

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА
Странные струны

МЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ
Бионические связи

НЕЙРОБИОЛОГИЯ
Сговор чувств

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

www.scientificrussia.ru

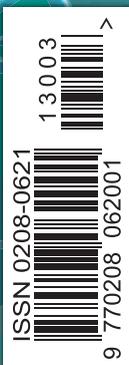
№3 2013

12+

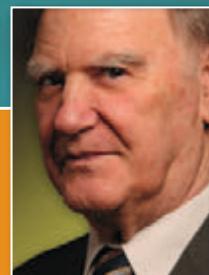


БУДУЩЕЕ НАУКИ

ЛЕТ ТОМУ ВПЕРЕД



40 ЛЕТ В ЭФИРЕ
«ОЧЕВИДНОЕ — НЕВЕРОЯТНОЕ»





Сергей Капица с Львом Николаевым,
первым редактором программы
«Очевидное — невероятное»

*О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещения дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг...*

А.С. Пушкин



40 ЛЕТ В ЭФИРЕ

«ОЧЕВИДНОЕ — НЕВЕРОЯТНОЕ»

о ч е в и д н о е



н е в е р о я т н о е

*О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещения дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель...*

А.С. Пушкин

В день рождения программы «Очевидное — невероятное» друзья и коллеги Сергея Петровича Капицы собрались за круглым столом в телевизионной программе «Мнение» на канале «Россия 24», чтобы заглянуть в прошлое и поразмышлять о будущем

В БЕСЕДЕ УЧАСТВУЮТ:

Эвелина Владимировна Закамская,
ведущая программы «Мнение», канал «Россия 24»;
Владимир Евгеньевич Фортов,
академик РАН, главный редактор журнала
«В мире науки / Scientific American»;
Виктор Антонович Садовничий,
ректор МГУ им. М.В. Ломоносова;
Александр Дмитриевич Жуков,
заместитель Председателя Государственной Думы
Федерального Собрания РФ;
Алексей Аркадьевич Горовацкий,
режиссер программы «Очевидное — невероятное»
в 1987–1989 гг.

Как это начиналось

Э.В. Закамская: Ровно 40 лет назад 24 февраля 1973 г. в эфир Центрального телевидения вышла программа «Очевидное — невероятное», ее автором и ведущим стал профессор Сергей Петрович Капица. Эта передача, на которой выросло несколько поколений людей, стала легендой и заслужила всеобщее почтение и любовь. Год назад, когда программа отмечала 39-летие, мы записали с Сергеем Петровичем небольшое интервью, в котором он сказал: «Я помню то волнение, которое испытывал, в первый раз появляясь на экране. Для меня это было новое занятие, новое измерение, новая аудитория. Как с ней разговаривать? Что я должен сказать? Кто меня слушает? На кого рассчитывать? Я привык говорить со студентами, а здесь я разговариваю со всей страной».

А.А. Горовацкий: Я понимаю, какие чувства испытывал Сергей Петрович, когда начинал вести эту



программу. Все эти годы он сохранял нравственную чистоту и удивительную бескомпромиссность в отношении того, что делал. Передача «Очевидное — невероятное» сразу стала любима телезрителями, потому что в ней можно было размышлять над вопросами мировой значимости, ведь наши соотечественники любят мыслить глобально. Горжусь, что знаменитые строки А.С. Пушкина в течение многих лет звучали в моем исполнении.

Э.В. Закамская: Позвольте зачитать несколько строк из книги Сергея Петровича «Мои воспоминания». Это выдержка из дневника его брата Андрея: «24 февраля в субботу смотрели Сережину первую передачу. Это были комментарии к научно-популярным фильмам. Очень хорошо говорит, свободно, держится хорошо. Мы удивлены, что у него хорошая дикция, очень четкая мысль, хорошо выражена в довольно короткие промежутки между кусками фильмов. И как он это делает — удивительно, ведь это импровизация перед телевизором. Он сам заинтересован и, по-моему, несколько удивлен, что у него так хорошо получается». Сергей Петрович говорил, что когда программа начала выходить, ученые отнеслись к ней с большим недоверием, но потом это прошло, потому что они поняли, что от них ждут откровенных разговоров на самые волнующие темы.

Общество знаний

В.А. Садовничий: Программе доверяли, потому что ее делал выдающийся ученый. В то время отношение к науке было трепетное, и Сергей Петрович взял на себя огромную ответственность, выйдя к обществу с такой передачей. Доверие вызывал именно ведущий, его эрудиция, профессионализм и, конечно, темы, которые он поднимал. Когда программа начала выходить, я был профессором механико-математического факультета МГУ. Я смотрел и думал: «Вот бы попробовать рассказать

о чем-нибудь. Но что я расскажу о математике? Будет ли это интересно?» А жизнь сложилась так, что я много раз выступал в этой передаче и рассказывал и о математике, и о медицине. Умение Сергея Петровича слушать, задавать точные вопросы поражало, и каждый, кто участвовал в программе, сумел реализоваться.

В.Е. Фортов: Это время возникло не само по себе, его сформировали люди. В том числе Сергей Петрович и его программа «Очевидное — невероятное». Целый пласт молодых людей пошел в науку, причем не из-за денег, а по убеждению. Когда говорят, что тогда был застой, в идеологии — да, согласен, но в нашей области это было очень активное, умно спроектированное и построенное общество знаний. Наука, как магнит, притягивала молодежь. В Физтех и МГУ был конкурс 20 человек на место. И в этом великолепии программа Сергея Петровича занимала очень достойное положение.

А.Д. Жуков: Когда вышла первая передача, мне было 17 лет, но кажется, что она была всегда. Ее привлекательность не только в том, что участвовавшие в ней ученые говорили просто о сложных вещах и что можно было понять проблему, с которой ты раньше был абсолютно незнаком, но в первую очередь, в ее ведущем. Сергей Петрович был удивительный человек, истинный интеллигент. На мой взгляд, в своей программе он был совершенно свободным, говорил все, что думал, и нисколько этого не стеснялся. И самое поразительное, что он как специалист высказывался на любую тему. В эфире со мной мы с ним обсуждали проблемы демографии. Я тогда занимался этим профессионально, отвечал в правительстве за здравоохранение, социальную сферу. Меня поразило, насколько глубоко Сергей Петрович владел этой темой. Он создал гиперболическую модель роста народонаселения, подойдя к этому вопросу математически. У него был совершенно иной взгляд на проблему демографии, чем, скажем, у врачей или социологов.

Его слушали лидеры

Э.В. Закамская: Меня, человека из совершенно другого времени, поражало, как в тот непростой для телевидения период Сергею Петровичу столько удавалось сказать и сделать. Как он договаривался с чиновниками разного уровня, как он умел сказать что-то «нужное» и «правильное», но все равно гнуть свою линию. То же относится к журналу «В мире науки» — русскоязычной версии самого известного международного журнала о науке *Scientific American*, который был открыт в закрытые советские времена. Это уникальное явление, невозможно представить, кто бы еще смог это сделать, кроме С.П. Капицы.

В.А. Садовничий: Я познакомился с Сергеем Петровичем, когда вступил в Римский клуб, членом которого он уже был. Когда на заседании клуба в Московском университете мы стали обсуждать общие вопросы, я впервые понял, что он — выдающаяся личность. В нем сложилось все: и генетика, и образование, и образ жизни, и видение мира. Он свободно говорил на разные темы, он лично знал тех, кто определяет развитие науки. У него всегда была своя точка зрения, и он не соглашался с тем, что считал неправильным. Это был человек, который был неповторим и как ученый, и как личность, и как политический деятель. Его слушали в ООН, слушали наши лидеры.

Э.В. Закамская: Нельзя не вспомнить об одном важном эпизоде, который Сергей Петрович упоминает в своей книге. Когда он пришел работать на телевидение, ему предрекали окончание научной карьеры.

В.Е. Фортов: Он рассказывал, что когда начал вести «Очевидное — невероятное», выдающийся физик Лев Андреевич Арцимович ему сказал: «Сергей, а вы понимаете, что на вашей научной карьере вы ставите крест?» Сергей Петрович говорил, что он его выслушал, но не предполагал, что именно так и будет. Мало кто знает, но вначале каждое его появление на экране увеличивало количество людей, которые относились к нему с завистью. Он переживал, говорил об этом с горечью. А ведь он своей программой столько делал для науки и ученых! Как никто другой.

А.Д. Жуков: Если попросить любого жителя России назвать несколько самых известных в мире ученых, я уверен, что Сергей Петрович будет в их числе. На его передачах воспитывалось не одно поколение людей. Есть ли в мире еще такие аналоги, я не знаю. Его роль в образовании наших людей ни с чем не сравнима.

В.А. Садовничий: Академия наук оценила это, присудив Сергею Петровичу первую Золотую медаль РАН за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний. Решение было принято единогласно.

Искусство возможного

Э.В. Закамская: Сергей Петрович рассказывал, как однажды ему пришлось «затыкать дырку» в эфире и держать рассказ семь минут и восемь секунд, то есть нужно было о чем-то говорить в течение такого длительного времени. И у него это получилось. А по каким критериям Сергей Петрович оценивал свою программу? Что он считал удачей и наоборот?

А.А. Горовацкий: Сергей Петрович обладал телевизионным профессионализмом и удивительным спокойствием в кадре. Думаю, это было связано с тем, что он хорошо знал, о чем говорит, понимал, ради чего выходит в эфир и что несет зрителям. Очень переживал, если ему казалось, что что-то не получается. В 1990-е гг. началось торможение его программы, попытка перевести ее на потребительские рельсы. Конечно, он не мог это принять, и тогда была взята пауза. Но потом «Очевидное — невероятное» вернулось.

В.А. Садовничий: Ученые писали, что передачу надо вернуть. Мы в этом активно участвовали, обсуждали на различных форумах. И академия наук поддержала. Благодаря этой реакции программа жила, и это прекрасно.

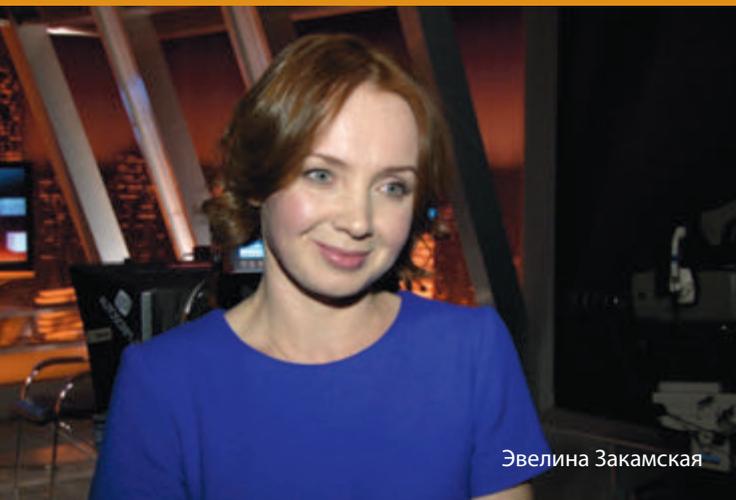
В.Е. Фортов: Но не надо думать, что все было легко и просто. Сергей Петрович сталкивался с серьезным, даже глубинным сопротивлением, потому что не все воспринимали то, что он говорит. При этом он умел взаимодействовать с властями. Он мог говорить начальству не очень приятные вещи так, чтобы не обидеть, но все-таки сказать. И сказать очень убедительно. Вот это и есть искусство.



В.Е. Фортов



А.Д. Жуков и В.А. Садовничий



Эвелина Закамская



А.А. Горовацкий

А.Д. Жуков: Когда я участвовал в программе Сергея Петровича, я был вице-премьером в правительстве РФ. Мне кажется, он не расценивал меня как представителя власти, и это связано не только с разницей в возрасте, но в первую очередь с тем, что он был абсолютно свободным. Мы с ним разговаривали как два человека, которым есть что сказать друг другу по этой конкретной теме. И не важно, с кем он говорил: со своим коллегой-ученым, с представителями власти или с кем-то еще. Было очень приятно, что он внимательно слушает собеседника, все понимает и мгновенно реагирует. Это очень редкое умение.

В.А. Садовничий: Он мало говорил во время эфира, он умел слушать. Когда рассуждаешь о науке, начинаешь с одной темы, потом перескакиваешь на другую. Начинаешь говорить об одном, выходишь на другое. Удивительно, как точно и быстро Сергей Петрович подхватывал эту мысль и мог сразу же перейти на поле другой науки, скажем, от физики к биологии, от биологии к медицине и т.д. Чувствовалось, что он все это понимает глубоко. Это создавало комфортную обстановку на съемочной площадке. Я несколько раз принимал участие в программе, и время пролетало незаметно. Знаете, чем я особо горжусь? В последние годы Сергей Петрович высказал идею создать Центр популяризации научных знаний в Московском университете. Я, не колеблясь, три года назад этот центр создал, он его возглавил, и журнал «В мире науки» стал издаваться под эгидой Московского университета. До последних дней Сергей Петрович был душой привязан к образованию, к науке. Иногда Сергей Петрович и его брат Андрей Петрович, профессор МГУ, вместе приходили, мы сидели, разговаривали... Забыть это невозможно, потому что это эпоха.

Послание обществу

Э.В. Закамская: Если вспомнить о последних работах, о последних делах Сергея Петровича, какое послание он оставил нам и обществу в целом?

В.Е. Фортов: Его последняя статья была опубликована в «Российской газете». В ней он достаточно резко, но аргументированно говорил о том, что те трансформации Высшей аттестационной комиссии (ВАК), которые мы сейчас наблюдаем, сводятся к примитивизации системы оценки научного труда и научного результата.

Прошел всего год, и мы видим, какой скандал разразился на тему, которая была им предсказана. Он предупреждал, что это бросит тень на тысячи порядочных людей, которые занимаются наукой. Вот такое послание обществу. Мне кажется, этот пример показывает, что власть должна прислушаться к мнению ученых.

А.Д. Жуков: Ученых всегда нужно слушать. Я бы предложил показать ретроспективу программ Сергея Петровича разных лет. Даже на моей памяти были передачи, ставшие настоящими открытиями. В них рассказывалось о вещах, о которых человек в повседневной жизни может быть, не задумываясь, но которые открывают новые грани мира.

В.А. Садовничий: Это всегда интересно, такое богатство надо и хранить, и показывать. Но сейчас стоит задача каким-то образом продолжить программу. Пропаганда и популяризация науки очень нужны. В обществе распространяются лженаучные сведения, оно дезориентировано, и если этому не противостоять, то процесс усилится, и голос ученых будет слышен еще меньше. Передача, в которой рассказывается о науке, обязательно должна быть.

А.А. Горовацкий: Наука развивается, события, которые когда-то позиционировались одним образом, сейчас рассматриваются совсем по-другому. Тем интереснее увидеть прежние передачи и прокомментировать их сейчас. Новая программа о науке, несомненно, нужна, и она будет. Знаю, что продюсер Светлана Попова, которая последние десять лет выпускала с Сергеем Петровичем «Очевидное — невероятное», сейчас над этим работает.

В.Е. Фортов: Действительно, есть вещи, о которых раньше говорилось только как о гипотезах. Например, темная материя и темная энергия. Сейчас это признанный научный факт, за который два года назад дали Нобелевскую премию. Что касается научно-просветительской программы, безусловно, она должна быть. Невозможно представить, чтобы кто-то занял место Сергея Петровича. Это будет другая программа, другой ведущий. Такой запрос в обществе есть! ■

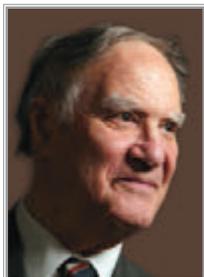
Подготовила Ольга Беленицкая

Выражаем благодарность телеканалу «Россия-24» и программе «Мнение» за предоставленные материалы

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC AMERICAN В мире науки

**Основатель и первый
главный редактор журнала
«В мире науки/
Scientific American»,
профессор
СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА**



SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Senior Vice President and Editor in Chief:

Executive Editor:

Managing Editor:

Managing Editor, Online:

Design Director:

News Editor:

Senior Editors: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, George Musser, Gary Stix, Kate Wong

Associate Editors: David Biello, Larry Greenemeier, Katherine Harmon, Ferris Jabr, John Matson

Podcast Editor: Steve Mirsky

Contributing editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Deborah Franklin, Maryn McKenna, John Rennie, Sarah Simpson

Art director: Ian Brown

President: Steven Inchoombe

Executive Vice President: Michael Floreck

**Vice President and Associate Publisher,
Marketing and Business Development:** Michael Voss

Vice President, Digital Solutions: Wendy Elman

Adviser, Publishing and Business Development: Bruce Brandon

© 2013 by Scientific American, Inc.

НАШИ ПАРТНЕРЫ:



PETER



SERVICE

О Ч Е В И Д Н О Е



НЕ В Е Р О Я Т Н О Е



Сибирское отделение РАН



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



Учредитель и издатель: Некоммерческое партнерство «Международное партнерство распространения научных знаний»

Главный редактор: В.Е. Фортов

Первый заместитель главного редактора: А.Л. Асеев

Заместители главного редактора: А.Ю. Мостинская

Зав. отделом естественных наук: О.И. Стрельцова

Зав. отделом российских исследований: В.Д. Ардаматская

Выпускающий редактор: Ю.Г. Юшквичюте

Обозреватель: М.А. Янушкевич

Научные консультанты: В.Ю. Чумаков

доктор химических наук, член-корреспондент РАН В.О. Попов;
доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН Х.П. Тахиди;
кандидат психологических наук Е.М. Шамис

Над номером работали: А.Н. Агеев, М.С. Багоцкая, О.Л. Беленицкая,
А.П. Кузнецов, Н.Л. Лескова, А.И. Прокопенко, И.Е. Сацевич,
В.И. Сидорова, Е.В. Укусова, В.Ю. Чумаков, Н.Н. Шафрановская

Верстка: А.Р. Гукасян

Дизайнер: Я.В. Крутий

Корректур: Я.Т. Лебедева

Президент координационного совета НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: Ю.С. Осипов

Директор НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: С.В. Попова

Заместитель директора НП «Международное партнерство распространения научных знаний»: В.К. Рыбникова

Финансовый директор: Л.И. Гапоненко

Главный бухгалтер: Н.В. Гуртиева

Адрес редакции: Москва, ул. Ленинские горы, 1, к. 46, офис 138;

Тел./факс: (495) 939-42-66; e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

Отпечатано: В ЗАО «ПК «ЭКСТРА М», 143400, Московская область, Красногорский

р-н, п/о «Красногорск-5», а/м «Балтия», 23 км, полиграфический комплекс

Заказ №03 13-02-00307

© 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.



22



8

СОДЕРЖАНИЕ

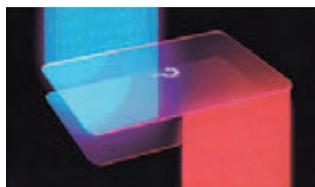
Март 2013

Главные темы номера

50, 100, 150 лет тому вперед

БУДУЩЕЕ ЧЕРЕЗ 50, 100 И 150 ЛЕТ

Будут ли машины летать? Будут ли по-прежнему актуальны компьютеры? Будет ли уничтожено ядерное оружие? Сможем ли мы предотвратить глобальное потепление? Какова судьба редких животных? Удастся ли победить все болезни? Ответы на эти и другие вопросы читайте в специальном репортаже



ГРАЖДАНЕ КОСМОСА

22

Кэмерон Смит

Как будущие поколения начнут осваивать другие миры и чем это обернется для человека как вида

Круглая дата

«В МИРЕ НАУКИ» 30 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

30

Мы продолжаем публиковать выдержки из старых номеров журнала



Квантовая физика

8 СТРАННЫЕ И СТРУННЫЕ

32

Субир Сачдев

Недавно открытые состояния материи воплощают в себе то, что Эйнштейн назвал «призрачным дальнедействием». Они не поддаются объяснению, но в последнее время ответы пришли из, казалось бы, никак не связанного с этой проблемой раздела физики — теории струн

Биотехнологии

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЖИЗНИ

42

Наталья Лескова

Руководитель отдела «Белковая фабрика» НБИКС-центра Курчатковского института **Владимир Попов** — о таинстве рождения белковых кристаллов



Медицинская инженерия

БИОНИЧЕСКИЕ СВЯЗИ

50

Кейси Каллен и Дуглас Смит

Благодаря новым способам подключения искусственных рук к нервной системе мозг сможет контролировать протезы так же, как естественные конечности





86

32

Офтальмология

КЛЯТВА ГИППОКРАТА НЕ УСТАРЕЕТ НИКОГДА

Наталья Лескова

Выдающийся офтальмолог **Христо Тахчиди** полагает, что современная российская офтальмология не только представляет собой передний край медицинской науки, но и определяет вектор развития мировой медицины на сотни лет вперед



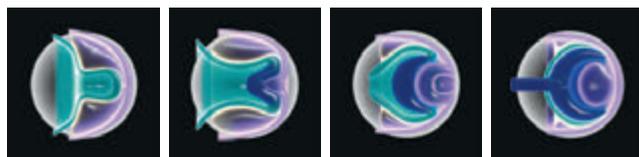
Нейронауки

ВЫРАСТИ СВОЙ ГЛАЗ

Йошики Сасаи

Биологам удалось заставить клетки сформировать сетчатку глаза вне тела человека

62



Нейробиология

СГОВОР ЧУВСТВ

Лоуренс Розенблюм

Наши многочисленные ощущения взаимодействуют друг с другом в значительно большей степени, чем считалось ранее

68

Социология

ЗА ИКСА НЕ ОТВЕЧАЮ

Валерий Чумаков

Основатель и координатор проекта «RuGenerations — Теория поколений в России», психолингвист **Евгения Шамис** и психолог **Алексей Антипов** — о вечной проблеме отцов и детей



74

Беседы о науке: биохимия

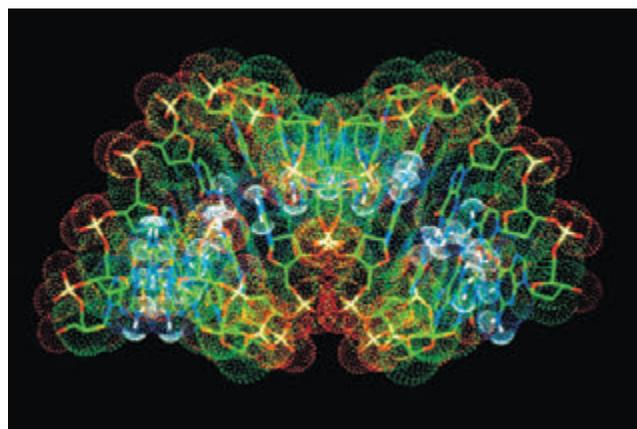
НЕИЗВЕДАННЫЕ ГЛУБИНЫ ГЕНЕТИКИ

82

Стивен Холл

56

Специалист по количественной биологии **Юэн Бирни** утверждает: то, что раньше представлялось бесполезной частью ДНК, оказалось тайной сокровищницей



Персона

ПЕЙЗАЖ ЛИЦА

86

Ольга Беленицкая

Фотохудожник **Сергей Новиков** уже более 30 лет пишет историю науки в лицах, создав портреты более 2 тыс. ученых



Разделы

От редакции

1

50, 100, 150 лет тому назад

29

События, факты, комментарии

90

БУДУЩЕЕ ЧЕРЕЗ

50, 100 И



150 ЛЕТ



ЗА ГОРИЗОНТОМ

К

Какие научные и технические достижения можем мы предвидеть на 50, 100 и 150 лет вперед? Такую роскошь, как взглянуть в прошлое, чтобы узнать, что писали люди 50, 100 и 150 лет назад, мы можем позволить себе каждый месяц. Эту возможность предоставляет журнал *Scientific American*, который знакомит читателей с новостями науки и техники уже больше 167 лет. Примером тому может служить наш октябрьский номер за 1962 г., где были опубликованы статья Фрэнсиса Крика (Francis Crick), одного из первооткрывателей структуры ДНК, объясняющая значение этой удивительной молекулы, и статья психолога Леона Фестингера (Leon Festinger) о том, какой смысл он вкладывает в понятие когнитивного диссонанса. Прочное прошлое служит хорошим основанием для того, чтобы заглянуть в будущее. Исходя из этого, мы предложили нашим авторам поупражнять свое воображение, пытаясь предсказать, каким будет мир через 50, 100 и 150 лет. Будут ли автомобили летать? Будут ли еще у нас компьютеры, и если да, то что они будут делать? Будет ли запрещено ядерное оружие? Защищает ли нас техника от изменений климата или усугубит их? Какова будет судьба тигров и других представителей дикой природы на все более перенаселенной планете? До какой степени мы сможем изменить свои гены, чтобы предотвратить болезни? И если мы сможем когда-либо покинуть нашу планету, как изменит нас это переселение?

Ответы вы найдете на последующих страницах. Разумеется, предсказаний мы не делаем, мы всего лишь предлагаем мысленные эксперименты на основе научных фактов, чтобы лучше осветить сегодняшний мир и подумать, что нас может ждать в будущем.

Редакция

50

Когда в 1956 г. Управление гражданской авиации США выдало сертификат летной годности летающему автомобилю *Aerocar*, казалось (по крайней мере, авиационным специалистам), что в недалеком будущем летающие автомобили появятся во множестве гаражей обычных пригородных домов. Однако этого не произошло. *Aerocar*, который выглядел как автомобиль, но имел крылья и мог взлетать после короткого разбега, был слишком дорогим для массового производства. Компания *Aerocar International* построила всего шесть таких аппаратов, оставив надежду на появление летающих автомобилей несбывшейся, если не считать эпизодов из мультсериала «Джетсоны».

Спустя более 50 лет летающие автомобили начали возвращаться. Две модели совершили испытательные полеты. Аппарат *Transition* компании *Terrafugia* представляет собой легкий спортивный самолет со складывающимися крыльями, способный нести двух пассажиров с багажом. Чтобы совершить полет на нем, нужно сначала доехать (по обычной дороге) до аэропорта. Аппарат *PAL-V* (аббревиатура от *Personal Air and Land Vehicle* — «персональное воздушное и наземное транспортное средство») голландской компании способен взлетать после разбега длиной чуть больше 200 м. Выглядит он как гибрид трехколесного автомобиля с вертолетом. Тягу создает толкающий воздушный винт, а подъемную силу — свободно вращающийся ротор наверху (*т.е. это автожир.* — Прим. пер.). Оба имеют крейсерскую скорость меньше 185 км/ч и приемлемую дальность полета (720 км у *Transition* и около 480 км у *PAL-V*). Однако ни у одной из этих машин нет перспективы стать массовой. Даже если производители сумеют снизить их цену с ожидаемых \$300 тыс. до более доступного уровня, рынок для них будет ограничен из-за пугающей перспективы: представьте полчища частных летательных аппаратов, взлетающих и садящихся на дорогу. Аэропорты уже сегодня не без труда управляют движением нескольких тысяч самолетов. Если же летать сможет каждый автомобиль, то в небе воцарится хаос. Сегодня пилоты летающих автомобилей могут пользоваться преимуществами

ЛЕТАЮЩИЕ АВТОМОБИЛИ ДЛЯ ВСЕХ И КАЖДОГО

Сделать дрон массовым средством передвижения можно, только поручив роль пилота самому аппарату

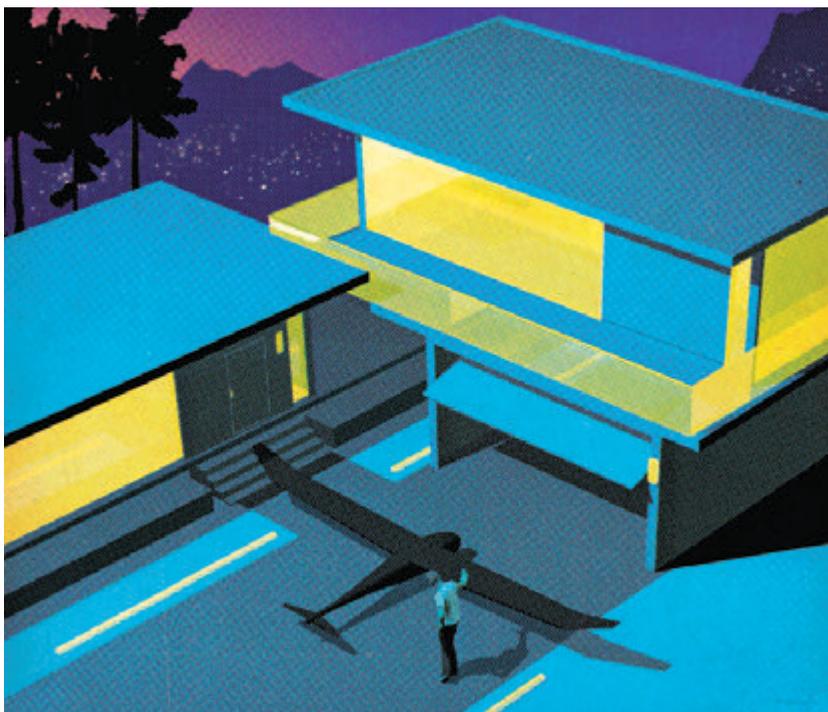
Мэри Каммингс

сравнительно новой категории легких спортивных самолетов. Управлять таким аппаратом может каждый обладатель водительских прав и лицензии спортивного пилота (для получения которой достаточно всего 20 часов обучения), а строгих требований к состоянию здоровья не предъявляется. Сертификат не допускает спортивного пилота в загруженное воздушное пространство и разрешает использование летательного аппарата только в личных целях — никакого бизнеса.

Такой подход работает лишь потому, что личными самолетами владеют очень немногие люди. Если же в небо поднимется масса водителей автомобилей, то в нем возникнет опасная теснота. Поэтому до тех пор пока летающие транспортные средства не будут полностью интегрированы в национальное воздушное пространство, их удел — узкоспециализированный рынок.

А чтобы совершить прорыв, способный привести самолет на каждую подъездную дорожку, нам придется отказаться от права управления летательным аппаратом и передать это право ему самому. Личные и коммерческие летательные аппараты должны стать беспилотными, или, в просторечии, дронами. В вооруженных силах дронами управляют люди, не имеющие лицензий пилотов. Одно из самых привлекательных качеств этих аппаратов — то, что они избавляют военных от больших затрат на подготовку пилотов.

Современные дроны уже достаточно «разумны», чтобы летать туда, куда им укажут, а проводимые сегодня исследования наделяют их способностью самостоятельно реагировать на критические ситуации. Тот же подход лежит в основе автомобиля-робота Google. А с учетом склонности людей разговаривать, отправлять сообщения и даже есть за рулем (или за штурвалом), аппарат, способный ездить и летать самостоятельно, окажется в будущем более безопасным транспортным средством. На пути создания пассажирского дрона, доступного по цене и стоимости



эксплуатации, стоит множество технических трудностей. Предстоит создать безопасные коммуникационные сети и надежные системы автоматического управления летающими автомобилями, способные вести их по заданным воздушным маршрутам.

И все это потребует интегрировать в общенациональную систему управления воздушным трафиком — вот что может оказаться главной трудностью, если учесть уже не раз предпринимавшиеся попытки переделки этой системы. Однако основные кирпичики требуемой технологии уже имеются. Накопленный в последнее время опыт управления полетами дронов во всем мире может послужить моделью для организации персональных полетов на предстоящие 50 лет. Теперь предстоит собрать все эти технологические блоки в единое целое.

В 2010 г. Агентство передовых оборонных исследовательских проектов (DARPA) начало программу Transformer

по созданию четырехместного дрона, способного ездить по обычным дорогам и совершать вертикальные взлет и посадку, которым обычный солдат, не имеющий авиационной подготовки, мог бы управлять легче, чем существующими. Начать испытания прототипа такого аппарата DARPA рассчитывает в ближайшие годы. Этот успех в технологии дронов в сочетании с такими коммерческими летательными аппаратами, как *Transition* и *PAL-V*, самыми передовыми на сегодня из реализованных технологий летающих автомобилей, вполне может привести к тому, что в ближайшие 50 лет мы увидим, как новый Джордж Джетсон полетит на дроне.

Мэри «Мисси» Каммингс (*Mary "Missy" Cummings*) — адъюнкт-профессор аэронавтики и астронавтики и директор Лаборатории человека и автоматике Массачусетского технологического института.

ЯДЕРНЫЙ ВОПРОС

Если мир не сможет избавиться от самого разрушительного оружия к середине столетия, мы можем оказаться на грани всеобщего уничтожения

Рон Розенбаум



ТЯЖЕЛЕЕ ВОЗДУХА

Техника, которая бросает вызов гравитации, всегда была навязчивой идеей человечества, как показывают эти отрывки из статей в журнале *Scientific American*

АВГУСТ 1878 г.

Пионер авиации Альфонс Пено (Alphonse Pénaud) сконструировал летательный аппарат, внешне напоминающий бабочку

ОКТАБРЬ 1920 г.

«Вполне возможно, что будущий историк отметит этот год как открывший новую эру в истории авиации — эру металлических конструкций»

ДЕКАБРЬ 2005 г.

В новом пассажирском авиалайнере Airbus A380 Navigator значительного снижения веса удалось достичь за счет использования легких, но прочных пластиков на основе углеродного волокна и других современных композитных материалов на основе эпоксидных смол

50

Когда мы оглядываемся в прошлое сегодня, 8 августа 2063 г., в День принятия решения по ядерному разоружению, по-прежнему остается непонятным, как в 2024 г. началась первая локальная ядерная война. Те, кому удалось выжить, увидели, что ядерная война — это больше не фантазия; ядерное самоуничтожение уже не казалось невозможным. Наконец-то до сознания многих дошел тот факт, что политика сдерживания может провалиться и произойти непредвиденная ситуация, что боеголовки могут похитить террористы. Может быть взорвана ядерная бомба неизвестного происхождения, которая инициирует пожар большой войны. Может погибнуть миллиард человек. Ядерное разоружение было единственным способом предотвратить то, что в противном случае казалось неизбежным. Если бы это случилось еще раз, то означало бы массовое вымирание планетарного масштаба.

Более полувека назад группа ядерных стратегов (даже Генри Киссинджер) нарушила традицию и неожиданно призвала коллег к полному и всеобщему уничтожению ядерного оружия, или, как это впоследствии называли, «ядерному нулю». Чтобы прийти к этому, потребовалось более 50 лет. И вот теперь, наконец, все готово, чтобы в течение нескольких следующих минут решить, реализуется ли это когда-нибудь в действительности.

Процесс подготовки окончательного решения, как его

назвали в прошлом десятилетия, был проработан в мельчайших деталях — включая все протоколы инспекций и принуждения к выполнению, — чтобы он был полным, исчерпывающим и синхронным, чтобы никто не мог пойти на попятную и продолжить производство, использовать оставшиеся у него ядерные боезаряды для получения безраздельной власти над доверчивыми разоружившимися странами.

Однако все еще остаются «неизвестные неизвестные», с которыми необходимо разбраться. Не окажется ли в договоре изъяна? Можно ли доверять всем участникам договора? Не ускользнула ли часть оружейных ядерных материалов из поля зрения, несмотря на совершенные системы глобального спутникового наблюдения и обнаружения? Не демонтировала ли какая-либо из стран свои ядерные боевые блоки таким образом, что в дальнейшем из них легко можно было бы восстановить отдельные элементы ядерного арсенала — пугающий сценарий внезапного выхода из договора?

К 2063 г. все известные ядерные страны уменьшили свои арсеналы до абсолютного минимума. И вот пришло время для того, что в скрижалях названо «последним вбрасыванием», когда страны, обладающие ядерным оружием, под жестким контролем должны одновременно демонтировать, уничтожить и ликвидировать оставшиеся ядерные арсеналы.

Еще в 2011 г. пессимисты писали: «Единственное, что заставит мир проснуться

и осознать, что ему не выжить с ядерным оружием, то, что изменит человеческий характер, — это, возможно, небольшая (если удача будет на нашей стороне) ядерная война». Война случилась. «Удача» оказалась на нашей стороне — война была относительно небольшой. Но достаточно ли сильно изменилась человеческая природа?

И вот, когда этот час наступил, картинка зала заседания итоговой конференции застыла на всех экранах во всем мире и главы известных ядерных держав заняли свои места, один из присутствующих обратил к прошлому, чтобы напомнить ключевые вехи прошедшей половины столетия, которые приблизили этот момент. Летописец начал так:

5 февраля 2018 г. Все положения нового Договора по сокращению стратегических вооружений, ратифицированного в 2011 г. США и Российской Федерацией, наконец выполнены, что свело число боеголовок к 1550 у каждой стороны. Однако все попытки открыть новый раунд переговоров по сокращению, в котором приняли бы участие и другие страны, обладающие ядерным оружием, провалились из-за разногласий по таким вопросам, как система противоракетной обороны: противники договора, милитаристы в Сенате США продолжали лелеять мечту о системе космического базирования, окрещенной программой «Звездные войны», а сторонники жесткого курса в Министерстве обороны России хотели создать новое поколение ракет с разделяющимися боеголовками. И все



новые страны не оставляют попыток создать собственный ядерный потенциал.

Вместо того чтобы пытаться начать новый раунд переговоров по договору о СНВ или договориться об уменьшении числа ракет, находящихся в состоянии боевой готовности, с целью исключить для ракет шахтного базирования ситуации непреднамеренного пуска или пуска по ложной тревоге, которые могут привести к возникновению случайной, «по недосмотру», ядерной тревоги и войны, ведущие ядерные державы занялись возведением дорогостоящих — многомиллиардных — противоракетных щитов. Такие сомнительные средства сдерживания включали в себя спутники с ядерным оружием и «кубицы спутников»: американских в Восточной Европе, российских в Арктике.

8 августа 2021 г. Один из самых пугающих сценариев был реализован в день, к дате которого приурочено нынешнее знаменательное событие: международная элитная группа хакеров-анархистов Anonymous 4.0 вошла в компьютерную сеть командного

пункта управления ядерными ракетами шахтного базирования в штате Монтана и такового же командного пункта на Дальнем Востоке.

С каждой из этих баз было выпущено по одной ракете. Никто не знал, введены ли в боеголовки коды подрыва, до тех пор пока обе они, так и не взорвавшись, не упали в районе Большого тихоокеанского мусорного пятна, области размером с Техас на севере Тихого океана. Но самое неприятное было в том, что запущенные со спутников антиракеты-перехватчики промахнулись на несколько миль. В результате ни одна из стран теперь не может надеяться на свою систему стратегического оперативного управления и связи.

Над человечеством навис кибернетический Дамоклов меч. **Август 2024 г.** И вот меч упал.

Все думали, что конфликт будет между Китаем и Тайванем, Ираном и Израилем или Северной и Южной Кореей. Однако после нескольких тревожных звоночков, прозвучавших в начале XXI в., разразилась война между Индией и Пакистаном. Ядерная бомба

неизвестного происхождения (если не принимать во внимание содержание неотслеженного электронного письма, правдивость которого так и не была подтверждена) была подорвана в Мумбаи, и правительство Индии решило обвинить в этом пакистанскую террористическую группу, что привело обе стороны к решению нанести превентивный удар, чтобы упредить другую сторону.

Мы, наконец, узнали, на что это похоже. И реальность оказалась намного страшнее, чем все, что можно было себе представить. Люди до глубины души были потрясены фотографиями расплавленных тел, криками обожженных радиацией младенцев. Статья в *Scientific American* о подобной «небольшой» ядерной войне (стороны «обменялись» ударами от 50 до 100 бомб, мощностью равных мощности бомбы, сброшенной на Хиросиму) между Индией и Пакистаном, опубликованная еще в 2010 г., была устрашающим пророчеством: мгновенная смерть при взрыве приблизительно 20 млн человек, неудержимая стена огня и радиационное заражение (см.: Робок А., Тун О.Б. *Локальная ядерная война и глобальная катастрофа* // *ВМН*, № 3, 2010).

Предсказание «ядерной зимы» (сценарий Судного дня, однажды описанный и недавно восстановленный авторами статьи в *Scientific American*), охватившей всю планету в результате региональной ядерной войны, оказалось до трагизма точным. Сажа, поднявшаяся в верхние слои атмосферы в результате взрывов и огненных бурь, образовала над Землей погребальный покров, заморозивший и уничтоживший значительную часть урожая продовольственных культур. Почти миллиард человек умерли от голода. Еще несколько миллионов погибли в результате прямых последствий войны, когда под воздействием мощнейшего электромагнитного импульса (ЭМИ), возникшего из-за ядерных



АДСКИЙ ОГОНЬ С НЕБЕС

Ужас, вызванный падающими с неба бомбами, оставался на наших страницах постоянным рефреном

МАРТ 1849 г.

Венеция «будет подвергнута бомбардировке с воздушных шаров» во время первой воздушной атаки

ЯНВАРЬ 1899 г.

В книжном обозрении был отмечен вымышленный персонаж, «изобретающий воздушное судно, с которого можно стрелять ракетами, что немедленно положит конец войнам»

ИЮНЬ 1950 г.

Опубликована статья о гражданском обороне, рассказывающая, как противостоять «разрушительному потенциалу водородной бомбы», и предлагающая менее уязвимый тип городского поселения — «город-полоску», длинной тонкой лентой протянувшийся на многие километры

ИЮЛЬ 2010 г.

В статье об автономных боевых роботах описана конструкция «высотного дирижабля, оснащенного радаром размером с футбольное поле и способного парить в небе непрерывно в течение месяца»

взрывов в стратосфере и нарушившего работу линий электропередач, три континента погрузились во тьму. Закон и порядок перестали действовать на огромных территориях планеты, и вслед за этим во многих обширных регионах вскоре последовали эпидемия чумы, разгул преступности и возвращение в Средневековье.

2031 г. Несмотря ни на что цивилизация начала возрождаться. Вся планета, еще не оправившаяся от ядерного посттравматического стресса, потребовала, чтобы любое правительство подало в отставку, если оно не приложило все свои силы к заключению договора о полном уничтожении ядерного оружия.

Но сработает ли все это? Изменилась ли природа человека?

Март 2035 г. Первый планетарный Договор о ядерном разоружении, основанный на плане, предусматривающем четыре фазы, который Движение за глобальный нуль представило еще в 2010 г., был формально согласован. Конечно, дьявол прячется в деталях, но он же таится и в радиации, и в чуме, и на этот раз решено было ошибиться в сторону веры и надеяться на то, что все должно сработать, что обман можно предотвратить, что можно осуществлять контроль, доверяя. Произошел технический прогресс в системах инспекции, мониторинга и средствах принуждения. Введена в практику суперсовременная методика сканирования мозга для всех, работающих в ядерной промышленности, чтобы выявить тайные заговоры. Была подтверждена эффективность спутников по обнаружению и уничтожению баллистических ракет. Техника «Звездных войн» стала реальностью. Однако она должна быть абсолютно надежной.

Июнь 2049 г. Все известные ядерные державы на Земле уже сократили свои арсеналы до уровня менее 12 боевых блоков и объявили, сколько радиоактивного топлива для производства бомб у них имелось. Все это топливо должно быть передано Всемирной комиссии по уничтожению ядерного оружия, которая оснащена самой передовой техникой для инспекций и обладает мощной военной группировкой, располагающей обычными вооружениями для осуществления принудительных мер.

Планировалось вдвое сократить количество оставшегося оружия к 2055 г. и еще раз сократить его вдвое к 2060 г., но затем договоренности были нарушены из-за разногласий в вопросах инспекции и мер по принуждению.

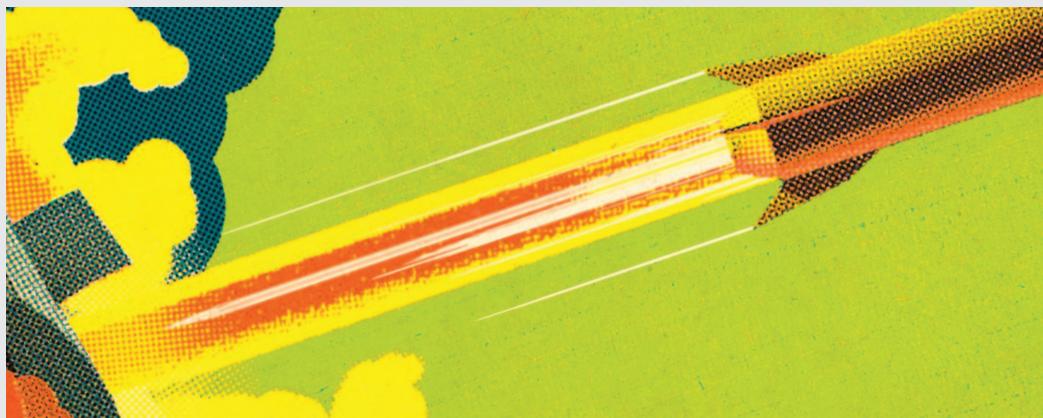
Декабрь 2056 г. Добавлен последний недостающий штрих. Невозможность обнаружить ядерную подлодку, скрывающуюся в океанских глубинах, с помощью спутника долгое время была техническим камнем преткновения. Теперь, наконец-то, новое поколение спутников с лазерами на борту сделало мечту о «прозрачности океана» реальностью. Ни одна подводная лодка не имела больше средств маскировки, которые позволили бы ей ускользнуть от космических разведчиков. По крайней мере, мы на это надеялись.

Будет ли работать всемирная система наблюдения и принуждения? Можно ли будет ввести ее в действие прежде, чем какая-нибудь из стран сможет тщательно укрыть что-либо из своих зловещих ресурсов? Не сделает ли полное уничтожение ядерного оружия более вероятными обычные войны, не будет ли проигрывающая в локальной войне сторона пытаться найти способы превратить ее в ядерную?

8 августа 2063 г. Уже скоро мы наконец-то получим ответы на все эти вопросы. Час пришел. И это была игра с самыми высокими ставками из когда-либо существовавших. Главы ядерных держав, сидящие вокруг пульта управления, должны просто нажать кнопку, чтобы санкционировать окончательное решение, а чтобы окончательное уничтожение всех оставшихся боевых блоков началось, должны быть нажаты все кнопки. На их лицах сияют улыбки.

Раньше или позже — скорее раньше — мы узнаем, не скрывается ли за одной из этих улыбок что-нибудь дьявольское. Потребуется много времени — годы, а может быть и вечность, — чтобы узнать, насколько надежной была эта система. Если человеческая природа способна измениться.

Рон Розенбаум (Ron Rosenbaum) — автор семи книг, последняя из которых, изданная в 2011 г., называется «Начало конца: путь к ядерной Третьей мировой войне» (How the End Begins: The Road to a Nuclear World War III).



СРЕДСТВО ОТ ВСЕХ БОЛЕЗНЕЙ

Генная терапия, которая с таким трудом пробивала себе дорогу, изменила медицину, добравшись до самого корня многих заболеваний

Рики Льюис

50

На дворе 2063 год. Вы заходите в кабинет врача, и медицинская сестра берет у вас пробу слюны, крови или околоплодной жидкости. Она наносит каплю раствора на размещенный в некоем устройстве микрочип размером с букву в этом тексте. Через минуту устройство выдает результаты. Разноцветная светящаяся картинка на дисплее сообщает о наличии в пробе нуклеотидных последовательностей, ассоциированных с тем или иным моногенным заболеванием. Всего таких заболеваний 1,2 тыс., и, к счастью, каждое из них можно устранить. Рецепт один: генная терапия.

В основе метода лежит доставка в клеточное ядро с помощью вирусов нормальной копии мутантного гена, ставшего причиной заболевания. Потенциал такого подхода стал ясен вскоре после установления структуры ДНК в 1953 г., но путь к его реализации оказался долгим и тернистым. Первые попытки были в основном неудачными. В 1999 г. с помощью вирусного вектора в организм 18-летнего пациента ввели нормальный аналог мутантного гена, ассоциированного с нарушением метаболизма, запускающим бурную, смертельно опасную иммунную реакцию. Это вызвало аномальный ответ иммунных клеток в печени, и пациент умер. В том же году двум детям с врожденным иммунодефицитом ввели в составе ретровируса гены, которые трансформировались в онкогены — такие же, как те, которые они должны были заменить, — и в результате у несчастных детей развилась лейкемия. Эти трагические случаи остановили развитие генной терапии, начались бесконечные дебаты по поводу того, какие же вирусы применять в качестве векторов.

Наконец, в 2012 г. Европейская комиссия разрешила использовать генную терапию для лечения больных с дефицитом фермента липопротеин-липазы, который участвует в расщеплении жиров. Через два года FDA одобрила применение генного подхода для борьбы с наследственной слепотой (болезнью Лебера), одной из форм иммунодефицита (аденозиндезаминазной недостаточностью) и генетическим заболеванием, поражающим головной мозг (аденолейкодистрофией). Все эти болезни встречаются редко, и их относительно просто отследить.

Стало окончательно ясно, что в качестве вектора для переноса целевых генов лучше всего подходят аденоассоциированные вирусы (ААВ). Большинство из нас — уже их носители, а значит иммунная система не воспринимает их как чужеродных агентов. В отличие от этого ретровирусы, даже запрограммированные на саморазрушение, могут вызывать рак, как это и произошло с детьми, о которых мы говорили выше. Lentivirus же, хотя и получившие одобрение FDA в качестве векторов, не нашли распространения: далеко не все согласны, чтобы им вводили вирус, причастный к развитию СПИДа, пусть даже он представлен фрагментами вирусных генов.

В 2016 г. генную терапию попробовали применить для лечения больных гемофилией, оценив при этом экономическую

составляющую. Обнаружилось, что вся процедура однократного введения целевого гена обходится в \$30 тыс. и эквивалентна по эффективности пожизненному инъекционному фактору свертывания крови, которое оценивается в сумму \$20 млн.

С получением возможности контролировать иммунный ответ на вектор был преодолен один из самых серьезных барьеров на пути к широкому применению генной терапии: использование химической упаковки биологических векторов не только обеспечивало адресную доставку нужного гена, но и усиливало иммунную реакцию на раковые клетки и патогенные бактерии, а также подавляло отторжение вирусных векторов.

Теперь генная терапия могла проявить себя в полную силу. Поскольку сетчатка глаза защищена от действия иммунной системы, появилась возможность излечивать более 100 видов слепоты. За это и взялись в первую очередь. В 2019 г. дюжине детей с крайне редким заболеванием — гигантской аксональной нейропатией — ввели целевой ген в спинной мозг. Следующими в списке заболеваний стояли повреждения спинного мозга, амиотрофический боковой склероз и мышечная атрофия. Введенный внутривенно ААВ успешно преодолевал гематоэнцефалический барьер, благодаря чему стало возможным предупреждение болезни Паркинсона и других нейродегенеративных заболеваний.

Со временем выяснилось, что в некоторых случаях лучше не прибегать к замене дефектного гена. Так, при муковисцидозе хорошо помогают препараты, восстанавливающие структуру дефектного белка, в то время как генетически модифицированные клетки в легких и дыхательных путях существовать не могут. А при мышечной дистрофии Дюшена проще реактивировать молчаливый целевой ген, чем доставлять такие гены во все мышечные клетки.

К середине столетия новые методы терапии перенацелились с редких моногенных заболеваний на более распространенные, связанные с факторами риска генетической и средовой природы. Среди них психические расстройства, диабет, сердечно-сосудистые патологии.

К 2060 г. методы генного тестирования, направленные на выявление предрасположенности к тем или иным заболеваниям (в сочетании с генной терапией) достигли беспрецедентной точности. Возможность остановить болезнь в зародыше привела к уменьшению затрат на лечение, увеличению продолжительности жизни и общему оздоровлению населения планеты.

Рики Льюис (Ricki Lewis) — медицинский генетик, автор изданной в 2012 г. книги «Вылечить навсегда: генная терапия и мальчик, который ее спас» (The Forever Fix: Gene Therapy and the Boy Who Saved It) и ряда учебных пособий по генетике.



ЦУНАМИ ВЫМИРАНИЯ

К началу следующего столетия львы, тигры и другие наиболее важные виды исчезнут или останутся только в зоопарках

Томас Лавджой



Впервые о возможности исчезновения видов я сообщил в 1980 г. в докладе президенту Джимми Картеру. В нем было сделано заключение, что та скорость, с которой мы теряли тропические леса в угоду лесозаготовкам и развитию, станет причиной вымирания 15–20% всех видов к 2000 г. Эти подсчеты были недалеко от истины. Сегодня Международный союз охраны природы на основании данных из Красной книги подсчитал, что 13% птиц, 25% млекопитающих и 41% земноводных стоят на грани исчезновения.

Многие виды уже на пути к тому, чтобы стать ходячими трупами, как их называют ученые, т.е. популяции животных столь малы, что вымирание неизбежно. Возможно, через 100 лет многие хищники, в том числе львы, тигры и гепарды, будут жить только в зоопарках или в таких малых заказниках, которые будут напоминать зоопарк. Подобная судьба может ожидать всех носорогов, слонов и наших ближайших родственников: двух видов горилл, орангутанов и шимпанзе.

В нашем первом докладе 1980 г. упоминались некоторые причины, ведущие к исчезновению видов, но в упрощенном виде. С тех пор эти движущие силы стали мощнее и сложнее. **Возросшая роль инвазивных видов.** На всех островах Океании коричневая древесная змея истребила птиц, в том числе гуамского пастушка. Одичавшие животные стали причиной быстрого сокращения и потенциального вымирания

местных видов млекопитающих на всей территории северной Австралии. Недавно в США, в Северной Виргинии, как раз где я живу, появились три новых вида: азиатский тигровый комар, муравьи, разрушающие электроизоляционные материалы, и бурые мраморные клопы-щитники. В этот список также попал вирус лихорадки западного Нила. Иллюстрацией того, насколько все вокруг изменилось, может служить изданная в США книга о питонах.

Сокращение мест обитания. Менее 30% саванн осталось нетронутыми в Африке. Популяции африканских львов резко сократились — на 90%. Кроме того, продолжают быть актуальными и другие угрозы для млекопитающих и птиц — например, охота на диких животных. Браконьерство с целью добычи рогов носорогов и бивней слонов приобрело такие масштабы, что Интерпол посчитал первостепенной задачей борьбу с преступлениями, связанными с убийством диких животных. К следующему столетию носороги с Калимантана будут так близки к исчезновению, что, вероятно, их можно будет увидеть только на картинках или в виде скелетов в музейных коллекциях.

Распространение болезней диких животных по всему миру. Миграция животных привела к росту заболеваний. Хитридиевые грибы, без сомнения, величайшая проблема наших дней, вызвали волну вымирания земноводных по всему миру, особенно в тропиках Нового Света, где впервые в истории целая группа видов находится в процессе

исчезновения. Может ли сокращение популяции лягушек быть предвестником того будущего, что уготовано для других животных? Если вымирание в столь серьезных масштабах продолжится, то мы можем только гадать, потеряем ли мы таких крупных хищников, как филиппинский филин и гарпия. Великолепные хищные животные Африки и Азии, кажется, уже на пути к забвению.

Человечество нарушает круговорот азота. В результате сельскохозяйственной и промышленной деятельности за три последних десятилетия количество биологически активного азота в природе выросло, создав угрозу поступлению из воды необходимого растениям и рыбам кислорода. Исказился также и круговорот углерода, что вызвало изменение климата и подкисление вод океанов.

Изменение климата уже неблагоприятно сказалось на биоразнообразии. Разные виды уже испытали изменения в их годовых циклах: наступил более ранний период цветения, и некоторые особи двинулись на поиски новых мест обитания и более подходящего климата. Древовидная юкка больше не растет в своем родном Национальном парке Джошуа-Три в Калифорнии. Отступление льдов в Северном Ледовитом океане означает, что обыкновенный чистик должен лететь дальше в поисках арктической трески для пропитания, пропустив одну кладку в колонии. Мигрирующие виды, такие как антилопы гну в Африке и бабочки-монархи в Америке, могут прекратить свое существование. Многие из лососевых могут погибнуть из-за нехватки холодных чистых нерестовых рек.

Сегодня мы наблюдаем, как зарождается цунами исчезновения видов в замедленном темпе. Крупнейшие потрясения неминуемы. Все экосистемы (одна из них — человеческая цивилизация) 10 тыс. лет приспособлялись к условиям относительно устойчивого климата, но впредь такое положение не сохранится. В отношении биоразнообразия на нашей планете следует отметить, что адаптация имеет свои ограничения. Виды, обитающие на высоте, могут спуститься по склонам, но со временем идти дальше будет некуда. Островные виды тоже уязвимы из-за подъема уровня океана или потому, что они больше не могут выживать в условиях изменения местобитания.

Поскольку температура поднимется на 1,5°С по сравнению с доиндустриальным периодом, сегодня представляется неизбежным, что коралловые рифы прекратят свое существование: взаимодействие между морским животным миром и водорослями в сердце уникальной экосистемы кораллов будет разрушено. И хвойные леса

на западе Северной Америки могут оказаться в эпицентре крупнейших изменений: более мягкие зимы и более продолжительные летние периоды благоприятствуют размножению местных жуков-короедов, вследствие чего деревья гибнут и в лесах возникают пожары.

Пожары, обезлесение и изменение климата — все в совокупности приведет к крайней точке, когда под угрозой окажутся дождевые леса в южной и восточной частях Амазонской низменности, и произойдет это гораздо быстрее, чем под воздействием лишь одного изменения климата. И в самом деле, губительные последствия уже ощутимы сегодня, при подъеме средних температур на 0,8–0,9°С. Закисление вод океана угрожает многим жизненным формам, в том числе и моллюскам. В определенный момент естественная интеграция экосистем разрушится, т.к. каждый вид самостоятельно старается адаптироваться к изменению климата. Выжившие виды объединятся в новые экосистемы, которые трудно предсказать заранее и с которыми сложно справиться человеку.

Нам нужно прислушаться к голосу здравого смысла. Должны быть сделаны первые решающие шаги для возобновления усилий и выполнения задач, поставленных Конвенцией по сохранению биологического разнообразия, чтобы к 2020 г. под официальную охрану попали 17% наземных пресноводных экосистем и 10% океанических. Важным шагом также могло бы стать снижение влияния человеческой деятельности на изменение климата, отчето в выигрыше останутся биологические виды и экосистемы. Сохраняя экосистемы в мировых масштабах, мы, вероятно, могли бы снизить содержание двуокиси углерода на 50 частей на миллион (это разница между сегодняшним уровнем двуокиси углерода и тем его значением, при котором способны выжить коралловые рифы). Все эти действия требуют политической воли, признания, что наша планета должна быть управляема как биологическая и физическая система, каковую она собой и представляет, и осознания, что разнообразие жизни, часть которого — и мы с вами, имеет решающее значение для будущего человечества.

Томас Лавджой (Thomas Lovejoy) ввел термин «биологическое разнообразие» и сыграл главную роль в развитии природоохранной биологии. Он первым забил тревогу в связи с угрозой тропическим лесам.



ЛЮБОВЬ

Читатели могут и не связывать страстное увлечение с именем *Scientific American*. Однако общественная привязанность всегда имела место и здесь, и в отношении сестринского издания *Scientific American Mind*

МАЙ 1846 г.

Переселенцам в Орегон настоятельно рекомендовали «брать жен отсюда, ибо в том краю женщин нет»

МАРТ 1995 г.

Известный специалист по приматам указал, что «никакое морализаторство не может исключить секс из повседневной жизни людей»

СЕНТЯБРЬ 2012 г.

Scientific American Mind объяснил, почему «поиски спутника жизни в цифровом мире могут оказаться полезным делом»



СУДЬБА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПЛАНЕТЫ

С гелиотехникой и другими исключительно перспективными новыми технологиями, предназначенными для борьбы с глобальным потеплением, связан ряд неопределенностей. Чтобы показать, насколько сложна проблема и какие трудности нас ждут впереди, мы предлагаем три резко различающихся и в какой-то мере фантастических сценария

Дэвид Кейт и Энди Паркер

Конец природы



В ходе долгого экономического бума, начатого революцией, которую вызвали успехи робототехники в 2020-х гг., население планеты еще сильнее сконцентрировалось в богатых мегаполисах, а выращенные в искусственных условиях генетически модифицированные продукты стали нормой. Большинство людей потеряли сколь угодно значимую связь с природой: кому нужна реальность, когда есть созданная компьютерами сенсорная копия, дополняемая синтетическими препаратами для углубления восприятия? Интерес к диким животным и активный

отдых стали уделом пуристов — людей, которых все еще привлекает «естественная жизнь». Среди напоенных парфюмерными ароматами синтетических цветников городских парков экологическое движение середины XX в. стало казаться атавизмом, сохранившимся у примитивных людей. Объемы выбросов углекислого газа в атмосферу значительно выросли.

В знаковом решении 2047 г., в котором сегодня видится третье великое отделение человечества от природы, Америка и Европейская Республика поддержали план G77 по реализации солнечного геозэкрана для понижения

температуры планеты путем отражения части солнечного излучения распыленными в атмосфере частицами.

Этот план вызвал яростные возражения со стороны коалиции радикальных «зеленых» и энергетических компаний, вложившихся в разработку нефтяных месторождений в освободившемся ото льда Северном Ледовитом океане. Однако план продолжал осуществляться, и когда экологическую катастрофу удалось предотвратить, он получил одобрение.

Огромные аэрозоли засеяли стратосферу частицами сульфата, образовавшими над планетой отражающую дымку, — и урбанизированное население начало ощущать экономические улучшения, в частности снижение цен на пищевые продукты, вызванное ростом продуктивности сельского хозяйства. Но хотя результативность фермерства и других форм биологического производства росли, биоразнообразие уменьшалось, особенно в океанах, закисление которых, вызванное поглощением углекислого газа, привело к разрушению большинства коралловых рифов. Потеря этих исключительных экосистем была сочтена не слишком большой платой за прогресс. Сильно пострадали только беднейшие слои населения и самобытные народы, кормящиеся «с земли», которые не имели политического голоса для защиты себя и еще больше нищали.

В конце XXI в. Всемирная климатическая комиссия начала изменять климат с целью уменьшения разности температур между экваториальной и полярными зонами, чтобы содействовать новым видам экономической деятельности в зонах с климатом, ставшим более теплым. Однако в итоге это предприятие отошло на второй план. Интерес к экологическим темам упал, т.к. интеллектуальные роботы начали поднимать все более ожесточенные восстания против национальных правительств. Дебаты об оптимальном климате шли только в немногих комитетах, состоящих из скучных специалистов.

В 2092 г. состоялся мемориальный экологический митинг Rio+100, причем, что символично, на военной базе в Южной Амазонии, где были запущены некоторые из первых аэрозолей для распыления сульфатов. Многие годы пустовавшее, это неуклюжее сооружение выглядело подобно павшему колосу из сонета Шелли «Озимандия», как одинокий памятник среди перевозданной местности, вокруг которого «нет ничего... Глубокое молчанье... Пустыня мертвая...

и небеса над ней...» (цит. в переводе К.Д. Бальмонта. — Прим. ред.).

Планета-сад

События 2018 г. подтолкнули к решению насущных проблем, связанных с изменением климата. Исчезновение южноазиатского муссона и два свержага, разрушившие сооружения для защиты от наводнений на юго-востоке США, в сочетании с засухой в Китае привели к огромным потерям. Однако наиболее ярким одиночным событием стало плавание «Воина Радуги III», впервые в истории прошедшего над свободным ото льда Северным полюсом.

Десятилетия пустого политиканства сделали принятие обязывающего соглашения по климату легким делом. Мировые лидеры собрались в 2020 г., чтобы согласовать лимиты выбросов парниковых газов, которые должны были достигнуть в 2035 г. максимума, а затем быстро снизиться. Это знаковое соглашение подвергалось масштабным нападкам со стороны правых политиков, трактовавших его как захват власти.

Несмотря на то что с существенным уменьшением квот на выбросы парниковых газов затраты на короткое время сильно выросли, в итоге стало ясно, что уменьшение выбросов обошлось мировой экономике меньше, чем в 3% глобального ВВП. Поэтому политические интересы сместились в сторону более трудных вопросов, в частности о затратах на здравоохранение, достигших в США к 2028 г. 24% ВВП.

От Международного валютного фонда отпочковался новый Международный фонд адаптации к изменениям климата. Он сделал целевые инвестиции в инфраструктуру одновременно с микровливаниями, направленными на облегчение местных решений сельскохозяйственных проблем, вызванных ростом температур. Эти шаги значительно ускорили прямое воздействие человечества на разогревающую планету.

Адаптация к изменениям климата имеет пределы. Из-за долгого пребывания углерода в атмосфере и большой инерции климатической системы планеты климат Земли стал на 3° теплее по сравнению с доиндустриальным периодом. С ростом температуры постепенно повышался уровень океана и учащались экстремальные погодные явления.

В 2040 г. Союз Малых Островных Государств (СМОГ) и Африканский Союз в итоге побудили мировое сообщество начать развертывание геоинженерных проектов. Распыление аэрозолей в атмосфере, проводимое при

прямой поддержке некоторых из ведущих экономических держав и с молчаливого одобрения других, начало постепенно оказывать свое влияние, замедляя потепление, а затем привело и к снижению температур.

После долгих переговоров был согласован уровень, по достижении которого геоинженерные действия должны быть остановлены. Однако к тому времени, когда в 2099 г. посадкой в Лагосе в Нигерии завершился последний полет для распыления аэрозоля, внимание мировой общественности давно переключилось на другие темы, в том числе на спор между Россией и Канадой по поводу ответственности за искусственные ели, наносящие ущерб сельскому хозяйству в высоких широтах. Эти деревья были первой продукцией синтетической биологии, введенной канадскими компаниями для стабилизации гибнущих бореальных экосистем России.

Апокалипсис на пороге

Первые испытания геоинженерных проектов в 2020 г. оказались именно тем, чего боялись критиковавшие их ответственные исследователи. Финансируемые миллиардерами инженеры, которых свобода исследований заботила больше, чем благо общества, проводили эксперименты вдали от людских глаз: на базе на атолле в южной части Тихого океана.

Природоохранные группы были возмущены. Их протесты мешали новым исследованиям. Однако запрещенные или нет, геоинженерные проекты были единственным известным способом остановить быстрое глобальное потепление, поэтому исследования ушли в подполье, в государственные и военные научные центры.

Тем не менее изменения климата не были главным центром внимания. Всемирный фурор произвело открытие недорогого способа манипулирования зародышевой линией, целью которого было изменение генетической модели детей. Это сулило улучшение умственных способностей малышей, укрепление здоровья и улучшение внешнего вида, одновременно поднимая весь старый спектр евгенических вопросов. К 2050 г. этот кризис стал главной заботой национальных правительств.

Человечество начало делиться на два подвиды: «натуральных» и «передовых». Последних отличало наличие дополнительного генетического материала, введенного в отдельные хромосомы, которое обеспечивало им

намного более высокие умственные способности и намного более крепкое здоровье. Народы Азии широко внедряли эти новые технологии, а европейские демократии пытались ограничить манипуляции зародышевой линией человека, считаясь с религиозными и моральными сомнениями, поднятыми национальными меньшинствами.

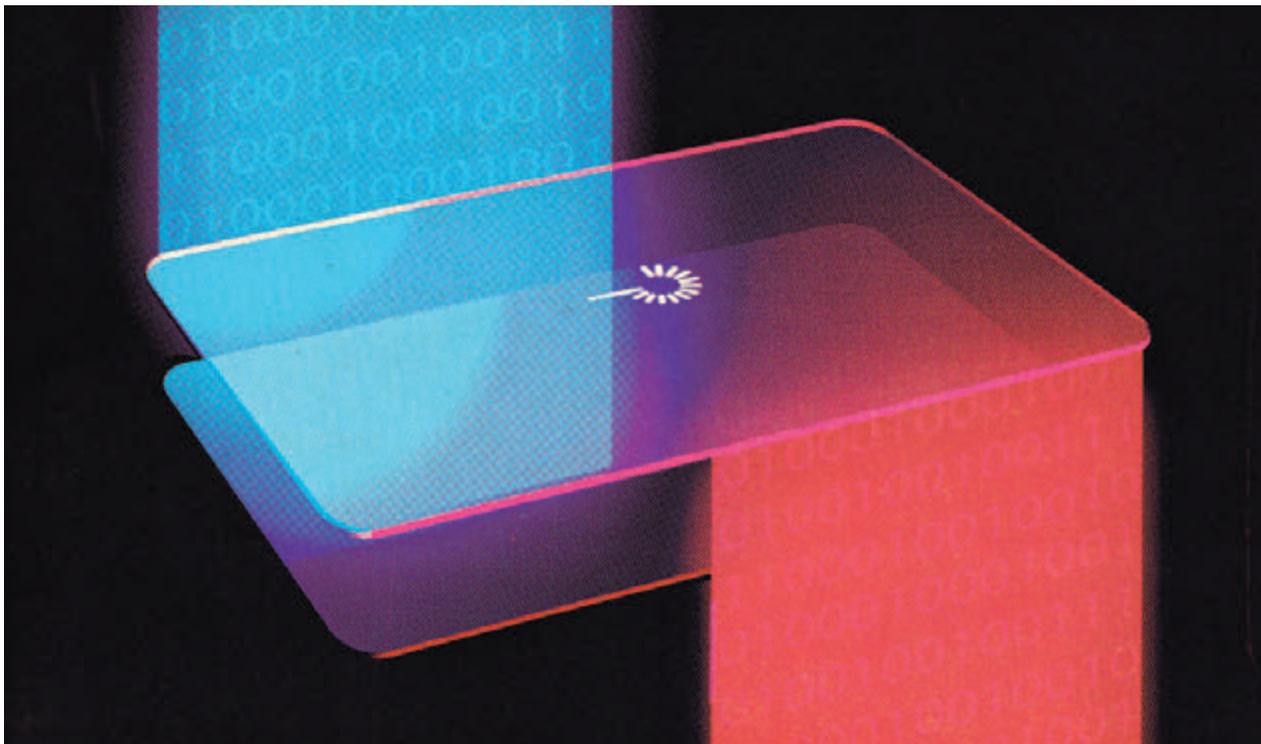
Однако изменения климата не совсем выпали из поля зрения. К середине столетия стало ясно, что чувствительность климата к парниковому эффекту углекислого газа соответствует наилучшим опасениям ученых. В 2045 г. Индия и Индонезия начали осуществление совместного геоинженерного проекта, несмотря на засекреченность и отрывочность данных исследований. В течение десятилетия засухи в США превзошли засухи 1930-х гг.

Под давлением религиозных групп США запретили генетические манипуляции, и экономика страны вошла в длительную медленную депрессию, питавшую у людей чувства ненадежности и изолированности. Великая засуха толкнула США за черту.

Хотя убедительных доказательств того, что засуха стала неумышленным следствием геоинженерных мероприятий, не было, она вызвала резкое недовольство бурным развитием экономики стран Азии и ростом тамошнего населения, вылившееся в небывалую социальную напряженность.

По мере приливов и отливов противостояния все большее распространение получали несогласованные геоинженерные усилия, причем противоборствующие коалиции стремились изменять местный климат в свою пользу. Картина погоды становилась все менее предсказуемой, а конфликты местных климатических условий все более частыми. Одно из столкновений закончилось созданием искусственного вируса, направленного против «передовых», который погубил почти треть населения планеты. В этих условиях заботы о выбросе углерода в атмосферу были забыты.

Дэвид Кейт (David W. Keith) — профессор Гарвардского университета, а Энди Паркер (Andy Parker) — научный сотрудник этого университета. Оба они изучают общественное мнение в отношении крупномасштабных технических проектов по изменению климата Земли с целью противодействия глобальному потеплению.



ДЕРЗКАЯ И БЕЗРАССУДНАЯ ПОПЫТКА ПРЕДСКАЗАТЬ БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРОВ

Что говорят современные пророки от технологий о дне послезавтрашнем

Эд Реджис

150

Предсказать, каким будет iPad будущего года (или будущей недели), можно с достаточной надежностью. Знать же, какими будут компьютеры вообще через 150 лет (а это вечность в развитии техники), почти невозможно. Тем не менее технические пророки, пионеры и исследователи в области компьютерной техники никогда не скупилась на предсказания будущего. Поэтому мы решили, что нам не трудно будет обратиться к ним с вопросами. Для начала: сохранятся ли вообще компьютеры в далеком будущем?

«Несомненно сохранятся, — уверен нанотехнологический оракул Эрик Дрекстер (Eric Drexter) из Оксфордского университета. — Компьютеры более фундаментальны, чем колесо». Однако специалист по прогнозированию Стюарт Брэнд (Stewart Brand) отказывается даже рассуждать о том, какими они могут быть: «Возможно, именно потому, что я профессиональный футуролог, все известные мне предсказания по прошествии времени оказывались смешными, поэтому я отказываюсь от всяких попыток. Я даже не люблю рассматривать прогнозы, сделанные другими. Я чувствую себя так, словно изучаю чью-то аптечку (нарушая право на приватность), позволяющую узнать слишком много о слабостях и иллюзиях ее хозяина».

Джордж Дайсон (George Dyson), автор книги о компьютерах и всемирном разуме, говорит: «Я могу очень много рассказать о компьютерах 50-, 100- и 150-летней давности, но ничего о том, какими они будут через 50, 100 и 150 лет. Предсказания здесь просто невозможны. Единственное, что я могу гарантировать, так это то, что любые предсказания будут ошибочными!» И все же он смягчился и высказал одно предположение: «Через 150 лет большинство важных вычислений будут аналоговыми (по той же причине, почему все важные числа суть вещественные числа, но не целые), и представление о чисто цифровых вычислениях будет забавным пережитком».

Айвэн Сазерленд (Ivan Sutherland), изобретатель *Sketchpad* — основы вездесущих сегодня графических пользовательских интерфейсов, вторит Дайсону: «Я не имею ни малейшего представления о том, каким будет мир через 150 лет. Если хотите знать будущее, спросите молодежь, которая будет его создавать».

«Подозреваю, что этого не знает никто! — сказал его друг Винтон Серф (Vinton Cerf), один из создателей Интернета, работающий сегодня в компании Google. — Какие-то намеки могут быть в исследованиях по оценке минимальной энергии, необходимой для квантовой перспективы любых видов

вычислений. Есть также вероятность, что некий асинхронный параллелизм, наблюдаемый в работе мозга, может быть реализован в "железе", но я склонен думать, что некоторые вычисления проще будет выполнять на аппаратуре с более привычной структурой». (Асинхронный компьютер работает без синхронизации операций центральным тактовым генератором.)

Дэнни Хиллис (Danny Hillis), создатель мощного суперкомпьютера *Connection Machine*, предполагает: «Компьютеры сохранятся, но они могут стать не электронными. Их связь с нашим мозгом может оказаться более тесной, чем та, что обеспечивают сегодняшние экраны и клавиатуры. Некоторые элементы компьютеров могут оказаться имплантированными в нас, так что сказать, где кончаемся мы и начинается компьютер, будет трудно».

Натан Мирволд (Nathan Myhrvold), бывший главный технолог *Microsoft*, соглашается с ним: «Да, компьютеры сохранятся и через 150 лет, но их, возможно, будет трудно распознать. Если бы вы спросили Эдисона или Теслу об электромоторах, они бы, вероятно, тоже сказали, что электромоторы сохранятся, и были бы правы: тысячи маленьких электромоторов встроены в самые разные вещи повседневного употребления. Иногда мы еще видим большой электромотор, выглядящий именно как электромотор, но большинство их растворилось в ткани нашего быта. В редких случаях можно будет видеть что-то, легко распознаваемое как компьютер, но большинство компьютеров будет скрыто внутри других вещей. К тому времени возможности компьютеров будут несравнимо шире сегодняшних. Я удивлюсь, если они не окажутся умнее нас. Это раздражает некоторых людей, убежденных, что нам суждено всегда быть самыми разумными. Но было время, когда люди точно так же думали о силе, однако человек оказался слабее. Мы пережили это. При решении некоторых узких задач компьютеры уже умнее людей. Области их превосходства будут шириться, и со временем они дадут нам фору во всем».

Майкл Фридман (Michael Freedman), научный сотрудник *Microsoft Station Q*, занимающийся исследованием топологического квантового компьютеринга, говорит: «Имплантированные устройства не будут популярными: выбор изменений нашего тела будут диктовать, как и сегодня, красота и стиль, а не вычислительные возможности. Но устройства станут миниатюрными и будут иметь прямую связь с мозгом. Возможно, специальные очки или какой-то головной убор позволят справляться с иностранным языком путем прямого взаимодействия с речевыми центрами».

Фридман добавляет, что «компьютеринг пронизет всю окружающую среду, и трудные задачи (вроде перевода с помощью очков) будут решаться рассеянными повсюду вокруг маломощными криогенными компьютерами на джозефсоновской логике. По мере того как сотрудничество человека и машин движется в сторону неразрывного совершенства, золотой век математики, в котором мы живем сегодня, будет расцветать и дальше. Писатели-фантасты беспокоятся, что человечество стареет, но через 150 лет у него будет больше дел, чем сегодня, и оно будет располагать лучшими возможностями справляться с ними, чем когда-либо раньше. Мировой рекорд в марафонском беге будет равен 1ч, 58 мин и 59 с, а по "носу" горы Эль-Капитан в Йосемитском национальном парке люди будут подниматься без веревок».

Что ж, может быть. Слабость всех этих предсказаний в том, что они противоречат принципу вычислительной неприводимости — эпистемологическому барьеру познания будущего. Согласно книге Стивена Вольфрама (Stephen Wolfram) «Новый вид науки» (*A New Kind of Science*), система вычислительно неприводима, если «на практике не может быть иного способа предсказания ее поведения кроме выполнения числа этапов вычислений, почти равного числу этапов эволюции самой системы». Иными словами, «общего простого решения здесь не существует: невозможно получить результат, не проделав практически того же самого объема работы, который выполняет сама система».

Технологические пути к созданию компьютеров будущего, похоже, образуют систему именно такого рода. Эти компьютеры будут результатом бесчисленного множества человеческих решений, технических новшеств, рыночных сил, потребительских выборов и др., и какого-либо способа заранее узнать, как все эти факторы и решения будут взаимодействовать между собой при формировании будущего компьютеров, не видно. А это значит, что единственная возможность узнать, какими они будут через 150 лет, состоит в том, чтобы подождать эти 150 лет и увидеть.

Эд Реджис (Ed Regis) — автор восьми книг; последняя из них, написанная в соавторстве с Джорджем Черчем (George M. Church) и вышедшая в прошлом году, называется «Перерождение: как синтетическая биология будет переделывать природу и нас» (Regenes: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves).



МОЗГ В ЯЩИКЕ

ИНФОРМАТИКА
всегда была главной
темой журнала

МАЙ 1851 г.

Хваленая логарифмическая линейка была описана гиперболически: «Это самая важная машина из когда-либо представленных публике»

1900-е гг.

Офисы стали заполняться машинами, которые выполняли табуляцию, сортировку, подсчеты и вычисления с помощью перфокарт

АПРЕЛЬ 1955 г.

Джон Кемени (John Kemeny) задается вопросом: «Что машина могла бы делать не хуже человека?»

ОКТАБРЬ 1956 г.

Рассуждения о компьютере будущего, основанном на принципах биологических систем: «Подобно растениям, машина обрела бы возможность добывать все исходные материалы для построения самой себя из воздуха, воды и почвы»

ИЮНЬ 2012 г.

Генри Маркрам описал полное моделирование человеческого мозга вплоть до уровня отдельных молекул. Реализация этой идеи ожидается около 2020 г.



Кэмерон Смит

ГРАЖДАНЕ КОСМОСА

*Как будущие поколения начнут осваивать другие миры
и чем это обернется для человека как вида*



150

В 2011 г. космический челнок «Атлантис» совершил свой последний полет, но это вовсе не означало, что эра исследования космоса с помощью пилотируемых кораблей закончилась. Напротив: аналогично тому, как исчезновение динозавров способствовало процветанию млекопитающих, уход в прошлое космических челноков послужит стимулом к началу освоения пространств Вселенной. С появлением частных компаний с их амбициозными планами человечество вступило на путь заселения далеких миров и адаптации к совершенно новым условиям. Официально заявленной целью Элона Маска (Elon Musk), американского инженера, миллиардера, соучредителя корпорации *SpaceX*, стал Марс; полярные исследователи Том и Тина Сьегрен (Tom & Tina Sjogren) планируют организовать экспедицию на Марс на собственные средства; в рамках частного европейского проекта *Mars One* предполагается основать к 2023 г. колонию на Марсе. Колонизация космоса начинается на наших глазах.

Однако технической стороной дело не ограничивается. Если освоение космоса пойдет успешно, обязательно придется решать проблемы биологического и культурологического свойства. Колонизация — не одни только ракеты и роботы, это люди, семьи, сообщества и разные культуры. Чтобы справиться с запутанной, противоречивой, динамичной проблемой биосоциокультурной адаптации, нужно начать с построения антропологической системы колонизации космоса. При этом необходимо отдавать себе отчет, что все живые существа изменчивы, они эволюционируют.

В представлениях о путях колонизации господствуют три концепции. Первая связана с освоением Марса. По мнению энергичного, полного идей космического

инженера-конструктора и президента *Mars Society* Роберта Зубрина (Robert Zubrin), марсианские поселения должны находиться на самообеспечении, т.е. использовать местные ресурсы для получения воды и кислорода, а также строительных материалов. Вторая концепция основана на идее создания свободно перемещающихся колоний — многочисленных обитаемых космических станций, построенных из металлов, добытых на Луне или извлеченных из астероидов. Такая идея была высказана и широко обсуждалась еще в 1970-х гг. Ее автор, физик Герард О'Нил (Gerard O'Neill), предполагал, что станции с тысячами обитателей смогут вращаться вокруг своей оси, чтобы создать ощущение земного притяжения (как в фильме 1968 г. «2001: космическая Одиссея»), а также обращаться вокруг Земли или неподвижно висеть в так называемых точках Лагранжа, где гравитационные силы со стороны Земли и Солнца, действующие на малое тело (корабль), уравновешиваются центробежной силой. И, наконец, существует идея строительства гигантского корабля *Space Ark* с тысячами переселенцев, которые навсегда покидают Землю в надежде, что их потомки достигнут далеких уголков Солнечной системы, а возможно, и Вселенной. Я работал с создателями именно такого проекта, который реализует некоммерческий фонд *Icarus Interstellar*.

Следует различать колонизацию космоса и его покорение. Мир за пределами нашей планеты огромен, так было и так будет. Если человечество решится создавать для себя новый космический дом, изменяться придется ему, а не новому местообитанию.

Первопроходцы

Что же это за люди — космические переселенцы? Забудьте о решительных суперменах, изображенных в фильме 1980-х гг. «Парни что надо», — словно высеченных из камня, с квадратными подбородками, с легкостью проходящих изощренные тесты на выносливость, ловкость, сообразительность и прочее. Наши герои будут обычными людьми, которым предстоит провести всю жизнь вне Земли. Возможно,



ОБ АВТОРЕ

Кэмерон Смит (Cameron M. Smith) преподает историю эволюции в Портлендском университете. Автор книг «Факт эволюции» (*The Fact of Evolution, 2011*) и «Переселение с Земли» (*Emigrating Beyond Earth, 2012*).

для выполнения задачи понадобится несколько капитанов кораблей в духе Жан-Люка Пикара (персонажа телесериала «Звездный путь»), но первые колонисты в большинстве своем будут фермерами и строителями.

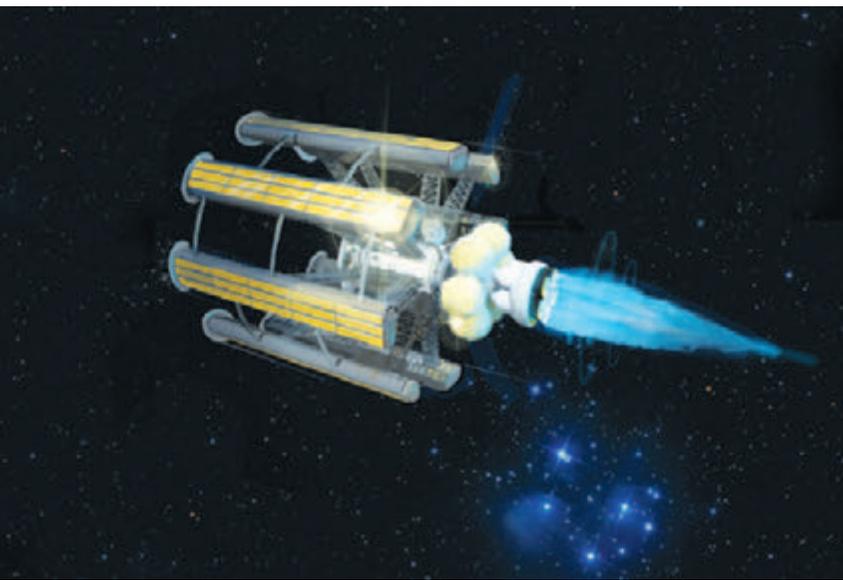
При этом одно условие должно выполняться непременно: отменное здоровье, в первую очередь — безупречная генетика. В небольших популяциях высока вероятность распространения «плохих» генов в следующих поколениях, влекущая за собой крах всей миссии. В проекте *Space Ark* биологическая судьба колонии однозначно определяется генетическим статусом популяции-основателя: если всего у нескольких первопроходцев есть ген, детерминирующий развитие наследственного заболевания, то он очень быстро распространится по всему сообществу.

Сегодня нам известны сотни генов, связанных с различными патологиями — от рака до глухоты. (Недавно появилось сообщение, что молекулярные генетики могут выявлять более 3,5 тыс. абберантных генов у плода, находящегося в утробе матери.) Процедура генетического скрининга кажется довольно простой: если вы носитель определенных генов, то остаетесь на Земле. Но реальность гораздо сложнее. Многие заболевания имеют полигенную форму, т.е. возникают в результате совместного эффекта множества генов. Как они себя проявят в течение жизни носителя, во многом зависит от окружающей среды.

Например, ген *ATRX* у человека участвует в регуляции транспорта кислорода. Но его активность зависит от самых разных факторов, таких как характер питания или психический статус. Если функционирование *ATRX*-гена существенным образом изменяется и это сказывается на транспорте кислорода, то у носителя могут возникнуть серьезные расстройства — замедление роста, эпилепсия, психические отклонения. Таким образом, одного скрининга на наличие дефектного *ATRX*-гена недостаточно. Как же в таком случае отбирать кандидатов на роль колонистов? *ATRX*-ген есть у каждого, но вот вопрос: что с ним может произойти на протяжении жизни человека?

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Космическая миссия, подразумевающая долговременное пребывание человеческой популяции вне Земли — на Марсе или на космическом корабле, направляющемся к далеким мирам, — неизбежно будет сопровождаться появлением новых физиологических адаптаций и изменением культурных традиций.
- Такие полеты сопряжены с множеством опасностей: высоким уровнем радиации, низким давлением и многими другими. Особую угрозу они представляют для плода, находящегося в утробе матери, и для новорожденного.
- Организаторы космических миссий должны тщательно отбирать их участников. Это должны быть здоровые во всех отношениях люди с безупречной генетикой, в то же время различающиеся в достаточной степени, чтобы в случае пандемии популяция не вымерла.



И это далеко не все. При отборе необходимо позаботиться о генетическом разнообразии популяции. Если все ее члены окажутся идентичными, то любое наследственное заболевание может затронуть каждого. (Здесь приходит на ум фантастический фильм 1997 г. «Гаттака», в котором идет речь о создании методами генной инженерии суперрасы, предназначенной для участия в космическом путешествии к далеким мирам.)

Предположим, что оптимальный способ отбора найден. Какой будет популяция колонистов? Если цель миссии — освоение Марса, то она должна быть способна к быстрому росту и расселению по всей территории планеты. Другое дело — экспедиция на *Space Ark*. В данном случае исходная популяция может быть относительно немногочисленной, но способной к воспроизводству и пополнению. Так, наблюдения за живущими замкнуто популяциями амишей, индейцев племени юта и другими показали, что смертность среди детей от браков между двоюродными братьями и сестрами примерно вдвое выше, чем от браков между людьми, не связанными друг с другом родственными отношениями.

Для того чтобы избежать подобных проблем, нужно понять, какой должна быть минимальная численность популяции, чтобы в ней поддерживался полноценный пул генов. Этот вопрос пока не решен, хотя, по мнению некоторых антропологов, речь должна идти о величине порядка 500. Но поскольку для малочисленных популяций всегда велик риск исчезновения, я бы предпочел остановиться на величине, вчетверо большей: 2 тыс. Выживаемость популяций, покинувших Землю, —

Задачи космического масштаба. Межзвездный корабль должен быть достаточно вместительным, чтобы стать домом для тысяч людей, животных и растений

это в большой степени вопрос их численности. Даже путешествия в пределах нашей Галактики имеют целью достижение других планетных систем, подобных Солнечной, и освоение их пространств.

Необходимо тщательно проанализировать и демографическую структуру популяции — соотношение полов и возрастов. Модельные построения, выполненные моим коллегой Уильямом Гарднером-О'Керни (William Gardner-O'Keane), показывают, что для популяции-основательницы есть оптимальное соотношение между молодыми и пожилыми, а также между мужчинами и женщинами.

Таким образом, каждый член популяции должен быть здоров во всех отношениях, а популяция в целом — генетически разнообразна, и тогда будущие поколения получат шанс достичь цели и адаптироваться к новым условиям. Но контролировать все невозможно. В какой-то момент придется прекратить заниматься генетическими изысками — что и делают многие из нас, когда решаются завести ребенка, — и покинуть Землю, «колыбель человечества».

Космический естественный отбор

Независимо от качества отобранного «человеческого материала» жизнь пионеров-переселенцев вне Земли будет полна опасностей и, возможно, ее продолжительность уменьшится. В космосе действуют факторы естественного отбора, которые на Земле люди научились устранять. Совсем немногие из них имеют что-либо общее с тем, что показывают нам создатели фантастических фильмов: ведь их герои — взрослые люди, а самый уязвимый период нашей жизни — пребывание в утробе матери и младенчество.

Рассмотрим один пример. Человечество на протяжении нескольких миллионов лет эволюционировало в условиях, при которых атмосферное давление находилось на уровне 101 кПа, а во вдыхаемом воздухе было около 80% азота и более 20% кислорода. Любой космический корабль — это замкнутое пространство, давление в котором поддерживается искусственно. Стоимость его постройки и сложность конструкции тем выше, чем большее давление нужно создавать. Чтобы облегчить решение инженерных проблем, придется ограничиться давлением меньшим, чем на Земле.

Астронавты — участники полетов на *Apollo* чувствовали себя нормально при давлении 35 кПа, но понижение давления должно сопровождаться повышением содержания кислорода. (Заметим, что те же астронавты во время лунного вояжа дышали чистым кислородом.)

И понижение атмосферного давления, и повышение концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе несомненно скажутся на развитии эмбриона. Частота спонтанных аборт и детская смертность возрастут — по крайней мере на какое-то время. Отбор будет благоприятствовать индивидам, чьи гены обеспечивают им устойчивость к неблагоприятным условиям, и элиминировать «слабаков».

Повышение давления отбора связано также с ускоренным распространением инфекций в небольших популяциях, которые живут в ограниченном пространстве. Несмотря на прививки и карантинные меры, болезни затронут большую часть популяции, чем если бы все происходило на Земле. И вновь отбор будет благоприятствовать более устойчивым индивидам и устранять слабых.

И, наконец, нужно учитывать, что в космос отправятся не только люди, но и тысячи домашних животных, а также всевозможные растения, и естественный отбор будет действовать на них тоже. Вспомним и о миллионах микроорганизмов, населяющих наше тело, невидимых генетических попутчиках, влияющих на состояние здоровья человека (см.: Аккерман Д. *Древнейшая социальная сеть // ВМН*, № 8, 2012).

Проведя некоторые вычисления, я пришел к выводу, что через пять поколений (примерно 150 лет) в организме космического жителя проявятся все те изменения, о которых мы говорим.

Какие именно адаптивные механизмы сформируются, зависит прежде всего от атмосферных и химических особенностей среды обитания, заложенных конструкторами космического дома. Их в значительной мере можно регулировать. Но два других важных фактора регуляции не поддаются — это гравитация и разного рода излучения.

Так, на Марсе гравитация втрое меньше, чем на Земле, и давление отбора будет благоприятствовать индивидам с более гибким телом и меньшей массой, которым в местных условиях будет легче двигаться, чем крупным, мускулистым землянам. В кораблях типа *Space Ark* тяготение можно поддерживать на уровне, близком к земному, так что и телосложение путешественников не изменится.

В генетическом материале живых существ возникают мутации под действием радиации, и вряд ли космическим колонистам удастся создать от нее такую защиту, которую обеспечивают атмосфера Земли и ее магнитное поле. Приведут ли мутации к физическим отклонениям — скажем, появлению лишних пальцев

или недоразвитию каких-то органов? Вполне возможно, но каким именно — мы, конечно, не знаем. Утверждать можно одно: отбор будет благоприятствовать индивидам с более высокой устойчивостью к разного рода воздействиям; таким, например, у кого более эффективный механизм репарации ДНК.

Будет ли повышенная эффективность восстановления ДНК коррелировать с каким-то четко различимым признаком, например цветом глаз? Мы этого опять-таки не знаем. Но, может быть, для распространения благоприятных генов лучше, чтобы подобной корреляции вовсе не было? Рассмотрим такой пример: у гуттеритов, членов протестантской секты, проживающих довольно замкнуто в Южной Дакоте, при выборе супруга большую роль играет запах тела, и чем выше у человека иммунитет, тем, как это ни удивительно, приятнее (для местных жителей) запах. В результате благоприятные гены концентрируются в пределах небольшой группы.

За период времени, соответствующий смене пяти поколений (каждое — 30 лет), физические параметры тела человека вряд ли изменятся. На это указывают, в частности, наблюдения за коренными жителями высокогорных регионов Анд и Тибета. У них развилась более эффективная, чем у живущих на равнине, система транспорта кислорода, что сопровождалось появлением таких внешних признаков, как широкая грудная клетка. Но каждая адаптация требует жертв. В этих популяциях крайне высока детская смертность при родах, если они проходят в горах. Поэтому беременные женщины заблаговременно спускаются вниз — и это стало частью культурной традиции. Подобные «биокультурные» изменения возможны и вне Земли, и наиболее вероятные из них необходимо предусмотреть. Так, с Марса будущих матерей, возможно, придется транспортировать на одну из орбитальных станций, где осевым вращением обеспечивается земная сила тяжести и искусственно поддерживаются близкие к земным атмосферные условия. Но мне кажется, что «марсианки» в конце концов адаптируются к новым условиям и перестанут совершать небезопасные перелеты.

Космическая культура

На Марсе изменения будут проявляться самыми разнообразными путями. В условиях пониженного давления и повышенной концентрации кислорода внутри возведенных на планете сооружений звук будет распространяться слегка по-другому, чем в земной атмосфере, что повлияет на артикуляцию. В результате появятся



новые диалекты. Уменьшение гравитации может сказаться на языке жестов, важном элементе общения, и на постановочных видах искусства. Подобные нюансы, накапливаясь, приведут к заметным трансформациям.

Еще более значительными они будут у популяций, направляющихся в глубины космоса на кораблях типа *Space Ark*: обитатели будут связаны с Землей все меньше по мере удаления от родного дома, куда они вряд ли вернуться. Такие базовые понятия, как пространство и время, в полете быстро изменяются, и тогда возникает вопрос: как долго астронавты смогут пользоваться земным временем? В отсутствие привычной смены дней, ночей и годов космическая цивилизация, возможно, введет новую, десятибалльную временную шкалу — или начнет обратный отсчет времени, оставшегося до достижения какой-то другой планетной системы.

Долгосрочные генетические изменения

О серьезных генетических изменениях можно говорить только тогда, когда новые гены распространяются по всей популяции. В качестве примера из истории человечества приведем появление генов толерантности к лактозе у взрослых особей независимо в Африке и Европе вскоре после одомашнивания крупного рогатого скота. Такая генетическая адаптация очень быстро стала почти повсеместной.

Сегодня мы не можем сказать, какие мутации появятся у людей, долгое время находящихся в космосе, но популяционная генетика позволяет оценить, сколько времени потребуется для закрепления их в популяции. По моим подсчетам, основанным на моделировании судьбы 2 тыс. поселенцев с заданной

Жизнь в космосе.
Как изменятся культурные традиции космических жителей за сотни лет, мы не знаем, но то, что это произойдет, не вызывает сомнений

возрастной и половой структурой, для этого понадобится несколько поколений, но определенно меньше 300 лет. К этому времени можно ожидать появления у космических жителей существенно иных физических характеристик. По порядку величины они вряд ли превысят те вариации, которые отличают друг от друга жителей разных широт: различия в конституции, цвете кожи, текстуре волос и т.д.

На Марсе, где может произойти разделение по образу жизни (одни предпочтут обосноваться под поверхностью планеты, другие не побоятся радиации и останутся жить на поверхности, не утрачивая тем самым свободы передвижения), в будущем не исключена внутренняя дивергенция. В условиях замкнутой системы *Space Ark* фиксация новых генов произойдет значительно быстрее, а популяция будет более однородной, чем на Марсе.

На фоне подобных генетических адаптаций быстрее будет происходить и процесс долговременных культурных изменений, и они станут более глубокими. Посмотрите, как изменился английский язык с начала 1600-х гг. по начало 1900-х гг. Сегодня литературу XVII в. можно читать, только хорошенько подготовившись. Точно так же за три столетия может измениться язык обитателей *Space Ark*.

Вполне ожидаемы и более глубокие сдвиги в культурных традициях. Чем именно будет отличаться одна космическая культура от другой — вопрос, бурно обсуждаемый антропологами. По моему мнению, наибольшую ясность внес в него Рой Рапппорт (Roy Rappaport): у разных культур разные изначальные духовные ценности — концепции, обычно не подвергаемые сомнению, закрепленные в традициях и ритуалах, то, что составляет философскую и моральную основу нации. Для христианства, например, незыблем постулат, согласно которому «в начале сотворил Бог небо и Землю». Сколько времени потребуется, чтобы эти утверждения уступили место другим, и какими они будут, сказать невозможно, но, безусловно, понадобится несколько столетий.

Появление *Homo extraterrestrials*

Когда же можно ожидать фундаментальных изменений — по сути, появления нового вида *Homo*? Небольшие по численности популяции могут изменяться довольно быстро, свидетельство тому — распространение по всей территории Фарерских островов необычайно крупных мышей спустя 1,2 тыс. лет после прибытия туда викингов. Вместе с людьми на острова попали обычные домовые мыши, которые за тысячелетие с небольшим превратились в монстров.

Современный человек с его характерными анатомическими признаками сформировался более 100 тыс. лет назад и мигрировал с Африканского континента в регионы с самыми разными климатическими условиями, почти не видоизменяясь. (Наши ближайшие родственники-гоминины, неандертальцы, приспособившиеся к низким температурам, и карликовые обитатели острова Флорес (*Homo floresiensis*) в западной части Тихого океана, отделились от нашего общего предка гораздо раньше.) Медленное изменение *Homo sapiens* связано с тем, что адаптация подразумевала действие не столько биологических, сколько культурных и технологических факторов. Для такой трансформации космического жителя, при котором его спаривание с землянином становится невозможным, необходим жесткий естественный и культурный отбор.

Все это так, если только человек не придумает собственные инструменты видообразования. Почти наверняка он попытается реализовать для адаптации к новым условиям весь потенциал своей ДНК. Может быть, «марсиане», используя методы биоинженерии, создадут что-то вроде жабр для извлечения кислорода из атмосферного диоксида углерода или придумают, как изменить свойства кожных покровов, чтобы приспособиться к низкому давлению. Так по собственному желанию *Homo sapiens* может превратиться в *Homo extraterrestialis*.

С чего начать?

Расселение человечества по просторам Вселенной требует тщательной инженерной и технологической подготовки и невозможно без инноваций в этих и других областях. Необходимо также глубже разобраться в том, как человек с его биологическими особенностями и культурными традициями будет адаптироваться к новым условиям и использовать полученные знания на пользу делу. Я предлагаю приступить к этому немедленно и начать с трех вещей.

Во-первых, мы должны отказаться от сугубо технократического подхода к человеческому обществу и попробовать осуществить процесс продолжения рода вне Земли, с тем чтобы выявить уязвимые места в репродукции, развитии и росте человека в условиях повышенной радиации, низких давления и гравитации. Нам будут вновь и вновь говорить о больших рисках, но страхи рассеются по мере обживания космоса. Несомненно, временами адаптация будет проходить болезненно — но какие роды обходятся без боли?

Во-вторых, нужно начать проводить эксперименты с выращиванием в космосе здоровых во всех отношениях домашних животных. И нам никак не обойтись без привычных микроорганизмов, растений, рыб, птиц и т.д.

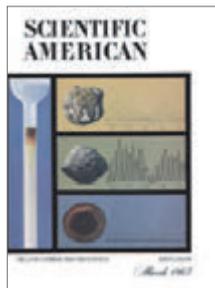
Для того чтобы решить эти две задачи, придется, видимо, учредить особую премию за создание первого функционального, пригодного для жизни человека обиталища вне Земли: не какой-то стерильной орбитальной лаборатории (что тоже важно), а огромной конструкции, где можно было бы выращивать деревья, содержать животных и заводить детей. От подобных перспектив многих бросает в дрожь, но я уверен — в добровольцах недостатка не будет.

И, наконец, нужно реанимировать те механизмы, которые позволили человеку как виду сохраняться так долго, и использовать наш эволюционный потенциал для адаптации к условиям, существующим в других мирах. Мы должны быть несравнимо более решительными, чем наши оппоненты, иначе в конце концов человек исчезнет с лица Земли, как это уже было со многими другими живыми существами. «Или вся Вселенная, или ничего», — заявил еще в 1936 г. писатель-фантаст Герберт Уэллс. ■

Перевод: Н.Н. Шафрановская

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Паркер Ю. Защита космических путешественников // ВМН, № 6, 2006.
- Leaving Earth: Space Stations, Rival Superpowers, and the Quest for Interplanetary Travel. Robert Zimmerman. Joseph Henry Press, 2003.
- How to Live on Mars: A Trusty Guidebook to Surviving and Thriving on the Red Planet. Robert Zubrin. Three Rivers Press, 2008.
- Emigrating Beyond Earth: Human Adaptation and Space Colonization. Cameron M. Smith and Evan T. Davies. Springer Praxis Books, 2012.



МАРТ 1963

Тревожные времена. «Наше время называют тревожным веком, но что такое тревога и как ее измерить? Об этом много писал Зигмунд Фрейд, но он ограничивался в основном самоанализом и семантикой слова "тревога". Он указывал на серьезное различие между словами *Furcht* ("страх")

и *Angst* ("тревога") в его родном языке, и большинство психологов подобно ему считали понятие "тревога" совершенно отличным от понятия "страх". Теоретики одной из американских школ обучения предлагают видеть в тревоге один из основных стимулов к действию. Почти полярно противоположна этому взгляду на тревогу как на эффективную движущую силу точка зрения клинициста Фрэнка Берджера (Frank M. Berger), открывшего соединение, на основе которого был создан транквилизатор мепробамат. Берджер считает, что тревога дезорганизует, мешает эффективным действиям. К этой точке зрения близко мнение психоаналитиков, считающих, что тревога — центральная проблема неврозов. При небрежном мышлении такая позиция часто вырождается в представление, что тревога и невроз суть одно и то же, в результате чего людей, склонных к тревоге, считают невротиками». — Реймонд Кеттелл (Raymond B. Cattell).



МАРТ 1913

Хейке Камерлинг-Оннес. Снижение электрического сопротивления при предельно низких температурах, обнаруженное в недавних экспериментах этого голландского исследователя, стало весомым свидетельством в пользу теории, согласно которой при абсолютном нуле удельное сопротивление всех

электрических проводников обращается в нуль. Путем откачки паров жидкого гелия была достигнута температура, всего на три градуса превышающая абсолютный нуль. При этой температуре удельное сопротивление ртути упало до одной десятиллионной от его значения при 0° С.

Сыщик и воры. Сообщается, что полисмен из Вашингтона, основываясь на своем опыте работы с угонщиками автомобилей, изобрел замок зажигания: поворотный электрический выключатель, входящий в цепь зажигания и связанный с механическим замком, благодаря чему повернуть его можно ключом только от этого замка.

МАРТ 1863

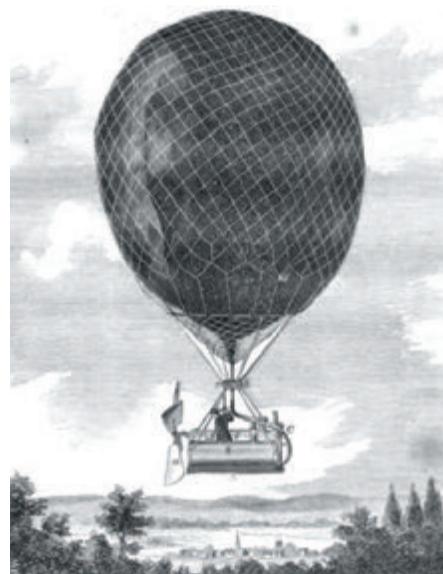
Управляемый аэростат. Единственной практической пользой, которую принесли на сегодня аэростаты, были правительственные эксперименты по наблюдению позиций противника, проведенные в ходе военных действий.

Томас Шоу (Thomas L. Shaw) из штата Небраска участвовал в экспериментах с рядом машин и считал, что изобрел способ управления аэростатом, позволяющий лететь туда, куда ему угодно. Созданное им устройство показано на представленном здесь рисунке. Оно представляет собой воздушный винт, или пропеллер, вращаемый пилотом аэростата.

Слайд-шоу об изобретателях в ходе военных действий 1963 г. см. по адресу: www.ScientificAmerican.com/mar2013/weapons

Египетская астрономия. Цель возведения огромных египетских пирамид всегда была предметом споров среди археологов. Были ли это царские гробницы, обсерватории или солнечные часы? Возводились ли они в качестве барьера против наступления песков пустыни или были просто зернохранилищами? Сегодня астроном вице-короля Египта Махмуд-Бей (Mahmoud Bey) предлагает новое объяснение. По его мнению, основанному на результатах его собственных наблюдений, пирамиды были посвящены божеству, символом которого была звезда Сириус. У древних египтян звезды были связаны с богами. С Сириусом ассоциировалась богиня Сотис (Сопдет), покровительница умерших. Поэтому посвящение Сириусу пирамид, считающихся гробницами, было вполне логичным.

Работа на износ. Продолжительность рабочего дня в некоторых железнодорожных компаниях Бруклина столь велика, а сама работа настолько тяжела, что остается удивляться, как люди могут выживать в таких условиях. В *Brooklyn Central Railroad Company* рабочий день длится 17,5 часов, причем перерывы на еду не предоставляются, так что людям приходится питаться в вагонах. Компенсация проводникам и водителям составляет \$1,35 в день. ■

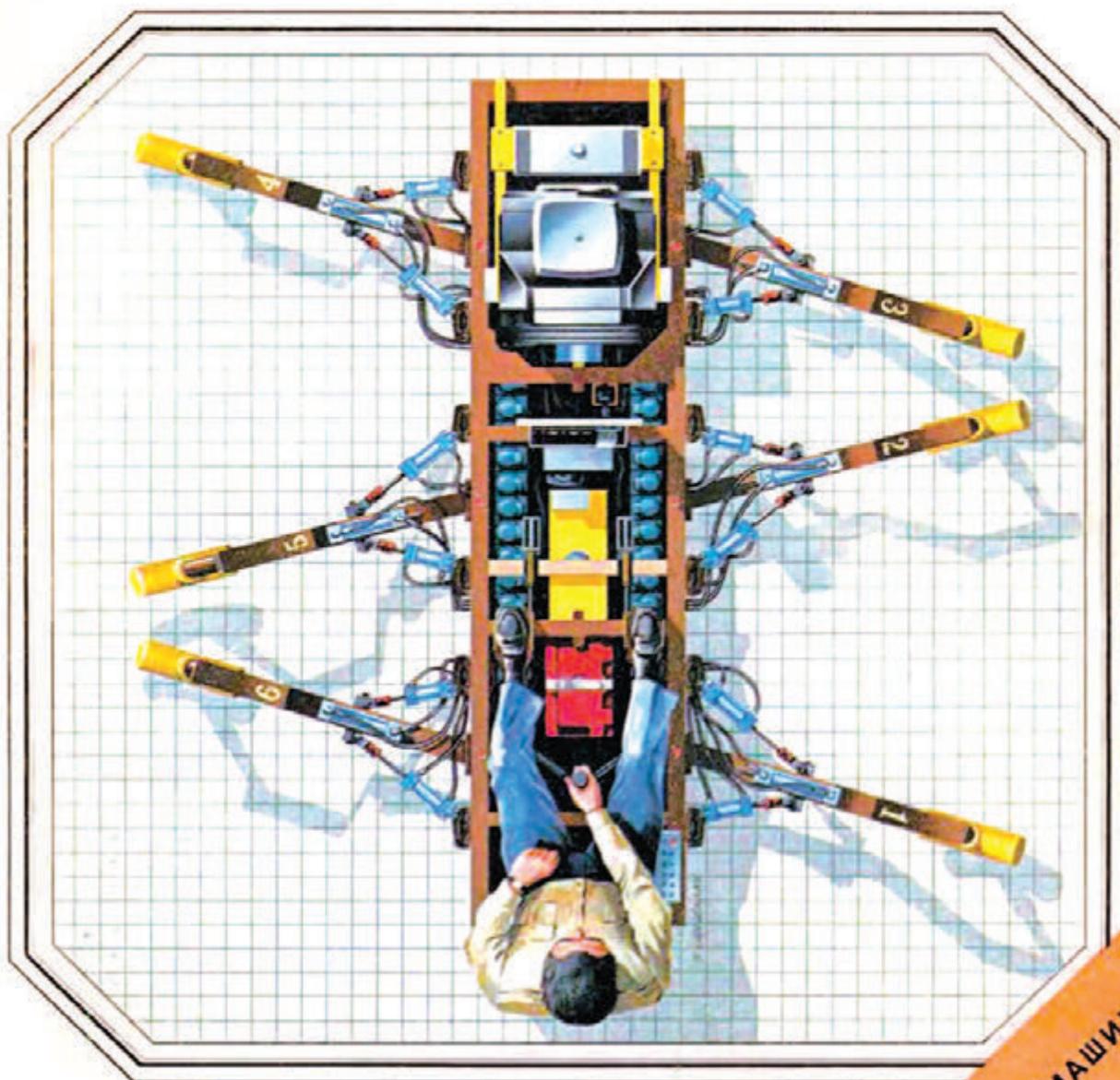


ПОЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ. Более полезный (по крайней мере, в теории) аэростат, 1863 г.

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

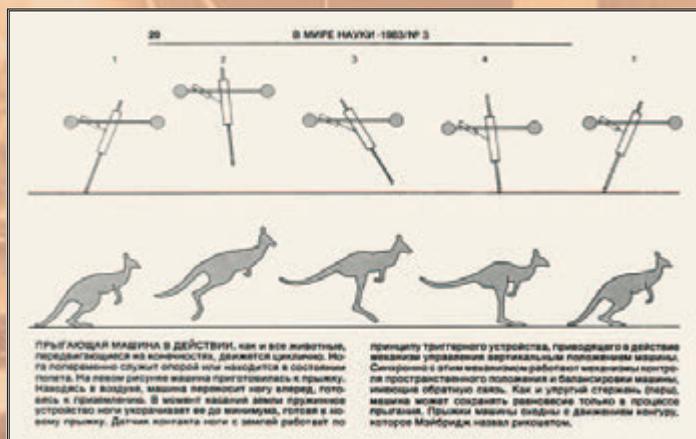
Издание на русском языке



Март **3** 1983

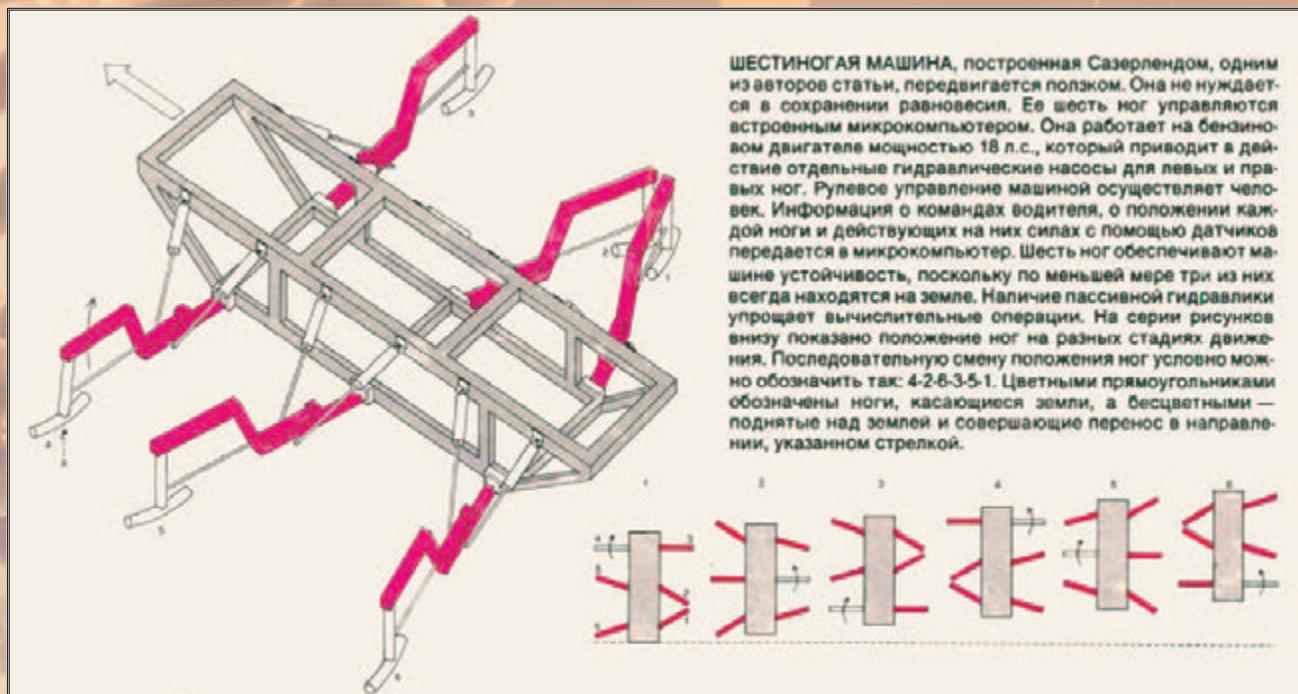
ХОДЯЩИЕ МАШИНЫ

30 «В МИРЕ НАУКИ» лет тому назад



Мы продолжаем публиковать выдержки из старых номеров журнала «В мире науки».

Что же волновало научный мир 30 лет назад? Как обычно, темы весьма разнообразны: от ЯМР-спектрографии живых организмов до квазаров — источников рентгеновского излучения в глубинах Вселенной. Не остались без внимания и вполне земные проблемы, например решение такой задачи, как создание ходящей машины, а также то, какие процессы можно наблюдать при звукоизвлечении в таком грандиозном инструменте, как орган. С выдержками из заглавной статьи № 3 за 1983 г. «Ходящие машины» вы можете ознакомиться на этой странице.



Субир Сачдев

СТРАННЫЕ И СТРУННЫЕ

Недавно открытые состояния материи воплощают в себе то, что Эйнштейн назвал «призрачным дальнодействием». Они не поддаются объяснению, но в последнее время ответы пришли из, казалось бы, никак не связанного с этой проблемой раздела физики — теории струн



Постоянный магнит парит, удерживаемый магнитным полем сверхпроводника, в котором несчетные триллионы электронов формируют огромное объединенное квантовое состояние. Поразительно, но квантовое состояние во многих современных материалах имеет отдаленную связь с математикой черных дыр.

ОБ АВТОРЕ

Субир Сачдев (Subir Sachdev) — профессор физики Гарвардского университета и автор книги «Квантовые фазовые переходы» (*Quantum Phase Transitions*), второе издание которой вышло в 2011 г. в издательстве Кембриджского университета.



Несколько лет назад я оказался там, где не ожидал очутиться: на конференции по теории струн. Моя область исследований — физика конденсированного состояния, изучение материалов, таких как металлы и сверхпроводники, которые мы охлаждаем в лаборатории до температур, близких к абсолютному нулю. Она настолько далека от теории струн, что может показаться другой наукой. Физики-теоретики, работающие в области теории струн, ищут способы описать явления, происходящие с энергиями, намного превышающими энергии, наблюдаемые в лабораторных экспериментах и даже в любой из изученных областей Вселенной. Они исследуют экзотическую физику, управляющую черными дырами и предполагаемыми дополнительными размерностями пространства-времени. Для них гравитация — основная сила природы. Для меня же она несущественна.

Разница в предмете исследований отражается в разделяющей нас культурной пропасти. Физики, работающие в области теории струн, обладают репутацией небожителей, и я отправился на эту конференцию в благоговении перед их математическим искусством. Несколько месяцев я провел за чтением их статей и книг и зачастую просто тонул в предмете. Я был уверен, что буду изгнан как некомпетентный новичок. Со своей стороны теоретики, работающие в области теории струн, имели трудности с некоторыми из простейших понятий моего предмета. Я обнаружил, что объясняю простейшие вещи, о которых до того я рассказывал лишь студентам-старшекурсникам.

Так что же я там делал? В последние годы многие из нас, кто специализируется на физике конденсированного состояния, обнаружили, что изучаемые нами материалы вытворяют вещи, которые мы не могли себе

и представить. Они образуют четко различимые квантовые фазы вещества, структура которых обладает рядом удивительнейших природных особенностей. В своей знаменитой статье 1935 г. Альберт Эйнштейн, Борис Подольский и Натан Розен обратили внимание на тот факт, что квантовая теория предполагает «призрачную» связь между частицами, такими как электрон, — явление, которое мы сегодня называем «квантовым перепутыванием». Непонятным образом поведение частиц координируется без какой-либо непосредственной физической связи. ЭПР (как часто называют эту троицу, в которую входят Эйнштейн и его упомянутые коллеги) рассматривали пары электронов, но металлы и сверхпроводники содержат огромное количество электронов — что-то около 10^{23} в типичном лабораторном образце. В ряде материалов сложность описания частиц умопомрачительна, и я потратил много времени, пытаясь в этом разобраться. Проблема эта вышла за пределы чисто академических: сверхпроводники стали важной научно-технической отраслью, и физики бьются над тем, чтобы понять их свойства и возможности.

И вот мои коллеги и я пришли к пониманию того, что теория струн, вероятно, предлагает совершенно неожиданный подход к этой проблеме. В поисках объединения теории элементарных частиц с эйнштейновской теорией гравитации физики, работающие в области теории струн, споткнулись о «дуализм» — скрытые связи между далеко отстоящими друг от друга областями физики (см.: Малдасена Х. *Иллюзия гравитации* // ВМН, № 2, 2006). Дуализм устанавливает связь между теориями, которые описывают ситуацию, когда квантовые эффекты слабы, а гравитация сильна, и теориями, имеющими дело со случаями, когда, наоборот, квантовые эффекты сильны, а гравитация слаба. Таким образом, он позволяет

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Кроме форм твердых тел, жидкостей и газов материя может принимать множество других различных форм. Электроны, которые перетекают через материалы, сами могут претерпевать фазовые переходы, которые происходят благодаря квантовой природе материи. Сверхпроводники — самый известный пример этого.
- Подобные состояния материи возникают благодаря невообразимо сложной сети перепутанных квантовых состояний электронов — настолько сложной, что теоретики, изучающие эти материалы, зашли в тупик, пытаясь их описать.
- Ответы на часть из этих вопросов пришли из совершенно иной области физики, теории струн — рабочего инструмента теоретиков, которые занимаются космологией и физикой частиц высоких энергий. На первый взгляд, теория струн не может ничего сказать о поведении материалов (не более, чем физик-атомщик может объяснить процессы в человеческом обществе). Тем не менее связь существует.

нам применить идеи и методы, разработанные в одной области, в совершенно иной сфере. Мы можем перевести нашу задачу по квантовому перепутыванию на язык гравитационной проблемы и воспользоваться всем тем, что в теории струн было придумано для понимания процессов, происходящих в черных дырах. Это яркий пример нестандартного мышления.

Скрытые фазы

Чтобы понять весь этот круг идей, вернемся к школьному курсу физики, в котором учителя рассказывают о различных фазах вещества — твердых телах, жидкостях и газах. Мы интуитивно воспринимаем различия между ними. У твердых тел неизменные размеры и форма; жидкости принимают форму сосуда, в который они налиты; а газы похожи на жидкости, но их объем можно легко изменять. Какими бы простыми ни были эти различия, лишь к началу XX в. у нас появилось полное научное понимание фаз вещества. Атомы в твердых телах (кристаллах) организованы в регулярную жесткую решетку, а в жидкостях и газах подвижны.

Однако три упомянутые фазы не исчерпывают все возможности. Твердое тело — это не только решетка атомов, но и стая электронов. Каждый атом жертвует несколько электронов, которые блуждают по всему кристаллу. Когда мы подсоединяем образец к электрической батарее, течет электрический ток. Существенно, что все материалы удовлетворяют закону Ома: ток пропорционален напряжению, деленному на сопротивление. Электрические изоляторы, такие как тефлон, имеют высокое сопротивление; металлы, такие как медь, — низкое. Самые замечательные из материалов — сверхпроводники, сопротивление которых неизмеримо мало. В 1911 г. Хейке Камерлинг-Оннес (Heike Kamerlingh Onnes) открыл их, когда охладил твердый образец ртути до температуры -269°C . Сегодня мы знаем сверхпроводники, которые работают в сравнительно «теплых» условиях, при температуре -138°C .

Хотя на первый взгляд это и не очевидно, но проводники, диэлектрики и сверхпроводники — различные фазы вещества. В каждой из них стая электронов принимает различные формы. За прошедшие два десятилетия физики открыли дополнительные фазы электронов в твердых телах. Особенно интересный образец не имеет даже названия: физики договорились называть его странным металлом. Он выдает себя необычной зависимостью электрического сопротивления от температуры.

Различие между этими фазами возникает из-за коллективного поведения электронов. Если движение атомов в твердых телах, жидкостях и газах может быть описано классическими принципами ньютоновской механики, то поведение электронов неотвратимо квантовое. Ключевые квантовые принципы, управляющие электронами, — это расширенный вариант принципов, управляющих электронами в атоме. Электроны вращаются вокруг ядра, и их движение описывается как волна, которая распространяется вокруг протона. Электрон может находиться в одном из бесконечного числа возможных

состояний с характерным наблюдаемым свойством, таким как энергия. Принципиально важно то, что электрон вращается не только вокруг ядра, но одновременно и вокруг собственной оси. Это вращение может быть либо по часовой, либо против часовой стрелки и не может быть замедлено или ускорено; традиционно мы называем два этих состояния вращения спином, направленным вверх или вниз.

В атомах с более чем одним электроном самое важное правило, управляющее электронами, — это принцип Паули: два электрона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии. (Этот принцип применим ко всем частицам материи, которые физики называют фермионами.) Если вы будете добавлять к атому электроны, каждый новый электрон займет состояние с самой низкой возможной энергией — вроде того, как стакан наполняется водой, начиная со дна.

Такие же рассуждения справедливы в отношении 10^{23} электронов в куске металла. Электроны проводимости, оторвавшись однажды от своих атомов, занимают состояния, которые заполняют весь объем кристалла. Эти состояния можно рассматривать как синусоидальные волны определенной длины, связанной с их энергией. Электроны занимают состояния с самыми низкими разрешенными энергиями, что согласуется с принципом Паули. Все вместе они обычно заполняют почти все состояния с энергией ниже определенного порога, называемого уровнем Ферми.

Приложение электрического напряжения дает некоторым электронам достаточно энергии, чтобы перейти с занимаемого ими состояния на ранее незанятое, энергия которых больше, чем энергия Ферми. Такой электрон может теперь свободно перемещаться. В диэлектрике плотность электронов такова, что все доступные состояния уже заняты. Даже если мы приложим электрическое напряжение, электрон не может перейти в состояние с большей энергией, поскольку таких состояний нет и поэтому ток течь не может.

В сверхпроводниках ситуация становится еще более сложной. Электроны в них не существуют отдельно один от другого. Они связываются в пары, как это описывает теория сверхпроводимости, разработанная в 1957 г. физиками-теоретиками Джоном Бардином, Леоном Купером и Джоном Шриффером (John Bardeen, Leon Cooper, John Robert Schrieffer) и называемая иногда теорией БКШ. На первый взгляд, такая пара микро-частиц кажется весьма странной, поскольку два электрона должны отталкиваться друг от друга. Однако колебания кристаллической решетки косвенным образом создают между ними силы притяжения, которые преодолевают естественное отталкивание. Каждая такая пара ведет себя не как фермион, а как другой тип квантовых частиц, называемых бозонами и не подчиняющихся принципу Паули. Все до одной электронные пары могут перейти в одно и то же состояние с абсолютным минимумом энергии — явление, называемое Бозе-конденсацией (иногда конденсацией Бозе — Эйнштейна). Это как если бы вы наливали воду в стакан, и вместо того чтобы

ВСЕГО ЛИШЬ ОДНА ИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ФАЗ

Квантовая физика дает строительным блокам материи радикально новый способ самоорганизации. Классические фазы — твердое тело, жидкость и газ — предполагают различную организацию атомов и молекул, которая определяется температурой. Квантовые фазы предполагают различную организацию частиц, таких как электроны, которые циркулируют в материалах. Эти фазы управляются такими параметрами, как напряженность электрического поля, определяющими силы, с которыми частицы действуют друг на друга, следовательно, и то, каким образом они самоорганизуются.

Классические фазы

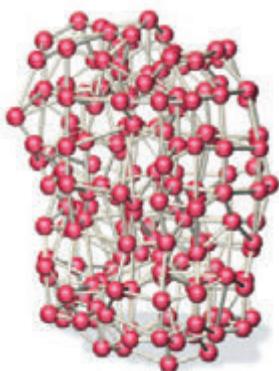
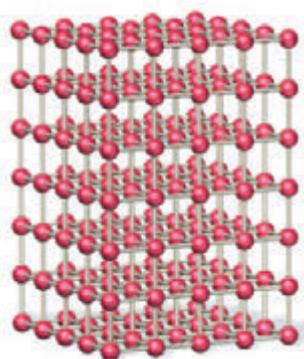
Твердые тела сохраняют размер и форму. В кристаллических твердых телах молекулы выстроены в стабильную регулярную жесткую кристаллическую решетку. В аморфных твердых телах молекулы беспорядочно двигаются, как в жидкости, но остаются на одном и том же месте в течение длительного периода. Жидкости сохраняют объем и меняют форму.

Их молекулы мобильны, но все же связаны друг с другом. У газов нет ни постоянного объема, ни формы. Их молекулы мобильны и не связаны друг с другом (или же связаны очень непрочно). Ниже определенных температуры и давления, называемых критической точкой, газ и жидкость перемешиваются и становятся неразличимыми друг от друга.

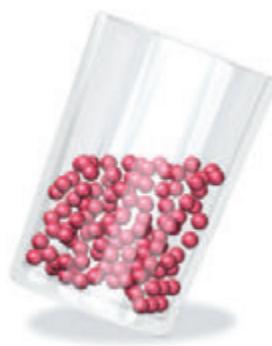
Твердое тело

Кристаллическое

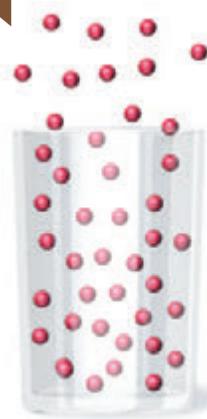
Аморфное



Жидкость



Газ



Квантовые фазы

Металлы хорошо проводят электричество. Их электроны носятся от одного атома к другому, и если у атома есть достаточно мест, которые электрон может занять, то последние движутся свободно, как молекулы в газе. Квантовые эффекты ограничивают число электронов, которые могут иметь данную энергию.

Диэлектрики почти совсем не проводят электричества. Их атомы не обеспечивают необходимых вакансий для электронов проводимости, поэтому электроны остаются привязанными к одному и тому же месту, как если бы сами были твердым телом. Они занимают все имеющиеся энергетические уровни.

Сверхпроводник — это газ не из электронов, а из электронных пар, которые ведут себя как одна частица. Электронные пары образуются в результате квантовых спиновых эффектов или под влиянием волн, распространяющихся вдоль атомной решетки. Такие пары не подчиняются

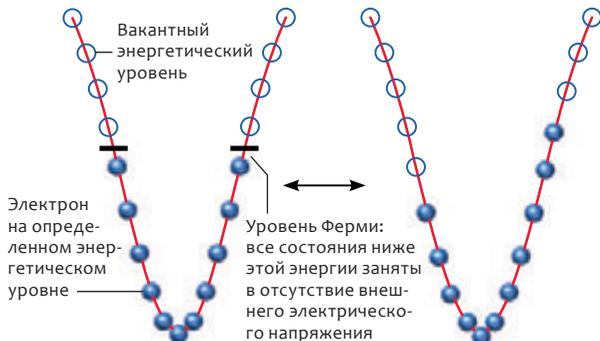
квантовым законам, которые управляют электронами. Все они могут иметь одинаковую энергию — это снимает ограничения, которые удерживают электроны в одном месте, и дает им возможность течь, не испытывая электрического сопротивления.

Волна спиновой плотности (не показана) — это материал (иногда диэлектрик, иногда сверхпроводник) с весьма необычной картиной спинов электронов. Половина из них имеет спин, направленный вверх, а другая половина — вниз, чередующимися рядами. Иногда образуется странный металл — волна спиновой плотности достигает экстремальных значений. Вероятность для каждого отдельного электрона иметь спин, направленный вверх или вниз, — 50/50 и никак иначе. Все электроны в странном металле испытывают взаимную квантовую перепутанность и ведут себя не как отдельные частицы, и даже не как пары, а как ансамбль из триллионов и более частиц.

Проводник (металл)

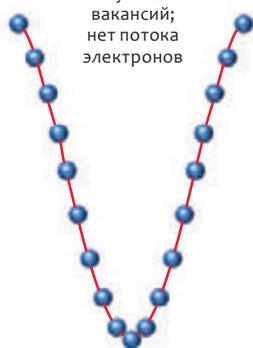
Непроводящее состояние

Проводящее состояние



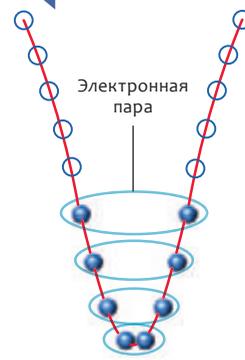
Диэлектрик

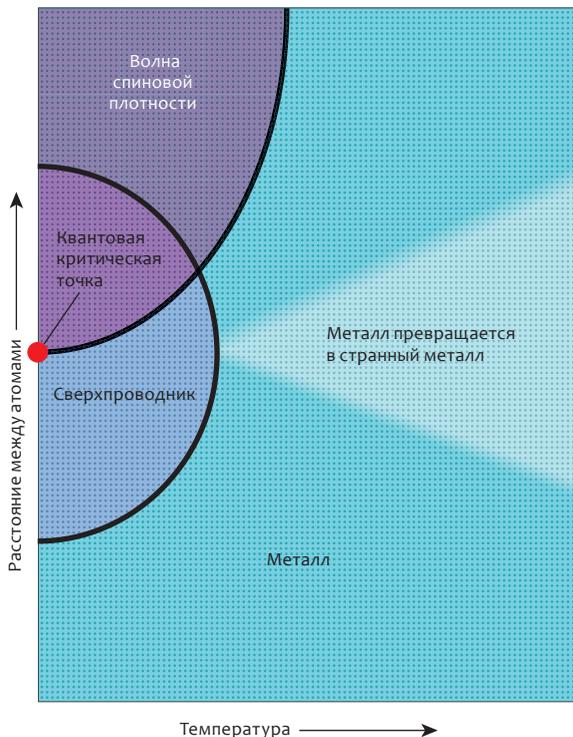
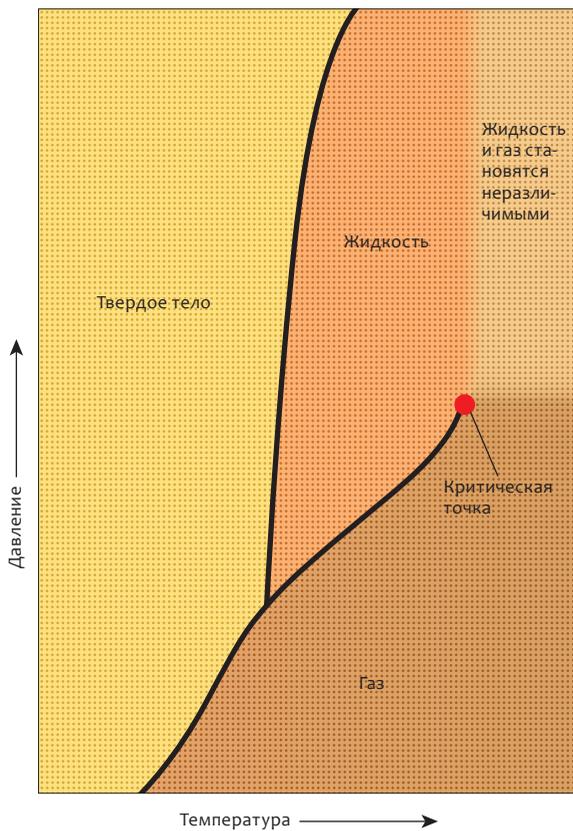
Отсутствие вакансий; нет потока электронов



Сверхпроводник

Электронная пара





заполнить стакан доверху, она образовывала бы на дне тонкий слой льда, который поглощал бы всю наливаемую вами жидкость, не становясь толще.

Если к такому материалу приложить внешнее электрическое напряжение, оно поднимет электронные пары в состояние с чуть более высокой энергией, и потечет электрический ток. Это состояние с чуть более высокой энергией во всех остальных отношениях пустое, и нет ничего, что могло бы препятствовать течению электронных пар. Таким образом, сверхпроводник передает ток без сопротивления.

Путь к критической точке

Успех квантовой механики в объяснении свойств металлов, диэлектриков, сверхпроводников и других материалов, таких как полупроводники (основа современной микроэлектроники), привел многих физиков в начале 1980-х гг. к выводу, что они достигли почти полного понимания поведения электронов в твердых телах и там не осталось места для новых крупных открытий. Эта уверенность была поколеблена открытием высокотемпературных сверхпроводников.

Примером может служить кристалл арсенида бария и железа ($BaFe_2As_2$) в котором физики-экспериментаторы часть атомов мышьяка заменили атомами фосфора. При низких температурах этот материал — сверхпроводник, и физики полагают, что он подчиняется теории, аналогичной БКШ, за исключением того, что силы, притягивающие электроны друг к другу, возникают не в результате колебаний кристаллической решетки, а из-за физических явлений, связанных со спином электрона. При небольшой добавке фосфора этот материал образует состояние, называемое волной спиновой плотности. У половины состояний атомов железа спин электрона с большей вероятностью будет направлен вверх, а у другой половины наоборот вниз. По мере того как вы увеличиваете содержание фосфора, сила волны спиновой плотности уменьшается. Она совсем исчезает, когда вы заместите критическое количество мышьяка, примерно 30%. В этой точке спин электрона с равной вероятностью направлен вверх и вниз на обеих частях, что имеет важные следствия.

Первые признаки загадочной природы такого квантового критического состояния — это поведение системы, когда экспериментаторы поддерживают содержание фосфора постоянным, равным 30%, и повышают температуру. В результате получается и не сверхпроводник, и не волна спиновой плотности, а странный металл.

Основная новая идея, необходимая для описания квантовой критической точки, а также сверхпроводников и странных металлов вблизи нее, — это именно то свойство квантовой механики, которое так взбудоражило Эйнштейна, Подольского и Розена, — квантовая перепутанность. Вспомним, что квантовая перепутанность — это суперпозиция двух состояний, например таких, когда спин одного электрона направлен вверх, а другого вниз, и наоборот. Представим себе, что по одному электрону расположено на двух атомах

железа. Электроны неразличимы в принципе, поэтому невозможно сказать, который из электронов обладает спином вверх, а который — спином вниз. Оба они с равной вероятностью могут иметь спин, направленный вверх или вниз. Все, что мы в состоянии сказать, — это то, что если в результате измерения окажется, что один из электронов имеет спин, направленный вверх, то другой гарантированно будет иметь спин, направленный вниз. Они в высшей степени антикоррелированы: если мы знаем направление одного, то знаем направление и другого.

На первый взгляд квантовая перепутанность может и не показаться странной. Антикорреляция присутствует достаточно часто: если у вас есть пара туфель и вы оставили одну из них у парадного входа, а другую у черного, то если вы обнаружите левую туфлю в одном месте, ничего загадочного не будет в том, что другая будет правой. Однако в квантовом мире ситуация будет принципиально иной. Туфля изначально либо левая, либо правая, даже если вы не знаете какая именно, но у электрона нет определенного спина до акта измерения. (Если бы он у него был, мы могли бы выяснить, какой именно, проведя определенную последовательность измерений электрона.) В известном смысле электрон имеет спин, направленный одновременно и вверх и вниз до тех пор, пока его не вынуждают сделать выбор.

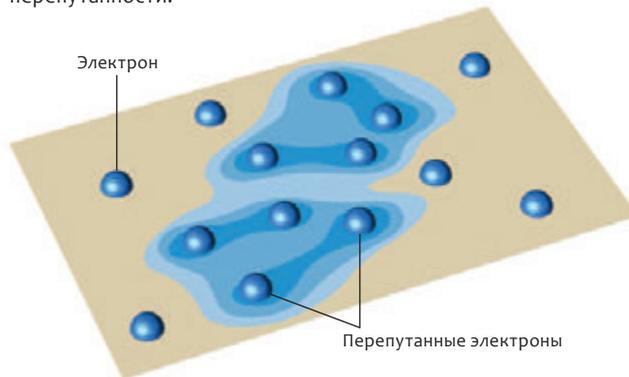
Загадка заключается в причине, по которой электроны остаются антикоррелированными. Когда один электрон выбирает себе спин, другой делает то же самое. Откуда они знают, как выбрать противоположные направления? Похоже, что информация о квантовом состоянии атома 1 мгновенно становится известна атому 2, независимо от того, как далеко он расположен от первого. И действительно, ни один из этих атомов не имеет собственного квантового состояния, его имеет только их пара. Это и есть нелокальность, призрачное дальнее действие, которое Эйнштейн считал столь неприятным фактом.

Каким бы ни был этот факт, нелокальность была проверена многократно в реальных экспериментах. Эйнштейн и его соавторы, очевидно, нащупали самую парадоксальную и неожиданную сторону квантовой механики. И в минувшем десятилетии физики начали понимать, что нелокальность объясняет причудливые свойства странных металлов. Вблизи квантовой критической точки не только отдельные электроны, но и электронные пары уже не ведут себя независимо, а все в целом становятся квантово перепутанными. Те же самые рассуждения, которые ЭПР использовали в отношении двух электронов, теперь применяются ко всем 10^{23} . Соседние электроны перепутаны друг с другом, такая пара, в свою очередь, перепутана с соседней парой и т.д., образуя гигантскую сеть взаимосвязей.

Такое же явление наблюдается и в других материалах. Классификация и описание подобных перепутанных квантовых состояний — неприступная крепость, с которой мы сталкиваемся при разработке теории, описывающей эти новые материалы. Данная сеть настолько сложна, что мы не в состоянии описать ее явным путем.

СЕТЬ КВАНТОВОГО ПЕРЕПУТЫВАНИЯ

По причинам, которые физикам еще предстоит понять, квантовые фазы вещества содержат латентную пространственную размерность, которая может появляться при фазовых переходах, как фигурки в книжке-раскладушке при перелистывании страниц. Эта размерность становится очевидной при математическом описании связей между частицами или квантовой перепутанности.



Квантовое перепутывание электронов

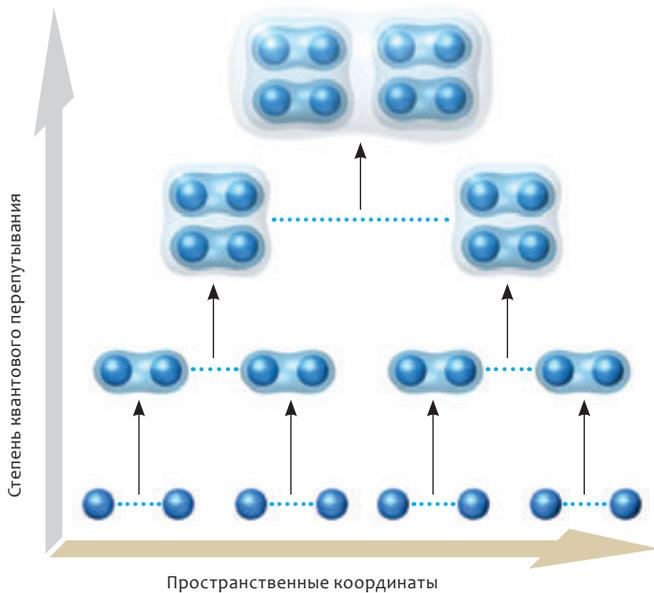
Квантовое перепутывание означает, что несколько квантовых частиц действуют совместно как единое и неделимое целое. Как правило, физики говорят о квантовом перепутывании двух частиц или, возможно, небольшого их количества, но в материалах, в которых происходит переход из одной квантовой фазы в другую, перепутанным оказывается гигантское их число.

Мои коллеги и я боялись, что теория этих квантовых фаз материи так и будет все время ускользать из наших рук. Это было до того, как мы узнали о теории струн.

Запутавшись в струнах

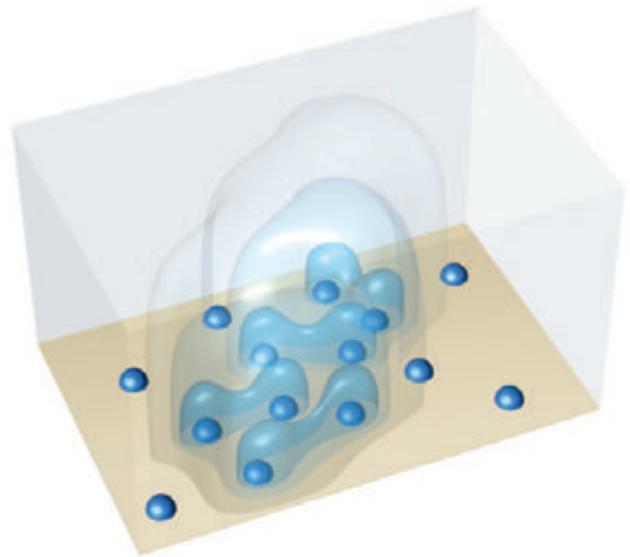
На первый взгляд, теория струн не имеет ничего общего с перепутанными квантовыми состояниями множества электронов. Она имеет дело с микроскопическими струнами, которые вибрируют подобно струнам миниатюрной гитары. Различные моды колебаний представляют собой различные элементарные частицы. Струнная природа материи становится очевидной при чрезвычайно высоких энергиях, зародившихся лишь спустя мгновения после Большого взрыва, а также вблизи черных дыр очень большой плотности. В середине 1990-х гг. физики, работавшие в области теории струн, такие как Джозеф Полчинский (Joseph Polchinski) из Института теоретической физики им. Кавли Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, поняли, что их теория предсказывает нечто большее, чем струны. Она, помимо прочего, предполагает существование так называемых бран — поверхностей, к которым струны прилипают, как мухи к липучке. Эти мембраны представляют обширное царство физики, лежащее в области энергий меньших, чем у высокоэнергетических частиц, для описания которых данная теория изначально разрабатывалась.

То, что для нас выглядит как частица, просто точка, в действительности, возможно, будет концом струны, протянувшейся от браны через дополнительную



Иерархия квантового перепутывания

Странным образом процесс квантового перепутывания ведет себя математически в точности так же, как расстояние в пространстве. Во многом подобно тому, как движение в пространстве состоит в прохождении промежуточных точек, для перехода от квантового перепутывания двух частиц к триллионам требуется, чтобы две уже перепутанные перепутались с двумя другими, получившаяся в результате четверка частиц перепуталась с другой четверкой, и т.д.



Дополнительное пространственное измерение

Итак, глубина квантового перепутывания сама по себе ведет себя как скрытое пространственное измерение, расположенное над и вне трех обычных пространственных измерений, в которых находится электрон. Используя эту математическую аналогию, теоретики, изучающие квантовые фазы вещества, могут воспользоваться результатами физиков, работающих в области теории струн, которые изучают дополнительные пространственные измерения.

размерность пространства. Мы можем рассматривать Вселенную как состоящую из точечных частиц, движущихся в четырехмерном пространстве со сложным набором взаимодействий между частицами, или же как сформированную из движущихся в пятимерном пространстве-времени струн, прикрепленных к бранам. Оба ракурса — эквивалентное, или дуальное, описание одной и той же ситуации. Замечательно то, что эти описания дополняют друг друга. Когда точечные частицы безнадежно сложны, струны могут вести себя достаточно просто. И наоборот, когда частицы просты, струны громоздки и неповоротливы.

Для моих целей картина, где струны пляшут в некоем пространстве-времени большой размерности, несущественна. Мне безразлично, насколько правильно теория струн описывает физику элементарных частиц при высоких энергиях. Важно то, что дуализм позволяет мне заменить не поддающуюся решению математическую задачу более простой.

Еще несколько лет назад я посещал главным образом конференции по физике конденсированного состояния, на которых мы спорили о различных перепутанных квантовых состояниях, которые электроны могут образовывать в недавно открытых кристаллах. Теперь я вдруг обнаружил, что пью кофе с коллегами, работающими в области теории струн, пытаюсь осмыслить их абстрактное и причудливое описание струн и бран и применить эти идеи к вполне земным задачам, возникающим в результате настольных измерений новых

материалов. Более того, это дорога с двусторонним движением. Я полагаю, что наша интуиция и опыт, приобретенный в экспериментах с квантовыми фазами электронов, окажутся полезными тем, кто занимается теорией струн при описании черных дыр и другой экзотики.

Когда электроны в кристаллах имеют лишь ограниченную степень перепутанности, их все еще можно рассматривать как частицы (отдельные электроны или их пары). Однако когда значительное число электронов оказываются сильно перепутанными друг с другом, их больше нельзя рассматривать как частицы, и традиционные теории испытывают трудности с предсказанием того, что будет происходить. При нашем новом подходе мы описываем эти системы как струны, которые распространяются в дополнительном пространственном измерении.

Мой коллега по Гарвардскому университету Брайан Свингл (Brian Swingle) провел аналогию между дополнительным пространственным измерением и сетью перепутанных квантовых частиц. Движение вверх и вниз по этой сети математически эквивалентно движению в пространстве. Струны могут извиваться и соединяться друг с другом внутри дополнительного измерения, а их движение отражает процессы квантового перепутывания частиц. Короче говоря, призрачные связи, так беспокоившие Эйнштейна, приобретают смысл, когда вы рассматриваете степень квантового перепутывания как расстояние в дополнительном пространственном измерении.

Странные братья

Практическая польза дуализма заключается в том, что в теории струн создана большая библиотека решений математических задач, охватывающих диапазон от динамики частиц в горниле Большого взрыва до распространения квантовых полей на кромке черных дыр. Те из нас, кто изучает квантовые фазы вещества, могут пойти в библиотеку, найти возможное решение конкретной задачи и перевести его (воспользовавшись математическим дуализмом) с языка теории струн на язык задач квантовой перепутанности.

Как правило, мы фокусируем свое внимание на состоянии с самой низкой энергией при абсолютном нуле, но мы легко можем описать вещество при ненулевых температурах, воспользовавшись техникой, которая, возможно, покажется слишком радикальной: мысленно добавив к струнам черную дыру. Тот факт, что сюда привлечены черные дыры, показывает, насколько замечателен этот дуализм. Никто не строит предположений, что квантовые фазы вещества содержат черные дыры в буквальном смысле, связь здесь гораздо более тонкая. Как хорошо известно, Стивен Хокинг из Кембриджского университета показал, что каждая черная дыра имеет определенную собственную температуру. Снаружи она выглядит как тлеющий кусок горячего угля. По логике дуализма, соответствующая система конденсированного состояния также должна быть горячей, результатом чего должно быть превращение волны спиновой плотности или сверхпроводника в странный металл.

Эти методы позволили добиться прогресса в объяснении свойств странных металлов и других состояний материи, но больше всего они помогли разобраться с переходом из состояния сверхтекучести в состояние диэлектрика. Сверхтекучая жидкость очень похожа на сверхпроводник — за исключением того, что состоит из электрически нейтральных атомов. Она проявляет себя не тем, что электрическое сопротивление равно нулю, а тем, что течет, не испытывая сопротивления. В последние годы экспериментаторы разработали новые замечательные методы получения искусственных сверхтекучих жидкостей. Они формируют решетку из взаимно пересекающихся под прямым углом лазерных пучков и впрыскивают в нее триллионы атомов, охлажденных до экстремально низкой температуры. Сначала атомы ведут себя как сверхтекучая жидкость: они свободно перемещаются из одного узла решетки к другому. Когда экспериментаторы повышают мощность лазера, атомы становятся менее подвижными и сверхтекучая жидкость внезапно превращается в изолятор.

Экспериментаторы отслеживают этот переход, измеряя течение атомов при приложении внешнего давления. В фазе сверхтекучей жидкости они текут без сопротивления, в фазе диэлектрика они почти не текут, а в переходном состоянии это происходит, но странным образом. Например, если экспериментаторы убирают внешнее возмущение, атомы останавливаются со скоростью, которая зависит от температуры и постоянной Планка, фундаментального параметра квантовой

теории, который, однако, не влияет на поведение атомов в других фазах. Мы объясняем такое поведение привлечением квантовой жидкости с критическим фазовым переходом в качестве аналога или призрачного двойника черной дыры.

Этот дуализм имеет и свою обратную сторону. По самой своей природе он преобразует сложное в простое. Однако мы не всегда хотим трансформировать задачу: мы желаем понять сложность такой, какая она есть. Дуализм — это математический черный ящик, и он скрывает от нас детали сложных перепутанных квантовых состояний и того, как эти состояния образуются в реальных материалах. Объяснение того, что же происходит в действительности, пока еще находится в младенческой стадии. Для тех из нас, кто привык думать в терминах динамики электронов в кристаллах, теория струн обнажила новые свежие перспективы, открыв динамику сложных квантовых состояний, в том числе квантовую перепутанность. В тех же, кто занимается теорией струн, это пробудило интерес к изучению фаз квантовых материалов — явлений, отстоящих очень далеко от физики ранней Вселенной или того, что происходит в ускорителях частиц высоких энергий. Странное взаимное влияние этих направлений мысли продемонстрировало нам удивительное единство природы. ■

Перевод: А.П. Кузнецов

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Solving Quantum Field Theories via Curved Spacetimes. Igor R. Klebanov and Juan M. Maldacena in *Physics Today*, Vol. 62, No. 1, pages 28–33; January 2009. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3074260>
- Entanglement Renormalization and Holography. Brian Swingle. Добавлено на сайт arxiv.org 8 мая 2009 г.: <http://arxiv.org/abs/0905.1317>
- What Black Holes Teach about Strongly Coupled Particles. Clifford V. Johnson and Peter Steinberg in *Physics Today*, Vol. 63, No. 5, pages 29–33; May 2010. <http://dx.doi.org/10.1063/1.3431328>
- Quantum Criticality. Subir Sachdev and Bernhard Keimer in *Physics Today*, Vol. 64, No. 2, pages 29–35; February 2011. <http://arxiv.org/abs/1102.4628>
- What Can Gauge-Gravity Duality Teach Us about Condensed Matter Physics? Subir Sachdev in *Annual Review of Condensed Matter Physics*, Vol. 3, pages 9–33; March 2012. <http://arxiv.org/abs/1108.1197>

Первое разумное телевидение

Реклама

Одни лишь
задумываются

другие
изобретают!

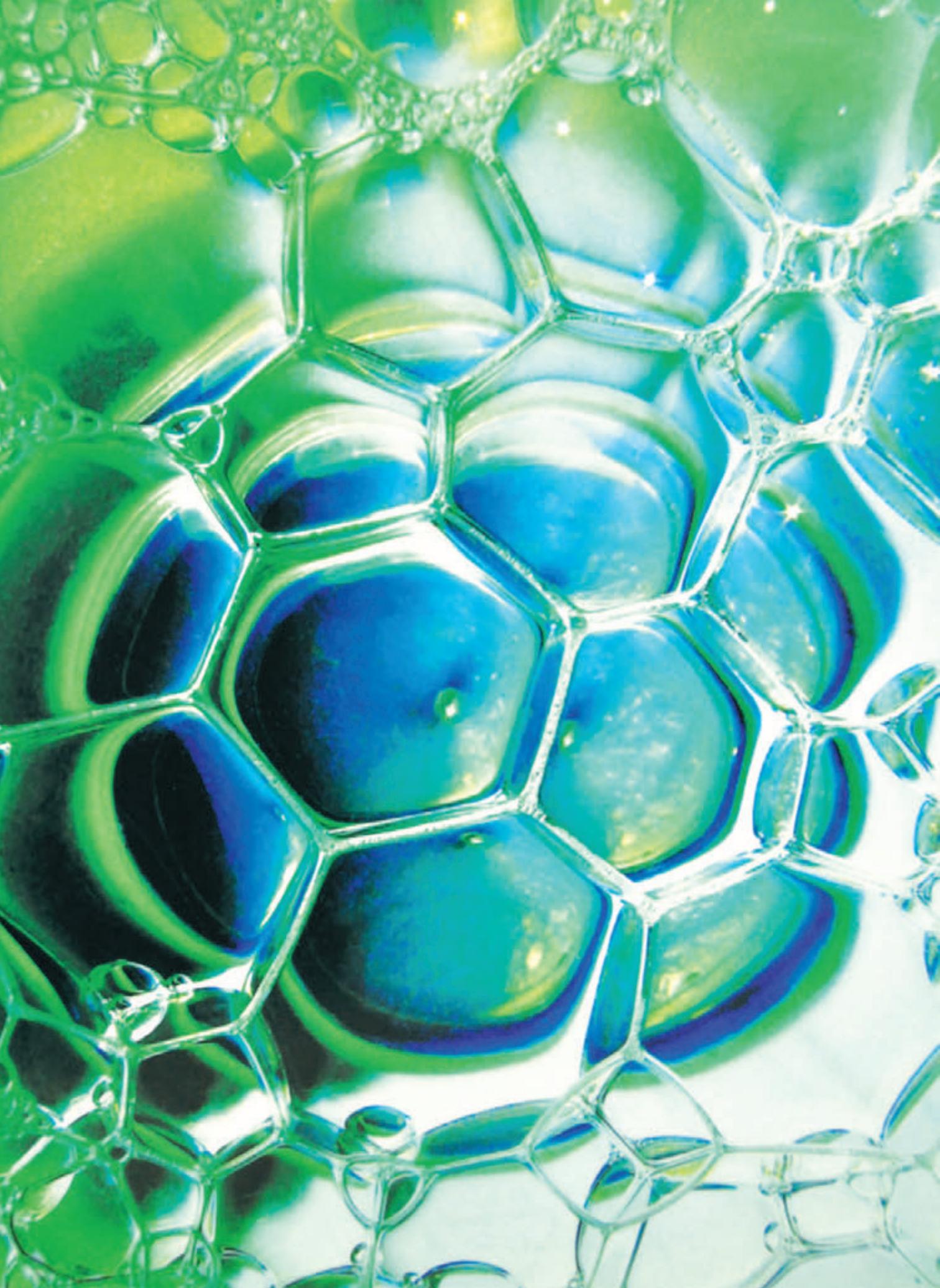


6+

Такой науку вы еще не видели!

Маркетинг: +7(495) 937-38-92
Дистрибуция: +7(495) 620-98-36
www.naukatv.ru





ВЛАДИМИР ОЛЕГОВИЧ ПОПОВ —
 доктор химических наук, член-корреспондент
 РАН, руководитель отдела «Белковая фабрика»
 НБИКС-центра Курчатовского института.

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЖИЗНИ

Непосвященного человека лаборатория, где выращиваются кристаллы белка, ничем не впечатляет: огромные холодильники, светящиеся витрины, колбы, пипетки. Однако, по словам Владимира Попова, рождение белкового кристалла — событие на стыке науки и искусства, оно требует знаний, профессиональных навыков и наития, свойственного людям творческим, а главное — удачи.

Получение качественного кристалла — ключ к изучению структуры и свойств белка. Именно понимание строения и функций биологических макромолекул и их комплексов лежит в основе всех современных биомедицинских технологий. Кристалл белка дороже самого ценного бриллианта — столько на него уходит сил и средств. Захотела бы какая-нибудь модница заполучить колечко с белковым кристаллом, ей не удалось бы похвастаться приобретением, поскольку он крайне неустойчив и растаял бы прямо у нее на пальце. При этом научно-практическая ценность такого «камушка» куда выше материальной, поскольку его изучение открывает мир качественно других биотехнологических возможностей.

— **Владимир Олегович, как начиналась «Белковая фабрика»?**

— «Белковая фабрика» — это достаточно новое подразделение созданного профессором М.В. Ковальчуком всего три года назад Курчатовского центра нано-, био-, информационных, когнитивных, социогуманитарных наук и технологий (НБИКС-центр). Основная задача, поставленная им перед «Белковой фабрикой», — создание принципиально новой экспериментальной базы для массовой кристаллизации белков и определение атомной структуры различных белковых молекул и их комплексов. Чтобы это осуществить, нам нужно самое тесное взаимодействие с Курчатовским центром синхротронного

излучения. Синхротрон — это сложная мегаустановка, предназначенная для решения целого ряда научных задач, прежде всего в материаловедении, диагностике, и в том числе для быстрого и эффективного получения структур белковых молекул. Для исследований в области структурной биологии на Курчатовском синхротроне уже много лет существует среди прочих специализированная станция «Белок». Ряд других станций используются для исследований различных свойств биомacroмолекул. Наша «белковая фабрика» может служить одним из наглядных примеров конвергенции наук и технологий в Курчатовском НБИКС-центре, в ее рамках объединяются физика, математика, химия и биология. На Курчатовской белковой фабрике сегодня можно выделить и охарактеризовать практически любой белок, получить его кристаллическую форму, чтобы затем с помощью метода рентгеноструктурного анализа с использованием синхротронного источника расшифровать его структуру, рассчитать на суперкомпьютере строение потенциальных лигандов данного белка и предложить, например, на их основе будущее лекарственное средство. Впервые в нашей стране создана исследовательско-технологическая платформа мирового уровня для дизайна лекарств.

— **Для чего нужно изучать структуру белков и макромолекул?**

— Когда вы можете видеть, как одна белковая молекула взаимодействует с другой, как устроен ее активный

центр, это открывает совершенно другие возможности, в том числе для разработчиков лекарственных средств. Или, например, если вы хотите создать новый катализатор для биотехнологии и нужно улучшить его свойства: увеличить стабильность, время жизни в операционных условиях. И, естественно, для этого нужно понимать, как он устроен, знать «план» такого катализатора. Для таких целей широко используется метод рентгеноструктурного анализа, который наиболее эффективно реализуется с помощью синхротронного источника. В настоящее время структурная биология востребована практически всеми отраслями наук о жизни. Задача ее — понять, как устроены компоненты живой клетки на всех уровнях, начиная от органелл и заканчивая индивидуальными макромолекулами: нуклеиновыми кислотами или белками. Каждую клетку можно рассматривать как настоящую фабрику, но только наноразмеров. Там тоже есть свои центры генерации энергии, дороги, по которым движутся различные вещества-метаболиты или транспортируются макромолекулы, а также место, где это все проектируется и синтезируется, — клеточное ядро.

— Выходит, вы подсмотрели у природы?

— Да, хотя до понимания всех процессов, происходящих в живых организмах, отдельных их компонентах, в том числе белках, еще очень далеко. Современные методы рентгеновской кристаллографии требуют, чтобы объект был получен в кристаллическом виде. Поскольку теория этого процесса только разрабатывается, например в Институте кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, пока это метод научного «тыка» — перебор различных условий, при которых можно получить кристаллы. Иногда это сотни тысяч различных состояний. У нас это делается с помощью специальных роботов. Вообще, не более 10–20% исходно выбранных для исследований объектов доходят до стадии выделения конечной белковой структуры.

— Часто ли удается получить новый белок?

— Эра белковой кристаллографии началась в середине 1950-х гг. В нашей стране первая лаборатория структуры белков была создана академиком Б.К. Вайнштейном в Институте кристаллографии РАН, и в это время расшифровка каждой новой структуры становилась мировым явлением. Потребовалось много усилий, чтобы из «научного подвига» кристаллизация белков превратилась в весьма рутинную процедуру. В России эти исследования развивались под руководством М.В. Ковальчука сначала в Институте кристаллографии РАН, а затем на качественно новом уровне в Курчатовском НБИКС-центре. Сейчас все белковые структуры собираются в одну базу данных — Банк белковых структур (*Protein Data Bank*). Он был создан в середине 1970-х гг., и туда выкладываются атомные координаты структур макромолекул — белков, нуклеиновых кислот и их комплексов. Эта информация принадлежит всему научному сообществу, в банк может зайти любой пользователь. В настоящее время там хранится уже более 87 тыс. структур. В 1980–1990-е гг. наблюдался экспоненциальный рост числа новых структур биомacroмолекул, что было связано с бурным развитием технологий, прежде всего с тем,

что на смену лабораторным рентгеновским источникам пришли источники синхротронного излучения. Сегодня примерно половина всего времени на синхротронах используется для исследования биомacroмолекул. В настоящее время рост числа новых структур в банке относительно стабилизировался. Но, тем не менее, каждый год он пополняется почти на десяток тысяч новых структур: это не только новые белки, а в первую очередь их различные комплексы, модификации. Это важно, например, для исследования патогенеза различных заболеваний. Любой проект, связанный с поиском нового терапевтического средства, — это, как правило, громадный бюджет больше миллиарда долларов и продолжительностью 10–15 лет. При этом разработка каждого лекарственного препарата связана с пониманием, на какую мишень он действует, и знанием ее структуры. Если раньше лекарства были одни для всех, то в будущем они станут индивидуальными средствами.

— Неужели? По-моему, они и сейчас одни для всех...

— Этот процесс идет постепенно. После расшифровки генома человека, когда мы вступили в «постгеномную» эру, начался переход к так называемой персонализированной медицине. Для этого необходимо, чтобы у каждого индивида был расшифрован геном. Пока до этого еще далеко. Цену вопроса надо уменьшить в несколько раз. Кроме того, необходимо решить еще ряд других не менее важных вопросов — конфиденциальность данных, юридические, этические аспекты. Появится море новой информации, которую необходимо не только хранить, но обрабатывать, осмысливать, устанавливать взаимосвязи. Выясняется, что прочесть геном — это одно, а понять, как он коррелирует с тем или иным заболеванием, — совсем другое. Проблем хватает, однако технологически персонализированная медицина, несомненно, возможна, и переход к ней уже совершается.

— Что вам конкретно удалось сделать за два года существования лаборатории в Курчатовском НБИКС-центре?

— Несмотря на небольшой срок, нам кое-что удалось. Мы запустили несколько проектов, в том числе связанных с разработкой лекарственных средств. Один из этих проектов сфокусирован на изучении белка под названием паркин — название, говорящее само за себя: считается, что он участвует в патогенезе болезни Паркинсона. Наша задача состоит в том, чтобы установить полную структуру этой сложно организованной молекулы. Это позволит выяснить роль пространственной структуры в формировании паркином комплекса с белками-партнерами, что в дальнейшем даст возможность разработать прототипы лекарственных средств, эффективных при данном заболевании.

Еще один наш проект, связанный с разработкой лекарственных средств, имеет прямое отношение к аутоиммунным заболеваниям. Мы располагаем «панелью» так называемых тирозиновых киназ — универсальных ферментов в организме, которые участвуют в передаче различных сигналов. Уже сегодня удалось подобрать несколько потенциальных структур, которые могут быть



Владимир Попов в лаборатории «Белковая фабрика» с молодыми сотрудниками

эффективными ингибиторами *Sik*-киназы — перспективной мишени для терапии, например, ревматоидного артрита и красной волчанки.

— На какой стадии испытания?

— Сейчас речь идет уже об испытаниях на клеточных и животных моделях. Проводится верификация этих соединений. Скоро они должны войти в стадию доклинических исследований, когда будет проверяться их безопасность.

Еще один объект, связанный с областью медицины, — так называемый механозависимый ростовой фактор. Это наша совместная работа с Институтом биохимии им. А.Н. Баха РАН, где и был получен данный рекомбинантный белок. Он интересен тем, что стимулирует регенеративные процессы в мышцах. С одной стороны, его можно использовать для наращивания силы и мышечной массы, а с другой (что куда важнее) — это препарат, который может помогать при таких тяжелых заболеваниях, как различные мышечные дистрофии. Наш ростовой фактор получается в результате так называемого альтернативного сплайсинга пре-РНК инсулиноподобного фактора-1 (*IGF-1*), когда с одной и той же матричной РНК синтезируются различные белковые молекулы. Препарат, с которым мы пытаемся работать, в отличие от *IGF-1*, нацелен исключительно на мышечные ткани. Поэтому он может быть весьма перспективным в качестве препарата, стимулирующего репарацию и пролиферацию мышц. Эффект очень хороший.

— И какой именно эффект?

— Мы испытывали препарат на лабораторных мышках и крысах. После инъекции нашего препарата грызун становится на какое-то время в полтора-два раза сильнее, намного лучше плавает, тянет груз в полтора раза тяжелее. Однако до окончания испытаний еще очень далеко. В настоящее время мы ставим перед собой задачу установления структуры этой относительно небольшой молекулы, но она оказалась довольно неподатливой.

— Какая вам нужна приборная база?

— Современные методы молекулярной биологии позволяют даже в относительно небольшой лаборатории стоимостью в несколько десятков тысяч долларов создавать различные биологические конструкции, которые могут иметь самое разнообразное предназначение. Однако когда вы переходите в область структурной биологии, белковой кристаллографии, инфраструктура усложняется: необходимы комплексные установки, в первую очередь источники синхротронного излучения. Это универсальные междисциплинарные мегаустановки, которые обслуживают физиков, биологов, материаловедов и нанотехнологов. Курчатовский специализированный источник — единственный на всем постсоветском пространстве. Кроме того, мы сегодня располагаем уникальными, достаточно сложными роботизированными комплексами. Это переводит на совершенно иной технологический уровень всю нашу деятельность. Эффективность возрастает и, кроме того, мы избавлены от рутинной работы, застрахованы от различного рода неточностей, ошибок. Роботизированный комплекс обрабатывает огромные объемы информации, ведет учет процесса роста кристалла, а кристаллов может быть много тысяч. Рост порой происходит в течение нескольких недель или месяцев, и вы можете в любой момент получить доступ ко всей информации, повторить эксперимент либо как-то изменить его условия. Если вы получили кристалл, не факт, что он будет хорошо дифрагировать под пучком рентгеновского излучения. Возможно, вам придется изменить условия кристаллизации, попытаться получить объект более крупного размера.

— То есть это настолько сложные процессы?

— Во многом белки для нас еще темный лес. Некоторые из них крайне сложно устроены. Например, самый крупный из известных белков, тайтин, участвующий в мышечном сокращении, имеет молекулярный вес около 3 МДа. Его можно представить в виде нитки бус.



Вы можете выяснить структуру одной бусинки или нескольких последовательных, но, конечно, не всей огромной молекулы. Многие белки вообще не имеют структуры, а приобретают ее только в том случае, если взаимодействуют со своим партнером, и лишь тогда ее можно определить. Иначе получается некий стохастический набор конформаций — это так называемые внутренние неупорядоченные белки. Их примерно 10%. Таким белкам плохо иметь структуру: у них другая физиологическая функция.

— **Какая же?**

— Допустим, узнавание различного рода объектов, т.е. они «подстраиваются» под них или так называемые мембранные белки. Мембрана — это липидная структура, а это значит, что они жирорастворимы и их нельзя получить в виде кристаллов в водных растворах. Для этого используют различные дополнительные ухищрения, создают особую среду. Мембранные белки составляют 25% от белков клетки. Они же — излюбленные мишени для поиска лекарственных препаратов. При этом в базе данных по структуре белков они составляют менее 1% от всего объема, т.е. когда появляются новые структуры мембранного белка, это для нас большое событие.

Получить высококачественный белковый кристалл крайне сложно. Когда исчерпаны все средства, остается еще один, уникальный подход к кристаллизации в условиях микрогравитации, которым мы располагаем в Курчатовском институте благодаря сотрудничеству с Институтом кристаллографии имени А.В. Шубникова РАН, который стоял у истоков этих исследований у нас в стране. Дело в том, что кристаллы, выращенные на Земле и полученные в условиях микрогравитации, качественно различны. Микрогравитация — это

состояние, которого вы можете достичь на космической орбите. Кристаллизация там проходит по-другому, отсутствует ряд помех (таких как, например, конвекция), что трудно реализовать в земных условиях. Поэтому когда объект исключительно ценен и важен, мы используем программу российских космических исследований пилотируемой космонавтики и отправляем этот объект на орбиту в специальной упаковке, подобрав предварительно все условия на Земле. Оператор на Международной космической станции проведет все необходимые нам эксперименты. Спустя месяц-полтора наши образцы спускаются с орбиты. Часть экспериментов проводится совместно с японскими коллегами. Шансов получить хороший кристалл, т.е. более крупный, лучшего качества, чем на Земле, в условиях микрогравитации значительно больше, предел дифракции у него становится лучше. Например, у нас есть один объект, потенциально важный для биотехнологии, — так называемая уридинфосфорилаза. В земных условиях структура, которую мы получили, имела стандартное разрешение около двух ангстрем. Но переход к атомному разрешению позволяет видеть все детали структуры вплоть до положений атомов водорода, для чего необходимо понизить разрешение до одного ангстрема или ниже, т.е. нужны очень хорошие кристаллы, и нам удалось их получить только в космосе.

— **Правда ли, что есть белки с уже известной структурой, функция которых — тайна, покрытая мраком?**

— Да, это так. Лет десять назад в разных странах запустили программы массового скрининга структур белковых молекул. Проводили тотальное секвенирование, клонирование, экспрессию, кристаллизацию и все, что не получалось, отсеивалось, а все, что получалось, пытались довести до структуры. В результате оказалось, что известно очень много структур белков, у которых есть какой-то номер, но неизвестно, какую конкретно функцию они выполняют в живом организме. Биоинформатики как люди дотошные и въедливые составили список белков с уже известной структурой, которые, как они считают, могут иметь важную функцию, но она пока не установлена.

Например, белок под названием DJ-1, у которого известна структура и который каким-то образом, по всей видимости, связан с нейродегенеративными заболеваниями. А как он связан, почему, какая молекула представляет собой его истинный субстрат, как он участвует в различного рода сигнальных процессах — неизвестно. И таких таинственных белков довольно много.

Мы пытаемся с помощью рентгеноструктурного анализа зафиксировать связывание фрагментов различных природных метаболитов в активных центрах подобных белков и потом, модифицируя их структуру, улучшать их связывание и в конечном счете дойти до той структуры, которая будет прочно связываться с данным белком. И так, шаг за шагом, мы поймем его функцию.

— **Я слышала, к работе вы привлекаете не только крупных ученых, но и микроорганизмы, существующие в особых условиях. Зачем?**

— Стандартная задача современной биотехнологии — использование биокатализаторов вместо обычных

химических катализаторов. И это еще один важный и конкретный шаг в сторону конвергенции, создания бионических систем. Биокатализаторы — это ферменты, которые функционируют в живых системах. Они уже сейчас широко используются в некоторых крупных биотехнологических процессах — производстве антибиотиков, глюкозо-фруктозных сиропов и т.д. В тонком органическом синтезе некоторые стадии очень сложно провести с помощью химических методов, но значительно легче — с помощью ферментов, которые направленно вносят в молекулы именно то изменение, которое вам нужно. Повсеместно идет поиск новых ферментов с новыми видами активности, и источником большинства ферментов выступают различного рода микроорганизмы. Есть микроорганизмы, которые существуют в экстремальных условиях окружающей среды, — например, высокая температура, гейзеры или подводные горячие источники, озера с высокой концентрацией солей. Подобные микроорганизмы обладают набором различных полезных свойств, не свойственных для обычных ферментов. Мы активно сотрудничаем с Институтом микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, который располагает коллекцией таких экстремофильных микроорганизмов, и часть их геномов секвенированы в лаборатории геномики Курчатковского НБИКС-центра. Мы пытаемся «вытащить» из геномов те ферменты с уникальными свойствами, которые могут представлять интерес для практики, например для тонкого органического синтеза: белок, который живет в кипящей воде, или же ферменты, работающие в присутствии 50% органических растворителей, что важно для технологических целей. Нам вместе с коллегами из ИНМИ РАН, Центра биоинженерии РАН удалось получить структуру нескольких таких уникальных объектов. Это ферменты различных классов — оксидоредуктазы, гидролазы, которые обладают беспрецедентной стабильностью при экстремальных температурах 90–100° С. Теперь интересно понять, каким образом достигается такая выдающаяся стабильность.

— Правда ли, что вы создаете биоконпозиты, совместимые с живыми организмами?

— Такие биоконпозиты нужны для создания различного рода имплантируемых наноустройств, например источников тока для медицинской техники. Уже сейчас можно при гастроэнтероскопии заглатывать не зонд, а некое подобие таблетки или пули, которая, путешествуя по пищеводу, будет по Wi-Fi все показывать врачу. Но для этого необходим источник энергии. Эту энергию можно получать непосредственно из тех метаболитов, которые находятся в человеческом организме. Универсальное топливо — глюкоза, которая окисляется кислородом, растворенным в крови, с получением энергии, которую можно трансформировать в электрический ток с помощью биотопливных элементов (см.: Фессенден М. *Кардиостимуляторы на сахарной батарее. В статье: Идеи, меняющие мир // ВМН, № 2, 2013*). С этой целью мы разрабатываем различные потенциально имплантируемые устройства, в которых необходимые нам ферменты, например для окисления глюкозы или восстановления

кислорода, иммобилизованы на наноструктурированных подложках-электродах. Подобные же разработки применимы и для создания биосенсоров, в частности для ранней диагностики глаукомы или катаракты. А в будущем, действительно, возможности такого подхода весьма перспективны.

— Итак, ваша конечная цель — получение структуры белков. Но в чем ваша уникальность?

— В настоящее время около 87% всех структур в мире получено с помощью рентгеноструктурного анализа, который пока выступает основным средством познания в структурной биологии. Все наши мысли направлены на получение совершенных кристаллов, которые мы потом будем исследовать с помощью синхротронного излучения, получая дифракционные картины, которые затем будут обрабатываться и трансформироваться в трехмерные структуры. Без уникальных исследовательских, технологических возможностей, предоставляемых нам НБИКС-центром, мы бы были обычной лабораторией, занимающейся молекулярной биологией и биохимией стандартными методами. Уникальность нашего положения в том, что в одном месте соединено все, начиная от геномного и суперкомпьютерного центров, «Белковой фабрики», и до сложнейшего оборудования центра синхротронного излучения и нанотехнологического научного центра, а также возможностей кристаллизации в космосе в условиях микрогравитации. Все это позволяет эффективно и быстро решать самые сложные задачи, объединять компетенции ученых, представляющих различные области науки. Крайне важно, что все подразделения взаимно дополняют друг друга, работают на единую цель — создание конвергентных антропоморфных технических систем, подобных конструкциям, существующим в живой природе. Исследования, проводимые на Белковой фабрике, позволяют уже в недалеком будущем подойти к созданию промышленных биотехнологий, биосенсорных устройств и биороботических антропоморфных систем.

— Можно еще один философский вопрос? Если жизнь, по Фридриху Энгельсу, — форма существования белковых тел, возможно ли однажды расшифровать все белки, узнать их структуру, цели, функции, а следовательно, познать самих себя? Если да, то это будет означать, что мы сравнялись с Творцом?

— Такие вопросы на то и философские, чтобы быть вечными. Известно, что структура белка определяется последовательностью аминокислот. Но еще никто не смог по последовательности аминокислот точно смоделировать структуру белка. Значит, понять механизм, каким образом происходит сворачивание белковой молекулы и почему она сворачивается именно так, а не иначе, до сих пор не удастся. Мы можем многое сказать о белках, но далеко не все. Но если представить, что мы узнали все обо всем... наверное, это скучно. Я, например, не готов глубоко разбираться в своем геноме. Вероятно, я фаталист, как бы странно это ни звучало. ■

Беседовала Наталья Лескова



Юрий Осипов и Михаил Ковальчук: «Мы всю жизнь работали вместе и решили это закрепить»

На уникальном выездном заседании Президиума РАН отметили 110-летие со дня рождения академика Анатолия Александрова и подписали два соглашения о сотрудничестве между академией наук и НИЦ «Курчатовский институт»

12 февраля Президиум Российской академии наук и ученый совет Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» впервые встретились на территории «Курчатника», чтобы подписать два документа, объединяющих работу этих мощных звеньев в структуре российской науки. Встреча действительно беспрецедентная, хотя, как отметил президент Курчатовского института академик Евгений Велихов, «институт создавался именно в рамках академии наук, и связь между ним и академией все эти годы не прерывалась». О преемственности здесь говорили и в связи с юбилейной датой, к которой и было приурочено выездное заседание Президиума РАН: в этом году исполняется 110 лет со дня рождения одного из основателей советской ядерной энергетики, академика Анатолия Александрова. 12 февраля ученые напомнили самим

себе и всему обществу об огромной роли Анатолия Петровича в развитии целого ряда научных направлений.

— На посту президента АН СССР Анатолий Петрович Александров считал главным разумное сочетание глубоких фундаментальных исследований с прикладными работами крупного государственного значения и созданием фундаментального задела на будущее, — сказал президент РАН Юрий Осипов. — Он всегда ориентировал академию наук на тщательный анализ социально-экономических проблем научно-технического прогресса, на широкое практическое использование достижений науки. Обаяние, талант, чувство юмора позволяли Александрову притягивать к себе как магнитом людей самых разных профессий. Жизнь и дела людей такого масштаба, безусловно, составляют гордость нашего отечества.



Фотосериялы: Д.А. Греб



— Александров был междисциплинарным ученым с широким спектром научных интересов. Каждый фундаментальный проект под его руководством завершался конкретной разработкой, которая внедрялась в жизнь, — добавил директор НИЦ «Курчатовский институт» Михаил Ковальчук.

Следуя традициям, заложенным Академией наук СССР, конкретным разработкам в РАН и в частности в Курчатовском институте сегодня уделяют все больше внимания. До заседания Президиума РАН хозяева площадки предложили гостям посетить ряд лабораторий Курчатовского НБИКС-центра. Итог этой экскурсии позже подвел полномочный представитель президента РФ в Центральном федеральном округе, председатель наблюдательного совета НИЦ «Курчатовский институт» Александр Беглов:

— Вы сами увидели сегодня, какие значительные изменения произошли в стенах института за последние годы. Работают новые ультрасовременные лаборатории, появилось много молодежи, идет активная научная, творческая деятельность.

А затем состоялось главное: Юрий Осипов и Михаил Ковальчук подписали два соглашения. Первое — о создании «Центра научного превосходства НИЦ "Курчатовский институт" и РАН в области синхротронно-нейтронных исследований». Столь амбициозное название — центр превосходства — объясняется мировыми тенденциями: именно так во всем мире принято называть научные объединения, обладающие самыми передовыми технологиями и оборудованием. Документ предусматривает образование целого комплекса на базе

«Курчатовского института», где будут проводиться фундаментальные и прикладные исследования в области конвергентных нано-, био-, инфо- и когнитивных наук.

Второе соглашение закрепляет партнерство РАН и «Курчатовского института» в разработке и использовании исследовательских установок мегакласса. О необходимости создания научных комплексов мирового уровня неоднократно говорил президент РФ Владимир Путин, поскольку они позволяют концентрировать интеллектуальные ресурсы на приоритетных направлениях и не допустить утечки мозгов за границу.

Что даст двустороннее соглашение обоим участникам?

— Мы всю жизнь работали вместе с академией, но сегодня решили это закрепить соглашением, — сказал Михаил Ковальчук. — У нас есть установки, а у академии есть научные кадры, которые будут эти установки использовать. В итоге данное сотрудничество создаст мощную интеллектуальную кадровую базу.

— Академия заинтересована в таком сотрудничестве, запуске подобных проектов и создании установок мегакласса, — добавил президент РАН Юрий Осипов. — Дел в области естественных наук очень много! Должно быть некое объединение, которое продвигало бы и новые разработки, и исследования.

Оба документа рассчитаны на пять лет. Если сотрудничество будет плодотворным, то срок их действия будет продлен. Учитывая, сколько общих задач у участников соглашений, сомневаться в этом не приходится. ■

Елена Укусова



Кейси Каллен и Дуглас Смит

Бионические связи

Благодаря новым способам подключения искусственных рук к нервной системе мозг сможет контролировать протезы так же, как естественные конечности

Один из самых знаменитых эпизодов фильма «Звездные войны» — когда Люк Скайуокер получает свою новую искусственную руку. Он может шевелить пальцами с помощью механической системы, которая видна при открытой крышке вдоль запястья. Протез, управляемый мыслями, может не только двигаться, Скайуокер еще и ощущает его как свою собственную руку.

Зрителям не показывают, как осуществляется связь между человеком и протезом. Но именно это скрытое устройство и интересует нейробиологов. Чтобы соединение работало, оно должно превращать нервные импульсы, идущие от мозга, в электрические сигналы в искусственной руке и наоборот. Однако в реальном мире никто еще не придумал, как соединить нервы и электрические провода таким образом, чтобы можно было контролировать искусственную конечность как естественную часть тела.

С одной стороны, нервы и электрические провода, необходимые для регуляции электроники в протезе, передают совершенно разные типы сигналов. Электронные устройства зависят от потока электронов через проводящие материалы, полупроводники и транзисторы, а работа нервной системы основана на деполяризации клеточных мембран и высвобождении сигнальных веществ в щели между нервными клетками. С другой стороны, для осуществления такой связи потребуются имплантация проводов и электронных устройств в организм, который обычно воспринимает подобные имплантаты как чужеродные тела и запускает иммунную реакцию, что приводит к рубцеванию ткани вокруг приборов и нарушает их работу.

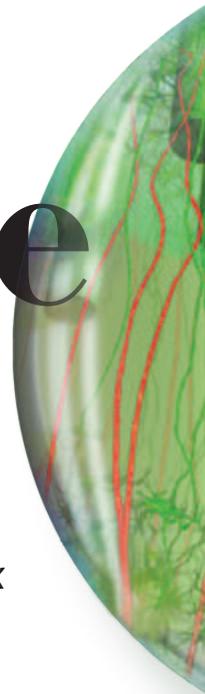
В последние годы достижения в областях нанотехнологий и тканевой биоинженерии позволили решить обе проблемы. Вместо того чтобы пытаться заставить нервы напрямую взаимодействовать со стандартной

электроникой в современных протезах, мы с коллегами создаем новые виды связей между нервами и искусственными конечностями — связи, при которых используется природная способность нервной системы приспосабливаться к новым ситуациям. Последние лабораторные исследования приблизили нас к возможности создания искусственной конечности, которая, как у Люка Скайуокера, может двигаться и ощущаться мозгом.

Сочетание моторных и сенсорных сигналов

Основной прогресс в конструировании протезов обусловлен вооруженными конфликтами, в последнее время — войнами в Афганистане и Ираке. Но, за исключением нескольких последних лет, конструкторы занимались в основном созданием протезов нижних конечностей, а не верхних. Создание протезов ног — более простая задача, чем изобретение искусственной руки, которая позволила бы ее обладателю открывать банки или, например, печатать вслепую на компьютере. Начиная с 2006 г., после запуска Агентством по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) программы *Revolutionizing Prosthetics*, исследователи добились значительных успехов и в создании высокофункциональных искусственных рук.

Одна из проблем при разработке искусственных верхних конечностей заключается в воспроизведении (хотя бы частичном) тонкого контроля движений рук. Для этого необходимо задействовать области мозга, которые передают нервные сигналы к конкретным мышечным волокнам, управляющим движениями предплечья, и те, которые получают информацию о давлении, положении, напряжении, движении и силе от определенных частей руки. С помощью такой обратной связи мозг определяет, сколько мышечных волокон надо использовать для того или иного усилия.



ДОСТИЖЕНИЕ. Успехи нейроинженерии начинают догонять колоссальный прогресс в области конструирования протезов



В живой конечности моторные и сенсорные сигналы работают вместе, создавая, помимо всего прочего, чувство, известное как проприорецепция — способность без помощи зрения осознавать, как части тела расположены в пространстве и относительно друг друга. Без проприорецепции было бы почти невозможно выполнять даже такие простые задачи, как письмо шариковой ручкой. Благодаря гармоничному сочетанию входящих и исходящих сигналов в нервной системе мы способны поднести руку прямо к ручке, аккуратно поднять ее, плавно перенести ее на нужное место и легким прикосновением начать писать.

Сейчас уже созданы механические руки, в которых используют разные не прямые способы двигательного контроля. Например, повторяющиеся сокращения и расслабления мышц культи или грудной клетки вызывают активацию специальных переключателей, которые запускают различные движения искусственной конечностью. Однако в идеале биоинженеры хотели бы создать протез, управляемый двигательными нервами человека, которые не погибли после ампутации и отростки которых остались внутри культи.

Использование двигательных нейронов — еще только подделка. Даже с наиболее передовыми усовершенствованными протезами многие простые задачи по-прежнему будут вызывать затруднения, поскольку от искусственной конечности сигналы не поступают в мозг. Инвалиды вынуждены сознательно управлять каждым отдельным движением протеза, не руководствуясь естественной проприорецепцией, а используя зрительный контроль. В результате движения получаются медленными и неуклюжими, и для простого застегивания рубашки требуется столько времени и внимания, что это просто изнуряет человека.

Поэтому важнейшая цель — сконструировать устройство, соединяющее нервную систему и протез, которое обеспечило бы прямой двусторонний обмен моторной и сенсорной информацией. Такой «нейромеханический» контакт позволил бы разработать протезы, которыми можно было бы управлять не задумываясь, и они ощущались бы как настоящие руки. Несколько исследовательских лабораторий (в том числе и наша) работают сегодня над этой задачей.

Два основных подхода

Первый шаг для создания работающей связи между телом и протезом — определить, к какому месту нервной системы прикрепить данную связь. Два основных варианта — это взаимодействие с центральной нервной системой (установление связи с головным или спинным

ОБ АВТОРАХ

Кейси Каллен (D. Casey Cullen) — нейроинженер, ассистент-профессор нейрохирургии в Пенсильванском университете.



Дуглас Смит (Douglas H. Smith) — директор Центра травматологии и восстановления мозга, профессор нейрохирургии в Пенсильванском университете, соучредитель Axonia Medical.



мозгом) или работа с так называемой периферической нервной системой, в первую очередь с нервами, соединяющими спинной мозг с остальными частями тела.

До сих пор большинство исследователей рассматривали мозг в качестве отправной точки. Чтобы свести к минимуму хирургическое вмешательство, активность нейронов регистрируют с помощью электродов на поверхности головы либо помещают их под череп, прямо на мозг. Электроды улавливают электрические сигналы от мозга, которые компьютер преобразует в команды к желаемым движениям. Преимущество данных методов заключается в том, что для них не требуется делать отверстия в мозге, но при этом возможны помехи от других электронных устройств. Кроме того, такая электрическая активность довольно грубо отображает реальную деятельность мозга, поэтому компьютеру сложно определять, какое именно движение надо сделать.

Подход, требующий более серьезного хирургического вмешательства, — введение набора микроэлектродов в наружные слои мозга. (При этом используют, как правило, высокоплотные кремниевые микроэлектроды, каждый меньше человеческого волоса в диаметре.) Главное преимущество такого метода в том, что благодаря прямой связи можно получить чрезвычайно точные данные, в том числе о силе и частоте разрядов отдельных нервных клеток. Затем эту информацию надо расшифровать и перевести в соответствующие движения с помощью специально разработанного программного обеспечения. Столь высокая степень детализации информации теоретически должна позволить точно управлять протезом.

Устройства, напрямую взаимодействующие с центральной нервной системой, уже испытываются на десятках людей. В одном случае женщина, парализованная в результате инсульта, управляла искусственной рукой с помощью мысли, смогла пить кофе. А в 2012 г. DARPA заявило, что впервые несколько инвалидов, потерявших

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Биоинженеры стремятся подключить протезы руки и кисти непосредственно к нервной системе.
- Двусторонняя связь позволит мозгу контролировать движения конечностей и чувствовать их положение.
- Первое, что надо сделать, — создать переходник, который будет переводить нервные импульсы в электрические сигналы.
- Авторы разрабатывают такое устройство, используя выращенные в лабораторных условиях нервные волокна и электропроводящие полимеры.

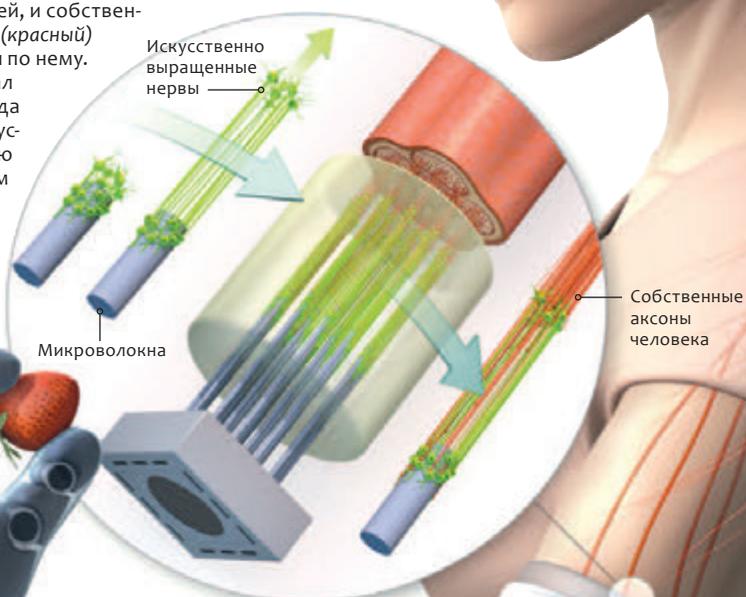
Восстановление нервов

КАК ПОДКЛЮЧИТЬСЯ К НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

Проводя эксперименты на крысах, исследователи создали своего рода переходник, через который живые нервы могут взаимодействовать с электропроводящими волокнами. Если все пойдет хорошо, то биогридные проводники можно будет использовать для соединения разорванных нервов у человека таким образом, что протез будет двигаться и ощущаться как родная рука.

В обозримом будущем

Для создания «живого моста» между периферической нервной системой человека и протезом требуется несколько этапов. Сначала ученые направят рост выращенных в искусственной среде нервов (зеленый) по краю микроволокна (серый). Затем нейроны будут аккуратно растягивать, вызывая удлинение аксонов. Потом этот мостик поместят рядом с культей, и собственные аксоны человека (красный) начнут протягиваться по нему. Таким образом, сигнал сможет проходить туда и обратно между искусственной конечностью и спинным и головным мозгом.



руки, смогут использовать вживленные в мозг электроды для управления ультрасовременным протезом. В обоих случаях из-под черепа выходили провода от регистрирующих электродов. Потом информация расшифровывалась с помощью мощного компьютера, посылавшего сигнал искусственной руке. В дальнейшем исследователи надеются передавать информацию беспроводным способом, чтобы не быть привязанными к компьютеру. К сожалению, в настоящее время компьютеры необходимой мощности имеют пока недостаточно малые размеры.

Есть еще одна проблема: ткани мозга воспринимают вживленные электроды как чужеродный элемент и запускают воспалительный процесс, который в итоге приводит к формированию мельчайших рубцов вокруг электродов. Таким образом, стремительно уменьшается количество нервных клеток, активность которых регистрируется, и с течением времени сигнал становится все более слабым и менее информативным. У некоторых пациентов электроды продолжают регистрацию активности одного или нескольких нейронов на протяжении нескольких лет после вживления, но это исключительные случаи. Сегодня исследователи ищут способы свести к минимуму реакцию организма на чужеродные объекты в мозге.

Преимущества периферийного подхода

Данные проблемы побудили нас попробовать подключиться к периферической нервной системе. Центральная нервная система состоит из 100 млрд нервных клеток, тогда как периферическая — преимущественно из их отростков (аксонов), пучки которых называются нервами. Аксоны — очень длинные (иногда больше метра) отростки нервных клеток, по которым сигнал от центральной нервной системы передается к остальным частям тела.

Головной мозг контролирует двигательную активность, посылая информацию вниз по спинному мозгу, а от него по периферическим нервным волокнам сигнал приходит к мышцам. Другие периферические нервные волокна передают такую сенсорную информацию, как положение конечности, температура или прикосновение; эти сигналы поступают от тела через спинной мозг в головной, где происходит дальнейшая обработка информации. Поскольку оставшиеся в культе чувствительные нервы зачастую продолжают генерировать сигналы, у многих людей с ампутированными конечностями есть ощущение, что потерянная рука или нога все еще на месте, — это явление называется фантомом конечности. Если бы мы могли подключить эти ложно срабатывающие чувствительные отростки к протезу, который бы посылал прямые сигналы в нервную систему, мозг мог бы легко воспринимать поступающие сигналы как идущие от предплечья, кисти и пальцев.

Точно так же моторные отростки периферической нервной системы до сих пор способны управлять движением. Поскольку мозг использует различные моторные сигналы для различных движений, он сможет и управлять правильно подключенной искусственной конечностью так, чтобы она двигалась естественным образом.

Проблема заключается в том, что периферические аксоны не будут расти, если у них нет биологической мишени, с которой они стремятся вступить в контакт. Кроме того, организм плохо реагирует на провода, вживленные в периферические нервы.

Тодд Куикен (Todd Kuiken) из Северо-Западного университета с коллегами показали гениальный способ обойти эту проблему: у испытуемых-добровольцев в качестве переходника между культей и электронной начинкой протеза были использованы грудные мышцы. Сначала были перерезаны двигательные нервы к нескольким поверхностным грудным мышцам, так чтобы они не получали никаких конкурирующих сигналов от мозга. Потом туда аккуратно перенаправили двигательные аксоны, которые когда-то соединяли спинной мозг с ампутированными частями руки, так что теперь они были присоединены к грудным мышцам. В течение нескольких недель перенаправленные нервы полностью подключились к грудным мышцам. Команды из мозга, предназначенные для управления не существующей больше рукой, теперь шли в грудь, вызывая сокращение грудных мышц.

В этот момент на кожу груди поместили электроды для записи активности отдельных мышц. По записи косвенно определялись идущие от мозга сигналы. После нескольких недель тренировок пациенты могли управлять протезом, просто подумав о том, что бы им хотелось с его помощью сделать. Например, мысль о том, чтобы взять чашку, приводила к сокращению определенных мышц в груди, что в свою очередь «сообщало» электронному устройству протеза указание согнуть пальцы.

Куикен с коллегами уже использовали такое перенаправление мышечной иннервации для помощи десяткам людей с ампутированными конечностями. Однако пока еще не понятно, можно ли с помощью данной технологии воссоздать все естественные движения рукой и кистью.

Нейронный мост

Мы считаем, что для управления тонкими движениями искусственной руки в первую очередь потребуются разнообразные связи между живой тканью и протезом. К счастью, перерезанные нервы способны образовывать связи не только с мышцами. Они могут отрастать и по направлению к другим нервам и даже воспринимать пересаженный нерв как своего собрата и вступать с ним во взаимодействие. Поэтому около шести лет назад мы решили исследовать, можно ли в качестве посредника между разорванным аксоном культы и электрическими проводами протеза вместо мышц использовать пересаженные нервные волокна.

Для создания нейронного переходника надо сначала выяснить, как вырастить такое длинное нервное волокно, чтобы оно могло соединить аксон с электроникой протеза. Чтобы получить нужную длину, один из нас (Дуглас Смит) разработал методику для удлинения аксонов клеток, выращенных в культуре. При этом используется естественная способность нервов удлиняться во время роста организма. Один из наиболее ярких

примеров такого роста наблюдается у аксонов спинного мозга синего кита: они могут удлиниться более чем на 3 см в день и вырастать до 30 м.

Методика заключается в том, что мы берем культуру нервных клеток и начинаем разделять ее на две части, ежедневно отодвигая каждую немного в сторону. Аксоны в середине культуры растягиваются и поэтому вынуждены расти в обоих направлениях. Взяв за основу этот природный механизм, мы разработали удлинители аксонов — устройства, способные растягивая пучок аксонов, заставляя их вырастать до 10 см (возможно, даже и больше) с беспрецедентной для экспериментов скоростью сантиметр в день.

Одним из наших первых применений аксонов, выращенных таким образом, было создание живого моста для восстановления разорванных периферических нервов после травмы или хирургического вмешательства. Когда мы имплантировали полученные пучки нервов так, что один из их концов располагался близко к концу перерезанного нерва у крысы, аксон этого нерва вытянулся и начал расти вдоль всей длины моста. Оказалось, что многие аксоны продвинулись настолько далеко в ранее парализованную конечность, что нерв был полностью восстановлен и у крыс вернулась способность к движению.

Кроме того, мы установили, что все наши нейронные связи «выжили» в течение четырех месяцев после трансплантации, не вызвав иммунную реакцию. Они так эффективно работали у крыс, что мы сейчас пытаемся опробовать их на свиньях. Если и эти эксперименты окажутся успешными, мы начнем испытания на людях, имеющих серьезные повреждения нервов.

Найдя способ направлять и стимулировать рост разорванного аксона, мы попытались создать более сложный мост, который позволил бы аксонам взаимодействовать с электроникой в протезе. Нам нужно было найти тонкие проводящие волокна, которые организм не воспринимал бы как чужеродные. После нескольких проб и ошибок мы решили использовать для создания волокон различные проводящие полимеры. Один из них — азотсодержащее органическое соединение полианилин, про который известно, что он проводит электрический ток и хорошо переносится организмом. В настоящее время в исследованиях на грызунах показано, что такие специализированные полимеры не вызывают сильной иммунной реакции.

Дальше было необходимо, чтобы пучок выращенных в лаборатории нейронов рос около одного из концов полимерных волокон. Потом аксоны нейронов вытягивали по направлению к нервам хозяина. Другим концом полимерные волокна соединялись с протезом с помощью беспроводного передатчика. В идеале аксоны от культивации должны были расти вдоль растянутых аксонов моста и соприкасаться с полимерными волокнами. Волокна должны были получать электрические сигналы от двигательных нейронов и передавать их электронике. Точно так же сенсорные сигналы, полученные от электроники, проходя по волокнам, вызывали деполяризацию

аксонов чувствительных клеток, и таким образом информация передавалась в спинной и головной мозг.

Проведя эксперимент на крысах, мы выяснили, что нервная ткань, выращенная посредством растяжения, создает пути отрастания аксонов вдоль полимерных волокон с точностью до нескольких десятков микрон. Это позволяет регистрировать сигналы с нервов, идущих в одном направлении (вниз по конечности), и стимулировать нервы, идущие в другом направлении (к мозгу). По сути, мы создали простой переходник, соединяющий два устройства с разными типами контактов. К нашему гибриду из биологической ткани (нейронов и их аксонов, выращенных путем растяжения) и проводов можно с одного конца подключить электронику протеза, а с другого — аксоны культивации. В настоящее время такие биогидриды живут и сохраняют свою связь с нейронами организма хозяина в течение месяца после трансплантации; это означает, что иммунная система их легко переносит, поскольку иначе она уничтожила бы их в течение нескольких дней. Сейчас ведутся более длительные испытания.

Следующие шаги

Наш биогидридный подход многообещающ, но пока он еще находится в зачаточном состоянии. Мы не знаем, сколько времени будут сохраняться такие переходники. Нам также неизвестно, будет ли иммунная система терпеть полимерные компоненты в течение длительного времени. Кроме того, необходимо свести к минимуму помехи от других электрических устройств и повысить чувствительность к отдельным нервным сигналам, передающимся на протез. Даже если мы сможем соединить нейроны от культивации с протезом, это еще не даст гарантии того, что мозг будет правильно воспринимать сигналы от него.

Опыты с пересадками рук позволяют надеяться, что мозг справится и с этой задачей. При выполнении подобных операций хирурги не могут правильно соединить все нервные волокна тела и руки. Однако оказалось, что такая точность не нужна. Мозг существенно обновляет свои внутренние представления о том, что какой моторный нейрон делает, и за счет этого получает контроль над новой рукой. Точно так же управление механической рукой, соединенной с нервной системой, вероятно, потребует от мозга значительной перестройки.

Возможно, для дальнейшего прогресса в управлении протезами потребуется объединить достижения исследований, проведенных на центральной и периферической нервной системе. Тем не менее формирование прямых связей между мозгом и протезом повышает вероятность получить искусственную руку, которая свободно и изящно движется и воспринимается так же естественно, как настоящая. Хотя в пятом эпизоде «Звездных войн» переходник между телом Люка Скайуокера и его новой рукой не показан, ученые уже изрядно продвинулись на пути к тому, чтобы понять, как он устроен. ■

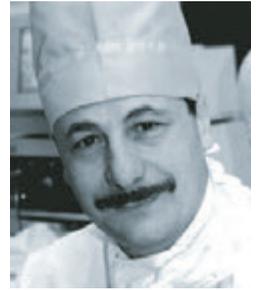
Перевод: М.С. Багоцкая



Клятва
Гиппократа
не устаревает **никогда**

ХРИСТО ПЕРИКЛОВИЧ ТАХЧИДИ —

выдающийся российский офтальмолог, ученик и преемник знаменитого Святослава Федорова, полагает, что современная российская офтальмология — не только передний край медицинской науки, но и своего рода предтеча, определяющая вектор развития мировой медицины на сотни лет вперед. Об этом он рассказал в беседе с нашим корреспондентом.



Доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, президент Общества офтальмологов России, он стал разработчиком концепции развития целой отрасли, начиная со времен ее основоположника Гиппократ — и на несколько тысячелетий после него. «Я здесь выступаю как пророк в своем отечестве, — улыбается Христо Периклович, — потому что, во-первых, знаю ситуацию, а во-вторых, каждый грек немного философ». С нашим изданием он поделился своими мыслями на этот счет

По приметам

— **Христо Периклович, коллеги говорят, что вам удалось как-то классифицировать всю историю мировой медицины?**

— Можно и так сказать. Мне всегда была интересна эта тема, ведь понять перспективы развития своей специальности можно, только понимая основной вектор развития всей медицины. Дело в том, что за последние тысячи лет, при всем различии в подходах, средствах и методах диагностики и лечения, медицина развивалась по одной схеме. Я бы назвал ее попытками понять работу человеческого организма по внешним визуальным признакам. Походка, осанка, изменения на коже, слизистых, характер дыхания и сердцебиения — все это было для врача важными характеристиками состояния человека, и именно через эту визуальную информацию он делал свои заключения. При этом, пытаясь расшифровывать болезни, врачи всегда интересовались, что же в это самое время происходит внутри организма. Но заглянуть туда долгие годы не удавалось.

— **А во время операции?**

— Здесь есть свои недостатки: во-первых, во время операции можно наблюдать только узкую зону врачебного

вмешательства; а во-вторых, они всегда делались у пациентов с выраженными изменениям организма. Был и другой вариант — возможность изучать системы и органы на неживом организме. Но это давало совершенно иную картину, ведь живой человек — это другой мир, принципиально отличный от мира мертвого.

— **Как же раньше судили о внутреннем мире человека?**

— По косвенным признакам. Слушали шумы в области сердца, легких или смотрели анализы. Но анализ тоже не всегда информативен. Жидкость, которую мы используем для анализа, третична или четвертична от функции исследуемого органа: по ходу движения эти жидкости претерпевают массу преобразований. Иначе говоря, внутренний мир человека был, в сущности, закрыт. И лишь в последние десятилетия появились возможности видеть внутренний мир живого организма. Это разнообразные ультразвуковые сканеры, томографы, установки на ядерно-магнитном резонансе — замечательные устройства, открывшие дверь в новый век медицины.

— **Но сначала был все-таки рентген.**

— Да, конечно, и это стало важнейшей вехой в развитии медицины, первым окошком в наш внутренний мир. Однако на сегодня это малоинформативный прообраз



современных приборов. Его недостаток — в неподвижной картинке с отсутствием деталей, с низким разрешением, в то время как новые системы дают возможность наблюдать организм в движении — скажем, работающее сердце с клапанами, когда мы видим, как функционируют створки клапана, какой мощности кровотока. Мы можем увидеть не только функцию органа в нормальных условиях, но и его работу при определенных динамических нагрузках — физических, пищевых, эмоциональных. Каждая из них заставляет организм работать по определенным, известным нам программам. И в результате мы можем «живьем» наблюдать, как это все меняется в разных стадиях и фазах болезни. Именно эта возможность созерцать внутренний визуальный мир человека будет определять ближайшие несколько сотен лет развития мировой медицинской науки. Сегодня мы уже видим пятое поколение приборов, и каждое существенно и качественно отличается от предыдущего. Они дают все большее разрешение, лучшее качество картинки,

детализацию, возможность трансформации. Идет непрерывное совершенствование этих методов, и оно будет происходить еще очень долго. Одновременно станет развиваться новая теория. У нас открывается новая ресурсная возможность, которая требует, с одной стороны, научных исследований, с другой — сопоставления этих исследований со старыми знаниями. В результате будут рождаться новые гипотезы, представления, идеи. Это теория с качественно другим подходом к решению биомедицинских задач. Сегодня мир увлечен именно таким содержанием.

Окно в микромир

— Так это и есть содержание медицины отдаленного будущего?

— Нет, это лишь вторая стадия ее развития. Я полагаю, что в будущем нас ожидает погружение в микромир живого организма, что станет третьей стадией эволюции мировой медицины. Как мы знаем, на рубеже прошлого века появились первые работы по физике микромира — Эрнеста Резерфорда, Нильса Бора, которые открыли совершенно новое пространство. Всем стало понятно, что физика Ньютона — частный случай, а мир гораздо шире. Открытие микромира подарило человечеству современные компьютеры, мобильную связь. Сегодня благодаря микроскопированию в биологии микромир — уже не тайна за семью печатями. Однако все это, опять же, исследования не на живом человеческом организме. До последнего времени практической медицине была недоступна возможность работать под микроскопом на живом организме. Пионером здесь стала такая прорывная область медицины, как офтальмология, которая впервые в истории медицинской науки перешла

! ПРЯМАЯ РЕЧЬ

- «В последние тысячи лет, при всем различии в подходах, средствах и методах диагностики и лечения, медицина развивалась по одной схеме».
- «В будущем нас ожидает погружение в микромир живого организма».
- «Офтальмология впервые в истории медицинской науки перешла рубеж визуального мира и шагнула в микромир, применив знания о нем на практике».
- «Я придерживаюсь своей заповеди: если чувствую, что пациент не полностью мне доверяет, то в операционную не пойду».

Сегодня наша диагностическая аппаратура позволяет видеть микроны: например, лазерный сканер сканирует сетчатку с шагом в три микрона. И мы научились эти поврежденные микроны с сетчатки удалять

рубеж визуального мира и шагнула в микромир, применив знания о нем на практике. Именно она показывает, как в свое время рентгеновское излучение, дальнейший путь развития медицины.

— **Что это дает пациенту? Ради чего нужно «залезать» в его микромир?**

— Значимость этого шага очень велика. Вот вам небольшое сравнение. Когда мы наблюдали человека внешне, скажем, пальпировали живот и пациент при этом чувствовал боль, то врач должен был определить, с чем связана эта боль, — с кишечником, желудком или селезенкой, аппендицит это, холецистит или, скажем, гинекологические болезни. При этом всегда нужно было делать поправку на загадки, связанные с индивидуальностью организма. Учесть их, не видя внутреннего мира, было крайне тяжело. В результате врачи вынуждены были делать больному срединную лапаротомию — вскрывали всю брюшную полость, чтобы во время операции пересмотреть все органы, уточнить диагноз, обнаружить болезнь и ликвидировать ее. И все это ради того, чтобы в итоге удалить, например, желчный пузырь. Но операционная травма, связанная с удалением желчного пузыря, заживает в течение нескольких дней, а травма, полученная в результате вскрытия брюшной полости, — месяцами. Современное оборудование позволяет детально увидеть содержимое брюшной полости, не проникая в нее. Это дает возможность точно определить болезнь. Следующим шагом делается лапароскопическое вмешательство: крошечный разрез в районе желчного пузыря, через который производятся необходимые манипуляции. После этого человек восстанавливается за несколько дней. Такова цена возможности познания внутреннего мира — это качественно иной уровень медицины. Однако понимание микромира переносит нас на новый, еще более высокий уровень, когда классическое понятие хирургии может полностью исчезнуть.

— **Как это?**

— Поясню. Что такое оперативное вмешательство? Это разрез. Недаром говорят: «Большой хирург — большой разрез». Это обязательное наложение швов. Это боль, перевязки, снятие швов, реабилитация. В офтальмологии мы ушли от разрезов, швов и всех связанных с ними проблем. Операции проводятся через микропроколы, которые не требуют зашивания, ухода за раной. Это значит, пациенту не нужно находиться в стационаре, и послеоперационный период практически

не требует реабилитации. Через час после такой операции, если здесь вообще уместно это слово, человек может самостоятельно, без чьей бы то ни было помощи, отправиться домой или по делам. Это своего рода станция по ремонту организма: заехал на 15–30 минут, поправил здоровье — и поехал дальше. Все это дает освоение микромира живого человека.

— **Какая-то фантастика!**

— Сегодня наша диагностическая аппаратура позволяет видеть микроны — скажем, лазерный сканер сканирует сетчатку с шагом в три микрона. И мы научились эти поврежденные болезнью микроны с сетчатки удалять. Есть такая патология, когда поверхность сетчатки начинает фиброзироваться, перерождаться в рубцовую ткань, стягивать и отслаивать сетчатку. Мы начали искать способы справиться с этой проблемой. Были разработаны специальные оптические насадки на микроскопы, с помощью которых мы выходим на поверхность сетчатки, прокрашиваем ее специальными красителями, которые четко показывают пораженную ткань, берем инструмент, через прокол в 0,5 мм входим в глаз и делаем эту манипуляцию. Соответственно, инструмент еще тоньше. Можете себе такое представить?

За пределами восприятия

— **Как же хирург может удержать столь тонкий инструмент?**

— Эти манипуляции показали нам, что возможности руки хирурга не безграничны. Микронные манипуляции — это ее предел. С этого уровня для того,





чтобы обеспечить дальнейший прогресс, нужны умные автоматы. Приборы, которые позволяют манипулировать с точностью до супертонких вещей. Здесь оказались незаменимы лазерные системы, которые программируются и управляются математикой. Скажем, при таких патологиях, как близорукость, дальнозоркость, астигматизм, оптика глаза несовершенна и ее надо нормализовать, а для этого ее нужно изменить, как бы переточить. Мы берем роговицу, фиксируем ее тончайшей присоской и с помощью лазера обрабатываем поверхность, так же как на станке — стекло для очков. Таким образом, мы нормализуем ее и делаем ровно такой, какая нужна этому глазу, чтобы видеть нормально. Так вот, чтобы снять одну диоптрию, надо убрать поверхность толщиной в 14 микрон. Это делает эксимерный лазер, у которого энергия настолько велика, что попадая на органическую поверхность, она сдувает слой клеток, как ветер — пыль с мостовой. Только облачко появляется над роговицей — и слой ненужных клеток улетучивается. Это делается под контролем автоматических систем. Сейчас появились фемтосекундные лазеры, воздействующие на глаз крошечные доли секунды, в течение которых концентрируется высокая энергия. Они не разрезают, а как бы раздвигают ткань.

Организм воспринимает такое вмешательство как естественный физиологический обмен клеток. Поэтому это уже не хирургия. Или хирургия будущего. Но в офтальмологии она стала частью нашей жизни

При этом травматизм практически нивелируется. Разрушения, вызываемые в ткани, настолько малы, что организмом вообще не улавливаются. Нет боли, а это универсальный сигнал неблагополучия. Нет воспаления, а это универсальный ответ на повреждение. Мы как бы обманываем биологические законы природы. Это настолько тонко, что мы фактически оказываемся за пределами тонкости биологического восприятия. Организм воспринимает такое вмешательство как естественный физиологический обмен клеток. В пределах того, что в норме часть клеток ежедневно умирает и заменяется новыми. Поэтому, конечно, это уже не хирургия.

Или, если хотите, хирургия будущего. Но в офтальмологии она уже стала частью нашей жизни.

— Например?

— Есть такая патология сетчатки, когда возникает ее микронный отек. Существует лекарственное вещество, или биологический фактор *VGF*, который контролирует проницаемость сосудистой стенки и рост молодых сосудов. Но для того чтобы получить нужную концентрацию любого лекарства в глазу, нужно съесть дозу в тысячу раз больше, чем это необходимо для глаза. Остальное растекается по всему организму, которому это совсем не нужно. Однако именно так работают большинство современных лекарств. Например, если необходимо снять спазм сосудов сетчатки, то мы травимся целиком — портим почки, печень, засоряем кровь. Это можно сравнить с лапаротомией, когда вскрывали брюшную полость, чтобы выяснить, где же болит. Мы придумали способ решения проблемы. С помощью прокола в 0,33 мм проникаем в глаз и вводим нужную микродозу прямо на сетчатку, получая целенаправленный эффект в тысячу раз выше, чем при приеме внутрь. Это однократная манипуляция, которая излечивает недуг — и не вредит всему организму.

— Однако микромир — это своя философия, своя система подходов, которых пока нет.

— Да, это новый микрокосм, принять и понять который готовы не все. Но этот этап обязательно наступит. Он ознаменует настоящую революцию в мировой медицине, когда лечение болезни уже не будет связано с такими неприятными вещами, как боль, кровопотери, мучительное восстановление после операции. Это будет не больно, локально и адресно. Адресный подход открывает принципиально новые возможности. Однако такая суперадресность не есть суперцель.

— Какова же суперцель?

— Понять взаимосвязи в человеческом организме. Самое интересное, что универсальность организма

Мы как первобытный человек, который ходит вокруг космического корабля и пытается понять, что это и откуда прилетело. Только для сегодняшней медицины такой корабль — это сам человек как биологическая система. Мы веками ходим вокруг него и пытаемся понять, кто он, как устроен, кем и с какой целью

заключается не столько в тонкости построения структур и их последовательностей, сколько в связях. В организме систем не так уж много — десяток-другой. А вот связей между ними — миллионы. На самом деле человек — это и есть клубок связей, расшифровать которые тысячелетиями стремится вся мировая медицина. Наш организм — как автомобиль, у которого есть системы сгорания топлива, трансмиссии, охлаждения, но по отдельности это все стоит, а вот ехать может лишь благодаря тому, что эти системы взаимосвязаны. В человеке все намного сложнее, чем в любой машине. Эти связи уникальны, их различные сочетания дают совершенно новые качества, в том числе и при болезни. И микрохирургия открыла новые возможности в их понимании. Когда мы стали заниматься оптикой глаза, перетачивать поверхность роговицы, то получили феномен не стопроцентного, а 150-, 200-процентного зрения. В чем дело? Оказывается, у нашего глаза имеются естественные оптические aberrации, которые снижают остроту зрения, и если эти aberrации убрать, т.е. сделать шлифовку поверхности более тонкой, чем ее придумала природа, то мы получим качество зрения в два раза выше. Суперзрение.

— Неужели без потерь?

— В том-то и дело, что при этом начинает утрачиваться качество других функций. Хуже адаптация, сумеречное зрение, плохо переносятся засветы, страдает контрастность. Оказалось, что зрительные функции сбалансированы в такой универсальный орган, как человеческий глаз, но эта универсальность достигается за счет того, что потенциальные возможности каждой отдельной функции несколько снижены, и за счет этого высвобождаются ресурсы для реализации других функций. Универсальность нашего организма определяется не стопроцентной реализацией каждой отдельной функции. И наше зрение — лишь один из примеров. Для врача крайне важно это осознать. Наша цель — вовсе не создание суперрезультата по одной отдельной функции. Это должен быть результат, оптимальный для сохранения универсальности органа и организма в целом.

Пока до этого нам очень далеко. Мы как первобытный человек, который ходит вокруг космического корабля и пытается понять, что это и откуда прилетело. Только для сегодняшней медицины такой корабль — это сам человек как биологическая система. Мы веками ходим вокруг него и пытаемся понять, кто он, как устроен, кем и с какой целью.

В рамках эксперимента

— Кем же?

— Назовем это природой, хотя не очень понятно, что это значит. Я нередко об этом думаю, но ответа не знаю. Когда люди проводят эксперименты с использованием мышей, они часто их окрашивают в разные цвета. А теперь посмотрим на человечество, среди представителей которого есть белые, черные, желтые. И все они в разных фазах развития — социального, политического, интеллектуального. Вам это ничего не напоминает?

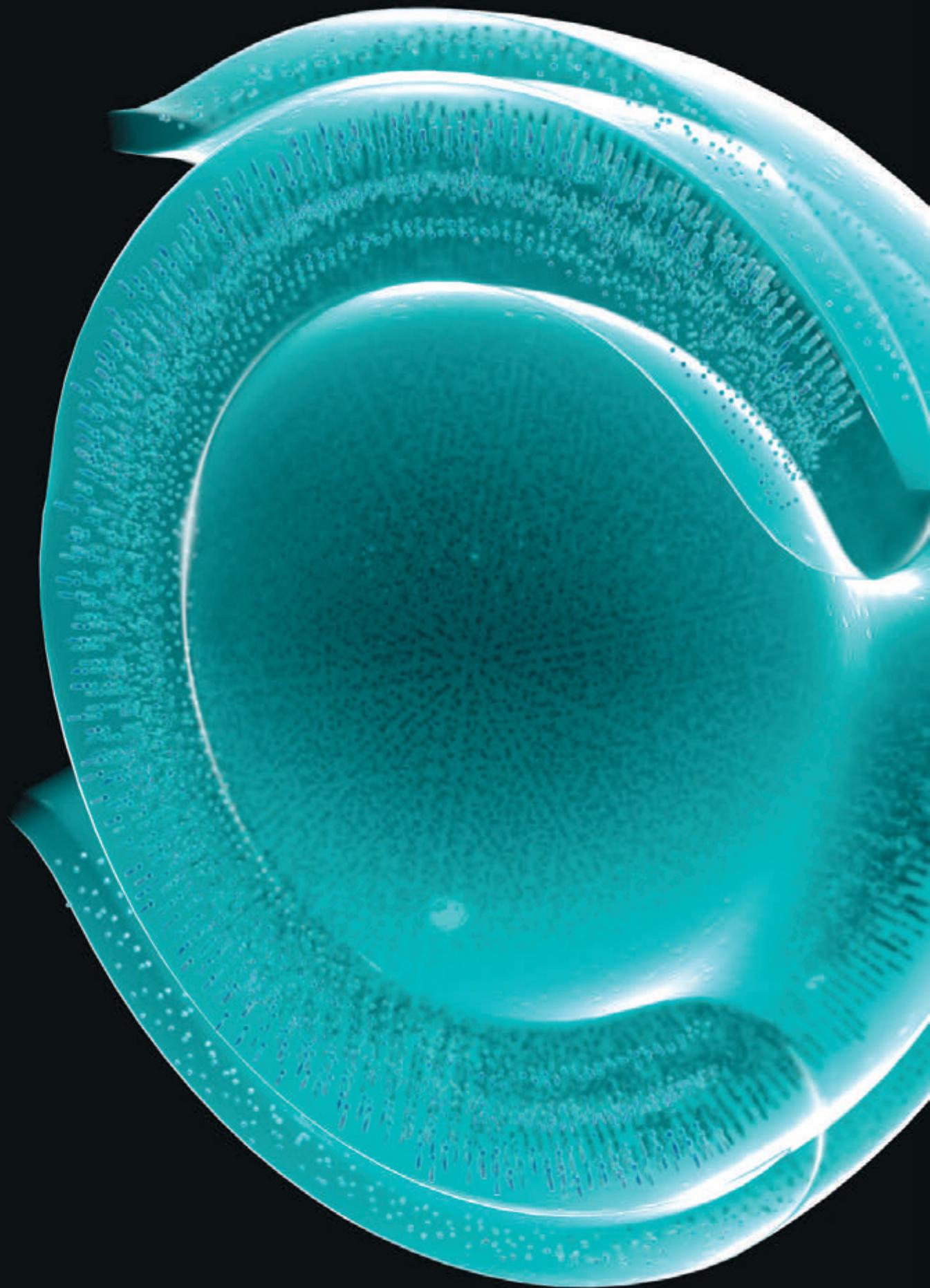
— Не обидно осознавать себя частью чьего-то эксперимента?

— Мне — нет. Ведь мы, создавая все более сложные биотехнологические системы, совершенствуя компьютеры, занимаемся тем же самым — пытаемся понять, как будут вести себя саморазвивающиеся системы. Нам это интересно, а любопытство, без сомнения, движет прогресс.

— Не кажется ли вам, что врачи, окруженные все более сложными и тонкими приборами, нередко перестают замечать конкретного пациента?

— С одной стороны, это вполне естественная вещь. Дело в том, что с появлением новых приборов и приспособлений для врача все большую ценность начинает представлять не выслушивание субъективной информации от больного, а объективные результаты обследования. Раньше разговор с больным занимал огромную часть врачебного времени, потому что был основным источником информации о болезни. Теперь же все больше объективной информации врач получает с помощью приборов, анализов. А любой врач стремится к достоверности. Аппаратно-аналитический сектор расширяется, сектор разговорный сужается, и это нормально. Однако вы правы: есть риск за такими источниками информации забыть о пациенте, перестать его замечать. Человеческие отношения между врачом и пациентом должны всегда оставаться главным содержанием медицины. Если не возникло доверительных отношений, лечение не может быть достаточно успешным. У меня есть заповедь: если я чувствую, что пациент не полностью мне доверяет, то в операционную не пойду. Лучше еще какое-то время потратить на беседу, убедить человека, расположить к себе, потому что вера больного в своего доктора — важная часть успеха. Хороший врач — это всегда хороший психолог. И в этом смысле клятва Гиппократа не устаревает никогда. Как бы ни менялись времена и методики, главным в медицине должны оставаться любовь к пациенту и искреннее желание ему помочь. ■

Подготовила Наталия Лескова



Йошики Сасаи

Вырастить свои глаз

Биологам удалось заставить клетки сформировать сетчатку глаза вне тела человека. Фактически это шаг к выращиванию органов для трансплантации



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Научный мир не перестает удивляться и восхищаться, что из стволовых клеток можно вырастить любые органы.
- Группа японских ученых, занимающая ведущее место в этой области, вырастила человеческую и мышиную сетчатки в лабораторных условиях.
- Это позволило лучше понять механизмы развития мозга и может дать начало новым способам лечения глазных заболеваний.

ОБ АВТОРЕ

Йошики Сасаи (Yoshiki Sasai) — директор группы органогенеза и нейрогенеза в Центре биологии развития института физико-химических исследований RIKEN в Кобе, Япония. Медицинское образование и докторскую степень в области молекулярной нейробиологии Сасаи получил в Высшей школе медицины Киотского университета.



Вутробе матери шарик из одинаковых клеток дает начало различным типам тканей. Они создают сложно организованные структуры, превращающиеся затем в полноценные органы человеческого тела. Внутренняя биологическая программа направляет каждый изгиб и складку клеточной ткани таким образом, чтобы получить в точности нужную форму и размер.

Ученые, которым хорошо знаком этот прогресс, никогда не перестают рассматривать эмбриональное развитие с тихим восхищением, которому сопутствует желание воссоздать раннее развитие в лабораторных условиях, чтобы лучше понимать биологию и использовать эту информацию для восстановления и трансплантации поврежденных тканей. Возможно, пришло их время. Новейшие успехи по расшифровке хитросплетений, лежащих в основе развития, дают надежду, что пересадка органов, выращенных вне тела, станет доступна для хирургии уже в ближайшее десятилетие.

Мой оптимизм основан на проведенном в нашей лаборатории исследовании стволовых клеток, превращающихся в разные другие типы клеток. Мы показали, что даже при выращивании ткани в виде культуры они могут сформировать сетчатку, ключевую структуру глаза, которая преобразует свет из окружающего мира в электрические и химические сигналы и передает их в мозг. В другой работе мы с коллегами вырастили ткань коры мозга и часть гипофиза. Проводя эксперименты, мы использовали системы врожденных сигналов организма, чтобы заставить плоский слой разрозненных клеток в чашке Петри сформировать упорядоченную трехмерную структуру. Благодаря поданным нами химическим

сигналам стволовые клетки создавали эти структуры самостоятельно, фактически строя свою собственную сетчатку. Мы надеемся, что сформированную таким способом ткань сетчатки можно будет использовать при лечении ряда глазных заболеваний, в том числе дегенерации желтого пятна.

Плавающая культура

Когда наша лаборатория взялась за выращивание сетчатки, мы попытались ответить на основной вопрос: как она формируется? Мы знали, что сетчатка возникает из той части эмбрионального мозга, которая называется промежуточный мозг. На ранних этапах эмбрионального развития участок промежуточного мозга расширяется, образуя глазной пузырь. Затем стенка пузыря вдавливается внутрь, он принимает форму глазного бокала, и из этой ткани в дальнейшем и развивается сетчатка.

Более столетия биологи спорили о том, какой конкретно механизм лежит в основе формирования глазного бокала. Дискуссия до сих пор еще продолжается среди ученых, изучающих развитие мозга. Один из неразрешенных до последнего времени вопросов — какова при этом роль соседних структур, таких как хрусталик и роговица. Некоторые исследователи утверждали, что хрусталик физически вдавливает сетчатку внутрь, тогда как другие ученые считали, что глазной бокал формируется без помощи ткани хрусталика.

Увидеть, что происходит в живом, развивающемся животном, крайне сложно. Поэтому около десяти лет назад мы решили поместить эмбриональные стволовые клетки в пробирку и воздействовать на них веществами, участвующими в формировании глаза. Эмбриональные

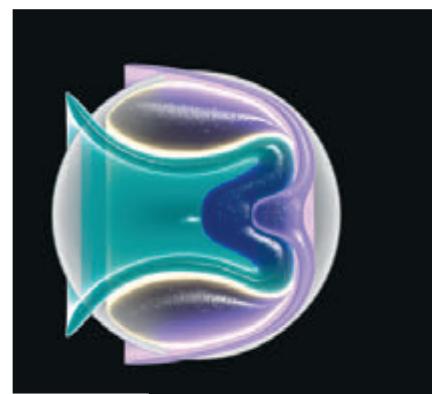
Основы

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

Развитие глаза из маленького комка эмбриональной ткани начинается, когда внутренний слой, нейроэпителий, выгибается наружу, и на девятый день возникает глазной пузырь. Внешние слои зародыша в то же время начинают расходиться (9,5 дней), что приводит на десятый день к формированию хрусталикового пузырька. Часть глазного пузыря изгибается, и формируется глазной бокал, из которого при взаимодействии с хрусталиковым пузырьком формируются сетчатка и зрительный нерв, а спереди образуется хрусталик (10,5 дней). Сетчатка состоит из трех отдельных слоев: палочки и колбочки; горизонтальные, биполярные и амакриновые клетки; ганглионарные клетки.



9-й день (мышь)



9,5-й день

стволовые клетки — наиболее незрелый тип стволовых клеток, и в конечном итоге они могут превращаться в любые ткани организма, от нейронов до мышц.

Методов для создания органов из культуры стволовых клеток не существовало. Пытаясь использовать эти клетки для создания нового органа, отдельные клетки сеяли на искусственную подложку в форме мочевого пузыря или пищевода. Биоинженерам не удалось получить выдающихся результатов, выращивая органы по этой технологии. Поэтому мы применили другой подход. Все началось с того, что в 2000 г. мы разработали метод, позволяющий получать из эмбриональных стволовых клеток мышцы разные типы нейронов. Мы разместили в чашке для культуры мышечные эмбриональные стволовые клетки в один слой вместе с питающими клетками, которые передавали химические сигналы, побуждающие стволовые клетки к дифференцировке во взрослое состояние. Мы понимали, что из плоского листа нам не получить трехмерный контур настоящих человеческих органов, но хотели посмотреть, достаточно ли только химических сигналов самих клеток, чтобы побудить их к созданию нейронов определенного типа на этапе раннего эмбрионального развития.

В 2005 г. мы совершили технический прорыв, выйдя за пределы ранних двумерных технологий нашей лаборатории и позволив стволовым клеткам плавать в растворе. Было несколько причин, почему мы начали использовать трехмерную культуру, которая называется плавающей. Во-первых, скопления клеток, распределенные в трехмерном пространстве, лучше формируют сложную структуру ткани, чем клетки, размещенные по подложке. Во-вторых, трехмерное распределение облегчает взаимодействие клеток друг с другом, необходимое для развития сложной структуры.

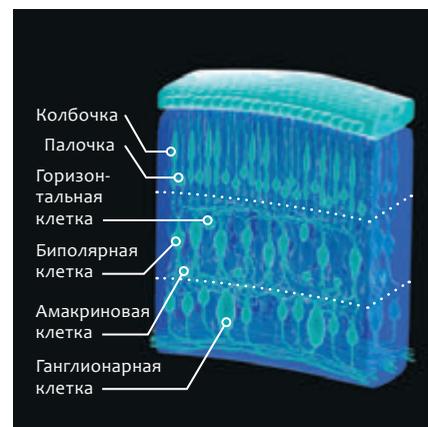
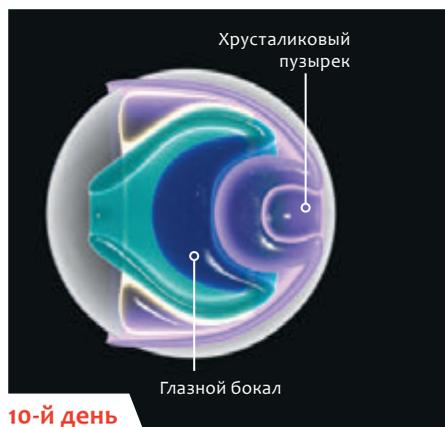
Применяя новый метод, мы поместили взвесь из отдельных клеток в небольшое количество жидкости и обнаружили, что они начали слипаться друг с другом. Из клеток, образующих эти маленькие скопления (примерно по 3 тыс. клеток каждое), можно в дальнейшем получить незрелые нервные клетки (клетки-

предшественницы), из которых позже формируются нейроны головного мозга. Потом клетки начинают подавать друг другу сигналы и через три-четыре дня спонтанно организуются в полую сферу, образованную одним слоем нейроэпителия. Мы назвали этот метод образования клеточного слоя *SFEBq*-культурой (бессывороточная плавающая культура эмбрионоподобных скоплений с быстрым слипанием).

В эмбрионе нейроэпителиальные клетки в итоге формируют конкретные мозговые структуры, после того как получают извне определенные химические сигналы. Один из таких сигналов запускает развитие промежуточного мозга, из которого формируются сетчатка и гипоталамус (отдел мозга, контролирующий пищевую мотивацию и многие другие жизненно важные процессы). Когда в лаборатории нам удалось получить сферы из клеток, мы попытались стимулировать их превращение в предшественников сетчатки, добавляя к *SFEBq*-культуре белковую смесь, содержащую вещества, выполняющие схожую функцию у эмбрионов.

После этого сферы оставались в плавающей культуре еще на несколько дней, и ткань эпителия сетчатки спонтанно изгибалась, формируя структуру, подобную главному пузырю. Более того, пузырь спонтанно менял конфигурацию: часть сферы втягивалась внутрь. Это приводило к созданию структуры, напоминающей бокал для коньяка, похожий на глазной бокал эмбриона. Как известно, у живых животных глазной бокал, сформированный из эмбриональных стволовых клеток, состоит из двух слоев: наружного эпителиального и внутреннего — собственно сетчатки.

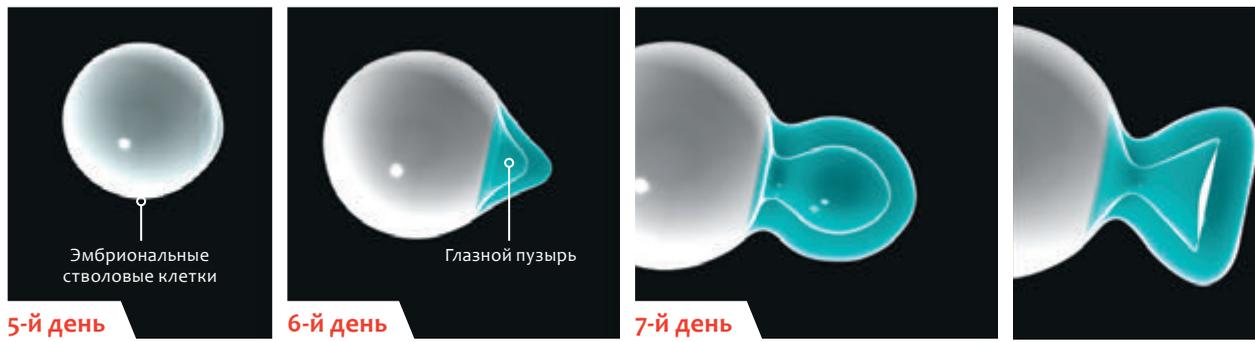
Другими словами, соединение отдельных стволовых клеток из культуры в пробирке приводит к поразительному результату — формированию упорядоченной структуры глаза. В отличие от ситуации внутри эмбриона здесь рядом с глазным бокалом не было ни хрусталика, ни роговицы. Это открытие дает однозначный ответ на давний вопрос, нуждается ли предшественник сетчатки во внешних воздействиях со стороны соседних клеток, например от клеток хрусталика. Формирование



РАЗВИТИЕ В ПРОБИРКЕ

Выращивание сетчатки из эмбриональных стволовых клеток повторяет развитие глаза зародыша в теле матери. Эта методика имеет огромную ценность для фундаментальных

исследований и поможет в создании новых методов лечения людей с нарушенным зрением. На иллюстрации показано, как эмбриональные стволовые клетки собираются



сетчатки, по крайней мере *in vitro*, — самоорганизующийся процесс, основанный на внутренней программе, которая присутствует в самих клетках.

Слои сетчатки

Нормальное развитие, которое наблюдается у эмбрионов, продолжает происходить и в пробирке. После двух дополнительных недель, проведенных в плавающей культуре, глазной бокал увеличивается до 2 мм в диаметре, и однослойный эпителий сетчатки становится, как и у эмбриона, слоистой структурой, содержащей все шесть типов клеток, присутствующих во взрослой сетчатке. Слоистая структура состоит из внешнего фоторецепторного слоя и внутреннего слоя нейронов, которые в норме соединяют глаз с мозгом. В середине, как и ожидалось, в несколько слоев располагаются вставочные нейроны. Как и предыдущие этапы, формирование этих слоев обусловлено внутренней программой, которая контролирует, какие клетки надо создавать и как организовывать их в трехмерную структуру.

Но наша работа не закончена. По-прежнему остаются вопросы, каким образом формируется глазной бокал и как шар из клеток превращается в упорядоченную структуру. Спонтанное возникновение сложной структуры из гомогенного комка материи сопровождается нарушением симметрии и происходит на протяжении всего эмбрионального развития. Если бы нарушения симметрии не было, то многочисленные клеточные деления не привели бы ни к чему, кроме недифференцированной массы клеток. Наша культура самоорганизующихся эмбриональных стволовых клеток, по-видимому, представляет собой идеальную экспериментальную модель для понимания этих механизмов эмбриогенеза млекопитающих.

Другой не до конца понятный вопрос — как эпителий сетчатки, первоначально представляющий собой просто слой клеток, программирует форму глазного бокала. В целом механические воздействия и изменение жесткости контролируют преобразования эпителиальной ткани. Изменяя направление воздействия и жесткость ткани в различных частях эпителия во время

формирования глазного бокала *in vitro*, мы обнаружили три события, приводящие к появлению определенной структуры ткани. Когда формируется глазной бокал, жесткость сетчатки уменьшается, гибкость увеличивается. В то же время клетки в местах соединения сетчатки с эпителием принимают клинообразную форму, и за счет их быстрого расширения сетчатка в итоге начинает втягиваться внутрь. Эти три шага необходимы для создания глазного бокала. Когда их смоделировали на компьютере, то получили уже знакомую нам форму глазного бокала.

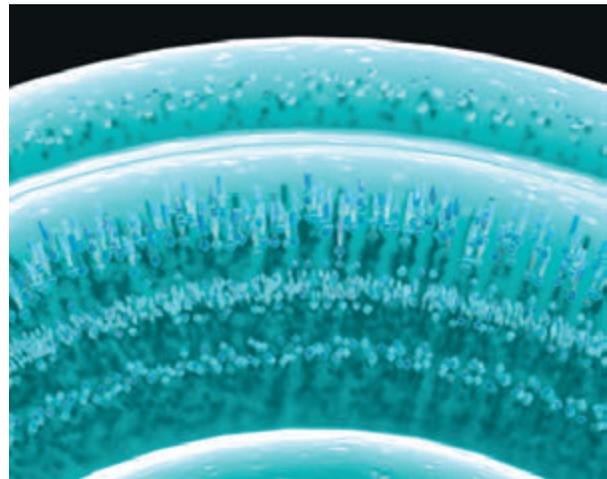
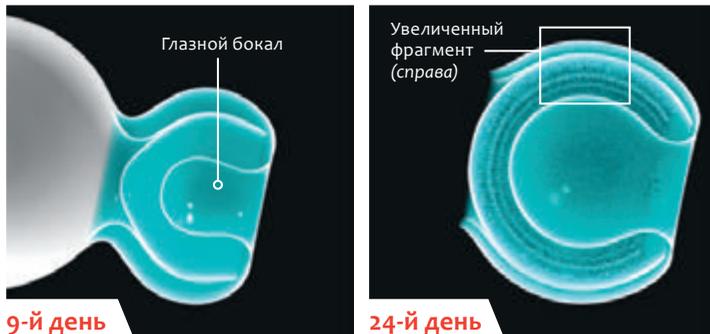
Улучшить зрение

Конечно, люди, слышавшие о наших исследованиях, интересуются, могут ли работы на мышиных эмбриональных стволовых клетках в итоге помочь людям с глазными заболеваниями. Мы достигли некоторого прогресса в этом направлении. В частности, в нашей лаборатории совсем недавно удалось создать глазной бокал и многослойную нервную ткань из человеческих эмбриональных стволовых клеток. Предполагается, что похожая методика будет применима к человеческим индуцированным плюрипотентным стволовым клеткам — «взрослым» клеткам, которые перепрограммированы таким образом, что могут быть использованы так же, как и эмбриональные стволовые клетки. Кроме того, мы изобрели улучшенный метод криоконсервации, позволяющий надежно сохранять в жидком азоте ткани человеческой сетчатки, полученные из эмбриональных клеток.

Благодаря данным исследованиям появляется перспектива медицинского применения тканей сетчатки. Например, мы сможем использовать искусственную сетчатку для изучения особенностей распространенных глазных заболеваний и создавать лекарства и генно-терапевтические методы для предотвращения разрушения сетчатки.

Наши исследования могут быть полезны при трех типах заболеваний сетчатки — макулодистрофии, пигментной дегенерации и глаукоме, от которых страдают миллионы людей во всем мире. Каждое из них вызывает

вместе, и уже через пять дней можно наблюдать ранние стадии формирования глазного пузыря.



проблемы в своем слое сетчатки. При макулодистрофии нарушается целостность пигментного эпителия, что приводит к повреждению фоторецепторов, преимущественно центральной зоны сетчатки. При пигментной дегенерации сетчатки постепенно, на протяжении многих лет, отмирают палочки (один из двух типов фоторецепторов). Первый симптом при возникновении этого заболевания — «куриная слепота» (нарушение сумеречного зрения). Позже пациент теряет большую часть зрительного поля, остается только маленькая центральная область. И, наконец, глаукома — повреждение нейронов, входящих в состав зрительных нервов и соединяющих сетчатку с центром обработки зрительной информации в затылочной зоне коры головного мозга.

Из трех перечисленных заболеваний макулодистрофия, по-видимому, наиболее проста для лечения с помощью клеточной заместительной терапии. Человеческие эмбриональные стволовые клетки и индуцированные плюрипотентные стволовые клетки могут относительно легко создавать пигментный эпителий сетчатки как при традиционном способе выращивания культуры клеток, так и при выращивании по нашей методике. Пилотные клинические испытания этих клеток уже начались в США, и такие же работы планируются в других странах. В этих исследованиях клетки пигментного эпителия, полученные из стволовых клеток, с помощью тонкой иглы вводятся в пространство между пигментным эпителием и фоторецепторным слоем, чтобы заменить по крайней мере часть поврежденной ткани.

В ходе проведения клеточной терапии при пигментной дегенерации сетчатки возникнут дополнительные технические сложности. Наша методика, в отличие от общепринятой, позволяет получать фоторецепторы — палочки, которые можно использовать для трансплантации. Однако чтобы трансплантация стала возможной, прежде нужно решить другую важную проблему. В отличие от такой простой ткани, как эпителий, фоторецепторы должны еще встроиться в нервную систему глаза, а именно — они должны соединиться с другим типом

чувствительных клеток, биполярными клетками, и мы до сих пор не знаем, как обеспечить создание такой связи. В случае успешного проведения трансплантации фоторецепторов поможет людям с тяжелой формой заболевания хотя бы частично вернуть зрение.

Из трех перечисленных выше заболеваний глаукома наиболее сложно поддается лечению с помощью клеточной терапии. Необходимые нейроны можно получить из эмбриональных стволовых клеток. Однако в организме после рождения прорастание зрительного нерва поддается, и никому до сих пор не удалось понять, каким образом можно получить нужные аксоны (отростки, из которых состоит зрительный нерв и по которым сигнал идет в мозг), чтобы соединить глаз с мозгом.

Мы выяснили, что получение ткани из эмбриональных стволовых клеток дает гораздо больше возможностей, чем искусственные технологии культивирования тканей, при которых клетки помещают на субстрат в форме куска кожи или пузыря. Теперь надо набраться терпения и попытаться понять, что развивающиеся клетки могут рассказать нам об интригующих процессах, лежащих на пути превращения от одиночной клетки к такому сложному органу, как глаз.

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Self-Organizing Optic-Cup Morphogenesis in Three-Dimensional Culture. Mototsugu Eiraku et. al. in *Nature*, Vol. 472, pages 51–56; April 7, 2011.
- Embryonic Stem Cell Trials for Macular Degeneration: A Preliminary Report. Steven D. Schwartz et al. in *Lancet*, Vol. 379, No. 9817, pages 713–720; February 25, 2012.
- Self-Formation of Optic Cups and Storable Stratified Neural Retina from Human ESCs. Tokushige Nakano et al. in *Cell Stem Cell*, Vol. 10, No. 6, pages 771–785; June 14, 2012.
- Больше про Йошики Сасаи и работу в его лаборатории в Кубе, Япония, см. по адресу: ScientificAmerican.com/nov2012/sasai



Лоуренс Розенблюм

Сговор чувств

Наши многочисленные ощущения взаимодействуют друг с другом в значительно большей степени, чем считалось ранее. То, что мы слышим, во многом зависит от того, что мы видим и чувствуем

В конце 1970-х гг. ФБР пригласило на работу Сью Томас (Sue Thomas) и восемь других глухих людей — для анализа отпечатков пальцев. Предполагалось, что глухим будет проще сохранять концентрацию на задаче, требующей особой тщательности. Однако с первого же дня Томас поняла, что работа невыносимо однообразна. Когда начальник пригласил ее в свой кабинет на встречу с другими сотрудниками, она была готова к тому, что из-за своих частых жалоб останется безработной. Но ее не уволили, а, наоборот, в некотором смысле повысили. Ей показали видеозапись без звука, на которой беседовали двое подозреваемых, и попросили расшифровать этот разговор.

Во время бесед с Томас агенты ФБР заметили, как искусно она читает по губам. Как они и предполагали, Томас легко расшифровала диалог подозреваемых, которые оказались причастны к незаконным азартным играм. Так началась карьера Сью Томас, первого глухого специалиста ФБР по чтению по губам.

Томас всю жизнь читает по губам, общаясь с другими людьми, поэтому у нее этот навык хорошо развит, но и все мы используем эту способность больше, чем нам кажется. На самом деле, мы хуже понимаем речь, если не можем видеть губы собеседника, особенно в шумном месте или если у говорящего выраженный непривычный для нас акцент. Обучение воспринимать речь глазами так же, как и на слух, — важная часть стандартного речевого развития, поэтому слепые дети, которые не могут видеть рты людей, разговаривающих вокруг них, учатся некоторым аспектам речи дольше, чем обычные малыши. Мы просто не можем дать им подсказку, что можно соотносить речь с видимым движением губ. В последние годы исследование мультисенсорного восприятия речи произвело революцию в понимании того, как мозг обрабатывает информацию, поступающую от разных органов чувств.

Нейробиологи и психологи почти отказались от старых представлений, что мозг — это что-то вроде швейцарского армейского ножа, в котором много областей, каждая

из которых отвечает за свою функцию. Напротив, сейчас ученые считают, что эволюционное развитие мозга способствовало формированию максимально возможно взаимного влияния между разными органами чувств таким образом, что разные сенсорные области мозга оказываются физически переплетены.

Разные анализаторы перехватывают информацию друг у друга и вмешиваются в чужую работу. Например, хотя зрительная кора преимущественно отвечает за зрение, она прекрасно умеет обрабатывать и другую сенсорную информацию. Зрячие люди, временно лишенные возможности видеть, за 90 минут слепоты становятся чрезвычайно чувствительными к прикосновениям за счет участия зрительной коры; кроме того, с помощью томографии показано, что у слепых людей зрительная кора задействована в обработке слуховой информации. Когда мы едим чипсы, звук хруста отчасти определяет их вкус, и исследователи могут изменить оценку вкуса, подкорректировав хрустящий звук, который слышат испытуемые. Когда мы стоим неподвижно, положение нашего тела определяет, куда мы будем смотреть и что мы там увидим. Проще говоря, за последние 15 лет ученые показали, что ни один из органов чувств не работает сам по себе. Кроме того, эти открытия предлагают новый подход к усовершенствованию аппаратов для слепых и глухих, например слухового имплантата.

Беззвучные слоги

Один из ранних и наиболее достоверных примеров мультимодального восприятия известен как эффект Мак-Гурка, он был впервые описан Гарри Мак-Гурком (Harry McGurk) и Джоном Мак-Дональдом (John MacDonald) в 1976 г. Если вы смотрите видеоролик, в котором кто-то многократно произносит беззвучно, одними губами, слог «га», и при этом слушаете аудиозапись, на которой тот же человек говорит «ба», вам послышится «да». Беззвучное «га» изменит ваше восприятие звучащего «ба», поскольку в мозге происходит обобщение зрительной и слуховой информации. Эффект Мак-Гурка действует во всех языках и продолжает действовать, даже если вы занимались его изучением на протяжении 25 лет, — я могу подтвердить это на своем примере.

То, что вы слышите, зависит от того, что вы ощущаете. В 1991 г. Карол Фаулер (Carol Fowler), работавшая тогда в Дартмутском колледже вместе со своими коллегами, предложила необученным добровольцам попробовать метод Тадома, при котором человек пытается понять речь, положив пальцы на губы, щеки и шею говорящего.

! ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Раньше нейробиологи считали, что мозг подобен швейцарскому армейскому ножу, и разные части его действуют независимо друг от друга, воспринимая от разных органов чувств зрительные, звуковые, обонятельные, вкусовые и осязательные сигналы.
- В результате исследований в области психологии и нейробиологии в последние три десятилетия оказалось, что мозг — мультисенсорный орган, который постоянно объединяет информацию, поступающую от разных органов чувств.
- Благодаря этому изменилось понимание того, как работает мозг, появились новые возможности помочь слепым и глухим и были улучшены программы распознавания речи.

ОБ АВТОРЕ

Лоуренс Розенблюм (Lawrence D. Rosenblum) — профессор психологии Калифорнийского университета в Риверсайде, автор книги «Смотри, что я говорю: необычайная сила наших пяти органов чувств» (*See What I'm Saying: The Extraordinary Power of Our Five Senses*).



До создания слуховых имплантатов многие слепоглухие люди, в их числе и Хелен Келлер (Helen Keller), пользовались этим методом. Оказалось, что то, какой слог из репродуктора слышит участник эксперимента, зависит от слога, воспринимаемого им на ощупь.

В 1997 г. Гемма Калверт (Gemma Calvert), работавшая в то время в Оксфордском университете, выявила область мозга, которая сильнее всего активизируется при чтении по губам. Добровольцы, не имеющие специального опыта чтения по губам, наблюдали за лицом человека, бесшумно считающего от одного до девяти. Калверт с коллегами обнаружили, что при этом активизируется слуховая кора, где обрабатываются звуковые сигналы, и связанные с ней зоны, которые обычно работают, когда человек слышит речь. Это был один из первых случаев, когда удалось показать, что область мозга, которая, как считалось, отвечает за обработку сигналов одной модальности, на самом деле подвержена влиянию и сигналов от других органов чувств. Более поздние исследования дали дальнейшие доказательства взаимодействия разных видов сенсорной информации. Например, сейчас ученым известно, что часть ствола мозга, отвечающая за слух, реагирует и на видимую речь, хотя раньше считалось, что эта область участвует только в первичной обработке звуковых сигналов. С помощью методов нейровизуализации было показано, что при эффекте Мак-Гурка (человек слышит «да», хотя звучит слог «ба») мозг ведет себя так, как будто слог «да» действительно прозвучал в ушах у испытуемого.

Эти открытия свидетельствуют о том, что для мозга одинаково важны характеристики речи, поступающие от ушей, глаз и даже через кожу. Это еще не значит, что разные виды ощущений одинаково информативны: очевидно, что слух улавливает больше деталей произношения, чем зрение или осязание. Правильнее будет сказать, что мозг анализирует и объединяет разные типы речевой информации независимо от их модальности.

У вас на лице написано

В других случаях разные органы чувств помогают друг другу обработать одну и ту же информацию. Специфическая манера речи, например, позволяет определить личность говорящего независимо от того, слышите вы или видите, как он говорит. Мы с коллегами снимали говорящих людей и обрабатывали полученное видео, убирая все узнаваемые черты лица, — преобразовывали лица в набор светящихся точек, которые метались и подпрыгивали как светлячки, и на их фоне появлялись чьи-то щеки и губы. Когда мы демонстрировали это видео, добровольцы смогли только по движениям губ распознать в этих безликих изображениях своих друзей.

По простым звукам речи тоже можно догадаться о личности человека. Роберт Ремес (Robert Remez) из Колумбийского университета вместе со своими коллегами обработал нормальную запись речи так, что она стала похожей на звуки, которые издавал робот R2-D2 в «Звездных войнах».

Несмотря на потерю таких индивидуальных характеристик голоса, как высота и тембр, после обработки сохранилась манера речи, по которой говорящего могут опознать его друзья. Удивительно, что даже по такой аудиозаписи испытуемые способны соотнести говорящего с его видеоизображением, состоящем из точек.

Тот факт, что в этих искаженных аудио- и видеовersionях сохраняется информация о манере речи, свидетельствует о том, что восприятия разных модальностей в мозге связаны друг с другом. Это подтверждается исследованиями с использованием нейровизуализации: когда человек слышит кого-то знакомого, у него активируется веретенообразная извилина — область, которая участвует в распознавании лиц.

Перечисленные открытия позволили сделать еще более необычный прогноз. Если названные формы восприятия смешиваются, тогда обучение чтению по губам должно одновременно улучшать способность слышать произнесенные слова. Мы предложили добровольцам, не имеющим опыта чтения по губам, потренироваться при часовом просмотре видеозаписи без звука, на которой кто-то говорил. Потом им давали прослушать набор предложений, звучащих на фоне беспорядочных шумов. Добровольцы не знали, что половина из них слушала предложения, которые произносил тот же человек, чью речь они до этого пытались читать по губам, тогда как другая половина слушала речь

Восприятие

МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ

Уже несколько десятилетий ученым известно, что определенные области мозга объединяют информацию от разных органов чувств. Например, одна область может объединять зрительную и соматосенсорную информацию, такую как прикосновение и температура. Сейчас уже очевидно, что мультимодальная чувствительность гораздо шире распространена в мозге, чем предполагали ранее, а это означает, что в процессе эволюции мозга поддерживалось такое перекрестное взаимодействие.



Традиционная схема



Новая схема

Эти иллюстрации частично отражают данные, полученные на мозге обезьян. Показаны только первичные сенсорные области.

другого человека. Испытуемые, которые читали по губам и слушали речь одного и того же человека, лучше выделяли сказанное из шума.

Смешанное восприятие

Исследования мультисенсорного восприятия речи вдохновили специалистов на изучение других, ранее не изученных, типов взаимодействий между органами чувств. Например, большинство из нас знают, что запах — важный компонент вкуса, но некоторые исследования показывают, что зрение и слух тоже могут воздействовать на вкусовые ощущения. Наиболее яркий пример: ученые обнаружили, что если апельсиновый напиток подкрасить красным, то он приобретает вишневый вкус, и наоборот. В 2005 г. Массимилиано Зампини (Massimiliano Zampini) из Университета Тренто вместе со своими коллегами проигрывали разные хрустящие звуки, в то время как испытуемые ели чипсы, и оказалось, что человек по-разному воспринимал свежесть и хруст чипсов в зависимости от звука. Когда люди смотрят на непрерывное движение вниз, например на водопад, им кажется, что та поверхность, к которой они прикасаются руками, движется вверх. Другие данные свидетельствуют о том, что кроссмодальное восприятие подсознательно меняет наше поведение. Том Штоффреген (Tom Stoffregen) из Миннесотского университета вместе со своими коллегами попросили добровольцев стоять ровно и переводить

SOURCE: "IS NEOCORTEX ESSENTIALLY MULTISENSORY?" BY ASIF A. GHAZANPAR AND CHARLES E. SCHROEDER. IN TRENDS IN COGNITIVE SCIENCES, VOL. 10, NO. 6 (JUNE 2006 (emerging scheme)), UPDATED PER LAWRENCE D. ROSENBLUM, AARON R. SEITZ AND NHALEEL A. PALAZ. Illustration by A3S Biomedical Animation Studio

Исследования восприятия полезны и инженерам, работающим над приборами, распознающими лица и речь. Часто такие устройства даже при умеренном уровне фонового шума очень плохо идентифицируют речь. Обучение подобных приборов анализу движений рта на видео значительно повысит точность, причем это актуально даже для встроенных камер в телефонах или ноутбуках

взгляд с ближней мишени на удаленную. Это простое перемещение взгляда приводило к незначительному, но систематическому изменению положения тела.

Пожоих фактов обнаружилось такое количество, что многие ученые теперь считают, что чувствительные области мозга по своей природе мультимодальны. Эта новая модель согласуется и с имеющимися доказательствами поразительной пластичности мозга: его области могут менять свою функцию даже при возникновении краткосрочной или слабой сенсорной депривации. Например, с помощью методов нейровизуализации в последние годы удалось подтвердить, что достаточно завязать глаза человеку на полтора часа, чтобы его зрительная кора начала реагировать на прикосновения. Вовлечение зрительной коры действительно повышает чувствительность к прикосновениям. В связи с этим, например, близорукость часто улучшает слуховые и пространственные навыки, даже если человек носит очки (в которых большая часть поля зрения по краям остается размытой). В общем, кроссмодальная компенсация распространена значительно шире, чем считалось ранее.

Эти открытия уже пошли на пользу людям, потерявшим способность воспринимать ощущения от одного из основных органов чувств. Например, исследования показали, что слуховые имплантаты становятся менее эффективными, если у мозга было слишком много времени на то, чтобы перепрофилировать ненужную слуховую кору для других видов чувствительности, например зрительной и тактильной. Поэтому, как правило, глухим от рождения детям рекомендуется начинать

использовать имплантаты как можно раньше. Кроме того, исследователи рекомендуют глухим детям со слуховыми имплантатами смотреть видеозаписи говорящих людей, чтобы научиться объединять зрительную информацию от движений губ со слуховой.

Исследования восприятия полезны и инженерам, работающим над приборами, распознающими лица и речь. Часто такие устройства даже при умеренном уровне фонового шума очень плохо идентифицируют речь. Обучение подобных приборов анализу движений рта на видео значительно повысит точность, причем это актуально даже для встроенных камер в телефонах или ноутбуках.

В некоторых случаях представление о мультимодальности восприятия кажется противоречащим нашему повседневному опыту. Мы склонны разделять разные типы чувствительности, нам кажется, что каждый из органов чувств отвечает за восприятие совершенно отдельной части нашего мира. Мы используем глаза, чтобы видеть других людей, а уши — чтобы слышать их, мы чувствуем твердость яблока руками, но определяем его вкус с помощью языка. Однако как только сенсорная информация достигает мозга, такая строгая классификация разрушается. Мозг не направляет зрительную информацию от глаз по отдельности в одну нейронную емкость, а слуховую информацию от ушей в другую, как если бы это был контейнер для сортировки монет. Скорее, наш мозг извлекает значимое всеми возможными путями, смешивая разные формы сенсорного восприятия. ■

Перевод: М.С. Багоцкая

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Speech Perception as a Multimodal Phenomenon. Lawrence D. Rosenblum in *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 17, No. 6, pages 405–409; December 2008.
- *The New Handbook of Multisensory Processing*. Edited by Barry E. Stein. MIT Press, 2012.
- Эффект Мак-Гурка и другие видеозаписи про мультимодальное восприятие см. по адресу: ScientificAmerican.com/jan2013/multisensory-perception



НОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ



ОТКРЫТЫЙ КОСМОС



НА ПОЛНУЮ МОЩНОСТЬ



ЭКСПЕРИМЕНТ

24Т **Е** ХНО

Научно-развлекательный
телеканал о технике,
технологиях и невероятных
экспериментах

-  <http://24techno.ru>
-  <http://www.facebook.com/24techno.ru>
-  <http://vk.com/24techno>
-  <http://24techno.livejournal.com>
-  <https://twitter.com/#!/24techno>



BA MIRCA HIE



ОТВЕЧАЮ

*По материалам бесед с основателем и координатором проекта «RuGenerations — Теория поколений в России», психолингвистом **Евгенией Шамис** и психологом **Алексеем Антиповым***

Для того чтобы разглядеть, как мы будем жить в ближайшем будущем, нужно прежде всего внимательно всмотреться в далекое прошлое или хотя бы «отмотать» три-четыре поколения назад. В мире все повторяется, что будет — то уже было. Это говорит не только Библия, но и созданная не так давно теория поколений. Пользуясь последней, мы уже сегодня можем довольно уверенно спрогнозировать, что будет волновать наших ближайших потомков, как они будут жить и что изменится в нашей жизни в течение ближайших 20 лет.

Не вечные ценности

Поколение, что становится ясно уже из самого слова, — это «колено» в стройной цепочке последовательных человеческих жизней. Каждое такое «колено» отлично от предыдущего, и каждое плохо понимает

предыдущее. Но понять и даже предсказать, каким получится, как будет жить и что ценить поколение следующее, вполне возможно.

Рождение теории и ее адаптация для России

В начале 1990-х гг. прошлого века два американца — экономист и демограф Нил Хоув (Neil Howe) и драматург и историк Уильям Штраус (William Strauss) — независимо друг от друга, изучая такой популярный социальный феномен, как конфликт поколений, одновременно пришли к одинаковым выводам. Им показалось странным, что модели поведения людей, принадлежащих к одному поколению, совершенно не похожи на поведенческие схемы представителей поколения другого в пору того же возраста. Проще говоря, сегодняшние 20-летние «дети» в одних и тех же ситуациях ведут себя

примерно одинаково, но совершенно не так, как вели себя в том же возрасте их «отцы», «деды» и «прадеды». А с «прапрадедами» уже есть явное сходство. Объединившись, исследователи в 1991 г. написали книгу «Поколения» (*Generations*), в которой им удалось проследить изменения, происходившие в поведении американского социума со времен XVI в. Получалась интересная вещь: явно прослеживались четыре основных типа поколений, четко сменявших друг друга. Условно Хоув и Штраус разделили эти типы на «пророков/идеалистов», «кочевников/активистов», «героев/примиренцев» и «художников/приспособленцев». Поскольку смена происходила почти без сбоев, авторы книги назвали периоды, в которые проживали эти поколения, по аналогии со временами года «зимним» периодом (для «художников»), «весенним» (для «пророков»), «летним» (для



«кочевников») и «осенним» (для «героев»). На основе этой и написанной чуть позже теми же авторами книги «Четвертое превращение» (*The Fourth Turning*) и родилась теория, известная сейчас как теория поколений.

В 2003 г. команда проекта «*Ru-Generations — Теория поколений в России*» начала проводить исследования поколений в России (анализ исторических событий, социокультурные, семантические и смысловые исследования) — например, анализировать границы поколений (время их смены) в нашей стране, исследовать предпосылки формирования ценностей, особенности их проявления в жизни и на работе, межпоколенческие и внутрипоколенческие конфликты в России и странах СНГ. Эти данные проверялись на практике — использовались для разработки управленческих, коммуникационных, маркетинговых решений, для определения стратегических задач. За десять лет исследований и практического применения ценностей было выявлено много закономерностей, деталей: например, что ценности поколений в России совпадают с другими странами мира, а время появления поколений в разных странах различается. Например, в США и странах Западной Европы поколение миллениума начинается с 1981 г., а в России и странах СНГ — только с 1985 г.

Сегодня среди наиболее популярных тем в российском обществе — семья, образование разных поколений.

В бизнесе наибольший интерес вызывают несколько поколенческих вопросов: привлечение и удержание представителей разных поколений в условиях дефицита молодежи, подготовка межпоколенческих команд, поиск и подготовка преемников, перестройка рынков под потребности разных поколений, направления подготовки специалистов, выстраивание отношений с клиентами.

Системный подход

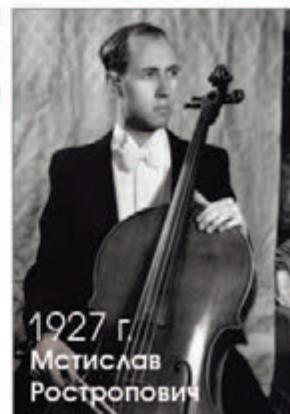
В основу теории Хоув и Штраус положили мысль о том, что поведение человека зависит от того, в каких условиях он жил и воспитывался до 10–12 лет. Именно к этому возрасту у нас формируется собственная система подсознательных ценностей, которую мы потом и проносим через всю жизнь. Сборник правил, свод не подлежащих сомнению аксиом. В этом возрасте человек еще не обладает способностью анализировать происходящее, у него еще нет понятия о том, что такое хорошо, а что такое плохо, что правильно, а что нет. Поэтому все, что он получает, все уроки и установки, он воспринимает как норму, нечто само собой разумеющееся. Все это превращается в настоящий фундамент, на котором уже и строится здание сознательной жизни, наше мировоззрение. Не будет фундамента — и все рухнет. А то, каким этот фундамент выйдет, зависит от того, в каких условиях ребенок рос, какие события в этот период роста происходили и как его воспитывали в семье.

Зеркало для героев

В нашем мире одновременно существуют представители шести поколений. И четыре из них («победители» и «миллениумы», «молчаливые» и Z) попарно почти копируют друг друга.

«Победители». Самые старшие среди ныне живущих россиян — это «герои», родившиеся в период «осени» 1901–1922 гг. и получившее условное название «поколение G1» или «поколение победителей». Не сложно посчитать, что их ценности формировались в период до начала 1930-х гг. А это значит, что на них наложили свои отпечатки целых три революции — 1905 г., февральская и октябрьская 1917 г., гражданская война, две пандемии (сыпной тиф и «испанка»), НЭП, первые пятилетки, стахановское движение, коллективизация, электрификация. И вот результат: те, кому сейчас больше 90, несмотря ни на что почти безоговорочно верят в светлое будущее, отличаясь при этом завидным трудолюбием, оптимизмом и высокой ответственностью. Современники Павки Корчагина, они и в свои годы ходят, сами делают уборку дома, активно высказывают свою позицию. Для «победителей» жизнь — это непрерывная череда поступков, вне которой они ощущают себя дискомфортно и неуверенно. А вот активно действовать — строить, побеждать, изменять мир к лучшему — они умеют хорошо. При этом они неисправимые оптимисты, свято верящие в идеалы светлого будущего, в то,

МОЛЧАЛИВЫЕ



что «через четыре года здесь будет город-сад» и что для этого надо только постараться каждому. «Победители» — лучший выбор для тех, кто хочет организовать пикет, демонстрацию или шествие. Они готовы стоять насмерть не за деньги, а за правду. Деньги для них важны, но они не выступают решающим фактором — слишком четко отпечатались в их подсознании времена, когда деньги вообще ничего не решали. Зато идеология как база жизни для них принципиальна. Ради принятой идеологии они готовы сражаться, бороться, побеждать. Они ее отстаивают, продвигают, искренне борются за ее ценности.

Из них вышли настоящие герои: войны — Александр Покрышкин (1913), Алексей Маресьев (1916), Николай Гастелло (1907), Иван Кожедуб (1920), ветераны — наши дедушки и бабушки; труда — Алексей Стаханов (1906), Паша Ангелина (1913); новых отраслей — такие как Валерий Чкалов (1904). Примечательно, что «победители» не подчеркивают свое геройство, они просто живут с ним.

«Молчаливые». Следующее поколение, родившееся в период с 1923 по 1943 гг. («зима», «художники»), получило название «молчаливого поколения». «Молчаливые» — почти полная противоположность породившим их «победителям». Воспитанные в условиях сталинских репрессий, коллективизации, индустриализации, Второй мировой войны, послевоенной разрухи, голода, они внешне могут быть

немногословны, исполнительны и чрезвычайно терпеливы. Такие характеристики позволили им выжить и реализовать планы в тяжелых экономических и идеологических условиях. Уважение к закону для них первостепенно, как и уважение к должности и статусу человека. Начальник, с их точки зрения, назначается не случайно, а значит не может быть не прав. Подчинение вышестоящему по карьерной лестнице для «молчаливого» — это совсем не признак трусости или лицемерия, это незыблемая жизненная установка, позволяющая всем вместе выжить, да еще и достигнуть успеха в сложных для страны условиях. Но если представители этого поколения видят несправедливость, неправильность поведения власти, руководителей, они готовы брать на себя ответственность за изменение ситуации — и менять ее.

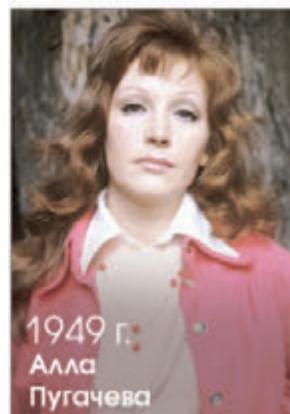
То, что именно в их период формирования были изобретены массовые антибиотики, перевернувшие медицину и сделавшие безопасными неизлечимые ранее заболевания, внушило им безоговорочное уважение к врачам и науке. Слово доктора для «молчаливых» — закон, не подлежащий обсуждению. Врач для них больше, чем врач. В поликлинику они приходят, с одной стороны, лечиться, а с другой — почти как на исповедь: поговорить, посоветоваться, пожаловаться на жизнь.

Понятие семьи для «молчаливого» свято. В семье он чувствует себя полноценным и свободным человеком.

Здесь он может говорить на любые темы, обсуждать проблемы, о которых будет молчать в любых других местах. На работе, в поликлинике, в санатории, в гостях, даже в лесу и на курорте он будет контролировать себя, чтобы не сказать чего-нибудь лишнего, что может осложнить его жизнь или жизнь семьи. И только в ее кругу, зная, что рядом родные и близкие люди, которые точно не предадут и не подведут, он может почувствовать себя поистине свободным. Поэтому семьей своей «молчаливый» дорожит несказанно. Он создает особый круг. Не случайно именно в этом поколении появилось понятие «кухонных посиделок», куда допускались только родные, близкие и друзья.

Активный отдых и жизнедеятельность представителей этого поколения обязательно включают в себя такие действия, как пополнение запасов еды, которой им так не хватало в детстве. Холодильник «молчаливого» всегда забит продуктами «про запас»: консервами, замороженнымипельменями, на полках стоят банки с вареньями, соленьями и маринадами собственного приготовления. Молодое поколение часто ругает своих «дедов» за упорную посадку на даче картошки, лука и прочих продуктов в условиях, когда все можно купить. Они не могут понять, что для «молчаливых» уже сам вид растущих у них и для них овощей и фруктов вызывает подсознательную успокоенность, уверенность в завтрашнем дне, счастье.

БЕБИ-БУМЕРЫ



«Молчаливые» по своей натуре наблюдатели, созерцатели. Их взгляд больше устремлен во внутренний мир, мир собственных представлений. Не случайно подавляющее большинство деятелей культуры и науки, которыми гордится наша страна, принадлежат именно к этому поколению. Мстислав Ростропович (1927), Родион Щедрин (1932), Майя Плисецкая (1925), Евгений Евтушенко (1933), Роберт Рождественский (1932), Виктор Астафьев (1924), Валентин Распутин (1937), Аркадий и Борис Стругацкие (1925 и 1933), Владимир Высоцкий (1938), Эльдар Рязанов (1927) — все они родились именно в этот «молчаливый» период.

«Беби-бумеры». Поколение «беби-бумеров» («весна» 1943–1963 гг., «пророки») названо так в честь произошедшего после войны бума рождаемости. В основе их характера лежит психология оптимизма и победителей. При этом их «победное» настроение сильно отличается от настроения поколения *GI* и в корне — от внутреннего мира «молчаливых». Они росли в настоящей сверхдержаве, которую боялся и уважал весь мир, которая победила в самой страшной войне, которая покорила космос. И ко всем этим событиям они причастны лично. Гагарин летел в космос не один, вместе с ним на борту маленького космического корабля «Восток» летели все девчонки и мальчишки Советского Союза. Жаботинский не один поднимал штангу на Олимпиаде в Токио, вместе с ним ее поднимала целая страна.

Для этих людей нет непреодолимых барьеров, каждый барьер — это личный вызов. Они оптимисты, нацеленные на постоянное преодоление трудностей и обязательное достижение результата. «Беби-бумер» — трудоголик, лучший подарок для работодателя, и в то же время вызов для подчиненных — ведь от них он будет требовать упорной работы, такого же энтузиазма. Чтобы достичь поставленной перед ним цели (лучше амбициозной и масштабной), он способен свернуть горы. Главное для «беби-бумера» — победа, достижение рекордных результатов. Это можно сделать только в группах, поэтому не случайно «беби-бумер» предпочитает работать в команде: ведь именно команда, коллектив играют для него роль той самой сверхдержавы, в которой он жил в детстве и без которой он ничего собой не представлял. Лучший спорт для них — футбол, хоккей, баскетбол, лучший отдых — туризм или та же дача, где вместо картошки они уже сажают цветы или в крайнем случае помидоры.

По мнению «беби-бумеров», отличительные качества хорошего человека — активность и любознательность, отличное самочувствие. Отсюда почти священный культ молодости: «беби-бумеры» заботятся о здоровье, посещают фитнес-клубы, стараются бегать по утрам, ходят в баню, осваивают новые виды спорта, правильно питаются, посещают медобследования, стараясь не заболеть. Все для того, чтобы подольше

оставаться активными и любознательными людьми, т.к. потеря активности для них равносильна разрушению фундамента и ставит под угрозу ключевые поколенческие ценности.

Из «беби-бумеров» получаются великолепные политики, партийные и общественные деятели. Самые известные из российских политиков, от Геннадия Зюганова (1944) и Владимира Жириновского (1946) до Григория Явлинского (1952) и Владимира Путина (1952), — «беби-бумеры». Стремление к лидерству в их душе прекрасно уживается со страстью к коллективизму. В результате представитель этого поколения с удовольствием будет создавать всяческие народные движения или принимать самое активное участие в уже созданных. Если не получилось с движением большим, он создаст маленькое — или примкнет к таковому. Среди известных оппозиционеров, таких как Валерия Новодворская (1950) или Владимир Буковский (1942), подавляющее большинство — «беби-бумеры». Конечно, нельзя забыть «беби-бумеров» — представителей культуры и спорта: Андрей Макаревич (1953), Ирина Роднина (1949), Алла Пугачева (1949).

Поколение X. Дети «беби-бумеров», «поколение X» («поколение-загадка», «дети с ключом на шее»), родились в 1964–1984 гг. («лето», «кочевники»). Фоном для их развития были спокойные годы в стране, так называемый период застоя, как следствие —

ПОКОЛЕНИЕ X



отличное детство со множеством возможностей. Где-то во внешнем мире были холодная война, поездки в страны социалистического блока, война в Афганистане, помощь народам Африки. Потом начались перестройка и гласность, открытие окружающего мира с его многообразием — фильмами, книгами, другими странами, новой одеждой. Прокатившийся в их время по стране вал разводов сделал «иксов» более гибкими в отношениях с людьми, а постоянная занятость родителей-трудоголиков на работе — более самостоятельными. У «беби-бумеров» задача заботы о подрастающем поколении включала организацию посещения множества самых разнообразных кружков, разностороннее развитие ребенка, а чрезмерные забота и опека не стояли в приоритете (да и не было на это времени, когда надо было заниматься гигантскими стройками). Напротив, с их точки зрения ребенок должен был быть тем более счастлив, чем с большим числом задач он сталкивался, чем больше он мог попробовать, чем более самостоятельным и взрослым он становился. Именно оттуда и пошел «ключ на шее» — символ ранней самостоятельности этого поколения: «иксы» в детстве могли допоздна самостоятельно бродить по городу, они сами разогревали себе обед, с детства умели готовить яичницу и могли решить многие домашние вопросы. Все это привело к тому, что, повзрослев, они превратились в людей, для которых главными качествами

стали постоянная готовность к переменам и расчет только на собственные силы.

Как уже понятно, к чужой помощи «икс» прибегает крайне редко и неохотно. В крайнем случае он образует команды для оперативного решения задач, а потом, после их выполнения, опять остается один и ищет новое задание, а с ним и новую команду. Он как «бойцовый кот» из повести братьев Стругацких (культовых писателей для «иксов») «Парень из преисподней», который по определению представляет собой «боевую единицу саму в себе». Родина для «икса» — это его семья, его близкие, его дети, место, откуда он родом. «Икс» — индивидуалист в работе. Устанавливать и поддерживать индивидуальные связи «икс» умеет лучше всех других поколений — он прирожденный психолог вне зависимости от направления его деятельности. Даже выбирая для занятий вид спорта, он останавливает выбор обычно на теннисе, борьбе и боксе для мальчиков, на гимнастике и фигурном катании для девочек.

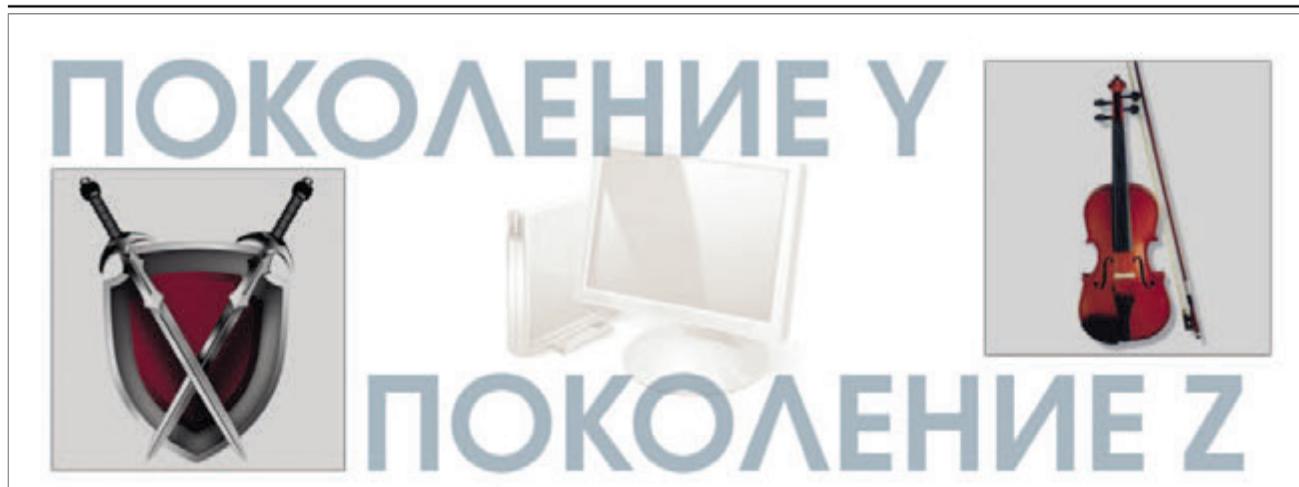
Одна из главных ценностей для него — возможность выбора. Если «беби-бумер» был рад работать токарем при условии, что он будет лучшим токарем на заводе, «икса» такая работа уже не устраивает — потому, что он сам должен выбирать, что и как делать, может быть даже какие точить детали. Лучшая работа для «икса» — та, которая позволяет проявить заложенные в нем творческие способности, широту

и нестандартность мышления, которая дает свободу и возможность максимально проявить свои профессиональные качества. А лучший отдых — путешествия, освоение новых пространств и экстремальных видов спорта, самостоятельно или с семьей.

При этом «иксы» довольно прагматичны. Они просчитывают, на что им хватит времени, а что стоит организовать по-другому, оптимизировать. Поэтому заболев, они идут не в поликлинику, где надо стоять в очереди, а в платную больницу. Хотя и туда они отправятся только в крайнем случае, не доверяя врачам и предпочитая лечиться самостоятельно, на ходу. Вследствие прагматизма и умения трезво анализировать они достаточно быстро и легко выбирают оптимальные решения на работе и в семье, внедряют их.

Другие важные для «иксов» ценности — свобода и справедливость, они хранители этих ценностей в компании, в жизни, в стране и мире. И если эти приоритеты нарушаются, они чутко реагируют, пытаются восстановить их.

Все это приводит к тому, что из «людей X» получают прекрасные бизнесмены, руководители проектов и авторы новых необычных решений. Роман Абрамович (1966), Михаил Ходорковский (1963), Олег Дерипаска (1968), Алексей Мордашов (1965), Михаил Прохоров (1965), Михаил Фридман (1964), яркие деятели искусства — Чулпан Хаматова (1975), Павел Воля (1979), Денис



Мацуев (1975) — все они когда-то носили тот же «ключ на шее», который потом открыл им двери в мир самостоятельного бизнеса и уникальных личных историй.

«Миллениумы». «Поколение Y», родившееся в период «осени» 1985–2000 гг. в России («герои») сейчас только вступает в фазу активной жизни. Как и положено, они очень похожи на поколение «победителей». Основные события их становления — экономический рост, благосостояние семей, а также значительные политические изменения — распад СССР, теракты, новые эпидемии, войны. И все это на фоне бурного развития новых информационных, коммуникационных, цифровых технологий. Воспринимая мир как целое, не ограничиваясь масштабами одной страны, «миллениумы» хотят сделать Россию и мир лучше. И уже делают это — запускают проекты, включаются в общественно-политическую активность, отслеживают выборы, представляют Россию на международных мероприятиях.

Из других характеристик поколения: «игреки», воспитанные на призывах к гласности и открытости, порой слишком доверяют информации, не проверяют ее.

Вследствие небезопасности на улице «миллениумы» не получили той свободы, которой «иксы» располагали практически неограниченно. Поэтому они активизировались в виртуальном мире, где могли быть свободны. Разделение пространства и мира на реальное и виртуальное для них

вообще довольно условно, они прекрасно «живут» в условиях виртуальной реальности, в блогах и в искусственных компьютерных мирах, не особенно обращая внимание на исходящие от общества призывы к тому, что надо больше общаться «вживую». Они великолепно ориентируются в компьютерных сетях, как следствие — им легче одновременно общаться с большим числом людей. В отношении них наблюдается любопытный феномен: им порой легче взаимодействовать с единомышленником, проживающим на другом краю Земли, чем с соседом по подъезду. При всем этом они склонны к работе в команде. Кстати, одно из прозвищ, которым социологи нарекли «игреков», — «поколение большого пальца» (от привычки набирать SMS одним большим пальцем руки, в которой находится мобильный телефон).

Родители баловали «миллениумов», всячески оберегали, отучали от необходимости доказывать свою уникальность, поэтому поколение получилось уверенным в себе и в своей ценности для мира, обладающим намерением сделать что-то хорошее и полезное, причем в крупных масштабах. Они включаются в такие проекты, ищут их. Жизнь этого поколения настолько насыщена, что для них важно немедленное вознаграждение за проделанную работу, поскольку потом они просто не вспомнят, за что их поощряют и награждают. При этом долг и мораль в их системе ценностей

занимают гораздо больше места, чем у их предшественников. Они лучше других разбираются в моде и следят за своим внешним видом. Они создали свои особые виды спорта — и лучшими спортивными снарядами для них становятся байк, скейт, ролики или сноуборд.

Поколение Z. И, наконец, только начавшее формирование своей системы ценностей поколение Z («зима», «художники»). Пока сказать о нем что-либо точно сложно. Но предположить, каким оно будет, уже вполне можно. Их становление происходит в стране, постепенно выбирающейся из глубокого экономического кризиса, обретающей стабильность. Вертикаль власти крепнет, государственный аппарат обретает все большие силу и мощь. Мелкие компании поглощаются крупными сетями, слабое погибает, сильное крепчает. В мире разразилась серия кризисов, главы разных государств на G20 совместно пытаются решать большие задачи, с которыми не справиться в масштабах одной страны. А общество ждет новых крупных терактов и новых страшных эпидемий наподобие птичьего гриппа или атипичной пневмонии. В этих условиях «зеты» слышат про инновации, развитие технологий, модернизацию заводов, производств, необходимость экономить электроэнергию и воду. Сходство с условиями, в которых формировалось «молчаливое поколение», очевидно. Значит, можно смело предположить, что и по характеру,

и по особенностям поведения «зеты» будут в чем-то повторять своих прапрадедов. Но не полностью.

Двадцать лет спустя

Теория поколений интересна даже не тем, что она объясняет, откуда берется знаменитый конфликт «отцов и детей», но скорее тем, что она дает возможность прогнозировать, что произойдет в обществе, в разных отраслях. На ее основе можно строить серьезные бизнес-планы на ближайшие десятилетия: что, где и как следует развивать.

Реальная виртуальность

Наше будущее принадлежит не нам, а детям. С эти утверждением невозможно не согласиться. И представители «поколения Z» (с года растущие с *Ipad* в руках, по-настоящему *digitally born*), безусловно, будут строить его таким, какое им будет удобно.

По прогнозам практиков проекта *RuGeneration*, «зеты» вырастут идеалистами. Так же как их предшественники «молчаливые» уходили из опасного и жестокого сталинского предвоенного мира в идеальный мир книг, новые «молчаливые» будут уходить в мир виртуальной реальности, мир нанонауки, облачных вычислений и всемирного искусства.

В условиях постоянного ожидания террористических актов, роста информации о криминале, мажорах и несчастных случаях, родители («игреки») начинают усиленно опекать своих детей, школы и садики устанавливают системы безопасности. Самостоятельность будет активно проявляться в этих закрытых условиях. А как будут вести себя «зеты» за пределами безопасных и понятных пространств — вопрос. Они становятся полноценными свободными личностями лишь в виртуале, доступ в который для них так прост и естественен, а для других поколений сложен и непонятен, требует обучения.

«Зеты» — это поколение творцов, художников и музыкантов. Они будут прекрасно ориентироваться в смоделированных ситуациях из игр и Интернета, а также

коллективных видов спорта, осваивая методы командного взаимодействия. Будет ли их мир созданным ими лично для себя в компьютерной сети, в лаборатории, в фильме, это мы еще увидим. Но то, что они будут пользоваться при выборе продуктов, при организации своего пространства жизни именно этими виртуальными подсказками, несомненно.

Сети и магазины для «зетов»

Как и «молчаливые», которым так нравились почти исчезнувшие оптовые рынки, «зеты» будут запасть продукты впрок, поэтому особенной любовью у них будут пользоваться оптовые магазины, подобные нынешним большим супермаркетам. В технике они будут ценить надежность, долговечность и, как ни странно, блочность (т.е. возможность комбинаторики, быстрой замены не всего устройства, а его части). Популярностью будут пользоваться службы ремонта и точки продаж запасных частей или блоков, сервисы вторсырья, куда можно будет сдать батарейки, детали, отработавшую технику. А одноразовые товары в целом ряде отраслей большим спросом скорее всего пользоваться перестанут — неэкономно. Это не будет касаться отраслей безопасности и ухода за здоровьем. Потеряют свою привлекательность и гипермаркеты. «Зетам» они на подсознательном уровне будут казаться слишком опасными. Большое скопление людей в малом пространстве, масса незнакомых людей — чем вам не идеальное место для теракта?

Большую роль в жизни «зетов» будут играть книги. Их будут покупать в очень больших количествах, правда, читать будут в основном на компьютере. Следовательно, появятся новые писатели, сценаристы, режиссеры, мультипликаторы. Мы ждем интерактивных книг и пространств. В моду войдут настольные игры, т.к. это станет для «зетов» некоей зацепкой, связывающей их виртуальный и реальный миры. Своим детям они будут чаще покупать технические игрушки, поскольку высокие технологии для них будут символом силы. Скорее всего это будут

электронные конструкторы и наборы, подобные старым «Юному химику», «Юному оптику», но на более высоком уровне: «Юный нанотехнолог», «Юный биотехнолог», «Юный генетик». Бессмысленные игрушки, такие как Кен и Барби, их уже не будут интересовать, потому что в них они не будут видеть никакой практической пользы. Люди эти, несмотря на все свой романтизм и идеализм, будут весьма практичными, это будут идеалисты-прагматики. Для того чтобы заполнить их в свои торговые сети, бизнесменам будущего придется придумать, как им совместить в маркетинговой стратегии идеализм и прагматизм. И начинать плести эти сети пора уже сейчас.

«Беби-бумеры» и новые рынки

Еще одной характеристикой будущего через 20 лет станут новые сценарии жизни для людей старше 60 лет. Именно они, «беби-бумеры», сейчас меняют принципы и привычки жизни в таком возрасте. Представители этого поколения хотят оставаться активными во время, которое раньше считалось временем отдыха для пожилых. Они не хотят молодиться, они хотят чувствовать одновременно и зрелость, и активность. Уже сейчас «беби-бумеры» ищут новые продукты (вкусные и при этом диетические блюда в ресторанах, красивую и удобную одежду для своего возраста, в которой не стыдно выйти с детьми и внуками), новые сервисы (персональные фитнес-тренеры, которые умеют работать с людьми старше 60 лет, консультанты по работе в Интернете и освоению новых компьютерных программ), которые могли бы взаимодействовать с ними как с активными, не старыми людьми. Этот новый рынок для тех, кому за 60, только начал формироваться в мире и в России, но его влияние испытают все последующие поколения. ■

Подготовил Валерий Чумаков

В статье использованы материалы проекта «RuGenerations — Теория поколений в России» (www.rugenerations.wordpress.com)

Неизведанные глубины генетики

То, что раньше представлялось всего лишь бесполезной частью ДНК, оказалось тайной сокровищницей — так утверждает специалист по количественной биологии Юэн Бирни (Ewan Birney)

В 70-х гг. прошлого века, когда биологи впервые «окинули взором» геном человека целиком, они увидели, что небольшие «смысловые сегменты» ДНК (называемые экзонами), которые кодируют белки, плавают, подобно щепкам, в океане кажущейся генетической неразберихи. Для какой, скажите на милость, цели существуют все эти неприкаемые миллиарды дезоксирибонуклеиновых «букв» и «слов»? Даже научное светило такой величины, как Фрэнсис Крик, один из первооткрывателей ДНК, высказался в том духе, что все они «едва ли что-то большее, чем просто мусор».

С тех пор словосочетание «бессмысленная ДНК» вошло в лексикон специалистов по генетике человека. В 2000 г., когда ученые, принимавшие участие в проекте «Геном человека», представили миру первый набросок последовательности нуклеотидов («букв» генетического кода) в нем, показалось, что предположение о бессмысленности подавляющей части этой последовательности (97% из 32 млрд нуклеотидов) справедливо. Иными словами, «книга жизни» несколько напоминала сценарий мыльной оперы.

! СПРАВКА

- **Кто:** Юэн Бирни
- **Специальность/призвание:** «главный котовод» в научном консорциуме ENCODE, объединяющем 400 генетиков по всему миру
- **Место работы:** Европейский институт биоинформатики, Кембридж, Великобритания
- **Цель исследований:** создание энциклопедии, объединяющей все наиболее таинственное в функциях человеческого генома.
- **Крупным планом:** «У меня возникает такое чувство, что раньше я и не подозревал, до какой степени невежествен. Теперь я большой знаток в этой области»

Но примерно в это же самое время некий научный консорциум, включавший десятки международных лабораторий, приступил к осуществлению масштабного проекта по исследованию той части человеческого генома, которую один биолог назвал «скромной», «непретенциозной» и «вообще не генетической». Проект этот скрывается под акронимом ENCODE — *Encyclopedia of DNA Elements*, т.е. «Энциклопедия элементов ДНК». Его участники, образно говоря, «ползают» взад-вперед по двойной спирали, пытаясь найти там еще что-нибудь, имеющее биологический смысл. В 2007 г. консорциум опубликовал предварительный отчет об итогах своей деятельности, в котором красной нитью проходила мысль, что, подобно хламу, который многие сваливают на чердаке, так называемая «мусорная ДНК» хранит настоящие сокровища.

В серии статей, опубликованных в сентябрьском номере *Nature*, ENCODE обнародовала ошеломляющий перечень ранее не известных ученым «мелочей»: молекулярных переключателей, сигнальных систем, «дорожных знаков» и прочей информации, выгравированной, подобно рунам, по всей длине молекулы ДНК. В ходе этой работы сотрудники проекта перерабатывают тот словарь, которым пользуются биологи при изучении и обсуждении наследственности и наследственных заболеваний.

Юэн Бирни, 39-летний сотрудник Европейского института биоинформатики (Кембридж, Великобритания), вел аналитическую работу с более чем 400 участниками проекта ENCODE. Недавно он рассказал журналу *Scientific American* о главных находках, сделанных в ходе реализации проекта. Выдержки из этой беседы мы и приводим ниже.

— **Проект ENCODE открыл нашему взору картину, переполненную генетическими элементами, представляющими огромный интерес. А ведь когда-то считалось, что это «генетический мусор»,**



не достойный внимания. Неужели наши представления о том, как устроен человеческий геном, были слишком упрощенными?

— Биологи всегда знали, что в генетическом материале есть не только гены, кодирующие белки. Всем, например, было ясно, что есть еще регуляция. А вот чего мы не знали — как много всего там есть.

Чтобы дать вам самое общее представление, скажу так: примерно 1,2% всех нуклеотидов организованы в экзоны, кодирующие белки. Далее люди рассуждали так: «Наверное, есть еще примерно такое же число нуклеотидов, задействованных в регуляторных процессах, ну, может быть, чуть-чуть больше». Но даже если мы посмотрим на данные, полученные участниками проекта *ENCODE*, с такой весьма консервативной позиции, то окажется, что в регуляции участвуют как минимум 8, а то и 9% генома.

— Получается, что в регуляторных механизмах задействована гораздо большая часть генома, чем в кодировании белков?

— Да, причем названные 9% — далеко не все. Самая оптимистичная точка зрения на наши результаты — 50%. Так что цифру порядка 20% можно было бы с легкостью отстоять.

— Следует ли нам расстаться со словосочетанием «бессмысленная ДНК»?

— Я всерьез полагаю, что этот «термин» необходимо исключить из нашего лексикона. Похоже, это определение из числа слов-однодневок и непригодно для описания тех интересных феноменов, что были открыты в 1970-х гг. Я убежден: для того, с чем мы имеем дело теперь, подобная характеристика не подходит.

— А а что по-настоящему удивительного вы нашли в этом, с позволения сказать, «хламе»?

— Внутри проекта, как, впрочем, и за его рамками, было много споров о том, описывают ли результаты наших экспериментов что-то, что на самом деле происходит в природе. И был еще один, скорее философский вопрос: а важно ли это вообще? Другими словами, кое-что, возможно, и существует на биохимическом уровне, но для организма или, например, эволюционного процесса это несущественно.

Этот спор тянулся с 2003 г. но потом наша собственная работа, да и работы вне консорциума позволили расставить точки над *i*, аргументировать, что эволюционные закономерности действуют в отношении регуляторных последовательностей ДНК не так, как в отношении генов, кодирующих белки. Главное здесь в том, что регуляторные элементы меняются гораздо быстрее. Так что если вы найдете некий структурный ген у человека, вы почти наверняка увидите, что, скажем, у мыши тот же ген выглядит почти так же в течение большей части эволюционного времени, но вот для регуляторных генов это правило не работает.

— Иначе говоря, генетическая регуляция у людей намного сложнее, а эволюция регуляторных элементов протекает куда быстрее?

— Именно.

— Но это весьма нестандартный способ рассуждения о генах — как, впрочем, и об эволюции.

— Раньше я и не подозревал, до какой степени невежествен. Теперь я большой знаток в этой области. Конечно, осознание того, как мало тебе известно, может кому угодно подпортить настроение. Но ведь в этом и состоит суть прогресса. Первый шаг на пути познания — составление списка того, в чем именно тебе необходимо разобраться, и вот его-то мы сейчас и получили.

— Более ранние исследования предполагали, что только от 3% до 15% человеческого генома имеют функциональное значение, т.е. кодируют белки, осуществляют регуляцию работы генома или выполняют другие подобные действия. Правда ли, что, согласно результатам проекта *ENCODE*, функциональными могут быть все 80% генома?

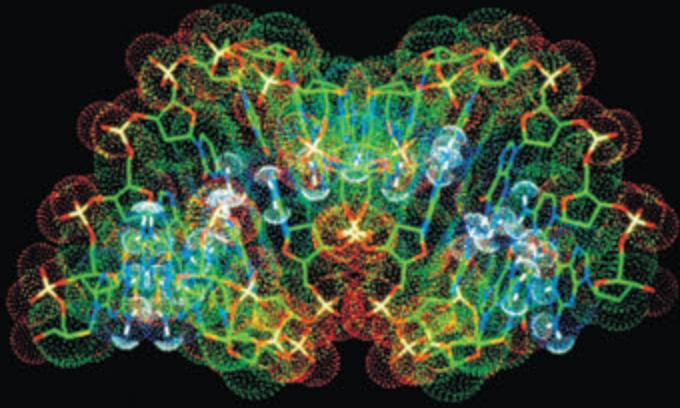
— Можно взять данные проекта и отстаивать с ними в руках любой вариант от 9% до 80%, а это две очень разные величины. Что же мы там имеем? Давайте чуть вернемся назад. ДНК внутри клеток обернута вокруг различных белков, большая часть которых — это гистоны, чья основная функция — хранить гены в целостности и сохранности. Но есть и другой тип белков, называемых факторами транскрипции, и они взаимодействуют в ДНК очень специфическим образом. Один такой белок способен связываться с 1 тыс. участков геномной ДНК, ну, может быть, самый крупный из них — с 50 тыс. участков. И когда мы говорим о тех самых 9%, то имеем в виду эти весьма специфические контакты между ДНК и факторами транскрипции.

С другой стороны, похоже, что транскрипция ДНК с образованием РНК происходит непрерывно, т.е. на самом деле транскрибируются примерно 80% генома. И до сих пор идут ожесточенные споры, что представляет собой эта массовая транскрипция, — просто фоновый процесс, возможно, несущественный, или же все синтезируемые РНК действительно делают нечто, о чем мы пока не имеем представления.

Я думаю, что все, что транскрибируется в клетке, достойно дальнейшего изучения и что это одна из тех задач, за которые нам нужно активно взяться в будущем.

— В настоящее время широко распространено мнение, что попытки выявить варианты генов, связанные с определенными заболеваниями у человека, путем так называемых общегеномных исследований (*GWAS, genome-wide association studies*) не дали сколько-нибудь серьезных результатов. Сейчас результаты проекта *ENCODE* показывают, что примерно 73% тех областей ДНК, которые общегеномные исследования ранее связывали с заболеваниями, даже близко не лежат к участкам, кодирующим белки. Правы ли мы, до сих пор сосредоточиваясь на мутациях в структурных генах?

— Общегеномные исследования очень интересны сами по себе, но волшебной палочкой для медицины они не стали. Нынешняя ситуация с *GWAS* кое-кого всерьез озадачила. Но если мы сопоставим полученные данные с результатами проекта *ENCODE*, то увидим, что хотя



Еще одна загадка жизни. Ученые обнаружили, что ДНК человека устроена гораздо сложнее, чем предполагала так называемая «простая» модель

обсуждаемые локусы не располагаются рядом со структурными генами, они достаточно близки к одному из тех новых элементов, которые мы сейчас один за другим открываем. Да, получилось изящно. Когда я впервые взглянул на результат, все выглядело, как говорится, слишком хорошо, чтобы оказаться правдой. И нам пришлось потратить немало времени на то, чтобы все еще раз проверить и перепроверить.

— **Чем помогает нам это открытие в понимании природы наследственных заболеваний?**

— Мы увидели совершенно новые перспективы. Подумайте, сколькими разными путями можно изучать какое-нибудь конкретное заболевание, например болезнь Крона (хроническое неспецифическое гранулематозное воспаление желудочно-кишечного тракта). Следует ли нам обратить внимание на иммунную систему в кишечнике? Или надо заняться нейронами, которые его иннервируют? Или же исследовать желудок и какие-то его особые функции?

Теоретически можно следовать любому из этих направлений. А теперь *ENCODE* позволяет проанализировать их все и сказать: «Я полагаю, что начать нам следует с изучения компонентов иммунной системы, а именно — с лимфоцитов, называемых *T*-хелперами». И так мы можем поступить с весьма обширным перечнем заболеваний, что воодушевляет.

— **Теперь, когда название «бросовая ДНК» само отброшено, есть ли ему на замену иная метафора, которая лучше отражала бы новый взгляд на картину человеческого генома?**

— Мне это представляется равносильным хождению по джунглям, настоящим джунглям, через которые приходится пробиваться с огромным трудом. Вы пытаетесь прорубить себе тропинку к некоему месту. Но вы уверены, что знаете, где именно находитесь? Во всем этом так легко заблудиться...

— **В течение последних 20 лет людям неоднократно повторяли, что все великие геномные проекты — как собственно расшифровка человеческого генома, так и различные другие исследования, — должны найти объяснения всему, что нам нужно знать о «книге жизни». Возможно, проект *ENCODE* — просто очередной из этой серии?**

— Я полагаю, что всякий раз мы повторяем одно и то же: «Вот основание. Его надо наращивать». Никто

не сказал: «Смотрите-ка, вот как азотистые основания расположены в геноме человека; все чисто и гладко, нам теперь осталось только взломать код». А сказали все: «Мы собираемся изучать это еще лет 50, а может быть и 100. Но основа все-таки есть, и с нее можно начинать». Я глубоко уверен в том, что проект *ENCODE* — новый камень в этом фундаменте, и встав на него, другие смогут взглянуть дальше, чем мы. Главное наше достижение — тот самый список «известных неизвестных». И я думаю, что вопреки вызывающему сильное разочарование и неуверенность в себе осознанию того, как много нам еще не известно, людям следует научиться понимать, что выявление пробелов в знаниях — это хорошо.

Десять лет назад мы понятия не имели, чего мы не знаем. Нет сомнений, что проект *ENCODE* ставит больше новых вопросов, чем дает прямых ответов на старые. В то же время в отношении, скажем, болезни Крона, как и в ряде других случаев, уже одержаны победы, и плоды их можно пожинать без труда. Во всяком случае, это очевидно для исследователей. Теперь мы можем сказать про многие вещи: «Боже! Да вы только взгляните!»

Это всего лишь еще один шаг, пусть очень важный, и, боюсь, конца нашим исследованиям не видно.

— **Вы часто называете себя «главным котоводом» проекта *ENCODE*. Как много людей было вовлечено в консорциум и каково это — координировать столь массовые исследования?**

— Да, это весьма необычный способ заниматься наукой. Я лишь один из 400 исследователей, но я тот самый человек, который должен сделать так, чтобы анализ, который проводит каждый из них, попал в нужное место и был успешно обработан. Однако я должен был опираться на таланты многих и многих людей.

Так что я и вправду скорее «котовод» или, если хотите, проводник, чем человек, чей мозг способен впитать все данные и результаты. Это я к тому, что вокруг меня что-то вроде джунглей.

— **Что ж, вы заслуживаете всяческого уважения. Кошки, возможно — не совсем то слово. Ведь это весьма самоуверенные существа.**

— Еще бы! На собак они точно не похожи. Собаки бегают стаями. А кошки? Да никогда. Вот я и думаю, что слово «кошки» прекрасно обобщает классический фенотип ученого. И, значит, вам иногда приходится чуть ли не лезть склонять их поработать совместно в одном и том же направлении.

— **Видите ли вы какую-нибудь точку, в которой все эти сложные материи наконец объединятся в более простое и целостное представление о сути наследственности и наследственных заболеваний? Или же нам приходится принять тот факт, что сложность — неизбежное свойство нашей ДНК?**

— Мы, люди, — сложные создания, и внутри нас тоже все сложно, чего еще ждать? Но я думаю, что нас это не должно расстраивать, скорее к этому следует относиться с пиететом. ■

Перевод: В.Э. Скворцов



СЕРГЕЙ НОВИКОВ —

фотохудожник Уральского отделения
Российской академии наук, создатель галереи
фотопортретов крупнейших ученых России

ПЕЙЗАЖ ЛИЦА



Историю науки можно излагать по-разному — как историю знаний и теорий, открытий и изобретений, как описание судеб ученых и их творчества. А можно — с помощью фотоаппарата, в лицах. Именно так ее пишет почти 30 лет фотохудожник Сергей Новиков, создавший портреты более 2 тыс. ученых

— Сергей, что привело вас в эту профессию?

— Помог случай, хотя в этом есть некая закономерность. По образованию я преподаватель физики. Нигде не было такой замечательной фотолаборатории, как в нашем Челябинском пединституте. Руководил ею талантливый человек Юрий Леонидович Теуш. Он учил студентов фотографировать, чтобы они могли использовать фотографии в педагогической работе. Через эту лабораторию прошли сотни студентов. Мне повезло, я попал в эту среду — и во мне проснулся фотограф. Это стало моей страстью, я снимал все вокруг. Начал серьезно заниматься художественной фотографией. Мои работы стали публиковать в центральных изданиях. Когда мне исполнилось 27 лет, состоялась моя первая персональная выставка.

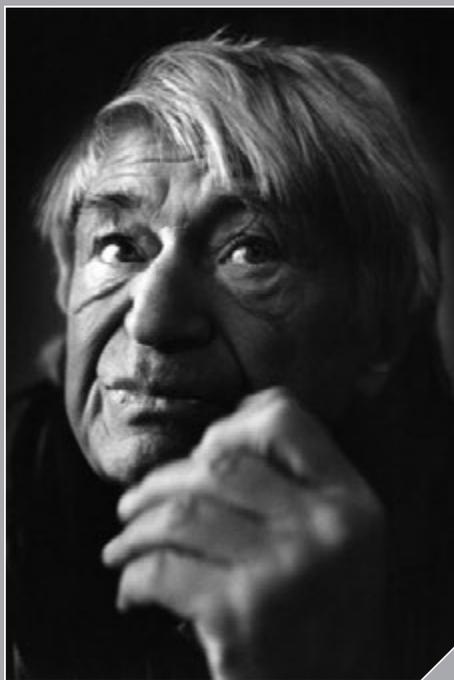
— Как вы начали фотографировать ученых?

— Тоже случай. Я был проездом в Уфе, оказался в академии наук и там познакомился с ученым-востоковедом, профессором Раилем Гумеровичем Кузеевым. Он увидел мои фотографии и сказал: «Ты художник. Давай

средствами фотографии расскажем о деятельности академии наук». Я начал ездить с фотоаппаратом во все экспедиции — геологические, этнографические, археологические. Фотографировал ученых: геолога, члена-корреспондента академии наук В.Д. Наливкина, выдающегося физика А.М. Прохорова. В Ленинграде сделал фотопортреты будущего нобелевского лауреата Ж.И. Алферова, академика Д.С. Лихачева, директора Эрмитажа Б.Б. Пиотровского. Фотографировал у них дома, на даче, мне было интересно наблюдать, как они проживают реальную жизнь.

— Как сами ученые отнеслись к своим фотопортретам?

— Ученые — творческие люди, они оценили мою работу. Я начал целенаправленно ездить на научные симпозиумы, конференции, с 1986 г. посещаю все собрания академии наук. Коллекция фотопортретов начала расти. В 1992 г. созрела идея издать альбом «Портрет интеллекта». Над первым томом я работал несколько лет. Выпустить его, как и все последующие, помог журналист



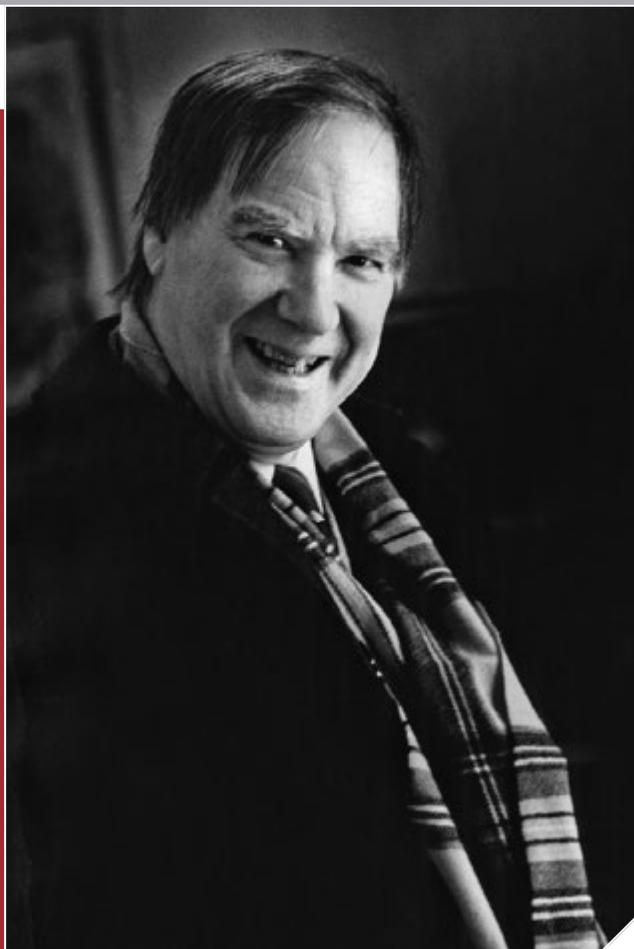
Аркадий Бейнусович
Мигдал



Виталий Лазаревич
Гинзбург



Жорес Иванович
Алферов

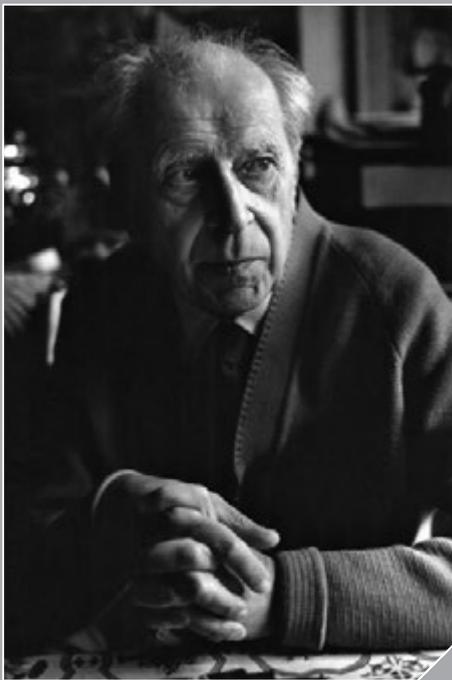


Сергей Петрович Капица

и издатель Виктор Львович Радзиевский. Когда был готов макет, я в очередной раз оказался в Москве в академии, подошел к Дмитрию Сергеевичу Лихачеву и попросил написать несколько слов для альбома. Это стало предисловием, у меня хранится этот листочек. Послесловие написал писатель Даниил Гранин. В альбом вошли фотопортреты 124 знаменитых ученых: академиков А.П. Александрова, Г.А. Месяца, А.Б. Мигдала, В.И. Гольданского, Н.А. Доллежала и др. Второй том был посвящен ученым Коми, третий — Челябинскому университету. В 2004 г. был создан мультимедийный альбом, посвященный 250-летию Московского университета, в который вошли 185 портретов ученых. Еще один мультимедийный альбом был сделан в год 50-летия Объединенного института ядерных исследований в Дубне. В 2007 г. был издан альбом в честь 75-летия Уральского отделения РАН «Уральская наука в лицах», в него вошли портреты всех членов Уральского отделения академии наук за всю историю его существования. К нынешнему юбилею УрО РАН вышел десятый том «Портрет интеллекта» с фотографиями всех лауреатов Демидовской премии за 20 лет. Страна должна знать своих достойных представителей.

— У вас было много встреч с корифеями. Как это отразилось на вашей жизни?

— Были удивительные встречи, которые формировали меня как человека. Мне повезло, я фотографировал гигантов. Часто можно услышать мнение, что сейчас таких нет, само время выхолащивает, мельчит людей. Должен сказать, что в наши дни тоже есть талантливые, даже гениальные ученые. Чтобы это стало очевидно,



Дмитрий Сергеевич
Лихачев



Борис Борисович
Пиотровский



Андрей Дмитриевич
Сахаров

должно пройти время. А сейчас нужно изменить к ним отношение общества. В это я вношу свою скромную лепту. Я не жалею, что посвятил себя этой работе, и надеюсь еще много сделать. В моих альбомах представлено более 1,5 тыс. персон, сфотографировано, конечно, больше. Я стараюсь показать «аромат личности», чтобы сохранить этих людей для потомков. Я не портретист, а пейзажист. Только мой пейзаж — человеческое лицо.

— Как проходит съемка? Как вы взаимодействуете с вашими героями?

— За это время я стал психологом — вижу, чувствую человека. Чтобы фотографии не были одинаковыми, необходимо показать характер человека. Я не придумываю людей, а наблюдаю их в естественных ситуациях. Некоторые ученые с недоверием относятся к фотографам и вообще к журналистике. Это актеры любят позировать. Мне интересно, когда человек не позировает, а живет. Нужно дожидаться, когда человек раскроется, доверится. Стараюсь поймать момент, ведь фотография — это мгновение. Оно пролетело, а ты имеешь возможность его рассмотреть.

У каждой фотографии — своя история. Некоторые не признают своих портретов. Например, когда Аркадий Бейнусович Мигдал увидел свой портрет на выставке, он фыркнул и пошел дальше. А после его смерти сын попросил, чтобы я сделал для него этот портрет. Человек себя не знает. Запомнилось, как снимал Виталия Лазаревича Гинзбурга. Я пришел к нему на семинар в Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН) в январе 1987 г., и когда он делал заключение, он сел верхом на стол. У меня есть фотография, как он сидит на столе,

взмахнув руками словно дирижер. Однажды, очень давно, я случайно встретил Сергея Петровича Капицу и его сфотографировал. Я не был с ним знаком, но с удовольствием смотрел программу «Очевидное — невероятное». Получилась очень живая фотография. Я фотографировал Андрея Дмитриевича Сахарова после его возвращения из горьковской ссылки на семинаре физика-теоретика Е.Л. Фейнберга в ФИАН. Сфотографировал в профиль, глаз не видно, получился человек-загадка.

— Что, на ваш взгляд, объединяет ваших героев?

— Азарт в познании окружающего мира. Мне всегда было интересно слушать умных людей, интересно их фотографировать, этот процесс никогда не надоедает. Я люблю своих героев, а иначе фотографии не получались бы. Портреты должны быть разные. Можно найти какой-то один прием и с его помощью всех фотографировать. Но тогда и люди получатся одинаковые. А человек многогранен, каждого нужно показывать так, чтобы он не был похож на других. Именно это я всегда ищу в человеке. Нет людей нефотогеничных. Если удалось передать индивидуальность человека, значит он фотогеничен. Я люблю фотографию больше, чем кино. Фотография — это мгновение, которое превращается в вечность. ■

Беседовала Ольга Беленицкая

Автор фотографии Сергея Новикова — академик М.П. Рощевский



Вы находитесь здесь

Цифровые астрономические карты уточняют наше местоположение во Вселенной

Как геодезисты, которые наносят на карты схемы участков земли, измеряя углы, расстояния и высоты, астрономы давно уже отмечают на звездных картах положение небесных объектов.

Эти звездные карты в скором времени претерпят значительные усовершенствования. Ныне действующие и грядущие научные программы, использующие для этой цели наземные телескопы и космические аппараты, обещают дополнить звездные карты множеством новых деталей. Все вместе эти проекты позволят составить каталог с точным указанием пространственного положения нескольких миллиардов звезд и галактик, как вблизи, так и далеко от нас.

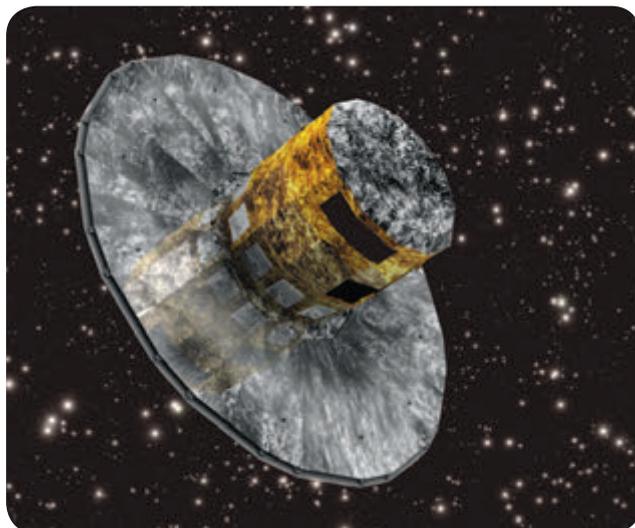
Сканируя звездное небо в течение шести лет, космический телескоп следующего поколения «Евклид» должен будет зафиксировать на трехмерной карте до 2 млрд галактик. Аппарат, запуск которого Европейское космическое агентство (ЕКА) в минувшем июле запланировало на 2020 г., отсканирует примерно треть небосвода, отмечая точное положение галактик и расстояния до каждой из них. Есть надежда, что изучение распределения космических объектов позволит подобрать скрытые ключи к разгадке природы темной энергии, неизвестной космической сущности, вызывающей ускоренное расширение Вселенной.

Значительный рост возможностей европейской звездной картографии должен произойти даже раньше — после запуска космического аппарата ЕКА «Гая» в этом году. Оказавшись в глубоком космосе, далеко за пределами орбиты Луны, «Гая» начнет регистрировать положение и расстояние до примерно 1 млрд звезд. «Основная научная задача связана с исследованием нашей галактики — Млечного Пути, ее структуры и динамики», — объясняет Тимо Прусти (Timo Prusti), научный сотрудник проекта ЕКА «Гая».

Неуловимый патоген

Бактерия, которая вызывает лихорадку от кошачьих царапин, остается неуловимой

Вопрос, который долгое время волновал только ветеринаров, теперь интересует и медицинское сообщество. Связаны ли бактерии, вызывающие лихорадку от кошачьих царапин (патологическое состояние средней



Тем временем на Земле, в ее Южном полушарии, в настоящее время стартует много новых программ по картографированию небесной сферы, которые, как ожидают звездные картографы, будут необычайно важны. В Северном полушарии дедушка всех цифровых астрономических карт — Слоуновский цифровой обзор неба, создаваемый в рамках одноименного проекта, проводимого в штате Нью-Мексико. Эта цифровая карта уже содержит точные трехмерные координаты и другие важные данные о более чем миллионе галактик.

Телескоп, который, вероятно, заставит переписать все справочники по небу Южного полушария, — это Большой обзорный телескоп (LSST) в Чили. Когда в 2022 г. LSST вступит в строй, он будет иметь (как сейчас представляется) главное зеркало диаметром 8,4 м (по сравнению с 2,5-метровым зеркалом телескопа Слоуновского проекта) и 3,2-гигапиксельную цифровую камеру. Гигантский телескоп будет фотографировать небесный свод каждую неделю, чтобы регистрировать переходные процессы, такие как сверхновые и близкий пролет потенциально опасных астероидов. В ходе этой работы он также будет фиксировать трехмерное расположение примерно 4 млрд галактик.

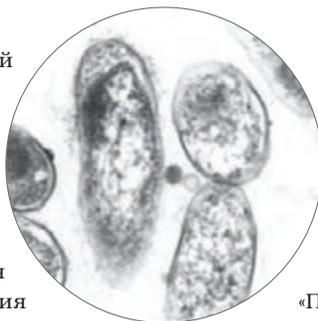
Джон Мэтсон

тяжести, сходное с гриппозным), также и с синдромом хронической усталости? На эту связь уже давно указывают данные о присутствии в организме человека с этим синдромом (а также с синдромом хронической головной боли, временным онемением, когнитивными расстройствами) бактерии *Bartonella*. Окончательный ответ на этот вопрос не получен.

Не так давно у 41% из 296 больных, страдающих ревматизмом, обнаружены фрагменты ДНК *Bartonella*. Многие из них уже обошли всех возможных врачей в надежде,



что они помогут им избавиться от изнуряющей боли, связанной с этим заболеванием. В ответ на сообщение о находке, появившееся в майском номере журнала *Emerging Infectious Diseases* за 2012 г., редакция получила два отрицательных отзыва от специалистов. Они сочли информацию недостоверной, нуждающейся в проверке. «Не следует торопиться с выводами о связи того или иного заболевания с *Bartonella* без всяких на то оснований», — говорит Кристина Нелсон (Christina Nelson), врач-эпидемиолог из американского Центра по контролю и предотвращению инфекционных заболеваний, и добавляет: «Полученные результаты трудно толковать однозначно».



Все дело в биологических особенностях данного патогена: попав в организм, он изменяет свои поверхностные белки и укрывается в кровеносных сосудах. Кроме того, его поведение зависит от организма-хозяина и переносчика — млекопитающих (собак или кошек) или таких векторов, как блохи либо клещи. «Пока мы не видим даже верхушки айсберга», — говорит Джейн Келер (Jane Koehler), профессор медицины из Калифорнийского университета в Сан-Франциско.

Марисса Фессенден

Полезное мороженое?

Ученые экспериментируют с ненасыщенными жирами, чтобы создать вкусный, но менее опасный в отношении закупорки артерий десерт

Мороженое — это сложная трехфазная пищевая система, в которой сосуществуют лед (твердая фаза), воздух (газовая фаза) и незамерзшая вода (жидкая фаза). Лактозавом мороженого делает высокое содержание жира — от 10 до 18% в продукте высшего сорта. Жир не только придает вкус и аромат, но и важен для формирования структуры замороженной сладкой массы. Поэтому неудивительно, что большинство сортов мороженого с малым содержанием жира не дают таких богатых вкусовых ощущений.

Последнее время диетологи экспериментируют, чтобы дать потребителям возможность полностью насладиться вкусом, не нанося вреда своему здоровью. Твердые жиры формируют структуру мороженого посредством частичной коалесценции, когда две капельки жира при столкновении слипаются, но не сливаются. Обеспечивают такое слипание кристаллы, выступающие с поверхностей сферических капелек подобно шипам кактуса: при столкновении капелек шипы каждой из них вонзаются в поверхность другой. Эти капельки затем объединяются в более крупные структуры и откладываются на поверхностях воздушных пузырьков, стабилизируя замороженную пену. Частичная коалесценция придает мороженому более мягкий вкус, позволяет сохранять форму и замедляет таяние.

Поскольку ненасыщенные жиры — жидкие, поначалу считалось, что они не годятся для придания структуры мороженому. Однако недавние исследования Дагласа Гоффа (Douglas Goff) из Гвельфского университета (провинция Онтарио, Канада) заставят скептиков дважды подумать. Эти исследования позволяют предположить, что пластинчатые или игольчатые (в отличие от сферических) капельки, содержащие 40–60% ненасыщенных жиров, очень эффективны для формирования структуры мороженого. Такие жиры могут быть смесью ненасыщенных жиров (например, подсолнечного или рапсового масла) с насыщенными (например, маслом какао или кокосовым). Пластинки формировались только тогда, когда группа Гоффа добавляла в смесь широко применяемые ненасыщенные эмульгаторы вроде моноолеата глицерола, которые, как представляется, заставляют кристаллы жира расти преимущественно в одном направлении, принимая игольчатую форму. Благодаря такой их форме количество жира, необходимое для формирования стабильной замороженной пены (благодаря частичной коалесценции), уменьшается. Это открывает возможность получения менее жирного и медленнее тающего мороженого с мягким вкусом.



Сезар Вега



Недостающая эпоха

Новые расчеты позволили расширить применимость общей теории относительности к первым моментам жизни Вселенной

Несколько мгновений спустя после Большого взрыва Вселенная претерпевала стадию ускоренного расширения. В этот период, согласно стандартной космологической модели, мелкая рябь волн энергии положила начало зародышам галактик и других крупномасштабных структур, наблюдаемых сегодня. Но никто не может объяснить, как эти волны изначально образовались. Три физика теперь утверждают, что ключ к этой загадке лежит в теории квантовой гравитации — все еще не до конца проверенной теории, в которой гравитация демонстрирует такую же нечеткую «неопределенность», типичную для субатомной физики.

Стандартная теория космологии, основанная на эйнштейновской общей теории относительности, не в состоянии объяснить происхождение этой ряби, поскольку на очень малой шкале она перестает работать. В течение бесконечно короткого периода времени перед началом инфляционного расширения, называемого планковской эрой, вся известная Вселенная помещалась в области размером на несколько порядков меньшей, чем атом. Будучи примененной к столь давним событиям, общая теория относительности дает бессмысленные предсказания, такие как бесконечная плотность энергии.

Чтобы расширить область применимости теории Альберта Эйнштейна на такие экстремальные ситуации, ученые создали теорию, называемую теорией квантовой гравитации. Еще в 1980-е гг. Абхай Аштекар (Abhay Ashtekar), в настоящее время работающий в Университете штата Пенсильвания, переосмыслил уравнения Эйнштейна таким образом, чтобы сделать их совместимыми с квантовой теорией. Одно из следствий такого переосмысления — то, что само пространство теперь не гладкая декорация, а состоит из дискретных ячеек, называемых петлями, и что его микроскопическая структура, вероятно, флуктуирует между множеством одновременных состояний. В последние годы физики обнаружили также, что если теория петлевой квантовой гравитации верна (здесь большое «если», поскольку экспериментальных

свидетельств ее правильности по-прежнему нет), то Большой взрыв — это на самом деле «Большой отскок» от ранее сколлапсировавшей Вселенной.

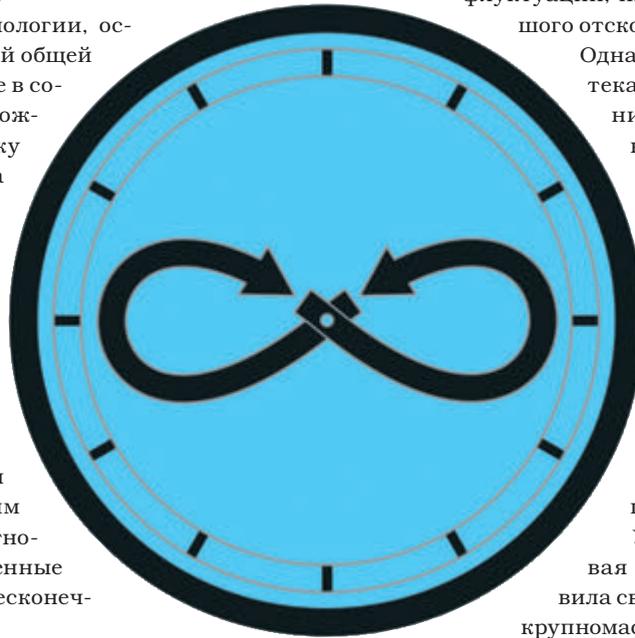
Сегодня группа Аштекара утверждает, что расширил технику теории петлевой квантовой гравитации, они сумели построить мост между Большим отскоком (который протекает в планковском режиме) и началом инфляционного расширения, а также что это может объяснить ту крайне важную рябь, без которой ни вас, ни меня здесь не было бы. Как считают ученые, эта рябь, вероятно, представляет собой естественное следствие квантовых флуктуаций, имевших место во время Большого отскока.

Однако предсказания группы Аштекара отличаются от предсказаний стандартной инфляционной модели до такой степени, что эти различия, возможно, будут зафиксированы в будущих наблюдениях космической структуры, утверждает Аштекар.

Эти результаты, которые скоро должны появиться в журнале *Physical Review Letters*, дают «логичное расширение инфляционной модели вплоть до планковской шкалы», — отмечает Аштекар. Умозаключение, что квантовая гравитация, возможно, оставила свои отпечатки на современных крупномасштабных космических структурах, «весьма неожиданно и красиво», —

отмечает Хорхе Пуллин (Jorge Pullin) из Университета штата Луизиана, специалист по теории петлевой квантовой гравитации, не участвовавший в этой работе.

Нил Турок (Neil Turok), директор Института теоретической физики Периметр в Уотерлу (штат Онтарио, Канада), говорит, что этим ученым все еще требуются «искусственные допущения», которые они притягивают из времени начала инфляционного расширения в более ранние моменты. В теории петлевой квантовой гравитации «есть много интересных идей, — замечает Турок, — но это еще не та теория, которую следует воспринимать слишком серьезно для того, чтобы делать с ее помощью предсказания».



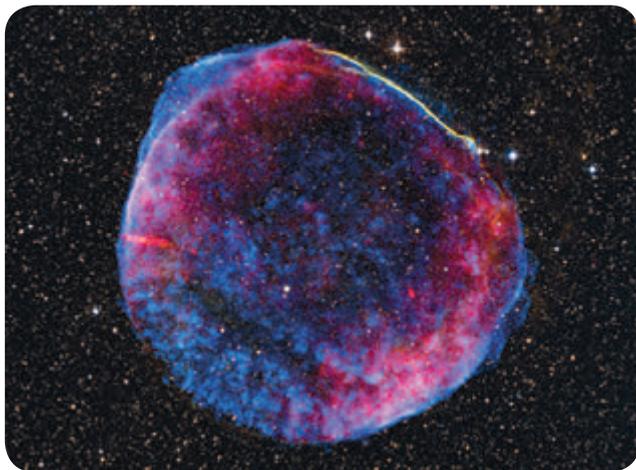
Давиде Кастельвекки

Illustrations by Thomas Fuchs



Звезды не осталось

Что послужило топливом для ослепительного ядерного взрыва белого карлика?



Следы взрыва сверхновой 1006 г.

Сверхновая типа *Ia* демонстрирует, вероятно, вселенский масштаб грабежа и причинения физического ущерба — звезда крадет вещество у своей соседки, достигает критической массы, становится нестабильной, и затем происходит ядерный взрыв такой мощности, что его жертва разлетается на мелкие кусочки.

Виновный в этих случаях очевиден: сверхновые типа *Ia* возникают в результате разрушительного взрыва небольших звезд высокой плотности, называемых белыми карликами. Но характеристики звезды-жертвы весьма туманны. Традиционно ученые считают, что это звезды главной последовательности солнечного типа или вздувшиеся звезды-гиганты. Последние наблюдения указывают на важную роль менее известного механизма — когда прежде чем сверхновой взорваться, один из пары белых карликов пожирает своего соседа по орбите.

Работа, опубликованная в журнале *Nature* от 27 сентября, свидетельствует в пользу последнего аргумента, в ней делается вывод, что лишь незначительная часть сверхновых типа *Ia* — результат взрыва звезд главной последовательности или звезд-гигантов. Хонай Гонсалес Эрнандес (Jonay Gonzalez Hernandez) из Института астрофизики Канарских островов с коллегами искал остатки звезды-жертвы, оставшиеся после взрыва сверхновой типа *Ia*, который на Земле наблюдали в 1006 г. Поиски оказались тщетными. Отсутствие выжившей звезды двойной системы, по-видимому, исключает из списка партнеров сверхновой любые большие звезды, поскольку ядро такой звезды должно выжить даже во время взрыва и было бы видимым и сегодня. А вот от белого карлика не должно остаться и следа. Вкупе с другими, большей

частью бесплодными попытками поиска остатков сверхновой эти данные позволили ученым оценить, что в соответствии с классическим предполагаемым сценарием сверхновая типа *Ia* возникает реже, чем в 20% случаев.

Астроном Эндрю Хауэлл (Andrew Howell) из Глобальной сети телескопов обсерватории Лас Кумбрес в Санта-Барбаре, штат Калифорния, считает 20% «большим преувеличением». Он отмечает, что нормальная звезда размером чуть меньше Солнца также не оставила бы сколько-нибудь заметных следов и подошла бы в качестве звезды-компаньона сверхновой, взорвавшейся в 1006 г.

Джон Мэтсон

Подводный призрак

Александр Семенов, российский морской биолог, фотографирующий глубоководных морских существ, сделал «портрет» *Caprella septentrionalis*, также известной как креветка-призрак или креветка-скелет (морская козочка в русской традиции). Особи размером до 3,2 см длиной проводят большую часть жизни в зарослях морских водорослей, питаются микроскопическими отходами, отфильтрованными во время перемещения в воде. Когда им нужно куда-нибудь добраться, они перемещаются как бы подтягиваясь, подобно гусенице пяденицы — «землемеру».

Бекки Крю





«Вечная» память

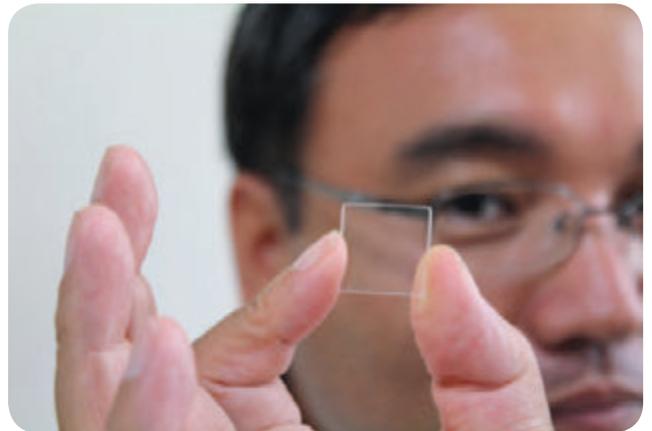
На кварцевом стекле данные могут храниться 300 млн лет

Для архивирования данных в большинстве организаций культуры и науки до сих пор используются магнитные ленты. Компания *Hitachi* недавно объявила о создании носителя, который по способности длительного хранения превосходит не только магнитные ленты, но и *CD*, *DVD*, жесткие диски и *MP3*.

Кийотака Миура (Kiyotaka Miura) из Киотского университета и *Hitachi* разработали «полувечные» (*semiperpetual*) пластинки из кварцевого стекла, которые, по словам создателей, способны хранить информацию практически без ухудшения в течение сотен миллионов лет.

Опытный образец представляет собой квадратную пластинку со стороной 2 см и толщиной 2 мм, в которой хранятся четыре слоя точек, созданных фемтосекундным лазером, излучающим световые импульсы исключительно малой длительности. Эти точки представляют информацию в двоичной форме — в стандарте, который останется понятным и в далеком будущем и позволяет считывать данные с помощью простого оптического микроскопа. Поскольку же слои точек расположены в толще пластинки, эрозия ее поверхности влиять на них не будет.

Плотность информации на таком носителе немного выше, чем на *CD*. Число слоев может быть увеличено, что позволит еще повысить плотность информации. Но самое примечательное свойство этого носителя — его долговечность. Он водостоек, устойчив к химикатам и атмосферным воздействиям («выветриванию»). Более того, опытный образец выдержал без повреждения



двухчасовой прогрев при 1000°C . Это привело компанию *Hitachi* к заключению, что в кварце информация может храниться сотни миллионов лет.

«Если удастся создать приемлемые по стоимости записывающие и считывающие устройства, этот носитель может привести к радикальным изменениям систем архивирования», — говорит директор Центра исследований интеллектуальных методов хранения информации Калифорнийского университета в Санта-Крус Этан Миллер (Ethan Miller). Кварц может стать идеальным средством надежного хранения информации, жизненно важной для нашей цивилизации — от музейных сокровищ до священных текстов. Вопрос в том, насколько долговечен мир, который мы знаем. «Пангея раскололась несколько сотен миллионов лет назад, — говорит Миллер. — Сейчас мы ходим по песку, который когда-то был скалами, состоящими из пород на основе кварца. Почему кварцевый носитель может ждать иная судьба?» ■

Тимоти Хорняк

Миниатюрные весы

Новый наноприбор может взвешивать отдельные молекулы в реальном времени

Измерение масс крошечных объектов требует соответствующих весов. С этой целью ученые Калифорнийского технологического института и французской Лаборатории электроники для информационных технологий (ЛЭИТ) — института Комиссариата по атомной и альтернативной энергии — создали новое устройство для взвешивания частиц, размеры которых измеряются в микро- и нанометрах. Этот аппарат позволяет в реальном времени определить массы отдельных молекул и представляет собой первое устройство такого рода, умеющее проводить подобные измерения, сообщает ученые в статье, опубликованной в сентябрьском номере журнала *Nature Nanotechnology*.

В основе конструкции весов — коромысло из кремния шириной всего несколько сотен нанометров (нанометр — одна миллиардная доля метра), которое колеблется на двух частотах одновременно. Крошечные контакты на обоих концах коромысла преобразовывают колебания резонатора в электрический сигнал посредством явления, называемого пьезорезистивным эффектом. Одной молекулы, попавшей на коромысло, достаточно, чтобы понизить резонансные частоты, изменение которых в зависимости от массы частицы регистрируется с помощью пьезорезистивных датчиков.

В качестве демонстрации ученые провели масс-спектрометрию — определение различных частиц



в смеси по их массе: набора частиц золота размером около 5 нм, а также молекулы антител — иммуноглобулина М. Как отмечает один из авторов статьи Майкл Роукс (Michael Roukes), физик из Калтеха, предыдущие резонансные приборы требовали для измерения сотен одинаковых молекул. «Фактически мы не могли определить точную массу той или иной молекулы», — говорит он.

Новая, более чувствительная версия прибора позволит ученым проводить масс-спектрометрию для идентификации различных частиц в смеси. Масс-спектрометр, способный идентифицировать отдельную молекулу

белка, вероятно, окажется незаменимым устройством для протеомики (*науки, занимающейся определением и классификацией клеточных белков.* — Прим. пер.): он позволит отделять функции и структуру различных белков в клетке или в клеточной ткани. «Имея возможность делать это для каждой отдельной молекулы, мы сможем начать изучение комплексных смесей произвольного состава», — отмечает Роукс. ■

Джон Мэтсон

Молоко для сына, молоко для дочки

Состав грудного молока различается в зависимости от пола ребенка и условий жизни матери

Материнское молоко — первая пища для ребенка, но у разных мам его состав не одинаков. Ученые обнаружили, что у людей, как и у других млекопитающих, состав молока меняется в зависимости от пола младенца и условий жизни. Понимание этих различий дает ученым дополнительную информацию об эволюции человека.

Исследователи из Университета штата Мичиган вместе со своими коллегами из других учреждений оценили состав молока 72 кормящих женщин в сельской части Кении. Оказалось, что среди материально обеспеченных матерей молоко было жирнее у тех, кто кормил сына. А среди бедных матерей молоко было жирнее у тех, кто кормил дочь. Эти факты были опубликованы в *American Journal of Physical Anthropology* в сентябре, и они подтвердили предыдущие исследования, проведенные на других млекопитающих. Ранее было показано, что состав молока зависит от пола детеныша у длинноносых тюленей и благородных оленей. А у макаков-резусов он зависит и от пола детеныша, и от физического состояния матери. С этими данными согласуются и свежие исследования, в которых показано, что у состоятельных, хорошо питающихся мам в Массачусетсе было более калорийное молоко, если они кормили сына.

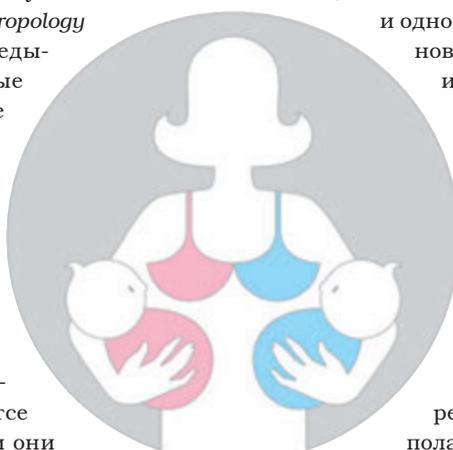
Все вышперечисленное можно хорошо объяснить выдвинутой 40 лет назад гипотезой Трайверса — Вилларда о том, что при трудных условиях жизни естественный отбор способствует увеличению родительского вклада в дочерей, а при более благоприятных условиях — в сыновей. Это должно особенно сильно проявляться в полигамных сообществах, когда мужчина может быть отцом детей от многих жен, как, например, в деревнях Кении. В такой ситуации сын может или вырасти в сильного

мужчину и завести большое количество жен и детей, или умереть, не оставив потомков. Обеспеченные родители вкладываются в сыновей, поскольку они дадут им большое количество внуков. И наоборот, бедным родителям нет смысла сильно заботиться о сыновьях, поскольку это вряд ли окупится: их дети оказываются в самом низу социально-экономической лестницы. Для таких семей менее рискованно будет направить ресурсы на выращивание дочерей, поскольку если девочке удастся дожить до детородного возраста, она с большой вероятностью оставит потомство.

По словам Роберта Трайверса (Robert Trivers), эволюционного биолога из Ратгерского университета и одного из авторов гипотезы, результаты новейших исследований захватывают интересны: «Я и не осмеливался предсказать такое проявление эффекта Трайверса — Вилларда».

Кэти Хайнд (Katie Hinde), ассистент-профессор по эволюционной биологии человека в Гарвардском университете, считает, что у разных людей может различаться содержание и других компонентов молока, помимо жиров и белков. Она обнаружила, что в молоке макаков-резусов, имеющих детенышей мужского пола, выше содержание гормона кортизола, регулирующего обмен веществ. Это значит, что различия в составе молока могут менять поведение ребенка и влиять на его рост и развитие. «То, какое молоко получается у матери, — только половина дела, важно еще, как молоко влияет на младенца». На основе этих исследований в будущем можно начать создавать специализированные смеси для мальчиков и девочек, что должно положительно сказаться на их развитии. ■

Марисса Фессенден



КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.
2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.
3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:
 - по адресу 119991, г. Москва, ГСП-1 Ленинские горы, д. 1, корп. 46, офис 138, редакция журнала «В мире науки»;
 - по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;
 - по факсу: +7(495) 939-42-66

Стоимость подписки на первое полугодие 2013 г. составит:

Для физических лиц: **1140 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1500 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2005–2006 гг. — **50 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **70 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **80 руб. 00 коп.**; за 2009 г. — **100 руб. 00 коп.** — **первое полугодие**, **110 руб. 00 коп.** — **второе полугодие**; за 2010 г. — **120 руб. 00 коп.**

(без учета доставки); стоимость почтовой доставки по России — **70 руб.**

Номера журнала за 2003–2004 гг. предоставляются в редакции бесплатно.

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru.

Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой на отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10 числа месяца, то, начиная со следующего месяца, с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011 г.												
2010 г.												
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

Некоммерческое партнерство
«Международное партнерство
распространения научных знаний»
Расчетный счет 40703810238180000277
В Московском банке Сбербанка
России ОАО №9038/00495 БИК 044525225
Корреспондентский счет 30101810400000000225
ИНН 7701059492; КПП 772901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» № _____ год		

Плательщик

ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ

НА ЖУРНАЛ "В МИРЕ НАУКИ"

МОЖНО:

В ПОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ

ПО КАТАЛОГАМ:

"РОСПЕЧАТЬ",

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

81736 ДЛЯ ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

19559 ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

"ПОЧТА РОССИИ"

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

16575 ДЛЯ ЧАСТНЫХ ЛИЦ,

11406 ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

И ОРГАНИЗАЦИЙ;

АП ИНТЕР-ПОЧТА

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 4626

WWW.INTERPOSTA.RU

КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» 45724

WWW.AKC.RU

ПОДПИСКА ПО РФ И СТРАНАМ СНГ:

ООО "УРАЛ-ПРЕСС",

WWW.URAL-PRESS.RU

СНГ, СТРАНЫ БАЛТИИ И ДАЛЬНЕЕ

ЗАРУБЕЖЬЕ: ЗАО "МК-ПЕРИОДИКА",

WWW.PERIODICALS.RU

РФ, СНГ, ЛАТВИЯ:

ООО "АГЕНТСТВО "КНИГА-СЕРВИС",

WWW.AKC.RU





Читайте в следующем номере:



Нейроны для бабушки

Каждому понятию, человеку или вещи в повседневной жизни может соответствовать определенный набор нейронов в нашем мозге.

Секреты первобытных метеоритов

Детальный анализ старейших камней в Солнечной системе проливает свет на то, каким был наш уголок космоса задолго до того, как сформировались планеты.

Запутанная родословная

Находки новых окаменелостей сделали проблему определения наших далеких предков еще более сложной.

Миф об антиоксидантах

Помогают ли витамины продлить молодость? Новые исследования ставят под сомнение распространенное убеждение, что разрушительное воздействие свободных радикалов становится причиной старения.

Грядущие меганаводнения

Сильные потоки влажного воздуха в атмосфере каждые 200 лет инициировали крупные наводнения, а с изменением климата их может стать еще больше.

Болид на аккумуляторах

Редкий автомобиль с бензиновым двигателем способен преодолеть рубеж скорости в 640 км/ч. Сегодня группа студентов планирует сделать это на электромобиле.



Александр Асеев: «Ученый и может, и должен рассказывать обществу о своей работе!»

Председатель СО РАН Александр Асеев делится впечатлениями об участии в передаче «Линия жизни».



ИНТЕРВЬЮ



ПРОСТО ГЕНИЙ

Кто такие гении с точки зрения науки? Все об одаренности и таланте в беседе с профессором Вячеславом Дубыниным.



ЯНДЕКС: ТОЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ — НАУКЕ

Как «Яндекс» может помочь работе Адронного коллайдера? Рассказывает руководитель проекта «Яндекс-CERN», доцент МФТИ Андрей Устужаннин



КАК ЗАЩИТИТЬ ЗЕМЛЮ ОТ АСТЕРОИДОВ

Ведущий научный сотрудник ИКИ Натан Эйсмонт о том, опасен ли Алофис и могут ли астероиды быть полезны.



Мы - СТРАНА УЧЕНЫХ

Интервью Виктора Садовниченко журналу SCIENTIFIC AMERICAN - «В МИРЕ НАУКИ». Что произошло в высшей школе и МГУ за последний год?



ИНТЕРВЬЮ С ИСААКОМ ХАЛАТНИКОВЫМ

В этом году исполняется 93 года Исааку Халатникову, советскому и российскому физико-теоретику, действительному члену РАН и Лондонского...



ПОЯВИТСЯ ЛИ ПРИКОМ, ЧИТАЮЩИЙ МЫСЛИ?

Мозг — самая сложная и загадочная часть человеческого организма. 80 процентов из генов нашего генома нужны для того, чтобы обеспечить...

ФОТО ДНЯ



Российский телескоп составил карту квазара

ОБЛАКО ТЕГОВ

[федеральные университеты,](#)
[международное сотрудничество,](#)
[охрана природы,](#)
[молодые учёные,](#)
[nasa, биотехнологии,](#)

ВСЕ ИНТЕРВЬЮ —>

портал

НАУЧНАЯ РОССИЯ

<http://www.scientificrussia.ru/>

ДЛЯ ВАС