФБМФ	7	1	36	44
ИНБИКСТ			11	11

* Без вступительных испытаний

** Учитываются все абитуриенты, которые зашли олимпиаду из перечня РСОШ. В расчете не учитываются иностранцы по квотам, а также олимпиады, которые не были учтены абитуриентами



ВЛИЯЕТ ЛИ БУДУЩЕЕ НА ПРОШЛОЕ?

В 1978 году американский физик-теоретик Джон Арчибальд Уилер предложил мысленный эксперимент — расширение известного опыта Юнга с двумя щелями. На щели направляли фотон, а вот измерение проводили уже после того, как он их прошел. По задумке Уилера, именно факт измерения должен быть определяющим — фотоны будут вести себя как частицы, или же проинтерферируют между собой. В 2006 году эксперимент на одиночном фотоне подтвердил выводы Уилера, а в 2015 году в *Nature Physics* вышла статья, посвященная реализации эксперимента на атомах гелия. Многие СМИ, меж тем, описывали эксперименты в общем ключе «Будущее влияет на прошлое! Реальности не существует!» Мы попытались разобраться, имеют ли эти громкие заголовки хоть какое-то рациональное зерно.



ЕВГЕНИЙ ГЛУШКОВ,

АСПИРАНТ КАФЕДРЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НАНОСТРУКТУР

Мысленный эксперимент с отложенным выбором был предложен Уилером еще в 80-х годах XX века. С тех пор было представлено

несколько экспериментов, в которых в качестве квантовых объектов выступали фотоны — кванты электромагнитного поля. В этой статье ученые сделали интересный шаг, заменив фотоны атомами гелия — тоже квантовыми частицами, но уже обладающими массой и внутренними степенями свободы. И, несмотря на такое существенное различие, контринтуитивные законы квантовой механики все равно продолжают работать.

При этом на основании этого эксперимента говорить о том, что будущее влияет на прошлое, — не совсем кор-

ректно. Ни прошлого, ни будущего в квантовом мире не существует, все это — понятия привычного нам макроскопического мира, и любые попытки приписать эти свойства квантовым частицам лишены смысла. Поэтому нам кажется таким странным, что мы не можем описать движение атомов или фотонов, нарисовав пути, по которым они движутся. Ведь таких путей — бесконечное множество, и каждый из них может реализоваться с определенной вероятностью. Только измерив квантовую частицу, мы можем определенно сказать, где и в каком состоянии она находится. При этом процесс измерения неизбежно изменяет это самое состояние, если не разрушает его.

Еще более странно говорить о влиянии будущего на прошлое в нашем мире «больших» вещей. На таких масштабах любые квантовые особенности, в том числе и возможность отложенного выбора, неизбежно стираются за счет хаотичного наложения друг на друга. И в дело вступают законы макромира, задающие течение времени и отделяющие прошлое от будущего (второй закон термодинамики).



ОЛЕГ ФЕЯ,

МЛАДШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК ЛАБОРАТОРИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ДИЗАЙНА МАТЕРИАЛОВ МФТИ

Классический эксперимент Юнга, доказывающий волновые свойства света, известен всем со школы: пройдя через две маленькие щели в экране (шириной примерно с длину волны света), свет интерферирует, создавая красивую картинку из светлых и темных полос. Если бы свет состоял из частиц, то мы видели бы только две светлые точки напротив щелей. Этот опыт с позиций квантовой механики можно интерпретировать так, будто фотон проходит сразу через две щели. А вот если ведется экспериментальная проверка с целью установить, через какую щель пролетел фотон, то вся интерференция пропадает, — фотон показывает свойства частицы.

Джон Уилер предложил использовать интерферометр Маха — Цандера для постановки следующего эксперимента. Интерферометр состоит из полупрозрачного зеркала, играющего роль двух щелей, которое может заставить пойти фотон по двум путям. Перед детекторами может ставиться, а может и нет, второе зеркало, собирающее пучки вместе. Так вот, если второе зеркало есть, экспериментаторы наблюдают интерференцию, то есть фотон идет по двум путям одновременно. Если нет, — не наблюдают, и он выбирает какой-то один

путь. Уилер предлагал случайным образом решать, ставить или нет второе зеркало, уже после того, как фотон прошел первое, то есть когда он «выбрал» одно из двух — идти по одному пути или по обоим. Таким образом могла (на самом деле, нет) наблюдаться следующая ситуация: фотон «решил» показать свойства частицы и пошел одним из путей, а тут внезапно поставили второе зеркало. И он проинтерферировал, то есть будто бы изначально шел двумя путями.

Люди, имеющие альтернативный взгляд на физику (верящие в торсионные поля, память воды, квантовый разум у частиц), а также журналисты желтых изданий сформулировали очевидное объяснение: фотон «узнает» будущее (будет второе зеркало или нет) и потом уже «решает», как ему быть. Занятно, что в статье в *Nature Physics* авторы потратили целый абзац, предостерегая от такого взгляда на свой эксперимент. Ведь он всего лишь подтверждает принцип дополнительности Бора — что свойства частицы зависят от вида измерений.

Однако писать заголовок «Ученые подтвердили принцип дополнительности Бора» скучно. Куда лучше «Австралийские физики доказали иллюзорность бытия» или «Реальности не существует, пока ее не наблюдают».

ДАЛЕКОЕ БЛИЗКОЕ БУДУЩЕЕ

В августе в кинопрокат вышла картина Люка Бессона «Валериан и город тысячи планет». Человечество покорило космос, вышло на контакт с внеземными цивилизациями, прогресс кардинально изменил жизнь людей. Чтобы разобраться в том, насколько мы близки к светлому сверхтехнологичному будущему, мы отправились в кинотеатр с Артёмом Головизиным, сотрудником лаборатории оптики активных сред ФИАН.

РЫНОК В ДРУГОМ ИЗМЕРЕНИИ

В кино: Великий рынок, где можно купить все, что угодно, представляется как место в другом измерении. Чтобы увидеть его, необходимо использовать специальные очки, а перенести приобретенные товары можно с помощью трансбокса.

В жизни: Наблюдать с помощью специального шлема другие измерения у человечества пока нет возможности, однако системы дополненной и виртуальной реальности развиваются очень активно. На рынке доступны как шлемы, так и приложения для мобильных телефонов, способные преобразовывать изображение с камеры «на лету». Небезызвестный шведский бренд, к примеру, предлагает обставить свою квартиру мебелью из магазина, наблюдая за ней через экран телефона. Правда, перенести товары в реальности возможно лишь с услугами доставки — трансбоксы из фильма, как и путешествия на скоростях выше скорости света, лишь предмет фантазии, не имеющий связи с реальностью.

ИЗ ЧЕГО СДЕЛАН ЖЕМЧУГ

В кино: Перлы, населявшие разрушенную войной планету, имели в своем распоряжении источники энергии огромной мощности, сами при том не осознавая, какой силой они обладали. Носителем энергии являлся жемчуг, полученный с помощью «Конвертеров». Жемчужина, которую носит с собой Валериан, по утверждению бортового компьютера, способна обеспечивать мощность в 20 мегатонн (чего именно, в фильме не указано).

В жизни: Предположим, что речь идет именно о тротиловом эквиваленте запаса энергии, который двигатель корабля способен развить за секунду. В таком случае речь идет о мощности в 10 млн гигаватт, что на пять порядков выше, чем мощность ракеты-носителя «Протон». А самая мощная атомная электростанция на Земле сегодня генерирует 6,8 гигаватт. Абсолютно ясно, что цифры из фильма далеки от реальных. Наше Солнце в процессе термоядерных реакций способно выдавать 3 млн гигаватт при расходе водорода в 1 кг/с. Таким образом, контролируемые термоядерные реакции гипотетически могли бы обеспечить необходимую мощность кораблю. Содержимое жемчужины остается загадкой: самая эффективная по массе реакция — аннигиляция материи и антиматерии — обеспечит 20 мегатонн тротилового эквивалента при массе жемчужины немногим меньше килограмма.

РОМАНТИЧЕСКИЕ ПРИКЛЮЧЕНИЯ

В кино: Фильм заканчивается после того, как Валериан делает предложение Лорелин на борту старинного космического корабля наших времен, оставляя наших героев наедине на ближайшие два часа, не без намека на романтические приключения.

В жизни: На сегодняшний день в космосе не было зафиксированного ни одного полового контакта между людьми. Однако даже если бы герои фильма решились на такой экстремальный шаг, вряд ли дальнейшие события можно было бы описать как романтические. Вся загвоздка заключена в третьем законе Ньютона. В отсутствие гравитации влюбленным будет сложно даже обнять друг друга, так как они будут постоянно отталкиваться. Если рассматривать эту тему более глобально, возможность размножения в космосе играет важную роль в перспективе колонизации других планет, ведь ближайшие экзопланеты находятся на расстоянии десятков световых лет. И если обеспечить половой акт не так уж сложно: уже существуют прототипы костюмов на липучках «2suit», позволяющие паре держаться вместе, — то вопрос о том, будет ли потомство жизнеспособным в полной мере, пока что остается без ответа.

ПОДАЛЬШЕ ОТ ЗЕМЛИ

В кино: Станция «Альфа», начавшая свое существование как некий аналог МКС еще в XXI веке, превратилась в центр взаимодействия представителей не только разных народов, но и планет. За короткое время она разрослась модулями, прибывающими с самых отдаленных уголков космоса. Правительство решает отправить станцию «Альфа» в космическое путешествие, так как она практически достигла критической массы и ее размеры угрожают безопасности Земли.

В жизни: Из школьного курса физики хорошо известно о существовании первой космической скорости ~7км/с, при достижении которой тело на орбите может пребывать сколь угодно долго в отсутствие внешних воздействий, независимо от массы и размеров. На деле, однако, внешнее воздействие присутствует: так, МКС, претерпевая трение об остатки атмосферы на высоте 400 км, ежедневно теряет 200–300 метров высоты. Для поддержания орбиты модули, прибывающие на МКС, регулярно «приподнимают» станцию. Так что решение вывести «Альфу» подальше от Земли по достижении размеров, при которых силы трения слишком тормозят станцию, выглядит вполне разумным. Отдельную опасность представляет космический мусор, которым уже сейчас захлавлено околоземное пространство. Во избежание столкновений с ним МКС вынуждена маневрировать. Столкновение с мельчайшими частицами может явиться причиной падения станции и, в случае «Альфы», — катастрофических последствий для Земли.

Больше фото на mpt.ru/photoreports/

➔ Выставка «Феномен Физтеха» между Лабораторным и Аудиторным корпусами (с октября выставка располагается на площади перед Новым корпусом)

🕒 Опыты «Физтех-центра» на всероссийском фестивале НАУКА 0+



🕒 Мэр Долгопрудного Олег Троицкий вручил Физтех-школе биологической и медицинской физики МФТИ и ее руководителю Сергею Леонову награду «Коллектив года — 2017» в честь 60-летия города



🕒 Матч между сборными МФТИ и Южного федерального университета в рамках домашнего этапа НСФЛ

Участники юбилейного благотворительного забега MIPT Run ➔



🕒 Встреча с создателем криптоплатформы «Ethereum» Виталиком Бутериным в Физтехпарке



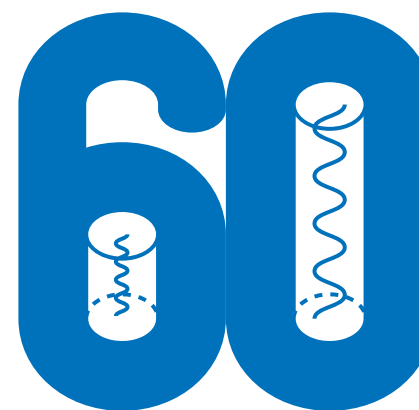
🕒 Научно-популярная лекция директора Центра здорового старения Брайана Кеннеди в рамках конференции «Физтех-БиоМед — 2017»

🕒 День рождения программы дополнительного образования Mail.Ru «Технотрек» в МФТИ



➔ Первокурсники ФФКЭ на торжественной линейке в честь Дня знаний в МФТИ

🕒 Первый кубок выпускников по парусному спорту МФТИ



60-я НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МФТИ

ПРОГРАММА МЕРОПРИЯТИЙ

С 20 ноября по 23 ноября
ЗАСЕДАНИЯ НАУЧНЫХ СЕКЦИЙ

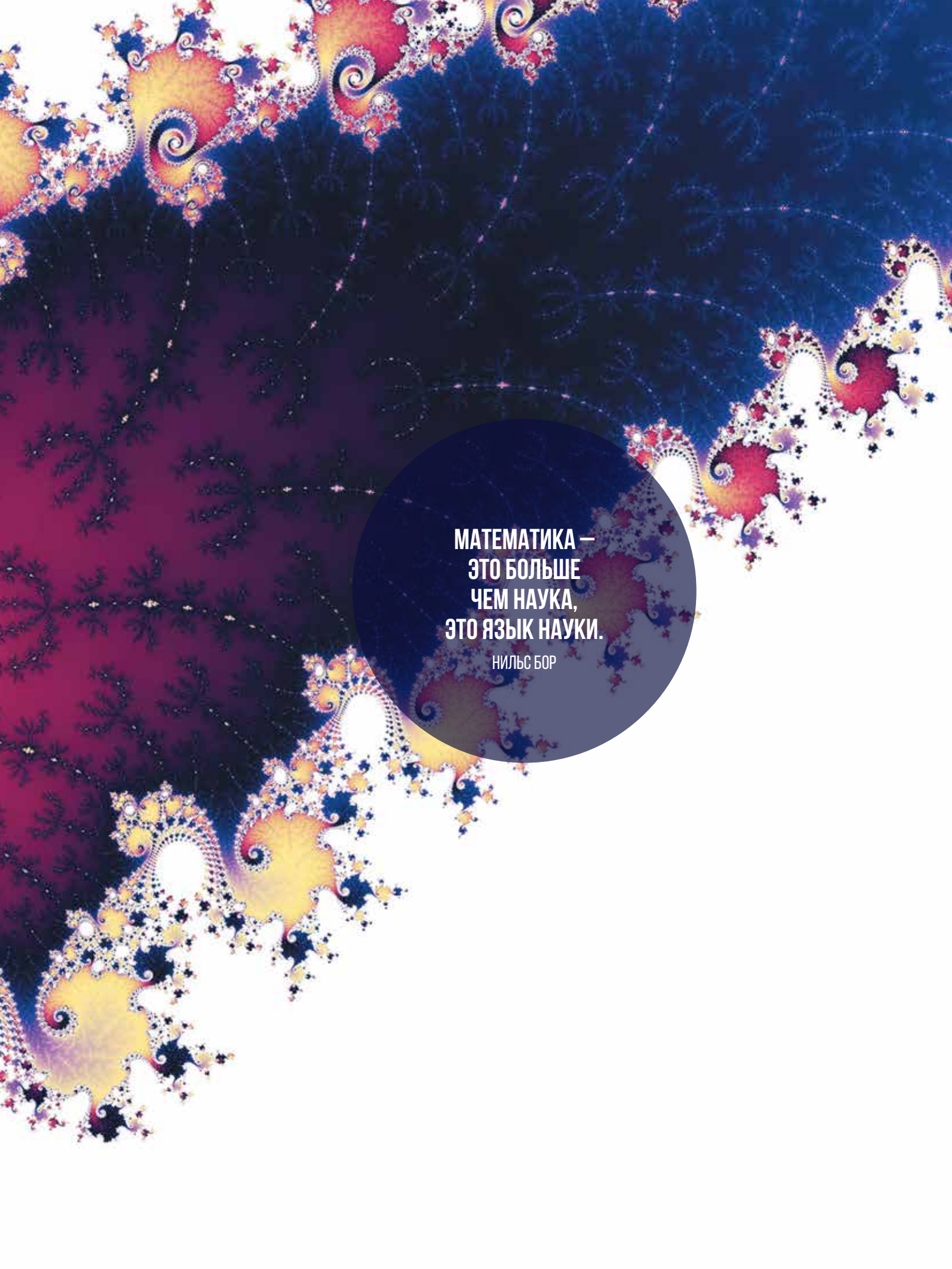
24 ноября, 12:00
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ
ДОКЛАД НОБЕЛЕВСКОГО ЛАУРЕАТА, ВЫПУСКНИКА ФИЗТЕХА
КОНСТАНТИНА НОВОСЕЛОВА

24 ноября, 14:30
ПЛЕНАРНЫЕ ЗАСЕДАНИЯ ФИЗТЕХ-ШКОЛ

25 ноября
ЗАСЕДАНИЯ НАУЧНЫХ СЕКЦИЙ

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОЙДЕТ В ДОЛГОПРУДНОМ ПО АДРЕСУ:
ИНСТИТУТСКИЙ ПЕРЕУЛОК, Д. 9
И НА БАЗОВЫХ КАФЕДРАХ

ПОДРОБНЕЕ О РАСПИСАНИИ КОНФЕРЕНЦИИ, ВРЕМЕНИ РАБОТЫ КОНКРЕТНЫХ СЕКЦИЙ
И АУДИТОРИЯХ ЧИТАЙТЕ НА САЙТЕ: CONF60.MPT.RU



**МАТЕМАТИКА —
ЭТО БОЛЬШЕ
ЧЕМ НАУКА,
ЭТО ЯЗЫК НАУКИ.**

НИЛЬС БОР