

УДК 53
ББК 22.3
Ф 48

Skoltech
Сколковский институт науки и технологий

Физически это возможно: сборник интервью / Предисловие: Александр Кулешов. Составитель Инесса Григалюнене. — Москва: Издательство «Паулсен», 2020. — 280 с.

ISBN 978-5-98797-271-7

«Физически это возможно» — новый Международный научно-просветительский медиапроект Сколтеха и журнала «ОгонекЪ», который стал продолжением серии «Математические прогулки». Вслед за математиками, российские ученые-физики с мировым именем рассказали о самых передовых явлениях в физике, которые смогут изменить наш мир уже завтра.

Удивительно! — скажете вы и будете правы. Журналистам, фотографам и видеооператорам вместе с учеными удалось заглянуть в будущее: возможно ли управлять траекторией движения урагана или адресной доставкой лекарств внутри организма человека; построить космический лифт или придумать звуковой лазер; извлечь информацию из черной дыры или заглянуть в другую галактику через кротовую нору. И даже понять, где рождаются идеи...

И рассказать об этом нам.

22 интервью составили сборник «Физически это возможно». Но об удивительном мире физики можно теперь не только прочитать, но и посмотреть: просто наведите камеру смартфона на QR-код и посмотрите лучшие фрагменты беседы с ученым, непосредственным участником которой вы можете стать. Современная компьютерная графика покажет и расскажет о нейтрино, темной энергии, нанотрубках, квантовом компьютере и многом другом, что уже сегодня описывает мир будущего.

Давайте заглянем в будущее вместе, ведь физически это возможно...

ФИЗИЧЕСКИ ЭТО ВОЗМОЖНО

СБОРНИК ИНТЕРВЬЮ

ISBN 978-5-98797-271-7

© Сколковский институт науки и технологий, 2020
© Макет «Паулсен», 2020

Москва 2020



ФИЗИЧЕСКИ ЭТО ВОЗМОЖНО



СОДЕРЖАНИЕ

- 7** К читателю
Александр КУЛЕШОВ
- 8** **Олег АСТАФЬЕВ**
«Взглянуть на квантовую оптику с новой точки зрения»
- 22** **Фазоил АТАУЛЛАХАНОВ**
«Если человечество хочет выжить, оно должно умирать»
- 32** **Александр БЕЛАВИН**
«А что если у пространства десять измерений?»
- 42** **Геннадий БОРИСОВ**
«Мы можем пощупать, из чего состоят другие звезды»
- 52** **Ильдар ГАБИТОВ**
«Электроника зашла в тупик»
- 66** **Владимир ДРАЧЕВ**
«Жить больше ста лет человеку скучно»
- 80** **Александр ЗАМОЛОДЧИКОВ**
«Скоро нам не будет хватать энергии»
- 90** **Владимир ЗАХАРОВ**
«Жизнь — это противостояние хаосу»
- 100** **Лев ЗЕЛЁНЫЙ**
«Колонизация космоса — это билет в один конец»
- 114** **Татьяна ПОДЛАДЧИКОВА**
«Земля постоянно находится в объятиях Солнца»
- 120** **Лев ИОФФЕ**
«Китайцы все время где-то рядом»
- 130** **Владимир КЕКЕЛИДЗЕ**
«Чем выше энергия, тем ближе мы к началу Вселенной»
- 140** **Алексей КИТАЕВ**
«В параллельную Вселенную можно попасть по узкому мосту»
- 150** **Юрий КОВАЛЕВ**
«Эйнштейн застоялся на постаменте»
- 162** **АНДРЕЙ МЕДВЕДЕВ**
«Прежней вольнице в космосе приходит конец»
- 172** **Альберт НАСИБУЛИН**
«Я хотел создать молоко из травы, убрав из этого процесса корову»
- 188** **Юрий ОГАНЕСЯН**
«В Дубне хотят увидеть сотворение мира»
- 204** **Валерий РУБАКОВ**
«Эпоха запланированных открытий кончилась»
- 214** **Валерий РЯЗАНОВ**
«Мы на пороге второй квантовой революции»
- 228** **Алексей СТАРОБИНСКИЙ**
«На самом деле наша галактика очень пыльная»
- 238** **Роберт СУРИС**
«Я большой поклонник Фарадея»
- 250** **Рашид СЮНЯЕВ**
«Через сто лет жизнь будет гораздо более интересной, чем сейчас»
- 264** **Михаил ФЕЙГЕЛЬМАН**
«Реального хай-тека в России практически нет»
- 274** Именной указатель



АЛЕКСАНДР КУЛШОВ
доктор технических наук,
профессор, академик РАН,
ректор Сколковского
института науки
и технологий (Сколтех)

К ЧИТАТЕЛЮ

Великое искусство популяризации состоит прежде всего в умении подбирать простые образы и понятия, чтобы доступно объяснять современные научные результаты. Особенно сложно это сделать в физико-математических науках, степень абстракции результатов в которых сегодня очень велика. Я не напрасно употребил термин «физико-математические», поскольку последние десятилетия мы наблюдаем удивительно быстрый процесс слияния физики и математики с взаимным обогащением этих наук новыми идеями и методами. И если раньше, еще полвека назад, математика считалась совершенно самостоятельной дисциплиной, то сегодня стало ясно, что теоретическая физика становится очень часто источником новых идей для математических теорий.

Именно поэтому инициаторы с самого начала решили попытаться издать двухтомник индивидуальных интервью как с физиками, так и с математиками, понимая, что профессиональные различия между двумя этими сообществами становятся все меньше и меньше.

Уверен, что у представляемого вашему вниманию сборника найдется своя аудитория и, надеюсь, свои ценители.

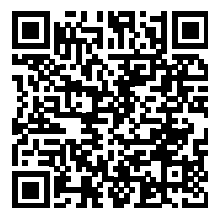


ОЛЕГ АСТАФЬЕВ

«ВЗГЛЯНУТЬ
НА КВАНТОВУЮ ОПТИКУ
С НОВОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ»

ОЛЕГ АСТАФЬЕВ

АСТАФЬЕВ
ОЛЕГ



ТЕКСТ: Алексей Огнёв
ФОТО: Евгений Гурко
ПУБЛИКАЦИЯ: «Троицкий вариант — Наука» № 307 (2020)

Олег Астафьев — профессор Центра фотоники и квантовых материалов Сколтеха, руководитель направления «Квантовые материалы и сверхпроводниковые технологии», зав. лабораторией искусственных квантовых систем МФТИ.

Ранее работал в Институте физики высоких энергий (Протвино), Институте общей физики РАН, Токийском университете (1997–2002), лаборатории фундаментальных исследований Nippon Electric Company (2002–2013), Королевском колледже Холлоуэй Лондонского университета (Royal Holloway, University of London), Национальной физической лаборатории Великобритании (NPL). Его статьи публиковались в журналах Nature, Science, Physical Review Letters и др.



ЧТО ТАКОЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ КУБИТЫ? В ЧЕМ ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА? МОЖЕТ ЛИ ОБЪЕМ ИНФОРМАЦИИ КОМПЬЮТЕРА ПРЕВЫСИТЬ ЧИСЛО АТОМОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ? ЗАЧЕМ НУЖНЫ ИСКУССТВЕННЫЕ АТОМЫ? КАК СКОНСТРУИРОВАТЬ ИСТОЧНИК ФОТОНОВ «ПО ТРЕБОВАНИЮ» И ЗВУКОВОЙ ЛАЗЕР? КАК НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К СОЗДАНИЮ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ИСКУССТВА? И МОЖЕТ ЛИ НАШ РАЗУМ РАЗГЛЯДЕТЬ РЕАЛЬНОСТЬ ЗА УРАВНЕНИЯМИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ? МЫ ПОГОВОРИЛИ НА ЭТИ ТЕМЫ С ОЛЕГОМ АСТАФЬЕВЫМ, ПРОФЕССОРОМ СКОЛТЕХА И ЗАВЛАБОМ МФТИ. ОКОЛО ДВАДЦАТИ ЛЕТ ОН РАБОТАЛ В ЯПОНИИ И ВЕЛИКОБРИТАНИИ, НО В ИТОГЕ РЕШИЛ ВЕРНУТЬСЯ В РОССИЮ. ОДНА ИЗ ГЛАВНЫХ ПРИЧИН — ТАЛАНТЛИВЫЕ СТУДЕНТЫ И ЖИВАЯ НАУЧНАЯ ДИСКУССИЯ.

ПЕРСПЕКТИВЫ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

— Вначале предлагаю поговорить о квантовых компьютерах. Эта тема на слуху, но детали остаются тайной за семью печатями для непосвященных. Скажите, пожалуйста, вы верите, что, условно говоря, через 50 лет квантовые компьютеры станут неотъемлемой частью повседневности?

— Это не вопрос веры. Квантовые компьютеры вполне могут быть сконструированы. Другое дело, что нынешние технологии пока еще недостаточно совершенны. Но работать в этом направлении, конечно же, необходимо, хотя бы потому, что, совершенствуя квантовые технологии, мы развиваем общие знания и методы, которые наверняка найдут применение в будущем, в том числе в смежных областях.

— Однако, насколько я понимаю, превосходство квантовых компьютеров над обычными будет проявляться только в специально подобранных задачах...

— Нужно понимать, что квантовые компьютеры — это не суперкомпьютеры. Они не вытеснят обычные компьютеры, но позволят решать определенный класс задач, которые очень сложны и требуют слишком много времени для решения классическими компьютерами. Конечно, чтобы продемонстрировать свои возможности, разработчики специально подбирают определенную задачу — ничего плохого здесь нет. Это принцип науки: вы подтверждаете, что система работает, а дальше развиваете ее. Но о практическом применении пока рановато говорить.

— Преимущество квантового компьютера по идее проявляется там, где обычный будет перебирать огромное количество вариантов?

— Квантовые компьютеры смогут симулировать большие системы (например, сложные молекулы), могут быть полезны в машинном обучении, решать так называемые задачи оптимизации или поиска с большим числом параметров, так как смогут работать с огромным счетным пространством (в квантовой механике оно называется «гильбертово пространство»). Трудно осознать, например, такой факт: квантовая система «всего» с 280 кубитами будет работать с пространством, размер которого больше, чем число атомов во Вселенной — не галактик, не звезд, не планет, а именно атомов!

— Примерно 10^{80} ?

— Да. Это совершенно безумное число, его невозможно осознать! И, конечно же, невозможно построить классический компьютер с подобным объемом памяти.

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ КУБИТЫ

— В чем особенность кубитов, с которыми вы работаете?

— Есть предложения, как построить квантовые компьютеры, основанные на атомах, фотонах, квантовых точках в полупроводниках. Мы же занимаемся сверхпроводниковыми квантовыми технологиями.

Они в каком-то смысле наиболее перспективны, потому что в сверхпроводниках электрический ток не затухает и сверхпроводниковые наноструктуры относительно легко масштабировать: проектировать, связывать друг с другом и изготавливать интегральные схемы из большого количества элементарных ячеек — кубитов.

— Как был создан первый российский кубит? Что он собой представлял?

— Моя лаборатория в МФТИ была создана в 2014 году в рамках поддержки ведущих университетов — проекта «5–100». К тому времени в МФТИ уже успешно работал нанотехнологический центр. Лабораторию не удалось бы построить без активного участия коллег. Особенно хочу поблагодарить Елену Николаевну Логинову — она помогла создать отличный коллектив. На ней сейчас в значительной степени все держится.

На деньги программы мы закупили криостат растворения, который может охладить схему до температур всего на одну сотую градуса выше абсолютного нуля, набор СВЧ-оборудования, естественно, компьютеры и построили измерительную установку. Используя возможности нанотехнологического центра и наши знания, изготовили и продемонстрировали работу первого полностью российского кубита. Этот кубит представлял из себя маленькое, размером несколько микрон, колечко из алюминия с так называемыми джозефсоновскими переходами. У меня был большой опыт работы с такими кубитами, поэтому на них и остановились.

У нас возник хороший консорциум, я бы даже сказал — коллектив единомышленников. В него входят лаборатории Алексея Устинова (НИТУ МИСиС), Валерия Рязанова (ИФТТ РАН), Российского квантового центра, ВНИИА имени Духова, МГТУ имени Баумана и НГТУ. Результатом этого проекта была двухкубитная схема. Это элементарная ячейка, которая в каком-то смысле представляет собой аналог элементарной логической схемы («вентиля») в классическом компью-

тере. Финансировали этот первый российский проект по кубитам Фонд перспективных исследований, Министерство науки и высшего образования и Росатом. Проект закончился в 2019 году.

На этом этапе мы не стали изобретать велосипед — мы просто пошли по тому пути, который был пройден в других группах. За небольшой срок — два-три года — мы прошли путь, на который другие группы и лаборатории потратили больше десяти лет. Конечно, мы частично шли проторенной дорожкой, но применяли и свои решения. Это очень сложная работа. Она требовала усилий множества людей и немалых финансовых вложений. И теперь у нас есть базовая технология, знания и опыт в области сверхпроводниковых квантовых систем, на основе которых мы можем двигаться дальше в этом направлении. Самое важное — у нас появился коллектив молодых талантливых физиков с высочайшей, уникальной и широкой квалификацией в этой области. Очень важная задача — не растерять приобретенный потенциал.

— Какие научные группы работают в этой сфере за рубежом? С кем вы соперничаете, сотрудничаете, на кого ориентируетесь?

— Лет десять назад было, мне кажется, около двадцати научных групп; сейчас это число значительно возросло (может быть, в два-три раза, мне сложно сказать). Помимо чисто научных групп, есть венчурные компании, которые пытаются строить коммерческие квантовые процессоры, — им уже нужно решать вполне конкретные инженерные задачи.

Мы сотрудничаем с научными группами в Японии, Великобритании (с Лондонским университетом), Германии (Технологическим университетом в Карлсруэ), Китае (Университетом Цинхуа), Финляндии (Университетом Аалто) и другими.

— В чем сложность вашей работы с технологической точки зрения? Сейчас нужно охлаждать систему практически до абсолютного нуля. Вы планируете постепенно уходить от низких температур?

— Температура не самая большая проблема. По сути дела, мы просто загружаем образец в криостат, нажимаем на кнопку и ждем сутки, пока температура автоматически опустится. Я, конечно, несколько утрирую, но достижение низких температур становится все проще и проще с развитием техники. Криостаты так же, как и технологическое оборудование, достаточно дорогостоящие, но несравнимы со стоимостью оборудования во многих других областях науки и технологии.

Вы правы: конечно, было бы лучше уйти от низких температур, хотя это не принципиальное ограничение. Есть оптические методы: они используют реальные атомы и работают с фотонами в видимом диапазоне. Чтобы понимать разницу: в видимом диапазоне фотоны имеют энергию в сто тысяч раз больше, чем в наших экспериментах. Часть проблем снимается, хотя такие системы все равно необходимо охлаждать для прецизионного контроля квантовых состояний. Однако возникают другие проблемы. Из обычных атомов очень тяжело изготовить что-то похожее на интегральную схему — нужно управлять каждым отдельным атомом. Это непростая задача. В области оптических квантовых систем тоже есть прогресс, но мы считаем, что квантовые системы на сверхпроводниках имеют преимущество: они ближе к электронике, и методы контроля более простые, на наш взгляд. Наши кубиты располагаются на чипе; они не могут произвольно «убежать», как это делают обычные атомы в ловушках. К ним подведены линии контроля и считывания, и они управляются электрическими сигналами.

Одна из основных трудностей здесь в том, что нужно изготавливать очень маленькие структуры с хорошей воспроизводимостью и высоким качеством. Размеры ключевых элементов — сто, а иногда и десятки нанометров. Важно иметь достаточно продвинутую технологическую базу для изготовления чипов и осуществлять прецизионный контроль таких структур. Кроме того, нужна сложная измерительная установка. Для нее требуется набор микроволнового оборудования в СВЧ-диапазоне, быстрой специализированной цифровой электроники. Мы подаем сигналы и измеряем отклик от нашей системы. По сути дела, в конце мы считываем слабый сигнал от квантовых устройств в виде единичек-ноликов.

— Насколько я понимаю, роль единицы и нуля играет направление тока в сверхпроводниковом кольце: по или против часовой стрелки. И в опре-



деленный момент оно начинает спонтанно меняться — это и есть суперпозиция нуля и единицы.

— Да, наш первый кубит строился на колечке, где направление циркулирующего тока задавало логический ноль или единицу. Сверхпроводниковые квантовые системы базируются на принципе двух степеней свободы: магнитной и зарядовой. Магнитная — связана с током: сверхпроводящий (незатухающий) ток течет по колечку либо в одну, либо в другую сторону, экранируя внешний магнитный поток. Изменение внешнего магнитного поля приводит к скачкообразному изменению тока, что эквивалентно добавлению или убиранию кванта магнитного потока в колечке. Но нам необходимо не только квантование магнитного потока, но и квантование заряда. В сверхпроводниковых системах электроны связываются в пары — так называемые куперовские пары. Это и есть наш элементарный заряд. Самый простой кубит можно построить, используя кванты заряда или магнитного потока.

В прошлом году мы праздновали двадцатилетие создания первого сверхпроводникового кубита.

Трудно осознать, например, такой факт: квантовая система «всего» с 280 кубитами будет работать с пространством, размер которого больше, чем число атомов во Вселенной — не галактик, не звезд, не планет, а именно атомов!



Он был сделан в группе NEC, где я долго работал. Это так называемый зарядовый кубит — маленький металлический островок размером меньше одного микрона. Такой маленький островок в нейтральном (незаряженном) состоянии может кодировать «ноль». Если же элементарный заряд — а в сверхпроводниках это пара электронов (куперовская пара) — попадает на «остров», его заряд становится равным двум зарядам электрона, и такое состояние будет эквивалентно единице. Контролировать состояние такого кубита можно с помощью электрических сигналов на электродах рядом с островком. Таким образом, мы положили заряд — создали состояние «один», убрали — создали состояние «ноль». Такие кубиты сейчас напрямую не используются, потому что они очень чувствительны к окружающим зарядам в диэлектри-

ке и шумам, которые эти заряды производят. Используются немного более сложные системы: зарядовый кубит с дополнительной емкостью, который еще называют искусственным атомом по аналогии с естественными атомами. Возбужденный искусственный атом — состояние «один», невозбужденный — состояние «ноль».

ИСКУССТВЕННЫЕ АТОМЫ

— **Расскажите, пожалуйста, подробнее о разрабатываемых вами искусственных атомах.**

— Система, с которой мы работаем, имеет квантовые уровни, как обычный атом, но энергии намного меньше — расстояние между уровнями в сто тысяч раз меньше, чем в обычных атомах, как я уже упоминал в контексте энергии фотонов. Тем не менее можно делать эксперименты, аналогичные экспериментам с реальными атомами в квантовой оптике. Но есть отличия. Мы работаем с СВЧ-излучением, а не со светом; для того чтобы подвести такое излучение к нашему образцу, нужно использовать коаксиальный кабель, а не сфокусированный лазерный луч или оптический волновод. С одной стороны, это упрощает жизнь (излучение можно подвести к любому месту на чипе), с другой стороны, создает некоторые проблемы, например: надо спроектировать и изготовить иногда довольно сложную схему СВЧ-линий на чипе.

Обычно в квантовой оптике используется резонатор и вещество, состоящее из множества атомов. Например, так работает лазер: два зеркала, формирующих резонатор, и рабочее тело. В нашем случае резонатор сделан на чипе — это может быть просто полосковая линия прохождения из сверхпроводника с разрывами на концах. Волна отражается на концах, как от зеркал, формируя полосковый резонатор. Рядом с таким резонатором мы можем расположить кубит. В такой системе мы можем продемонстрировать, например, лазерный эффект. Строго говоря, это мазер, потому что частотный диапазон — микроволновый (СВЧ).

Когда я работал в Японии, мы в нескольких экспериментальных работах показали, что на таких системах можно изучать квантовую оптику. Они имеют очень интересные свойства. Состояния таких систем легче контролировать. Обычный атом нужно «поймать» и зафиксировать с помощью поля или найти в кристалле; наш искусственный атом уже располагается



Обычный атом нужно «поймать» и зафиксировать с помощью поля или найти в кристалле; наш искусственный атом уже располагается на чипе, и мы можем контролировать его состояния при помощи электрических сигналов.

на чипе, и мы можем контролировать его состояния при помощи электрических сигналов.

Другое важное свойство наших искусственных атомов — так называемая физически сильная связь. Если мы просто сфокусируем лазерное излучение на одном атоме, то только незначительная часть фотонов будет с ним взаимодействовать. Но если мы возьмем искусственный атом и правильно соберем электрическую цепь, то почти все микроволновые фотоны будут взаимодействовать с нашим атомом. Это происходит потому, что СВЧ-излучение (СВЧ-фотоны), распространяющееся по полосковой линии, не может миновать искусственный атом, тогда как значительная часть сфокусированного лазерного излучения «не заметит» естественного атома на пути.

Более строгое определение сильной связи: скорость поглощения и переиспускания фотонов в линию (эквивалентное силе взаимодействия между искусственным атомом и линией) больше, чем скорость безызлучательной релаксации искусственного атома. Качество систем достаточно высокое, чтобы можно было сделать такую сильную связь. Это позволяет взглянуть на квантовую оптику с новой точки зрения и продемонстрировать ранее экспериментально не наблюдаемые эффекты квантовой оптики.

— **Какую цель вы преследуете в этих экспериментах, на какой вопрос хотите ответить?**

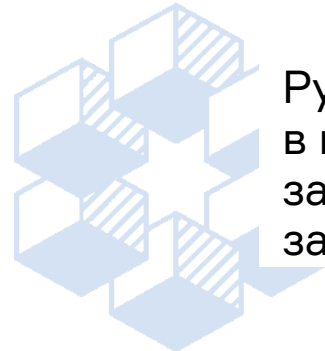
— Если у нас есть сильная связь и высокая степень управляемости нашей системы, мы можем хорошо контролировать единичные кванты и делать новые устройства. В качестве наглядного примера могу привести источник фотонов «по требованию», который мы реализовали не так давно. Так сказать, нажали на кнопку — и полетел фотон. Мы можем пофантазировать и сделать такую систему: взять, скажем, восемь кубитов, записать в них единички-нолики, т. е. приготовить возбужденные и невозбужденные состояния. В результате процесса

релаксации они испустят фотоны, которые будут нести информацию о записанном числе. На этой основе можно делать устройства, где информация будет передаваться посредством фотонов. На массиве таких источников можно изучать интересные физические явления и, может быть, даже изготавливать полезные устройства.

Другой пример. В оптике продемонстрировать лазерный эффект на одном атоме можно, но тяжело. В нашей системе мы относительно легко можем получить лазерный эффект на одном искусственном атоме. Это простая «рафинированная» система, состоящая из одного атома и одного резонатора, но, тем не менее, демонстрирующая лазерный эффект. Это тоже следствие сильной связи атома с резонатором. Чтобы запустить обычный лазер, нужно подать достаточно большую мощность накачки — преодолеть порог. (Это хорошо известное в лазерной физике свойство лазеров.) В нашем случае лазерный эффект начнется даже при незначительной накачке без преодоления каких-либо порогов. Это необычное свойство в лазерной физике и может быть интересно не только с точки зрения фундаментальной физики, но и с точки зрения будущих приложений.

— **Какая задача вас больше всего интересует сейчас?**

— Мы исследуем необычные свойства СВЧ-излучения. Используем двухуровневую систему в качестве сенсоров определенных свойств электромагнитных волн. Измеряя спектры рассеяния на наших системах, мы можем визуализировать некоторые особенности СВЧ-излучения. Например, мы продемонстрировали, что можем визуализировать статистику фотонов когерентного излучения, раскладывая излучение в спектр, где каждая спектральная линия представляет собой результат многофотонного рассеяния определенного порядка. Интересно будет посмотреть на статистику в неклассических когерентных полях.



Русский физический семинар — это особое явление в мировой науке. Участники допытываются до истины, задают каверзные вопросы, но не для того, чтобы завалить докладчика, а чтобы понять суть.

ЗВУКОВОЙ ЛАЗЕР

— Помимо квантовой оптики вы работаете в области квантовой акустики. Расскажите, пожалуйста, о чем идет речь.

— Электромагнитные волны можно заменить на акустические — тогда наша электромагнитная система будет взаимодействовать с фоновым полем. Фонон — это не частица, а возбуждение кристаллической решетки, но формально мы можем записать для фононов те же уравнения, что и для фотонов. Квантовая акустика — это очень необычная область, она только начала развиваться. Мы продемонстрировали сильную связь между искусственным атомом — сверхпроводниковой квантовой системой — и акустическим резонатором. Это поверхностные акустические волны в пьезоэлектрике. Можно продемонстрировать совершенно необычные эффекты — например, можно сделать фоновый, то есть звуковой лазер.

— Его можно услышать?

— Частота будет очень высокая, в районе нескольких гигагерц, и человеческое ухо ее уже не слышит; но при определенных условиях ее можно будет попробовать проконвертировать в более низкие частоты и, действительно, услышать звук лазера или, точнее, сазера. Первая буква l от light (свет) должна быть заменена на s от sound (звук).

МЕТРОЛОГИЯ И КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

— Вы также занимаетесь квантовыми стандартами в метрологии. Почему в них возникла потребность?

— В метрологии год назад произошло очень важное событие. Метрологические константы были переопределены с помощью фундаментальных физических констант: заряда электрона, кванта магнитного потока, скорости света, постоянной Планка... Это

сделано для того, чтобы они в минимальной степени зависели от нашего выбора и, соответственно, были более точными. Например, величина тока определяется количеством электронов, протекающих за единицу времени, которое, в свою очередь, тоже определено с помощью частоты переходов в конкретном атоме. Квантовая механика как раз и позволяет создавать метрологические стандарты величин, определенных через фундаментальные константы. Квантовые метрологические стандарты напряжения уже существуют на сверхпроводниковых устройствах благодаря джозефсоновскому эффекту. А мы сейчас работаем над тем, чтобы сделать квантовый стандарт тока.

— Каким образом?

— В свое время мы сделали кубит на когерентном проскальзывании фазы. Это эффект, дуальный джозефсоновскому эффекту. Джозефсоновский эффект — это туннелирование куперовских пар, а туннелирование квантов магнитного потока (еще он называется квантовым проскальзыванием фазы) через сверхпроводниковую проволоку — это эффект, дуальный джозефсоновскому.

— И еще один вопрос в завершение нашего разговора о науке. Когда вы работаете с квантовыми системами, вы просто оперируете уравнениями или чувствуете, что за ними стоит некая реальность? Принято считать, что квантовая механика не поддается рациональному осмыслению...

— Да, у человека, который не соприкасался с квантовой механикой, такое ощущение действительно есть. Законы квантовой механики противоречат нашей повседневной интуиции. Но у меня такого ощущения нет; думаю, у нашей молодежи, которая работает в этой области, — тоже. Этот мир действительно парадоксален с повседневной точки зрения, но там есть свои законы. Они логичны, и их можно научиться чувствовать. Нас учили в институте, что с единичным квантом почти ничего нельзя сделать. Ты его

измерил — он разрушился. Но, оказывается, в определенных случаях можно приготавливать любое наперед заданное состояние системы, манипулировать отдельными квантами, и это не противоречит основам квантовой механики, известным из учебника.

ОСОБЕННОСТИ СЕМИНАРОВ В РОССИИ

— Как соотносятся сейчас ваша научная и педагогическая деятельность?

— Сейчас я практически все время работаю в России со студентами Сколтеха и МФТИ. Эти университеты активно сотрудничают и имеют ряд совместных образовательных программ. Студенты Физтеха поступают в магистратуру и аспирантуру Сколтеха, получив базу по нашей специальности в МФТИ на кафедре технологии наноструктур и совместной образовательной программе МФТИ/Сколтех, которой руководит профессор Валерий Рязанов. Сколтех — очень хорошая площадка для строительства современных лабораторий. Но по сравнению с тем, что уже есть в МФТИ, здесь работу приходится начинать практически с нуля. При наличии финансирования мы построим новую, современную лабораторию, привлекательную для молодых ученых. Лаборатория будет заниматься как фундаментальной физикой, так и разработкой новых устройств и технологий, например разработкой новых метрологических приборов, сенсоров и т. д. У меня есть достаточный опыт и нет никакого сомнения, что лаборатория будет функционировать успешно.

— Насколько большая у вас группа?

— В руководимой мною группе (Сколтех/лаборатория МФТИ) работает 20–30 человек. В более широком смысле — в нашем «квантовом» консорциуме, частью которого мы являемся, — раза в три больше. Студенты и аспиранты иногда делают эксперименты в разных местах, если того требует дело.

— Какие у вас впечатления от студентов и аспирантов?

— Яркие, талантливые студенты — одна из главных причин, по которым Россия в качестве места работы для меня вне конкуренции. Им по-настоящему интересна физика. Я люблю разговаривать с ними у доски, обсуждать физику, прошедшие или будущие эксперименты. В эти моменты обо всем постороннем забываешь. Надеюсь, студенты тоже от меня что-то



получают. Такого рода обсуждений у меня не было ни в Японии, ни в Англии.

Русский физический семинар — это особое явление в мировой науке. Участники допытываются до истины, задают каверзные вопросы, но не для того, чтобы завалить докладчика, а чтобы понять суть. Если доклад интересный, семинар превращается в бурную научную дискуссию. (По крайней мере, так было в сильных институтах Академии наук, где я работал.) Те семинары в Японии и в Англии, где я участвовал, на мой взгляд, достаточно беззубые, формальные. Коллеги просто заслушивают доклады и расходятся.

О РАБОТЕ В ЯПОНИИ

— Вы достаточно долго прожили в Японии. Насколько вы чувствовали культурный барьер?

— Культурный барьер, конечно, был, но в какой-то момент мне стало очень комфортно. Пять лет я работал в Токийском университете, затем перешел

в исследовательскую группу Nippon Electric Company (NEC) в научном городе Цукуба под руководством профессора Цая (Jew Shen Tsai). Он этнический китаец, родом с Тайваня, получал высшее образование в США, но почти всю жизнь прожил в Японии. Он достаточно мягкий человек, ни на кого не давил и разрешал заниматься тем, что нравится. Это дало свои результаты. У нас вышли очень хорошие научные публикации.

— Что вам особенно запомнилось в этой стране?

— От Японии осталось много приятных впечатлений, прежде всего от ее уникальной, своеобразной природы и мягкого климата. Запомнились гостеприимство, приветливость японцев, безопасность и комфорт. Я и моя семья сейчас с удовольствием приезжаем в Японию. Мои дочери и жена свободно говорят по-японски, мы любим японскую кухню, природу, старинную японскую архитектуру.

Конечно, в памяти осталось сильнейшее землетрясение 2011 года. Оно вызвало панику у многих иностранцев в Японии, а русская диаспора в Цукубе, состоящая из ученых и их семей, перенесла все спокойно, но при этом все сплотились и проводили много времени вместе. Мне это напомнило мои студенческие годы. Само землетрясение почти ничего не разрушило: вызывает восхищение то, как надежно японцы строят свои здания. Однако большой ущерб нанесло цунами. Оно же привело к аварии на атомной электростанции «Фукусима», последствия которой до сих пор не преодолены.

— Почему вы решили работать именно в Японии? Это сознательный выбор или стечение обстоятельств?

— Это получилось достаточно спонтанно. Я уезжал из России в 1997 году: время было очень смутное, наука сильно недофинансировалась. У меня подрастали две дочери. Нужно было кормить семью. Однажды один из наших успешных бизнесменов предложил работать на него, заниматься бизнес-аналитикой. Но мне наука была все-таки интереснее, и, перед тем как подумать всерьез над его предложением,

я решил поискать вакансии за рубежом. Сразу же нашел объявление на позицию постдока в Токийском университете; отправил заявку, хотя срок подачи к тому времени уже истек. Позже выяснилось, что заявки подали около ста кандидатов, моя пришла последней. И вот неожиданно меня взяли. Российских физиков всегда ценили и ценят. Во многих научных группах наши люди не на последних ролях. Руководителем той группы был профессор Сусуму Комияма. Очень сильный физик-экспериментатор, необычный и яркий человек. Мы с ним остались в очень хороших дружеских отношениях, как и со всеми другими моими бывшими начальниками без исключения.

О КРАСОТЕ В НАУКЕ

— Почему вы в принципе решили заниматься физикой?

— Я оканчивал школу в Норильске в 1970-е годы. Тогда была особая романтика вокруг физики. Я постоянно решал головоломки из журнала «Квант», ездил на олимпиады по физике и математике и в своем городе регулярно побеждал на них. Кроме того, у меня была увлеченная учительница по физике. На мой вопрос, куда поступать, она не задумываясь ответила: конечно же, на Физтех. Мой окончательный выбор между МФТИ и физфаком Новосибирского университета решился в пользу МФТИ почти случайно: из Норильска в Москву в 1980-м были прямые рейсы, а в Новосибирск не было. Сейчас, оглядываясь назад, могу сказать, что выбор был абсолютно правильным. Я по образованию скорее оптик, потом ушел в физику твердого тела, но неожиданным образом вернулся в квантовую оптику уже на новом уровне, в СВЧ-диапазоне.

Физика — красивая наука. Хорошая научная дискуссия — это обсуждение у доски. Я консерватор, но люблю писать на белой доске разноцветными фломастерами, а не мелом на обычной доске. Если правильно изобразить какой-нибудь эффект, это помогает его понять. После интенсивной дискуссии

получается «красивая доска» с картинками и формулами. Хорошая дискуссия рождает произведение искусства — своеобразную картину на доске. Это, кстати, понимали в 1960–1970-е годы: тогда в научно-популярных журналах можно было часто встретить фотографию физиков у исписанной формулами доски.

— Насколько вам интересно искусство как такое? Кто ваш любимый писатель, художник, музыкант, режиссер?

— Короткий ответ — свободного времени почти не остается. В молодости, конечно, больше читал, интересовался философией, но сейчас слишком большие нагрузки на работе. Если выдается перерыв, обычно я смотрю старые советские фильмы. Такие перерывы бывают, например, в дальних перелетах. В свое время я ходил в горы и сплавливался на байдарках, так что мне близки бардовские песни. Я осел в той эпохе. А что касается книг... По-моему, жизнь намного разнообразнее и богаче, чем любая художественная литература, достаточно посмотреть на тот «цирк», который сейчас происходит в международной политике.



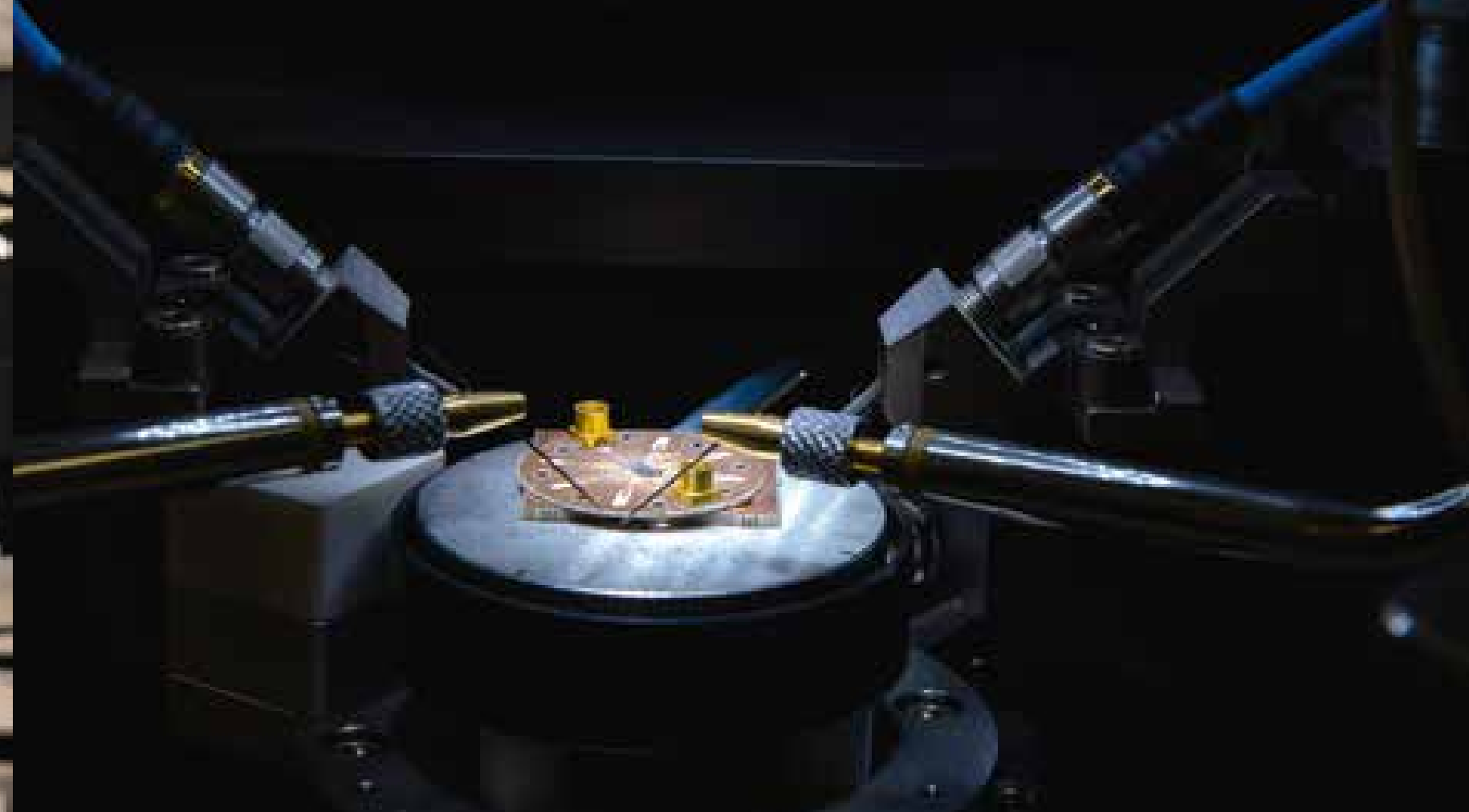
Квантовая акустика — это очень необычная область, она только начала развиваться.



ПРОСТО И НАГЛЯДНО
О ФИЗИКЕ И МИРЕ БУДУЩЕГО

ПРОСТО И НАГЛЯДНО
О ФИЗИКЕ И МИРЕ БУДУЩЕГО

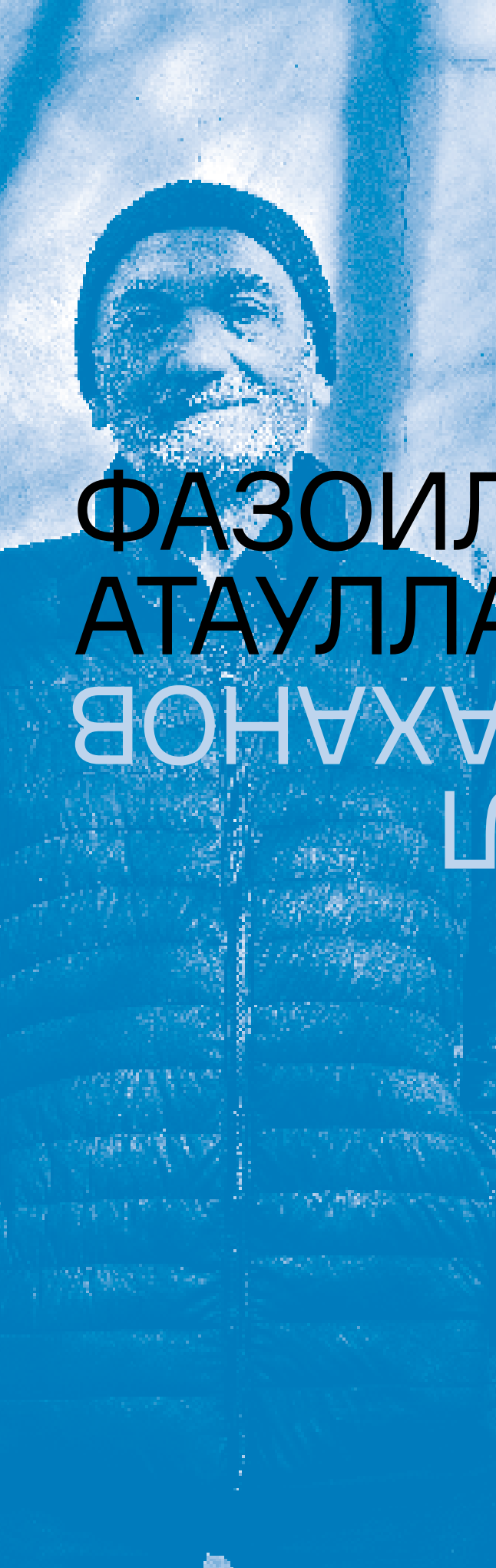
В Лаборатории искусственных
квантовых систем Московского
физико-технического института (МФТИ)





ФАЗОИЛ АТАУЛЛАХАНОВ

«ЕСЛИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО
ХОЧЕТ ВЫЖИТЬ,
ОНО ДОЛЖНО УМИРАТЬ»



ФАЗОИЛ АТАУЛЛАХАНОВ

ФАЗОИЛ
АТАУЛЛАХАНОВ
ФАЗОИЛ



ТЕКСТ: Елена Кудряцева
ФОТО: © Евгений Гурко / Коммерсантъ
ПУБЛИКАЦИЯ: журнал «Огонекъ» № 27 (2020)

Фазоил Атауллаханов — из семьи потомственных врачей. Родился в 1946 году в Самарканде. Всю жизнь старался вникнуть в физические процессы, протекающие в живых организмах. Главное направление научной деятельности — биофизика сложных систем.

В 1969 году окончил физический факультет МГУ, кафедра биофизики. С 1989 года работал заведующим лабораторией Гематологического научного центра в Москве. С 2006 года — директор Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии РАН, сейчас является его научным руководителем, а также профессором МГУ, Физтеха и Университета Пенсильвании.

Руководитель отдела биофизики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дм. Рогачева, член-корреспондент РАН.



ПОЧЕМУ ПРИ КОРОНАВИРУСЕ ОБРАЗУЮТСЯ ТРОМБЫ? ЧЕМ МОЖЕТ ПОМОЧЬ БИОФИЗИКА В БОРЬБЕ С ПАНДЕМИЕЙ? КАК ИЗМЕРИТЬ СИЛУ ОДНОЙ МОЛЕКУЛЫ И СОЗДАТЬ ИЗ НЕЖИВОЙ МАТЕРИИ ЖИВУЮ? О ПЕРЕДОВОЙ И САМОЙ НЕОБЫЧНОЙ ЧАСТИ ФИЗИКИ РАССКАЗАЛ ПРОФЕССОР МГУ, ФИЗТЕХА И УНИВЕРСИТЕТА ПЕНСИЛЬВАНИИ ФАЗОИЛ АТАУЛЛАХАНОВ.

— **Фазоил Иноятович, вы всю жизнь занимаетесь биофизикой, а сейчас проводите довольно большое исследование, связанное с изучением коронавируса. Как это связано?**

— В первых же китайских публикациях, связанных с исследованиями коронавируса, отмечалось: у пациентов наблюдаются сильные нарушения свертывания крови. А мы занимаемся свертыванием крови уже не один десяток лет и понимаем, что речь идет об очень сложной физической системе, ряд особенностей которой понять с точки зрения обычной биохимии трудно. Вот мы и предположили, что при коронавирусе именно состояние системы свертывания крови и определяет то, в какой форме человек переболеет этой инфекцией — в легкой форме или же у него разовьются тяжелые осложнения.

— **И как система свертывания связана с течением болезни?**

— Наша гипотеза такова: вирус поселяется в клетках эндотелия (внутренняя стенка кровеносных и лимфатических сосудов. — *Прим. ред.*), они начинают гибнуть, и организм делает все, чтобы быстро заделать эти повреждения. В этом и заключается главная задача системы свертывания крови: создать тромб — временную затычку, которая закрывает поврежденную зону. Тромб — нормальное явление, он дает организму пару дней на то, чтобы заменить поврежденные клетки новыми, а затем он должен бесследно рассосаться. Но когда в организм одновременно попадает очень много вирусов, они поражают стенки сразу большого количества сосудов. Система свертывания приходит в дисбаланс и начинает реагировать на повреждения излишне активно, создавая слишком много тромбов. Я думаю, что главная причина гибели врачей именно в этом.

Наиболее уязвимы перед вирусом оказываются легкие, где сосудов как раз очень много. Там возникают массовые тромбозы — мертвые зоны, куда не попадает кровь. Это воспаление активизирует иммунную систему, но ее клетки тоже не могут пробиться к пораженному участку. Возникает очень неприятная ситуация: образуются все новые и новые тромбы, а иммунная система выбрасывает все новые и новые порции клеток для борьбы с зараженными клетками. Разгорается воспаление. В итоге процент рабочей зоны легкого уменьшается и наступает момент, когда человек уже не может дышать.

— **Есть ли шанс этого избежать?**

— Мы подумали, что можно не дать болезни пойти по тяжелому сценарию, регулируя активность системы свертывания крови. Нужно не давать сильно активироваться системе свертывания крови, подавить ее на какое-то время, чтобы дать легким несколько дней передышки, пока иммунная система победит вирус. При этом совсем отключить ее нельзя — у человека начнутся внутренние кровотечения, ведь повреждения сосудов у нас в организме происходят постоянно, безотносительно вирусов.

На сегодня на базе 12 московских больниц мы уже провели детальное исследование того, что происходит с системой свертывания у человека при ковиде. В общей сложности обследовано более 1600 пациентов, мы обрабатываем массив информации. По предварительным данным, наша гипотеза подтверждается. Патологоанатомы тоже подтверждают, что у умерших пациентов сосуды легких «забиты» тромбами. Поэтому Россия одной из первых в мире уже на уровне Минздрава рекомендовала врачам использовать при лечении антикоагулянты (препараты, разжижающие кровь. — *Прим. ред.*). И после этого процент вылечения стал заметно выше.

— **То есть каждому пациенту нужно делать коагулограмму — исследование на свертывающую способность крови?**

— Нет. Этот комплекс анализов малочувствителен, поскольку основан на старинных методах и не показывает те изменения, которые возникают при коронавирусной инфекции. Здесь нужны современные подходы, например метод «тромбодинамика», который мы предлагали использовать в медицине еще 10 лет назад. Он помогает с помощью прибора наблюдать физические процессы, происходящие при свертывании крови, то есть мы видим, с какой скоростью растёт тромб, какая у него плотность и так далее. Этот метод оказался очень действенным именно для пациентов с ковидом.

НА ВОЛНЕ

— **А насколько вообще инфекционные заболевания интересны биофизикам?**

— На самом деле физикам интересны многие заболевания, потому что при них происходят загадочные и непонятные вещи.

Например, когда мы лет 25 назад стали заниматься свертыванием крови, то увидели: биохимические реакции там устроены очень специфическим образом. Они связаны с явлениями природы, которые не описаны в школьных учебниках по физике. Речь идет об «авто волнах».

— **Что это такое?**

— Начнем с того, что мы хорошо знаем, что такое обычная волна: если бросить в воду камень, мы увидим волну, которая со временем затухает. А можем ли мы назвать лесной пожар волной огня? Ведь это типичная волна, но при этом по своей природе она очень сильно отличается от волн, которые расходятся от брошенного в воду камня. Во-первых, она одна,

и второй волны вслед за ней появиться не может. Во-вторых, она движется без остановки до тех пор, пока есть чему гореть. То есть эта волна не затухает по мере отдаления от очага. Волны такого типа — совершенно новое физическое явление, понимание их природы пришло только в середине прошлого века — сильно позже, чем сформировалась вся классическая физика. Теперь эта область науки называется физика нелинейных волн или физика активных сред.

— **Это было какое-то случайное открытие?**

— Нет, одновременно было сделано сразу несколько прорывных работ, которые определили развитие науки. Это были открытия в области физики, хотя речь шла о горении, то есть об области, которой традиционно занимались химики.

Первое крупное открытие принадлежит российскому ученому Борису Белоусову (многие знают его как человека, который придумал «зеленку». — *Прим. ред.*). В середине 1950-х Борис Павлович обнаружил колебательную химическую реакцию, в которой происходят явления, связанные с активными волнами. Это очень интересная и простая реакция, на основе которой к настоящему времени сделаны сотни тысяч исследований. Она стала краеугольным камнем для понимания принципов работы таких систем. Свою работу Белоусов послал в научный журнал в 1953-м, но ее не опубликовали, сказав, что это полная чушь, потому что такого не может быть. Понадобилось еще лет 10 углубленных исследований именно физиков, чтобы научное сообщество поняло, о чем идет речь.

Другая работа, сыгравшая колоссальную роль в этой области, связана с именем Алана Тьюринга. Он создал математические модели с необычными свойствами, которые теперь соотносят как раз с активными средами. Еще одну работу выполнили нобелевские лауреаты Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли, описав механизмы проведения нервного

импульса. Оказалось, что электрический ток по нервной системе передается именно такими авто волнами. После этих основополагающих работ начало формироваться научное сообщество, занятое изучением данных явлений. Сегодня ученые описали целый ряд процессов, где действуют похожие закономерности, — в реакциях химического горения, в лазерах, в биологических системах. Их объединяет то, что такие волны бывают только там, где есть внутренний источник энергии. То есть волна поддерживает сама себя.

— **Свертывание крови такая же активная среда?**

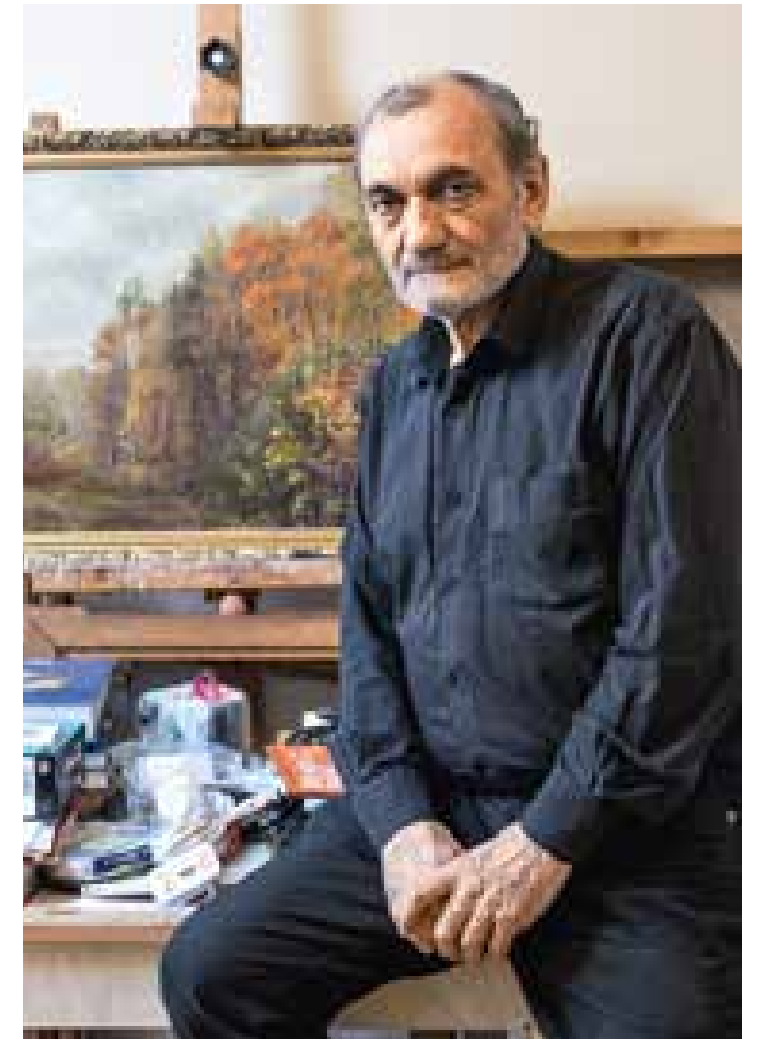
— Да, и мы поняли это в конце 1990-х. В каждой части нашей крови, в каждом микрообъеме есть все вещества, нужные для того, чтобы кровь свернулась. Процесс образования тромба похож на пожар — он распространяется в пространстве самоподдерживающимся образом. Но ведь лес горит до тех пор, пока весь не сгорит. Получается, если кровь начала сворачиваться, она свернется во всем организме? Но этого не происходит. Стало понятно, что тут все устроено намного сложнее и мы имеем дело с уникальным физическим явлением, которое до сих пор не описано ни в физике, ни в химии, ни в биологии. Оказалось, в природе есть самоподдерживающиеся волны, которые могут сами себя останавливать!

Мы довольно долго разбирались с физической природой этого явления, и наши первые работы публиковались не в биологических, а в физических журналах. Мы ставили огромное количество опытов на своей собственной крови, на крови доноров, здоровой и с различными заболеваниями. Нам пришлось разобраться в биохимии процессов, чтобы понять, какие реакции отвечают за разные физические стадии этого процесса. Сегодня разработанная нами классификация признана во всем мире, и ею пользуются как медики, так и биологи. Это к вопросу о том, как физика соотносится с медициной или биологией.

С МОЛЕКУЛОЙ НА «ТЫ»

— **Вы заканчивали университет в 1970-е. Что было модно тогда?**

— Я учился на кафедре биофизики, которую создал и многие годы возглавлял очень глубокий ученый биофизик Лев Александрович Блюменфельд. МГУ я окончил в 1969 году. Тогда была очень популярна технологическая часть науки. В биологию активно внедряли



новые физические методы анализа структуры белков: рентгено-структурный анализ, электронную микроскопию, ядерно-магнитный резонанс и так далее. Физики тогда были неграмотны в биологии, им казалось, что с помощью новых приборов они решат все проблемы. Быстро это не удалось, поэтому бум поутих.

Меня в то время волновала теоретическая сторона исследований. Казалось, что мало изучить структуру той же клетки, нужно понять, как она работает. Поэтому я с самого начала стал заниматься динамической биологией. В этом мне очень помог мой учитель Анатолий Маркович Жаботинский, работавший в Пушкино. Именно он доказал физикам, что реакция Белоусова — новое явление, и сегодня во всем мире эта химическая реакция носит название Белоусова — Жаботинского. Будучи его аспирантом, я очень много почерпнул про активные среды. В целом очень важно, что в 1970-е годы в России была хорошая наука и было много хороших ученых. Сегодня с этим плохо.



Самоорганизация живого — это та область науки, которая сейчас, в отличие от работы нервной системы, активно развивается. Потому что все биологические системы — самоорганизующиеся, и на самом деле это вещь фантастическая. Только представьте, какие сложные процессы происходят, чтобы из яйца, буквально из ничего, появился самый сложный организм — цыпленок.

— **А если говорить про современную биофизику, что является передним краем науки? И подо что проще получить гранты?**

— Очень популярна, во-первых, биоинформатика — анализ огромных массивов информации, которые мы получаем, изучая работу клетки. Во-вторых, анализ работы одиночных молекул — так называемая одно-молекулярная биофизика. Если же говорить о грантах, то поощряется перенос знаний в практическую медицинскую плоскость. А вообще сегодня вся биология, особенно молекулярная, постепенно сдвигается в сторону физики.

— **Почему?**

— Так получается исторически. Сначала люди изучали болезни, просто глядя на пациента — это привело к развитию физиологии. На рубеже XIX и XX веков выстрелила биохимия: стало понятно, что химия — в основе всех процессов. Лет через 70 появилось ощущение, что мы почти все знаем: была открыта структура ДНК, и мы получили возможность заниматься очень интересной областью, связанной с геной инженерией. Вся наука постепенно ушла туда и вертится вокруг исследования ДНК. Но и тут есть проблемы. Когда говорится, что молекула ДНК расшифрована, это означает, что мы можем перечислить всю последовательность букв (оснований), находящихся в ней. Но что означает этот гигантский массив информации, как его понять, мы по-прежнему не знаем.

То же самое и с физическим строением молекулы. Сегодня мы можем получить ее изображение благодаря современным методам кристаллографии и рентгеновским методам изучения структуры. Но что мы знаем о ее работе? Глядя на красивые картинки в журналах с изображением какого-нибудь белкового комплекса, мы видим трехмерную картинку с десятками тысяч разукрашенных атомов и думаем, что профессионалу она о чем-то говорит. Я вас разочарую: по большей части профессионал тоже видит просто красивую картинку. Как это работает, почему один атом здесь, а другой там, как они взаимодействуют — мы не знаем. И сейчас передний край науки связан как раз с новейшими методами исследований, которые позволяют это изучить.

— **Это та самая одномолекулярная физика, которой вы занимаетесь в США?**

— Да. Буквально в последнее десятилетие произошел настоящий научный прорыв: физики научились

изучать биологические молекулы поштучно. Это стало возможно благодаря новейшим методам и приборам, в частности — лазерному пинцету (открытие, за которое дали Нобелевскую премию по физике в 2018 году. — *Прим. ред.*), он и позволяет удерживать единичные молекулы. С помощью пинцета мы можем в буквальном смысле растягивать молекулу между особыми шариками-детекторами, чьи наностремные смещения (ангстрем — мера измерения, равная 0,1 нанометра. — *Прим. ред.*) регистрируют, как молекула сжимается или разжимается в ответ на химические реакции, которые сама производит. Вообще, регистрация столь тонких процессов — самая сложная часть исследования. Для этого физики научились регистрировать флюоресценцию, то есть свечение одиночных молекул.

Если говорить о нашей работе, то мы берем какую-то одну-единственную очень важную биологическую молекулу, что-то меняем в ней с помощью методов геной инженерии, а затем замеряем ее параметры. Смотрим, как эта молекула шевелится, какие в ней идут процессы, как она синтезирует новые молекулы, как механически взаимодействует с другими молекулами. Более того, мы можем рассмотреть, как она передвигается по особым структурам внутри клетки, как молекула тянет какой-нибудь груз... Это тоже чистой воды физика, которая сегодня переживает настоящий бум.

— **А в России это направление развивается?**

— Увы, оно зародилось уже после перестройки, когда в России наука закончилась. Поэтому сегодня всерьез работать в этой области физики можно только на Западе.

— **Оборудование дорогое?**

— Сегодня в России самая главная беда не в отсутствии оборудования. Время от времени правительство страны решает, что нужно взять и ввести пять отечественных университетов в топ-100 университетов мира. Вкладываются приличные деньги в оборудование, но ничего категорически не получается. Почему? Потому что нет специалистов. Помимо самой современной приборной базы должно быть сообщество ученых, которые постоянно работают в этой области. А сегодня российский ученый получает так мало, что привлекательность этой сферы нулевая. Кто идет сегодня в физики или биофизику в России? Фанатики, которые время от времени рождаются в любой стране и в любое время. Но сегодня



Например, когда мы лет 25 назад стали заниматься свертыванием крови, то увидели: биохимические реакции там устроены очень специфическим образом. Они связаны с явлениями природы, которые не описаны в школьных учебниках по физике. Речь идет об «автоволнах».

такому человеку в России особо выучиться негде, и он ищет пути, чтобы уехать в страны, где наука на более высоком уровне. Это обедняет и без того скудную почву... Понимаете, помимо закупки оборудования нужно создавать почву...

СОТВОРЕНИЕ И НЕ ТОЛЬКО

— **Если шагнуть от клетки на макроуровень, можно сказать, какая система в организме для биофизиков наиболее сложна для изучения? Вероятно, мозг?**

— Биофизика мозга — сложная задача, но пока не самая интересная. На мой взгляд, интересные задачи те, которые мы можем решить в обозримом будущем. А исследования деятельности мозга для научного прорыва пока не созрели. Пока идет скрупулезный сбор информации, который может продолжаться десятилетия, прежде чем появится платформа для прорывных идей.

— **Зато сегодня биофизиками публикуется много работ по самоорганизации живого. В чем здесь интерес?**

— Самоорганизация живого — это та область науки, которая сейчас, в отличие от работы нервной системы, активно развивается. Потому что все биологические системы — самоорганизующиеся, и на самом деле это вещь фантастическая. Только представьте, какие сложные процессы происходят, чтобы из яйца, буквально из ничего, появился самый сложный организм — цыпленок. Мы можем описать внешне, как это происходит, но понять, какие процессы при этом задействованы, не можем. Каким образом одиночные молекулы, у которых нет ни мозгов, ни компьютеров, ни даже камер, чтобы посмотреть, что происходит вокруг, вдруг начинают взаимодействовать, организуясь в сложные системы? Это просто что-то невероятное, и это очень интересно, потому что имеет от-

ношение как раз к теории активных сред и различных нелинейных процессов.

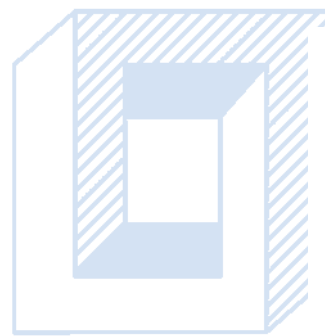
Другой замечательный пример из этой области связан с делением простейшей клетки. Мы относимся к этому как к чему-то обычному, но на самом деле это удивительно — вдруг без внешних усилий появляется нечто совершенно такое же, живое, активно работающее.

Еще пример — ДНК. В ней находится вся информация о клетке — это примерно миллиард букв, собрание сочинений примерно в миллион страниц. А теперь нам нужно сделать фантастически сложную работу: скопировать эту книжку с точностью в 1–2 ошибки. После этого мы получим две копии, которые хранятся в виде томов — в 46 хромосомах человека. А теперь представьте себе молекулярную машину, которая должна растащить эти две копии томов в разные концы клетки, чтобы ничего не перепуталось. И все эти нетривиальные задачи решают очень примитивные молекулы, лишённые не то что мозга, но даже каких-то манипуляторов!

Благодаря современным инструментам мы можем исследовать и постигать закономерности, которые стоят за процессом самоорганизации. А это обещает совершенно фантастическое будущее. Представляете себе, что ваш мобильный телефон начнет размножаться и не нужно будет строить фабрики по производству телефонов? К тому же гаджеты будут непрерывно эволюционировать и улучшаться. Это, конечно, кажется фантастикой, но именно к этому мы, скорее всего, придем.

— **Если говорить о самоорганизации, нельзя не спросить о самой основе — о появлении жизни как таковой. Работы в этом направлении идут активно?**

— Очень! Сегодня теория эволюции переживает второе рождение, потому что у нее появился новый материал. Если раньше Дарвин сравнивал между собой форму клювов разных птиц, то теперь ученые



Вообще, проблема зарождения жизни — это такая интересная область, которую нельзя отнести к классической науке. Ведь классическая наука стоит на незыблемом постулате о воспроизводимости эксперимента.

сравнивают между собой ДНК-последовательности разных организмов, и это позволяет узнать, какие процессы приводили к тем или иным изменениям. Сравнительные исследования геномов разных организмов — бурно развивающаяся область.

— А происхождением жизни они тоже занимаются?

— Вообще, проблема зарождения жизни — это такая интересная область, которую нельзя отнести к классической науке. Ведь классическая наука стоит на незыблемом постулате о воспроизводимости эксперимента.

Если же ты делаешь эксперимент, а он раз за разом не воспроизводится, это не наука. Эволюция как раз тот процесс, который мы воспроизвести не способны и поэтому можем только гадать о нем. Есть огромные «черные дыры» эволюции, о которых мы пока не имеем совершенно никаких представлений.

Тем не менее по поводу некоторых процессов у нас есть уже довольно единое мнение. Например, современные эволюционные исследования показывают: все в итоге сводится к одной-единственной праклетке, из которой все произошло, так же как все человечество действительно сводится к одной паре — Адаму и Еве. С этим сегодня тоже особо никто не спорит.

— А до человека? Удалось ли понять, как из неживого получилось живое?

— Ученым удалось понять, какие процессы привели к некоторым этапам возникновения жизни. Например, процесс воспроизведения себе подобных, без которого нет никакой биологии. Сегодня принято считать, что он мог возникнуть на уровне случайно синтезированных молекул РНК, которые полимеризовались на каких-то глинах и начали себя копировать в неких подходящих условиях. Развитие этих молекул привело к появлению ферментов, которые стали катализаторами процессов. Видимо, с этого началась жизнь и эволюция. Правда, затем возникают одни знаки вопросов.

— Почему?

— Пока совсем непонятно, почему вдруг этот простой понятный воспроизводящий сам себя РНК-мир вдруг научился делать сложные белки с другими кодировками, с другим количеством молекул? Этот скачок не может объяснить никакая арифметика. И таких скачков в эволюции довольно много. Например, неожиданный переход от вирусов и бактерий к так называемым эукариотам — к клеткам, у которых есть ядро. Мы не понимаем, как это могло произойти, потому что они уж очень сильно отличаются от бактерий в невыгодную сторону: медленнее делятся, более уязвимы и так далее. Тем не менее они выжили и даже в каком-то смысле победили в этой эволюционной борьбе. Загадка!

— А почему не удается повторить экспериментальное создание из неживого живого? Почему опыты доходят до каких-то небольших цепочек аминокислот — и все?

— Трудно сказать что-нибудь определенное. Думаю, в первую очередь это проблема времени: эволюция требует миллионов лет, а у нас в распоряжении годы. Мы, конечно, пытаемся ускорить какие-то процессы, но этого недостаточно.

— Какие-то работы в этом направлении ведутся или это направление маргинальное?

— Работы, безусловно, ведутся — мне кажется, ни про одну область науки, которая честно работает, нельзя сказать, что она маргинальна. Может, сегодня она кажется унылой, а завтра там обнаруживается нечто, чего мы не могли и помыслить. Например, многие десятилетия считалось, что изучение процессов, которые происходят в ДНК бактерий, мало интересно. И вдруг открывается: именно там мы разглядели механизм, который совершил полную революцию в медицине. Сегодня он позволяет целенаправленно делать практически любые мутации в генах (с помощью этой технологии CRISPR был отредактирован геном китайских близнецов. — Прим. ред.). Кто мог знать об этом еще 10 лет назад?

ЖИТЬ КАК КОРАЛЛ

— С точки зрения физики возможно сколько-нибудь значимо отодвинуть во времени старение организма и приблизиться к бессмертию?

— Технически это задача очень сложная, но никаких препятствий, которые нельзя было бы обойти, тут нет. Хотя бы по той простой причине, что на земле полно организмов, которые бессмертны и которые никогда не умирают.

— Это кто, кроме кораллов?

— Существует множество простых кишечно-полостных трубочек, которые состоят буквально из нескольких сотен простейших клеток. Эти организмы никогда не умирают и существуют до тех пор, пока их кто-нибудь не съест.

— Но человек все-таки — система слишком сложная для бессмертия?

— Совсем нет. У нас в организме непрерывно идет процесс обновления, и фактически нет клеток, которые живут с нами от рождения до смерти. С точки зрения физики нет ничего сложного сделать этот процесс постоянным, вечным. Более того, у природы есть проблема, как сделать так, чтобы это не продолжалось вечно, чтобы постепенно организм накапливал какие-то ошибки и они в конечном счете приводили его к гибели. Лично я считаю, что бессмертие — плохая идея. И тот факт, что сегодня человечество ею озабочилось, считаю глупостью. Лично я категорически против работ в этом направлении и никогда не буду участвовать в подобных исследованиях.

— Почему?

— Потому что это останавливает эволюцию. Представьте, что мир будет заселен навсегда одними и теми же людьми. И не будет никаких гуглов, илонов масков и так далее. Это ужасный мир, эгоистичный, замкнутый на самом себе. Зачем такой нужен? Я бы предпочел, чтобы его кто-нибудь съел, как ту колонию клеток. Как это ни банально, но мы должны давать дорогу молодым. Этот закон очень важен для человеческой популяции. Если человечество хочет выжить, оно должно умирать.

— Звучит парадоксально. И даже обидно.

— Да. Но это всего лишь биологический факт.



ПРОСТО И НАГЛЯДНО
О ФИЗИКЕ И МИРЕ БУДУЩЕГО
ПРОСТО И НАГЛЯДНО
О ФИЗИКЕ И МИРЕ БУДУЩЕГО