

СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОГО ЛИДЕРСТВА
«Индустрия 4.0» в мире и в России

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ФИЗИКА
Безумные способы освоения глубин Вселенной человеком

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-информационный
журнал

www.sci-ru.org

10 2019

12+



БОРЬБА С РАКОМ ПО ДАРВИНУ

Радикально новый подход
к лекарствам и профилактике





СОДЕРЖАНИЕ

Октябрь 2019

Темы номера

МЕДИЦИНА

Борьба с раком по Дарвину

Роберт Гейтенби и Джеймс Дегрегори
Эволюция и естественный отбор открывают пути к разработке принципиально нового подхода к предотвращению рака и борьбе с ним

АРКТИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Как куется лед

Валерий Чумаков
Освоение Арктики — сегодня в России одна из приоритетных задач. Академик Вячеслав Бузник уверен, что успешно справиться с ней помогут новые специальные материалы

АСТРОФИЗИКА

Дети нейтронных звезд

Валерий Чумаков
Профессор РАН Александр Лутвинов — о будущем российских космических исследований и Российской академии наук

4 ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ

Когда животные дерутся

32

Гарет Ариотт и Роберт Элвуд

Насколько адекватно представление, что способность оценивать боевые качества соперников свойственна едва ли не всем животным?



12 ФИЗИКА

Здоровое безумие

40

Сара Скоулс

Обычные ракеты не донесут нас до звезд. Некоторые ученые пытаются расширить границы физики, чтобы найти то, что сможет это сделать



МАТЕМАТИКА

22 Задача трех тел

50

Ричард Монтгомери

Пусть математиком никогда не удастся до конца решить эту задачу, но попытка получить ответ на небольшую ее часть привела к интригующим открытиям





70

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Шок и трепет

Кеннет Катанья

Изучение механизмов использования электричества электрическим угрем раскрывает удивительные особенности физиологии и поведения этого существа



ЭКОНОМИКА

Стратегии цифрового лидерства

Валерий Чумаков

Какие драйверы конкурентоспособности и вызовы цифровой экономики определяют траекторию цифровой трансформации?

70



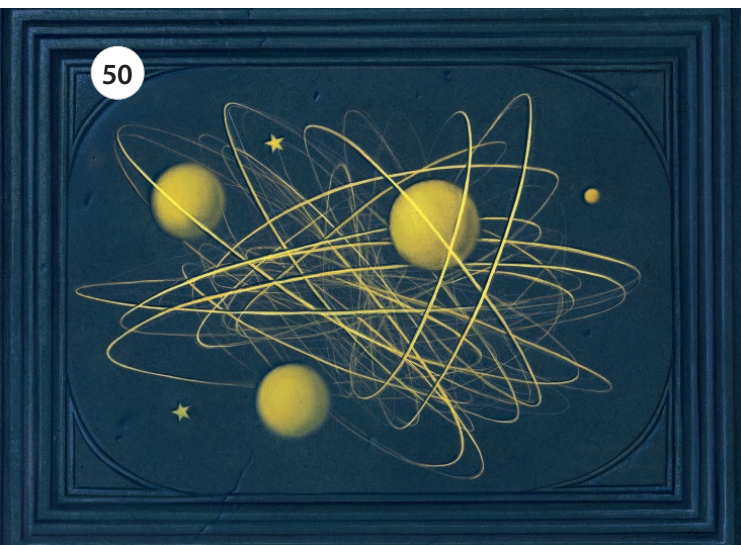
ГЕНЕТИКА

Биотехнология: природоподобие на благо человека

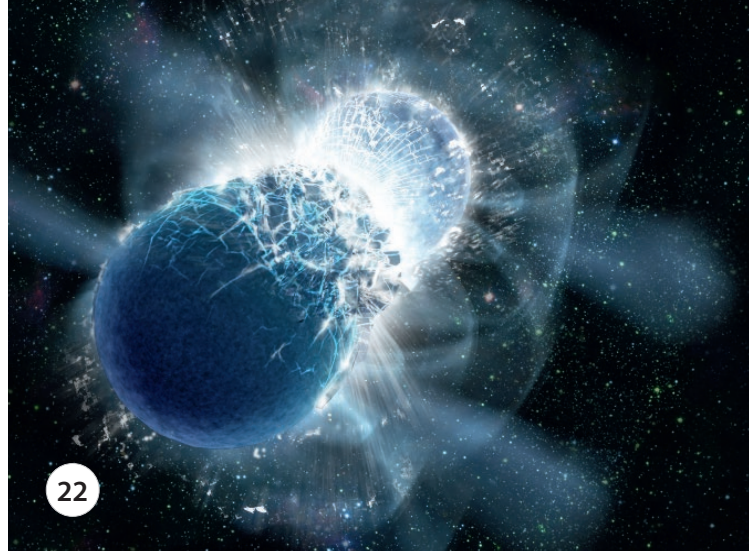
Наталья Лескова

В России недавно принята программа генетических исследований, в которой головной организацией стал НИЦ «Курчатовский институт»

78



50



22

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА

60 Бодрость духа, грация и пластика

86

Наталья Лескова

В Томском политехническом университете разрабатывают специальные методики для людей с ограниченными физическими возможностями



БИОФОТОНИКА

Луч света во имя здоровья

92

Виктор Фридман

Через месяц после предыдущей конференции теплоход «Константин Коротков» снова принимает ученых со всего света — в этот раз на симпозиум «Актуальные проблемы биофотоники»



Разделы

От редакции

3

50, 100, 150 лет тому назад

104



86

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Наши партнеры:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



РОСАТОМ



Сибирское отделение РАН



очевидное
невероятное



Основатель и первый главный редактор
журнала «В мире науки / Scientific American»
профессор Сергей Петрович Капица



Учредитель и издатель:

Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор:

В.Е. Фортов

Главный научный консультант:

президент РАН академик А.М. Сергеев

Ответственный секретарь:

О.Л. Беленицкая

Зав. отделом иностранных материалов:

А.Ю. Мостинская

Шеф-редактор иностранных материалов:

В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских материалов:

О.Л. Беленицкая

Выпускающий редактор:

М.А. Янушкевич

Обозреватели:

В.С. Губарев, В.Ю. Чумаков

Администратор редакции:

О.М. Горлова

Научные консультанты:

академик В.М. Бузник; д.м.н. Л.В. Капилевич; д.э.н. Л.В. Лапидус; проф. РАН А.А. Лутовинов;
д.т.н. Р.А. Санду; д.б.н. А.С. Яненко

Над номером работали:

А.П. Кузнецов, С.М. Левензон, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, В.П. Фридман,
Н.Н. Шафрановская, А.В. Щеглов

Дизайнер:

Д.А. Гранков

Верстка:

А.Р. Гукасян

Корректур:

Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.Е. Фортов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»:

В.К. Рыбникова

Финансовый директор:

Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер:

Ю.В. Калинкина

Адрес редакции:

Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;
тел./факс: 8 (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru;
www.sciam.ru
Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано:

ОАО «Можайский полиграфический комбинат». 143200, Россия, г. Можайск, ул. Мира, 93,
www.oaompk.ru, тел.: 8 (495) 745-84-28, 8 (4963) 82-06-85

Заказ № 0526

© В МИРЕ НАУКИ. Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ
№ ФС77-43636 от 18 января 2011 г.

Тираж: 12 500 экземпляров

Цена договорная

Авторские права НП «Международное партнерство распространения научных знаний».

© Все права защищены. Некоторые из материалов данного номера были ранее опубликованы Scientific American или его аффилированными лицами и используются по лицензии Scientific American. Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов и не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Торговая марка Scientific American, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором.

Расширить границы науки

Мы живем в такое время, когда границы науки становятся все более прозрачными и открытыми. И в самой науке почти не осталось областей, находящихся в изоляции друг от друга.

Неожиданный симбиоз различных систем взглядов обнаруживается в главной статье номера «Борьба с раком по Дарвину». Ученые открыли, что дарвиновская теория применима и к эволюции раковых клеток. Это открывает путь к разработке принципиально нового подхода к предотвращению рака и к борьбе с этим грозным заболеванием.

О расширении границ науки — в данном случае физики — речь идет в другой статье американского блока под названием «Здоровое безумие». Обычные ракеты не доставят нас к звездам, и нужно найти то, что сможет это сделать. Технические достоинства — не единственный фактор, определяющий, какая техника станет реальностью. Автор

статьи утверждает, что внешний толчок, который кардинально изменит направление развития в этой области исследований, может произойти в любой момент.

Биофотоника — стремительно развивающаяся область науки, находящаяся на стыке физики, биологии и медицины. Летом этого года на теплоходе «Константин Коротков» прошла «плавучая» конференция на Волге, на которую съехались ведущие специалисты со всего мира для обсуждения главных вопросов науки о взаимодействии фотонов и биологических объектов. О том, как это было, читайте в материале «Луч света во имя здоровья».

Освоение Арктики сегодня в России — одна из приоритетных задач, которая должна решаться на самой современной научной базе. Академик В.М. Бузник уверен, что успешно справиться с ней помогут новые специальные материалы. Об этом и многом другом — в статье «Как куется лед».



Мариëтт Ди Кристина и С.П. Капица на саммите главных редакторов журнала *Scientific American*, Москва, 2011 г.

В заключение сообщаем, что главный редактор журнала *Scientific American* Мариëтт Ди Кристина покидает свой пост. Она занимала его десять лет и стала первой женщиной-руководителем со дня основания журнала в 1845 г.

Мы искренне благодарим Мариëтт за многолетнее интересное сотрудничество, взаимопонимание, доброжелательное отношение, за любовь к науке и умение рассказывать о ней увлекательно. От всей души желаем Мариëтт больших успехов в должности декана Колледжа связи Бостонского университета и ждем от нее — как автора журнала — новых, всегда интересных статей. ■

Редакция журнала
«В мире науки / *Scientific American*»



С

МЕДИЦИНА

БОРЬБА

А

К

Эволюция и естественный отбор открывают пути к разработке принципиально нового подхода к предотвращению рака и к борьбе с ним

*Роберт Гейтенби
и Джеймс Дегрегори*

ПО

М

ДАРВИНУ

ОБ АВТОРАХ

Роберт Гейтенби (Robert Gatenby) — врач, руководитель Отдела радиологии и член Объединенного отдела математики и онкологии Онкологического центра им. Ли Моффитта в Тампе.

Джеймс Дегрегори (James DeGregori) — профессор биохимии и молекулярной генетики из Медицинского кампуса Аншущ Колорадского университета, автор книги «Адаптивный онкогенез: новый взгляд на эволюцию рака в организме» (*Adaptive Oncogenesis: A New Understanding of How Cancer Evolves Inside Us*, 2018).



В этом году по крайней мере у 31 тыс. мужчин — жителей США будет диагностирован рак предстательной железы, распространившийся на другие части тела: костную ткань, лимфатические узлы и т.д. Большинство из них будут лечиться у высококвалифицированных опытных онкологов, в арсенале которых имеется более 50 таргетных химиопрепаратов. И тем не менее примерно в трех четвертях случаев болезнь одержит верх.

Метастазировавший рак редко поддается лечению. Причин тому множество, но все они восходят к идее, высказанной в 1859 г. Чарлзом Дарвиным для объяснения спада и подъема числа разновидностей вьюрков и черепах на Галапагосских островах. Сегодня мы называем этот феномен эволюцией.

Предположим, что раковые клетки — это дарвиновские вьюрки с немного различающимися клювами у особей, обитающих на разных островах. Вьюрки питаются семенами растений, и у этих семян на каждом острове своя форма и свои особенности другого рода. Птицы, чьи клювы наиболее приспособлены к таким особенностям, получают больше пищи и дают больше потомков, которые, в свою очередь, тоже лучше питаются и производят на свет более здоровых и многочисленных птенцов. Птицы с менее развитыми адаптивными признаками не столь успешны. Все это приводит к тому, что на разных островах преобладают виды с определенной формой клюва.

Раковые клетки ведут себя аналогичным образом. В здоровых тканях они успешно развиваются, получая все необходимые питательные вещества и находясь в благоприятных условиях. Если в какой-то из них возникает мутация, клетка оказывается во враждебном окружении и не выдерживает конкуренции за ресурсы с нормальными клетками. Но если прилегающие клетки получают повреждения в результате воспаления — часто его провоцирует раковая клетка, — они уступают последней в жизнестойкости и в конце концов проигрывают в соревновании с ней.

Это одна из теорий онкогенеза — адаптивная, и есть свидетельства ее адекватности, полученные на лабораторных животных: изменяя окружение, мы способствуем развитию патологического процесса, при этом сами раковые клетки остаются интактными. Подобное ускорение малигнизации наблюдается и у людей вследствие повреждения здоровых тканей, например при воспалении кишечника. Вывод таков: чтобы лучше понять

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

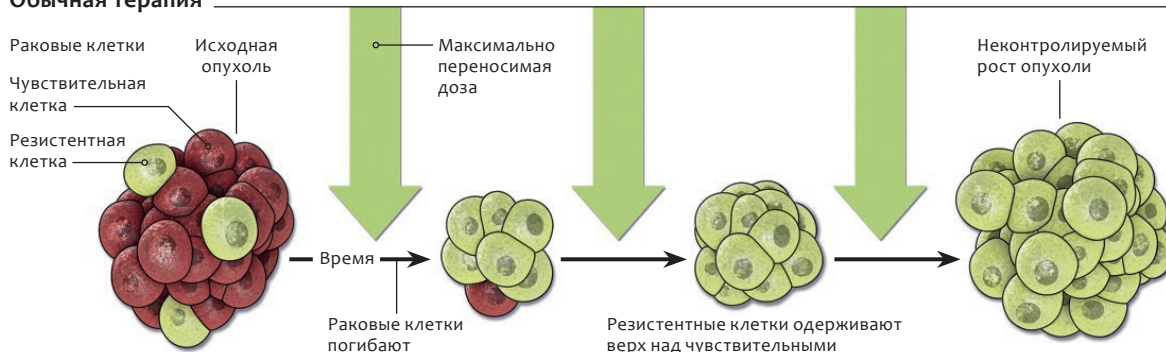
- В попытках одержать победу над раком медики обычно сосредотачивают основное внимание на онкогенных мутациях и применяют для лечения высокие дозы токсичных химиопрепаратов.
- Согласно одной из новых концепций, рост опухоли стимулирует изменения в прилежащих к ней тканях, приводящие к эволюции признаков раковых клеток.
- Используя эволюционный подход, протестированный на животных и в клинических испытаниях на больных, страдающих раком предстательной железы, можно существенно ограничить положительный естественный отбор раковых клеток, снизив в разумных пределах применение химиотерапии.

Опухоль под контролем

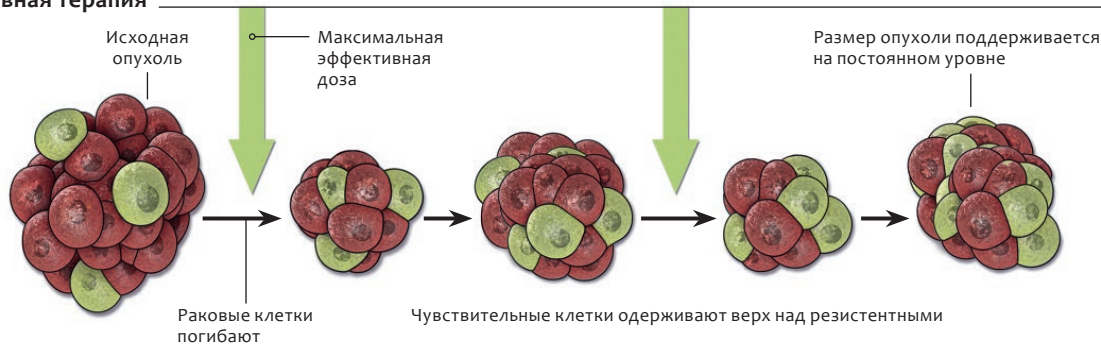
Если процесс развития опухоли зашел слишком далеко, больному обычно назначают химиотерапевтические препараты в погранично высоких дозах, при которых погибают и здоровые клетки, что снижает продолжительность лечения и величину дозы. Но если смотреть на процесс с эволюционной точки зрения, то мы увидим, что тактика «выжженной земли» может привести к возобновлению роста опухоли и гибели пациента. Любая раковая клетка, пережившая первую атаку, приобретает признаки, наделяющие ее устойчивостью к химиотерапии, и быстро делится в бесконкурентной, насыщенной химией среде. Альтернативная терапия,

названная адаптивной, предлагает использовать меньшие дозы препаратов, предотвращая переход всей опухоли в состояние резистентности. Испытания на больных, страдающих раком предстательной железы, показывают, что первый курс химиотерапии приводит к уменьшению размеров опухоли, но какое-то количество клеток выживают и остаются чувствительными к химиотерапии. В конкурентной борьбе они одерживают верх над резистентными клетками и замедляют повторный рост опухоли. Второй курс терапии уничтожает эти чувствительные клетки, и опухоль вновь сжимается.

Обычная терапия



Адаптивная терапия



природу онкогенеза, следует обращать больше внимания на изменения в окрестности очага поражения, а не сосредотачиваться только на мутации внутри раковой клетки. Уменьшив степень поражения окружающих тканей, мы сохраним нормальные условия, характерные для здоровой ткани, и — как показывают опыты на животных — не позволим раковым клеткам получить преимущества над нормальными.

Эволюционный подход дал импульс к изменению противораковой терапии, последствия чего мы проверили в ходе клинических испытаний ограниченного масштаба. Лечащие врачи попытались уничтожить последние следы раковых клеток, существенно повысив дозу химиотерапевтического препарата, и вначале это дало эффект: опухоль уменьшилась в размерах или вообще исчезла. Но спустя какое-то время она вернулась

и с успехом противостояла тому самому препарату, который ее «изгнал». В ходе одного клинического испытания с участием пациентов, страдающих раком предстательной железы, мы апробировали альтернативный подход: применили противораковый препарат в количестве, необходимом для сохранения лишь небольшого числа раковых клеток, не уничтожая их полностью. Наша задача состояла в поддержании малой популяции чувствительных к химиотерапии клеток, с тем чтобы предотвратить появление клеток с нежелательным новым признаком — химиорезистентностью. В группе пациентов, у которых опухоль обычно начинала расти бесконтрольно через 13 месяцев, после применения описанной схемы она оставалась под контролем в течение 34 месяцев — при том что пациенты получали половину стандартной дозы химиопрепарата.

Результаты наших предварительных испытаний могут указать путь к сдерживанию патологического процесса до того момента, когда он станет угрожать жизни пациента, и спасти больных, получающих избыточные дозы препаратов, несовместимые с жизнью.

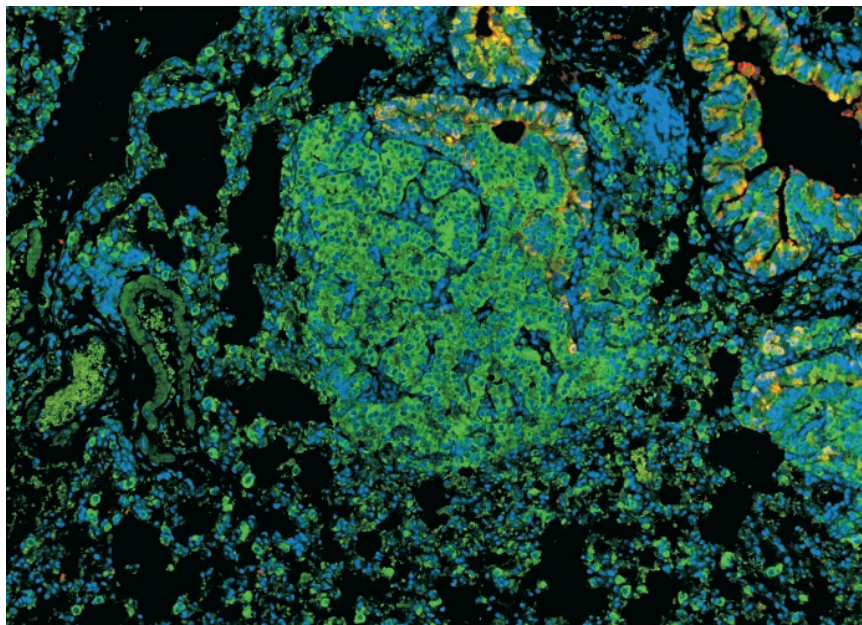
Почему возникает рак?

Спросите любого онколога, врача или исследователя: «Почему возраст, курение или воздействие радиоизотопов повышают риск развития рака?» — и вы почти наверняка услышите в ответ: «Все эти факторы вызывают мутации». Отчасти так оно и есть. Сигаретный дым или радиация действительно приводят к возникновению мутаций, а с возрастом они накапливаются. Мутации наделяют клетки новыми свойствами, в частности повышают скорость деления и жизнестойкость, а также способствуют проникновению в другие органы и ткани.

Однако такой взгляд упускает из виду один важный фактор, который выступает движущей силой эволюции не только на уровне целого организма или популяции, но и на уровне одной клетки. Этот фактор — окружающая среда.

Мы хорошо знаем, что эволюция живых существ, населяющих Землю, в высочайшей степени зависела от трансформации среды их обитания, в частности от увеличения площади суши, повышения содержания газов в воздухе и воде, изменения температуры. Все это привело к отбору организмов с новыми, адаптивно полезными свойствами и тем самым к увеличению биологического разнообразия. Дарвин написал в своей статье «Происхождение видов», вышедшей в 1859 г.: «Благодаря борьбе за выживание любые вариации, даже самые незначительные, если они хоть в какой-то степени наделяют индивидов полезными свойствами, выгодно отличающими их от сородичей того же вида, будут способствовать их сохранению и передаче приобретенных признаков потомкам». Дарвин предположил, что конкуренция за ограниченные ресурсы должна благоприятствовать индивидам с признаками, наиболее отвечающими окружению. И когда это окружение изменяется, наиболее благоприятными становятся другие признаки и преимущества получают приобретшие их особи.

Дарвиновский подход применим и к эволюции раковых клеток. Несмотря на то что один из нас (Джеймс Дегрегори) по образованию молекулярный



Рак легких на ранней стадии развития (ярко-зеленый). Часть клеток опухоли после первого курса химиотерапии стала резистентной и в конкурентной борьбе с нормальными клетками одерживает верх. Опухоль продолжает расти.

биолог, а другой (Роберт Гейтенби) — врач, вопросы эволюции и экологии всегда интересовали нас. Знакомство с соответствующей литературой, в начале не связанное с нашей текущей работой, в конце концов привело к обнаружению параллели между движущими силами эволюции и результатами наблюдений за ходом патологического процесса у наших пациентов и реакцией на терапию.

Так, большинство онкологов склонны думать, что онкогенная мутация всегда наделяет соответствующие клетки полезными для них свойствами, но мы уяснили для себя, что на самом деле главенствующую роль играет один классический эволюционный принцип: мутация сама по себе не полезна и не вредна для организма. Ее действие зависит от особенностей ближайшего окружения. Ни у одного из дарвиновских вьюрков нет какого-то особенно хорошего клюва, просто у некоторых птиц он наиболее приспособлен к одним средовым условиям, а у других — к иным. Аналогично мы полагаем, что мутация в гене, давшая начало раковому процессу, не наделяет клетку преимуществами, передаваемыми по наследству, и даже может быть вредна, если снижает способность клетки использовать ресурсы прилегающих тканей.

Уверенности в нашей правоте придала теория палеонтологов Найлза Элдреджа (Niles Eldredge) и Стивена Джея Гулда (Stephen Jay Gould), которые указывали на то, что у многих видов характерные признаки сохранялись миллионы лет, судя по ископаемым останкам, а затем в ответ на резкое драматическое средовое изменение трансформировались. Это навело нас на мысль, что некоторые

ткани изначально «не благоволят» мутациям, но затем в них происходят изменения — например, начинается воспаление в легких курильщика — и условия для мутаций становятся благоприятными.

Впервые мы наблюдали такой феномен, исследуя возрастные изменения костного мозга, приведшие к развитию лейкоза у мышей. Кертис Хенри (Curtis Henry) и Андрий Марусик (Andriy Marusyk), работающие сегодня в Университете Эмори и Онкологическом центре им. Ли Моффитта соответственно, ранее проводившие совместные исследования на популяциях молодых и старых мышей в лаборатории Дегрегори, индуцировали благоприятствующие развитию рака мутации в нескольких стволовых клетках костного мозга животных. Обнаружилось, что одинаковые мутации сказываются на судьбе этих клеток по-разному в зависимости от возраста: у старых мышей в отличие от молодых они вызывают пролиферацию. И определяется это не процессами, происходящими в мутировавших клетках, а особенностями метаболизма и активности генов нормальных клеток окружающих тканей. Так, в немутировавших стволовых клетках костного мозга старых мышей активность генов, опосредующих деление стволовых клеток и их развитие, уменьшилась, но вернулась к прежнему уровню, когда мы индуцировали в этих клетках онкогенные мутации. Однако при этом мутации, благоприятные для клеток, оказали вредное воздействие на организм в целом. В норме упомянутые стволовые клетки выступают как ключевые игроки в иммунных процессах, но популяционный взрыв численности мутантных клеток индуцирует лейкоз.

С другой стороны, у подготовленных соответствующим образом молодых стволовых клеток в тканях молодых мышей уже имеется достаточный потенциал для роста и использования энергии, который в полной мере соответствует тому, что может дать им окружение. Следовательно, такие клетки не получают никаких преимуществ от онкогенных мутаций, которые мы индуцируем. Популяция мутантных клеток не увеличивается.

Почему все происходит именно так? Конечно, мы можем избежать возникновения новых мутаций, бросив курить и не подвергаясь действию мутагенных агентов, но многие, а возможно, и все накопившиеся в течение нашей жизни мутации никуда не денутся. Есть только один способ улучшить ситуацию: обратить вспять изменения в тканях, связанные со старением, курением и другими онкогенными факторами и тем самым сделать онкогенные мутации менее действенными. Сами мутации не исчезнут, но вероятность того, что получившие их клетки приобретут преимущества, уменьшится.

Разумеется, ничего сходного с омолаживающей «живой водой» здесь нет. Здоровый образ жизни —

занятия спортом, правильное питание, отказ от курения — могут поддерживать ткани нашего тела в нормальном состоянии, и это наилучшая стратегия на сегодня. Но если окажется, что имеются некие ключевые средовые факторы, благоприятствующие развитию рака, мы сможем влиять на них, чтобы замедлить малигнизацию. Наши эксперименты на мышах показали, что при уменьшении активности белков, вызывающих воспаление и повреждение тканей, клетки, несущие онкогенные мутации, перестают делиться, а нормальные клетки начинают доминировать. Но следует учесть, что мыши содержались в стерильных условиях, а для человека это неприемлемо, поскольку при этом не возникает воспалительная реакция — составляющая иммунного ответа.

От предупредительных мер к терапии

Эволюционный подход, помимо предупредительных мер, может способствовать действенности уже существующей терапии путем уменьшения вероятности развития резистентности к лекарственным веществам. Эволюция резистентности характерна и для совсем других сфер. Возможно, наиболее показательный пример — вековая борьба между крестьянами и насекомыми-вредителями. Более 100 лет на рынке появляются все новые и новые инсектициды, и ко всем им в конце концов возникает резистентность. Стало ясно, что, пытаясь уничтожить абсолютно всех насекомых и распыляя инсектициды во все больших и больших дозах, мы порождаем еще более серьезные проблемы, поскольку эволюционный процесс имеет соревновательный характер.

Остановимся на этом более подробно. Вспомним, что насекомые в пределах крупных популяций, обитающие на данном поле, конкурируют друг с другом за пищу и пространство и что они неидентичны между собой (точно так же, как неидентичны раковые клетки одной опухоли). Почти все признаки, в том числе чувствительность к инсектицидам, у них различаются. Распыляя большие количества инсектицидов (или назначая больному большие дозы противораковых препаратов), фермер (или онколог) уничтожает подавляющее большинство насекомых (или раковых клеток). Однако некоторое количество насекомых (или клеток) обладают признаками, благодаря которым они становятся более устойчивыми и, вытеснив менее стойких, в отсутствие конкуренции начинают быстро размножаться. Стратегия фермеров в такой ситуации состоит в применении пестицидов в умеренных количествах. Вместо полного уничтожения вредителей они контролируют их численность, переводя систему в состояние конкуренции. В таком случае чувствительность насекомых к инсектицидам поддерживается на определенном уровне.

Такие же уроки извлекли медики из опыта применения антибиотиков: от избыточного их использования следует отказаться во имя укорачивания эволюционного цикла, в ходе которого появляются резистентные к лекарственным препаратам патогены. Но пока такой подход в онкологии не применяется.

Подобно фермерам, рассеивавшим над своими полями громадное количество инсектицидов, врачи сегодня, как правило, назначают онкологическим больным химиотерапевтические препараты «в максимально переносимой дозе» (*maximum tolerated dose, MTD*), продолжая лечение до тех пор, пока не наступит улучшение. Почти все противоопухолевые препараты повреждают здоровые ткани, и этот побочный эффект может быть очень тяжелым и даже фатальным. Концепция приема препарата до наступления улучшения исходит из традиционного показателя эффективности лечения, основанного на изменении размера опухоли. Препарат считается эффективным, если его прием приводит к уменьшению опухоли, в противном случае его отменяют.

Для большинства больных и лечащих врачей химиотерапия, убивающая наибольшее число раковых клеток с применением максимально возможного количества «убойных» препаратов, похоже, считается оптимальным подходом. Но, как и в ситуации с контролем численности насекомых-вредителей и лечением инфекционных заболеваний, этот подход в случае перехода процесса в неизлечимую фазу с эволюционной точки зрения не годится, поскольку запускает целый ряд событий, которые ускоряют размножение резистентных раковых клеток.

Еще один урок, который можно извлечь из мероприятий по контролю численности насекомых-вредителей, состоит в том, что «план управления резистентностью» может сдерживать численность нежелательных популяций, часто до бесконечности. Поможет ли такая стратегия неизлечимо больным пациентам? Мы этого пока не знаем, но результаты экспериментов и ранних клинических испытаний позволяют надеяться на то, что ответ будет положительным.

Если через месяц после начала химиотерапии опухоль у пациента уменьшилась на 50%, то, согласно эволюционной стратегии, лечение следовало бы прекратить. Такой подход имело бы смысл использовать, если известно, что ни один из способов лечения — химиотерапия, гормональная терапия,

хирургия, иммунотерапия — не помог. Если излечение недостижимо, остается один путь — сдерживать рост опухоли и метастазирование, насколько это возможно. Прекращение химиотерапии означает, что в организме остается большое количество раковых клеток. Опухоль возобновляет рост и в конце концов достигает прежних размеров. Но все то время, пока опухоль восстанавливала свои размеры в отсутствие химиотерапии, большинство ее клеток были чувствительны к противоопухолевым препаратам. Фактически мы могли бы использовать эти чувствительные клетки, на-

ходящиеся под нашим контролем, для подавления роста резистентных клеток, которые мы контролировать не могли. В результате при таком подходе можно было держать раковые клетки под контролем гораздо дольше, чем при использовании максимально возможных доз, и при этом снизить уровень токсичности и повысить качество жизни больного.

В лаборатории Гейтенби начали апробировать этот под-

ход в 2006 г., используя математические модели и компьютерное моделирование. Пока такие модели редко применяются при планировании схемы лечения, но при большом числе имеющихся в нашем распоряжении возможностей нам в конце концов придется прибегнуть к их помощи. Такая ситуация — обычное дело для физики, где моделирование помогает планировать эксперименты. В нашем случае нам нужно определить оптимальную дозу тестируемого препарата. Следующий шаг — апробирование этой дозы в опытах на мышах с целью проверить концепцию, согласно которой контроль опухоли можно существенно улучшить с помощью эволюционной стратегии.

Результаты, которые мы уже получили, позволили перейти от экспериментов на животных к клиническим испытаниям. Эту работу мы проводили совместно с Цзинсуном Чжаном (Jingsong Zhang) из Онкологического центра им. Ли Моффитта, который специализируется на лечении больных с раком предстательной железы. С его помощью, а также благодаря привлечению математиков и специалистов в области эволюционной биологии мы разработали модель эволюционной динамики для раковых клеток предстательной железы в процессе лечения. С ее помощью мы моделировали реакцию опухоли на введение соответствующего препарата в разных дозах и в конце концов идентифицировали некий набор доз, которые держали опухоль под контролем долгое время без увеличения численности популяции резистентных клеток.

Понимание, что патологический процесс подчиняется законам эволюции, вселяет в нас уверенность в том, что у нас есть шанс контролировать его

Затем мы опросили больных с метастазировавшим раком предстательной железы, чтобы найти тех из них, кто согласился бы участвовать в клиническом испытании нового подхода. На сегодня мы имеем такие результаты: из 18 добровольцев 11 пока проходят терапию. При стандартной схеме лечения контроль над метастатической опухолью предстательной железы удавалось осуществлять в среднем в течение 13 месяцев. В наших испытаниях этот период составил 34 месяца, а поскольку более половины наших пациентов все еще проходят лечение, мы не можем оценить верхний порог выживаемости. Результаты были получены при 40-процентной дозе препарата от таковой при стандартной терапии. Говорить о внедрении метода в клиническую практику рано. Тот факт, что он работает при раке предстательной железы, не означает, что мы получим такой же результат, скажем, при раке желудка.

Рак как эволюционирующая система

Эволюционная модель развития рака и борьбы с ним позволяет приподнять завесу тайны над этим грозным заболеванием. Его склонность к «удару из-за угла» без видимой причины, а также способность видоизменяться и возвращаться даже после эффективной, но высокотоксичной терапии

вселяет в пациентов безнадежность и порождает веру в магическую силу недуга. Но понимание, что патологический процесс подчиняется законам эволюции, как и все другие биологические системы, вселяет в нас уверенность в том, что у нас есть шанс контролировать его. Даже в отсутствие лечения, основываясь на понимании законов эволюционной динамики, мы можем, изменив стратегию, достичь оптимального результата. Превентивные меры должны быть направлены на то, чтобы создать условия, наиболее благоприятные для роста нормальных клеток и подавления пролиферации клеток с онкогенными мутациями.

Долгое время сообщество онкологов мечтало о появлении «серебряной пули» — препарата, который может уничтожить все раковые клетки, не затрагивая здоровые. Рак за это время научился извлекать пользу из эволюционного процесса, чтобы «обхитрить» все появляющиеся препараты. Но мы тоже можем использовать преимущества эволюции. Мы можем расширить «сферу деятельности» дарвиновской теории и разработать более реалистичные подходы к предотвращению и контролю этого заболевания. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

Выходит 6 раз в год

Познавательный журнал для хороших людей

«Дмитрий Иванович, пора заняться работой» — так академик Н. Н. Зинин с афористической краткостью выразил настороженное отношение к Д. И. Менделееву многих представителей российского химического сообщества

В раковых клетках, поврежденных химиотерапией, активируются «спящие» гены, помогающие опухоли выжить и приобрести устойчивость к лекарствам

Каждые несколько лет под вулканом Стромболи формируется новый магматический канал взамен «старого» — это приводит к необычно мощным извержениям

Клеточные белки, ищущие повреждения в ДНК, оптимизируют и комбинируют механизмы поиска, чтобы находить «мишень» за наименьшее время и без потерь энергии

Вопреки мифу, русская водка приобрела сорокаградусную крепость не благодаря Д. И. Менделееву, а законодательно — для компенсации выдыхания «крепкого вина» при хранении и транспортировке

www.scfh.ru



АРКТИЧЕСКОЕ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

КАК КЛУЕТСЯ ЛЕД

Освоение Арктики — сегодня в России одна из приоритетных задач. Академик Вячеслав Михайлович Бузник уверен, что успешно справиться с ней помогут новые специальные материалы.



Академик В.М. Бузник

— Вячеслав Михайлович, у нас сейчас освоению северных территорий уделяется очень большое внимание.

— Не только сейчас, Арктика осваивается давно. Эскимосы, чукчи, алеуты и другие коренные народы живут в этих местах уже многие сотни, а то и тысячи лет, возможно, с начала голоцена. Русские люди тоже давно осваивают холодные территории. Так, Семен Дежнев еще в середине XVII в. за 15 лет прошел Северным морским путем до Тихого океана, присоединив к русскому царству новые земли. Хотя интерес к северным землям уже имеет большую историю, процесс проходил без серьезной научной проработки и имел эмпирический характер. Это касается и материалов, применяемых в Арктике, — области моих научных интересов. В современном понимании уровень исследований определяется наличием научных публикаций и патентов. Как показал библиометрический анализ, серьезные и системные исследования в арктическом материаловедении зафиксированы лишь полвека назад. В нашей стране они связаны с созданием хладостойких сталей для строительства магистральных трубопроводов при освоении сибирских месторождений углеводородов, со строительством ледоколов и арктических судов. Так что можно говорить, что арктическое материаловедение — молодое научное направление, но без него Арктику освоить невозможно.

АРКТИКА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКАЯ

— Наш мир материален, и в нем все, что ни возьмешь, обязательно начинается и существует в материальной форме. Яркий пример тому — развитие информатики.

— **Какая связь? Информация материальна?**

— Материальна ли информация, мысль, идея, теория — об этом философы спорят столько, сколько существуют наука и искусство. Так, граф Калиостро в фильме «Формула любви» рекламировал материализацию идеи и образов. Но никто не спорит с тем, что материальны носители информации. Изначально она передавалась через пиктограммы, наскальные рисунки и живопись, то есть носителем был камень. Потом появились рукотворные носители — глиняные таблички, береста, папирус, пергамент, бумага. С ними появился алфавит, а затем книгопечатание, определившие культуру всей современной цивилизации. Наконец, сейчас передача и хранение информации вышли на совершенно новый материаловедческий уровень — электронный, еще век назад считавшийся фантастикой. Такие трансформации влияют на развитие всего человечества, его мировоззрение, культуру, науку.

— **Хотите сказать, что скачки в развитии материаловедения — это скачки в развитии цивилизации?**

— В некоторых случаях да. У нобелевского лауреата по физике Джорджа Паджета Томсона есть замечательное высказывание: «Развитие цивилизации определяется наличием материалов, имеющих в ее распоряжении». Для России освоение Арктики и холодных территорий, а их в стране большинство, важно, как ни для одного другого государства. Перефразируя Е.А. Евтушенко, можно сказать: «Арктика в России больше, чем Арктика». Это четко и емко сформулировано в высказывании нашего великого соотечественника М.В. Ломоносова: «Российское могущество прирастать будет Сибирью и Северным океаном и достигнет до главных поселений европейских в Азии и в Америке». Будучи помором, он видел важность этого региона для отечества.

Известно, что многие материалы на холоде ведут себя по-иному, чем в климате умеренных широт. Яркий пример — хладостойкость или, лучше сказать, хладноломкость стали, лучшего и самого массового конструкционного материала как по свойствам, так и стоимости. Сталь, которая при обычных температурах достаточно прочна и пластична, при низких температурах под напряжением разрушается. Поэтому для прокладки северных трубопроводов и строительства ледоколов необходимо использовать стали, специально разработанные для этих целей.

— **Арктическая экспедиция Умберто Нобиле в 1928 г., наверное, тоже из-за этого погибла. До сих пор точно не установлено, почему его дирижабль «Италия» упал недалеко от Шпицбергена.**

— И не только эта экспедиция, таких было много. Помните, почему погибла экспедиция капитана Татаринова в романе В.А. Каверина «Два капитана»?

— **Конечно помню: потому что двоюродный брат Татаринова Николай закупил для экспедиции некачественные материалы.**

— Скорее, не некачественные — не думаю, что он желал своему кузену смерти, — а обычные. А надо было особенные.

— **Но «Два капитана» — это роман, вымысел. Известно, что В.А. Каверин историю погибшей экспедиции списал с экспедиции знаменитого исследователя Севера В.А. Русанова на боте «Геркулес», пропавшей в Карском море в 1913 г. Но у «Геркулеса» был не стальной корпус, а деревянный.**

— В экстремальных условиях не только сталь, но и другие материалы кардинально меняют свойства. Вспомните школьные опыты, когда резиновая палочка, которая легко гнется, растягивается и даже завязывается в узел, после обработки жидким азотом (его температура -196°C) становится хрупкой, как хрусталь, и при ударе разлетается на мелкие кусочки.

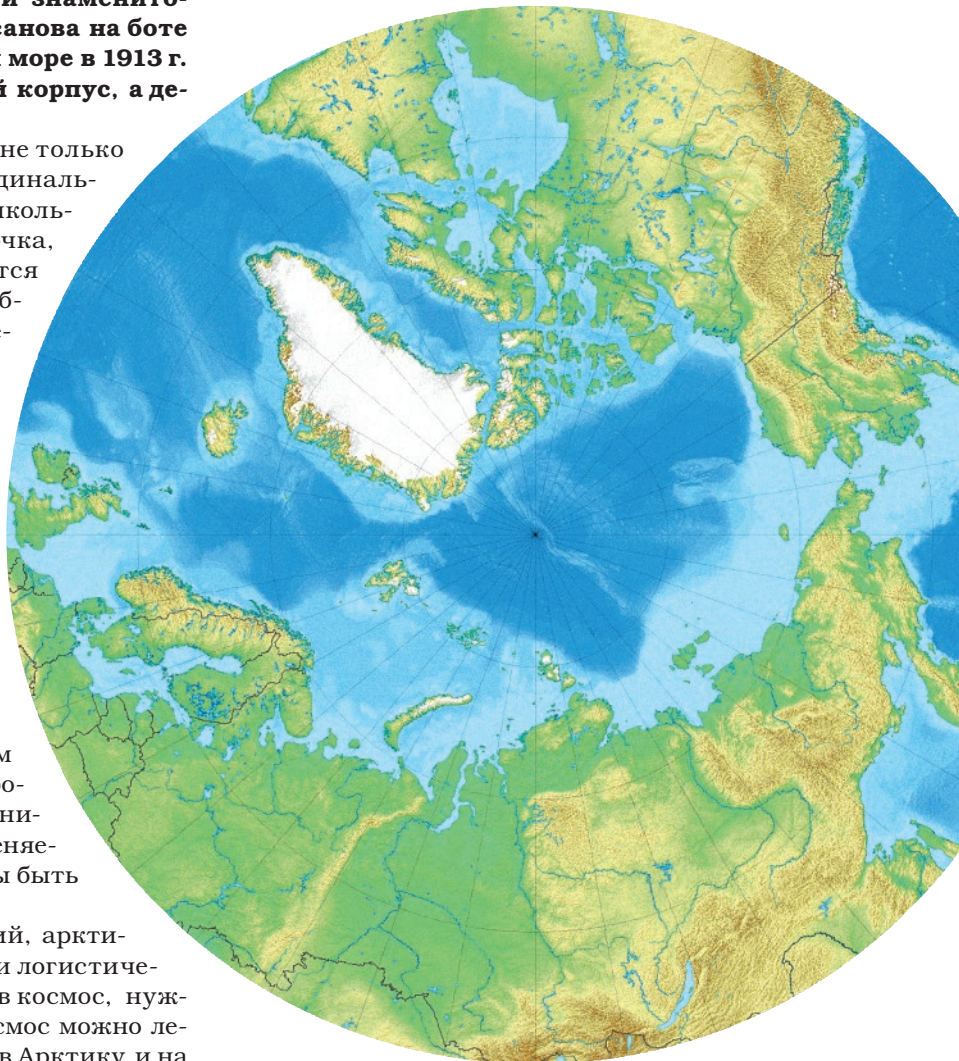
Надо отметить, что в Арктике кроме низких температур есть еще одно бедствие — влага. А это что значит?

— **Обледенение.**

— Обледенение и корродирующее воздействие. Вода, попадающая внутрь материала, при переходе температуры через ноль градусов Цельсия замерзает, расширяется, что ведет к внутренним напряжениям и деформациям, сопровождаемым трещинами и разрушениями. Поэтому к материалам, применяемым в Арктике, требования должны быть особо жесткими.

Кроме климатических требований, арктические материалы подвержены и логистическому фактору. В Арктику, как и в космос, нужно все везти. Более того, если в космос можно лететь в любое время года, то завоз в Арктику и на холодные территории можно реализовать только в период речной и морской навигации. Как следствие, арктические материалы должны быть очень прочными, надежными, безаварийными и долговечными. Желательно, чтобы была возможность

их ремонтировать на месте, иначе из-за какой-то мелкой для южных широт поломки из строя может выйти весь агрегат. Типичный пример, с которым сталкивались все, кто работал на северных месторождениях, где используется мощная горнодобывающая техника (МАЗы, БелАЗы, бульдозеры и т.д.): зачастую ее заводят в сентябре и глушат по весеннему теплу, поскольку в холод ее вновь не запустишь. По статистике, 30% аварийных остановок техники происходят из-за мелких резиновых прокладок, которые при низких температурах теряют свои эксплуатационные качества. А теперь представьте, во сколько обходится полугодовой простой БелАЗа.



Международный статус Арктики закреплен в международных соглашениях. Арктика поделена на пять секторов ответственности между Россией, США, Норвегией, Канадой и Данией.

МАТЕРИАЛЫ СЕМИДЕСЯТОЙ ШИРОТЫ

— Но если Арктика нам так дорого обходится, зачем она вообще нужна?

— Есть несколько факторов, определяющих необходимость освоения Арктической зоны. Первый — экономический. В России всегда прорыв в Арктику приводил к усилению экономики. Так, основание в 1600 г. первого русского заполярного поселения Мангазеи привело к серьезному росту добычи пушнины. Периодов, когда россияне активно шли в Арктику, было несколько. Помимо экономического фактора, они были мотивированы климатическими, религиозными и социально-политическими обстоятельствами, когда люди были вынуждены уходить в некомфортные регионы. Самым успешным пришествием было советское, когда удачно наложились два фактора: политический (государству было необходимо осваивать эти территории, организовывая северную промышленность, создавать города) и научно-технический (были созданы требуемые морозостойкие материалы, а с ними и необходимая техника и технологии, сделавшие Арктику более доступной и позволившие организовать в ней промышленное производство). Благодаря советскому заделу Россия и сегодня считается лидером, поскольку 80% населения, живущего в арктической зоне, — российское. Самые крупные заполярные промышленные предприятия созданы в Норильске, на Кольском

полуострове. Более 60% производства мировой арктической металлургии приходится на Россию. У нас работает единственная в мире атомная электростанция, сооруженная в зоне вечной мерзлоты, — Билибинская АЭС.

— **А в конце года в бухте Певек должна дать ток самая северная в мире атомная теплоэлектростанция на плавучем энергоблоке «Академик Ломоносов».**

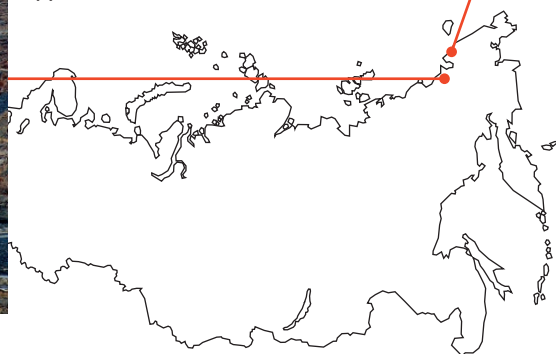
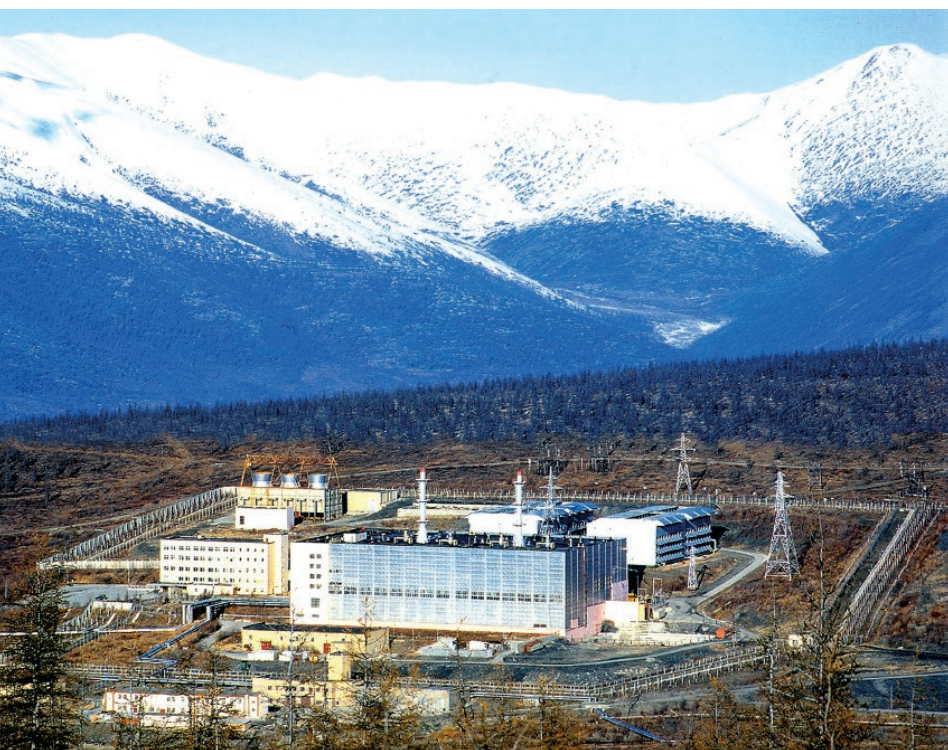
— Совершенно верно, и это еще одно подтверждение нашего лидерства. Но чтобы его сохранить, а лучше приумножить, нужны системные научные исследования, в том числе и в области материалов. Уместно вспомнить слова Д.И. Менделеева: «Без светоча науки и с нефтью будут потемки».

— **И как сегодня у нас обстоят дела с этой научной проработкой?**

— Хуже, чем кажется. Если во времена СССР на долю отечественного арктического материаловедения приходилась почти половина мировых публикаций и патентов, то сейчас планка сильно опустилась (до 5%). Мы провели опрос российских специалистов, в котором среди прочего просили назвать страны мира, лидирующие в арктическом материаловедении. Большинство респондентов поставили на первое место Россию, на второе — Канаду, на третье — США, далее — Норвегию, Финляндию, Данию. А если судить по библиометрическим показателям, то сегодня по патентам и научным статьям «впереди планеты всей»

находятся совсем не арктические страны — Япония и Китай. Из 4327 документов, среди которых 3854 патента, эти цифры однозначно демонстрируют практическую направленность арктического материаловедения. На долю Японии приходится 44%, Китая — около 30%. Показатели арктических держав гораздо скромнее. У нас третье место, но отрыв от второго — гигантский.

— **То есть российские материаловеды переоценивают свои достижения?**



Билибинская АЭС — единственная атомная электростанция, расположенная в зоне вечной мерзлоты (фото: rosenergoatom.ru)



В сентябре 2019 г. российская плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» прибыла в г. Певек Чукотского автономного округа (фото: rosenergoatom.ru)

— Получается, что так. Столь высокая самооценка происходит, возможно, вследствие незнания зарубежных исследований, патриотизма и того факта, что Россия — до сих пор лидер освоения Арктики. В то же время Япония и КНР усиленно рвутся вперед. При этом они идут на восточные хитрости.

— **Какие?**

— Публикуя статьи в международных англоязычных журналах, патенты они регистрируют на родных языках, тем самым ограничивая доступ иностранных специалистов к результатам своих практических исследований. Вообще, интерес к арктическому материаловедению растет стремительно. За последние десять лет число выдаваемых в год патентов выросло в три раза, сейчас оно достигло 400. А вот количество журнальных материалов невелико, меньше 50 статей в год.

— **До академического ажиотажа далеко. Но что сейчас мешает развитию отечественного арктического материаловедения?**

— В первую очередь, разрозненность исследований и отсутствие кооперации и координации как между научными организациями, так и между отдельными учеными. Во многих научных структурах исследования в этой области имеют характер сопутствующих, часто ведутся эпизодически, бессистемно. Д.И. Менделееву приписывают выражение: «Прибор должен работать не только в принципе, но и в кожане», однако зачастую академические

исследования ограничиваются первой частью в надежде, что кто-то возьмет на себя вторую. Это вторая причина.

— **Но ведь от конструкторов, занимающихся, скажем, сооружением арктических трубопроводов или строительством ледоколов, есть заказы на лучшие низкотемпературные материалы?**

— К сожалению, тут не все так радужно. Не все, что лучше, востребовано. Один генеральный конструктор, выступая, сформулировал свою позицию: «Мне не нужно как лучше, мне нужно, чтобы работало». Ученому-материаловеду хочется сделать материал необычный и эффектный, а конструктору нужен надежный и эффективный. Конструкторы и практики при создании техники и сооружений предпочитают новшества проверенным материалам. Поэтому чем революционней новый материал, тем меньше у него шансов быть востребованным у конструкторов...

— **...которые уже привыкли к определенной стали или композиту.**

— Это естественно, поскольку конструктор в них уверен, а новыми неизвестно, получится или нет. В этом серьезное препятствие для внедрения новых материалов. Устранить разрыв между материаловедцами и конструкторами можно, организовав системное и постоянное сотрудничество между институтами материаловедческого,



Дрейфующая станция «Северный полюс-1» (1937) — первая научно-исследовательская станция, созданная на дрейфующих льдах в глубоководной части Северного Ледовитого океана

химического и технического профилей, с одной стороны, и структурами, осваивающими Арктику, — с другой. Разумеется, одного энтузиазма исследователей недостаточно, очень важна организационная и иная поддержка государства. Информация о роли и значении материаловедения в освоении Арктики должна быть донесена до органов власти и общественности. Это можно сделать в форме дорожной карты «Развитие отечественного арктического материаловедения».

ХОЛОДНО, ЕЩЕ ХОЛОДНЕЕ...

— И куда будут вести дороги этой карты?

— В упомянутом опросе был вопрос о том, в каких отраслях специальные арктические материалы наиболее востребованы. На первом месте (18%) — морские и речные суда, на втором и третьем — полярная авиация и наземный транспорт (по 15%). Далее идут добыча и транспортировка углеводородов (13%), материалы для горнодобывающей техники (12%), строительные материалы для сооружения, включая жилье и дороги (10%), материалы арктической энергетики (8%), материалы бытового назначения (6%). Интересно отметить, что эти результаты почти совпали с показателями библиометрического анализа.

— Цели известны, а из чего, собственно, эти дороги будут строиться?

— Тут доминируют высокомолекулярные соединения, полимеры. По числу статей и патентов они превосходят металлы и сплавы почти в семь раз.

— Неужели полимеры надежнее металлов?

— Дело не в надежности, а в разнообразии и широте их применения. Высокомолекулярные соединения — основа для производства термопластов,

эластомеров, реактопластов, олигомеров, используемых как индивидуально, так и в качестве компонентов композитов в клеях, герметиках и лакокрасочных материалах и других покрытиях.

— А если говорить не о публикациях, а о реальных объемах?

— Тут, конечно, металлы впереди. Их преимущественно используют как конструкционные материалы при прокладке газо- и нефтепроводов, строительстве морских судов, нефтедобывающих платформ, железнодорожной инфраструктуры и прочего.

— И как создаются такие новые материалы?

— Есть две тенденции. Первая — модифицирование уже существующих материалов таким образом, что они становятся

применимыми и в арктических условиях. Например, многие авиационные материалы эксплуатируются в условиях, близких к арктическим или даже более жестких. Самолеты многократно попадают из теплых земных условий в зоны низких температур во время высотных полетов, при больших механических нагрузках. А за частую именно смена температурного режима наиболее сильно влияет на состояние материала. Очевидно, что многие авиационные материалы и подходы к их производству, эксплуатации могут быть модифицированы для Арктики. Исследования по арктическим материалам во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов (ВИАМ) поддерживаются Российским научным фондом (гранты № 14-33-0032 и № 18-13-00392). Наглядный пример адаптации к арктическим условиям — высокопористые тепло- и огнезащитные керамические материалы, разработанные для обшивки космического аппарата «Буря». Главный их недостаток — гидрофильность.

— Гидрофильность? Воду любят?

— Обожают! Капля воды мгновенно впитывается в образец из-за капиллярных эффектов. И если для «сухого» космоса это не критично, то для Арктики с ее высокой влажностью, помноженной на низкую температуру, ситуация более чем серьезная. Впитавшаяся вода губит замечательное свойство материала — низкую теплопроводность, а двукратное замерзание и таяние воды в образце вообще приводит к разрушению массивных образцов. Но мы нашли способы, как справиться с этой проблемой. Достаточно нанести на поверхность образца тончайший, до 10 нм, слой обладающего гидрофобными свойствами фторполимера, и он годами не впитывает влагу.

— **Используете для лечения гидрофилии гидрофобы? Разумно.**

— Кроме влагозащиты, такое покрытие попутно помогает решить и много сопутствующих задач: снижает коэффициент трения, повышает износостойкость, коррозионную стойкость, электроизоляционные показатели.

ЗАМКИ СНЕЖНОЙ КОРОЛЕВЫ

— Вторая тенденция — целенаправленное создание специально для Арктики материалов. Скажем, на основе такого древнего строительного материала, как лед...

— **Обыкновенный лед? Ну да, помнится, императрица Анна Иоанновна в середине XVIII в. строила для своего придворного шута князя Михаила Голицына ледяной дом. Только вот, насколько помню, он недолго простоял, с февраля по апрель.**

— Ну, Анна Иоанновна — далеко не первая, кто догадался создавать ледяные жилища. Канадские эскимосы издавна строили из ледяных блоков свои дома-иглу. Просто, дешево и быстро, небольшое иглу создается примерно за час. Иную технологию используют якуты. Они сначала строят из дерева вигвам, а потом обливают его водой, которая быстро замерзает и скрепляет шесты намертво и герметизирует щели. Изнутри, чтобы не было теплоотдачи и лед не таял, его отделявали шкурами. Получается просторное, теплое и достаточно надежное жилище.

В Швеции, Финляндии и Канаде ежегодно строятся настоящие ледяные отели, которые функционируют с декабря по апрель. В них даже кровати и стаканы в баре сделаны из льда. Следует упомянуть и всемирно известный фестиваль ледовых сооружений в Харбине (КНР), ежегодно проводимый зимой.



В.М. Бузник на III Международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и техника для освоения Арктики и Сибири», Томск, 25–28 сентября 2019 г. (фото: arctic-siberia.tsu.ru)



Вход в ледяной отель в деревне Юккасыярви, Швеция (фото: Штефан Херц, 2006)

— **У нас нехватка на Севере хороших дорог и мостов компенсируется устройством ледовых переправ и зимников. Я по таким ездил. Там зимой на замерзших реках ставят временные знаки дорожного движения, посты ГИБДД. Даже небольшие мотели и кафе стоят на берегах.**

— Ледовая «Дорога жизни» по Ладожскому озеру в 1941–1943 гг. спасла от гибели десятки, если не сотни тысяч ленинградцев. Кстати, у нее было официальное название «Военно-автомобильная дорога № 101». Лед на полярных станциях используется при создании взлетно-посадочной полосы для полярной авиации. А нефтяники для повышения нефтеотдачи арктических скважин используют так называемые криогели — ледово-полимерные композиты. Вообще, у льда как у строительного материала есть масса плюсов. Это истинно арктический материал, он дешев, всегда под рукой сырье — вода, и его не надо завозить, для его создания подходит природный холод, а период эксплуатации — большая часть арктического года, ему не страшны ни низкая температура, ни высокая влажность.

— **Скорее, наоборот, они ему полезны.**

— Но лед — как двуликий Янус. У него на все плюсы есть и минусы, с которыми приходится бороться. Если не считать риска таяния при положительной температуре, то главный недостаток — хрупкость. Стоит на него немного надавить — он трескается.

— **Так многие материалы — цемент, глина, гипс — тоже хрупкие. Ровно до тех пор, пока их не армируют.**

— Армировать лед пробовали уже давно. Еще в 1942 г. британский инженер, журналист и разведчик Джеффри Пайк предложил изготавливать композит, на 85% состоявший из льда и на 15% — из древесных опилок.

— ЛСП, ледово-стружечная плита?

— По имени создателя новый материал назвали «пайкерит». Он в два раза прочнее чистого льда, тает значительно медленнее, отсутствует хрупкость и он формует при наложении давления. Англичане даже планировали построить из пайкерита непотопляемый авианосец *Nabakkuk* гигантских размеров (600 × 100 × 60 м). Однако уже в 1943 г. стало ясно, что проект слишком дорог и научно-технически не проработан, и решили отказать от его реализации.

— Значит, тупик?

— Отнюдь. То, что было тупиком в прошлом веке, сейчас может стать проходным. Мы во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов ведем системные исследования прочностных свойств ледяных композитов с различными армирующими наполнителями. Изучались наполнители льда различных морфологий и химического состава: полимерные, минеральные, растительные волокна, сетки, опилки, стружка, хвойные иголки и т.д. Если пластина льда, полученная заморозкой дистиллята, разрушается при малом прогибе (порядка 2 мм), то ледяной композит, армированный двумя слоями органических или углеродных волокон, сохраняет целостность даже при растрескивании ледяной матрицы. Прочность композита вырастает до шести раз, а деформация — до 15. Меняется и характер растрескивания: в композитах оно становится многоступенчатым и сильно отличается от разлома ледяного дистиллята по числу и форме трещин. Даже при разрушении ледяной матрицы композит выдерживает нагрузку за счет вводимой арматуры. Структуру ледяной матрицы можно модифицировать, добавляя различные высокомолекулярные вещества, используемые, например, при заливке льда спортивных сооружений. Тип наполнителя, его концентрация существенно влияют на зернистую структуру льда, следовательно, и на его прочностные, эксплуатационные свойства. Сочетание армирования и модифицирования приводит к синергизму, улучшающему физико-механические и другие свойства ледового композита.

— Значит, теперь мы сможем построить ледяной авианосец?

— Думаю, сейчас в этом нет необходимости. А вот применять ледяные композиты при строительстве хозяйственных объектов в Арктике было бы крайне полезно и экономически выгодно. Сейчас ведутся работы по созданию арктических материалов

с элементами «интеллектуальности». Скажем, в ледяной композит вмораживают сенсорное оптоволокно. Частота световой волны, проходящей по этим волокнам, чувствительна к деформации льда, и это позволяет проводить мониторинг деформации ледовой конструкции от внешнего механического воздействия.

— Иначе говоря, при деформации будет изменяться цвет проходящего по вмороженному оптоволокну луча?

— Примерно так, поскольку частота излучения в конечном счете определяет его цвет. Используя возможность фиксировать накопление деформации льда при циклическом нагружении образца, можно прогнозировать разрушение льда и предупреждать аварийные ситуации. А это чрезвычайно важно для ледовых объектов: дорог, разгрузочных площадок, взлетно-посадочных полос.

— Вот так, значит, мы искали-искали лучшие материалы для Севера, а оказалось, что мы все с ним с детства знакомы. Все так просто...

— Совсем не просто. У льда более 50 различных параметров, которые определяют его структуру и свойства. Известно порядка 17 кристаллографических структур льда, да еще три аморфные фазы, как следствие образцы льда сильно различаются по прочностным характеристикам, даже если создаются по одной и той же технологии. Так что лед — очень сложный объект, я бы сказал, капризный и непостоянный в технологическом плане материала, но очень интересный и неисчерпаемый в исследовательском плане.

— Вы говорили, что чем материал интереснее, тем сложнее доказать его важность конструкторам.

— Надеюсь, это удастся. В последнее время в мире появились исследования, связанные с управлением прочностными свойствами льда посредством его механической обработки, своеобразная ковка. А вы, журналисты, должны помочь растопить лед скепсиса в отношении льда как конструкционного материала.

В целом перспективы развития отечественного арктического материаловедения представляются оптимистичными, в первую очередь — в силу того, что интерес к арктической тематике порожден потребностями государства, а не только модой и интересом ученых к арктическому материаловедению. ■

Беседовал Валерий Чумаков



12+

Реклама



САМЫЕ ВЗРЫВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

НАУЧ ТОП

с АЛЕКСЕЕМ ЕГОРОВЫМ

«ХОЛОДНЫЙ ОГОНЬ»
Испаряющийся фосфор создает светящийся туман, похожий на языки пламени. Температура при этом не повышается.

НЕ ПЫТАЙТЕСЬ ПОВТОРИТЬ ЭКСПЕРИМЕНТ
в домашних условиях !

ПРЕМЬЕРА
ОСЕНЬЮ



ПОЗНАНИЕ



МОЯ ПЛАНЕТА



НАУКА



ЖИВАЯ ПЛАНЕТА



ПЛАНЕТА НО



ИСТОРИЯ

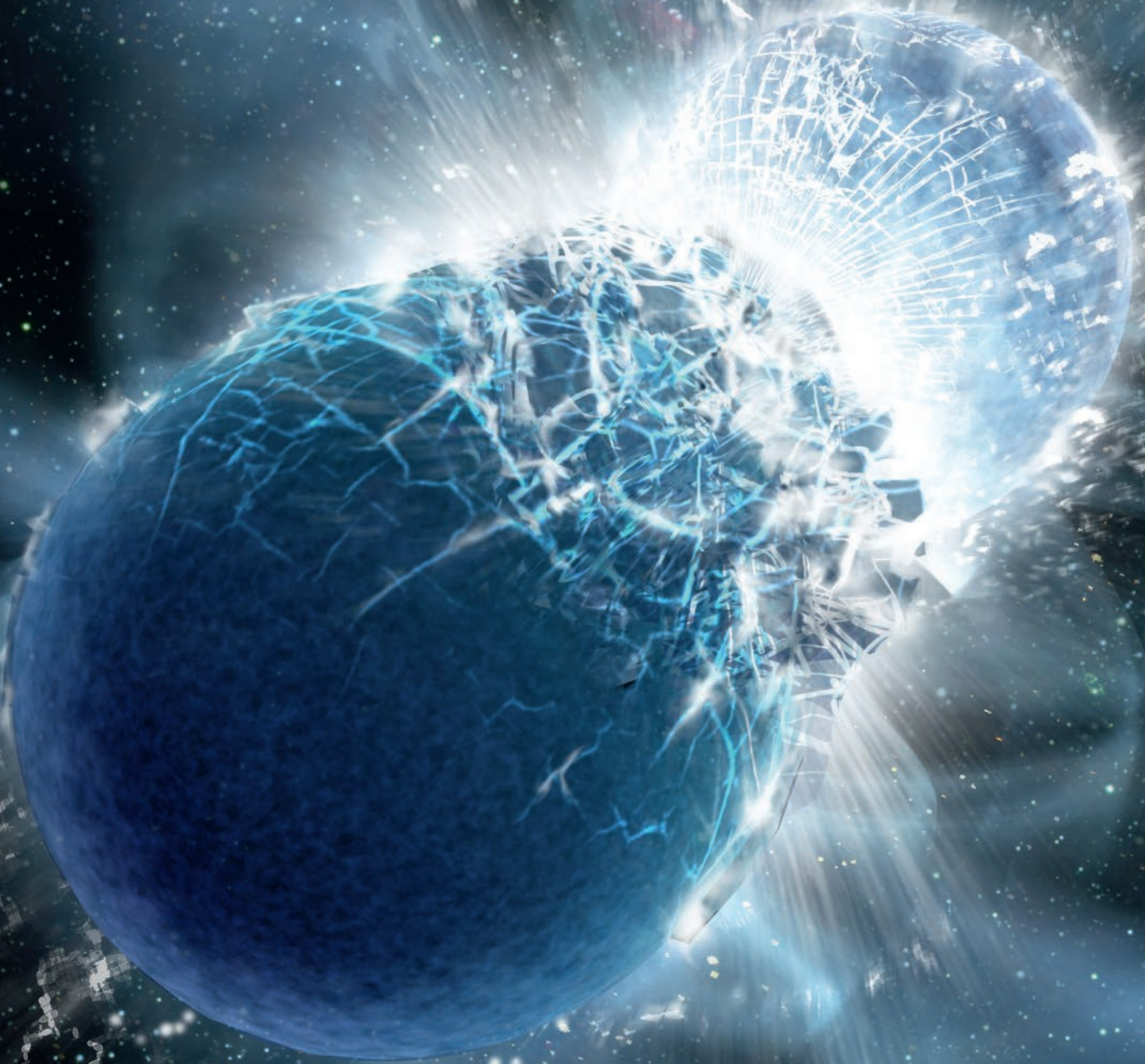


ДОКТОР



ТЕЛЕКАНАЛ

Все химические элементы тяжелее железа появились в результате взрывов сверхновых и нейтронных звезд. Через некоторое время из «продуктов взрыва» формируется протопланетное облако, в центре которого зажигается новая звезда, а из его остатков рождаются планеты.



ДЕТИ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Ученые утверждают, что космос вовсе не безмолвный, у любой звезды есть свой уникальный «голос», и вместе они сливаются в огромный хор. Какое место в этом хоре занимают самые удивительные и загадочные космические объекты — нейтронные звезды? Почему их называют прародительницами жизни? Об этом и многом другом рассказывает заместитель директора Института космических исследований РАН профессор РАН Александр Анатольевич Лутовинов.



Заместитель директора Института космических исследований РАН профессор РАН А.А. Лутовинов

— Александр Анатольевич, когда я поднимался к вам в кабинет, вспомнил коротенькую сказку Джанни Родари, которую очень любил в детстве. Про «звездный лифт», который мог поднимать человека не только на самый высокий этаж, но и в космос и даже доставить на другую планету. Полагаю, в Институте космических исследований такому лифту — самое место.

— Конечно, в прямом смысле такого «космического подъемника» у нас нет, хотя, как вы наверняка знаете, проекты именно космических лифтов существуют и достаточно активно обсуждаются. Но если говорить про лифт научный, интеллектуальный, он, безусловно, здесь есть. Именно отсюда, из ИКИ РАН, мы имеем самую прямую связь с космосом. Отсюда мы ведем управление научными спутниками, отправляем команды, получаем данные.

МЫ ВЕРНУЛИСЬ!

— Когда-то СССР среди космических держав был безусловным лидером. Что-то из того задела у нас осталось?

— Конечно, космическую отрасль сильно подкосила ситуация, которая сложилась в стране в 1990-е гг. В 1980-х гг. в СССР был настоящий бум запуска спутников и орбитальных обсерваторий, которыми действительно можно было гордиться. В 1983 г. полетел «Астрон», работавший в ультрафиолетовом и в рентгеновском диапазонах. Потом был безусловный успех обсерватории «Рентген», которая стояла на станции «Мир». 1989 г. — запуск международной обсерватории «Гранат», где наряду с созданным в нашем институте телескопом «АРТ-П» стояли французские, датские, болгарские инструменты. Движение шло по нарастающей,

а рентгеновская астрономия вообще двигалась вперед семимильными шагами. На волне таких успехов разрабатывались планы совместного с французскими учеными запуска обсерватории «Гранат-2», готовилась целая серия проектов серии «Спектр»: «Спектр-РГ», «Спектр-Радиоастрон», «Спектр-УФ» и «Спектр-Миллиметрон», которые должны были быть запущены в 1993–1994 гг. Но, к сожалению, объективные обстоятельства не позволили реализовать эти амбициозные проекты. Мало того, они реально и довольно существенно отбросили нас назад. Мы потеряли наше отдельное конструкторское бюро в городе Фрунзе, сейчас это столица Киргизии Бишкек. Там было огромное производство, на котором работало 1,5 тыс. человек. Они производили космические приборы не только для ИКИ РАН, но и для других организаций. Практически все было утрачено, лишь некоторую часть нам удалось сохранить, восстановить в рамках нашего специального конструкторского бюро в Тарусе.

— Но сейчас мы вроде возвращаемся в дальний космос?

— У нас были, к сожалению, две крупные неудачи — «Марс-96» и «Фобос», которые плохо отразились на нашей программе планетных исследований. Но в целом дела в последнее время идут неплохо. В 2016 г. успешно была запущена совместная с Европейским космическим агентством миссия «ЭкзоМарс». Там все прошло почти хорошо, если не считать неудачной посадки зонда «Скиапарелли». Два прибора, созданные в ИКИ РАН, продолжают успешно функционировать на орбитальном модуле. В июле этого года начала работу новая версия той самой обсерватории «Спектр-РГ», которая должна была выйти на орбиту еще в начале 1990-х гг. В октябре исполняется 17 лет успешной

работы обсерватории *INTEGRAL*, которая была выведена на орбиту нашей ракетой-носителем «Протон», за что российские ученые получили право на четверть всех наблюдательных данных. *VepiColombo*, на котором стоят наши приборы, сейчас летит к Меркурию. Готовится к запуску экспедиция «ЭкзоМарс-2020». Там будут уже не просто стоять наши приборы, там будет наш посадочный модуль, который готовит НПО им. С.А. Лавочкина. Так что мы действительно можем говорить, что Россия не просто потихонечку возвращается, но и уже вернулась в дальний космос.

ДЕСЯТЬ ТЫСЯЧ ДАВИДОВ

— У каждого ученого в той области, в которой он работает, есть любимые объекты. В случае космоса кому-то больше нравятся черные дыры, кому-то — квазары, кому-то — экзопланеты, кому-то — кометы... А что вас больше всего привлекает в этом черном безмолвии?

— Начнем с того, что космос не совсем черный и уж точно не безмолвный. Радиоастрономы вам легко докажут, что у любой звезды есть свой особенный «голос», и вместе они сливаются в огромный хор. Так что космос скорее кричит, чем молчит. Что же касается моих любимых космических объектов, это, безусловно, нейтронные звезды. Тоже, кстати, весьма голосистые.

— Я понимаю, зачем надо исследовать околоземное пространство, в котором летают наши космические аппараты, близлежащие планеты, которые мы в перспективе можем колонизировать и поставить на службу человечеству, Солнце, от которого зависит вся наша жизнь, звезды, которые на эту жизнь могут повлиять. Но зачем тратить немаленькие деньги на далекие нейтронные звезды, которые никак на нас не влияют и уж точно ничем пригодиться не могут?

— Еще как могут. Начнем с того, что нейтронные звезды сами по себе уникальны. Это одни из самых удивительных и загадочных объектов во Вселенной.

— Но ведь не более загадочные, чем, скажем, черные дыры?

— Я думаю, что более. С черными дырами на самом деле все в целом ясно. Они привлекают людей своей гигантской гравитацией, которая не выпускает даже свет. Но с точки зрения физики там все достаточно хорошо описывается. А вот нейтронные звезды — гораздо более сложные и удивительные объекты. Грубо говоря, черная дыра — это окончательно сломанная звезда, в которой не осталось ни одного целого компонента, это сингулярность. Нейтронная же звезда — это звезда, сломанная не до конца. У нее поломанные детали сложились в некую новую структуру,

обладающую совершенно уникальными свойствами. Наконец, нейтронную звезду в отличие от черной дыры мы банально можем рассмотреть и «пощупать».

— Чем вы и занимаетесь?

— Да, это вполне осязаемый объект диаметром 10–20 км, массой примерно в одну-две массы Солнца. Он быстро вращается и обладает мощнейшим магнитным полем. В зависимости от величины этого поля могут существенно меняться и его наблюдаемые характеристики. Например, есть такие нейтронные звезды, на поверхность которых падает вещество, накапливается, а после достижения определенного критического уровня происходит мощнейший термоядерный взрыв, в котором за секунды сгорает несколько лунных масс. И такое может происходить каждые несколько часов.

— Иными словами, нейтронная звезда рядом с черной дырой — это как Давид рядом с Голиафом. Голиаф (черная дыра) чрезвычайно мощный, но неповоротливый и туповатый, а Давид (нейтронная звезда) хоть и много слабее, зато умный, юркий, хитрый...

— Одна из важнейших задач астрофизики, да и вообще фундаментальной физики — понять, как себя ведет вещество при огромных, сверхъядерных плотностях, а именно такие условия и реализуются внутри нейтронных звезд, на Земле такого достигнуть невозможно. Чтобы как-то ограничить возможные модели, необходимо более или менее точно измерить радиус нейтронной звезды. И это одна из задач, над которой мы также работаем. Массу определить несложно, скажем, по эффекту Доплера. А далее от того, будет у нее диаметр 10 или 13 км, существенным образом зависит уравнение ее состояния.

— В таких случаях принято говорить: сколько будет весить один наперсток такого «звездного вещества»?

— Тут все зависит от слоя, из которого вы этот наперсток зачерпнете. Если из первого, из атмосферы, он будет достаточно легким, порядка тонны. Уже во втором, во внешней коре, масса одного кубического сантиметра вырастет примерно до полумиллиона — нескольких миллионов тонн. А если «докопаться» до внутреннего ядра, где плотность в несколько раз превышает ядерную, она составит уже от нескольких миллиардов тонн до двух-трех десятков миллиардов тонн в зависимости от уравнения состояния.

— Не могу себе даже представить, с чем можно сравнить такое число.

— Я вам помогу. Учитывая, что средний тепловоз может тянуть примерно 2 тыс. т груза, для перевозки последнего наперстка потребуется примерно 10–15 млн тепловозов.

— Думаю, на планете столько не наберется.

— Тут дело даже не в том, какова плотность внутри ядра нейтронной звезды, а в том, что мы вообще пока слабо себе представляем, как при такой плотности может что-то существовать. Там даже нейтроны должны быть «раздавлены». Сейчас есть множество гипотез по этому поводу, например: кварковое ядро, в котором нейтроны разваливаются на составляющие их кварки; гиперонное ядро из барионов; каонное ядро из двухкварковых частиц с одним странным кварком и т.д. Ни подтвердить, ни опровергнуть ни одну из этих гипотез мы пока не можем. Если же удастся точно измерить радиусы нейтронных звезд, это позволит ограничить возможные уравнения состояния вещества и отбросить какие-то гипотезы, и это очень сильно продвинет вперед физику.

На небе есть сотни нейтронных звезд, каждая из которых, пульсируя с присущими только ей характеристиками, посылает в пространство свой уникальный сигнал. Эти сигналы в будущем могут быть использованы для решения прикладных задач автономной навигации

— В этом и состоит польза нейтронных звезд «для народного хозяйства»?

— Не только в этом, есть для них и более практические применения. Как я уже говорил, у нейтронных звезд достаточно сильные, в тысячи миллиардов раз мощнее земного, магнитные поля. Как и у земного, у этих полей есть два полюса, в районе которых и формируется излучение. Механизм этого излучения несколько отличается для одиночных нейтронных звезд и нейтронных звезд в двойных системах. В последнем случае перетекающее с нормальной звезды вещество по магнитным линиям падает на поверхность нейтронной звезды, формируя вблизи полюсов горячие пятна размером в несколько сотен метров и температурой в десятки миллионов градусов, вследствие чего эти пятна очень ярко светят в рентгеновском диапазоне. Сама звезда быстро вращается, скорость может достигать сотен оборотов в секунду. Два этих фактора, быстрое вращение и наличие относительно компактных сверхмощных рентгеновских источников, порождают пульсирующий сигнал.

— Как береговой маяк, на вершине которого вращается мощный прожектор?

— Именно как маяк. Нейтронных звезд много, периоды вращения у всех разные, причем для одиночных звезд стабильность периодов в масштабе нескольких лет сравнима со стабильностью атомных часов. К тому же сигнал у каждой нейтронной звезды уникален. Теперь представьте: у вас на небе есть сотни объектов, каждый из которых пульсирует с только ему присущими характеристиками. Это фактически то же самое, что используем сейчас для навигации спутники *GPS* или *ГЛОНАСС*, где вместо нескольких десятков космических аппаратов сигналы-привязки посылают сотни нейтронных звезд.

— Я слышал про такие небесные координатные сетки, но считал, что в них роли маяков играют квазары.

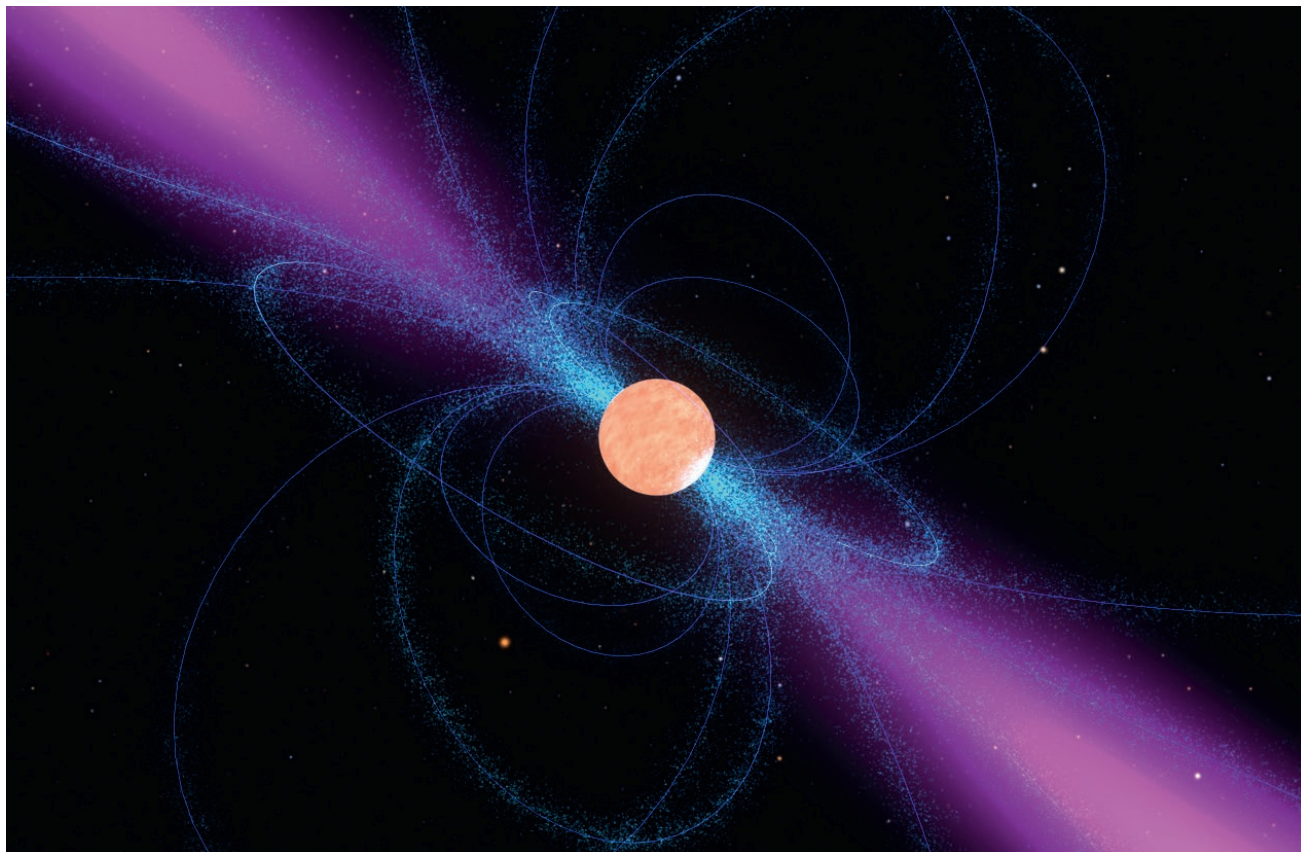
— Квазары действительно позволяют получить хорошую ориентацию. Однако в отличие от них пульсирующие с известными периодами нейтронные звезды позволяют с достаточно высокой точностью определять не только положение аппарата, но и его вектор скорости, давая тем самым полное навигационное решение. И здесь не требуется вмешательство человека. В идеале, имея на борту специальную аппаратуру и алгоритмы, аппарат может все делать самостоятельно. В этом и состоит принцип автономной навигации аппаратов для дальнего космоса по рентгеновским пульсарам. Это очень перспективное, передовое направление исследований. Для создания таких систем нужны новые детекторы, специализированные интегральные микросхемы, которые позволяют очень быстро считывать и обрабатывать полученный сигнал. Наш институт, наша лаборатория, созданная в рамках мегагранта, в настоящее время занимается разработкой и созданием таких регистрирующих систем, которые в будущем могут быть использованы как для изучения строения нейтронных звезд, так и для решения прикладных задач автономной навигации.

ЖИВЕЕ ВСЕГО ЖИВОГО

— Насколько я понимаю, нейтронная звезда — это одна из финальных стадий жизни звезды чуть большей, чем наше Солнце. Скажем даже честнее: это один из сценариев смерти звезды.

— Действительно, нейтронная звезда — это одна из возможных конечных стадий эволюции звезды. Многие так их и называют — «мертвые звезды», что в моем понимании не совсем правильно, так как ничто мертвое не может родить жизнь, а нейтронная звезда может.

— Нейтронная звезда — прародительница жизни? Каким образом?



Нейтронные звезды могут служить маяками для GPS-навигации при путешествиях в дальнем космосе

— Приведу самый простой сценарий. Представьте систему из двух звезд, каждая из которых уже прожила свою жизнь, взорвалась и превратилась в нейтронную звезду. Если в результате система не развалилась, эти две нейтронные звезды будут вращаться друг вокруг друга сотни миллионов лет. За счет этого вращения они будут излучать гравитационные волны и потихонечку сближаться. В какой-то момент они сойдутся до критического расстояния, после которого произойдет слияние, сопровождающееся мощнейшим взрывом. Именно такое событие и было зарегистрировано в августе 2017 г. гравитационно-волновыми детекторами *LIGO/Virgo*, а мы его наблюдали с помощью обсерватории *INTEGRAL*. В результате получится либо массивная нейтронная звезда, либо черная дыра. А попутно в пространство будет выброшено невероятное количество новых химических элементов, которые получают только в недрах звезд или в результате таких взрывов. Ведь изначально во Вселенной были только водород и немного гелия. Потом, уже в звездах, синтезировались более сложные элементы вплоть до железа. А все что находится в таблице Менделеева между железом и ураном, включая последний, появилось уже в результате взрывов сверхновых и слияний нейтронных звезд. Через некоторое время эти

«продукты взрыва» соберутся, начнут гравитационно взаимодействовать, получится протопланетное облако, в центре которого зажжется новая звезда. Из остатков этого протопланетного облака сформируются планеты, на которых, возможно, появится новая жизнь. Так что все мы в какой-то мере — дети нейтронных звезд.

НАУКА ПО СРЕДСТВАМ

— **Александр Анатольевич, кроме собственно астрофизики вы еще и председатель Координационного совета профессоров РАН. Прошло шесть лет с того момента, как осенью 2013 г. Государственная Дума РФ приняла Федеральный закон № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Что изменилось за эти годы?**

— Российской науке тогда, конечно, нужна была реформа. Об этом говорил избравшийся весной того же года на пост президента РАН академик В.Е. Фортов. Его предвыборная программа была направлена на реформирование науки, управление наукой, повышение ее эффективности. Но то, что было сделано, как все уже много раз

говорили, было сделано каким-то совершенно несуразным образом. Если хочешь добиться чего-то позитивного, необходимо задать позитивный вектор развития, а не крушить все вокруг. Сейчас прошел опрос среди академиков, членов-корреспондентов и профессоров РАН о результатах реформы. Сразу оговорюсь, что привожу данные только по профессорам РАН, к корпусу которых отношусь сам. Там есть вопрос о том, как изменилось состояние нашей науки за прошедшие шесть лет, и к нему пять вариантов ответов: «существенно ухудшилось», «ухудшилось», «не изменилось», «улучшилось» и «существенно улучшилось». Так вот, вариант «улучшилось» выбрала примерно пятая часть респондентов, вариант «существенно улучшилось» пока никто не выбрал. Таким образом, большинство профессоров достаточно критично оценивают результаты проводимой реформы.

— Но, насколько я представляю, финансироваться наука стала лучше?

— Дело не только в этом. Гигантски выросла бюрократизированность, ученые теперь обязаны постоянно писать какие-то отчеты, отвечать на запросы, письма, которые приходят из разных министерств, иногда по несколько штук в день. От нас требуют отреагировать на то, другое, пятое, десятое... Приходит огромное количество всевозможных бумаг, с которыми иногда непонятно, что делать. За примером далеко ходить не надо, достаточно вспомнить недавний приказ Минобрнауки о приеме иностранных специалистов и взаимодействии с госорганами других государств.

— Позже представители министерства заявили, что документ имеет «рекомендательный характер».

— Приказ превратился в рекомендацию, когда возмущение научной общественности дошло до Администрации Президента РФ. С другой стороны, вы правы, денег в науку стало вкладываться больше. Но большая часть этих денег уходит на выплату зарплат, при этом на обновление инфраструктуры до последнего времени средств выделялось крайне мало. А сегодня именно инфраструктуре необходимо уделять особое внимание, иначе тем людям, которым зарплата выплачивается, просто не на чем будет работать.

— Оборудование устарело?

— Много не менялось еще со времен СССР. Вот сейчас мы будем в ИКИ РАН закупать новую аппаратуру для испытательных термовакуумных камер, новые климатические камеры, необходимые для космических разработок. У нас там некоторые приборы работали еще с советских времен. Когда-то это были самые передовые аппараты, но за прошедшие 30, а то и 40 лет они безнадежно устарели и физически, и технологически, и морально. С таким оборудованием невозможно удержаться

на уровне ведущих мировых разработок. Надеюсь, после обновления испытательные стенды заработают на порядок лучше.

— Значит, обновление инфраструктуры хоть медленно, но идет?

— Да, деньги на развитие инфраструктуры стали выделять, и это хорошо, хотя все признают, что запланированных средств недостаточно для полного производственно-инфраструктурного перевооружения.

— Значит ли это, что быстрая модернизация инфраструктуры позволит осуществить прорыв российских технологий?

— К сожалению, от нас зачастую требуют немедленной материализации вложенных денежных средств, немедленной отдачи. Но ведь в науке так не бывает! Возможно, в каких-то видах бизнеса до сих пор возможна ситуация, когда вкладываешь 100 рублей и уже завтра что-то получаешь, а тут разве что мушки-дрозофилы быстро растут. И то эксперименты с ними затягиваются порой на годы. Что уж говорить про космические исследования, где счет идет на десятилетия. Те технологии, которых у России нет или в которых мы отстали, не делаются на два счета: сегодня дали миллиард — и завтра на эти деньги послали экспедицию на Луну. Тут хоть десять миллиардов дай, сто, триллион — не получится сразу все сделать, все равно потребуются годы.

— Можно и быстро, если, скажем, просто купить уже готовую технологию.

— Но это совсем не то, мы же не об этом говорим. Науку в отличие от технологий невозможно купить, ее надо развивать. Причем здесь и сейчас, планомерно вкладывая в нее необходимые средства. Развитие — процесс длительный, но в существующей системе управления наукой зачастую складывается такая ситуация, когда требуется чуть ли не немедленно предъявить результат, отчитаться.

— Но чиновников тоже сложно винить, они должны понимать, на что пошли деньги.

— Конечно, у них позиция довольно понятная: я тебе дал 100 млн рублей — получил, условно говоря, 100 млн кирпичей. Завтра дам 120 млн — значит, должен получить 120 млн кирпичей. Им нужен простой критерий, то, что можно посчитать. Для этой цели они выбрали публикации.

— Правильно, публикации в открытой научной прессе — основной продукт ученого, занимающегося фундаментальными исследованиями.

— Конечно, но публикация не может быть самоцелью. Она должна быть результатом серьезной работы, ее итогом. То есть она должна появляться естественным образом. А у нас получается, что ученый понимает, что ему надо что-то написать и опубликовать, — и он вынужден писать и публиковать.



Большой телескоп азимутальный (БТА) — крупнейший в Евразии оптический телескоп с диаметром главного монолитного зеркала 6 м. Был самым большим телескопом в мире с 1975 г. по 1993 г., когда заработал телескоп Кека с десятиметровым сегментированным зеркалом. БТА оставался телескопом с крупнейшим в мире монолитным зеркалом до введения в строй в 1998 г. телескопа VLT (диаметр 8,2 м). Зеркало БТА по сей день остается самым массивным в мире, а купол БТА — самым большим астрономическим куполом в мире.

— **Неважно что, но чтобы было?**

— Да. Хочешь не хочешь, а давай публикации. В указе президента поставлена цель: к 2024 г. Россия должна «войти в пятерку ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития». А как определить эту пятерку? По каким критериям? Если следовать нынешней логике чиновников, она определяется публикациями. Справедливости ради необходимо отметить, что в нацпроекте «Наука» есть и другие критерии успешности выполнения указа, но публикации — основной. Чем больше ты написал, тем ты более успешный ученый, тем выше в рейтинге поднимется твоя организация.

— **А что показывает мировой опыт?**

— Есть фонды, которые выдают деньги под определенные проекты: поисковые исследования, теоретические, фундаментальные, ориентированные... Результатом могут быть как статьи, написанные по итогам работы, так и конкретные действующие технологии или модели.

— **Выполнил ученый этот грант — получил продолжение?**

— Да, механизмы известны. Надо просто внимательно посмотреть, как это устроено в странах с высоким уровнем развития науки, и аккуратно, без фанатизма перенести на наши реалии и современное состояние дел. Хотя надо признать, что и в других странах уровень бюрократии в науке отнюдь не мал и проблема использования «наукометрии» стоит в полный рост. В частности, мы недавно

принимали участие в рабочей встрече представителей Российской академии наук и Академии наук Франции. Отдельно обсуждался вопрос о «наукометрии», которая в современном виде практически перестала выполнять свою основную функцию. Так вот, по оценкам наших французских коллег, более 40% всех публикаций в мире — это разнообразный «мусор», содержащий невозпроизводимые данные, откровенный плагиат и т.п. Издательская деятельность превратилась в глобальный бизнес и множество мелких локальных бизнесов, что способствует лавинообразному размножению так называемых *garbage papers*. Старые подходы (импакт-факторы, индекс Хирша, цитирование) к оценке деятельности отдельных ученых и целых организаций перестают работать в современном мире. Эта проблема во Франции, например, стоит очень остро, и нам надо постараться не наступить на те же грабли.

Фундаментальная наука — большое поле, которое нужно умело возделывать. Может, не на каждой его участке вырастет прекрасное дерево, но если не будешь его засеивать, поливать, пропалывать, вообще ничего не получишь.

— **Тогда чиновнику важно понять, какие именно места наиболее интенсивно поливать, чтобы получить максимальный урожай.**

— Тут бывает непросто угадать. Сейчас какое-то направление в тренде, так давайте его развивать, а вот на этом, неперспективном, пока отдохнем. А через какое-то время оказывается, что это «неперспективное» направление важнее, чем первое, а мы его забросили. В науке такое часто бывает.

Для решения этой задачи и существуют различные научные фонды: государственные, частные, благотворительные, специализированные.

— **Частные и благотворительные вряд ли будут поддерживать фундаментальную науку, от которой бизнесу никакой тактической пользы, одни расходы.**

— Правильно, поэтому здесь поддержку должно оказать государство, у которого на первом месте должна быть не тактика, а стратегия. Государство должно поддержать те маленькие ростки, которые со временем могут превратиться в могучие деревья.

— **Лауреат Нобелевской премии Ж.И. Алферов как-то сказал, что всякая наука — прикладная, разница только во времени.**

— Совершенно верно. Еще рассказывают, что когда канцлер казначейства Великобритании Уильям Гладстон спросил у Майкла Фарадея, какая польза от его электричества, ученый ответил: «Пока не знаю, но через некоторое время вы его обложите налогами». Поэтому нам надо уходить от сиюминутности, желания немедленного эффекта, чтобы ученый обязательно в течение трех лет что-то сделал. Если говорить про близкую мне космическую тему, там проекты необходимо финансировать даже не на годы, а на десятилетия вперед. Для того чтобы лет через 20 в космос полетела уникальная обсерватория, вкладываться в нее надо было еще вчера.

У государственных людей должна работать глобальная перспектива. Мы можем спорить про Советский Союз, про то, какая там была плановая экономика, как жили люди и т.д., но надо признать, что у руля науки стояли люди, которые мыслили именно глобально, наукой управляли. Это были, можно сказать, визионеры, видевшие перспективу на несколько десятилетий вперед. Тогда строились уникальные мегаустановки. Ускорители в Дубне долгое время были самыми мощными в мире. Мы первыми достигли Луны, Марса, Венеры. Построили на Кавказе крупнейший шестиметровый телескоп БТА (Большой телескоп азимутальный) по совершенно уникальной сложной схеме. Именно эта схема потом стала использоваться на всех крупных телескопах во всем мире.

— **Говорят, стоимость его была так велика, что на открытие президент АН СССР М.В. Келдыш произнес слова «Дорогие вы, мои астрономы» именно так, с запятой после «Дорогие вы». Значит, в самом прямом смысле.**

— Недавно в Чили Европейская южная обсерватория начала строить Европейский сверхкрупный телескоп с диаметром зеркала 39 м. Открытие запланировано на 2025 г., стоимость проекта приближается к 2 млрд евро, но, скорее всего, за время строительства вырастет до больших цифр. Наивно полагать, что он может материально окупились. Но люди, которые его задумали, строят, дают

на него финансы, понимают, что когда он войдет в строй, это повлечет глобальный гигантский научный прорыв. Они понимают, что в науку надо вкладываться, что это не только новые знания, но и новые возможности. Ведь при строительстве такого огромного и сложного аппарата неизбежно будут решаться многочисленные вопросы, создаваться технологии, которые потом будут востребованы в нашей обычной жизни.

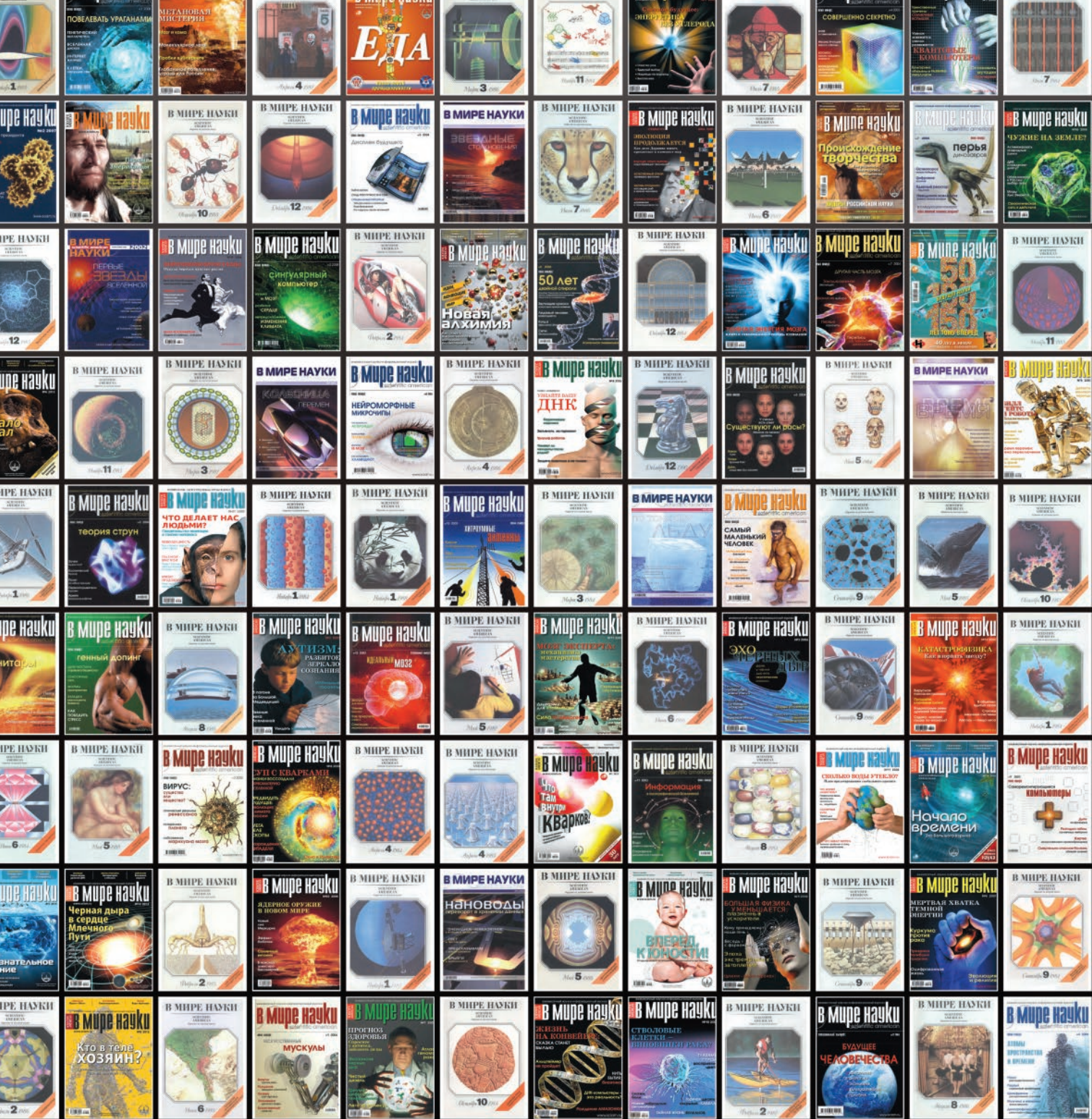
Кстати, России несколько раз предлагали войти в этот консорциум, Европейскую южную обсерваторию, не только принять участие в научных и технологических аспектах этого уникального телескопа, но и получить доступ к уже работающим установкам, которые сами по себе представляют вершину технической и научной мысли. Это дало бы колоссальный толчок развитию космических, астрономических исследований в нашей стране. Но, как говорится, воз и ныне там. А скоро нас могут вообще перестать ждать в таких глобальных, общемировых научных проектах.

— **Означает ли это, что мы потеряли руководителей-визионеров?**

— Нельзя сказать, что чиновники не понимают задач, стоящих перед российской наукой, многие искренне пытаются помочь. Но, к сожалению, не всегда эти люди облечены властью принимать решения. Кроме того, как уже говорилось выше, не всегда находятся соответствующие критерии как для выделения средств, так и для оценки результатов научной деятельности, проведенной на эти средства. Академия наук готова помочь нашим коллегам в поиске этих критериев, в том числе и взяв на себя достаточно сложную функцию — экспертизу всей научной деятельности в стране и прогнозирование перспективных направлений исследований. Хочется верить, что после всех этих передряг, реформ и т.д. в правительстве услышат ученых и пересмотрят свое отношение к науке и ее ценностям. А для этого должен поменяться сам статус академии наук. Сегодняшний статус не соответствует тем задачам, которые стоят перед нашей наукой. Например, в функциях академии отсутствует научная деятельность, что само по себе нонсенс! Кстати, по мнению профессоров РАН (по результатам опроса), изменение статуса академии наук — один из ключевых факторов повышения эффективности науки в России.

И напоследок как положительный момент отмечу результаты ответа еще на один вопрос: «Если бы вы сегодня начинали карьеру, выбрали бы вы профессию ученого?» Так вот, несмотря на непростое положение и сложности, о которых мы говорили, меньше 15% наших коллег ответили отрицательно. Значит, у нас все получится, российская наука вернет свою мощь. ■

Беседовал Валерий Чумаков



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала
«В мире науки» — на сайте издания
по адресу: www.sciam.ru

В мире науки
SCIENTIFIC AMERICAN

Теперь можно купить
и отдельные статьи



ПОВЕДЕНИЕ ЖИВОТНЫХ

КОГДА Ж



ЖИВОТНЫЕ ДЕРУТСЯ

A large brown deer with impressive antlers is shown in a field of tall grass. The deer is facing left, and its antlers are prominent. The background is a soft-focus field of grass.

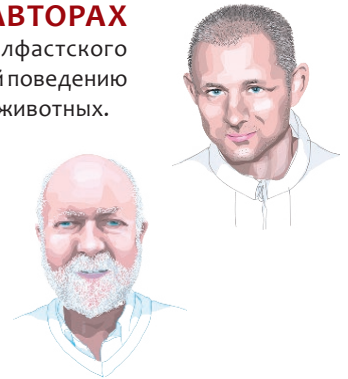
Принято считать, что способность оценивать боевые качества соперников свойственна едва ли не всем животным. Недавние исследования опровергают это представление

Гарет Арнотт и Роберт Элвуд

ОБ АВТОРАХ

Гарет Арнотт (Gareth Arnott) — старший преподаватель Белфастского королевского университета, читает курс лекций, посвященный поведению животных, изучает агонистическое (конфликтное) поведение животных.

Роберт Элвуд (Robert W. Elwood) — почетный профессор Белфастского королевского университета и бывший президент Ассоциации по изучению поведения животных.



В одной из сцен документального телесериала *BBC «Африка»* (2013) показан жираф, неспешно шагающий по горячему золотистому песку пустыни Калахари. «Перед нами молодой самец», — поясняет популярный английский ведущий-натуралист Дэвид Аттенборо. Под воинственную музыку саундтрека в стиле американских вестернов появившийся на экране зверь направляется к стоящему поодаль другому жирафу. «Старый самец не намерен терпеть присутствия соперника», — предупреждает ведущий, когда животные начинают задираТЬ друг друга. Толкаясь и пихаясь, соперники, похоже, меряются силами. Молодой самец вскоре решает, что у него есть все шансы на победу, и быстро атакует старого самца, со страшной силой обрушивая свою мощную шею на шею противника. «Разгорается настоящая схватка — кровопролитное сражение за территорию. Ставки в нем очень высоки, — комментирует Аттенборо. — Побужденное животное будет изгнано в пустыню».

Документальные фильмы о жизни природы изобилуют кадрами, показывающими агрессивные взаимодействия между животными. С учетом драматической напряженности подобных сцен особого удивления данный факт не вызывает. Но задумались ли вы когда-нибудь о том, какие процессы протекают в головах животных, решивших ввязаться в подобные столкновения? Нам посчастливилось посвятить значительную часть своей научной деятельности изучению этой увлекательной темы. Благодаря исследованиям мы узнали массу удивительных вещей о том, какие мысли и чувства обуревают животных во время драк.

Животные постоянно конкурируют между собой за жизненно важные ресурсы — территорию, пищу, партнеров и т.д. Иногда конкуренция протекает более или менее мягко и не причиняет им особого вреда. В других случаях столкновения принимают очень жесткий характер и заканчиваются тяжелыми травмами и даже гибелью участников. В конечном итоге драки приводят к перераспределению ресурсов и оказывают существенное влияние на репродуктивные возможности животных, следовательно, и на эволюцию. Особи, умеющие собирать информацию о сородичах, могут извлечь для себя значительную

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Долгое время ученые считали, что соперничая за ресурсы, животные оценивают боевые качества соперников и сопоставляют их с собственными, то есть обнаруживают способность к самооценке.
- Однако недавно проведенные исследования показали, что принимая решение, ввязаться ли в драку или отступить, многие виды используют иные стратегии. Большинство из них, похоже, прибегают при этом лишь к самооценке.
- Факторы, определяющие, какую из этих стратегий применяют животные, еще не изучены, но, по-видимому, ключевую роль здесь играют когнитивные способности: самооценка требует от животных более высокого интеллекта, чем другие тактические приемы.



Сиамские петушки, или бойцовые рыбки, проявляют по отношению к сородичам крайнюю агрессивность, а перед схваткой с соперниками скрупулезно оценивают их боевые качества

выгоду, избегая потенциально смертельных драк с более крупными и сильными противниками.

Люди оценивают боевые качества своих сородичей невероятно точно и быстро учатся не конфликтовать с соперниками, которым уступают размерами тела и силой. Лабораторные тесты показывают, что испытуемые способны с фантастической точностью судить о силе мужчин в результате беглого просмотра фотографий их торсов или лиц либо даже короткого прослушивания голосов. Такие суждения имеют совершенно спонтанный характер: испытуемые обоюбого пола выносят их менее чем за 50 мс! По мнению ученых, способность к точной оценке боевых качеств соперников сыграла важную роль в человеческой эволюции.

А насколько точно оценивают бойцовские качества противников животные? В документальных фильмах вроде упомянутого выше сериала, где в качестве комментатора выступает Дэвид Аттенборо, животные в этом отношении превозносятся на все лады. На самом же деле способность выносить такие суждения была обнаружена лишь у сравнительно немногих видов. Более того, как показывают наши собственные исследования, принимая решение о том, стоит ли затевать драку с соперником, многие животные используют разнородную информацию.

Демонстрация силы

Прежде чем ввязываться в драку, животные обычно демонстрируют различные паттерны ритуального поведения. Так, соперничая за самок в период гона, самцы оленей устраивают с помощью рева оглушительные «вокальные турниры» и «параллельные прогулки», когда соперники встают друг к другу боком и проходят в таком положении некоторое расстояние. Ученые обычно трактуют подобные формы поведения как средства, помогающие соперникам получить надлежащую информацию друг о друге. Если конфликт между животными разрешим благодаря таким «шоу», им нет нужды затевать драку, чреватую ранениями или даже гибелью. Гораздо лучше потратить силы на короткую демонстрацию, чтобы противник, почувствовавший себя более слабым, смог уйти восвояси целым и невредимым. Этот феномен, получивший название взаимооценки, составляет ключевое звено модели конфликтной ситуации в теории игр, предполагающей последовательную оценку действий оппонента.

Теория игр — один из разделов прикладной математики, первоначально разработанный экономистами для моделирования процессов принятия решений людьми. Но вскоре ею заинтересовались и биологи, которые быстро поняли, насколько

полезной она может оказаться для эволюционной биологии. Одними из первых ученых, применивших данный подход для изучения соперничества у животных, были Джон Смит (John Maynard Smith) и Джордж Прайс (George Price). Модель последовательной оценки предполагает, что если противники сильно различаются силой и «доблестью», то конфликты могут легко разрешаться с помощью одних лишь демонстраций, а драки возникают только в случаях значительного сходства между соперниками. Эскалация конфликта требует от животных затраты все больших сил, но при этом они получают все более точную информацию друг о друге, а потому противники продолжают проводить взаимооценку на всем протяжении столкновения. Согласно предсказаниям этой модели, чем больше разница между боевыми качествами соперников, тем короче будет драка. Долгие годы биологи и в самом деле прослеживали отрицательную корреляцию во время соперничества практически всех изученных видов. (О «боеспособности» животных ученые обычно судят по таким косвенным характеристикам, как размеры и масса тела.) В результате подобных исследований взаимооценка стала рассматриваться зоологами фактически как фундаментальная способность всех животных.

Но в стремлении «универсализировать» эту способность они явно переусердствовали, упустив из вида некоторые другие возможные истолкования агрессивных взаимодействий животных. Допустив, что соперничающие животные занимаются взаимооценкой, следует ожидать, что крупные особи, терпящие поражение («лузеры»), должны дольше противостоять в драках «победителям», чем их мелкие сородичи, потому что решение лузеров оставить поле боя отчасти определяется их собственными размерами или бойцовскими качествами. И если лузер собирает информацию о сопернике-победителе, он должен покидать поле сражения тем быстрее, чем крупнее его соперник. Несмотря на то что этот вопрос изучался лишь в немногочисленных работах, в некоторых исследованиях была выявлена предсказываемая моделью положительная корреляция между размерами лузеров и их стойкостью перед лицом неприятеля. Но обнаружилась и маленькая нестыковка: связь между размерами победителей и продолжительностью драки не отличалась от статистически случайной величины. А такой факт заставляет предполагать, что лузеры располагают информацией только о самих себе, но не о своих оппонентах. Либо эти животные не были способны собирать надлежащую информацию, либо ее сбор требовал от них слишком больших сил, либо они попросту предпочитали ею не пользоваться. В любом случае эти животные демонстрировали само-, а не взаимооценку.



Первые примеры самооценки были зарегистрированы в лаборатории одного из авторов настоящей статьи (Роберта Элвуда), когда в 1990 г. он и его сотрудники изучали бокоплавов — маленьких рачков, похожих на креветок. Соперничество за самок у самцов этих существ напоминает перетягивание каната: они буквально вырывают самок из «объятий» друг друга. Неудивительно, что крупные самцы, по наблюдениям ученых, добивались больших успехов и в «похищении» самок, и в противостоянии таким попыткам со стороны соперники. Тем не менее во время конфликтов противники, похоже, не прибегали к взаимной оценке боевых качеств: если в случае лузеров прослеживалась положительная корреляция между массой тела и продолжительностью драк, то в случае бокоплавов-победителей какая-либо связь между этими показателями отсутствовала.

Биологическое сообщество, однако, не придало обнаруженному факту особого значения, сочтя его «аномалией». Но затем были выявлены и другие примеры самооценки у животных — например, у европейского паука метеллины (*Metellina mengei*). Дерущиеся из-за самки самцы этого паука внезапно прекращают схватку и вытягивают вперед свои очень длинные передние ноги, словно меряясь их размерами. Со стороны может показаться, что соперники обмениваются какой-то информацией. Но и в этом случае размеры победителей не обнаруживают никакой связи с длительностью схватки, а это значит, что описанная демонстрация не оказывает какого-либо влияния на решения пауков. Самцы проводили не взаимо-, а самооценку.

Феномен самооценки, обнаруженный у пауков-кругопрядов, побудил зоолога Фила Тейлора (Phil Taylor) из Университета Маккуори в Сиднее связаться с Элвудом. В то время Тейлор работал над статьей о драках у одного из видов пауков-скакунок и сильно удивился, обнаружив, что и эти существа в большей степени склонны заниматься не взаимо-, а самооценкой. В результате ученые

2



Бойцовский клуб. Решая вопрос о вступлении в драку, домашние сверчки (*Acheta domesticus*) (1) используют кумулятивную оценку своих боевых качеств, а конская актиния (*Actinia equina*) (2) — самооценку. В схватках с сородичами нападающие раки-отшельники (*Pagurus bernhardus*) (3) прибегают к самооценке, а обороняющиеся животные — к взаимооценке.

решили провести совместное исследование и выяснить, почему животные предпочитают использовать именно такую тактику принятия решений.

Тейлор и Элвуд разработали компьютерную модель популяции, в которой животные во время соперничества прибегали лишь к самооценке, — лузеры не могли собирать информацию о победителях. Результаты эксперимента выявили отрицательную корреляцию между разницей в размерах тела и длительностью конфликтов: чем сильнее противники различались размерами, тем короче были схватки между ними. Но точно такую же связь предсказывает и анализ ситуации, предполагающей взаимооценку. Таким образом, если анализ учитывает разницу в размерах животных, может возникнуть впечатление, что полученные результаты свидетельствуют об использовании животными взаимооценки. Иными словами, подход, который биологи долгие годы практиковали при изучении соперничества у животных, может давать ложное представление об их оценочных способностях.

Проблему хорошо иллюстрирует изучение стебельчатоглазых мух — причудливых насекомых, у которых глаза сидят на кончиках торчащих по бокам головы длинных стебельков. Самцы постоянно конфликтуют из-за пищи и самок. В одном из ранних исследований, основанном на разнице в размерах глазных стебельков, было сделано заключение, что для определения победителя мухи сравнивают длину этих выростов. Позднее, однако, ученые провели повторный анализ исходных данных, по отдельности сопоставив длину стебельков у победителей и лузеров с длительностью

3



конфликтов. Такой подход однозначно показал, что, принимая решение о продолжении конфликта, лузеры используют информацию только о размерах собственных стебельков и не должны располагать какой-либо информацией о стебельках победителей, потому что этот фактор не оказывает никакого влияния на длительность конфликтов.

Положительная или незначительная корреляция между размерами победителей и длительностью конфликта в сочетании с положительной связью между размерами или боевыми качествами лузеров и продолжительностью конфликта указывает на то, что во время соперничества противники пользуются исключительно самооценкой: участники конфликтов решают, продолжать ли им схватку или же ретироваться только на основании информации о самих себе. Но выявление отрицательной связи между размерами победителей и длительностью конфликта отнюдь не означает, что лузеры собирают информацию о победителях. В этом случае может быть задействован еще один процесс принятия решений, получивший название кумулятивной (совокупной) оценки. Животные при этом могут причинять друг другу определенный ущерб, и для более мелких соперников он будет тем значительнее, чем больше разница в размерах противников. Когда этот ущерб достигает некоего критического порога, получившее его животное уступает. Каким бы «буквоедством» ни казалось такое разграничение двух форм суждений, между кумулятивной и взаимной оценками существует фундаментальное различие. Первая не предполагает какой-либо прямой оценки оппонента; конфликт разрешается только лишь после того, как ущерб, полученный одним из противников, достигает определенного порога. Напротив, взаимооценка не требует достижения такого порога; в этом случае решение о надлежащих действиях — продолжать борьбу или признать себя побежденным — животному сообщает информация, накопленная им о самом себе и его сопернике.

Несмотря на то что при использовании животными кумулятивной или последовательной оценки корреляция между размерами победителей и длительностью конфликта в обоих случаях имеет отрицательное значение, мы располагаем некоторыми инструментами, позволяющими распознать, к какому из этих двух способов принятия решений животные прибегают во время конкуренции.

Во-первых, можно устраивать экспериментальные конфликты между животными в лаборатории, подбирая для участия в них особей определенных размеров. Если противники используют кумулятивную оценку, более крупные потенциальные лезеры должны дольше оставаться на поле сражения, чем мелкие. В этом случае можно ожидать положительной корреляции между размерами животных и длительностью конфликтов. Напротив, если соперники используют последовательную оценку, то решение о продолжении конфликта выносится на основании относительной разницы в размерах и корреляция между средними размерами животных и продолжительностью конфликта будет отсутствовать.

Существование различных форм оценки поднимает любопытный вопрос: что определяет выбор животными той или иной стратегии принятия решений?

Во-вторых, определить, какой из двух стратегий принятия решений пользуются животные, можно по характеру обострения (эскалации) и затухания конфликтов. У животных, использующих кумулятивную оценку, фазы эскалации конфликта должны перемежаться с периодами, требующими меньшего расхода энергии. Напротив, у животных, использующих последовательную оценку, активность во время конфликта должна сопровождаться линейным возрастанием энергозатрат.

Решения, решения...

Открытие, что животные во время конфликтов используют различные формы оценки, а также разработка надежных протоколов исследований, позволяющих разграничивать эти стратегии, оживили интерес ученых к соперничеству у животных. В последнее десятилетие биологи изучали эту форму поведения у самых разных животных и описали множество видов, использующих во время конкуренции ту или иную из трех

основных стратегий принятия решений. Что любопытно, большинство из них прибегают при этом к самооценке.

Обнаружены биологами и виды, использующие комбинации различных подходов для принятия решений об инициации драки или, наоборот, об отступлении. Так, некоторые виды обитающих в мангровых болотах икромечущих карпозубых рыб («килли») ревностно конкурируют за территорию. Группа зоологов из Тайваньского государственного педагогического университета под руководством Юин Сюй (Yuying Hsu) установили, что у этих рыбок соперники принимают решение о вступлении в драку на основании предварительных демонстраций. Как установили ученые, на этом этапе конфликта чем крупнее соперник, тем с большей вероятностью его более мелкий оппонент покинет поле боя, не давая столкновению перерасти в настоящую драку. Столкновение же близких по размерам соперников обычно переходило в яростную схватку. Казалось, впрочем, что после начала драки противники переставали собирать какую-либо информацию друг о друге. Похоже, описанная стратегия представляет собой сочетание взаимной оценки и последующей самооценки.

Наши исследования раков-отшельников выявили еще одну форму принятия решений. В качестве жилища, защищающего мягкое брюшко, эти животные используют пустые раковины улиток. Любая попытка рака-отшельника отобрать подходящую раковину у сородича перерастает в ожесточенную драку. Мы обнаружили, что противники собирают различную информацию в зависимости от своей роли в конфликте. Нападающие животные, похоже, не получают какой-либо информации о раках, защищающих свое жилище, в то время как на поведение последних сильно влияет манера драки, навязываемая животными-агрессорами. Таким образом, во время поединка один соперник использует самооценку, а другой — взаимную оценку.

Существование различных форм оценки поднимает любопытный вопрос: что определяет выбор животными той или иной стратегии принятия решений? Один из возможных факторов — когнитивные способности живых существ. По мнению ряда специалистов, знание собственных возможностей не требует от животных особого интеллекта, зато способность сопоставлять собственные возможности с состоянием оппонента — гораздо более серьезный когнитивный вызов. Хотя это предположение требует тщательной проверки, в его пользу свидетельствует даже беглый обзор таксонов животного царства, представители которых сильно различаются когнитивными способностями. Так, например, примитивные морские животные актинии обладают просто устроенной нервной системой и, как показывает анализ их поведения, во время конфликтов используют

самооценку. Напротив, такие сложно устроенные животные, как каракатицы, снабженные затейливыми системами восприятия, пользуются при соперничестве взаимооценкой.

Учитывая такую закономерность, можно полагать, что млекопитающие (звери) — животные с крупным, хорошо развитым головным мозгом — также прибегают при соперничестве к взаимооценке. Но экспериментов, необходимых для распознавания различных тактик принятия решений, на представителях этой группы животных было проведено очень немного. Одно из наиболее хорошо изученных в этом отношении млекопитающих — домашняя свинья. Агрессию у свиней изучал один из авторов настоящей статьи (Гарет Арнотт) в совместном исследовании с Саймоном Тернером (Simon Turner) из Шотландского сельскохозяйственного колледжа и Айрин Кэмерлинк (Irene Camerlink) из Венского ветеринарного университета, проведенном с целью разработки мер по оздоровлению сельскохозяйственных животных. В группах свиней царят строгие иерархические отношения. Рутинная практика свиноводства — перегруппировка животных на разных этапах производственного цикла. Всякий раз после такой перегруппировки наступает период интенсивной агрессии, когда животные устанавливают новую систему иерархии. Повторяющиеся периоды агрессии представляют серьезную угрозу для здоровья животных.

Внимательнее присмотревшись к агрессивному поведению свиней, мы обнаружили, что во время конфликтов животные используют взаимооценку, но чтобы в совершенстве овладеть этим навыком, им требуется долгий предварительный опыт соперничества. Затем мы вознамерились выяснить, можно ли научить свиней соперничеству без «калечащих» эпизодов агрессии. Мы решили провести ряд экспериментов, манипулируя средой, окружающей животных в ранней жизни. Мы установили, что поросята, которым до отъема от самок было разрешено общаться с поросятами других выводков, впоследствии обнаруживали более развитые социальные навыки, что во взрослой жизни позволило им более быстро разрешать конфликты с незнакомыми сородичами. Наши результаты показывают, что простая социализация животных в раннем возрасте может служить эффективным методом, который позволит фермерам снизить уровень агрессии между взрослыми свиньями во время их перегруппировок.

Упоминания заслуживает и еще один аспект соперничества. Хотя уровень когнитивных способностей действительно помогает ученым распознать, какую из форм оценки используют животные при разрешении конфликтов, ее выбор зависит и от некоторых других факторов. Так, на выбор тактики принятия решений может влиять ценность

оспариваемого животными ресурса. Наглядный тому пример — раковина-жилище рака-отшельника. Во время схватки за этот объект нападающий рак, обычно обладающий более крупными размерами, приближается к раковине и захватывает ее клешнями; владелец раковины прячется в свое жилище. Затем агрессор принимается с силой наносить своим панцирем удары по раковине. Такая «бомбардировка» завершается либо выселением «домовладельца» из раковины, либо отступлением атакующего животного.

Мы обнаружили, что решая, с какой отдачей сил следует драться за раковину, раки-отшельники учитывают целый ряд факторов. Ключевой из них — относительные размеры раковины и животных: идеальной считается раковина сравнительно небольших размеров, перетаскивание которой на спине требует минимальных затрат энергии, но при этом достаточно просторная для того, чтобы в течение какого-то времени не препятствовать росту занявшего ее животного. Раки модифицируют свое поведение в зависимости от оценки собственной раковины и раковины противника. Если у нападающего животного раковина «плохая», а соперника — «хорошая», первый, скорее всего, начнет яростно атаковать противника и приложит все силы, чтобы завладеть его жилищем; если у обороняющегося животного раковина «неважная», оно окажет агрессору менее энергичное сопротивление.

Надеемся, что во время следующих просмотров документальных фильмов о жизни дикой природы вам станут понятнее мысли и чувства соперничающих животных. Ведь во многих случаях — как, например, в описанном в начале статьи столкновении жирафов — определить, действительно ли соперники «меряются силами», довольно затруднительно. Даже если такие сцены комментируют маститые телеведущие. ■

Перевод: А.В. Щеглов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Кинг Б. Скорбь кошатки // ВМН, № 5–6, 2019.
- Information Gathering and Decision Making about Resource Value in Animal Contests. Gareth Arnott and Robert W. Elwood in *Animal Behaviour*, Vol. 76, No. 3, pages 529–542; September 2008.
- Assessment of Fighting Ability in Animal Contests. Gareth Arnott and Robert W. Elwood in *Animal Behaviour*, Vol. 77, No. 5, pages 991–1004; May 2009.
- *Animal Contests*. Edited by Ian C.W. Hardy and Mark Briffa. Cambridge University Press, 2013.
- All by Myself? Meta-analysis of Animal Contests Shows Stronger Support for Self Than for Mutual Assessment Models. Nelson S. Pinto et al. in *Biological Reviews*. Опубликовано онлайн 27.03.2019.
- Видеозапись схватки раков-отшельников из лаборатории авторов: <https://youtu.be/dlhzzEObnRs>

ФИЗИКА

Здоровое безумие

Обычные ракеты не донесут нас до звезд. Некоторые ученые пытаются расширить границы физики, чтобы найти то, что сможет это сделать.

Сара Скоулс





ОБ АВТОРЕ

Сара Скоулс (Sarah Scoles) — независимый автор из Денвера, пишет о науке. Регулярно публикуется в журнале WIRED Science, внештатный редактор журнала Popular Science. Сара Скоулс — автор книги «Налаживание контакта: Джил Тартер и поиски внеземного разума» (*Making Contact: Jill Tarter and the Search for Extraterrestrial Intelligence*, 2017).



Когда Хайди Ферн (Heidi Fearn), физик-теоретик из Университета штата Калифорния в Фуллертоне, в 2012 г. вернулась из творческого отпуска, в лаборатории по соседству с ее кабинетом ее ожидал сюрприз: мужчина, пожилой человек по имени Джеймс Вудворд (James F. Woodward). Ферн уже слыхала о нем — тот был профессором истории науки и адъюнкт-профессором физики. Седые волосы, глаза, то и дело поглядывающие поверх очков, — он прекрасно подходил на эту роль. И все же Ферн подумала: «Какого черта этот малый делает в моей подсобке?»

Вудворд, как оказалось, перемещался по пространству-времени: незадолго до этого помещение его офиса в университете было передано вновь созданному Центру физики гравитационных волн и астрономии. Вот руководство университета и перевело его в это относительно тихое местечко.

Сначала Ферн рассматривала его как незваного гостя, но уже скоро изменила свою точку зрения. Вудворд исследовал тему на грани, далеко отстоящую от нормальной сферы исследований Ферн. Сама же она специализировалась на квантовой оптике, на проблеме того, как свет взаимодействует с материей, — намного более традиционное русло исследований, чем интересы Вудворда: гипотетическая конструкция двигателей для космических кораблей, настолько мощных (при условии, что они возможны), что теоретически они могли бы доставить людей к звездам.

Или что-то вроде этого, как он утверждал. Ферн, чья обритая голова и ироническая ухмылка говорили о глубоком скептицизме, была не настолько в этом уверена. «У меня были большие сомнения,

что то, чем он занимается, верно», — говорит она. Когда Ферн ежедневно проходила мимо, то, что она видела, скорее было похоже на лабораторную работу по курсу «Физика-101» (*вводный курс физики для студентов гуманитарных специальностей, сфокусированный на изучении основных физических понятий и их связи с повседневной жизнью. — Примеч. пер.*), нежели на футуристический двигатель. Установка Вудворда представляла собой прикрученные к столу весы с металлической коробочкой с одной стороны, идущих к ней и от нее проводов, и противовеса с другой. «Очень сильные гравитационные эффекты можно получить, просто надавив на вещество», — обещал ей Вудворд, а именно на то, что находится внутри металлической коробочки.

Он утверждал, что может индуцировать едва заметные сверхбыстрые изменения массы объекта, делая его легче, а затем тяжелее. А затем, перемещая его взад-вперед, за счет изменения массы он может создать силу тяги. Вудворд показал ей небольшие всплески на графике, в каждом

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Химические ракеты, а также ионные двигатели никогда не разгонят космический корабль до скорости, достаточной для того, чтобы достигнуть других солнечных систем в разумные сроки.
- NASA финансирует экзотическую технику силовых установок, которая, возможно, окажется бредом сумасшедшего, а возможно — откроет золотую жилу.
- Один из проектов — исследование так называемого эффекта Маха: идея использовать принцип инерции для получения тяги.



В своей общей лаборатории Джеймс Вудворд (слева) и Хайди Ферн (справа) ищут новое средство для космических путешествий

из которых отчетливо слышится рев двигателя. «Ну и бог с ним», — подумала Ферн. Но краем глаза она ежедневно посматривала на этот график. «Каждый раз, проходя мимо, я замечала, что всплески становятся все больше и больше», — рассказывает она. В конце концов Вудворд спросил ее, не желает ли она ему помочь.

У нее был бессрочный контракт, и ей нравился сериал «Звездный путь», поэтому ответом было: «Да, конечно». С тех пор, работая сообща, странная пара занялась разработкой проекта *MEGA* («Гравитационный двигатель на основе эффекта Маха»). И хотя гравитационный двигатель все еще на периферии официальной науки, он уже завоевал доверие. В трех других лабораториях наблюдали аналогичную тягу, используя похожие установки, а проект *MEGA* получил два самых привлекательных гранта от *NASA*.

Однако это не просто гранты. Они были получены от «самого космического» из подразделений агентства: Программы передовых инновационных идей (*NIAC*) *NASA*, финансирующей исследования, которые «позволят совершить гигантский шаг вперед, если окажутся верными». В 2017 и 2018 гг. перспективные двигательные установки — способные забросить большую массу в глубины космоса за меньшее время, используя меньше топлива, чем традиционные ракеты, — получили 20% субсидий. Это проекты от по-настоящему экзотических до просто эксцентричных, но все они отходят от традиционного пути и нацелены на что-нибудь новое.

На грани научной фантастики

Гранты «Программы передовых инновационных идей» имеют целью выправить ситуацию, характеризующуюся тем фактом, что с середины 1990-х гг. прогресс в реактивных двигателях практически остановился. В большинстве космических аппаратов используется химическое ракетное топливо, космическая версия бензина. В традиционных ракетах эти химические компоненты топлива соединяются и вступают в реакцию друг с другом, генерируя тепло и расширяясь. Создавая очень большое давление в полостях камеры сгорания, они с огромной скоростью вырываются из сопла двигателя, формируя реактивную тягу. Реактивная тяга — это просто использование силы в одном направлении, чтобы создать равную силу в прямо противоположном. Когда вы давите на стенку плавательного бассейна, именно сила реакции толкает вас назад.

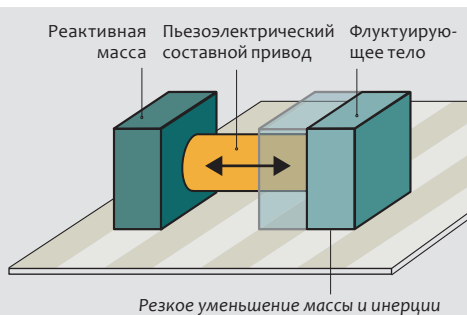
Однако ракетное топливо тяжелое и неэффективное. Чтобы получить действительно большую тягу, ракете-носителю потребовалось бы нести такое количество топлива, что она никогда не оторвалась бы от Земли. Для экспедиций в другие солнечные системы или даже для путешествий внутри нашей собственной Солнечной системы за более короткое время химическое топливо не годится. «В каждом из видов топлива запасено вполне определенное количество энергии», — говорит Джон Брофи (*John Brophy*) из Лаборатории реактивного движения *NASA*. Он возглавляет другой финансируемый *NIAC* проект, получивший

Тяга на эффекте Маха

Чтобы разогнать космический аппарат до скоростей больших, чем способны развить традиционные ракеты, ученые обратились к новым, порой экзотическим концепциям. Одно из предложений — использовать так называемый эффект Маха — идею, состоящую в том, что когда вы ускоряете объект, вы можете чуть-чуть изменять его массу, и эти флуктуации могут вызвать тягу (давление в одном направлении) без выброса ракетного топлива.

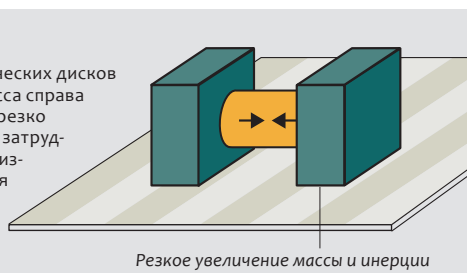
Шаг 1

Два имеющие массу тела отделены друг от друга стопкой пьезоэлектрических дисков, которые представляют собой не что иное, как керамику, расширяющуюся или сжимающуюся при приложении переменного тока к стопке. Когда стопка расширяется, тело справа становится легче. Его инерция уменьшается, позволяя ему легче передвинуться вперед.



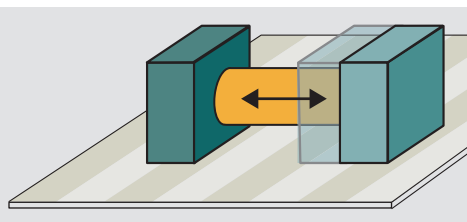
Шаг 2

Когда длина стопки пьезоэлектрических дисков уменьшается, флуктуирующая масса справа становится более массивной. Это резко увеличивает ее инерцию, немного затрудняя вытягивание ее назад. Тело неизменной массы слева подтягивается вперед сильнее, чем флуктуирующая масса откатывается назад, смещая центр масс вперед.



Шаг 3

По мере повторения этого цикла центр масс всей системы перемещается вперед и ускоряется.



название «Прорывная архитектура силовой установки для этапа, предшествующего пилотируемым межзвездным полетам». «Неважно, насколько вы изобретательны, насколько велико используемое вами сопло, [с помощью традиционных двигателей] вам не удастся решить эту проблему», — замечает Брофи.

В нескольких проектах по исследованию глубокого космоса, таких как экспедиция NASA к поясу астероидов «Утренняя заря», вместо химического используются электрические реактивные двигатели (в русскоязычной литературе они называются ионными двигателями. — Примеч. пер.). Обычно в таких системах электрическая энергия используется, чтобы разогнать до высокой скорости заряженные частицы, которые затем выстреливаются из ракеты со скоростью в 20 раз большей, чем традиционные виды топлива. Но и они тоже застряли в тупике. «Оказалось, что почти все электрические

маневровые реактивные двигатели, которые созданы, были изобретены еще в 1950–1960-х гг., — рассказывает Дэн Гебель (Dan M. Goebel), старший научный сотрудник Лаборатории реактивного движения. — Выглядит так, как будто с тех пор почти не появилось новых идей».

Зато NIAC нацелена исключительно на новые идеи. Эта программа функционирует как отвлечение венчурного капитала NASA, поддерживая разработку технологий, которые, может быть, намоют золотой песок. Это безумные идеи, по словам Джейсона Дерлета (Jason Derleth), одного из руководителей программы NIAC. «Говоря "безумный", я имею в виду нечто такое, о чем сейчас никто даже и не помышляет», — говорит Дерлет. Нечто такое, десятикратно лучшее, чем современная техника, врывающееся в исследуемую область, чтобы вытолкнуть из застойного статус-кво. На международном языке стартапов это называлось бы «прорыв».

В качестве примера Дерлет приводит работу Филипа Лубина (Philip Lubin) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре. Несколько лет назад Лубин предложил проект, получивший название *Starchip Enterprise* («Звездный чип Энтерпрайз», по аналогии с названи-

ем футуристического корабля *Starship Enterprise* из фантастического сериала «Звездный путь». — Примеч. пер.): крошечный спутник, снабженный «солнечным парусом» (новая итерация идеи, предшествовавшей проекту). С орбиты Земли мощные лазеры будут светить в сторону паруса. Когда они его достигнут, парус отразит свет, и его импульс будет толкать космический аппарат вперед. Программа NIAC предоставила Лубину гранты в 2015 и 2016 гг., и сейчас он работает с проектом в рамках программы *Breakthrough Initiatives* («Прорывные инициативы», финансируется российским бизнесменом, выпускником физфака МГУ Ю.Б. Мильнером. — Примеч. пер.), чтобы с помощью излучения лазеров послать световой парус к ближайшей звезде. Это сумасшествие в хорошем смысле, которое по душе NIAC. «Идея достаточно безумная, чтобы она сработала, — говорит Дерлет. — NIAC поддерживает исследования на грани

научной фантастики, но против того, чтобы ее пересекали». «Мы стараемся не пересекать», — добавляет он.

Но зазор между наукой и фантастикой незначителен при крайне низких значениях уровня технологической готовности (УТГ) — рейтинговой системы, которую в NASA используют, чтобы оценить, насколько инновация созрела. Солнечные панели на его марсоходе *InSight* получили УТГ9, и это значит, что они уже в космосе и работают. А вот NIAC ищет проекты с УТГ1, УТГ2 и иногда УТГ3 — проекты на начальной стадии, которые требуют дополнительного «высживания», прежде чем «пробить скорлупу» и выйти в реальный мир.

Ежегодно примерно 200 групп представляют в NIAC свои предложения для фазы I конкурса, и агентство одобряет из них всего лишь 15–18. Получив по \$125 тыс. за каждый одобренный проект, ученые имеют в своем распоряжении девять месяцев, чтобы «провернув работу на всю катушку, быстро понять, действительно ли то, что они предлагают, осуществимо», — говорит Дерлет. Если никакие факторы, препятствующие достижению результата, не всплывут на поверхность, ученые могут подать заявку на грант фазы II в размере \$500 тыс. «Написать такую заявку — одна из самых трудных задач, и такие заявки имеют самый низкий показатель успеха в аэрокосмической отрасли, — продолжает он. — Я полагаю, эти ребята — обычно лучшие из лучших».

Восемь из 47 проектов, финансировавшихся в минувшие два года, и три получивших одобрение проекта фазы II касались перспективных двигательных установок. Но NIAC играет по-крупному и делает ставки на каждый проект — в надежде, что по крайней мере некоторые из них представят нечто, способное направить развитие двигательных установок в новом направлении.

Принцип инерции

«Это не было исследованием, направляемым гением и внезапным озарением», — утверждал во время видеоконференции Вудворд в один из февральских дней. Он и Ферн сидят в кабинете, который стал их общей штаб-квартирой, где коробка с бумажными салфетками лежит рядом с парой кусочков. Пустой кабинет Ферн виден на экране монитора: металлические книжные стеллажи, соединенные между собой эластичными подвесками, висят, как корабельные сосны, на заднем плане. Совместно — поскольку Ферн заявляет, что проект принадлежит Вудворду, а Вудворд выражает свое несогласие с равной и противоположно направленной силой — они поясняют, как, возможно, будет работать MEGA. Все начинается с инерции.

Это простой принцип, который вы проверяете на себе ежедневно: свойство тел сохранять состояние движения в том направлении, в котором они

уже движутся, или оставаться неподвижными, если они неподвижны. Но у ученых нет убедительного объяснения, почему инерция имеет место. Просто это дано. В конце 1880-х гг. у австрийского физика Эрнста Маха зародились ростки идеи: инерция — это результат гравитационного влияния на тело всей материи во Вселенной.

Тогда все, что находится внутри двигателя космического аппарата, испытывает гравитационное притяжение со стороны расположенных по соседству тел, а также со стороны тех, которые удалены на расстояния в миллиарды световых лет. И масса объекта будет немного изменяться всякий раз, когда он ускоряется или замедляется относительно своего окружения. Примерно в то же время другие физики, включая Бенедикта Фридлиндера (Benedict Friedlaender) и Августа Феппла (August Föppl), высказывали аналогичные релятивистские идеи.

А назвал это «принципом Маха» Альберт Эйнштейн, прочтя ранние размышления Эрнста Маха на этот предмет. Более близкие к нам по времени физики — включая покойного Дональда Линден-Белла (Donald Lynden-Bell), который в 1969 г. первым предположил, что в центре нашей Галактики расположены сверхмассивные черные дыры, — также занимались работой в этом направлении. Идея эта еще в студенческие годы заинтриговала Линден-Белла, и его научный руководитель дал ему статью 1953 г. физика Денниса Сиамы (Dennis Sciama), который сформулировал наиболее полную версию идеи Маха. Именно работа Сиамы и вдохновила Вудворда. Хотя Линден-Белл сохранял интерес к этой идее на протяжении всей своей научной деятельности, она все же лежала на периферии его интересов; в своих исследованиях он придерживался философии, почти полностью противоположной философии Вудворда: «Вести будничную научную работу, непосредственно вытекающую из того, что уже известно, чтобы пролить свет на новые явления — вот основное занятие, — писал он в 2010 г. — Не следует тратить все наше время, двигаясь на ощупь в поисках решения сложнейших задач, которые могут оказаться вне наших возможностей».

Вудворд не согласен с этим, в большей степени следуя девизу «Играй по-крупному или проваливай». И поэтому он продолжил попытки применить принцип Маха к двигателям для космических кораблей. Инженер Марк Миллис (Marc Millis), который когда-то возглавлял в NASA Программу физики прорывных двигательных установок, видит здесь определенные перспективы. «В отличие от других заявок [маневровый двигатель на эффекте Маха] <...> уходит корнями в нерешенные проблемы физики», — говорит он.

Идея двигателя, основанного на принципе Маха, состоит вот в чем: деформируя объект, вы ускоряете внутренние части его структуры (представьте

MEGA, двигатель, основанный на эффекте Маха с использованием гравитационных сил, имеет целью продемонстрировать новую технику получения силы тяги



себе, как вы мнете бумажку, — когда вы сжимаете ее, вы перемещаете ее части). А когда вы ускоряете что-либо, вы изменяете его энергию. Если же вы изменяете его энергию (согласно соотношению Эйнштейна $E = mc^2$), вы изменяете его массу. А если вы изменяете его массу, вы влияете на его инерцию. А если вы занимаетесь инерцией, вы вторгаетесь в то, каким образом объект относится ко всей остальной Вселенной.

Что это означает с практической точки зрения, трудно сказать. Но Вудворд и Ферн пытались приземлить эти идеи. Внутри их звездного двигателя находятся прикрепленные друг к другу пьезоэлектрические диски — керамика, которая расширяется и сжимается (как кусочки бумаги сминаются и распрямляются) под воздействием электрического тока. Часть этого ускорения изменяет внутреннюю энергию дисков, масса которых в результате изменяется: они становятся тяжелее, легче, тяжелее, легче. Если вы растянете их, когда они легкие, и надавите на них, когда они тяжелые, вы получите тягу, не используя никакого топлива. «Представьте, что вы стоите на скейтборде с десятифунтовым кирпичом, прикрепленным к вам с помощью амортизирующего троса, — написал в попытке сделать все это немного понятнее бывший студент, руководителем которого был Вудворд, Том Мэхуд (Tom Mahood) на своем интернет-сайте в апреле 2012 г. — Если вы отбросите кирпич в сторону от себя, вы и скейтборд будете двигаться в одном направлении, а кирпич — в противоположном». Тяга! Это не совсем точная аналогия,

уточняет Вудворд, но он признался, что никогда не мог придумать физическую метафору, которая одновременно имела бы смысл и была абсолютно верна.

Это выглядит поверхностным объяснением, и часть физиков считают, что это нарушает закон сохранения импульса, но некоторые исследователи (а также Вудворд и Ферн) с этим не согласны. Тем не менее идея привлекла внимание Гэри Хадсона (Gary Hudson), президента калифорнийского Института космических исследований, когда-то возглавлявшегося знаменитым физиком-теоретиком Фрименом Дайсоном. В 2013 г. эта группа учредила Инициативу по экзотическим двигательным установкам, и первый грант достался Вудворду и Ферн.

Вскоре после этого Вудворд стал рассылать копии своей установки сотрудникам других лабораторий, чтобы те могли попытаться воспроизвести тягу. И Ферн, и Ланс Уильямс (Lance Williams), в то время научный работник федерально финансируемого научно-исследовательского центра *Aerospace Corporation* в калифорнийском Эль-Сегундо, предложили, чтобы Институт космических исследований провел симпозиум по перспективным двигательным установкам.

Поскольку Уильямс жил в Колорадо и знал, что это прекрасное место для того, чтобы окопаться, даже если все участники откажутся от их приглашений, группа обосновалась в Эстес-Парке осенью 2016 г., когда осины на крутых склонах гор окрасились в огненные красно-оранжевые цвета ракет (обычных). Девиз конференции — «Зарой топор

войны» — призывал к сотрудничеству между конкурирующими сторонами, и у симпозиума даже был официальный значок на лацкан: топор и лопата, скрещенные в виде буквы X.

Воспроизведение результатов

В первый день Хадсон стоял перед собравшейся толпой на фоне белоснежной доски и деревянных панелей. «В прошлом наша работа очень твердо опиралась на законы физики и техники, — сказал он, — и, конечно же, экзотические двигатели — весьма дискуссионный предмет». Но, продолжил он, эта проблема интриговала его уже с давних времен. Писатель-фантаст Артур Кларк сказал как-то ему, что если он хочет улететь далеко с этой планеты (и вернуться назад), то ему требуется одно: физик, который даст ему прямой ответ на вопрос «Что такое инерция?»

«Я запомнил эти слова, — продолжил Хадсон. — Первым из встреченных мною физиков, который дал мне прямой ответ, был Джим Вудворд».

По мере того как конференция продолжала свою работу, все больше казалось, что другие результаты — по крайней мере в определенной степени — поддерживали измерения Вудворда и Ферн. Они показывали тягу, создаваемую установкой MEGA, когда двигатель был включен, и отсутствие ее, когда он был выключен. На третий день перед слушателями предстал Нембо Булдрини (Nembo Buldrini) из австрийской машиностроительной компании FOTEC Research and Technology Transfer. Обычно он занимался оценкой эффективности ионных двигателей, но несколько лет назад Вудворд отправил ему устройство на эффекте Маха.

Булдрини развернул график, на котором были показаны его результаты, рядом с графиком Вудворда и Ферн. «Первое, что бросается в глаза, — форма кривой», — отметил он. И действительно, на обоих была видна впадина, когда прибор включался, тяга постоянной силы при включенном приборе, а затем пик смещения, когда он выключался. Цифры силы тяги разнились на порядок величины — возможно, как сказал Булдрини, это проблема калибровки, а может быть и нет. (Вудворд также отметил, что разница в балансировочном устройстве, вероятно, объясняет и разницу в величине силы.)

Две другие группы получили аналогичные результаты при использовании аналогичных схем для получения тяги. Мартин Таймар (Martin Tajmar) из Дрезденского технического университета получил лишь предварительные результаты, но Джордж Хэтэуэй (George Hathaway), инженер-электрик, который руководил собственной консалтинговой фирмой, получил больше данных. Во время своей презентации он стоял без обуви — только носки, усеянные раскрашенными во все цвета радуги портретами Эйнштейна.

Его лаборатория, как он сказал, провела свои измерения на антисейсмических испытательных стендах, чтобы гарантировать, что земная тряска не подпортила результаты, получаемые для путешествий вне Земли. И тяга подтвердилась.

После продемонстрированных на симпозиуме копий установки раннего этапа подразделение NIAC обратило на них внимание и выдало Вудворду и Ферн грант фазы I 2017 г. Это, конечно, не означает ни то, что определенно имеет место тяга, а не просто систематическая ошибка в измерениях, ни то, что, если она действительно есть, ее вызывает эффект Маха. В 2018 г. Таймар представил статью как часть своего проекта *SpaceDrive*, инициативы, задуманной с целью попытаться скопировать фантастический двигатель или же развенчать его окончательно. И, по сути дела, его исследования показали аномально высокую силу тяги, означающую, что эти всплески — вероятно, вовсе и не тяга, а либо ошибка, либо какое-то другое явление. На симпозиуме в Институте космических исследований в 2018 г. инженер-программист по имени Джейми Чемперлик (Jamie Ciomperlik) представил результаты моделирования, показывающего, каким образом колебания в системе могли бы маскироваться под силу тяги.

Более того, в мае 2019 г. Таймар опубликовал в Сети еще одну статью о *SpaceDrive*, и когда он исключил другие эффекты, которые могли маскироваться под силу тяги, никакой тяги не оставалось. «Наши результаты ставят под сомнение обоснованность заявлений о подлинности силы тяги, создаваемой в двигателе на эффекте Маха, — утверждает Таймар. — Но требуются дополнительные исследования, чтобы это надежно подтвердить». Его группа собирается представить новые данные в конце этого года, и Таймар говорит, что даже если тяга снова появится, он сомневается, что лежащая в ее основе теория верна.

Миллис склонен согласиться как с тем, что научные группы, по-видимому, ошибочно наблюдали положительные результаты, так и с тем, что даже если это и не так, то устройство не обязательно демонстрирует эффект Маха. В некотором смысле, однако, теория, которая объясняет эффект, не столь важна, как его фактическая демонстрация. Ланс Уильямс сказал в 2016 г. в ходе симпозиума, посвященного двигательным установкам: «Если вы заставите пушечное ядро висеть прямо перед нами, нам наплевать, какая теория стоит за этим явлением».

«Скептицизм и сомнения очень сильны, и единственный способ разрешить сомнения — представить неопровержимые доказательства», — убежден Миллис, который недавно провел три месяца в лаборатории Таймара в поисках этих доказательств. «Несмотря на то что эксперимент был повторен несколько раз, [тяги] все-таки может оказаться

обычным артефактом измерений, — продолжает он. — Опять же не исключено, что она окажется реально существующим новым явлением». Хотя научные споры продолжаются, результаты фазы I проекта *MEGA* так впечатлили *NASA*, что агентство в 2018 г. предоставило группе грант фазы II.

Лазеры, антиматерия и ядерные взрывы

Эксперимент Вудворда и Ферн — самый экзотический из получивших гранты *NIAC* в области силовых установок. И не все ученые, получившие финансирование со стороны *NIAC*, согласны с тем, что идти следует по пути «экзотики».

В проекте Брофи «Прорывная архитектура силовой установки для этапа, предшествующего пилютируемому межзвездным полетам» (*A Breakthrough Propulsion Architecture for Interstellar Precursor Missions*) вся надежда на лазеры. В некотором смысле аналогичные лазерам для светового паруса Лубина, лазеры Брофи будут светить с орбиты, направляя свой свет на панели, которые — как и панели солнечных элементов — превратят его в электроэнергию. Это электричество будет питать двигательную установку, до отказа заполненную литием. Высокое напряжение оторвет электроны от атомов лития, оставив им положительный заряд. Затем электрическое поле разгонит ионы и выбросит их наружу из кормы космического корабля. Брофи хочет заставить их лететь в 20 раз быстрее, чем система ионного двигателя космического зонда «Утренняя заря», разработку которого он возглавлял, — со скоростью примерно 200 км/с.

Но до конечной цели проекта все еще далеко, как до Луны. Его группа не уверена, что способна нацелить лазер достаточно точно или что сможет собрать такое большое количество лазеров в космосе, или изготовить светопреобразующие панели, которые генерируют необходимые 6 тыс. В. «Вот почему это безупречное во всех отношениях исследование *NIAC*, — говорит Брофи. — [Эксперименты *NIAC*] намеренно ведутся на грани возможного и невозможного».

Некоторые же пытаются вообще уйти с электрической траектории. Один из таких проектов *NIAC* нацелен на создание двигателя на антиматерии с помощью «охлаждения» позитронов, имеющих такую же массу, что и электроны, но несущих заряд противоположного знака. В своем

естественном состоянии эти частицы антивещества горячее, чем поверхность Солнца, что делает очень трудным их хранение и работу с ними. Но если их охладить, ими можно управлять, хранить их и, как предлагается в этом проекте, сталкивать с электронами. Образующееся в результате гамма-излучение будет питать реакцию синтеза, которая, собственно, и будет ускорять космический корабль.

Еще одна идея — сплести воедино пучок нейтронов и пучок лазерных фотонов таким образом, чтобы во время полета в космосе частицы в пучке не дифрагировали, а сам он не расширялся. Пучок нейтронов создаст узкий коридор для фотонов, отражая их, или искривит их путь, а электрическое

поле лазерного пучка «удержит» нейтроны. Предложившая проект группа утверждает, что пучок на основе 50-гигаваттного лазера, освещающий парус космического аппарата, сможет разогнать килограммовый зонд до такой скорости, что полет к ближайшей звездной системе займет 42 года.

И, конечно же, термояд. Роберт Адамс (Robert Adams) из Центра космических полетов им. Джорджа Маршалла *NASA* разработал проект для *NIAC*, названный «Импульсное

Когда Хайди Ферн ежедневно проходила мимо Джеймса Вудворда, то, что она видела, скорее походило на лабораторную работу по курсу физики для гуманитариев, нежели на футуристический двигатель

деление-синтез» (*Pulsed Fission-Fusion, PuFF*), которое объединяет две ядерные технологии. «Единственный способ поджечь реакцию синтеза, который на сегодня работает, — использовать пусковой механизм реакции деления», — говорит он. Другими словами, используя реакцию деления, которую проще инициировать, создать условия достаточно экстремальные, чтобы запустить реакцию синтеза. Но пусковой механизм реакции синтеза с помощью реакции деления очень похож на [водородную] бомбу, поэтому Адамс начал придумывать системы, которые нельзя будет использовать в своих целях криминалу, и случайно наткнулся на идею, называемую «зет-пинч» (или «зета-сжатие»). Если вы генерируете электрический ток в плазме (в нашем случае в плазме лития), вы можете использовать индуцированное им магнитное поле, чтобы сжать что-нибудь — в данном случае мишень из урана и смеси дейтерия и трития.

У сжатого урана критическая масса уменьшается, а энергия его деления разогревает дейтерий-тритиевую смесь достаточно, чтобы начался синтез. В результате реакции синтеза образуются

нейтроны, которые вызывают деления, что в свою очередь повышает температуру, а следовательно, и скорость реакции синтеза. Двухступенчатый взрыв имеет мощность в несколько килограммов тринитротолуола. Недостаточно для того, чтобы покончить с миром, — но достаточно, чтобы при их постоянной работе в нескольких параллельных соплах 25-тонный аппарат смог добраться до Марса за 37 дней (по сравнению с девятью месяцами, или около того, с помощью химического двигателя). В 2018 г. после подачи пятой заявки Адамс наконец получил грант фазы II.

Понять самую большую проблему Адамса можно на примере пирожного *Twinkie*. Попробуйте однородно сжать его — этот аналог мишени для двухступенчатой реакции. Не удастся! Пористый желтый батончик истечет светлым кремом, забрызгав все вокруг. В установке *PuFF* такая утечка означает распыление энергии, которое не оставляет вам достаточного ее количества, чтобы началась реакция синтеза. В прошлом эта проблема была для ученых камнем преткновения. «Из-за этого они сдались и пошли другой дорогой», — говорит он. Однако ни один из этих новых путей не привел к гигантскому скачку в конструкции двигателей для космических аппаратов.

Новое направление

Историческая параллель с проектом Адамса объясняет нам одну из причин, почему развитие двигателей застопорилось. С 1958 по 1964 г. военные и NASA истратили \$11 млн (\$93 млн в долларах сегодняшних) на программу, возглавляемую Фрименом Дайсоном, по разработке двигателя, использующего ядерную энергию и получившего название «Орион», очень похожего на *PuFF*. Девиз проекта? «Марс — к 1965 г., Сатурн — к 1970 г.». Он не был чисто военным, но в результате оказался слишком «взрывоопасным» для NASA, и поэтому обе организации отказались от своих обязательств. В конечном итоге он оказался под запретом, когда в 1963 г. США подписали Договор о запрещении ядерных испытаний, поставивший необходимые испытания вне закона. «Это первый раз в современной истории, когда крупный шаг в развитии техники был остановлен на полпути по политическим соображениям», — заявил Дайсон в то время.

Поэтому технические достоинства — не единственный фактор, определяющий, какая техника станет реальностью. Все, что мы запускаем в космос, рождается на Земле, где существуют законы, незарытые топоры войны, плохо понятая физика и неизвестные неизвестные, которыми было бы слишком рискованно загружать дорогостоящий космический корабль. Это лишь некоторые из факторов, ведущих к ставшей притчей во языцех инерции — тенденции продолжать использовать ту же самую технику и идти тем же самым

путем, которым мы шли. Но внешний толчок, который кардинально изменит направление развития в данной области исследований, может произойти в любой момент.

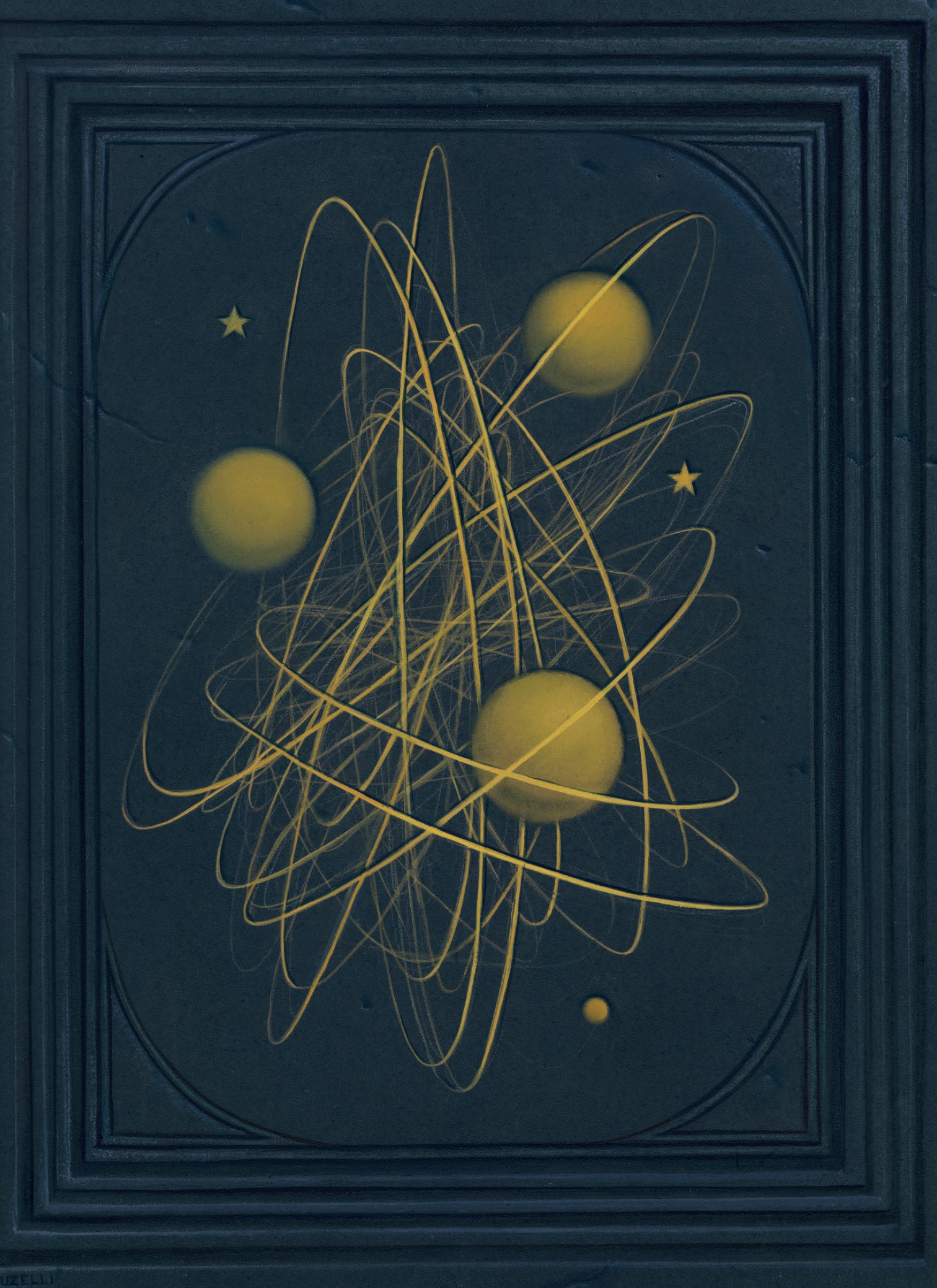
Жюри все еще отвергает проект *MEGA*, и его концепция по-прежнему далека от практического применения, если ее вообще когда-либо удастся реализовать. Нынешние устройства дают лишь небольшой толчок, измеряемый в микроニュтонах, — яблоко на кухонном столе испытывает на несколько порядков большую силу. А яблоко не собирается отправляться куда-нибудь в сторону Альфы Центавра. Но каждый толчок должен с чего-нибудь начинаться. Имея на руках грант фазы II, Ферн и Вудворд надеются увеличить силу тяги и запараллеливать несколько своих устройств так, чтобы они вместе произвели что-то пригодное для применения. А затем, используя средства, которые они надеются получить, они запустят мини-спутник, оборудованный мини-двигателем *MEGA*. С его помощью они попытаются изменить орбиту спутника, доказав тем самым, что эффект Маха работает в реальных условиях.

В этом году программа NIAC открыла новый этап финансирования — гранты фазы III в сумме \$2 млн. Два гранта 2019 г. достались проектам по добыче и поиску в космосе полезных ископаемых, чтобы способствовать исследованию Солнечной системы. В будущем, однако, те, кто раздает эти гранты, возможно, направят свой взор глубже в космос и дальше в будущее — на проекты вроде *MEGA*, при условии, конечно, что его результаты принесут желанное «золото». Но сначала, как говорит Ферн, «NASA удостоверится, что это не какая-то сомнительная штукавина, на которую два чудака из Южной Калифорнии продолжают тратить свое время». Важно убедиться, что это на самом деле здоровое сумасшествие. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Финкбайнер Э. К Альфе Центавра почти со скоростью света // ВМН, № 5–6, 2017.
- On the Origin of Inertia. D.W. Sciama in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 113, No. 1, pages 34–42; February 1, 1953. <https://doi.org/10.1093/mnras/113.1.34>
- Experimental Null Test of a Mach Effect Thruster. Heidi Fearn and James F. Woodward in Journal of Space Exploration, Vol. 2, No. 2, pages 98–105; 2013.
- Программа NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC): <https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/index.html>





МАТЕМАТИКА

Задача трех тел

Хотя математики знают, что им никогда не удастся до конца решить задачу, история которой насчитывает уже несколько столетий, попытка получить ответ на небольшую ее часть привела к интригующим открытиям

Ричард Монтгомери

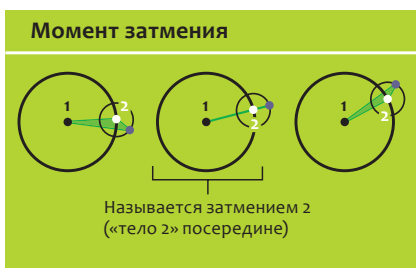
К весне 2014 г. я почти перестал заниматься задачей трех тел. В отсутствие каких-либо идей я занялся программированием на своем ноутбуке, чтобы получить и исследовать ее приближенные решения. Эти попытки никогда не позволят мне решить эту задачу до конца, но, возможно, они помогут собрать данные, ведущие к ответу. Отсутствие у меня опыта программирования и, как следствие этого, раздражительность замедляли работу, делая ее малоприятным занятием для математика вроде меня, основные инструменты которого — карандаш и бумага. Я разыскал своего старого друга Карлеса Симо (Carles Simó), профессора Барселонского университета, чтобы убедить его помочь мне в моих громоздких и неэффективных поисках.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Одна из самых старых неразрешимых задач в математике и физике называется задачей трех тел — это вопрос о том, как будут двигаться три тела, притягиваемые силами взаимной гравитации, если известны их текущие положения и скорости.
- Исаак Ньютон первым поставил эту задачу вместе с более простой задачей двух тел. Позднее в случае трех тел было найдено, что задача практически «неразрешима» — принципиально невозможно найти формулу, точно предсказывающую их орбиты.
- Математики тем не менее продолжили откалывать от нее небольшие куски, находя интересные решения для специальных случаев. Изучая задачу трех тел, ученые открыли новые захватывающие принципы математики.

Той осенью я отправился в Испанию, чтобы встретиться с Симо, у которого была репутация одного из самых изобретательных и дотошных аналитиков, использующих методы численного анализа в небесной механике. К тому же он прямой человек, который не тратит время впустую и не смягчает выражения. В мой первый день у него в кабинете после того, как я объяснил свой вопрос, он посмотрел на меня пронзительным взглядом и спросил: «Ричард, а почему тебя это волнует?»

Ответ на этот вопрос восходит к истории задачи трех тел. **Исаак Ньютон первым сформулировал и решил задачу двух тел**, когда в 1687 г. опубликовал свои «Принципы натуральной философии». Он задался вопросом: «Как будут двигаться в пространстве две массы, если единственная действующая на них сила — сила их взаимного гравитационного притяжения?» Ньютон свел вопрос к задаче по решению системы дифференциальных уравнений — уравнений, которые определяют будущее движение объекта исходя из его текущих местоположения и скорости. Он полностью решил свои уравнения для двух тел. Эти решения, называемые также орбитами, представляют собой движение тела по одному из конических сечений — окружности, эллипсу, параболе или гиперболе. Найдя все возможные орбиты, Ньютон вывел законы Кеплера, описывающие движение планет, — эмпирические законы, которые Кеплер опубликовал в 1609 г. и которые обобщили несколько десятилетий астрономических наблюдений, проведенных его покойным работодателем Тихо Браге. Первый закон Кеплера утверждает, что каждая планета (или комета) движется по коническому сечению с Солнцем, расположенным в его фокусе. В решениях Ньютона, однако, два тела — Солнце и планета — движутся по двум различным



сечениям. Оба эти сечения имеют общий фокус, представляющий собой центр масс двух тел. Солнце массивнее любой из планет настолько, что центр массы системы «Солнце — планета» расположен внутри самого Солнца, очень близко к его центру массы, так что центр массы

Солнца едва качается вокруг их общего центра по крошечной эллиптической орбите.

Возьмите вместо двух масс три — и получите задачу трех тел. Как и в предшествующем случае, их орбиты — решения системы дифференциальных уравнений. Однако в отличие от двух тел найти точные формулы для некоторых частных случаев трех тел можно, хотя и очень сложно, а вот в общем случае задача неразрешима. На сегодня, несмотря на суперкомпьютеры и многовековую работу лучших физиков и математиков, точные формулы получены лишь для пяти семейств орбит, **три из которых найдены Леонардом Эйлером (в 1767 г.) и два Жозефом Луи Лагранжем (в 1772 г.)**. В 1890 г. Анри Пуанкаре открыл хаотический характер динамики задачи трех тел, результат, который означает, что нам никогда не удастся найти все решения задачи с такой же или хотя бы приближающейся к ней степенью полноты, которой удалось добиться Ньютону при решении задачи двух тел. В то же время, используя метод, называемый численным интегрированием, эффективно реализуемый на компьютере, мы все же можем рассчитать приближенные конечные фрагменты орбит, что чрезвычайно важно при подготовке космических полетов. Увеличивая время расчетов на компьютере, можно получить приближения с любой необходимой нам точностью.

Затмения

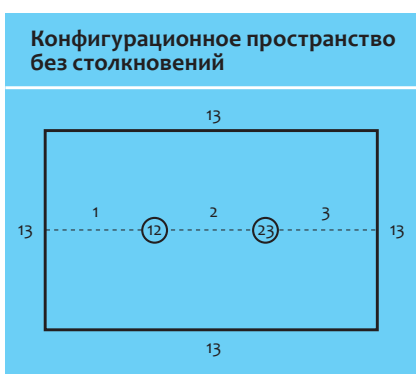
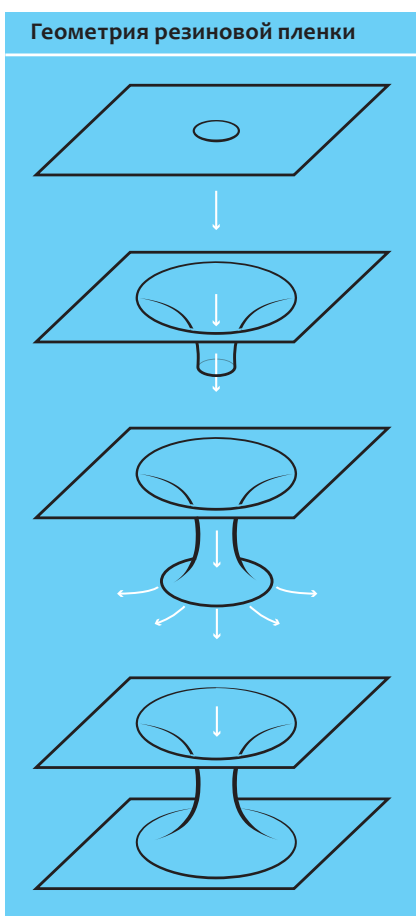
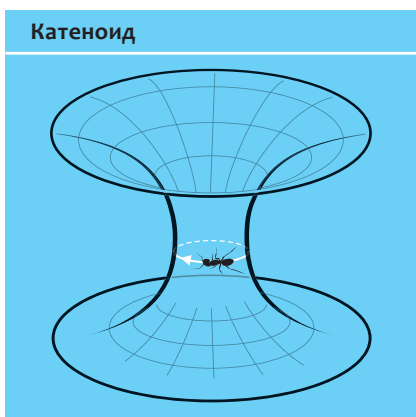
От слов Симо у меня перехватило дыхание. «Конечно же волнуется, — подумал я. — Я бился над этой задачей почти 20 лет!» Собственно, я занимался одним из интересующих меня частных вопросов этой задачи:

«Будет ли каждая последовательность периодических затмений какой-нибудь периодического решения планарной задачи трех тел?»

Illustrations by Nigel Hawtin

Позвольте объяснить. Представим себе три тела (пусть это будут звезды или планеты), которые движутся в одной плоскости, удерживая друг друга гравитацией. Пронумеруем эти тела как первое, второе и третье. **Время от времени все три они выстраиваются в одну прямую линию.** Назовем эти события затмениями. (В специальной литературе такое «затмение» называется «сизигия», никто не расколется это слово, если вы загадаете его, играя в «виселицу».) Запасем терпением и будем записывать каждое из затмений, присваивая ему числа один, два или три — в зависимости от того, какая из звезд находится в середине. Таким способом мы получим список затмений первого, второго и третьего типа, называемый последовательностью затмений.

Например, в несколько упрощенной версии нашей системы «Солнце — Земля — Луна» Луна (которой мы присвоим имя «тело 3») совершает оборот вокруг Земли («тело 2») каждый месяц, тогда как Земля совершает оборот вокруг Солнца («тело 1») один раз в год. Это движение повторяющееся, поэтому дает нам периодическую последовательность затмений, а именно: 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 3. В этой последовательности не встречается 1, поскольку Солнце никогда не располагается между Землей и Луной. Такой список за один год содержит 24 числа, так что 2 и 3 можно обнаружить в каждом из 12 месяцев года. Нет никаких причин, чтобы последовательность затмений для какого-либо из решений была повторяющейся. Она могла бы продолжаться бесконечно, не выказывая явной картины. Однако если спустя какой-то промежуток времени решение в точности повторяется, как в системе «Земля — Луна — Солнце» через год, то эта последовательность повторяющаяся: все те же 24 числа системы «Земля — Луна — Солнце»



всплывают каждый год. Поэтому возвращаемся к моему вопросу: будет ли каждая периодическая последовательность затмений какой-нибудь периодического решения планарной задачи трех тел? Я подозревал, что ответом будет «да», но не мог этого доказать.

Дырявые объекты

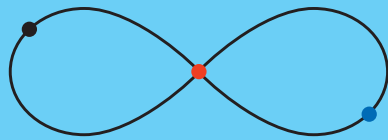
Чтобы обосновать важность моего вопроса, я напомнил Симо основные положения, связывающие вместе три ветви математики: топологию, иногда называемую «резиновой геометрией», Риманову геометрию — теорию искривленных поверхностей, и динамику — теорию движения тел. **Представьте себе жука, ползущего вдоль искривленной поверхности, по форме напоминающей «кротовую нору» (пространственно-временной туннель в гипотетической модели Вселенной. — Примеч. пер.), называемую также «катеноид».** Задача жука — найти самый короткий путь однократного обхода дыры. С точки зрения топологии поверхность кротовой норы — то же, что и плоскость с осями x и y , в которой проколото одно отверстие. **В самом деле, представьте отверстие, проколотое в эластичном резиновом листе. Потянув за края листа у отверстия вниз, а затем растянув наружу, вы можете получить поверхность кротовой норы.** Если раструб получился достаточно большой, то не просто существует самый короткий путь обхода, он к тому же удовлетворяет дифференциальному уравнению, очень похожему на уравнения движения трех тел. Таким путем наш жук нашел периодическое решение интересующего нас дифференциального уравнения.

В задаче трех тел роль кротовой норы играет нечто, называемое конфигурационным пространством, — пространство, каждая точка которого задает местоположение всех трех тел

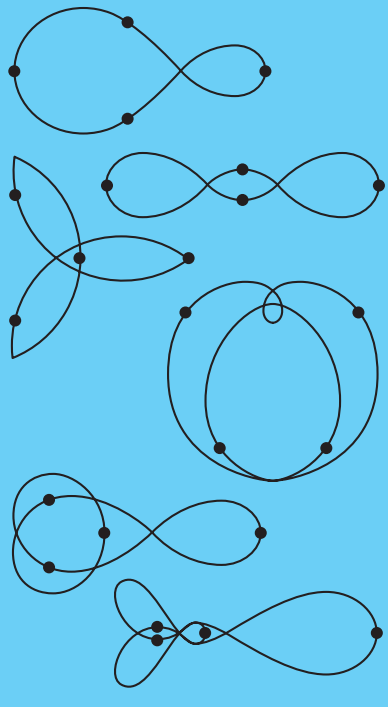
в данный момент, и таким образом кривая в конфигурационном пространстве строго определяет движение каждого из трех тел. Настояв на том, чтобы наши тела не сталкивались друг с другом, мы проделаем дырки в этом конфигурационном пространстве. Как мы увидим, с точки зрения топологии или резиновой геометрии **конфигурационное пространство, в котором нет столкновений, — это то же самое, что и плоскость, натянутая на оси x и y , с двумя проколами в ней дырками**. Мы назовем эти проколы «12», подразумевая под этим столкновения тел 1 и 2, и «23», обозначая столкновение тел 2 и 3, а также расположим их на оси x . Третью же дырку, которая представляет собой столкновение тел 1 и 3, мы расположим на бесконечности и назовем ее «13». Эти три прокола разбивают ось x на три сегмента, обозначенные 1, 2 и 3. Любая кривая в этой плоскости с двумя проколами представляет собой движение всех трех тел — иначе говоря, это потенциальное решение задачи трех тел. Когда кривая проходит через сегмент 1, это означает затмение типа 1, и аналогичное верно для пересечения сегмента 2 или 3. Таким образом последовательность затмений предоставляет способ обходить наши точки столкновений.

Теперь наш жук пытается минимизировать длину своего пути, когда он однократно обходит кротовую нору. Чтобы добиться корректной аналогии между проблемой жука и задачей трех тел, мы должны длину пути заменить величиной, называемой действием на этом пути. (Действие — это что-то вроде среднего от мгновенного значения кинетической энергии минус потенциальная энергия вдоль пути.) Теорема из механики, возраст которой — уже несколько столетий, утверждает, что любая кривая в конфигурационном пространстве, которая минимизирует действие, должна

Решение в виде восьмерки



Новые орбиты



быть решением ньютоновской задачи трех тел. Таким образом, мы можем попытаться решить нашу задачу о последовательности затмений, найдя среди всех возможных замкнутых путей, дающих фиксированную последовательность затмений, такие замкнутые пути, которые минимизируют действие.

Эта стратегия — поиск способа минимизировать действие в конфигурационном пространстве для петель с данной последовательностью затмений — поглощала все мое внимание на протяжении большей части из 17 лет и привела ко многим интересным результатам. Например, в 2000 г. Ален Шансине (Alain Chenciner) из Университета Париж VII им. Дени Дидро и я заново открыли то, что, по-видимому,

было первым известным периодическим решением задачи трех тел с нулевым моментом импульса. **Это было решение в форме восьмерки**, впервые найденное в 1993 г. Крисом Муром (Chris Moore) из Института Санта-Фе. В данном случае три тела равной массы гонялись друг за другом по траектории в форме плоской восьмерки. Последовательность их затмений была 123123, повторяющаяся бесконечно. Наша работа сделала популярной фигуру в виде восьмерки и дала строгое доказательство ее существования. Это также привело к взрыву открытий **множества новых орбит для тел равных масс для задачи N тел, орбит, которые Симо**, открывший сотни этих новых семейств орбит, окрестил «танцами». Наша орбита в форме восьмерки привела даже к созданию ставшего бестселлером научно-фантастического романа китайского писателя Лю Цысиня под названием «Задача трех тел».

На следующий день после того, как я поделился своими соображениями с Симо, он произнес нечто такое, что глубоко запало мне в душу. «Ричард, если все то, что ты думаешь по поводу своего вопроса, верно, то должен существовать некий динамический механизм». Другими словами, если я был прав в том, что ответ на мой вопрос положительный, то должно было быть нечто, управляющее движением этих тел, что заставляет их вести себя так.

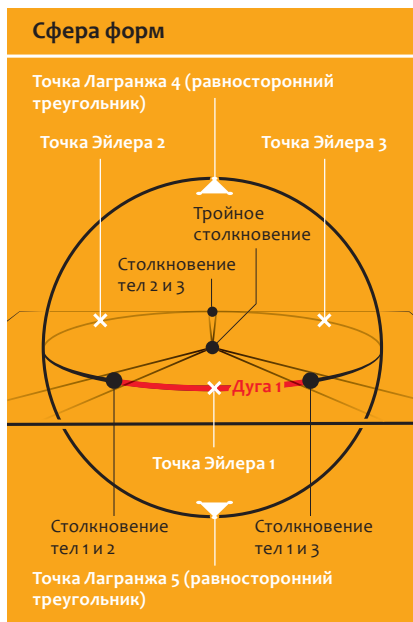
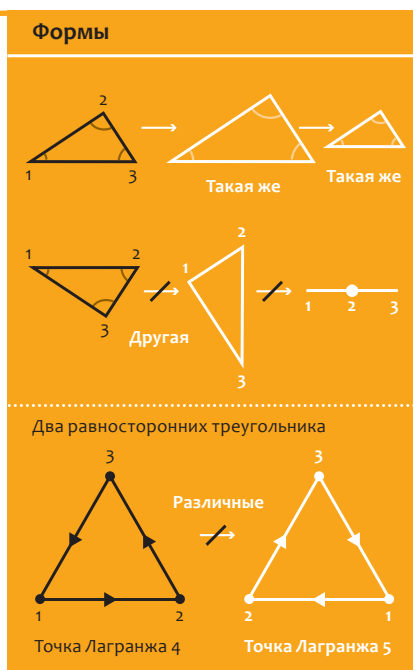
Эти несколько слов поставили под вопрос мои убеждения и привели меня к отказу от продолжения 17-летних попыток получить ответ на мой вопрос с помощью нахождения минимума действия вдоль различных путей. Я задавался вопросом, какой динамический механизм в этой задаче я все же понимал. Я мог вспомнить два, из которых лишь один позволял на что-то надеяться. Этот открытый Пуанкаре механизм, относящийся к теории хаоса, заставил меня поразмыслить

над старой работой моего нынешнего соавтора Рика Меккеля (Rick Moeckel) из Миннесотского университета. В 1980-х гг. мы показали, как кривые, называемые гиперболическими сплетениями, порожденные тройными столкновениями в задаче трех тел, могут привести к поразительным результатам. Когда я перечитывал его старые статьи, мне казалось, что у Меккеля есть ключи к моей проблеме. Я связался с ним, и уже через нескольких дней мы с Меккелем совместно ответили на мой вопрос! Ну, почти что. Мы ответили на вопрос, бесконечно близкий ему.

Сфера форм

Понимание динамического механизма Меккеля наряду с соотношением, связывающим конфигурационное пространство трех тел и плоскость с двумя дырками, описанную выше, требует рассмотрения объекта, называемого сферой формы. Когда три тела движутся в плоскости, в каждый момент они образуют три вершины треугольника. Вместо того чтобы продолжать отслеживать положение каждой из вершин, давайте проследим лишь форму треугольника. В результате получим кривую на сфере форм, сфере, каждая из точек которой представляет собой определенную «форму» треугольника.

Что такое «форма»? Две фигуры на плоскости имеют **одинаковую форму**, если мы можем превратить одну из фигур в другую, перемещая ее параллельно, вращая и изменяя масштаб. Операция по переходу от обычного конфигурационного пространства, то есть от знания местоположения всех трех вершин треугольника, к точке на сфере форм, — это процесс потери, а именно потери информации о размере его центра масс и ориентации треугольника на плоскости. То, что сфера — двумерный объект, легко понять из школьной



геометрии: мы знаем форму треугольника, если знаем величину каждого из его трех углов, но поскольку сумма трех углов всегда равна 180° , на самом деле нам нужно знать два из трех углов — следовательно, для описания формы треугольника достаточно двух чисел. То, что сфера форм — это действительно сфера, понять труднее, и для этого необходимо, чтобы мы позволили треугольникам вырождаться, что означает, что мы позволим «треугольникам», все три вершины которых лежат на одной прямой, также называться треугольниками. Эти так называемые вырожденные треугольники, площадь которых равна нулю, образуют экватор сферы форм: все они — затмения!

Площадь треугольника, деленная на его размер (r) в квадрате, — это его расстояние до экватора. Северный и южный полюса сферы представляют треугольники с максимально возможной площадью, и это две формы равносторонних треугольников. Но почему существуют две формы равносторонних треугольников? **Эти две формы равносторонних треугольников отличаются циклической последовательностью своих вершин.** Невозможно превратить один из этих треугольников в другой на плоскости с помощью вращения или изменения масштабов: они разной формы. Однако операция симметрии относительно прямой (любой прямой) на плоскости превращает один равносторонний треугольник в другой. Эта операция симметрии действует на все треугольники, а значит, и на саму сферу, где она действует при симметрии относительно экватора, сохраняя точки на самом экваторе (вырожденные треугольники) неподвижными при взаимной смене положения северного и южного полушарий.

Случай вырожденных треугольников включает двойные столкновения: такие

«треугольники», в которых две из трех вершин лежат одна на другой. Существуют ровно три таких треугольника с двойным столкновением, обозначенные «12», «23» и «13», в соответствии с тем, какие две вершины лежат друг на друге.

Теперь я могу объяснить, как сфера форм показывает нам, что конфигурационное пространство трех тел топологически эквивалентно обычной плоскости с осями x и y минус две точки. Мы должны знать, что сфера минус одна точка — топологически один и тот же объект, что и обычная плоскость. Один из способов проверить этот факт о сфере — воспользоваться стереографической проекцией, которая отображает сферу с одной изъятой точкой (источником света) на обычную плоскость с осями x и y . По мере того как точка на сфере приближается к источнику света, ее изображение на плоскости $x-y$ сдвигается к бесконечности, поэтому мы можем также сказать, что плоскость с добавленной точкой на бесконечности топологически эквивалентна сфере. Перенесите источник света в точку двойного столкновения 13. Сориентируйте сферу таким образом, чтобы экваториальная плоскость пересекала ось x плоскости $x-y$. Тогда стереографическая проекция отобразит экватор вырожденных треугольников на ось x этой плоскости, и другие точки двойного столкновения отобразятся двумя точками на этой оси $x-y$. Таким образом, мы приходим к картине, точно описанной ранее.

Три точки двойных столкновений образуют три особые точки на сфере форм. Помимо этих трех, на сфере форм существуют дополнительные особые точки, называемые центральными конфигурациями. Эти пять центральных конфигураций соответствуют пяти семействам решений, полученных Эйлером и Лагранжем. Их решения — единственные решения задачи



трех тел для случая, когда форма треугольника не изменяется при его эволюции! В решениях Лагранжа треугольник остается равносторонним в каждый момент времени; как мы видели, существуют две конфигурации и они совпадают с северным и южным полюсами сферы форм. Мы называем их «точка Лагранжа 4» и «точка Лагранжа 5». Остальные три конфигурации — конфигурации Эйлера, называемые «точка Эйлера 1», «точка Эйлера 2» и «точка Эйлера 3». Это коллинеарные (лежат на одной прямой), вырожденные конфигурации, поэтому они расположены на экваторе сферы форм. Они находятся на экваторе между тремя точками двойных столкновений. (Их расположение на экваторе зависит от соотношения масс трех тел.) Точка Эйлера 1, например, лежит на дуге экватора, помеченной 1, поэтому коллинеарна форме, в которой тело 1 лежит между телами 2 и 3. (Часто все пять точек центральной конфигурации называют точками Лагранжа, а точки Эйлера при этом обозначают как $L1$, $L2$ и $L3$.)

Что такое решения центральной конфигурации, можно понять, освободив три тела, — я имею в виду, дать возможность трем телам двигаться из состояния, в котором у них нет

начальной скорости. Обычно, когда проделываешь это, начинают происходить всякие сумасшедшие вещи: близкие двойные столкновения, дикие танцы и, возможно, даже бегство одного из тел в бесконечность. Но если освободить три тела, когда они находятся в одной из пяти форм центральной конфигурации, то образованный ими треугольник просто сожмется в точку, оставаясь строго той формы, которая была у них с самого начала, все эти три массы будут притягивать друг друга, сохраняя форму образованного ими треугольника, пока решение не закончится одновременным тройным столкновением.

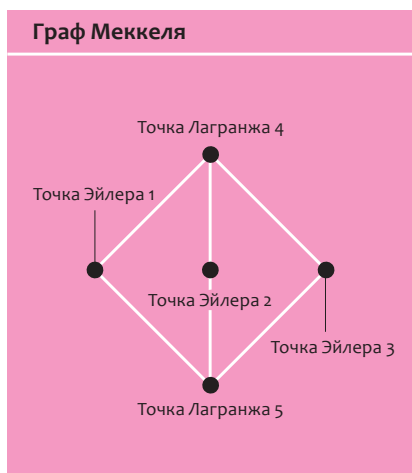
Пять путей к тройному столкновению

Тройное столкновение — важная особенность в задаче трех тел, что-то вроде Большого взрыва в центре задачи, и источник значительной части ее хаоса и трудностей. В начале 1900-х гг. финский математик Карл Зундман (Karl Sundman) доказал, что пять центральных конфигураций, представленные только что описанными решениями для получивших свободу тел, — единственный путь к тройному столкновению. А это означает, что любое решение, заканчивающееся тройным столкновением, должно приближаться к нему способом, очень близким к одной из пяти центральных конфигураций освобожденных тел, и по мере того как оно все более приближается к тройному столкновению, форма решения должна приближаться к форме одной из пяти центральных конфигураций.

Работа Зундмана представляла собой нетривиальное сочетание методов алгебры и анализа. Затем, в том году, когда я окончил среднюю школу (не имея ни малейшего представления о задаче трех тел), американский математик Ричард Макги (Richard McGehee) придумал свой так

называемый метод увеличения, который позволил нам наглядно представить работу Зундмана и гораздо более детально изучать динамику состояний, близких к тройному столкновению. Пусть r обозначает расстояние до тройного столкновения — мера, определяющая размеры треугольника. Когда r приближается к нулю, уравнения Ньютона начинают очень плохо себя вести, многие их члены устремляются в бесконечность. Макги нашел преобразование переменных конфигурационного пространства и времени, которое замедляет скорость приближения к тройному столкновению и превращает точку тройного столкновения, для которой $r = 0$, в целый набор точек: многообразие точек столкновения. Большая неожиданность! Многообразие точек столкновения — это не что иное, как сфера форм. Метод Макги продлил уравнения Ньютона, первоначально справедливые только для r больших нуля, на систему дифференциальных уравнений, которые приобретают смысл при $r = 0$.

Уравнения Ньютона не допускают точек равновесия, а это означает, что не существует равновесных конфигураций из трех тел: три звезды, каждая из которых притягивает две другие, не могут просто так, не двигаясь, находиться в пространстве. Но когда уравнения Ньютона расширяются до многообразия столкновений, появляются точки равновесия. Существует ровно десять таких точек, по паре для каждой из пяти точек центральной конфигурации на сфере форм. Один элемент пары представляет собой конечный результат соответствующей конфигурации освобожденных тел, когда они приближаются к точке тройного столкновения. Уравнения Ньютона остаются теми же самыми, даже если мы направим время в обратную сторону, поэтому мы можем прокрутить любое решение в обратную



Не существует равновесных конфигураций из трех тел: три звезды, каждая из которых притягивает две другие, не могут просто так, не двигаясь, находиться в пространстве

сторону и получить еще одно решение. Когда мы направляем в обратную сторону решение для освобожденных тел центральной конфигурации, мы получаем решение, которое «взрывается» из тройного столкновения, достигая своего максимального размера в конфигурации только что освобожденных тел. Другой элемент пары представляет собой исходную начальную точку этого «взрывного» решения. Вместе эти два решения центральной конфигурации — столкновение и извержение — хорошо сочетаются друг с другом и дают единственное решение: извержение-столкновение, растущее

из равновесной точки извержения, в которой $r = 0$, входит в область, где r больше нуля, где достигает своего максимального размера, а затем снова сжимается в конечную равновесную точку столкновения на многообразии тройных столкновений. Это полное решение связывает один элемент равновесной пары с другим.

Создав эти точки равновесия, связанные с центральными конфигурациями и запрятанные глубоко внутри задачи трех тел, Макги вручил Меккелю ключ, который позволил тому применить только что полученные результаты из теории динамических систем — результаты, неизвестные Ньютону, Лагранжу или Зундману, — чтобы получить некоторый прогресс в задаче трех тел.

Прогулка Меккеля

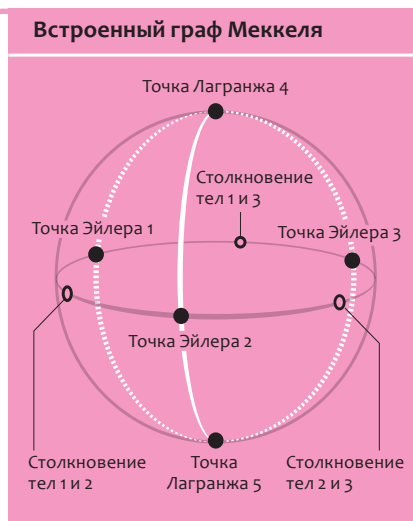
В статьях Меккеля я увидел рисунок, на котором была изображен граф с пятью вершинами, обозначенными каждая одной из центральных конфигураций и соединенными друг с другом отрезками.

Обойти вершины графа по кругу можно, перемещаясь от вершины к вершине по отрезкам прямых. Меккель доказал, что любой из возможных обходов по линиям его фигуры соответствует одному из решений задачи трех тел, которое на протяжении некоторого времени приближается к решению центральной конфигурации, обозначенной соответственной вершиной. Например, путь $E1 L4 E2 L5$ соответствует решению, очень близкому к решению Эйлера «извержение-столкновение, связанное с точкой Эйлера 1», затем приближается к тройному столкновению почти рядом с решением Лагранжа $L4$ центрального столкновения, но прежде чем произойдет тройное столкновение, все три тела вылетают по одному из пяти «путей» в непосредственной близости от точки 2 Эйлера решения центральной

конфигурации. Затем, наконец, когда это решение Эйлера снова сожмется, приближаясь к тройному столкновению, это решение растянется в лагранжевский равносторонний треугольник $L5$. Более того, если мы повторим этот же самый обход, сделав его периодическим, решения, возникающие в результате него, тоже будут периодическими.

Вскоре после того как Симо указал мне, что должен существовать динамический механизм, я понял, что **граф Меккеля хорошо встраивается в сферу формы**. Что важно, этот встроенный граф несет в себе всю топологию сферы с ее тремя дырами двойных столкновений. В самом деле, мы можем деформировать проколотую в трех местах сферу в граф и, проделав это, превратить любую петлю в проткнутую сферу, чтобы прогуляться по графу. Чтобы увидеть эту деформацию, представьте себе сферу как поверхность воздушного шарика. Прокोलите в нем булавкой три отверстия, по одному в каждой дырке двойного столкновения. Воздушный шарик сделан из очень эластичного материала, поэтому мы можем расширить три наших прокола, увеличить их до такого размера, чтобы края всех трех дырок почти касались друг друга и оставшийся материал образовал ленту, плотно сжимающуюся около встроенного графа. В ходе такой деформации любая замкнутая петля на сфере, проткнутой в трех точках, деформируется в замкнутую петлю этой состоящей из полосок структуры — и отсюда в замкнутый путь по встроенному графу Меккеля.

Чтобы превратить эту картинку в теорему о решениях системы уравнений, мне требовалось доказать, что если я проецирую решения, гарантируемые теоремой Меккеля, на сферу форм, то они никогда не отклонятся далеко от этого встроенного графа. Если бы это все же произошло, они могли бы извиваться



вокруг точек двойных столкновений или даже пройти через одну из них, разрушая или добавляя некоторые топологически важные петли и меняя таким образом последовательность затмений. Я отправил Меккелю по электронной почте сообщение с просьбой о помощи. Он ответил: «Вы что, хотите заставить меня перечитывать статьи, которые я написал 20 лет назад?» Тем не менее он снова окунулся в свои старые исследования и доказал, что проекции решений, которые он символически закодировал много лет назад, никогда далеко не отклонялись от встроенного графа. Я получил ответ на свой вопрос — вернее, почти получил.

Чтобы доказательство заработало, Меккелю требовался крошечный момент импульса. (Момент импульса в нашем контексте — это мера суммарного количества «вращения» системы, и он представляет собой постоянную величину для каждого решения.) Но на протяжении всех этих 17 лет до нашего с Симо разговора я настаивал на решениях, в которых момент количества движения был равен нулю. Это настойчивое требование возникло из-за того, что решения, минимизирующие действие вдоль всех возможных путей, имеющих данную последовательность затмений, должны иметь

нулевой момент импульса. С другой стороны, Меккелю требовался небольшой момент импульса, чтобы получить решения, проходящие по сторонам его графа. Символ, обозначающий очень малую положительную величину в математическом анализе, — эпсилон. Нам был необходим эпсилон момента импульса.

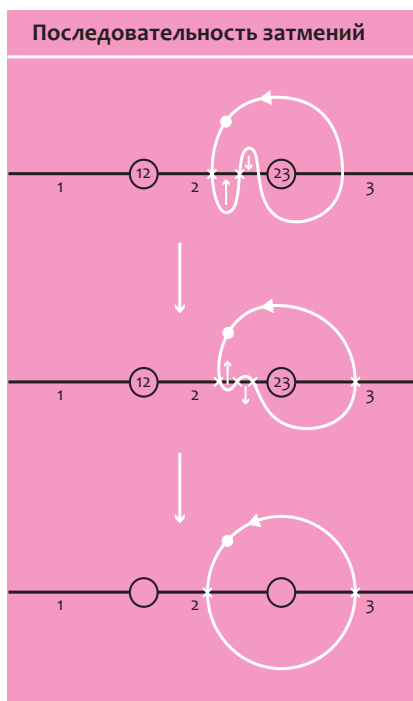
Была и другая уловка, ведущая к результату Меккеля: его решения, когда они пересекали экватор сферы форм вблизи точек Эйлера $E1$, $E2$ и $E3$, начинали совершать колебательные движения взад-вперед через экватор, прежде чем пройти вверх к северному или вниз к южному полюсу, когда они проходили возле точки тройного столкновения вдоль соответствующих путей Лагранжа, $L4$ или $L5$. Чтобы понять, о каких осцилляциях идет речь, возьмите целое положительное число N и назовите последовательность затмений «длины N », если каждый раз число встречается в последовательности по крайней мере N раз подряд. Например, последовательность 1112222333332222 имеет длину 3, а не 4, поскольку там только три 1 идут подряд.

А вот, наконец, и наша главная теорема: рассмотрим задачу трех тел с небольшим ненулевым моментом импульса эпсилон и массами в широком открытом диапазоне. Тогда существует большое целое положительное число N , обладающее следующими свойствами. Если мы выберем любую произвольную последовательность затмений — длиной N , — то существует соответствующее решение нашей задачи трех тел, имеющее точно такую же последовательность затмений. Если эта последовательность сделана периодической, то периодическим будет и реализующее ее решение.

А что же относительно первоначального вопроса? Там не было никакого упоминания о каком-либо большом N . Я задал вопрос о каждой последовательности

затмений. Но я не рассказывал вам о моем настоящем вопросе. То, что я в действительности хотел выяснить, — так это можно или нельзя реализовать любой «топологический тип» периодической кривой, а не последовательность затмений. Последовательность затмений я использовал как удобную символику или способ обозначения топологического типа, то есть, другими словами, как способ обозначения хаотичной картины петель вокруг трех дырок двойных столкновений. Представление последовательности затмений топологического типа замкнутой кривой обладает избыточностью: многие различные последовательности затмений обозначаются одним и тем же типом топологической кривой. Рассмотрим, например, топологический тип «совершить однократный обход прокола, проделанного, чтобы исключить двойное столкновение 23». Последовательность затмений 23 как раз и представляет этот топологический тип. Но его же представляют и последовательности 2223, 22223 и 2333. **Всякий раз когда у нас есть два последовательных пересечения дуги 2, мы можем исключить их, выпрямив наш меандр (замкнутую кривую без самопересечений, пересекающую прямую несколько раз. — Примеч. пер.), заставив кривую на протяжении этой ее части оставаться в одной или другой полусфере, не пересекая экватор.** Более того, мы можем исключить любые последовательные пары одинаковых чисел, которые появляются в последовательности затмений, не изменяя топологический тип замкнутой кривой, задаваемой последовательностью.

Чтобы использовать нашу основную теорему для ответа на мой настоящий вопрос, заметьте, что, исключая последовательные пары, я могу добиться того, чтобы последовательность затмений, соответствующая данному топологическому типу,



никогда не включала в себя два последовательных числа одного типа: никаких 11, 22 или 33. Назовем такую последовательность разрешенной последовательностью. Теперь возьмем любую разрешенную последовательность, например 123232. Позвольте мне воспользоваться экспоненциальной нотацией для записи последовательности затмений, таким образом, например, $13 = 111$. Возьмем нечетное число n , по крайней мере не меньше, чем число N из нашей теоремы. Заменяем допустимую последовательность более длинной $1n 2n 3n 2n 3n 2n$ и продолжим ее периодически. Эта более длинная последовательность представляет тот же самый первоначально выбранный тип, поскольку n — нечетное число. Наша теорема говорит, что эта более длинная последовательность реализована периодическим решением. Это периодическое решение представляет собой наш исходный периодический тип 123232.

Что дальше?

Нам предстоит еще многое сделать. Когда почти 20 лет назад я в первый раз поставил свой

вопрос, я хотел найти решения с нулевым моментом импульса. Но накапливалась гора свидетельств, что ответ на мой вопрос в случае нулевого момента импульса — «нет». У нас есть некоторые данные, которые говорят, что даже простейшая непустая периодическая последовательность 23 никогда не реализуется в виде периодического решения задачи трех тел равной массы с нулевым моментом импульса.

Наш основной вопрос в виде, сформулированном здесь, даже для момента импульса ϵ , остается открытым, поскольку наша теорема позволяет нам реализовать последовательности длиной N только для некоторых больших N . Например, у нас нет никакого ключа к пониманию того, как реализовать допустимые последовательности, то есть последовательности, в которых рядом нет чисел одного типа. По большому счету мы, возможно, не продвинулись в решении задачи трех тел в традиционном смысле, но мы узнали много нового. И мы продолжим работу в этом направлении — эта задача продолжит приносить плоды тем из нас, кого она притягивает. Оказывается, в одной из классических нерешаемых задач в истории математики все еще возможны новые озарения. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Remarkable Periodic Solution of the Three-Body Problem in the Case of Equal Masses. Alain Chenciner and Richard Montgomery in *Annals of Mathematics*, Vol. 152, No. 3, pages 881–901; November 2000.
- Realizing All Reduced Syzygy Sequences in the Planar Three-Body Problem. Richard Moeckel and Richard Montgomery in *Nonlinearity*, Vol. 28, No. 6, pages 1919–1935; June 2015.



ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Изучение механизмов использования электричества электрическим угрем раскрывает удивительные особенности физиологии и поведения этого существа

Кеннет Катанья

Электрический угорь с наибольшим размахом пользуется своей сверхспособностью во время охоты и для защиты

ШОК

ТРЕЙЛЕТ



ОБ АВТОРЕ

Кеннет Катанья (Kenneth C. Catania) — профессор биологии в Университете Вандербильта, занимается сравнительной нейробиологией и специализируется на сенсорных системах животных. Это его четвертая статья для *Scientific American*.



Не секрет, что электрические угри оглушают свою жертву. Описания таких случаев доходят до нас из глубины веков. Но если вы не отвечаете за безопасность на космическом корабле *Enterprise*, то термин «оглушение» кажется расплывчатым. Что на самом деле происходит во время атаки этих существ? До недавнего времени биологи знали удивительно мало о сверхспособностях электрических угрей. Я не собирался изучать этот феномен и уж точно даже представить не мог, что ради науки подставлю электрическому угрю собственную руку, как в конце концов я и поступил. Но в качестве профессора биологии в Университете Вандербильта я читаю курс по электрическим рыбам, и когда я принес несколько угрей в лабораторию, чтобы сделать новые фотографии и замедленные съемки для иллюстрации своих лекций, то увидел нечто настолько странное, что мне пришлось забросить все остальное, чтобы провести исследование.

Когда угорь атаковал рыбу-жертву электрическим импульсом высокого напряжения, все рыбы, находившиеся поблизости, оказывались полностью обездвижены всего через 3 мс: они как будто превращались в маленькие статуи и, не совершая ни единого движения, просто держались на воде. Сначала я подумал, что они убиты. Но если угорь промахивался мимо цели и импульс прекращался, то рыбы «отмирали» и уплывали на полной скорости. Воздействие тока, сгенерированного угрем, оказалось временным. Я был заинтригован и решил выяснить, каковы механизмы электрической атаки угря.

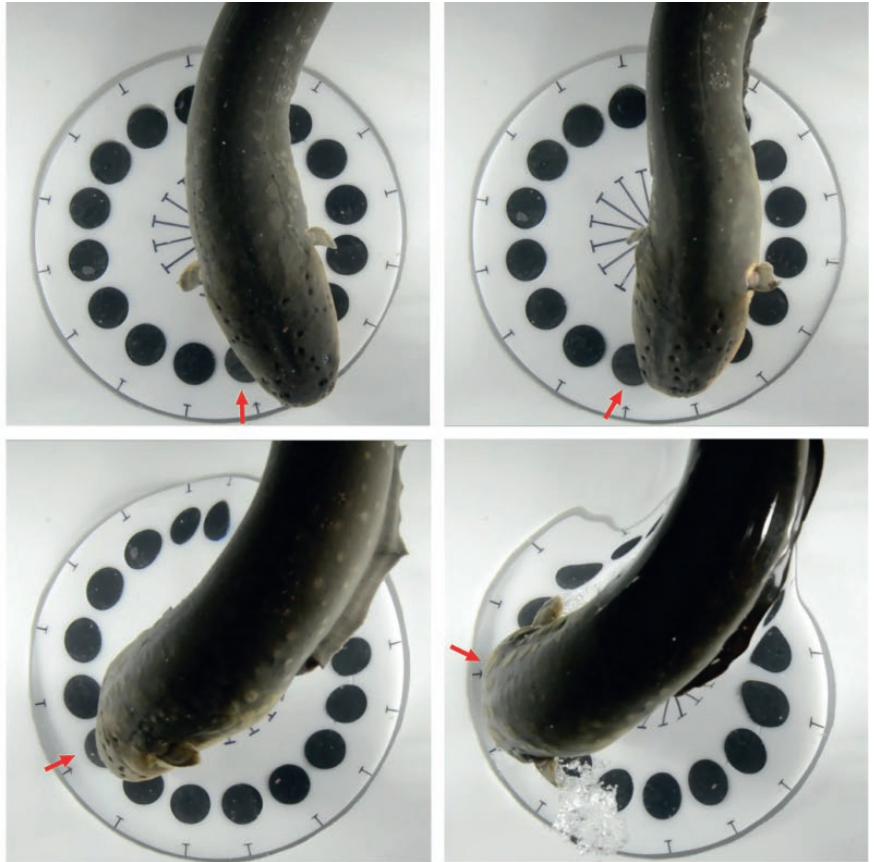
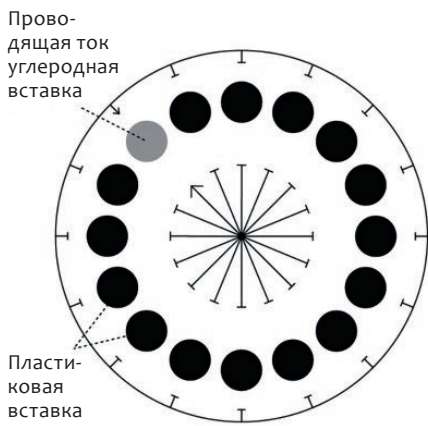
Прежде всего на ум приходила аналогия с электрошокером *Taser*, которым пользуются силы правопорядка и который вызывает нейромускулярные нарушения, влияя на способность нервной системы

контролировать мышцы. Электрошокеры *Taser* передают ток высокого напряжения по проводам короткими импульсами со скоростью 19 импульсов в секунду. Электрическим угрям провода не нужны, потому что вода проводит ток (как в случае, когда включенный фен падает в наполненную водой ванну), но во всем остальном разряд электрического угря напоминает действие электрошокера: он происходит короткими импульсами, каждый длится около 2 мс. Тем не менее угорь может генерировать более 400 импульсов в секунду во время атаки — намного более высокая скорость по сравнению с *Taser*. Возможно, электрические угри — это плавающие электрошокеры повышенной мощности?

Заинтересовавшись этим вопросом, я приступил к опытам, которые превратились в трехгодичную миссию по раскрытию загадочного механизма

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Давно было известно, что электрический угорь оглушает свою жертву. Но механизмы нападения и воздействия шока на жертву оставались загадкой.
- Серия лабораторных экспериментов показала, каким образом животное использует электрические поля для обнаружения, отслеживания и обездвиживания жертвы.
- Электрический угорь также пользуется своей способностью генерировать электричество для защиты, выскакивая из воды для увеличения силы тока, которым он бьет потенциального хищника.



Система слежения. Электрический угорь может выслеживать добычу и другие проводящие ток объекты с помощью электрорецепции на основе импульсов высокого напряжения. В экспериментах с вращающимся диском, содержащим одну вставку из материала-проводника среди множества не проводящих ток вставок, угорь выбирал вставку из проводящего материала с удивительной точностью.

атаки электрических угрей и воздействия их разрядов на добычу и потенциальных хищников. Я не переставал удивляться, насколько сложно угри используют электричество, и это постоянно служило напоминанием, что изобретения человечества не идут ни в какое сравнение с изобретениями природы.

Величина шока

Возможно, вас это удивит, но электрический угорь не принадлежит к угревым (*Anguillidae*), а относится к семейству рыб *Gymnotidae*, представители которого обитают в Южной Америке. Другие рыбы из этой группы генерируют очень слабые электрические импульсы, которые используются для обследования окрестностей и общения. У электрического угря такая способность значительно усилилась в ходе эволюции. Электрические органы, простирающиеся почти на всю длину тела угря (животные могут достигать в длину 2,44 м и весить более 18 кг), генерируют импульсы до 600 В. Электрический орган состоит из особых дискообразных клеток, электроцитов, действующих как аккумуляторы, вырабатывающие электричество.

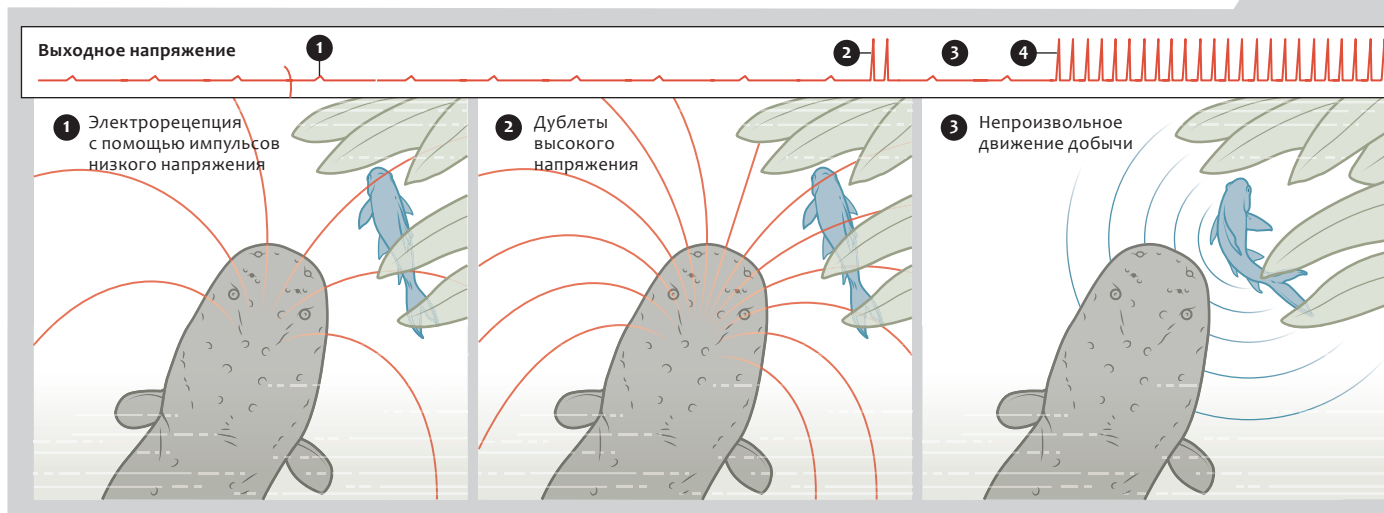
Для того чтобы выяснить, похожи ли механизмы действия электрического угря при обездвижении жертвы и электрошокера *Taser*, нужно было провести наблюдения за животным в момент охоты. Поэтому я разработал эксперимент, в котором использовал пристрастие электрических угрей к дождевым червям. В воду, где находился угорь, я помещал мертвую рыбу с еще сохранившейся нервно-мышечной активностью (но разделяя их электропроводящей перегородкой) и соединял ниткой с устройством для измерения мышечных сокращений. Затем я скармливал угрю дождевых червей, которых он с удовольствием бил током и съедал. Такая установка дала мне возможность провести серию опытов по определению мышечного ответа у рыбы на импульсы высокого напряжения, испускаемые угрем во время охоты.

Очередь импульсов высокого напряжения, генерируемая угрем, вызвала у рыбы сильные мышечные сокращения спустя 3 мс после начала электрической атаки — ровно столько же времени проходило до того, как переставали двигаться рыбы, запечатленные на видео с замедленной съемкой. Видимо, электрические угри изобрели

Режим атаки

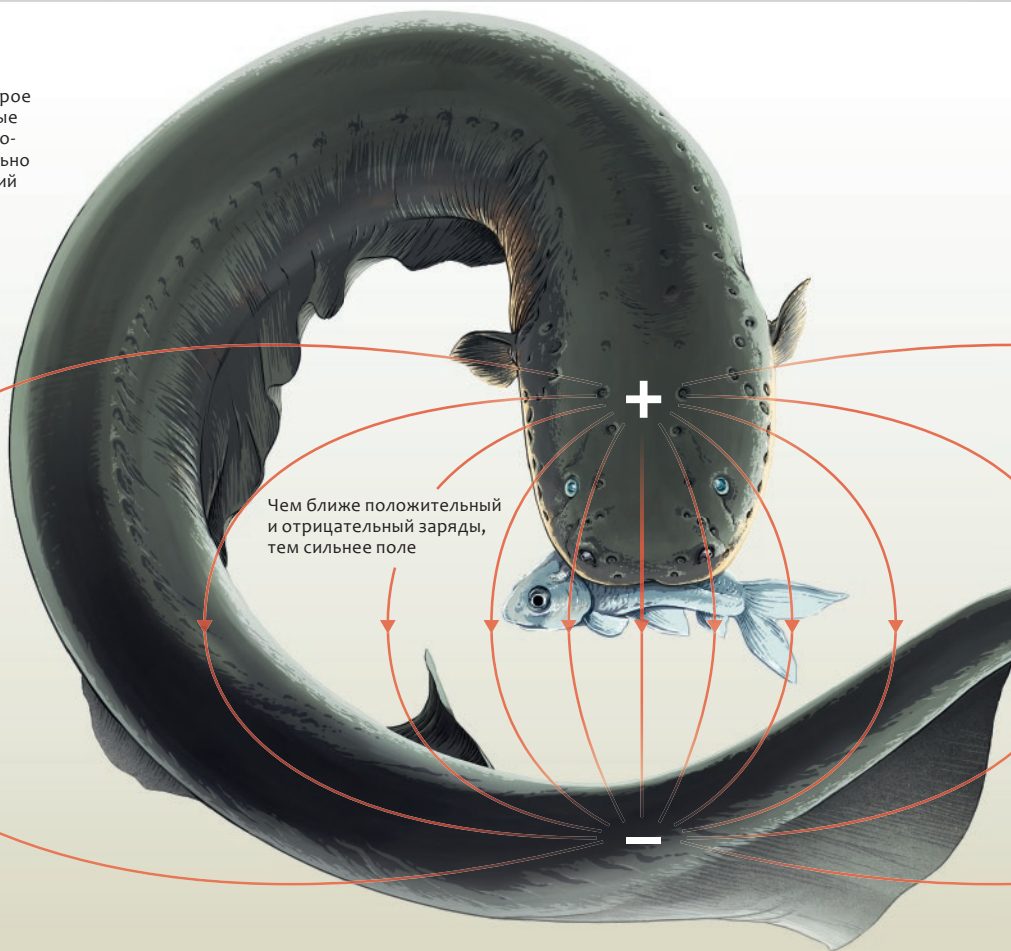
Как и электрошокер Taser, электрический угорь во время охоты испускает электрические импульсы, чтобы обездвигнуть добычу. Очереди угря активируют двигательные нейроны, управляющие мышцами жертвы. Таким образом, можно сказать, что угорь дистанционно управляет добычей. Он использует подобное дистанционное управление двумя способами: чтобы обнаружить спрятавшуюся добычу, заставив ее дернуться, и чтобы обездвигнуть жертву,

как только она обнаружена, что предотвращает бегство. Угорь может также использовать электричество для выслеживания движущейся добычи, и он выработал в процессе эволюции гениальное решение фундаментальной проблемы, связанной с необходимостью действовать в водной среде, где напряженность электрического поля, создаваемого во время ударов, в обычных условиях падает.



Сконцентрированная напряженность

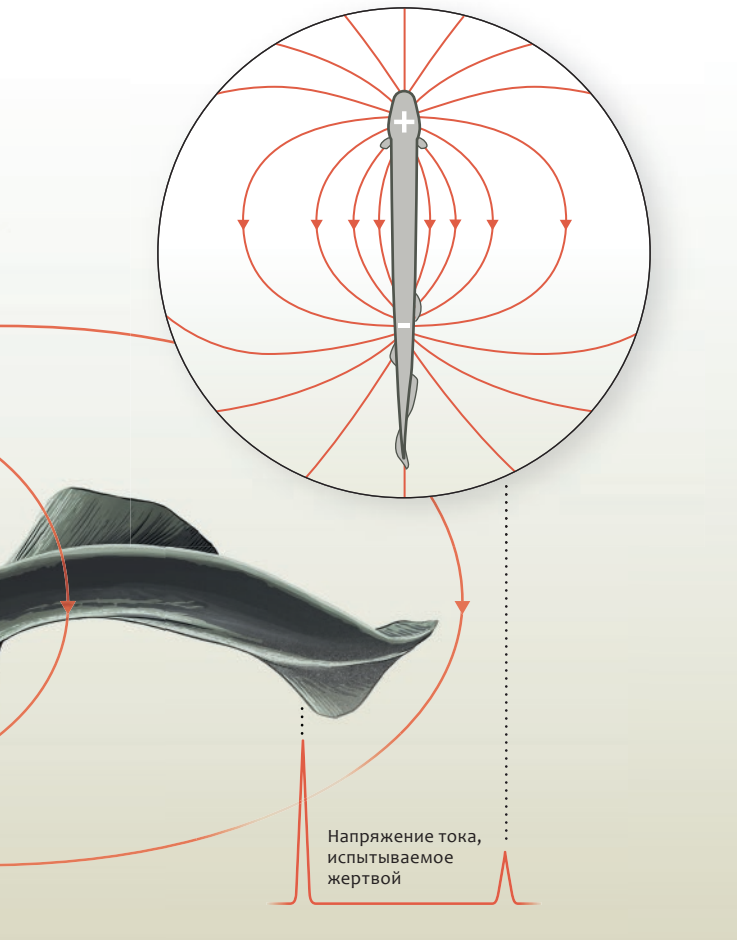
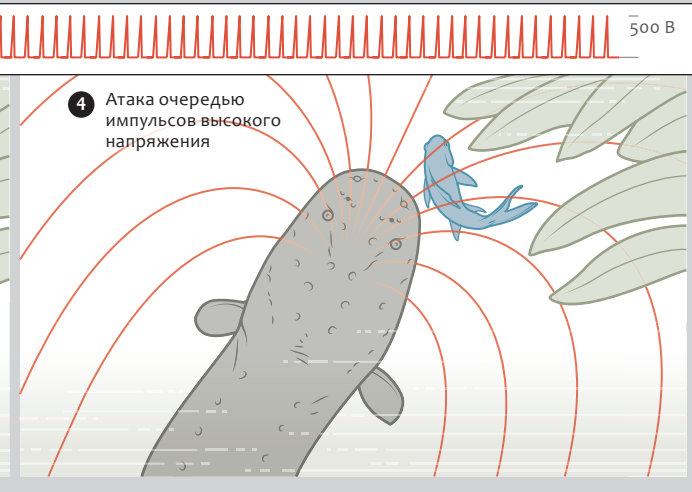
Электрическое поле угря — это поле, которое в физике называется полем диполя: силовые линии положительного заряда идут от положительно заряженной головы к отрицательно заряженному хвосту. Густота силовых линий характеризует напряженность электрического поля в каждой конкретной точке. При приближении положительного полюса к отрицательному напряженность поля между ними увеличивается. Угорь достигает такого эффекта, изгибая хвост вокруг жертвы, зажатой во рту, перед тем как ударить током.



SOURCES: "ELECTRIC EELS CONCENTRATE THEIR ELECTRIC FIELD TO INDUCE INVOLUNTARY FATIGUE IN STRUGGLING PREY," BY KENNETH C. CATANIA, IN *CURRENT BIOLOGY*, VOL. 25, NO. 22, NOVEMBER 16, 2015, AND "THE SHOCKING PREDATORY STRIKE OF THE ELECTRIC EEL," BY KENNETH CATANIA, IN *SCIENCE*, VOL. 346, DECEMBER 5, 2014

Этапы охоты

Угри пользуются и низко-, и высоковольтными импульсами для обследования окрестностей **1**. При поиске добычи, спрятавшейся среди растений, угорь испускает пары импульсов высокого напряжения, называемые дублетами, которые вызывают мощную конвульсию в теле добычи, находящейся поблизости **2**. Конвульсия вызывает смещение окружающей воды, выдающее жертву **3**. Обнаружив цель, угорь атакует ее очередью импульсов высокого напряжения, парализующих жертву, которую угорь всасывает в рот **4**.



Taser задолго до людей. Но эксперименты продемонстрировали намного больше. Оказалось, угри не приводят в действие мышцы рыбы непосредственно: их импульсы активируют нервы, идущие к мышцам рыбы. Каждый мощный электрический импульс, испускаемый угрем, порождает потенциал действия, или нервный импульс, в двигательных нервах рыбы.

Это знаковое открытие, если принимать во внимание, что электрический орган угря представляет собой модифицированную мышцу, активируемую собственными двигательными нервами животного. Двигательные нервы, в свою очередь, приводятся в действие нейронами головного мозга. Для каждого импульса высокого напряжения поток командных сигналов начинается в головном мозге электрического угря, передается по двигательным нейронам и активирует электрический орган. От электрического органа сигнал передается через воду и запускает двигательные нейроны, а затем мышцы рыбы, находящейся поблизости. Иными словами, электрический угорь обездвиживает свою жертву, используя разновидность дистанционного управления высокой точности.

Интересно, что, согласно полученным данным, особенности электрических импульсов угря отчасти могут определяться тем, что происходит с мышцами его жертвы. Исходя из этого, я стал рассматривать залпы высокого напряжения, испускаемые угрем, с новой точки зрения. Меня особенно заинтересовали данные исследователя Ричарда Бауэра (Richard Bauer), который в 1979 г. показал, что электрический угорь во время охоты часто останавливается, чтобы выпустить пару импульсов высокого напряжения, интервал между которыми составляет 2 мс. Такие парные импульсы называются дублетами, и все угри в моей лаборатории демонстрировали такое же поведение. Меня заинтересовало, для чего служат дублеты.

Небольшое исследование физиологии мышц показало, что дублеты (которые также можно описать как пары потенциалов действия), передаваемые от двигательных нейронов к мышцам, — это наилучший способ вызвать максимальное напряжение мышц. Соответственно, мои эксперименты показали, что дублеты, выпускаемые электрическим угрем, вызывают короткую массивную конвульсию всего тела жертвы, находящейся поблизости, в отличие от очередей, вызывающих устойчивый паралич. Конвульсия, в свою очередь, порождает сильное смещение воды — по сути, подводную звуковую волну. Если принимать во внимание исключительную чувствительность угря к малейшему движению воды, на ум приходит интересная вероятность: возможно, дублеты представляют собой способ, которым угорь спрашивает: «Ты жив?» Кроме того, в дикой природе Амазонии угри охотятся ночью, окруженные

разнообразной спрятавшейся добычей, которую намного труднее обнаружить, чем червей и золотых рыбок, брошенных в аквариум.

В пользу этой теории свидетельствует следующее. Когда угри в моей лаборатории охотились на новую добычу, например на раков, или на добычу, спрятавшуюся среди растений в аквариуме, они часто выпускали дублеты во время поисков и атаковали после того, как жертва судорожно дернется, как будто такое движение выдавало жертву. Эти наблюдения говорили о многом, но для получения прямых доказательств я подсоединил мертвую рыбу к электрическому стимулятору, который мог приводиться в действие как мной, так и дублетами угря. Затем я поместил оплетенную проводами рыбу в закрывающийся пакет, так что собственные дублеты угря не могли воздействовать на мышцы рыбы. Такая установка позволяла мне контролировать, когда будут судорожно сокращаться мышцы рыбы. Действительно, угри никогда не атаковали после дублета, если рыба не дергалась. Исследование показало, что на самом деле угри атаковали в ответ на вызванные дублетами движения рыбы.

Таким образом, электрический угорь обладает двумя видами дистанционного управления, которые вместе обеспечивают одну из самых коварных тактик охоты в животном царстве: угорь может обнаруживать жертву, заставив ее двигаться, и парализовать движущуюся жертву после ее обнаружения.

Ставки удваиваются

Дистанционное управление другим животным — интересная, но не единственная способность электрического угря. Это существо также обладает гениальным решением фундаментальной проблемы, связанной с мощностью его разряда. В отличие от супергероев и волшебников, способных метать молнии в цель, каждый раз, когда электрический угорь испускает импульс высокого напряжения, электрическое поле распределяется в окружающей воде. В результате лишь малая часть невероятной силы угря доходит до жертвы. Английский физик и химик Майкл Фарадей, работавший с электрическими угрями в 1838 г., дал нам подходящий способ визуализировать проблему. Электрическое поле угря — это электрическое поле диполя, в котором силовые линии положительного заряда направлены от положительно заряженной головы к отрицательно заряженному хвосту. Густота линий отражает напряженность электрического поля в каждой точке; самая высокая напряженность поля — у полюсов и быстро убывает с расстоянием. В общем курсе физики вы учили, что при приближении отрицательного полюса к положительному напряженность

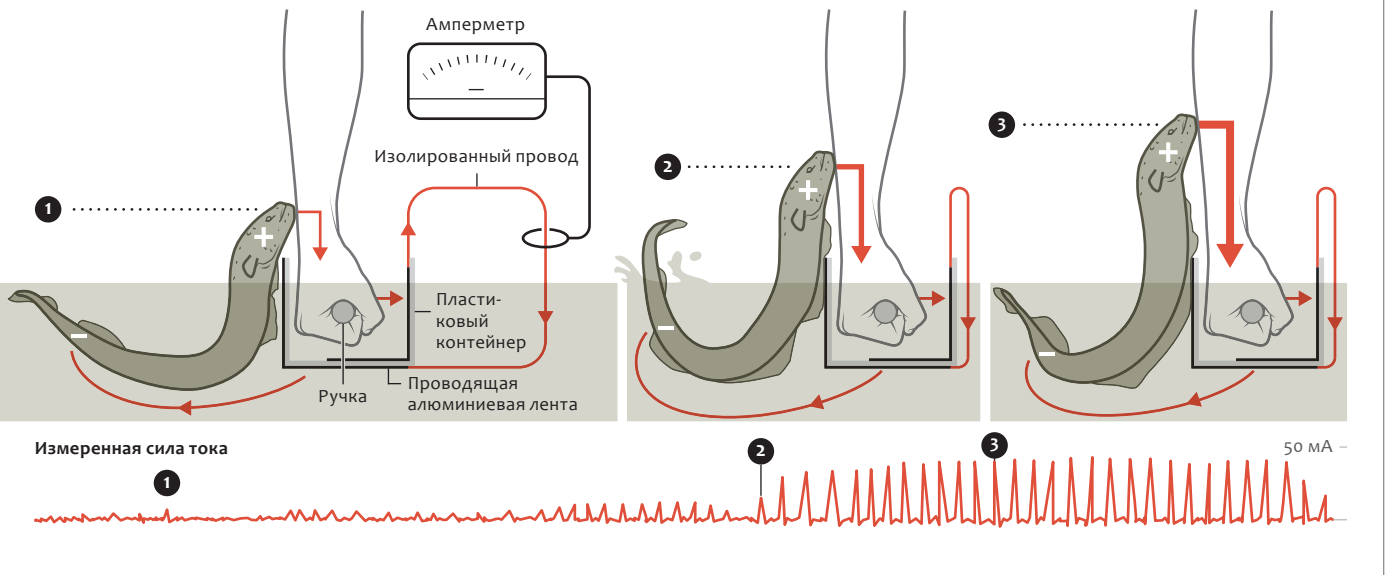
Лучшая защита

Угри выпрыгивают из воды, чтобы ударить током объект, воспринимаемый как угроза. Для измерения силы тока, проходящей через человека при атаке прыгающего угря, автор разработал эксперимент, во время которого подставил собственную руку молодому угрю ❶. Когда угорь поднимается над водой, ток идет не по обычному пути от головы угря к хвосту, а через цель, и сила тока увеличивается ❷. Когда угорь выпрыгнул на самую большую высоту, сила тока составляла около 43 мА — крайне неприятный удар, побудивший автора рефлекторно отдернуть руку ❸. Электрический удар крупного угря был бы значительно сильнее.

поля между ними увеличивается. Угри, по видимому, учили физику, потому что они пользуются таким методом для поражения трудной, сопротивляющейся добычи. Угорь плотно сжимает жертву челюстями и изгибает свой хвост (отрицательный полюс) вокруг животного, прежде чем выпустить серию очередей высокого напряжения.

Животные, находящиеся в воде, обладают более высокой электропроводностью по сравнению с водой, поэтому электрические угри особенно интересуются объектами из проводящих материалов, поскольку те имеют «подпись» живых существ

Для измерения количественных характеристик маневра угря я разработал «жевательную игрушку» в виде пары отводящих электродов на пластиковом футляре внутри мертвой рыбы. Угри хватали аппарат, я дергал за прикрепленные к рыбе проволочки, имитируя борьбу, угри сворачивались вокруг рыбы и били током. Как и ожидалось, напряжение поля увеличивалось более чем вдвое. Это великолепная стратегия, позволяющая угрю сконцентрировать всю свою, в ином случае неизменную, мощь удара на цели, подобно тому как вся мощность фонарика используется для освещения единственного участка.



То, что происходит с добычей, оказалось предсказуемым и в то же время повергает в трепет. Последующие эксперименты показали, что мощная атака угря вызывает мышечные сокращения на аномально высоком уровне, совершенно выматывающие жертву всего за несколько секунд. Это электрический аналог нейротоксина, позволяющий электрическому угрю ловить и подчинять опасных животных, таких как крупные раки, вооруженные клешнями.

Больше чем оружие

Изучая поведение угрей во время охоты, я заметил нечто, заставившее меня задуматься, могут ли электрические удары использоваться не только как оружие. Обычно наблюдаются три этапа: сначала угри выпускают полную очередь импульсов высокого напряжения, затем быстро атакуют жертву и всасывают ее в рот. Но в моих экспериментах, когда мертвую рыбу заставляли дергаться в изолированном пластиковом мешке, атака угря всегда прерывалась. Угорь выпускал очередь импульсов высокого напряжения и делал бросок к жертве, но промахивался и прекращал атаку, не делая финальной попытки ухватить рыбу. Почему?

Я предполагал, что удар угря — баллистический и представляет собой предварительно спланированное событие, происходящее без обратной связи. Но теперь я осознал, что животные могут использовать импульсы высокого напряжения как систему слежения. Это предположение объясняло бы, почему они не обнаруживают добычу, изолированную в пластике. Электрические угри произошли от электрических рыб, генерирующих слабые электрические импульсы, используемые для исследования окрестностей, и у угрей эта

способность сохранилась. Так почему бы не пользоваться и высоким напряжением?

Я решил проверить такую возможность и разработал эксперимент, в котором учитываются электрическая проводимость добычи и агрессивное поведение угря на охоте. Животные, находящиеся в воде, обладают более высокой электропроводностью по сравнению с водой, поэтому электрические угри особенно интересуются объектами из проводящих материалов, поскольку те имеют «подпись» живых существ. Тем не менее необходимо помнить, что угорь может определить — и определяет — проводники тока с помощью системы импульсов низкого напряжения, которая всегда активна до перехода хищника к режиму высокого напряжения во время атаки. Чтобы протестировать систему электрорецепции, в которой используются высоковольтные импульсы, необходимо было исследовать с помощью замедленной съемки поведение угря во время ударов, когда задействована только система импульсов высокого напряжения.

Первый эксперимент был прост: стержень из угля, инертного проводящего материала, помещали рядом с дергающейся рыбой в пластиковом пакете. Угорь, обнаружив движение воды из-за судорожного движения рыбы, атаковал и делал бросок по направлению к пакету с рыбой. Но в этот раз угорь менял направление на полпути и пытался съесть угольный стержень. По-видимому, угорь принимал угольный стержень за рыбу, как и следовало ожидать, если животное использовало импульсы высокого напряжения для выслеживания добычи.

Это было великолепное начало, но требовалось больше доказательств. Я разработал дополнительные тесты с угольными стержнями и множеством пластиковых стержней в качестве контроля для

SOURCE: "POWER TRANSFER TO A HUMAN DURING AN ELECTRIC EEL'S SHOCKING LEAP," BY KENNETH C. SALAMIA, IN CURRENT BIOLOGY, VOL. 27, NO. 18, SEPTEMBER 25, 2017

наглядности. Каждый раз угри атаковали угольный проводник во время очереди импульсов высокого напряжения. В ходе последнего эксперимента угрям предлагался быстро вращающийся диск, на поверхности которого находился один маленький объект — проводник тока среди целого ряда одинаковых не проводящих ток контрольных объектов. Результат был невероятным: угри могли отслеживать и атаковать проводник тока во время очереди импульсов высокого напряжения со скоростью и точностью, невиданными среди животных, пользующихся активной электрорецепцией. Сомнений не оставалось: угри используют высокое напряжение одновременно и как оружие, и как элемент сенсорной системы для выслеживания добычи. Мое уважение к электрическим угрям росло с каждым днем, что оказалось не напрасным, поскольку еще один их трюк касался меня.

Оглушающая защита

В марте 1800 г. прусский натуралист Александр фон Гумбольдт нанял жителей деревни в Амазонии для сбора электрических угрей для экспериментов. Эта история стала легендой. Ловить угрей решили с помощью лошадей: 30 диких лошадей и мулов окружили и загнали в мелкий водоем, полный угрей, которые поднимались из ила и атаковали лошадей, часто ударяя их током. Жители деревни, размахивая палками, с криками загоняли испуганных лошадей в водоем до тех пор, пока угри не выдохлись и их можно было безопасно собрать. Две лошади погибли во время этой бойни; другие, спотыкаясь, выбрались из водоема и рухнули на берег. Гумбольдт опубликовал свое описание в 1807 г., и эта история способствовала его продвижению к славе. Однако позже некоторые ученые скептически относились к утверждениям Гумбольдта. Почему угри, рискуя причинить себе вред, продолжали нападать на крупных животных, которых не могли съесть? О других примерах подобного поведения не сообщалось более 200 лет до того момента, пока я не ошибся с выбором сети для поимки крупного угря в своей лаборатории.

Как правило, электрические угри не выскакивают из аквариума. Но есть исключение: если

к загнанному в угол угрю приблизить крупный торчащий из воды объект из проводящего материала, угорь часто отвечает взрывной атакой. Я обнаружил такое в буквальном смысле шокирующее поведение, когда попытался переместить крупного угря в другой аквариум с помощью сети на металлическом обруче с ручкой. Неожиданно угорь развернулся, выпрыгнул из воды и прижался нижней челюстью к металлической ручке, одновременно выпустив длинную очередь импульсов высокого напряжения (к счастью, на мне была защитная резиновая перчатка). Такое устрашающее поведение демонстрировали все угри, которых я проверял.

После того как я изучил электрические характеристики во время совершенного угрем прыжка и описания приключений Гумбольдта, множество элементов биологической и исторической мозаики встали на место. Если угри рассматривают объекты — проводники тока малых размеров как съедобную добычу, следовательно, приближающийся частично скрытый объект — проводник тока они будут считать крупным животным, представляющим угрозу, возможно, хищной кошкой или крокодилом. Почему бы в таком случае не уплыть? В сезон засухи в Амазонии электрические угри часто оказываются в ловушке в мелких водоемах, где они уязвимы для хищников; именно такую ситуацию и описал Гумбольдт. Добавьте к такому сценарию тот факт, что угри не могут «нацеливать»

Если угри рассматривают объекты — проводники тока малых размеров как съедобную добычу, следовательно, приближающийся частично скрытый объект — проводник тока они будут считать крупным животным, представляющим угрозу, возможно, хищной кошкой или крокодилом

электрический разряд, когда погружены в воду, — и получите способ действия для выработки удивительной стратегии защиты.

Так правдива ли драматическая история, рассказанная Гумбольдтом? Хотя в своем знаменитом описании Гумбольдт приводит не так много деталей, мне удалось найти малоизвестную иллюстрацию события, которая появилась несколько десятилетий спустя в книге Роберта Шомбурга (Robert Schomburgk), немецкого исследователя на службе Великобритании, знакомого с Гумбольдтом. Центральная фигура на рисунке — лошадь, которую бьет током угорь, выпрыгнувший из воды и прижавшийся нижней челюстью к груди лошади. Просто вылитый портрет прыгающих угрей

из моей лаборатории. Что касается меня, то если бы Гумбольдт сообщил об обнаружении динозавров в Амазонии, я бы захотел это проверить.

Создание шума

Некоторые вещи трудно объяснить в отделе снабжения университета, а оторванные руки зомби относятся как раз к такой категории. Поэтому я решил потратить свои деньги, когда для еще одной серии экспериментов в ходе дальнейшего изучения поведения прыгающих угрей мне понадобились муляжи рук. Отчистив с муляжей фальшивую кровь, я заполнил их светодиодами, расположенными так, чтобы имитировать нервные пути, и начал эксперимент. Когда руку подносили близко к угрю, это вынуждало его демонстрировать защиту в прыжке. Лампочки вспыхивали ярче, когда угорь поднимался выше над уровнем воды во время электрического удара по руке. Но почему и как именно достигается такой эффект?

Для того чтобы ответить на эти вопросы, было необходимо разработать так называемую эквивалентную цепь и затем определить напряжение, или электродвижущую силу, электрического органа угря. Мне также требовалось вычислить, насколько материалы в цепи снижают величину электрического тока, — узнать сопротивление. Поэтому я разработал эксперименты для последовательного измерения каждой переменной, начав с электрического органа угря. Электрический потенциал у самого крупного угря в моей лаборатории длиной чуть более 91 см был равен 382 В, а внутреннее сопротивление — всего 459 Ом, что давало силу тока при отсутствии других сопротивлений около 1 А. Это мощный электрический удар — намного сильнее, чем у *Taser*.

Когда угорь высовывается из воды, прижимаясь нижней челюстью к цели, обычный путь электрического тока от головы угря к его хвосту прерывается, поскольку воздух — плохой проводник и ток проходит через цель. Это весьма похоже на кнопку управления громкостью: угорь постепенно прибавляет «громкость» в цели, поднимаясь из воды. Данное наблюдение объясняет, как постепенно развивалось такое поведение, потому что чем больше высота, тем больше преимущество. Но насколько эффективно угорь прибавляет «громкость»?

Работая над деталями, я столкнулся с основной проблемой, касающейся электрической цепи: вычислением силы тока в цепи, содержащей два резистора, расположенных рядом. Это любимая задача в головоломках, связанных с электрической цепью (на экзаменах по физике), поскольку нельзя определить силу тока в цепи, не зная значение сопротивления обоих резисторов. Я мог определить одно значение сопротивления — на участке от головы угря до воды, проводя измерения во время атаки угря на металлические пластины,

соединенные с вольтметром. Другой резистор представляла собой рука — цель угря. Собрав данные по другим переменным, я мог только догадываться о значении последней: комплексном сопротивлении участка между челюстью угря, живой целью и окружающей водой.

Было трудно остановить работу, не получив окончательные ответы. Вдобавок вскоре после публикации в 2016 г. моей первой статьи об атаке прыгающего угря в интернете появилось видео, на котором в Южной Америке очень крупный угорь выпрыгивает из воды на удивленного рыбака (человек был временно обездвижен, но потом пришел в себя, как после удара электрошокером *Taser*). Неожиданно явления, изучаемые мною из любопытства, имели последствия в реальном мире.

Не оставалось ничего другого, как подставить собственную руку для определения последней переменной и проверки прогнозов на основе результатов всех предыдущих измерений. Я использовал очень маленького угря с электродвижущей силой 198 В и внутренним сопротивлением 960 Ом. Я создал устройство для измерения силы тока, проходящего через мою руку во время атаки угря, позволяющее мне наконец решить задачу. Могу также с уверенностью сообщить, что угри весьма эффективно повышают «громкость» атаки.

Я приступил к этому проекту, собираясь преподавать курс об электрических угрях, но в итоге это угри преподнесли мне урок. Тот же урок я извлекаю каждый раз, изучая новый вид: животные всегда намного более интересны, чем можно себе представить, и невозможно с самого начала предсказать, насколько они удивительны. И по ночам мне не дают заснуть — в хорошем смысле — раздумья о том, сколько еще нам предстоит открыть. ■

Перевод: С.М. Левензон

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Катанья К. Прирожденные убийцы // ВМН, № 9, 2011.
- The Shocking Predatory Strike of the Electric Eel. Kenneth Catania in *Science*, Vol. 346, pages 1231–1234; December 5, 2014.
- Electric Eels Use High-Voltage to Track Fast-Moving Prey. Kenneth C. Catania in *Nature Communications*, Vol. 6, Article No. 8638; October 20, 2015.
- Power Transfer to a Human during an Electric Eel's Shocking Leap. Kenneth C. Catania in *Current Biology*, Vol. 27, No. 18, pages 2887–2891; September 25, 2017.



集团

droid

Smart

Tence
ama

ARKS
PENICED



СТРАТЕГИИ ЦИФРОВОГО ЛИДЕРСТВА

Предлагаем вашему вниманию продолжение беседы с профессором экономического факультета МГУ, доктором экономических наук Ларисой Владимировной Лapidус (начало — ВМН, № 7, 2019).

Во второй части речь идет о том, какие драйверы конкурентоспособности и вызовы цифровой экономики определяют траекторию цифровой трансформации.

— В цифровой экономике настолько все непредсказуемо и быстро меняется, что трудно уследить за трендами и цифровой трансформацией бизнеса.

— Если говорить о вызовах цифровой экономики, в первую очередь, необходимо назвать быстрые изменения в потребительском поведении. Именно за их счет экономика приобрела особые черты нового типа. Появилась экономика по требованию (*on-demand economy*), мобильная экономика (*mobile economy*), экономика совместного потребления (*sharing economy*), экономика сотрудничества, викиномика (*wikinomics*), высокотехнологичная экономика дарения (*hi-tech gift economy*). Не только представители поколений Y и Z до 40 лет стали другими, мы все изменились. В цифровой экономике новые технологии зачастую направлены на формирование нового потребительского опыта.

Другой вызов — быстрое появление новых драйверов конкурентоспособности. Например, все мы знаем, что ранее конкурентоспособность бизнеса зависела в первую очередь от уникальных активов и ресурсов. Позже, в 1980-е гг., — от корпоративной культуры. В большей степени благодаря трудам таких ученых, как Джей Барни, Чарлз Хэмпден-Тернер, Чарлз Хэнди, Джеймс О'Шонесси, Терренс Дил, Аллан Кеннеди, Том Питерс, Роберт Уотерман, Эдгар Шейн, Фрэнсис Роджерс, в 1990-е гг. тема корпоративной культуры была очень популярна во всем мире. В нашей стране не все бизнесмены могли оценить ее значение для экономики, драйвер конкурентоспособности сместился в сторону новых бизнес-моделей, потребительского опыта, взаимосвязей бизнес-моделей и стратегий. Примеров, когда традиционные компании, которым угрожали новые рынки,

вынуждены были сами на них выходить, достаточно много. Так, *Microsoft* вышел на рынок дата-центров, *Volkswagen* и *Mercedes-Benz* — на рынок шеринговых сервисов, а *Ford* — на рынок дронов.

В настоящее время особое значение приобретают цифровые экосистемы, платформы и сообщества разработчиков, производителей, потенциальных и реальных потребителей. С 2017 г. драйвером конкурентоспособности бизнеса стала стратегия цифровой трансформации — взаимосвязь «бизнес-модель — стратегия цифровой трансформации — ключевые показатели эффективности (KPI) — корпоративная стратегия». Сегодня это и определяет траекторию трансформации бизнеса.

БУДУЩЕЕ В ЦИФРЕ

— Но цифровая трансформация привычного бизнеса — процесс непростой. Можно представить, как он усложняет управление «перерождающейся» компанией.

— Серьезный вызов — высокая турбулентность цифровой среды. Она приводит к сокращению времени на принятие управленческих решений и требует от современных руководителей развития системного стратегического мышления, необходимого для разработки стратегии цифровой трансформации и организационно-экономических условий для ее успешной реализации. Экономистам известно, что в условиях турбулентности наблюдается развитие адаптивных способностей

организации, что делает процесс получения информации о внешней и внутренней среде практически непрерывным.

Как отмечали Гэри Хэмел, Коимбатур Кришнарао Прахалад, Говард Томас и Дон О'Нил в книге «Стратегическая гибкость» (2005), «формирование стратегии в условиях турбулентной среды не может опираться на традиционные "жесткие" концепции». По этим и другим причинам бенчмаркинг как метод исследований сегодня менее полезен, чем в предыдущий период массовых трансформаций сложных социально-экономических систем в нашей стране (1990-е гг.). В этом большая сложность для принятия управленческих решений. Без проб и ошибок здесь, к сожалению, не обойтись.

— Даже по смене драйверов конкурентоспособности видно, как быстро протекала эволюция цифровой экономики. Разве нельзя было спрогнозировать появление этих изменений?

— Сложность прогнозирования заключается в том, что природа цифровой экономики, процессы диффузии технологий «Индустрии 4.0» и дальнейший переход к четвертой промышленной революции (*массовое применение роботов и роботизированных технологий.* — Примеч. ред.) уникальны и не имеют аналогов. Конечно, можно было что-то прогнозировать, но сложно быть уверенным в таких прогнозах. Мне все годы приходилось анализировать появление новых рынков, бизнес-моделей, изменения в потребительском поведении онлайн. На протяжении пяти лет я выходила к студентам, читала лекции. Между тем

каждый месяц, а иногда и чаще происходили серьезные изменения, каждый день появлялись новости, связанные с эволюцией цифровой экономики. Их нужно было интерпретировать в контексте новых управленческих решений в ответ на новые драйверы цифровой экономики и прогнозировать дальнейшую траекторию цифровой трансформации. Например, почему Джефф Безос из онлайн вышел в офлайн, купил компанию по производству роботов *Kiva*, позже создал безлюдный магазин *Amazon Go*, а еще позже пытался занять лидирующие позиции на рынке искусственного интеллекта? На некоторые вопросы можно было сразу найти ответ. Например, легко назвать причины формирования нового конкурентного ландшафта на рынке мобильных операционных систем. За счет чего начиная с 2010 г. две операционные системы настолько быстро росли, что вытеснили всех других заметных игроков с рынка? Почему уже к 2017 г. *iOS* занимала 14%,



Доктор экономических наук Л.В. Лapidус

а *Android* — почти 86%? Потому что *Apple* и *Google* по мере своего развития формировали новые смежные рынки и позже доминировали на них. Например, была очевидна цепочка «рынок операционных систем — рынок смартфонов — рынок мобильных приложений». При этом рынок смартфонов еще и убивал рынок цифровых фотокамер. И таких примеров было очень много.

Систематизация знаний о состоянии цифровой среды, эволюции цифровых технологий, новых рынков позволило мне создать методику анализа корреляционных зависимостей в турбулентной цифровой среде более чем по 110 признакам цифровой экономики. На ее основе появилась возможность выявления трендов цифровой экономики и прогнозирования траекторий цифровой трансформации бизнеса, отраслей, регионов. Особенно результативно это проявилось при работе с руководителями, в том числе при анализе причин происходящих изменений, поиске решений по трансформации бизнес-моделей, разработке стратегических инициатив и новых ключевых показателей эффективности *KPI*.

— **И где такая стратегия уже наиболее наглядно проявила свою эффективность?**

— Несколько месяцев назад я была в Лондоне и специально поехала в торговую сеть супермаркетов *Whole Foods*. Меня интересовал вопрос: куда решила двигаться *Amazon*, когда в 2017 г. приобрела за рекордные для нее за всю историю развития \$13,7 млрд эту офлайновую торговую сеть? *Whole Foods* — это 460 супермаркетов в Канаде, Великобритании, США.

Если назвать причины такого решения можно было легко, то спрогнозировать стратегическое видение руководителя намного сложнее. Они неочевидны и не лежат на поверхности. Среди причин могу назвать следующие: а) стираются границы между онлайн и офлайном, и, к сожалению, офлайн проигрывает в онлайн, а значит, их ждет нерадужное будущее; б) во всем мире *high street retail*, торговля на главных улицах, умирает, офлайновый ретейл так и не смог составить конкуренцию в онлайн тем, кто там уже давно; в) лидерство онлайн-компаний на ближайшие годы предопределено накопленным за все время колоссальным опытом управления взаимоотношениями с клиентами в интернете. К этому можно добавить, что при таком решении *Amazon* смогла бы масштабировать свои решения в области искусственного

интеллекта и им было бы легче стимулировать спрос со стороны других торговых сетей и поставителей ретейла. Понятно, что новые безлюдные технологии *Amazon Go* скоро будут очень востребованы.

Кстати, в этом году даже консервативная *Marks&Spencer* анонсировала создание совместного предприятия с лидером онлайн-торговли *Ocado Group* для торговли продуктами питания на базе платформы *Ocado.com*. Очевидно, что *Marks&Spencer* не смогла бы сделать это качественно собственными силами. Много лет мы видели борьбу *WalMart* с *Amazon*. Стоит вспомнить, что компания *WalMart* понесла убытки от внедрения системы оплаты покупок без касс *Scan&Go* и ей пришлось от нее отказаться. В Вели-

кобритании убытки от таких решений оценили в 3,2 млрд фунтов стерлингов в год.

— **Понятно, но хочется найти скрытые мотивы руководства компании *Amazon*, выявить корреляции этого решения с трендами развития цифровых технологий и их влияния на отрасли, спрогнозировать дальнейшие действия компании.**

— Это оказалось не так сложно. Я знала, что когда проанализирую ассортимент, структуру распределения площадей по функционалу, бизнес-модель с помощью своего матричного подхода, смогу спрогнозировать, куда идет *Amazon* и зачем ей помимо всего перечисленного еще была нужна эта сделка.

— **Каков результат прогноза?**

— Неутешительный для кафе и ресторанов, которые находятся в зоне доставки еды из *Whole Foods*. Похоже, многие из них совсем скоро не смогут выдержать конкуренцию с новым инновационно настроенным игроком. Могу спрогнозировать, что *Whole Foods* в ближайшее время выйдет на их рынок. Под зону кухни за стеклом отведено достаточной площадью, чтобы вкусно накормить многих. Это целая небольшая фабрика.

Но пока все развивается очень спокойно. *Amazon* хорошо понимает потребителя, который завтра уже одним кликом осуществит заказ еды из «онлайн-ресторана без посадочных мест» *Whole Foods*. «Кафе и рестораны без посадочных мест», как я это называю, — сугубо новый тренд в общественном питании. При этом просто доставка продуктов и еды из магазинов и ресторанов уже примерно два года активно развивается во всем мире. Наш

Куда решила двигаться *Amazon*, когда в 2017 г. приобрела за рекордные для нее за всю историю развития \$13,7 млрд офлайновую *Whole Foods* ?

Amazon тоже обеспокоился этой задачей. Там главная детерминанта качества — сохранение свежести, что требует новых инженерных решений по таре, новых логистических продуктов. В нашей стране на рынке агрегаторов тоже произошли существенные изменения, лидирующие позиции занимают два крупных игрока — «Яндекс.Еда» и Mail.ru Group (сервис Delivery Club).

— Да, в Москве мы все чаще видим на улицах курьеров с логотипами этих компаний.

— Что же касается решения Amazon, могу с уверенностью сказать, что Whole Foods точно станет масштабным «безлюдным рестораном». У компании еще много всего припасено для покупателей Whole Foods. Это и страховые продукты, и технологии «умного» дома, и проекты в области медицины, целая экосистема с серьезными сетевыми эффектами.

— Так они же съедят все маленькие закусочные и кафе, составляющие основу малого бизнеса!

— К сожалению, это наша реальность: цифровая экономика порождает новые монополии, и происходит это очень быстро. Крупные экосистемы стирают границы между отраслями, онлайн и офлайн. Они занимают хищническую позицию и способны съесть всех: и больших, и маленьких, и медленных, и других быстрых. Сегодня Amazon — лидер на рынке облачных технологий, за ними далеко позади Microsoft, IBM, Google и другие. Alibaba и Tencent — лидеры на рынке новых финансовых институтов и операторы скоринговой системы Китая. Техногиганты Google, Uber, Apple конкурируют за лидерство на рынке беспилотного транспорта наряду с General Motors и Tesla. Они знают, как выстраивать экосистемы: быстро выходить на новые рынки и быть на несколько шагов впереди других.

— Что же остается традиционным компаниям?

— Традиционные компании тоже пытаются занять свою нишу. General Electric в 2018 г. вывел подразделение GE Digital, созданное в 2015 г., в самостоятельный бизнес. Новая «дочка» пытается занять лидирующие позиции на рынке цифровых решений по управлению промышленными предприятиями, в частности на рынке промышленного интернета вещей, цифровых двойников, решений GE Power Digital и Grid Software Solutions. Клиенты GE Digital — крупные промышленные компании. Siemens и Deutsche Bahn позиционируют уже свои цифровые решения, технологии и продукты для транспорта на основе использования искусственного интеллекта, интернета вещей, BIM-технологий (цифровое моделирование зданий и других конструкций. — Примеч. ред.) и других в качестве нового стратегического направления развития компаний. У них есть все шансы не только быть первыми, но и стать победителями.

— Это мы все говорим про Запад, а у нас кто в лидерах? Есть ли они у нас вообще?

— Конечно есть. Высокий потенциал для цифрового лидерства у «Росатома», РЖД, Сбербанк России, «Газпромнефти», «Ростеха» и др. Кстати, из традиционных компаний, которые могли бы поделиться существенным опытом в повышении ликвидности больших данных, это ПАО «Сбербанк России», «Аэрофлот», представители «Телекома».

РЖД, на мой взгляд, сегодня лидер по успешному запуску и управлению цифровой трансформацией, управлению жизненным циклом на основе интернета вещей, обеспечению кибербезопасности и сохранению непрерывности при осуществлении перевозок. Это высокотехнологичная компания с гигантской инфраструктурой, она на протяжении

Alibaba Group
阿里巴巴集团

Android

ESL

Amazon



Walmart

РЖД

Google



Vand



десятилетий разрабатывает сложные технологические решения, от которых зависит безопасность пассажиров и грузов. Компания обладает собственными дата-центрами — управляет системой собственных вычислительных центров. К этому стоит добавить проект «Цифровая железная дорога», разработанный в 2016 г. Компания одной из первых в России приступила к разработке стратегии цифровой трансформации. Сегодня РЖД стоит на пути создания единой цифровой платформы транспортно-логистического комплекса. Разрабатываются цифровые сервисы по всем бизнес-блокам: грузовые перевозки, внутренние сервисы РЖД, пассажирские перевозки и цифровые сервисы для государства.

Если общий ущерб от киберпреступлений в 2017 г. оценивался в \$1 трлн, то к 2020 г. он может вырасти до \$ 2 трлн.

ГОРЕ ОТ УМОВ

— **Интересно. Может, раскроете еще какие-то из важных вызовов цифровой экономики?**

— Безусловно. Вот, например, важный вызов: изменение структуры рынка труда. Растет популярность нестандартных форм занятости, например краудсорсинга, фрилансинга. Сформировалась новая социально-экономическая модель — гигономика.

— **Что это?**

— Гигономика (*hygonomics*), или гиг-экономика (*gig economy*), — новая социально-экономическая модель, основанная на всеобщем распространении новых видов частичной занятости и краткосрочных трудовых контрактов вместо долгосрочных трудовых отношений с работодателем на основе штатного трудоустройства. Погоня за снижением расходов на персонал объясняет причины такого перехода и выгоды, которые получает работодатель. Компании научились использовать новые возможности краудсорсинговых и других цифровых технологий и стали чаще уходить на частичную, временную занятость, при которой работник не получает социальных гарантий. По данным *McKinsey*, доля дистанционных работников в России пока не превышает 4% от общего количества рабочих мест; для сравнения — в США это 34–36%. При этом количество вакансий на российском рынке труда, предлагающих удаленную работу, в 2016 г. составило 35% от общей доли объявлений.

— **Другие вызовы — такие же серьезные?**

— Не менее важный — неизбежная трансформация бизнес-моделей с переходом на построение новых нелинейных схем. Опыта в управлении

такими бизнес-моделями практически нет. Об этом можно говорить очень долго. Это самая востребованная тема у руководителей компаний.

По каждой технологии возникает масса вопросов, их зрелость совершенно разная. Возьмем, например, роботов. Что мы имеем? Для промышлен-

ных роботов в нашей стране емкость рынка очень низка, а эффекты не совсем очевидны. Существуют серьезные риски для внедрения в производство, особенно если говорить про роботов, коллаборативных роботов (*роботов, нацеленных*

на работу вместе с человеком. — Примеч. ред.), которых породила цифровая экономика. Не факт, что промышленные роботы настолько всем нужны, требуется серьезный анализ под каждый конкретный случай.

— **С сервисными роботами, полагаю, по сравнению с промышленными ситуация лучше. У них высокий потенциал во многих отраслях — особенно в логистике, медицине, промышленности. И что касается алгоритмов искусственного интеллекта, без них уже сегодня ни одна компания не может конкурировать за потребителя.**

— Это факт. Если продолжить искать вызовы цифровой экономики, конечно же, это появление новых рисков, в первую очередь технологических, главный из которых — кибербезопасность. Появился даже новый термин «фрод-экономика», а за ним целое научное направление, которое изучает разные виды угроз в интернете, их сущность, природу, финансовые потери компаний и даже потерю суверенитета государств при ведении кибервойн. На расширенных парламентских слушаниях в Государственной Думе 8 июля этого года, посвященных развитию цифровой экономики, руководитель стратегических проектов «Лаборатории Касперского» ввел понятие «зашифрованные города» и привел ужасающие цифры. Цитата: «7 мая был атакован Балтимор в Соединенных Штатах. Вымогатели просили выкупы в биткойнах. Администрация города не пошла на этот выкуп. И они понесли ущерб в размере \$18 млн. После этого состоялось еще несколько подобных атак на разные города Соединенных Штатов». Если общий ущерб от киберпреступлений в 2017 г. оценивался в \$1 трлн, то к 2020 г. он может вырасти до \$2 трлн. Можно спрогнозировать, что, поскольку к 2025 г. ожидается подключение к интернету 25 млрд вещей (по данным *GSMA Intelligence*), с наступлением эпохи 5G уязвимость компаний на фоне растущих технологических рисков станет еще более актуальной.

ПРИКАЗАНО ВЫЖИТЬ

— Мне казалось, что цифровая экономика — это больше про возможности. А здесь так много разных вызовов. Наверняка кроме них есть еще проблемы, противоречия, с которыми сталкиваются страны и бизнес. Чем еще осложняется жизнь компаний и стран в цифровой экономике?

— Согласна, можно долго говорить о возможностях цифровой экономики, их очень и очень много. Это интересная тема. Но если вернуться к вызовам, проблемам и противоречиям, здесь все сложнее. Существует ярко выраженный дуализм. Например:

- недостаточная зрелость многих технологий / необходимость уже сегодня выстраивать на их основе новые бизнес-модели;
- неочевидные выгоды от некоторых технологий / необходимость вкладывать деньги в их разработку;
- растущая конкуренция на рынках / необходимость создавать экосистемы на основе перехода от конкуренции к кооперации;
- незрелые рынки с отсутствием четких границ / необходимость осуществлять превентивную деятельность по их регулированию;
- высокая конкуренция / высококонцентрированные рынки с двумя крупными монополиями;
- низкие затраты при выходе на рынок / возможность развивать малый бизнес / невозможность конкурировать с крупными компаниями и быстро самостоятельно расти;
- производство товаров / необходимость оказывать услуги и осваивать сервисизацию;
- переход на кастомизацию / необходимость усиления стандартизации и регламентов;
- освобождение от непрофильных активов / необходимость выхода за «титульный» бизнес.

Современным руководителям крайне сложно управлять всем этим и находить баланс решений. Никаких рецептов нет, они рождаются и работают только под каждый конкретный случай с учетом отраслевых особенностей.

— Раньше точно такого не было. Теперь у меня складывается впечатление, что цифровая экономика насыщена аномалиями.

— На самом деле нет. Это новые закономерности, корреляционные зависимости, которые ранее не были описаны в учебниках, так как все это происходит впервые. Если несколько лет назад те же таксисты пытались что-то изменить, бастовать против агрегаторов, то сегодня даже они понимают, что потребитель изменился. Его ожидания формируются на основе полученного опыта в других отраслевых сегментах: онлайн-банкинге, интернет-торговле, бронировании гостиниц одним кликом и т.д. И то, что казалось взаимоисключающим

и несовместимым, сегодня успешно сосуществует. Это и есть реалии цифровой экономики. Сегодня это скорее правила, чем исключения из правил. В ближайшие годы именно они будут определять вектор развития компаний и стран.

Цифровая экономика — новая среда на всех уровнях: микро-, мезо-, макро- и мега-. Основные их характеристики — высокая сложность, динамизм и неопределенность. К сожалению, цифровая среда характеризуется высокой турбулентностью, что обосновано изменением бизнес-моделей компаний-конкурентов, непредсказуемыми траекториями потребительского поведения, быстрой трансформацией рынков.

— Как же выжить, а тем более победить в такой сложной среде?

— Управление экономикой страны, отраслевыми комплексами, компаниями в условиях цифровой турбулентной среды невозможно без стратегического подхода к анализу новых вызовов, возможностей и рисков. Такое положение дел ставит под удар автопроизводителей, владельцев гостиниц, транспортные компании и многих других. В каждой отрасли можно найти множество примеров. Как выйти из всего этого победителем — главный вопрос для компаний и стран.

На мой взгляд, выиграют те компании, которые смогут быстро и адекватно реагировать на все новые вызовы, разработать стратегии цифровой трансформации и имплементировать их с корпоративными стратегиями при существенном сокращении их горизонтов. Траектории и динамика изменений на разных рынках и в разных отраслевых сегментах будут разные, но общей для всех станет необходимость ускоренной реакции для выживаемости и тем более завоевания лидерства.

— Главное — как это сделать?

— Как раз сегодня наблюдается острый дефицит специалистов с такими компетенциями. Вот в связи с этими новыми компетенциями — инструментами анализа новых зависимостей, корреляционных связей в цифровой турбулентной среде и управления цифровой трансформацией компаний — и разворачивается активность на программах *EMBA*, *MBA*, переподготовки, повышения квалификации. Я много работаю с руководителями как эксперт и спикер блоков «Эволюция цифровой экономики и системная цифровая трансформация», «Технологии "Индустрии 4.0"», «Отраслевые особенности цифровой трансформации», «Стратегии цифрового лидерства» на этих программах и вижу возрастающий спрос на компетенции цифровой экономики и цифровой трансформации. Все же победит тот, кто быстрее других нарастит необходимые компетенции по цифровой трансформации, накопит опыт управления потребительским поведением и выстроит удобные пользовательские интерфейсы, создаст экосистемы с центрами

развития компетенций в области технологий «Индустрии 4.0», быстрее других научится извлекать из новых технологий выгоды. К этому следует добавить необходимость выхода за «титульный» бизнес и повышения ликвидности больших данных.

Важную роль сыграют формирование цифровой культуры, своевременная перестройка оргструктур, создание проектных офисов. До сих пор в компаниях можно встретить сотрудников, которые настроены негативно относительно принятия факта существования цифровой экономики и тем более необходимости цифровой трансформации, что в свою очередь осложняет процесс запуска инновационных процессов.

— **А нынешние компании-лидеры за счет чего достигли своего положения?**

— Анализ показал, что это произошло за счет: а) оптимизации бизнес-процессов; б) продуктовой диверсификации, создания цифровых продуктов и услуг; в) экспансии на новые рынки (интернет-рынки, интернет-зависимые рынки, рынки высоких технологий); г) поиска и нахождения технологии с экспортным потенциалом. Это и будет определять траекторию цифровой трансформации тех компаний, которые смогут обойти других.

Очень важно отметить: в цифровой экономике как никогда усиливается роль государства.

ЛИДЕРАМ — НА ЗАМЕТКУ

— **И какие советы можно дать компаниям в сложном деле борьбы за цифровое лидерство?**

— Их много. Озвучу лишь некоторые, наиболее приоритетные.

Финансовые результаты компаний со стратегиями цифрового лидерства в большей степени зависят от новых бизнес-моделей, которые определены природой цифровых технологий и выстроены на основе их возможностей. Крупным компаниям нужно становиться быстрыми, и это возможно с цифровыми стратегиями / стратегиями цифровой трансформации. Всем компаниям придется создавать экосистемы. Их архитектура в той или иной степени будет опираться на цифровые платформы.

— **Ответственные лица бизнеса сегодня должны хорошо чувствовать цифровые тренды, уметь делать прогнозы, понимать, что означает для компании конкретное нововведение и куда двигаться дальше.**

— Для всего этого нужно не только иметь четкое видение будущего компании, но и обладать пониманием всех текущих процессов, происходящих в ней.

Важно учитывать, что в основе стратегии цифровой трансформации должна лежать обоснованная цифровизация с ориентацией не только на количественные показатели, но и на качественные сдвиги. Увлечение новыми ключевыми показателями

эффективности (KPI) — правильно, но важная задача — чтобы они отражали те сетевые эффекты, которые могут быть получены только при цифровой трансформации на основе системного подхода с использованием возможностей технологий «Индустрии 4.0» и с обязательным построением экосистем. Например, не сколько датчиков интернета вещей установлено на оборудовании, а как это должно отразиться на стоимости жизненного цикла, на сколько будет сокращены расходы на ремонты, снизится производственный травматизм и улучшится здоровье сотрудников, работающих в опасных для жизни условиях. Или, например, не сколько было создано цифровых платформ и ресурсов или не сколько функций стало доступно пользователю, а на сколько выросли показатели лояльности и удовлетворенности.

— **Значит, надо разрабатывать новые KPI.**

— Это одна из самых сложных задач. Приведу еще один пример — про «умный» город. Чему может радоваться житель города — тому, сколько на дорогах камер установили для контроля или как эти «умные» камеры помогают нам соблюдать правила дорожного движения, превентивно присылая нам сообщения, чтобы мы случайно (подчеркиваю: не умышленно, а случайно) не нарушили эти правила. Вот, например, приложение «Парковки» в Москве стало намного умнее, чем было ранее: в нем теперь можно оплатить парковку в течение суток задним числом, если вы это забыли или по какой-то причине не смогли сделать вовремя.

— **Но ведь в этом случае штрафов будет меньше!**

— А законных сборов, порядка и лояльности граждан — больше. Здесь, конечно, возникает дилемма: собрать больше штрафов или превентивно оповестить людей и предотвратить большую часть нарушений? Выбирает не искусственный интеллект, а человек, который этот алгоритм разрабатывает. Если руководители будут мыслить категориями качественного сдвига, от этого все только выиграют.

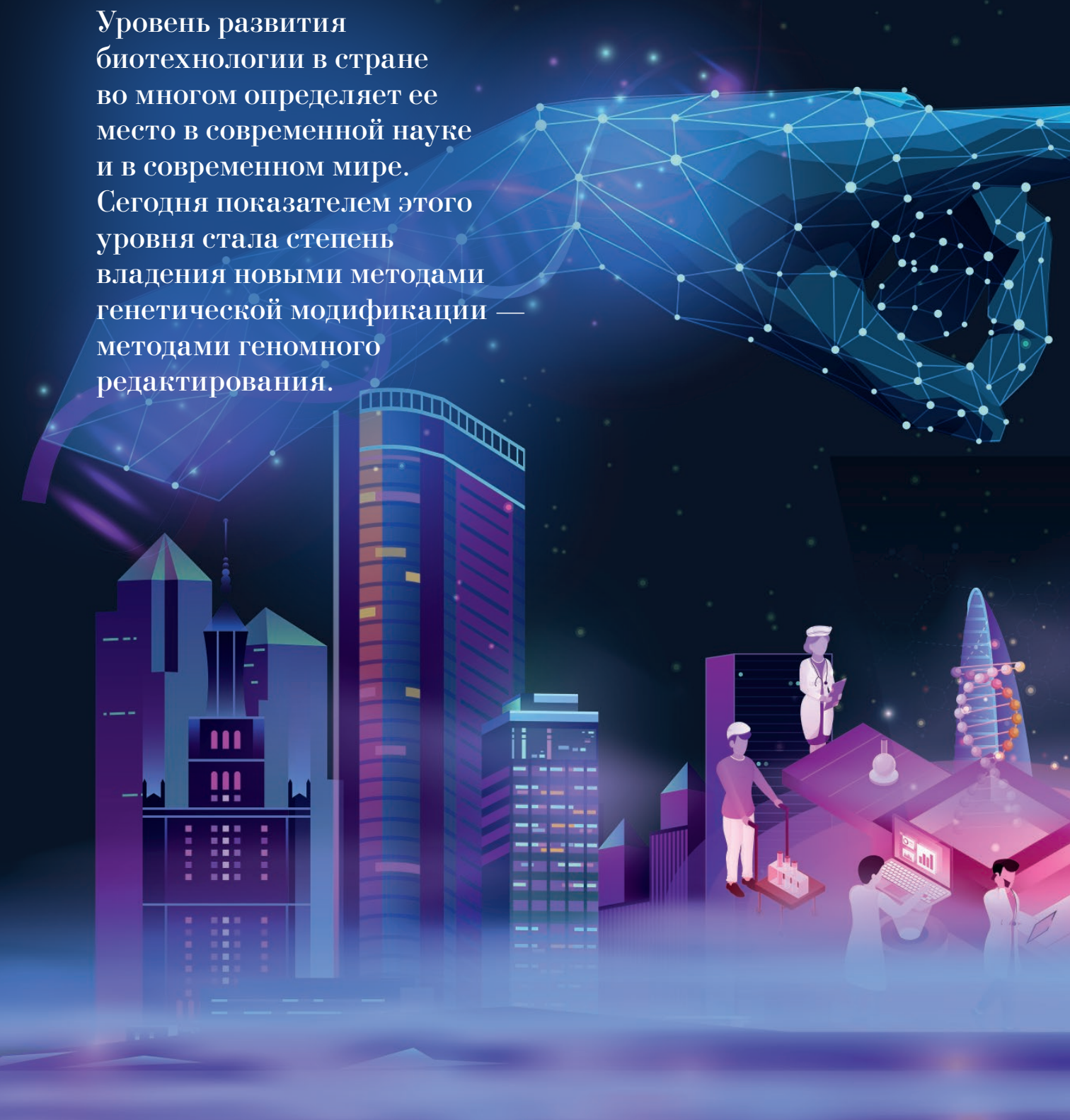
«Трансформируйся или проиграешь» — это девиз на ближайшие десятилетия для всех. ■

Беседовал Валерий Чумаков



БИОТЕХНОЛОГИЯ: ПРИРОДОПОДОБИЕ НА БЛАГО ЧЕЛОВЕКА

Уровень развития биотехнологии в стране во многом определяет ее место в современной науке и в современном мире. Сегодня показателем этого уровня стала степень владения новыми методами генетической модификации — методами геномного редактирования.





В нашей стране недавно принята программа генетических исследований, в которой головной организацией стал НИЦ «Курчатовский институт». Почему именно он? Как будет выглядеть эта программа? С чем связана ее необходимость? Каких от нее ждать результатов? Об этом и обо многом другом — наш разговор с первым заместителем директора по науке НИЦ «Курчатовский институт» доктором технических наук Романом Александровичем Санду и директором Государственного НИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» доктором биологических наук, профессором Александром Степановичем Яненко.

— Роман Александрович, указом президента России НИЦ «Курчатовский институт» определен головной научной организацией программы генетических исследований в нашей стране. Почему именно сейчас возник такой интерес к развитию генетических технологий в России?

— Программы исследования геномов организмов реализуются довольно давно, и в России достигнуты успехи мирового уровня по многим вопросам. Достаточно сказать, что расшифровка полного генома человека русской национальности в Курчатовском институте была проведена еще в 2009 г. Это позволило выявить этноспецифические генетические особенности и географию распространения этнических групп на территории России. С запуском этих исследований, инициированных М.В. Ковальчуком, началось возрождение генетического направления в Курчатовском институте.

— Мы уже писали, что именно Курчатовский институт стоял у истоков зарождения исследований в области генетики в СССР. Давайте напомним читателю, как это было.

— Во время «крестового похода» на генетику в СССР в 1948 г. И.В. Курчатов встал на ее защиту. Что вовсе не случайно, поскольку институт, хотя и стоял у истоков советского атомного проекта, всегда занимался мирными науками. В этих стенах активно исследовалось влияние радиации на организмы, в том числе и генетические изменения. Игорь Васильевич, который был настоящим новатором и подвижником в науке, фактически полуподпольно создал в институте два сектора по изучению проблем биологии. В 1968 г. на базе одного сектора — генетики и селекции микроорганизмов — был основан институт ГосНИИ-генетика. А в 1977 г. другой радиобиологический отдел Курчатовского института стал Институтом

молекулярной генетики и был введен в систему академических институтов. Два года назад по инициативе М.В. Ковальчука, поддержанной руководством страны, ГосНИИгенетика вернулась в родные стены и стала частью НИЦ «Курчатовский институт».

Вообще, конец XX — начало XXI в. вошли в историю мировой цивилизации как эра биологии и генетики. От открытия законов передачи признаков наследственности Грегором Менделем человечество шагнуло к молекулярно-биологическому пониманию сущности гена, его структуры и функций. Расшифровка генетического кода, клонирование животных, раскрытие генома человека — все это впечатляющие открытия в области биотехнологий последних десятилетий.

В Советском Союзе, в первую очередь, в стенах Курчатовского института были развернуты фундаментальные работы, в частности по генетике бактерий, селекции продуцентов аминокислот и антибиотиков. Это заложило основу создания отечественной микробиологической промышленности — в ту пору одной из самых мощных в мире.

— Насколько я понимаю, основная цель тогда была чисто медицинская?

— Да, сначала поиск функциональных взаимодействий в геноме человека был продиктован выявлением причинно-следственных связей в заболеваниях. Но со временем высокий уровень этих исследований, их многофакторность плюс прорыв в приборостроении позволили использовать генетические технологии гораздо шире. Расшифровка генома в Курчатовском институте позволила получить сугубо практические данные, используемые сегодня при создании искусственных химерных белковых сенсоров для нейрокогнитивных исследований, фармацевтики, систем для проведения дифференциальной диагностики и выявления



Доктор технических наук Р.А. Санду

генетической природы заболеваний, проведения персональной терапии и подбора методик лечения на основе анализа индивидуальных генетических характеристик.

Технологии редактирования генома открывают возможность эффективной и прицельной модификации генов-мишеней в организме человека и животных. В ходе такого редактирования происходит направленное точечное изменение генов организма без внесения чужеродного генетического материала. Так что разработка высокоточных инструментов коррекции генома и систем их доставки в живую клетку — важная задача современной биологии. Методы высокоточного генетического редактирования должны стать незаменимым инструментом, от которого будут зависеть дальнейшие успехи нашей страны в сельском хозяйстве, животноводстве, промышленной биотехнологии и медицине.

— Готовы ли мы начать эту программу?

— Да, я уверен, что отечественная исследовательская база может обеспечить старт Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий. Именно это и было отмечено президентом нашей страны, когда он подписывал указ «О развитии генетических технологий в Российской Федерации». Затем была утверждена программа развития генетических технологий на 2019–2027 гг. по четырем основным направлениям: «Биобезопасность и обеспечение технологической независимости», «Генетические технологии для медицины», «Генетические технологии для промышленной микробиологии», «Генетические технологии для развития сельского хозяйства».

Для решения таких сложнейших задач будет использован потенциал всего научного сообщества по этим тематикам — ведущих университетов,

профильных научных институтов, Минобрнауки, Минздрава, Минпромторга России, исследовательских центров.

— Насколько эта программа отвечает потребностям общества? Не станет ли она чисто фундаментальной, лишенной практического применения, как, к сожалению, у нас случается?

— Напротив. Ведь в самой цели программы говорится о ее прикладном характере. Она направлена на комплексное решение задач ускоренного развития генетических технологий, создание научно-технологических заделов для медицины, сельского хозяйства и промышленности, а также совершенствование мер предупреждения чрезвычайных ситуаций биологического характера и контроля в этой области. Нужно понимать, что к моменту начала обсуждения программы в России уже были серьезные заделы по применению генетического редактирования при создании клеточных линий и выведении экспериментальных животных, необходимых для подбора и тестирования лекарственных средств, по выращиванию «гуманизированных» животных с модифицированным геномом. Были сформированы также исследовательские группы в ряде ведущих университетов и научно-исследовательских организаций. Так что в лабораториях программа точно не останется.

— Насколько это отвечает сегодняшним целям и задачам Курчатовского института, известного как флагман отечественной ядерной физики?

— Как мы уже говорили, Курчатовский институт всегда был близок к биологическим, генетическим исследованиям, и, несмотря на все трудности, через которые пришлось пройти стране и институту, это направление продолжало развиваться. Сегодня наш институт — единственный в стране и один

из немногих в мире научно-исследовательских центров, имеющих компетенции по всему циклу технологий генетического редактирования. В Курчатовском институте за последнее десятилетие наряду с развитием традиционного ядерно-физического направления М.В. Ковальчуком был создан уникальный комплекс природоподобных нано-, био-, инфо-, когно-, социотехнологий (НБИКС) с суперсовременной приборной базой по исследованию белков, структуры клеток, генетических особенностей прокариот и эукариот. Здесь, в частности, работает секвенатор нового поколения. В институте также находится мощнейший компьютерный дата-центр для обработки огромных объемов данных по генетическим технологиям, экспериментальный комплекс биологических моделей. Кроме того, наш институт располагает Всероссийской коллекцией промышленных микроорганизмов, наиболее значимой в России, обладающей фондом, превышающим 20 тыс. штаммов хозяйственно значимых микроорганизмов. Все эти и многие другие компетенции позволяют считать правильным выбор Курчатовского института в качестве головной научной организации для осуществления этой программы.

— Вы назначены руководителем экспертной комиссии при президиуме совета по реализации программы. То есть знаете, как будет осуществляться отбор организаций для создания геномных центров?

— Действительно, 13 июня нынешнего года Минобрнауки России инициировало процедуру отбора организаций и объединений структурных подразделений, на базе которых в 2019 г. будут созданы три центра геномных исследований мирового уровня. Эти центры будут вести прорывные исследования и разработку новейших генетических технологий, а также обеспечивать продвижение российских генетических исследований в мировом научном сообществе.

В отборе организаций для таких центров участвовала не только экспертная комиссия при президиуме совета. Заявки поступили от консорциумов ведущих российских научных и образовательных организаций по каждому из направлений

реализации программы. Все заявки были очень сильными, отбирать было непросто. Первый этап отбора — проверку заявок — производило само министерство и несколько отклонило. Эксперты Российского научного фонда определяли соответствие этих заявок предъявляемым требованиям. Эта обезличенная информация поступила потом в нашу экспертную комиссию, где было 22 члена, компетентных в этих вопросах. Они были разделены на четыре группы по направлениям программы. На всех четырех секциях шли горячие дебаты, я лично присутствовал на всех обсуждениях.

Последнее обсуждение на медицинской секции длилось десять часов без перерывов.

— Врачи — люди привычные к многочасовой работе без перерывов. Но вы-то как это выдержали?

— Наверное, помогло то, что все были заинтересованы в решении вопроса. Никто не уходил и не жаловался на усталость. В результате совместной работы Российского научного фонда и экспертной комиссии был сформирован объективный рейтинг, который теперь поступил на рассмотрение и последующее утверждение в совет программы.

— Какие организации входят в состав геномного центра, возглавляемого Курчатовским институтом?

— М.В. Ковальчук инициировал создание под эгидой Курчатовского института консорциума крупнейших организаций в области генетических исследований. В их числе ФИЦ «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН», Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Институт молекулярной генетики РАН, ГосНИИгенетика, ведущий вуз в области физики и информатики МФТИ и др.

— Чем планируете порадовать?

— Ближайшие цели — разработка линий растений и животных, биомедицинских клеточных продуктов, штаммов и микробных консорциумов, представляющих собой продуценты, в том числе незаменимых аминокислот, ферментов и витаминов именно для практического использования в различных отраслях экономики нашей страны.

Развитие генетических технологий представляет огромное поле деятельности, где ожидаемый результат будет иметь важнейшее значение для экономики, общества, для всех наших сограждан. У России есть все шансы в ближайшие годы оказаться в одном ряду с лидерами этого направления



Доктор биологических наук,
профессор А.С. Яненко

Для этого у нас имеются все природные условия — это разнообразие биоты России от Арктики до субтропиков, что создает уникальное преимущество для развития генетической селекции.

Хотелось бы упомянуть также о роли структурных исследований планируемого центра, которые станут важным звеном в создании новых методов генетического редактирования. И здесь у нашего консорциума нет конкурентов, в том числе благодаря уникальным возможностям Курчатовского синхротронно-нейтронного центра. Что же касается МФТИ, то не секрет, что в Физтехе одна из лучших в стране математическая подготовка. А сегодня на переднем крае биологии — биоинформатика, то есть прежде всего вычисления и алгоритмы. Кроме того, МФТИ доказал свою эффективность и в биологических исследованиях.

— Как бы вы объяснили обывателю, что конкретно даст реализация программы российскому обществу, как изменится наша жизнь?

— Здесь можно использовать слова К.Э. Циолковского, которыми он обозначил когда-то то, что даст человечеству космонавтика: «горы хлеба и бездны могущества». То же можно сейчас сказать и о реализации генетической программы. Развитие генетических технологий представляет огромное поле деятельности, где ожидаемый результат будет иметь важнейшее значение для экономики, общества, для всех наших сограждан. У России есть все шансы в ближайшие годы оказаться в одном ряду с лидерами этого направления. Однако для реализации таких амбициозных планов нужен стратегический комплексный подход к развитию исследований в этой области, необходимы принципиально новые научно-технологические решения, основанные в том числе на природоподобных технологиях.

— Как вы оцениваете уровень развития отечественной генетики?

— Современная генетика — это огромный научный пласт, сосредоточенный во многих центрах страны. Безусловно, у нас есть немало проектов по развитию генетических исследований. Они были поддержаны государством, и очень много коллективов по всей стране работало в этом направлении. Уже есть федеральная техническая программа по сельскому хозяйству, где внедряются результаты исследований последних десятилетий. Но наша программа генетического развития находится на острие современной науки. Сейчас во всем мире наблюдается всплеск публикационной активности в исследованиях по редактированию генома, растет интерес к биотехнологии, происходит формирование новых программ. В той же Китайской Народной Республике за последние пять лет больше внимание и средства были направлены на развитие генетической технологии. Но и мы не стоим на месте.

— Чего бы вы хотели пожелать участникам программы?

— Безусловно, успехов. Желаю всем справиться с этой непростой работой — ведь задачи стоят колоссальные. Но их решение в конечном итоге будет способствовать повышению уровня жизни нашего народа. Равнодушных людей в этом вопросе у нас нет.

— Александр Степанович, знаю, ваш институт имеет давнюю историю...

— Наш институт возник 40 лет тому назад в недрах Курчатовского института, и задачи его сразу же были связаны с генетическими технологиями. Надо было научиться изменять микроорганизм так, чтобы он производил нужные человеку вещества. Бактериальная клетка синтезирует около

900 метаболитов. Большинство из них — ценные продукты для человека. Но в природных условиях клетка сама потребляет все эти вещества. А наша задача — так изменить микробную клетку, чтобы ценные вещества доставались человеку. При создании института была поставлена задача: разработать генетические методы модификации клеток, с помощью которых заставить микроорганизм служить человеку. И мы шаг за шагом развиваем эти методы.

— **За эти годы наверняка многое изменилось.**

— За это время сменилось несколько поколений ученых. Конечно, меняются и методы. Вначале это были ненаправленные модификации, мутагенез, отбор случайных вариантов, многоэтапная проверка. Затем появилась генная инженерия. В этих областях институт многого достиг. В стране была создана большая промышленность, получены штаммы — продуценты антибиотиков, витаминов, аминокислот, ферментов.

— **Однако опыт внедрения методов генной инженерии мы не можем назвать вполне успешным. Общество напугано ГМ-продукцией, многочисленны этикетки в магазинах «Без ГМО!» говорят сами за себя.**

— Вы правы. Генная инженерия была колоссальным научным и технологическим прорывом, мы научились работать с изолированными генами. Но, к сожалению, общество оказалось к этому не готовым, оно, по сути, отвергло использование модифицированных организмов, полученных с помощью генной инженерии, так называемых генетически модифицированных организмов, содержащих чужеродные гены. Укоренилась точка зрения: ГМО — это опасно. Поэтому, несмотря на очевидный прогресс, связанный с генной инженерией, назвать это успешным опытом мы не можем. Ответом на негативный опыт прошлого станет новая технология, получившая название геномного редактирования.

Это новое поколение методов основывается на природных процессах, которые реально протекают в клетке. В этом принципиальное отличие от методов генной инженерии. В новой технологии мы опираемся на ресурсы самого организма, изменяя его работу путем изменения регуляции генов.

Мы еще называем это тюнингом клетки. Подстраивая, изменяя регуляцию генов, мы заставляем этот организм нарабатывать тот или иной метаболит, который необходим человеку. В этом и состоит самое важное преимущество методов геномного редактирования — упор делается на собственный генетический потенциал клетки.

— **Против этого общество не возражает? Ведь это тоже некое вмешательство в святая святых, в Божий замысел.**

— Да, это вмешательство, согласен с вами. Но какого рода события происходят и без всякого вмешательства человека, в природе, просто это редкие события. А мы, овладев этой технологией, ускоряем этот процесс. Главное — не навредить. Курчатовский геномный центр

будет охватывать два направления: развитие генетических технологий для микроорганизмов и для растений. Надеемся, нам удастся с помощью новых технологий получить высокопродуктивные штаммы-продуценты и высокоурожайные растения, которые не будут вызывать никаких опасений.

— **Почему именно эти два направления выбраны в качестве приоритета для геномного центра?**

— Сельское хозяйство и промышленная микробиология тесным образом связаны друг с другом. Продукты микробиологического синтеза фактически обеспечивают эффективность сельского хозяйства. Прежде всего, это так называемые незаме-

нимые компоненты кормов — аминокислоты, витамины, жирные кислоты. В обычных рационах для сельскохозяйственных животных, прежде всего в зерне, к сожалению, незаменимых компонентов остро не хватает. Использование кормов, дефицитных по незаменимым аминокислотам, ведет к их существенному перерасходу. А ведь в стоимости мяса затраты на корма составляют 60–70%. Добавление незаменимых компонентов в корма повышает их усвоение. Только добавление незаменимых аминокислот (лизина, треонина и др.) снижает расход кормов в полтора раза.

— **Но ведь это обоюдный процесс: сельское хозяйство тоже обеспечивает микробиологию сырьем.**

Генетические технологии, лежащие в основе микробиологического производства, используются не только для решения задач сельского хозяйства, но и для развития фармпроизводства лекарственных препаратов, а также для производства биохимикатов для химической индустрии

— Да, именно так. Сахара, которые содержатся в продуктах сельского хозяйства, в зерне, в све-кле — это любимая пища микроорганизмов. Перерабатывая эти сахара, они способны нарабаты-вать большое количество разнообразных веществ, в том числе и незаменимых кормовых добавок — аминокислот, витаминов. Поэтому сельское хо-зяйство и промышленная микробиология друг без друга не обходятся, помогают друг другу.

Важно отметить особую роль генетики микроор-ганизмов в становлении генетических технологий. Именно благодаря этим исследованиям возникли все современные методы конструирования, вклю-чая генную инженерию и геномное редактирова-ние. Вначале эти методы были разработаны для микроорганизмов, а затем стали использоваться для модификации других организмов, включая растения, животных и человека. Делая основной упор на развитие генетики микроорганизмов, мы рассчитываем, что эти исследования обеспечат прорыв в создании новых инструментов для моди-фикации не только микробных геномов, но и гено-мов всех других организмов.

— Именно этим вы сейчас и занимаетесь?

— Недавно были подведены итоги конкурса. Наш консорциум во главе с Курчатовским ин-ститутом признан победителем. Задачи Курча-товского геномного центра определены: разра-ботка новых редакторов и новых инструментов для генетических модификаций микроорганиз-мов и растений. Эти инструменты будут исполь-зованы прежде всего для создания штаммов — продуцентов незаменимых аминокислот, био-химикатов из возобновляемого сырья, а также для получения новых сортов растений, устойчи-вых к вирусным заболеваниям, климатическим стрессам.

— Наверное, это очень важно на фоне резких климатических и погодных изменений — при так называемом кризисном климате, как гово-рят ученые.

— Да, важность этого направления нельзя пе-реоценить. Но вообще человек всегда использовал живые организмы, применял их для собственных нужд. В значительной степени прогресс челове-чества был связан с использованием новых улучшен-ных форм животных, растений или микроорганиз-мов. И сегодня уровень технологического развития страны в значительной степени будет зависеть от умения, способностей создавать новые высоко-продуктивные сорта растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.

— Александр Степанович, вы говорите, что во-сем недавно вам дали зеленый свет для гене-тических исследований. Но поскольку инсти-тут существует уже давно, наверное, можно сказать о каких-то результатах в этом направ-лении?

— С использованием технологии, разработанной в ГосНИИгенетике, впервые за постсоветское вре-мя в Российской Федерации был построен круп-ный биотехнологический комплекс по производ-ству незаменимой аминокислоты лизина — важ-нейшей кормовой добавки. Впервые в мировой практике для производства лизина в качестве ос-новного сырья используются продукты глубокой переработки зерна пшеницы. Биотехнологический комплекс, работающий в Белгородской области (ЗАО «Завод премиксов № 1»), обеспечивает не ме-нее 40% потребностей отечественного животно-водства. Этот проект — пример успешного сотру-дничества бизнеса, науки и государства.

— Речь, по сути, идет о возрождении отече-ственной микробиологической промышленно-сти?

— Да, именно так. Ведь мы почти потеряли эту отрасль и в основном закупали биотехнологиче-скую продукцию за рубежом. Сейчас мы впервые получили собственную сырьевую базу для воз-рождения микробиологической промышленности. Это обеспечит и продовольственную безопасность, и безопасность страны в целом. Ведь генетические технологии, лежащие в основе микробиологиче-ского производства, используются не только для решения задач сельского хозяйства, но и для раз-вития фармпроизводства лекарственных препара-тов, а также для производства биохимикатов для химической индустрии.

— Одна из важных задач — геномное редак-тирование при различных заболеваниях чело-века.

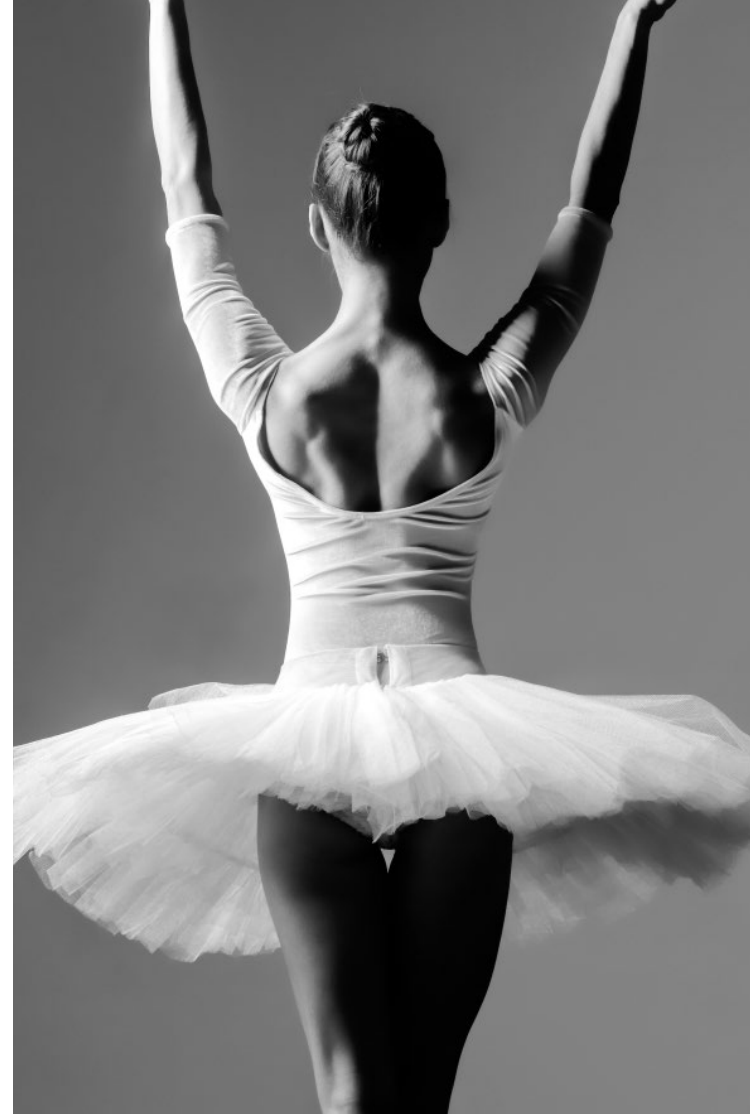
— Конечно. Один из трех центров геномных ис-следований, Институт молекулярной биологии, будет плотно заниматься разработкой генетиче-ских технологий для медицины. Мы надеемся, что наши разработки в области геномного редактиро-вания окажутся полезными и для медицины.

— Отредактируете человека так, что он будет непобедим, неистребим и бессмертен?

— Редактировать человека — это, конечно, со-блазнительно, но опасно. Думаю, на первых этапах речь пойдет о создании лабораторных животных, которые будут моделировать заболевания чело-века. Шаг за шагом, проверяя безопасность генети-ческих технологий, мы должны осторожно двигать-ся к нашим целям. Мы должны показать обществу, и в этом велика роль СМИ, что геномное редактиро-вание — дружественная человеку технология.

Какими бы ни были наши биотехнологические успехи, главная цель — как можно меньше отхо-дить от замысла природы, лишь приспособлявая предоставленные ею возможности для нашего же блага. Нужно не противоречить природе, а сотру-дничать с ней. ■

Беседовала Наталья Лескова



ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА

Бодрость духа,

Когда я училась в МГУ, у нас, как и во всех учебных заведениях, были ребята, которые не могли заниматься физкультурой наравне с другими. Их записывали в специальную группу ЛФК, где с ними по облегченным методикам занимался отдельный преподаватель. Оказывается, можно организовать этот процесс совсем по-другому. И такой пример демонстрирует Томский политехнический университет, где на базе отделения физической культуры ведутся многолетние научные исследования, а на их основе разрабатываются и успешно внедряются методики, которые могут помочь таким студентам. Да и не только студентам.

О том, что это за методики, — наш разговор с доктором медицинских наук, профессором отделения физической культуры Школы базовой инженерной подготовки ТПУ **Леонидом Владимировичем Капилевичем**.



грация и пластика

— Леонид Владимирович, я слышала, что на вашем факультете проводится множество уникальных научных исследований. О чем речь?

— Основная проблема, которой мы занимаемся уже в течение ряда лет, — это проблема физической активности, физической реабилитации для лиц с различными нарушениями здоровья, или, как сейчас принято формулировать, с ограниченными возможностями здоровья. Мы начали этим заниматься по одной простой причине: всегда часть студентов была освобождена по состоянию здоровья от физической культуры, и, соответственно, мы хотели им помочь. Ведь сейчас медицина стоит на том, что движение лечит любую болезнь. Подходы изменяются. Например, еще 20 лет назад, когда я учился в медицинском

институте, нам говорили, что больной после инфаркта неделю или две должен лежать, даже в туалет не вставать, то есть соблюдать полный постельный режим. А сегодня концепция изменилась — уже на второй день после инфаркта ему предлагают вставать, потихоньку выполнять самые легкие упражнения, шевелить руками и ногами.

— Движение — все?

— Да, уже фактически нет заболевания, при котором не надо двигаться, чтобы себе помочь. А тут получалось, что люди с самыми разными заболеваниями освобождались от физкультуры, они это время проводили сидя, то есть дополнительно усугубляли состояние своего здоровья. Мы решили поискать здесь новый подход и начали разрабатывать методы для таких студентов.



Доктор медицинских наук,
профессор Л.В. Капилевич

— Наверняка они возражали?

— Нет, вы знаете, наоборот: это вызвало интерес. Мы сами сначала думали, что нам придется их заставлять, убеждать, уговаривать. Но эти ребята оказались заинтересованными в своем здоровье. Мы, к своей радости, сразу увидели интерес и почувствовали обратную связь. Но вскоре мы поняли: если мы хотим получить серьезный эффект, надо подходить к этому системно, проводить исследования. Что мы и стали делать.

— С чего все началось?

— Первая наша работа состоялась десять лет назад. Она была поддержана нашим областным грантом. С него и начались наши изыскания в этой области. Поскольку среди студентов с ограниченными возможностями здоровья встречались люди с самыми разными заболеваниями — сердца, органов зрения, с двигательными нарушениями, — мы начали работать с отдельными группами и искать для них разные методики. Как раз в это время стало появляться много аппаратов, в том числе российского производства, которые позволяли изучать, анализировать эти движения, — это и фоторегистраторы, и стабиллографические платформы. То есть появились возможности работать в этом направлении.

Большой интерес вызвала, в частности, история людей с детским церебральным параличом. Сейчас мы эту тему в какой-то степени завершили, создав тренажер, который внедрен в практику. Была защищена кандидатская диссертация моего аспиранта С.Д. Коршунова, выпускника нашего университета. Он изобрел тренажер для таких детей, провел исследования, с помощью серьезных научных методов выделил несколько групп, показал, каким образом с этим тренажером надо заниматься. Эта тренажерная методика защищена патентом. Он окончил аспирантуру и сейчас работает в реабилитационном центре, где успешно внедрил свою методику. Насколько я знаю, к нему большая очередь — месяца на два вперед все расписано.

— В чем же смысл работы этого тренажера?

— Он несложен. Он соединяет руки и ноги родителя с ребенком, и главное здесь — научить родителя правильно двигаться, чтобы ребенок повторял за ним эти движения. Ребенок, поработав с родителем, начинает сам выполнять те же самые движения правильно. Тренажер оказался очень востребованным, им заинтересовались и в других городах Сибири. Мы не жадничаем — делимся методикой, поскольку заинтересованы в ее широком распространении. Эта работа тоже была поддержана грантом Российского гуманитарного научного фонда.

— Но, насколько я знаю, на этом вы не остановились.

— Да, сейчас мы опять выиграли грант РНФ на изучение адаптации студентов с ограниченными возможностями здоровья к учебному процессу. Грант этот мы выполняли совместно с социологами — изучали социальные, педагогические, физические аспекты, стараясь понять, как студент с тем или иным заболеванием себя чувствует в ходе учебного процесса, с какими проблемами сталкивается и чем мы ему можем помочь, в том числе в плане физической активности, потому что для них это важно. Один из аспектов, которым мы занимаемся, — скользкая поверхность. У нас в Сибири в среднем семь месяцев в году лежит снег, соответственно, перемещаться приходится по скользким поверхностям, а это очень серьезная проблема для таких людей.

— По-моему, не только для таких. Видела в работе один из ваших тренажеров, где нужно передвигаться по беговой дорожке, в то время как на мониторе движется управляемая вами машина, и ваша задача — удержать ее на трассе, чтобы она не врезалась в ограждение. Оказывается, это совсем не простая задача, связанная с тренировкой вестибулярного аппарата. А уж если будет еще и скользко...

— Да, это для многих проблема. Люди падают, получают различные травмы, лишаются возможности передвигаться самостоятельно. И мы стали разрабатывать методики. С этой целью мы изучали, чем отличаются движения на скользкой поверхности от обычных. Смотрели здоровых физически людей, людей с различными заболеваниями — конечностей, спины, с нарушениями зрения.

А в прошлом году начали еще одну тему — уже со спортсменами. В Томске очень популярен такой вид спорта, как зимний футбол, или футбол на снегу. У нас проводятся чемпионаты, играют больше сотни команд разных возрастов — от детей до ветеранов. И один из организаторов этой команды, бывший футболист чемпионата России, мастер спорта Александр Ильин предложил нам изучить, в чем особенность футболистов, которые играют на снегу, и как правильно тренировать команду. Ведь они играют на скользкой поверхности, на холоде. Сейчас совместно с ним мы проводим такие исследования. Есть интересные результаты, рекомендации, как нужно тренировать таких футболистов.

— Знаю, что результатом этих исследований тоже стал тренажер.

— Да, мы разработали систему тренировки. Для этого мы взяли компьютерный тренажер, который позволяет регистрировать положение тела человека, тестировать его на равновесие, движение рук, ног и работу мышц, изучили разные группы таких студентов и для каждого разработали свою систему тренировки, которую уже используем на занятиях.

— Правильно ли я понимаю, что у вас нет студентов, которые не заняты тем или иным видом физической активности?

— Именно к этому мы и стремимся. Конечно, есть ребята, которым тяжело к нам добираться, чтобы позаниматься на тренажере, они подчас учатся дистанционно, но мы стараемся приблизиться к каждому студенту, найти для него возможность заниматься тем, что ему доступно. Просто освободить от физкультуры по состоянию здоровья, конечно, проще всего. Но это не лучший вариант для самого студента.

— Что они сами говорят о результатах?

— Есть и субъективный положительный отзыв, когда они говорят, что им понравилось, им стало легче, они стали более уверенно себя чувствовать, в том числе на улице. Говорят, что возросла продуктивность основных занятий.

Компьютерный интерфейс тренажера, предназначенного для тренировки вестибулярного аппарата

И объективно после цикла занятий, когда в течение месяца мы проводим повторные исследования, оцениваем их равновесие, координацию, точность, — видим, что есть положительные сдвиги. Тренировка реально помогает им в жизни. Сейчас по этой теме завершила исследование моя аспирантка Е.В. Медведева, и я надеюсь, что в этом году кандидатская диссертация будет представлена и защищена.

— Может ли ваша система применяться для других людей?

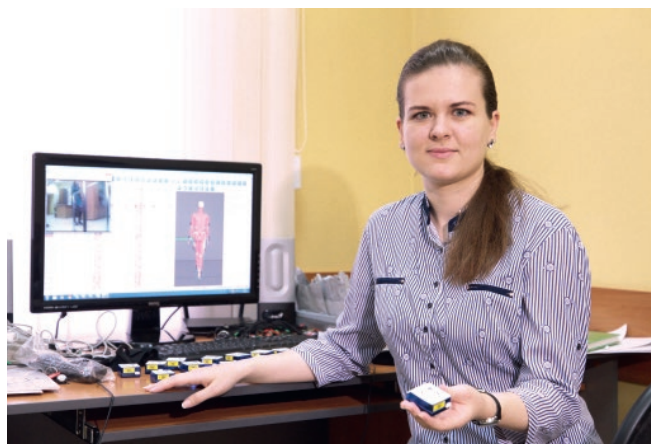
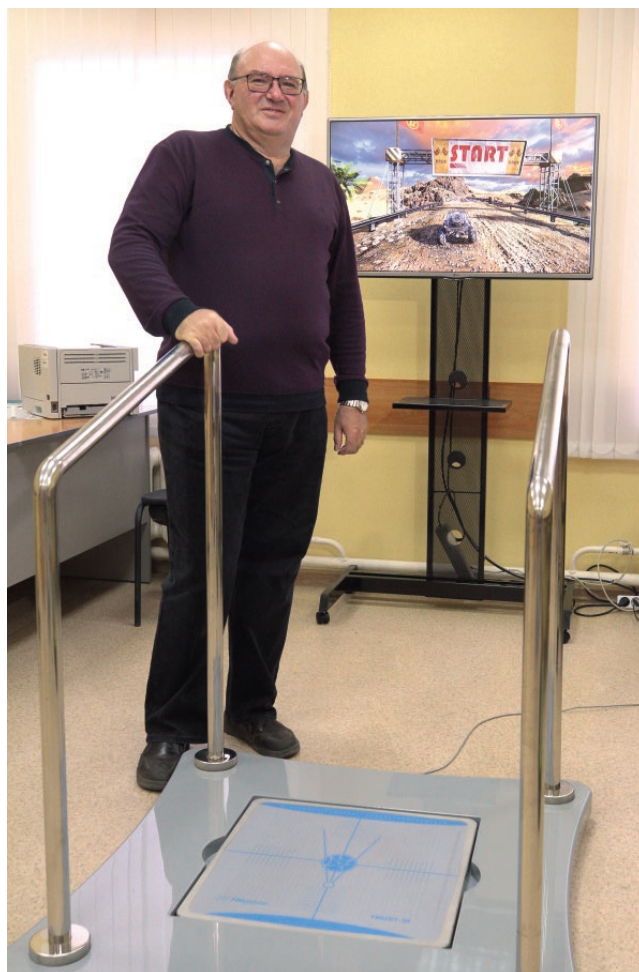
— В разных модификациях ее можно применять абсолютно всем. Ту же систему, но уже с другими, весьма напряженными тренировками использовал еще один наш аспирант, Ф.А. Гужов, который тренирует команду по карате. Он отрабатывал удары с применением этого тренажера. Получается, что человек, выполняя удар, на экране видит картинку своего удара, а рядом тут же проецируется картинка, как этот удар выполнил мастер. Таким образом, спортсмен видит, в каких деталях у него отличие, а потом пробует несколько раз повторить, и у него появляется понимание, что он делает неправильно и что надо поправить. Так можно учиться всему — танцам, баскетболу, просто тренировать реакцию и развивать умение держать равновесие, что нужно всем людям без исключения.

— Честно говоря, никогда не слышала, чтобы кафедры физкультуры каких-либо вузов занимались подобной работой. Насколько это уникально?

— Насколько я знаю, в России такими исследованиями ни один вуз больше не занимается. Есть ли такое за рубежом, не знаю, не слышал. Мы, конечно, тесно сотрудничаем с рядом организаций — с Институтом нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАН, Научно-исследовательским институтом физической культуры РАН. Там тоже занимаются подобными проблемами. Но это научно-исследовательские, а не учебные учреждения.

— Почему же вы, не будучи НИИ, столь активно ведете такую работу?





Профессор Л.В. Капилевич (слева) и аспирант Е.В. Медведева (вверху) тестируют тренажер для проведения обследований и тренировки студентов с ОВЗ

— Так получилось организационно, что на нашей кафедре очень сильная команда медиков. Я и человек пять моих учеников, которые работают на кафедре, по образованию врачи и пришли в эту сферу из медицины. Наверное, поэтому нам было интересно получить в этом направлении какие-то важные результаты.

— Это замечательно. Наверняка у вас есть планы, идеи, которые хочется воплотить?

— Планы есть, и мы действительно надеемся их воплотить. Сейчас мы подали заявку на конкурс федеральных целевых программ совместно с нашей Инженерной школой информационных технологий и радиотехники ТПУ и собираемся разработать устройства и программы для реабилитации более тяжелых больных. Мы хотим создать аппарат, который будет дополнять движения человека и обучать его. В случае если он не может выполнять какие-то движения — например, после инсульта, после тяжелой травмы, — наш аппарат сможет обучать его либо вообще заместить это движение, чтоб помогать ему жить дальше.

— Как это будет выглядеть?

— Возможности могут быть самыми разными. Например, это может быть что-то типа

экзоскелета — надетое на руку устройство, которое будет помогать человеку поднимать руку. У нас есть наработки, есть макет, который мы уже пробовали в действии. Теоретические изыскания мы провели. Для того чтобы перейти к практической части и изготовить опытный образец, требуются довольно большие средства. Сами мы это не можем потянуть и поэтому подготовили заявку на грант федеральной целевой программы Правительства РФ. Там один из разделов — медицинские реабилитационные технологии. В ноябре ждем результата. Если наше начинание будет поддержано, приступим к этой теме. Ну а если нет — посмотрим, какие нам сделают замечания, доработаем и будем подавать на следующий конкурс.

— Если все получится, где вы будете это применять?

— Эта работа направлена на медицинские учреждения. Из рамок нашего университета мы уже выходим. В Томске есть довольно много центров разного уровня, куда попадают пациенты после травм, а в областной больнице работает консультное отделение. Они очень заинтересованы в таких аппаратах. Мы уже проводили с ними переговоры и договорились о тесном сотрудничестве. У них много лежачих больных, которым требуются такие процедуры. Есть и частные коммерческие центры, которые проводят реабилитацию инвалидов. Они небольшие, как правило, на 10–15 человек, но люди туда тоже ходят, регулярно занимаются упражнениями. Туда попадают те, кто уже выписался из больницы, но нуждается в продолжении реабилитации. Там наши методики тоже очень востребованы. Так что останавливаться мы не собираемся и думаем предложить всем, кто в этом заинтересован, еще немало полезных и доступных разработок. ■

Беседовала Наталья Лескова



ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия



Взгляд на науку
с пристрастием

Актуальная информация о науке и технике в России и в мире
Открытия в разных областях фундаментальной и прикладной науки
Новости из научных центров и вузов страны и мира

scientificrussia.ru

БИОФОТОНИКА

ЛУЧ СВЕТА ВО ИМЯ ЗДОРОВЬЯ

Ровно месяц прошел с предыдущей «плавучей» конференции на Волге, и снова теплоход «Константин Коротков» принимает ученых со всего света — в этот раз на симпозиум «Актуальные проблемы биофотоники».

Нынешний симпозиум, седьмой по счету, организован Институтом прикладной физики РАН и Приволжским научно-медицинским университетом. Более 150 ученых и специалистов прибыли из 20 стран мира, что говорит о колоссальном интересе к симпозиуму со стороны мирового научного сообщества.



В числе участников как «ветераны», не пропустившие ни одного из семи мероприятий, так и новички, посетившие нынешнюю конференцию впервые.

Достаточно узкая специализация тематики конференции с лихвой компенсируется высочайшими темпами развития этой отрасли медицинской науки, и развивается она, по словам президента РАН А.М. Сергеева, не только вширь, но и вглубь. Именно биофотоника нам помогает пролить свет — в буквальном смысле — на множество тайн живого организма, чтобы увидеть невидимое и достичь недостижимого.

А.М. Сергеев сравнил проходившую здесь же месяц назад конференцию по нелинейной физике с нынешней:

— Конференция «Рубежи нелинейной физики» — более широкая, включающая в себя много разных наук. Биофотоника — пока единая наука, но она быстро растет и развивается. Отличается и контингент участников конференции. Во-первых, почти половина иностранцев — из Китая. Это говорит о том, что Китай, вкладывая большие средства в науку и выбирая самые новые направления, которые могут в ближайшее время «выстрелить», особое внимание уделяет как раз развитию биофотоники. Кроме того, в рамках этой конференции организованы российско-китайские рабочие группы. Во-вторых, здесь больше молодежи и больше общения, дискуссий.



**СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ ВИНОГРАДОВ,
ПРОФЕССОР БИОХИМИИ И БИОФИЗИКИ
ПЕНСИЛЬВАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (США):**

— Сергей Андреевич, с чем вы приехали и чем занимаетесь?

— Моя группа — химическая и спектроскопическая. Один из проектов, который как раз был интересен участникам этой конференции, — разработка метода для визуализации распределений кислорода в живых тканях. Этим мы занимались более 20 лет и разработали технологию, которая применяется теперь в разных областях биологии. В частности, есть большой интерес со стороны людей, которые занимаются онкологическими исследованиями. Ведь кислород — это фундаментальная молекула для метаболизма. И знание того, как он распределен в тканях, может принести информацию о том, как устроена физиология болезни или, например, как можно болезнь лечить. Это также очень интересно для нейрофизиологии, поскольку вопросы, связанные с активацией нейронов и передачей сигналов между ними, всегда сопряжены с их метаболизмом. И кислород как непосредственный участник метаболизма выступает как маркер активности. Поэтому, регистрируя кислород, можно вживую, в реальном времени, наблюдать, что происходит с метаболизмом и когда происходит активация.

— Вы занимаетесь наукой в США. Где и как начиналась ваша научная карьера?

— Я защитил диссертацию в Москве на химическом факультете МГУ и поехал делать постдокторскую работу в США. У меня не было плана оставаться в Штатах или возвращаться оттуда, просто я продолжал работать. А дальше дела пошли, и мы начали разрабатывать эту кислородную технологию. Она связана не только с химией, это целый спектр наук — от постройки инструментов

и написания программ до развития самих применений. Меня это увлекло, и уже больше 25 лет я работаю в Америке.

— Какой из ваших нынешних проектов вызывает наибольший интерес?

— У меня есть одно очень интересное направление. Мы пытаемся построить молекулы, которыми можно управлять люминесценцией с помощью магнитных полей. Это интересная тема, потому что имеет отношение к так называемым квантовым эффектам в биологии. Выбранный нами подход к решению этой задачи очень сильно переключается с тем, как птицы, по-видимому, ориентируются в магнитном поле Земли. Мы используем такие же принципы, чтобы построить молекулы: если к ним поднести магнит — они засветятся, убрать — перестанут светиться. Зачем это нужно?

С научной точки зрения, это просто интересно — сможем сделать или нет. А с практической... Изначально я думал, что если создать такие структуры и они будут действительно хорошо работать, то можно будет, например, сильно увеличить разрешение трехмерной оптической томографии с помощью градиентов магнитных полей. С другой стороны, с помощью оптики и света можно было бы сильно увеличить чувствительность магнитно-резонансной томографии. Но это пока на начальной стадии.

— Каким образом это может применяться на практике?

— Это диагностика, но не только. Например, есть такой метод лечения рака, который называется «фотодинамическая терапия». Берут специальную краску, пытаются сделать ее такой, чтобы она попадала только в опухолевую ткань. Затем используют максимально направленный источник излучения, чтобы эту краску освещать, и в этом месте производится фототоксический эффект на ткань. Проблема в том, что как бы вы ни пытались доставлять направленный свет в ткань на глубине, из-за рассеивания это сделать практически невозможно. А теперь представьте, что процесс возбуждения и генерации фототоксичности можно было бы сфокусировать в нужной области ткани на глубине с помощью магнитных полей. Градиенты магнитного поля внутри ткани можно регулировать очень точно. Таким образом можно увеличить эффективность доставки излучения.

— В какой стадии эти разработки находятся сейчас?

— Там есть некоторые принципиальные сложности, и я пока не берусь сказать, сможем мы их решить или нет. Это очень тонкие нюансы, о которых трудно рассказать доступно в коротком интервью.

— Что еще интересного происходит в вашей лаборатории?

— Есть такое явление — апконверсия энергии: берется инфракрасный свет, а возбуждается

видимая эмиссия, которую можно дальше использовать в постройке изображения. Для этого применяют специальные хитрые наночастицы, в которых многофотонное возбуждение происходит с помощью взаимодействия последовательно образующихся экситонов. Они, в свою очередь, осуществляют диффузию внутри нанокристалла, а потом аннигилируют с образованием фотона более высокой энергии. И этот метод работает. Такие частицы можно использовать в биологических системах. Недавно мы сделали работу, где показали, что можно производить многофотонную микроскопию сосудов мозга не фемтосекундными лазерами, а простыми лазерными диодами с помощью этих частиц. Но просто так видеть морфологию ткани для биологии не очень интересно. Интересно что-нибудь количественно измерить. На сегодня с такими частицами измерить что-то функциональное довольно сложно. Над этим мы также трудимся. Пытаемся их сигнал «пришить» к каким-то интересным биологическим измеряемым величинам.

— **Какой-то выход есть или это пока тупик?**

— Есть, но пока нереализованный. Можно использовать перенос энергии, но проблема в том, что частица, хоть она и маленькая, все равно слишком велика. И если хромофор, который забирает энергию из этой частицы, поместить на ее периферии (а больше его нельзя поместить нигде), то перенос осуществляется неэффективно. Но есть ходы, потому что люди теперь делают частицы, которые еще ярче и меньше, а мы можем их окружить оболочками, в которые нужно «набить» побольше хромофоров. Возможно, когда-нибудь мы преодолеем это ограничение. Но пока об этом говорить рано.

Такого типа разработки с переносом энергии, то есть миграция экситонов, — процесс известный, с физической стороны там ничего нового нет. Но все дело в аккуратной химической «кухне». Когда мы создадим такую «кухню», тогда и будем докладывать об этом.

**АММАСИ ПЕРИАСАМИ,
ДИРЕКТОР ЦЕНТРА КЛЕТЧНОЙ ТОМОГРАФИИ,
ПРОФЕССОР БИОЛОГИИ И БИМЕДИЦИНСКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ВИРГИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА (США):**

— **Доктор Перисами, это не первая ваша конференция?**

— Для меня это пятая конференция. Моя сфера интересов — методики оптической визуализации, используемые для изучения различных заболеваний, таких как рак, диабет и т.д. Здесь много говорят о новом подходе к применению методик оптической визуализации для диагностики и анализа данных, где глубинное и машинное обучение

в последнее время стали очень популярны в сфере клинических исследований.

— **Каким образом ваша непосредственная область исследований связана с этой тематикой?**

— Я физик и инженер-биомедик. Моя область исследований — разработка новых технологий для диагностики заболеваний в их начальной стадии. В качестве примера возьмем рак простаты. В настоящее время он диагностируется в той стадии, когда уже развился. Я занимаюсь разработками на молекулярном уровне, измеряя метаболизм, чтобы отследить заболевание на ранней стадии. Это можно осуществить, если взять анализ крови у пациента и измерить в нем окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), используя технику визуализации времени жизни флуоресценции. Это неинвазивный метод, который предоставляет детальную информацию по раннему обнаружению этой разновидности рака. Кроме того, я работаю над диагностированием лейкемии, где применяется тот же подход: мы измеряем метаболизм и отслеживаем процесс развития заболевания. Мы планируем в обоих случаях проводить клинические испытания с использованием методики времени флуоресценции ОВП.

Это новый подход к анализу данных, который я разработал. Если направить свет на ткань или клетки, он поглощается по-разному. Таким образом, когда мы измеряем исходящий от образца сигнал, он дает разное излучение. Чтобы уменьшить количество оптических артефактов, имеющих



место в процессе визуализации, мы разработали новый метод, позволяющий отделить артефакты от сигнала, и он прекрасно работает для живого организма. Когда свет падает на ткань, он производит различные артефакты, и это дает возможность разграничить гликолиз и окислительное фосфорилирование за счет метода сегментации изображения. Мы можем измерить метаболизм в митохондриях; мы также можем увидеть дисфункцию митохондрий. Именно над этим мы работаем.

— Насколько отличаются сигналы от разных видов рака? Другими словами, можно ли отличить один вид рака от другого этим методом?

— Очень хороший вопрос. Вполне вероятно, что интенсивность метаболизма будет изменяться в зависимости от разновидности рака, то есть теоретически это возможно. И здесь снова вступает в действие глубинное обучение. У нас может быть огромное количество данных, которые покажут, от какой клетки поступил сигнал — здоровой или раковой. Большинство онкологических механизмов связаны с дисфункцией митохондрий. Но сейчас исследования в основном направлены на возможность отличить нормальную клетку от раковой с помощью опытов на животных с целью улучшить понимание развития рака с течением времени. Отвечая на ваш вопрос: да, это возможно, но надо понимать, что распознать два или три вида рака одним замером довольно проблематично.

— Если сравнить ваш метод с традиционной диагностикой при помощи онкомаркеров, насколько он надежнее?

— Не скажу, насколько он надежнее, нужны дополнительные исследования. Но я точно могу сказать, что наша методика более чувствительная. Мы пытаемся выявить рак на ранних стадиях. Если мы снова возьмем в качестве примера рак простаты, то обычный метод диагностики с помощью простатического специфического антигена (ПСА) показывает результат при значениях 6 и выше. С помощью метода замера метаболической активности мы пытаемся зафиксировать ранние стадии при значениях ПСА, равных 1 или 2.

— При такой чувствительности возрастет роль ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Как ваша методика с этим справляется?

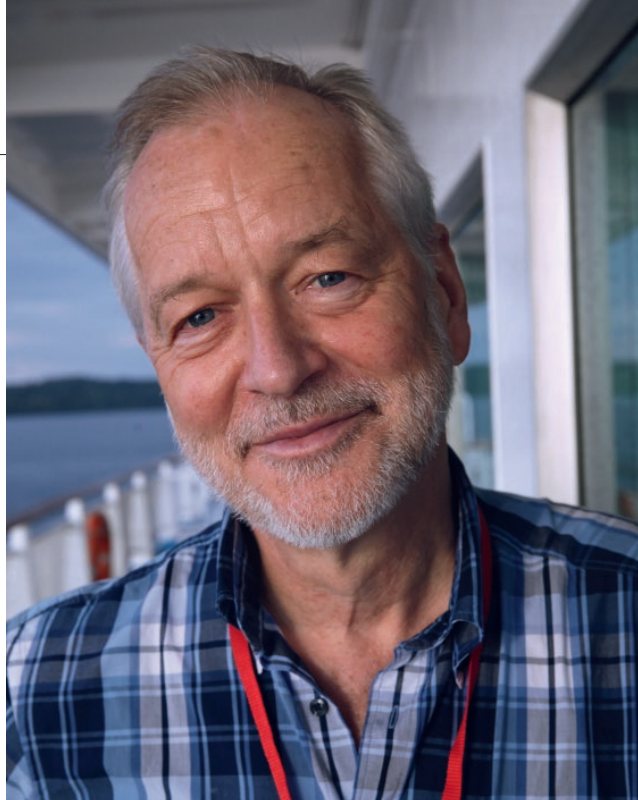
— Ложноположительные и ложноотрицательные результаты случаются во всех экспериментах. Но чем больше данных мы будем в состоянии обработать, тем меньше у нас окажется ложных результатов. Поэтому необходимо сравнить нашу методику с традиционными методами, собрать все эти данные и проанализировать статистическую изменчивость результатов.

— Можно ли применять эти методики для диагностики рака уже сегодня? Или это пока в стадии разработки?

— Некоторые методики еще в разработке. Конечно, медики не готовы применять какую-то методику на живых пациентах, не будучи стопроцентно уверенными, что она работает. Мы вместе с докторами изучаем, как методика работает с клетками культуры тканей, с нормальными и раковыми



Альфред Фогель (слева) и Питер Со



**АЛЬФРЕД ФОГЕЛЬ,
ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА БИМЕДИЦИНСКОЙ
ОПТИКИ УНИВЕРСИТЕТА ЛЮБЕКА (ГЕРМАНИЯ):**

— Доктор Фогель, насколько подобный формат проведения конференции отличается от форматов других конференций, в которых вам доводилось участвовать?

— Разница колоссальная. С натяжкой можно было бы сравнить с Гордоновскими конференциями в США, но здесь получается плавучая Гордоновская конференция, да еще и с экскурсиями. Это отличный формат, сочетающий в себе высочайший научный уровень с осмотром достопримечательностей. На первых конференциях не было такого масштаба, но очень скоро новость о таком формате облетела весь мир, и сегодня это мероприятие достигло того уровня, когда профессора предпочитают присутствовать лично, а не отправлять коллег. Уровень научного обмена весьма высок.

— Здесь много молодых ученых и аспирантов, но достаточно и крупных ученых с мировым именем. Как вам удается обращаться ко всем одновременно и поддерживать их интерес?

— Мне кажется, в одном только выступлении это сделать невозможно. Каждому из нас дается всего 20 минут, приходится выступать очень сжато. Поэтому мы стараемся наилучшим образом все объяснить для максимально обширной научной аудитории. Но поскольку мы все находимся на корабле, у нас полно времени обсудить различные вопросы после выступления. Очень часто во время завтрака, обеда или ужина, когда мы сидим за одним столом, мне задают различные вопросы, и тогда уже можно корректировать ответ в зависимости от уровня собеседника. Мне очень нравится формат конференции на корабле, когда число людей ограничено и при этом присутствует интенсивное персональное общение.

— Давайте перейдем теперь к вашей сфере деятельности. Над чем вы сейчас работаете?

— Я директор Института биомедицинской оптики в Любеке. Это центр оптической когерентной томографии Германии. Спектр моих личных исследований, как и исследований института, чрезвычайно широк — от лазерной терапии до оптической диагностики. Мы в большом объеме занимаемся нелинейной микроскопией и биофотонными исследованиями, работаем с фотобиологией и фотодинамической терапией.

Моя личная работа началась с исследований по лазерной терапии, импульсных лазеров и плазменных эффектов — в частности, внутриглазной микрохирургии. Это было в 1980–1990-х гг. Меня всегда интересовало доскональное исследование механизмов взаимодействия ткани и лазера, который применяется в терапевтических целях, и я

клетками, чтобы использовать эти результаты для демонстрации работоспособности методики. Конечно, при условии, что пациент согласится предоставить образец, а врач позволит нам его взять.

— Что медики говорят про этот метод?

— Они в восторге. Во-первых, он неинвазивный — не нужно делать операцию, чтобы понять, есть ли у пациента рак. Во-вторых, он позволяет выявлять заболевание на очень ранних стадиях. Для этого просто требуется взять кровь на анализ и измерить уровень метаболизма. Как я уже отмечал, в случае рака простаты диагностика по ПСА показывает значение только 6 и выше — это означает, что рак уже развился. А мы хотим снизить это значение и понять, способен ли оптический метод обнаружить его на ранних стадиях.

— Очень хочется, чтобы это сработало. Что-нибудь еще хотите добавить?

— Да, у меня есть предложение. Я занимаюсь организацией международной конференции по мультифотонной микроскопии в Сан-Франциско и международной рабочей группы по межбелковому взаимодействию в Виргинском университете в Шарлотсвилле. После заседания мы всегда собираемся и обсуждаем, как еще можно улучшить наши методики. Например, анализ данных с помощью глубинного и машинного обучения широко используется в этой области исследований, и я думаю, что такой подход должен быть включен в подобные конференции как отдельный подраздел. Это здорово бы помогло, если бы мы могли за минуту проанализировать огромные массивы данных от пациентов, — медикам бы это очень понравилось, такое быстрое действие действительно поражает воображение. Таким образом можно ускорить процесс и расширить междисциплинарные исследования.

продолжаю этим заниматься. В последнее время мой интерес сместился в сторону клеточной нанохирургии, проводимой с помощью остро сфокусированных лазерных лучей, и сейчас мы проводим исследования механизмов фотоповреждений в нелинейной микроскопии. Людям хочется получать изображения максимально быстро, но увеличение мощности может привести к повреждению биологического материала. С другой стороны, если будет известно, каким образом лазерное излучение меняет свойства тканей и клеток, можно установить связь между фотоповреждениями в нелинейной микроскопии и нанохирургией. Здесь огромное и практически непаханое поле для исследований. Обо всем этом я рассказываю на конференциях, и над этим мы работали в течение последних лет.

— Наверняка на этом поле есть где развернуться в плане экспериментов?

— Да, и я этим занимаюсь, объединяя множество различных методик. При использовании единичных импульсов можно создавать микроскопические нановзрывы. А серии импульсов дают совершенно другой эффект и превращаются в кинетический процесс. Термические эффекты представляют собой кинетический процесс, где учитываются время и температура. Аналогичная ситуация наблюдается в нелинейных эффектах с сериями фемтосекундных импульсов. Здесь уже учитывается не только излучение, но и его суммарная доза. Со временем эффекты фотоионизации накапливаются. Сначала возникают промежуточные фотопродукты, наличие которых может

ускорить процесс изменений, и в какой-то момент это приводит к образованию микропузырьков. Пузырьки образуются по тому же принципу, что и после единичных импульсов, но они уже другого типа — это пузырьки газа, которые получились за счет распада биомолекул. Таким образом, плазменные эффекты — это чрезвычайно широкое поле. Мы регистрируем физические явления, связанные с последующим сканированием в многофотонной визуализации, с целью отслеживания кинетики фотоповреждений. Это поможет нам в понимании базовых механизмов.

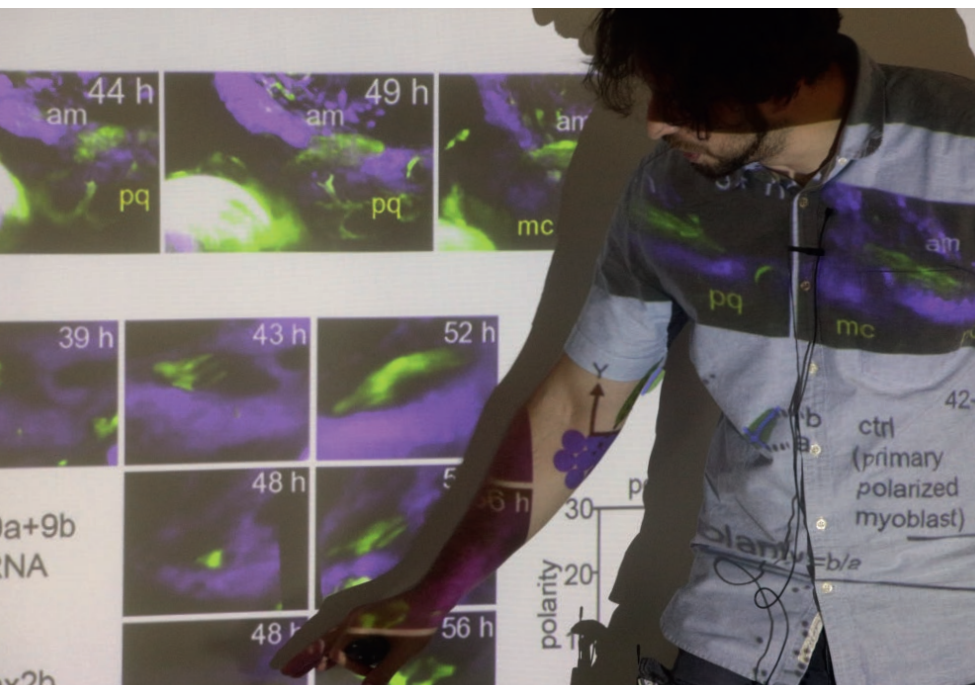
— Как насчет клинического применения?

— Мое влияние на клиническую сферу — скорее опосредованное. Мы занимаемся исследованиями базовых механизмов лазерной терапии, а сейчас рассматриваем механизмы, приводящие к мельчайшим изменениям в тканях в результате воздействия ультракоротких лазерных импульсов. Я много писал о взаимодействии ткани и лазера, и меня многие цитировали, включая разработчиков лазерной терапии, которые хотят понять принципы взаимодействия между лазером и тканью. Это помогает им в оптимизации методов и внедрении их в медицинскую практику.

— Главное — что оно присутствует. Хотите добавить что-нибудь еще?

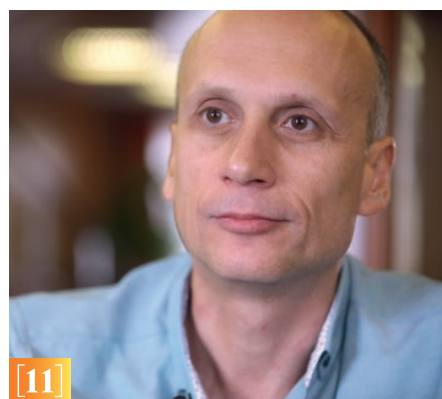
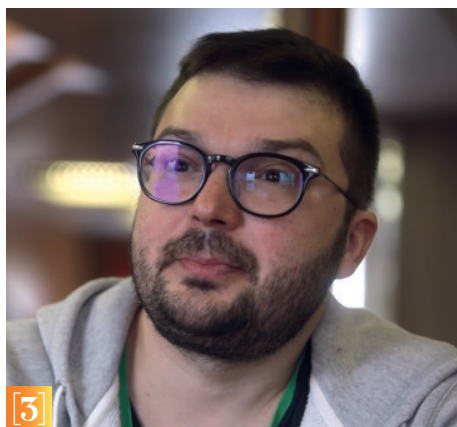
— Да, и считаю очень важным это сказать. Как я говорил в своем вступительном слове, мы все живем на одной планете, и эта планета достаточно маленькая. Нам следует научиться мирно сосуществовать, в равновесии с природой. Но ситуация выходит из-под контроля, и именно ученые

находятся на переднем крае всемирного обмена информацией. Мы говорим на одном языке — на английском, но мы также говорим на языке науки. Мы исследуем реальные факты и опираемся на них, а не на придуманные фальшивки, как это делают другие. На этом корабле мы общаемся с людьми из самых разных стран и культур — это еще одна важная причина, по которой я так люблю приезжать на эту конференцию. И последней причина — это русское гостеприимство. Мне всегда нравились празднества, музыка, культурные мероприятия, которыми сопровождаются конференции по биофотонике, и особенно вдохновляет сердечный прием, который оказывает российская сторона такому количеству гостей со всего мира.



Презентация профессора И.И. Адамейко «Загадка ориентации мышц в организме»

1. Директор ИХФ РАН профессор В.А. Надточенко
2. Профессор Б.Н. Чичков
3. Профессор Каролинского института (Швеция) В.А. Дячук
4. Профессор РАН Е.В. Загайнова
5. К.ф.-м.н. И.В. Турчин, ИПФ РАН
6. Профессор Каролинского института И.И. Адамейко
7. К.м.н. С.В. Гамаюнов, МРНЦ им. А.Ф. Цыба
8. Д.х.н. П.С. Тимашев, МГМУ им. И.М. Сеченова
9. Вольфганг Беккер, президент компании Becker & Hickl GmbH (Германия)
10. Альфред Фогель
11. Член-корреспондент РАН К.А. Лукьянов, Сколтех





**СТЕФАН АНДЕРСОН-ЭНГЕЛЬС,
ПРОФЕССОР, РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА
БИОФОТОНИКИ В НАЦИОНАЛЬНОМ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ
ИМ. ДЖОНА ТИНДАЛЯ (ИРЛАНДИЯ):**

— Я слышал, что вы — завсегдатай этого мероприятия?

— Да, я участвовал во всех семи конференциях, так что знаком и с кораблем, и со многими участниками. Здесь прекрасная дружеская атмосфера. Я часто езжу на конференции в разные страны, и, как правило, процент российских ученых там очень низок. Здесь же я имею возможность общаться с большим количеством российских и восточноевропейских коллег. Ну и сам формат с годами был усовершенствован и прекрасно себя зарекомендовал.

— Чем был вызван ваш изначальный интерес к России?

— Я вырос в Швеции, и Советский Союз был для нас закрытой страной. Мы не имели возможности туда поехать, хотя он был так близко. Вообще, история Швеции очень тесно связана с историей России. В течение многих столетий Россия и Швеция воевали друг с другом. Путешествуя на корабле, мы словно заново переживаем многие исторические события. Некоторые конференции берут свое начало в Санкт-Петербурге и проходят исторические места, о которых мы все читали в книгах по истории. Так что все это очень занимательно.

— Что привело вас на эту конференцию?

— Возможность сотрудничества. Когда я впервые услышал о корабле, я подумал, что такая «закрытая» конференция позволит мне познакомиться с коллегами, которых я иначе никогда бы

не встретил. Идея мне показалась очень заманчивой. И первая же конференция увенчалась успехом.

— Расскажите, чем вы занимаетесь.

— В Швеции я работал с лазерной спектроскопией, над ее обширным применением, пытаюсь решить множество клинических вопросов. Мы тесно сотрудничали с медиками, выясняли, с какими проблемами они сталкиваются и как мы можем им помочь. Затем мы занимались поисками возможных решений их проблем.

Недавно я перебрался в Ирландию, где собрал научную группу в Национальном научно-исследовательском институте им. Джона Тиндаля. Мы работаем над аналогичными задачами, только теперь уже в институте, который специализируется на разработке компактных устройств. Это означает, что, однажды разработав такую систему, мы сможем ее легко интегрировать в существующее медицинское оборудование, которое хирурги используют сегодня. Его легко можно сделать компактным и применять в клинической практике. Это первая причина моего переезда. Вторая причина заключается в том, что в Ирландии базируются 25 компаний, занимающихся производством медицинского оборудования, и это сильно облегчает переход от исследований к внедрению.

— О каких конкретно разработках идет речь?

— Приведу несколько примеров. На конференции я представил продукт, который помогает недоношенным младенцам — детям, родившимся до наступления 39-й недели беременности. Как правило, у них недоразвиты некоторые органы, включая легкие. Недоразвитие легких создает серьезную угрозу жизни ребенка. Мы предлагаем отслеживать его состояние и помогаем ему дышать, потому что если он плохо дышит, то это может привести к повреждению головного мозга и дальнейшим серьезным последствиям. В Национальном научно-исследовательском институте им. Тиндаля мы пытаемся разработать устройство, которое бы следило за кожей младенца и по ней определяло, насколько хорошо у него работают легкие в целом и каждая их доля в отдельности. Сегодня доктора делают ежедневные рентгеновские снимки, но это не очень хороший вариант для новорожденных. Кроме того, снимок производится раз в сутки, а мы хотим создать инструмент для мониторинга состояния легких в реальном времени. Если у нас все получится, то наша система принесет много пользы.

— А другие примеры есть?

— Расскажу об одном футуристическом проекте. Мы хотим использовать свет, чтобы смотреть вглубь тела и получать изображения с таким же разрешением, как у ультразвука. Проблема в том, что свет очень сильно рассеивается, поэтому мы можем получать снимки высокого разрешения

только на малой глубине, а если посмотреть глубже, то рассеивание света очень сильно ограничивает возможности изображения. Мы пытаемся объединить ультразвук и свет, чтобы взять лучшее от обеих методик. Это потенциально сможет предоставлять изображения с пространственным разрешением, которое соответствует ультразвуковой диагностике в субмиллиметровом диапазоне, а также показывать контраст между различными видами тканей в зависимости от их молекулярной структуры, измеренной светом. Это также позволит проникать глубоко в ткани, обеспечивая функциональные изображения внутренних органов.

— Футуристический — это означает, что проект находится еще в зачаточной стадии?

— Футуристический в том смысле, что нам еще нужно разработать инструменты, которые позволят все это обеспечить. На данный момент мы изучили все эти инструменты отдельно, и они работают. Теперь предстоит объединить их в одну систему. Выполнение этой задачи позволит видеть на 15 см вглубь человеческой ткани. Но мы хотим видеть на 30 см, что потребует дополнительных разработок. И у нас уже есть идеи, как этого достичь.

— Насколько это далекое будущее, на ваш взгляд?

— Внедрение медицинского оборудования всегда занимает много времени. Даже если мы покажем принцип действия, на это уйдет от десяти до 15 лет, прежде чем система поступит в клиники. Но мы еще даже не готовы показать принцип действия, так что будет еще дольше. Я к тому времени уже выйду на пенсию.

— Дала ли эта конференция вам новые идеи для ваших проектов?

— Любая конференция многое дает, мы всегда учимся. Если мы не учимся чему-то каждый день, это уже не исследование. Но тут важен еще один аспект — мотивация: начать сотрудничество, стимулировать человека получить докторскую степень и т.д. Есть много способов взаимодействия и укрепления сотрудничества, и мы по мере возможности стараемся о них помнить и использовать на практике.

**АРДЖУН ЙОУД,
ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
СТРОЕНИЯ МАТЕРИИ, ПРОФЕССОР КАФЕДРЫ
РАДИАЦИОННОЙ ОНКОЛОГИИ
ПЕНСИЛЬВАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА:**

— Профессор Йоуд, вы один из новичков на этой конференции. Почему вы решили примкнуть?

— Да, это моя первая конференция такого рода. Я слышал о ней на протяжении почти 20 лет, но пару лет назад два моих студента — они теперь оба уже

в статусе профессоров — приняли участие в такой конференции, и оба рассказали, как это было здорово. Они оказались правы: здесь блестящая программа, прекрасные люди. Мне повезло получить новые знания, рассказать другим о своей работе и впервые побывать в России.

— И как впечатления?

— Замечательно! Я даже не представлял, насколько будет здорово на корабле. Даже на Гордоновских конференциях, несмотря на то что мы находимся на изолированной территории, всегда можно выйти погулять и уйти достаточно далеко от места проведения. Здесь же никуда ни от кого не денешься. И это в гораздо большей степени способствует общению.

— Удалось извлечь что-нибудь полезное для себя за это время?

— Даже после двух дней я узнал много нового. Лучший способ получать новые знания — это общаться с людьми. Например, я узнал о термогенетике — аналоге оптогенетики. Для меня это что-то совершенно новое и очень интересное. Я также услышал несколько любопытных идей о поведении митохондрий и метаболизме в онкологии. Конечно, я рассчитывал узнать что-то новое по этой теме, так что разочарованным я точно не остался.

— Какие темы раскрываете вы?

— Моя работа связана с использованием света для изучения тканей человека и возможностей диагностики тканей, расположенных на глубине от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров под поверхностью кожи. Это могут быть ткани коры головного мозга, который мы изучаем с помощью оптоволокна и специального датчика. Таким образом мы измеряем кровотоки и гемодинамику ткани и пытаемся понять, есть ли там травма и как она реагирует на лечение. Это и была моя основная тема выступления.





Я также говорил о том, как нам лучше понимать распространение рассеянного света: представьте, что вы подносите фонарик к ладони. И в конце я приводил примеры, как нам использовать это понимание, чтобы узнать больше о тканях.

— А нам можете привести такие примеры?

— Первый пример. При ишемическом инсульте блокируется кровоток к части головного мозга. Метод, практикуемый моими коллегами-медиками, называется механической тромбэктомией: в кровеносный сосуд продевается специальное устройство, которое захватывает тромб, блокирующий кровоток, и извлекает его. Мы представили предварительные результаты, где можно наблюдать кровоток до и после тромбэктомии, и они показали, что кровоток усилился. Мы можем помочь медикам регулировать кровоток после проведения операции. И это, мне кажется, очень важный результат.

Другой пример. В онкологии можно с помощью оптических измерений прогнозировать, будет ли эффект от химиотерапии. Если на ранних этапах выяснится, что она не работает, то можно вовремя подобрать другое лечение. Мы находимся только в начале пути, но я считаю, что оба этих примера будут очень важными для медицины.

Еще я рассказывал о том, как анализировать данные по раковой опухоли, которая подвергается терапии. Мы обнаружили, что вместо того чтобы использовать первичные оптические данные, можно статистически анализировать и сопоставлять данные от очага поражения и от нормальной ткани, и на этом основании делать прогнозы. По сути, это новый алгоритм анализа данных. Такой метод не имеет широкого применения, и я был удивлен, что многие о нем даже не слышали. Данный подход может применяться для различных визуальных наблюдений не только в онкологии, потому что он, по сути, обходит проблему нормальных колебаний в различных показаниях у конкретного пациента.

— Это оборудование уже существует в каком-то реальном воплощении или пока только в теории?

— Я экспериментатор, поэтому все время что-то создаю. Я создаю устройства для выполнения этих измерений. Конечно, здесь есть и элемент теории, поскольку необходимо понимать, как конвертировать собранные данные в информацию по тканям. С другой стороны, мы делаем инструменты с тем расчетом, чтобы с ними было удобно работать

нашим коллегам-медикам в госпитале Пенсильванского университета. Поэтому я возлагаю большие надежды на то, что наша работа будет воплощена в практику.

— То есть это уже сейчас применяется?

— Применяется в клинике, но пока в исследовательских целях. Я работаю с медиками, которых все это очень вдохновляет. Так что мы проводим то, что я бы назвал пилотными клиническими испытаниями — в отличие от полномасштабных испытаний.

— Когда, по-вашему, это можно будет запустить в повседневное использование?

— Я оптимист. Если произвести все инструменты и обучить персонал, то медики уже через год смогут ими активно пользоваться. Но это очень оптимистичный прогноз. Более реальный срок — в течение пяти лет.

— Это все касается диагностики и сбора данных. Насколько ваша работа связана непосредственно с лечением?

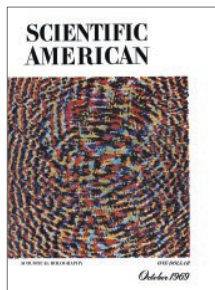
— Моя работа больше предполагает диагностику и исследование, чтобы показать эффективность выбранного курса лечения и изменить его в случае необходимости. При этом лечение может проводиться при помощи лазеров, фармпрепаратов или хирургических инструментов. Мы смотрим, насколько лечение справляется с поставленной задачей. На этой конференции были и другие интересные выступления на тему применения лазеров, например о фотодинамической терапии. Я сам об этом не рассказывал, но мы в лаборатории этим также занимаемся, хотя в основном наша тема — это диагностика и исследование с целью подбора оптимального метода лечения или терапии.

— Есть ли среди ваших разработок что-то совершенно новое, еще даже не протестированное, но имеющее перспективу?

— Конечно, у нас много новых разработок, о которых я не рассказывал. Например, такое техническое новшество: можно проводить замеры гораздо чаще, чем это сейчас делается, — вместо одного раза в секунду 100 раз. Возьмем кровоток. Мы получим возможность отслеживать практически в реальном времени его усиление и ослабление в зависимости от сердечного ритма. Это откроет новую возможность проведения замеров — по аналогии с электрическими сетями. Мы можем вычислить сопротивление электрической цепи, измерив изменения напряжения и силы тока. Аналогично мы сможем вычислить «сопротивление» сосудистой сети. Я считаю, что это способно стать крайне полезным инструментом. Можно этим же методом измерять давление в головном мозге. Так что у нас много интересных разработок и мы с удовольствием ими занимаемся. ■

Подготовил Виктор Фридман

- 1. Презентации участников никого не оставляют равнодушными
- 2. Профессор А.М. Желтиков, физический факультет МГУ
- 3. Культурная программа в Угличе
- 4, 5. Активный отдых на свежем воздухе способствует научной деятельности
- 6. Прощальный аккорд после возвращения



ОКТАБРЬ 1969

Компьютер на магнитных «пузырьках». Компания *Bell Telephone Laboratories* объявила о новом направлении в производстве компонентов электронных схем для систем обработки данных, использующем манипулирование потоком крошечных «пузырьков» — точнее, маг-

нитных доменов в форме микроскопических цилиндров — внутри тонкого ферритового слоя. Эти «пузырьки» можно перемещать, расходуя меньше энергии, чем требуется для переключения транзистора, а будучи в поперечнике всего в несколько длин волн света, они могут быть упакованы с плотностью миллион на квадратный дюйм и более. Магнитные домены можно создавать, уничтожать и перемещать [внутри слоя феррита], чтобы реализовать самые разнообразные функции: они могут выполнять логические операции, служить ячейками памяти, работать как счетчики и переключатели. Продемонстрирована скорость передачи данных 3 млн бит/с.



ОКТАБРЬ 1919

Полиомиелит наступает. В США мы все чаще сталкиваемся с эпидемиями полиомиелита. До 1907 г. детский паралич в нашей стране был редким заболеванием. С тех пор он урывками одерживает победу каждым летом и осенью. Фундаментальные знания о полиомиелите быстро выросли после эпохальных клинических исследований Ивара Викмана (Ivar Wickman), опубликованных в 1907 г. Сегодня мы обладаем точной информацией о природе микроорганизма — возбудителя болезни и того, каким образом он покидает больной или зараженный организм (в основном с секретами носоглотки) и проникает в организм другого человека через его слизистые оболочки — и, очевидно, никак иначе.

Меньше лошадиных сил. Почтмейстер в Мадрасе недавно провел эксперимент по доставке почты тремя автомобилями вместо лошадиных упряжек. Говорят, что это был первый опыт такого рода в Индии, и он оказался настолько успешным, что службу доставки на лошадях собираются полностью упразднить. Позже были добавлены еще три грузовика, переоборудованные в фургоны, а также четыре автофургона.

Честная охота. В отчете ведомственного комитета, рассматривавшего защиту диких птиц в Великобритании, указано, что для них появилась новая

опасность — стрельба и бомбардировки с аэропланов. Комитет рекомендовал ввести запрет на использование аэропланов против диких птиц.



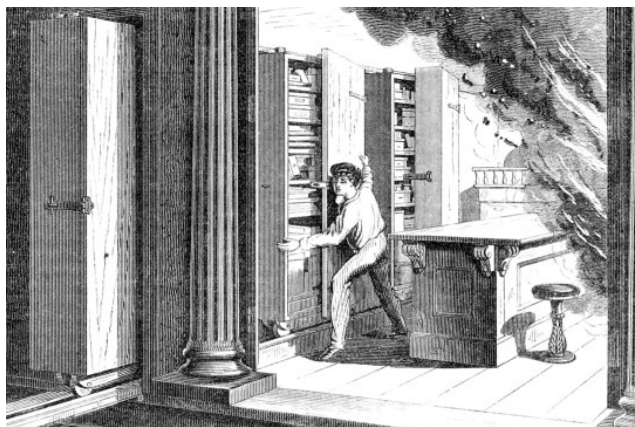
ОКТАБРЬ 1869

Едоки мышьяка. Ученые, пересекавшие австрийскую Штирию, давно сообщали, что некоторые ее обитатели едят мышьяк. Другие возражают, что употребляемый этими людьми белый минерал есть не что иное, как мел. Королевский медицинский советник д-р фон

Фест потребовал от врачей Штирии отчета; было получено 17 ответов. В округе Хартберг насчитывается не менее 40 человек, предающихся этой привычке. Из различных сортов мышьяка чаще всего употребляют белый, или крысиный яд, немного меньше — коммерческий желтый и еще реже — натуральный красный мышьяк. Едоки мышьяка начинают с дозы размером с зернышко проса и постепенно увеличивают количество. Эти дозы принимаются либо ежедневно, либо раз в два дня, либо только раз-два в неделю. В округе Хартберг есть обычай прекращать это неразумное занятие на время новолуния.

Примечание: вопрос о том, могут ли люди приобрести нечувствительность к этому токсическому веществу, все еще остается открытым.

В случае пожара. Усовершенствованная система стеллажей дает возможность в случае пожара легко спасти запасы товаров, книги в публичных библиотеках и кабинетах, письма в почтовых отделениях и т.д. Стеллажи размещены в секциях, которые можно быстро закрыть и выкатить из здания, не перемещая сами товары или книги. Снизу секции снабжены роликами или колесами, установленными на направляющих. Это новшество заслуживает подробного рассмотрения. ■



Спасите имущество! Обязанности служащего во время пожара, 1869 г.

Senior Vice President and Editor in Chief:

Mariette DiChristina

Contributing editors: David Biello, W. Wayt Gibbs, Ferris Jabr, Anna Kuchment, Robin Lloyd, George Musser, Christie Nicholson, John Rennie

Executive Editor:

Fred Guterl

Art Contributors: Edward Bell, Bryan Christie, Lawrence R. Gendron, Nick Higgins

Design Director:

Michael Mruk

Art director: Jason Mischka

Managing Editor:

Ricki L. Rusting

Senior Graphics Editor: Jen Christiansen

Digital Content Manager:

Curtis Brainard

President: Dean Sanderson

News Editor:

Dean Visser

Executive Vice President: Michael Florek

Opinion Editor:

Michael D. Lemonick

Executive Vice President,

Senior Editors:

Eliene Augenbraun, Christine Gorman, Steve Mirsky, Clara Moskowitz, Debbie Ponchner, Claudia Wallis, Kate Wong,

Global Advertising and Sponsorship: Jack Laschever

Associate Editors:

Sunya Bhutta, Lee Billings, Andrea Gawrylewsk, Larry Greenemeier, Dina Fine Maron, Annie Sneed, Amber Williams

Publisher and Vice President: Jeremy A. Abbate

© 2019 by Scientific American, Inc.

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

в почтовых отделениях по каталогам:

«Роспечать», подписной индекс:
81736 — для физических лиц,
19559 — для юридических лиц;
«Почта России», подписной индекс:
16575 — для физических лиц,
11406 — для юридических лиц;
«Пресса России», подписной индекс: 45724,
www.akc.ru

по РФ и странам СНГ:

ООО «Урал-Пресс»,
www.ural-press.ru
СНГ, страны Балтии и далее зарубежье:
ЗАО «МК-Периодика»,
www.periodicals.ru
РФ, СНГ, Латвия:
ООО «Агентство "Книга-Сервис"»,
www.akc.ru

Читайте в следующем номере

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

Правда, ложь и неясность

Почему мы, живя в одном мире, настолько по-разному воспринимаем действительность?

Правда

Практически реальность

Насколько физика может приблизить нас к фундаментальному пониманию мироздания?

Игра чисел

Существуют ли математические объекты в реальности или они — чистая выдумка?

Наши внутренние вселенные

Реальность создается нашим мозгом, и у каждого человека она своя.

Ложь

Обман в дикой природе

Homo sapiens — не единственный вид, способный врать.

Почему мы верим лжи

Самая убедительная ложная информация растет из зерен правды.

Нечестность заразна

Неэтичное поведение быстро распространяется в обществе.

Как провести демократию

Худший сценарий президентских выборов 2020 г. в США.

Неясность

Трудный выбор

Как мы принимаем решения при недостатке информации.

Противостояние неизвестных

Интерпретация неопределенности в широко используемых формах визуализации данных.

Радикальные изменения

Неуверенность в себе вызывает у людей потребность в идентификации с группой и в поиске лидера.

Новый мировой беспорядок

Привычка делиться информацией не задумываясь может быть использована для распространения фейков.





ПРАВИТЕЛЬСТВО
МОСКВЫ



МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В.ЛОМОНОСОВА



РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ
НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ НАУКИ НАУКА 0+

МОСКВА 11-13 ОКТЯБРЯ

0+

ВХОД СВОБОДНЫЙ
FESTIVALNAUKI.RU

150
ЛЕТ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В РОССИИ



Copper (II) hydroxide precipitation
Photography: Wenting Zhu

МГУ ЦВК ЭКСПОЦЕНТР ЗАРЯДЬЕ РАН
ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ МЦКО HUAWEI OPENLAB

90 ПЛОЩАДОК

ПО ГОРОДУ НА БАЗЕ ВУЗОВ,
МУЗЕЕВ, НАУЧНЫХ ЦЕНТРОВ,
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ISSN 0208-0621



19010

9 770208 062001

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ОФИЦИАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ



ПРЕДПРИЯТИЯ-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

