

U N I V E R S U M

*О науке, ее прошлом и настоящем,
о великих открытиях, борьбе идей
и судьбах тех, кто посвятил свою
жизнь поиску научной Истины*

This Explains Everything

Deep, Beautiful, and Elegant Theories
of How the World Works

Edited by John Brockman

Нассим Талеб, Джаред Даймонд,
Ричард Докинз, Фримен Дайсон и др.

ТЕОРИИ ВСЕГО НА СВЕТЕ

Под ред. Джона Брокмана

2-е издание (электронное)

Москва
Лаборатория знаний
2016

УДК 93/94
ББК 1
ТЗЗ

Серия основана в 2013 г.

Ведущий редактор серии Ирина Опимах

Перевод с английского

Николая Майсурия и Алексея Капанадзе

В оформлении обложки использован фрагмент рисунка
Жана Эффеля

Теории всего на свете [Электронный ресурс] /
ТЗЗ под ред. Д. Брокмана ; пер. с англ. Н. Майсурия
и А. Капанадзе. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые
дан. (1 файл pdf : 403 с.). — М. : Лаборатория знаний :
Лаборатория Базовых Знаний, 2016. — (Universum). —
Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".

ISBN 978-5-93208-210-2

«Напишите о вашем самом любимом, самом интересном, глубоком и изящном объяснении», — попросил издатель и писатель Джон Брокман известнейших ученых всего мира, работающих в разных областях науки, а потом собрал полученные эссе в книгу, которую вы сейчас держите в руках. На ее страницах — рассказы о теориях, помогающих понять главные идеи физики и астрономии, экономики и психологии, биологии и многих других наук. Чтение это увлекательное, ведь среди авторов сборника — Джаред Даймонд, Нассим Талеб, Стивен Пинкер, Мэтт Ридли, Ричард Докинз и другие выдающиеся умы современности.

УДК 93/94
ББК 1

Деривативное электронное издание на основе печатного аналога: Теории всего на свете / под ред. Д. Брокмана ; пер. с англ. Н. Майсурия и А. Капанадзе. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 400 с. : ил. — (Universum). — ISBN 978-5-9963-1720-2.

Подготовлено при участии
ООО «Лаборатория Базовых Знаний»

(16+)

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

Copyright © 2013 by Edge
Foundation, Inc.
All rights reserved.

© Перевод на русский язык,
оформление.

ISBN 978-5-93208-210-2

Лаборатория знаний, 2015

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарю за поддержку Питера Хаббарда из издательства *HarperCollins*. Я также признателен моему агенту, Максу Брокману, разглядевшему потенциал этой книги, и Саре Липпинкотт за ее вдумчивую и кропотливую редактуру.

ПРЕДИСЛОВИЕ

ЕЖЕГОДНЫЙ ВОПРОС *EDGE*

В 1981 году я основал *Reality Club*¹. Где только не проходили собрания клуба — в китайских ресторанах, в мастерских художников, в залах заседания совета директоров различных инвестиционных банков, в танцевальных залах, музеях, гостиницах и прочих местах. *Reality Club* не походил на Алгонкинский круглый стол² или Блумсберийский кружок³, но предлагал интеллектуальные приключения того же сорта. Возможно, ближайшим подобием служит Лунное общество Бирмингема конца XVIII – начала XIX веков — собрание ведущих деятелей культуры новой индустриальной эпохи Джеймса Уатта, Эразма Дарвина, Джозайи Веджвуда, Джозефа Пристли, Бенджамина Франклина. В том же духе *Reality Club* попытался объединить людей, занимающихся проблемами постиндустриальной эпохи.

В 1997 году *Reality Club*, преобразованный в *Edge*⁴, вышел в Интернет. Идеи, выдвигаемые *Edge*, порой весьма спекулятивны. Они отражают сегодняшние пограничные знания в таких областях, как эволюционная биология, генетика, компьютерная технология, нейрофизиология, психология, космология и физика. Из этих составляющих складывается новая натурфилософия, новые пути постижения материального мира, новые способы мышления, кото-

¹ Клуб реальности (*англ.*).

² В конце 1910-х — 1920-х гг. группа писателей, журналистов, критиков и актеров, регулярно обедавших вместе в нью-йоркском отеле «Алгонкин». Шутки и каламбуры участников круглого стола приобрели широкую известность благодаря газетам, в которых они сотрудничали. — *Прим. перев.*

³ В 1920-х—1930-х гг. влиятельная группа выпускников Кембриджского университета — писателей, художников и ученых, регулярно собиравшаяся в лондонском районе Блумсбери. — *Прим. перев.*

⁴ Край, грань, острие (*англ.*).

рые подвергают сомнению множество наших основополагающих представлений.

Каждый год стойкие приверженцы *Edge* (а это Стюарт Брэнд, Кевин Келли, Джордж Дайсон и я) собираются вместе, чтобы подготовить для очередного издания *Edge* вопрос, — обычно он приходит на ум одному из нас или наших корреспондентов посреди ночи. Придумать его не просто. (Покойный Джеймс Ли Байерс, мой друг и время от времени, соавтор, как-то заметил: «Я мог бы ответить на вопрос, но хватит ли у меня ума, чтобы его задать?») Мы подыскиваем вопрос, на который можем получить непредсказуемые ответы, заставив людей поразмышлять над тем, о чем они обычно не задумываются. За вопрос этого года мы выражаем признательность Стивену Пинкеру.

Наверное, самое глубокое удовлетворение в науке приносят теории, которые дают неожиданное решение какой-нибудь запутанной головоломки с помощью нескольких простых правил. Такие объяснения называют «красивыми» или «элегантными». В качестве исторических примеров можно привести описание сложного движения планет в виде простых овалов, придуманное Иоганном Кеплером; истолкование Периодической системы Менделеева посредством электронных оболочек, данное Нильсом Бором, и объяснение генетической репликации с помощью двойной спирали ДНК, предложенное Джеймсом Уотсоном и Френсисом Криком. Знаменитое высказывание выдающегося физика-теоретика П. А. М. Дирака по этому поводу гласит: «Главное — красота уравнений, а не их соответствие экспериментам».

ВОПРОС *EDGE* 2012: КАКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ВЫ СЧИТАЕТЕ САМЫМ ГЛУБОКИМ, ЭЛЕГАНТНЫМ ИЛИ КРАСИВЫМ?

В этом году веб-сайт *Edge* (<http://edge.org/annual-question/>) получил множество откликов — около 200 провокационных (и часто многословных) рассуждений, которые подверглись неизбежному редакционному отбору. В результате представленные здесь статьи, в соответствии

с духом *Edge*, охватывают самый широкий круг научных вопросов, дающий представление обо всем на свете. Тут и философия, и математика, экономика, история, лингвистика и поведение человека. Связующей нитью служит то, что простая и неочевидная идея предлагается в качестве объяснения разнообразной и трудной для понимания совокупности явлений.

Джон Брокман,
издатель и редактор *Edge*

ЭВОЛЮЦИЯ ПУТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА

СЬЮЗАН БЛЭКМОР

Психолог; автор книги *Consciousness. An Introduction*
(«Сознание. Введение»)

Конечно, это теория Дарвина. Никакое другое объяснение не выдерживает сравнения. Эволюция путем естественного отбора (на самом деле любого отбора — естественного или искусственного) предлагает наиболее красивую и элегантную из всех научных теорий. Этот несложный трехступенчатый алгоритм объясняет, почему мы живем в таком сложно организованном мире. Он открывает причины существования не только нас самих, но и деревьев, котят, языка урду, Банка Англии, футбольного клуба «Челси» и айфона. Вы можете поинтересоваться — если это объяснение столь простое и убедительное, то почему до него никто не додумался прежде Чарлза Дарвина и Альфреда Рассела Уоллеса и почему даже сегодня многие люди не в состоянии его усвоить? Причина, я думаю, в том, что в его основе — тавтология. Создается впечатление, что, когда вы говорите: «выживают те, кто выживает» или «успешные замыслы успешны», ваши слова не несут никакой информации. Чтобы придать этим тавтологиям убедительность, нужно добавить контекст — ограниченный постоянно меняющийся мир, в котором существует конкуренция с переменными правилами и выживают не все.

В таких условиях успех мимолетен, а трехступенчатый алгоритм превращает тавтологию в глубокое и элегантное объяснение. Многократно скопируйте с небольшими отклонениями оставшихся в живых и выпустите их в наш изменчивый мир, и только те, кто приспособится к новым условиям, продолжат существование. Мир, наполненный живыми существами, идеями, учреждениями, языками, историями, программным обеспечением и машинами, целиком был создан благодаря конкурентной борьбе.

Эту красивую идею *сложно* уловить, и я знала многих университетских студентов, которые изучали теорию эволюции в школе и полагали, что усвоили ее, но на самом деле ничего в ней не поняли. Мне как преподавателю радостно было видеть удивленные выражения лиц у студентов, когда они неожиданно ухватывали суть. Это было настоящим счастьем и еще по одной причине. Когда я гляжу поверх компьютера в окно — на мост над рекой, на деревья, стадо коров вдалеке — я, в отличие от некоторых религиозных людей, восхищаюсь простым и изящным соревновательным процессом, который вызвал их всех к существованию и предоставил мне среди них мое собственное скромное место.

ЖИЗНЬ — ЭТО ДИСКРЕТНЫЙ КОД

МЭТТ РИДЛИ

Ученый и писатель, основатель и председатель
Международного центра жизни; автор книги
Rational Optimist («Рациональный оптимист»)

Сейчас трудно представить, какой непостижимой казалась жизнь утром 28 февраля 1953 года и насколько все перевернулось к обеду. Вспомните все предыдущие ответы на вопрос «Что такое жизнь?», и вы ощутите, до какой степени мы как вид были беспомощны. Жизнь состоит из своеобразных сложных трехмерных объектов (преимущественно белковых) и аккуратно копирует сама себя. Но как? Каким образом сделать копию трехмерного объекта? Как вырастить ее и развить в предсказуемом направлении? Никто тогда даже близко не подошел к разгадке этой научной тайны. Правда, Эрвин Шрёдингер предпринял такую попытку, но вскоре вернулся к квантовой физике, которая к делу отношения не имела. Да, он использовал выражение «аперриодический кристалл», и если быть великодушным, то можно увидеть в этом предсказание линейного кода, но я полагаю, что это избыточная щедрость.

На самом деле, проблема жизни стала еще более трудноразрешимой с пониманием ключевой роли ДНК, потому что ДНК устроена просто и однообразно. До 28 февраля 1953 года все объяснения сущности жизни оставались пустой болтовней — с таким же успехом можно было рассуждать о «живом веществе» или «искре Божьей». Затем появилась двойная спираль и мгновенное понимание того, что пару недель спустя в письме к сыну Фрэнсис Крик назвал «в некотором роде кодом» — дискретным, линейным, двумерным, комбинаторно разнообразным и самовоспроизводящимся. В этом и заключалось необходимое объяснение. Вот отрывок из того письма Крика, написанного сыну 17 марта 1953 года.

Мой дорогой Майкл,

Джим Уотсон и я сделали, возможно, важнейшее открытие... Теперь мы уверены, что ДНК — это код. Так, последовательность оснований («букв») делает один ген непохожим на другой (так же, как отличаются одна от другой страницы печатного текста). Ты можешь представить себе, как Природа делает копии генов: если две цепи расплести на две отдельные цепи, и каждая цепь присоединит еще одну цепь, то А всегда будет с Т, а Г — с Ц, и мы получим две копии вместо одной. Другими словами, мы думаем, что нашли основополагающий механизм, с помощью которого жизнь возникает из жизни... Можешь понять, как мы взволнованы.

Никогда еще загадка не казалась такой неразрешимой утром, а ответ — таким очевидным после полудня.

СНИЖЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

РИЧАРД ДОКИНЗ

Эволюционный биолог, философ, заслуженный профессор популяризации науки Оксфордского университета; автор множества научно-популярных книг, среди них *The Magic of Reality* («Магия реальности»)

Глубокая, красивая и элегантная теория? Одно из качеств, присущих элегантной теории, состоит в том, что, предполагая мало, она объясняет много. И тут естественный отбор Дарвина — вне конкуренции. Соотношение великого множества вещей, которые он объясняет (все о жизни: сложность, разнообразие и иллюзорная продуманность замысла), и того немногого, что он вынужден постулировать (неслучайное сохранение случайно изменяющихся генов в течение геологической истории Земли), весьма значительно. Никогда еще такое количество фактов не получало истолкования при столь минимальных допущениях. Элегантная и к тому же глубокая теория, глубина которой была скрыта от всех долгое время — до конца XIX века. В то же время, на вкус некоторых, естественный отбор слишком разрушителен, расточителен и жесток, чтобы считать его красивым. Надеюсь, кто-нибудь другой из моих коллег обязательно выберет Дарвина, я же возьму его правнука, а к Дарвину вернусь в самом конце.

Хорас Барлоу — член Королевского общества, младший внук сэра Хораса Дарвина, младшего сына Чарлза Дарвина. Очень активный в свои 90 с лишним лет, Барлоу — представитель знаменитой кембриджской династии нейробиологов. В 1961 году он опубликовал две статьи, посвященные идее снижения избыточности и распознавания образов. Следствия и значение этой идеи вдохновляли меня в течение всей моей научной карьеры.

В фольклоре нейробиологов есть этакий мифический «бабушкин нейрон», который возбуждается, только если

очень специфический образ — лицо бабушки Джерри Леттвина — попадет на сетчатку глаза (Леттвин — выдающийся американский нейробиолог, как и Барлоу, изучавший сетчатку лягушки). Дело в том, что бабушка Леттвина — лишь один из бесчисленных образов, распознаваемых мозгом. Если бы существовали специальные нейроны для всего, что мы можем опознать, — не только бабушку Леттвина, но и множество других лиц, объектов, букв алфавита, цветов, каждый из которых мы видим под разными углами на различном расстоянии, — у нас случился бы комбинаторный взрыв. Если бы чувственное восприятие работало по принципу «бабушки», количество специфических нейронов для всех возможных комбинаций нервных импульсов превысило бы число атомов во Вселенной. Американский физиолог Фред Эттнив подсчитал, что объем мозга в этом случае измерялся бы кубическими световыми годами. В качестве альтернативы Барлоу и Эттнив независимо предложили механизм *снижения избыточности*.

Термин «избыточность» в качестве своего рода обратной стороны информации пустил в обращение Клод Шеннон, основатель теории информации. В английском языке за буквой «q» всегда следует буква «u», поэтому «u» можно опустить без потери информации — эта буква избыточна. Когда избыточность присутствует в сообщении (что всегда происходит при наличии элемента неслучайности), оно может быть записано более экономно без потери информации, хотя и с некоторым снижением возможности исправления ошибок. Барлоу предположил, что на каждом этапе сенсорных путей существуют механизмы, предназначенные для устранения избыточности.

Мир в момент времени t незначительно отличается от мира в момент времени $t-1$. Поэтому сенсорным системам не обязательно постоянно оповещать мозг о состоянии мира. Они реагируют только на изменения сигналов, позволяя мозгу допускать, что все, о чем не сообщалось, остается по-прежнему. Сенсорная адаптация — хорошо известная функция сенсорных систем, которая действует в точности так, как предсказал Барлоу. Если нейрон сигнализирует, например, о температуре, то уровень его возбуждения, как можно наивно предположить, не пропорционален темпе-

ратуре. Возбуждение увеличивается только с изменением температуры, а затем угасает до низкого уровня покоя. То же самое справедливо для нейронов, сигнализирующих о яркости, громкости, давлении и т. д. Сенсорная адаптация позволяет достичь значительной экономии, используя неслучайность временной последовательности состояний мира.

Задачу, которую сенсорная адаптация решает во временной области, хорошо изученное явление латерального торможения осуществляет в пространственной. Если происходящее в мире событие попадает на пиксельный экран, такой как обратная сторона цифрового фотоаппарата или сетчатка глаза, большинство пикселей выглядит так же, как и их непосредственные соседи. Исключение составляют пиксели, находящиеся у границ, по краям экрана. Если каждая клетка сетчатки добросовестно передаст значение своего светового потока мозгу, он будет бомбардирован крайне избыточной информацией. Можно значительно сэкономить, если большинство импульсов, достигающих мозга, будет поступать от пикселей, лежащих по краям экрана. Мозг возьмет на себя заполнение однообразного пространства между ними.

Как отмечал Барлоу, именно этого и добивается латеральное торможение. В сетчатке лягушки, например, каждая ганглионарная клетка посылает сигнал в мозг, сообщая об интенсивности света в определенном месте на поверхности сетчатки. Но одновременно она направляет тормозящие сигналы своим непосредственным соседям. Это означает, что единственные ганглионарные клетки, посылающие мощные сигналы в мозг, находятся по краям. Ганглионарные клетки, расположенные в единообразных по цвету областях (таких большинство), направляют мало сигналов в мозг — если вообще направляют, — потому что они, в отличие от пограничных клеток, подавляются всеми своими соседями. Пространственная избыточность сигнала устраняется.

Выводы Барлоу можно распространить на большую часть знаний сенсорной нейробиологии, включая знаменитые нейроны-детекторы горизонтальных и вертикальных линий у кошек, обнаруженные Хьюбелом и Визелом (пря-

мые линии избыточны и могут реконструироваться по их концам), и детекторы движения в сетчатке лягушки, открытые тем самым Джерри Леттвином с коллегами. Движение представляет собой неизбежное изменение в мире лягушки. Но даже движение становится избыточным, если продолжается в одном направлении с одинаковой скоростью. Как и следовало ожидать, Леттвин и его коллеги обнаружили нейрон «странности» в своих лягушках, который возбуждается, если движущийся объект делает что-то неожиданное — ускоряется, замедляется или меняет направление. Нейрон «странности» предназначен для того, чтобы отсеивать избыточность очень высокого порядка.

Барлоу указывал, что исследование сенсорных фильтров данного животного теоретически позволит нам получить сведения об избыточности, существующей в животном мире. Можно будет составить своего рода описание статистических особенностей этого мира. А вот теперь я, как и обещал, вернусь к Дарвину. В книге *Unweaving Rainbow* («Расплетая радугу») я предположил, что генетический фонд видов представляет собой «генетическую книгу мертвых» — закодированное описание предшествующих миров, в которых гены этих видов выживали в течение геологической истории Земли. Естественный отбор — это своего рода усредняющий компьютер, который обнаруживает избыточность (повторяющиеся образцы) в следующих друг за другом мирах (следующих через миллионы поколений), где виды выживали (усредненные по представителям всех видов, размножающихся половым способом). Может быть, мы могли бы использовать то, что сделал Барлоу для нейронов, в сенсорных системах, и применить для аналогичного анализа генов в генетических фондах, прошедших естественный отбор? Это было бы глубоко, элегантно и красиво.

СИЛА АБСУРДА

СКОТТ ЭТРАН

Антрополог (Национальный центр научных исследований, Париж); автор книги *Talking to the Enemy: Faith, Brotherhood, and the (Un)Making of Terrorists* («Разговаривая с врагом: вера, братство и (де)монтаж террористов»)

Представление о высшей силе, движущей Вселенной и историей или определяющей, что хорошо, а что плохо, о силе, чье существование принципиально не поддается разумному объяснению и опровержению логикой или опытным путем, — это самое простое, элегантно и непостижимое наукой явление, которое мне известно. Сила и абсурдность этого убеждения крайне обескураживают и заслуживают пристального внимания ученых. В эпоху, когда многие из наиболее взрывоопасных и неразрешимых конфликтов происходят на религиозной почве, научное понимание их причин никогда еще не было столь жизненно необходимо.

Как назвать это — любовью к Богу или поисками Первопричины — в конечном счете, неважно. Это «привилегия абсурда, которой не подвержено ни одно живое существо, кроме человека», — писал Гоббс в «Левиафане». В «Происхождении человека» Дарвин рассматривал это как проявление «морали», с помощью которой успешные племена лучше подготовлены к соревнованию за выживание и господство на крутых поворотах истории. В отличие от других живых существ люди определяют группы, к которым принадлежат, в абстрактных категориях. Часто они стремятся к длительным интеллектуальным и эмоциональным связям с неизвестными им людьми и готовы героически умирать или убивать, но не для того, чтобы сохранить свои жизни и жизни близких, а во имя идеи — концепции «кто мы есть», которую сами создали.

Высшие, сакральные ценности и религиозные представления существуют во всех культурах мира, но их содержа-

ние значительно различается. Сакральные ценности обозначают моральные границы общества и определяют, какие материальные действия допустимы. Нарушение сакрального запрещено. Мы осуждаем людей, продающих своих детей или предающих страну. Другие общества полагают аморальными супружескую измену или пренебрежение к нищим, но не обязательно порицают торговлю детьми и женщинами или запрет свободы самовыражения.

Высшие ценности становятся значимыми, только когда подвергаются сомнению. Примерно так же, как пища приобретает главное значение в жизни людей, когда ее не хватает. Люди одной культурной среды часто не ведают, что свято для людей другой культуры, или, получив такой опыт в результате конфликта, заключают, что чужие ценности аморальны и абсурдны. Подобные конфликты не могут быть полностью сведены к мирским расчетам или интересам, но должны рассматриваться в свойственных им категориях — в соответствии с логикой, отличной от рыночных механизмов или реальной политики. Например, история различных цивилизаций свидетельствует, что перспектива разрушения экономики и гибели значительной части населения не обязательно удержит людей от войны, революции или восстания. Как отмечал Дарвин, благородные и храбрые делают то, что соответствует их моральному долгу, независимо от последствий. (Действительно, данные сканирования мозга показывают, что люди перерабатывают информацию, связанную с сакральными ценностями, — вспомните десять заповедей или «Билль о правах» — в областях мозга, ответственных за ограниченное правилами поведение, а не за бытовые расчеты).

Существует очевидный парадокс, лежащий в основе формирования крупных человеческих сообществ. Религиозное и идеологическое развитие цивилизаций — все более крупных скоплений генетических чужаков, включая современные народы, интернациональные движения и другие воображаемые сообщества фиктивных сородичей, — видимо, зависит от того, что Кьеркегор называл «силой абсурда». (Таково желание Авраама перерезать горло своему любимому сыну, дабы доказать преданность невидимому и безымянному божеству, что сделало его величайшим

героем, а не насильником над ребенком, убийцей или психопатом.) Наиболее прочные социальные связи и поступки человечества, в том числе способность к взаимопомощи и прощению, к жертвенности и убийству, рождаются из приверженности причинам и образу действий, которые «невыразимы», — то есть их состоятельность, издержки и последствия принципиально не подлежат рациональной оценке и эмпирической проверке. Чем меньше материально обоснована чья-либо приверженность и самоотдача сакральной идее — иначе говоря, чем она абсурдней, — тем больше верят в нее другие.

Мыслители всех вероисповеданий пытались объяснить этот парадокс (большинство, будучи идеологически мотивированными и бесхитростными). Часто они это делали, дабы показать, что религия — это хорошо, но еще чаще убеждали своих последователей, что религия — это неоправданно плохо. Как бы то ни было, эволюция учит, что люди — эмоциональные создания. Разум в своей основе нацелен в первую очередь на политическое убеждение и социальную победу, а не на философскую или научную истину. Наставлять, что стойкий рационализм — лучшее средство, и надеяться на победу над долговечным иррационализмом, полагая, что логическое сопоставление фактов когда-нибудь покончит с сакральным и завершит конфликт, — значит пренебрегать всем тем, чему нас учит наука о нашей страстной натуре. На протяжении всей истории человечества, и в трудноразрешимых конфликтах, и во всеобщем ликованиях, прагматичная логика не могла заменить сакральное, и в будущем это вряд ли случится.

Альфред Рассел Уоллес полагал, что моральное поведение (наряду с математикой, музыкой и искусством) служит доказательством того, что эволюция человека связана не только с естественным отбором. «Особые дарования, которые мы обсуждаем, ясно указывают на существование в человеке качеств, которые он не мог унаследовать от своих животных предков, — чего-то, что мы с большим основанием отнесли бы к духовной сущности... помимо материальных объяснений, законов и движущих сил»¹. Про-

¹ Alfred Russel Wallace, *Darwinism* (New York: Macmillan, 1889), 474–475.

должительное разногласие Уоллеса с Дарвином по этому вопросу побудило последнего выразить протест в письме: «Надеюсь, вы еще не полностью похоронили нашего с вами ребенка»¹. Но Дарвин и сам не нашел внятного объяснения тому, каким образом люди стали моральными животными, помимо того что наши предки были очень слабы физически и выжили только благодаря совместным усилиям. Религия и сакральное, столь долгое время отлученные от разумного познания идеологическими предубеждениями всех вероисповеданий, — возможно, по причине близости предмета к тому, кем мы хотели или не хотели бы быть, — все еще обширная, запутанная и по большей части неисследованная область для науки. Однако в самых разных странах в каждодневной жизни большинства людей она выглядит простой и элегантной.

¹ Charles Darwin to A. R. Wallace, March 27, 1869. Alfred Russel Wallace: Letters & Reminiscences, ed. J. Marchant (New York: Harper, 1916), 197.

КАК МОЖЕТ ВОЗНИКНУТЬ КАЖУЩАЯСЯ ЗАВЕРШЕННОСТЬ

КАРЛО РОВЕЛЛИ

Физик-теоретик (Центр теоретической физики, Марсельский университет, Франция); автор книги *Quantum Gravity* («Квантовая гравитация»)

Без сомнения, теория Дарвина. Красота и простота его объяснения поразительны. Я уверен, что другие авторы уже отметили дарвиновский естественный отбор как их самое любимое, глубокое, красивое и элегантное объяснение. Тем не менее я хочу подчеркнуть всеобъемлющий характер интуиции Дарвина, которая выходит далеко за пределы фундаментального вывода о том, что у нас общие предки со всеми живыми существами на Земле, и непосредственно связана с основой всех научных представлений.

Вскоре после того, как древнегреческие ученые начали разрабатывать естественноисторические объяснения природы, возникло возражение общего свойства. Это возражение четко сформулировал Платон — например, в «Фидоне» — и особенно Аристотель в дискуссии о теории «причин». Натуралистические объяснения основаны на том, что Аристотель называл «действенной причиной», а именно, на явлении в прошлом, которое произвело эффект. Но в мире, по-видимому, преобладают явления, которые можно рассматривать в категориях «конечных причин», — то есть в качестве «цели» или «предназначения». Это очевидно в живой природе. У нас есть рот, «поэтому» мы можем есть. Важность этого возражения трудно переоценить. Оно дискредитировало древний натурализм и в сознании многих людей все еще служит источником психологического неприятия естественноисторического понимания мира.

Дарвин обнаружил впечатляюще простой механизм, посредством которого действенные причины порождают явления, управляемые конечными причинами. Реальные явления, которые мы наблюдаем, — это те, что воспроиз-

водятся. Следовательно, мы можем воспринимать их в понятиях конечных причин. Другими словами, конечная причина эффективна для понимания мира, потому что это кратчайший путь в оценке прошлой истории продолжающегося явления.

Эта идея появилась давно. Греческий философ Эмпедокл, живший в V веке до н. э., предполагал, что конечная причина в живой природе может быть результатом избирательной случайности, а Аристотель в «Физике» упоминал версию этой идеи применительно к видам («семенам»). Но время еще не пришло, и предположение затерялось в последующие религиозные эпохи. Я думаю, неприятие теории Дарвина связано не с трудностями понимания впечатляюще красивого объяснения, а с опасением осознать его невероятную мощь в борьбе со старым мировоззрением.

ПРОСРОЧЕННАЯ КОНЧИНА МОНОГАМИИ

ОБРИ ДИ ГРЕЙ

Геронтолог, главный научный сотрудник фонда SENS¹;
автор книги *Ending Aging* («Конец старения»)

Существует множество убедительных аргументов эволюционной биологии, объясняющих, почему разнообразные виды и, прежде всего, *Homo sapiens*, приняли образ жизни, в котором самки и самцы образуют пары на длительный срок. Но приводить одно из этих объяснений не входит в мою задачу. Вместо этого я объясню, почему мы приблизились — намного ближе, чем может представить себе большинство людей, даже читателей *Edge*, — к величайшему социальному, в противоположность технологическому, достижению в истории цивилизации.

В 1971 году американский философ Джон Раулс пустил в обращение термин «отражающее равновесие», чтобы обозначить «состояние равновесия или взаимосвязи между рядом убеждений, возникших в процессе согласованной взаимной адаптации общих принципов и частных суждений»². С практической точки зрения, концепция «отражающего равновесия» говорит о том, как мы обнаруживаем и улаживаем логические противоречия в наших господствующих моральных ориентирах. Примеры, такие как неприятие рабства и неисчислимых «измов» (сексизм, эйджизм³ и т. д.), хорошо известны. Лучшими доводами послужили те, что разоблачали двойные стандарты: сохранение существующего отношения к одной проблеме, вопреки уже сло-

¹ Сокращение от Strategies for Engineered Negligible Senescence (Стратегии достижения пренебрежимого старения инженерными методами). SENS — концепция, разработанная О. ди Греем. — *Прим. перев.*

² *A Theory of Justice* (Cambridge, MA: Belknap Press, 1971).

³ Дискриминация по возрасту. — *Прим. перев.*

жившемуся противоположному отношению к другой, совершенно сходной проблеме.

Я отдаю предпочтение «отражающему равновесию» как самому красивому и элегантному объяснению за безграничные возможности его применения, а также за его независимость от других точек зрения. Особенно важно, что оно обходит вопрос когнитивизма — объективности морали. Когнитивисты считают, что определенные поступки по своей сути хороши или плохи независимо от того, в каком обществе они совершаются или не совершаются, — точно так же, как действие законов физики принято считать независимым от наблюдателя. В свою очередь, нонкогнитивисты, напротив, полагают, что не существует всеобщих нравственных принципов, и каждое общество создает собственные моральные правила. Таким образом, действия, которые мы однозначно воспринимаем как аморальные, могут быть безупречно моральными в другой культуре. Но когда мы непосредственно принимаем решение, морально ли то или иное представление, «отражающее равновесие» освобождает нас от необходимости задумываться над вопросом когнитивизма. Короче говоря, оно объясняет, почему нам не важно, объективна ли мораль.

Я особо выделяю моногамию среди многих вопросов, к которым может быть успешно применено «отражающее равновесие», потому что отношение западного общества к моногамии переживает критический момент. Моногамия сегодня сравнима с гетеросексуальностью несколько десятилетий назад или терпимостью к рабству 150 лет назад. Множество людей отказываются от моногамии, значительно меньшее число активно поддерживает приемлемость этого отказа, но большинство все-таки защищает моногамию и осуждает взгляды меньшинства. Почему это критический момент? Потому что это точка, в которой просвещенные идейные лидеры могут существенно воздействовать на скорость, с которой произойдет сдвиг в неизбежное положение.

Прежде всего, хочу внести ясность: я говорю о сексе, а не о более глубоких эмоциональных взаимоотношениях. Каковы бы ни были взгляды или предпочтения человека относительно приемлемости и желательности тесных

душевных связей более чем с одним партнером, выполнение обязанностей, которые они повлекут за собой, займет значительную часть из 24 часов, имеющихся в его распоряжении в сутки. Затруднения, проистекающие из этой неприятной истины, — тема для другого рассказа. Здесь же я сосредоточусь на случайных любовных связях (регулярных или нет), в которых наличие времени несущественно.

Доказательства с помощью «отражающего равновесия» всегда начинаются с выявления общепринятых взглядов, с которыми затем проводится параллель. В данном случае речь идет о ревности и собственничестве. Рассмотрим шахматы или выпивку. Этим редко занимаются в одиночестве. Но разве можно обижаться на друга, с которым время от времени играешь в шахматы, если его выбор пал на другого партнера? И если кто-то проявляет подобное собственничество, не будет ли он выглядеть непомерно навязчивыми и эгоистичным?

Мое утверждение теперь, наверное, понятно. Просто в сексе нет ничего, что с моральной точки зрения отличало бы его от других видов деятельности, которыми люди занимаются вдвоем или в компании. В мире, не озабоченном более продуктивностью размножения, при условии, что все участники приняли соответствующие меры предосторожности относительно беременности и заболеваний, секс — преимущественно развлекательное занятие. Что в таком случае отличает его в нравственном плане от других способов развлечения? Ничего, и тогда «отражающее равновесие» вынуждает нас принять одно из двух решений: либо мы начинаем возмущаться наглостью наших постоянных партнеров по шахматам, позволяющих себе играть с другими партнерами, либо прекращаем негодовать по тому же поводу в сексе.

Мое предсказание, что конец моногамии не за горами, — следствие замечания о продуктивности размножения, сделанного выше. В истории каждого отдельного общества происходило резкое снижение рождаемости, за которым следовало достижение уровня жизни, обеспечивающего приемлемую степень женского образования и раскрепощения. Моногамия практически обоснована тогда, когда женщина проводит всю свою взрослую жизнь с маленькими

детьми, вертящимися под ногами, потому что иначе не может быть гарантировано долгосрочное финансирование. Но когда привычной становится финансовая независимость обоих полов, эта логика рушится. Сие особенно характерно для мужчин и женщин, отказывающихся иметь детей до среднего возраста (или заводить их вообще), доля которых постоянно увеличивается.

Я понимаю, что для стремительной смены моральных ориентиров общества недостаточно устранения воздействий, поддерживающих *status quo*, — необходим также активный стимул. Что может послужить стимулом в данном случае? Это страдания и боль, возникающие, когда ревность и собственничество, свойственные моногамному складу ума обывателей, в сочетании с колебаниями привязанности и влечения становятся ответной реакцией человеческих существ на развивающиеся социальные отношения. Беспричинные страдания — проклятие для всех. Осознание, что эта конкретная категория страданий совершенно беспочвенна, обладает не только неотразимой моральной силой (посредством принципа «отражающего равновесия»), но и неизмеримой эмоциональной выгодой.

Это последнее предупреждение.

ОБЪЯСНЕНИЕ ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ БОЛЬЦМАНОМ

ЛЕОНАРД САССКИНД

Профессор физики Стэнфордского университета, директор Стэнфордского института теоретической физики; автор книги *The Black Hole War: My Battle with Stephen Hawking to Make the World Safe for Quantum Mechanics* («Битва при черной дыре. Мое сражение со Стивеном Хокингом за мир, безопасный для квантовой механики»). СПб., Питер, 2013)

«Какое объяснение вы считаете самым глубоким, элегантным или красивым?» Трудный вопрос для физика-теоретика, потому что теоретическая физика вся состоит из глубоких, элегантных или красивых объяснений, так что есть широкий выбор. На мой взгляд, лучшие объяснения те, что делают из малого великое. Применительно к физике, это подразумевает простое уравнение или очень широкое обобщение. Должен признаться, что ни одно уравнение или обобщение не привлекает меня так, как дарвиновская эволюция с включением в нее механизма эгоистичного гена. По-моему, она обладает тем же качеством, что и лучшие физические теории, — своего рода математической неизбежностью. Но существует множество людей, которые могут объяснить эволюцию лучше меня, поэтому я буду говорить о том, что знаю лучше других.

Путеводной звездой для меня как физика всегда служило объяснение, данное Людвигом Больцманом второму началу термодинамики — закону, утверждающему, что энтропия никогда не уменьшается. В конце XIX века это было совсем неочевидно. В природе часто встречаются необратимые явления — события, которые легко случаются, но не могут происходить в обратном направлении. Тем не менее фундаментальные законы физики полностью обратимы. Каждое решение уравнений Ньютона может быть прочитано в обратном направлении и при этом оставаться решением. Таким образом, если энтропия способна уменьшаться, то, согласно законам физики, она способна и увеличиваться. Но опыт показывает иное. Например, если вы

смотрите прокрученный назад фильм с ядерным взрывом, то прекрасно понимаете, что так не бывает. Как правило, события происходят в одном направлении. Энтропия увеличивается.

Больцман понял, что второй закон термодинамики — энтропия никогда не уменьшается — не является законом в общепринятом понимании, как закон гравитации Ньютона или закон электромагнитной индукции Фарадея. Это вероятностный закон, который имеет ту же силу, что и очевидное утверждение: если вы миллион раз подбросите монету, то у вас не выпадет миллион раз орел. Но это в принципе возможно? Да, возможно, так как не нарушает ни одного закона физики. Это вероятно? Не совсем. Больцмановская формулировка второго закона очень напоминает предыдущее рассуждение. Вместо утверждения «энтропия не уменьшается» он высказывает предположение: «энтропия, *возможно*, не уменьшается». Но если вы будете достаточно долго ждать в замкнутом пространстве, то, в конце концов, увидите, как энтропия уменьшается. Случайным образом частицы и пыль соединятся вместе и примут форму правильно смонтированной бомбы. Как долго нужно ждать? Согласно Больцману, ответ представляет собой экспоненциальную функцию от энтропии, созданной взрывом бомбы. Это очень долгое время, намного более длительное, чем потребуется, чтобы при подбрасывании монеты орел выпал миллион раз подряд.

Я приведу простой пример, показывающий, каким образом одно событие более вероятно, чем другое, хотя оба возможны. Представьте себе высокий холм с узкой, остроконечной вершиной. Теперь представьте шар для боулинга, уравновешенный на вершине этого холма. С появлением легкого ветерка шар скатывается с холма, и вы ловите его внизу. Затем катите его назад: шар выскальзывает из вашей руки, катится вверх по холму, с невероятной точностью достигает вершины и останавливается! Это возможно? Да. Это вероятно? Нет. Вам потребуется безукоризненная меткость, чтобы отправить шар на вершину, не говоря уже о том, чтобы он остановился там как вкопанный. То же самое справедливо для бомбы. Если вы сможете вернуть на место каждый атом с достаточной аккуратностью, вы сумеете воссоединить продукты взрыва. Но малейшая неточность в положении всего одной частицы — и все, что вы получите, будет лишь новой кучей мусора.

Вот другой пример. Капните немного черных чернил в бочку с водой. Чернила растекутся, и вода, в конечном счете, станет серой. Очистится ли когда-нибудь вода, образовав каплю чернил? Возможно, но очень маловероятно.

Больцман первым осознал статистическое основание второго начала термодинамики, но он также первым обнаружил неадекватность своей формулировки. Предположим, вы находите бочку, наполненную неисчислимым количеством лет назад, которую с тех пор никто не трогал. Вы замечаете странное обстоятельство — вода содержит каплю чернил. Первое, что вы можете спросить, — что за этим последует? Ответ — чернила почти наверняка растекутся. Но если вы спросите, что происходило незадолго до этого, ответ будет тем же — вероятно, мгновение назад чернила занимали большее пространство, чем сейчас. Наиболее подходящим объяснением служит то, что появление капли чернил представляет собой кратковременную флуктуацию.

Вообще-то я не думаю, что вы придете к подобному умозаключению. Более разумное объяснение состоит в том, что, по неизвестным причинам, бочку наполнили недавно, затем туда добавили каплю чернил, которая начала растекаться. Попытка понять, почему смешение воды и чернил идет в одном направлении, поднимает проблему «начальных условий». Прежде всего, чем определяется концентрация чернил?

Вода и чернила служат иллюстрацией вопроса, почему энтропия увеличивается. Она увеличивается, потому что, вероятнее всего, она будет увеличиваться. Но уравнения показывают, что, скорее всего, она также увеличивалась в прошлом. Чтобы понять, почему так происходит, нужно задать тот же вопрос, что и Больцман: почему энтропия была так мала в самом начале? Что создало Вселенную с таким специфическим, низким уровнем энтропии? Это космологический вопрос, на который у нас до сих пор нет однозначного ответа.

Я начал вам рассказывать о самом привлекательном для меня объяснении, а закончил самой увлекательной для меня нерешенной проблемой. Прошу прощения, что не последовал инструкциям. Но так обстоит дело со всеми хорошими объяснениями. Чем они лучше, тем больше вопросов поднимают.

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ СОЗНАНИЯ

ДЖОЭЛ ГОЛД

Психиатр, профессор психиатрии Школы медицины Нью-Йоркского университета

Существуют люди, которые стремятся к прочным супружеским отношениям, но постоянно обманывают своих жен.

Есть люди, которые мечтают об успешной карьере, но продолжают подрывать свою репутацию на работе.

Аристотель определил человека как «разумное животное». Подобные противоречия показывают, что это не так. В жизни каждого человека существует конфликт между тем, что он хочет, и тем, как он живет. Большую часть человеческой истории мы не могли разрешить этот парадокс, пока Фрейд не нашел ему объяснение, открыв подсознание. До Фрейда мы были стеснены в средствах, когда искали объяснение тому, что думаем и чувствуем. Все, чем мы располагали, чтобы понять противоречивые мысли, чувства и побуждения, ограничивалось тем, что было доступно нашему сознанию. Мы знали, что знали, и чувствовали, что чувствовали. Элегантное объяснение Фрейда постулировало скрытое от нас умозрительное пространство, в котором господствует иррациональность. Эта особенность разума не поддается рациональным ограничениям, таким как логический вывод, причина и следствие, линейное время. Подсознание дает ответ, почему рациональные люди ведут иррациональную жизнь.

Критики могут исключить из того, что Фрейд относил к подсознанию, сексуальные и агрессивные побуждения, защитные механизмы, конфликты, фантазии, аффекты и верования, но никто не станет отрицать само существование подсознания. Оно получило всеобщее признание. Как еще объяснить, что мы всю жизнь оступаемся, неуверенные в собственных побуждениях и непонятные сами себе? Интересно, как обосновывает бихевиорист развод со своей третьей косоглазой рыжеволосой женой?

Вселенная преимущественно состоит из темной материи. Мы не можем ее увидеть, но она обладает мощной гравитационной силой. Сознание — во многом так же, как видимая часть Вселенной, — лишь незначительная часть разума. Подсознание, эта темная материя разума, обладает значительным физическим притяжением. Если пренебречь темной материей Вселенной, появятся аномалии. А если проигнорировать темную материю разума, наша иррациональность станет необъяснимой.

«И В НЕБЕ, И В ЗЕМЛЕ СОКРЫТО БОЛЬШЕ, ЧЕМ СНИТСЯ ВАШЕЙ МУДРОСТИ...»¹

АЛАН ЭЛДА

Актер, режиссер, писатель, ведущий программы
The Human Spark канала PBS

Эта цитата не выглядит как объяснение, но я воспринимаю ее именно таким образом. Для меня замечание Гамлета истолковывает запутанность и неопределенность нашей Вселенной (и, в конечном счете, всего мироздания). Оно поддерживает, когда наши философские теории, как всегда, оказываются непоследовательными. Оно отвечает на невысказанный вопрос «Какого черта?». За любой дверью в природу, которую нам удастся приоткрыть, обнаруживается сотня новых дверей, каждая со своим тайным кодовым замком. Тут и объяснение, и вызов, потому что всегда можно узнать больше.

Мне нравится, что все это бесконечно замкнуто само на себя. Каждый раз, когда мы обнаруживаем что-то новое на земле или на небе, это новое становится частью нашей философии.

Конечно, как и у любого объяснения, у него имеются ограничения. Гамлет обращается к Горацио, чтобы убедить его поверить в существование привидений. С таким же успехом это объяснение применимо, чтобы заставить поверить в НЛЮ, астрологию и даже Бога.

Однако эта фраза может нас и куда-нибудь привести. Не как такси до конечной остановки познания, а как стимул к исследованию. Слова Гамлета лучше всего воспринимать как храповик² — слово по-житейски прекрасное, как по звучанию, так и по значению. Продолжай двигаться вперед, но береги то, что работает. Для GPS³ нам нужен Эйнштейн, но мы все еще можем достигнуть Луны с помощью Ньютона.

¹ У. Шекспир. Гамлет. Перевод М. Л. Лозинского. — *Прим. перев.*

² Зубчатый механизм, позволяющий оси вращаться в одном направлении и не позволяющий вращаться в другом. — *Прим. перев.*

³ Система глобального позиционирования (сокр. от англ. Global Positioning System), спутниковая система навигации, определяющая местоположение. — *Прим. перев.*

ВСЕЛЕННАЯ ПТОЛЕМЕЯ

ДЖЕЙМС ДЖ. О’ДОННЕЛЛ

Специалист по античной филологии, ректор Джорджтаунского университета; автор книги *The Ruin of the Roman Empire* («Руина Римской империи»)

Клавдий Птолемей изучал небо. Он был египтянином, писавшим по-гречески, и жил в Римской империи в правление императоров Траяна и Адриана. Его самому знаменитому труду — «Альмагесту» — дали название арабские переводчики. Птолемей унаследовал древнюю традицию астрономии, восходящую к Месопотамии, и составил самое совершенное и долгоживущее математическое описание небесной механики, получившее его имя.

Геоцентрическая Вселенная Птолемея известна в первую очередь благодаря Копернику, Кеплеру, Ньютону и Эйнштейну, которые не без основания один за другим отвергали ее в ходе поступательного развития современной науки. Но Птолемей заслуживает нашего глубокого уважения, потому что его система действительно не лишена здравого смысла. Он различал звезды и планеты и понимал, что поведение планет нуждается в дополнительном объяснении. (Слово «планета» по-гречески означает «странница», что отражает удивление древних пастухов и мореходов непредсказуемым движением этих ярких огоньков, в отличие от постоянной траектории годичного движения Ориона или кружения Медведиц над головой.) Птолемей представил небесную механику в виде сложной математической системы, особенно примечательной своими «эпициклами» — проще говоря, орбитами внутри орбит, малыми кругами, по которым кружатся планеты, продолжая свое вращение вокруг Земли. Это объясняет движение планет, наблюдаемое в ночном небе.

Мы восхищаемся Птолемеем по многим причинам, но, прежде всего, потому, что он серьезно и ответственно выполнил свою работу теми средствами, которыми распола-

гал. В соответствии с уровнем знаний того времени, его система блестяще продумана, математически оформлена и обладает огромными преимуществами по сравнению с предшествующими. Наблюдения Птолемея терпеливы, тщательны и по возможности полны, а его математические вычисления точны. Более того, его математическая система сложна, насколько это необходимо, одновременно проста, насколько это допустимо, и содержит все, что нужно для ее применения. Короче говоря, он был образцом настоящего ученого.

Потребовались долгие годы и длительные дискуссии, прежде чем астрономия сумела выйти за рамки его представлений — и в этом состоит признание его достижений. Такой шаг стал возможен, потому что после Птолемея уже нельзя было опираться на магию, фантазию или принимать желаемое за действительное. Последователи Птолемея в эпоху великих астрономических открытий вынуждены были играть по его правилам: вести тщательные наблюдения, выполнять точные математические расчеты и предлагать системы, балансирующие на грани сложности и простоты. Птолемей бросил вызов последующим поколениям ученых — и они смогли превзойти его. Мы многим ему обязаны.

КВАЗИЭЛЕГАНТНОСТЬ

ПОЛ СТЕЙНХАРДТ

Профессор факультета физики и астрономии
Принстонского университета; соавтор книги (с Нилом
Тюроком) *Endless Universe* («Бесконечная Вселенная»)

Моим первым знакомством с элегантно­стью в науке стала короткая научно-популярная книга под названием «Симметрия», написанная авторитетным математиком Германом Вейлем. Я обнаружил эту книгу на четвертом курсе и затем перечитывал некоторые ее фрагменты раз в несколько лет. Начиная с простого эстетического объяснения симметрии для рядового читателя, автор приводит любопытные примеры из искусства, архитектуры, различных орнаментов и биологии. В четвертой, и последней, главе Вейль, тем не менее, обращается к точной науке и рассказывает об элементах теории групп — математических понятиях, которые превращают симметрию в мощный инструмент.

Демонстрируя его возможности, Вейль поясняет, как теория групп может быть использована для объяснения формы кристаллов. Кристаллы завораживают нас своими красивыми гранеными формами. Большинство горных пород содержит смесь различных минералов, каждый из которых образует кристаллы, но их грани, сформированные рядом, прижатые друг к другу или испытывавшие воздействие стихии, неразличимы. Случается, однако, что те же самые минералы образуют крупные, отдельные кристаллы — именно их мы считаем наиболее эстетически привлекательными. «Оксид алюминия», быть может, звучит не слишком впечатляюще, но добавьте немного хрома, дайте природе достаточно времени, и вы получите рубин, достойный короля.

Грани встречающихся в природе кристаллов расположены под определенными углами, соответствующими ограниченному числу типов симметрии. Почему предпочтение отдается тем или иным формам? Какую научную информацию они несут? Вейль объясняет, как получить ответы на эти вопросы с помощью, на первый взгляд, не связанной с ними отвле­ченной математики, отвечающей на другой вопрос: какие формы следует использовать, чтобы выложить

мозаикой плоскость или заполнить пространство, если все формы одинаковы, соприкасаются сторонами и не оставляют свободного места?

Эту задачу можно решить с помощью квадратов, прямоугольников, треугольников, параллелограммов и шестиугольников. Возможно, вы полагаете, что с таким же успехом годятся и другие многоугольники — попробуйте, и вы убедитесь, что других возможностей не существует. Пяти-, семи- и восьмиугольники, как и остальные правильные многоугольники, не совмещаются друг с другом таким образом, чтобы не оставалось свободного пространства. Книга Вейля перечисляет все математически возможные решения — в общей сложности 17 для двух измерений (так называемые «узоры обоев») и 230 для трех.

Этот перечень потрясает тем, что перечисленные в нем формы в точности совпадают с формами кристаллов, обнаруженными в природе. Можно сделать вывод, что вещество кристалла напоминает мозаику, состоящую из одинаковых неделимых строительных блоков, повторение которых образует общее целое. Конечно, мы теперь знаем, что эти строительные блоки представляют собой соединения атомов и молекул. Тем не менее следует принять во внимание, что взаимосвязь между математикой и строением кристаллов была установлена в XIX веке, когда атомная теория еще подвергалась сомнению. Забавно, что отвлеченное изучение строительной плитки и блоков и всех вероятных комбинаций из них может привести к глубокому проникновению в сущность строения вещества. Это типичный пример того, что физик Юджин Вигнер называл «бесосновательной эффективностью математики в естественных науках».

История этим не заканчивается. В квантовой механике теория групп и принципы симметрии оказались полезными для предсказания электрических, магнитных и прочих свойств твердых веществ. Не останавливаясь на достигнутом, физики успешно применили принципы симметрии для объяснения фундаментальных свойств ядра и элементарных частиц, а также сил, посредством которых они взаимодействуют.

Когда, будучи юным студентом, я читал книгу Вейля, кристаллография казалась мне идеалом, к которому должна стремиться наука: элегантная математика, обеспечивающая понимание всех физических возможностей. По иро-

нии судьбы, через много лет я сыграл роль в том, чтобы этот идеал существенно подпортить. В 1984 году Дэн Шехтман, Илан Блех, Денис Гратиас и Джон Кан сообщили об открытии загадочного искусственного сплава алюминия и марганца с икосаэдрической симметрией¹. Подобная симметрия, с шестью пятикратно симметричными осями — самая известная из запрещенных кристаллических симметрий. По удачному стечению обстоятельств, Дов Левайн (Технион, Хайфа, Израиль) и я разрабатывали гипотезу новой формы твердого вещества, которую назвали «квазикристаллы», сокращенно от «квазипериодические кристаллы». (Квазипериодическое расположение атомов может быть описано суммой колебательных функций, где частота имеет иррациональное выражение.) Нас вдохновила двумерная мозаика, придуманная сэром Роджером Пенроузом и известная как «мозаика Пенроуза», которая состоит из двух мозаик, объединенных в пятикратно симметричную структуру. Мы показали, что квазикристаллы способны существовать в трех измерениях и не подчиняются законам кристаллографии. Фактически они могут обладать любой симметрией, запрещенной для кристаллов. Более того, мы продемонстрировали, что дифракционные решетки, предсказанные для икосаэдрических квазикристаллов, соответствовали наблюдениям Шехтмана и его коллег.

Начиная с 1984 года, в лабораториях были синтезированы квазикристаллы с другими запрещенными типами симметрии. В 2011 году Дэн Шехтман получил Нобелевскую премию за экспериментальные достижения, которые изменили наши представления о возможных формах вещества. Позднее мои коллеги и я представили доказательства того, что квазикристаллы могли быть одними из первых минералов, образованных в Солнечной системе.

Кристаллография, с которой я познакомился в книге Вейля, предположительно была исчерпывающей и непреложной, но оказалась крайне неполной, упускающей из виду без преувеличения неисчислимое множество типов симметрии вещества. Наверное, из этого следует извлечь урок: хотя простота и элегантность — полезные критерии оценки теорий, иногда они могут ввести нас в заблуждение.

¹ D. Shechtman et al., «Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry», *Phys. Rev. Lett.* 53, 1951–3 (1984).

ПРОСТОТА

ФРЭНК ВИЛЬЧЕК

Физик-теоретик (Массачусетский технологический институт), лауреат Нобелевской премии по физике 2004 года; автор книги *The Lightness of Being* («Легкость бытия»)

Мы все имеем интуитивное представление о том, что такое простота. В науке это понятие часто используется в качестве положительной оценки. Считается, что простые объяснения более естественны, продуманны и надежны, чем сложные. Мы избегаем блуждания вокруг да около, длинных списков исключений и особых случаев. Но можем ли мы сделать решительный шаг вперед, чтобы превратить наше интуитивное представление о простоте в точную научную концепцию? Существует ли простой ключ к простоте? Можно ли измерить или подсчитать простоту?

Когда я задумываюсь о серьезных философских проблемах, (а я делаю это чаще, чем нужно), моим любимым методом служит приведение вопроса в вид, понятный компьютеру. Как правило, это разрушительный способ: он заставляет выражать свои мысли проще, и когда туман рассеивается, от серьезной философской проблемы мало что остается. Однако в случае с определением сущности простоты метод оказался продуктивным, так как привел меня напрямик к простому и основательному положению математической теории информации — длине информации. В научной литературе это положение известно под разными наименованиями, включая «алгоритмическую энтропию» и «сложность Колмогорова–Смирнова–Хайтина». Естественно, я выбрал самое простое.

Практически длина информации служит мерой сложности, но она подходит и для нашей задачи, потому что мы можем определить простоту как противоположность сложности или, в численном выражении, как отрицательную сложность. Чтобы получить у компьютера ответ, насколько что-то сложно, мы должны представить это «что-то»

в доступном для компьютера виде — то есть в виде файла с данными, набора нулей и единиц. Едва ли это вынужденное искажение информации: мы знаем, что файлы с данными могут содержать, например, видеофильм, так что мы можем спросить, насколько просто его содержание. Так как наш фильм наверняка посвящен научным наблюдениям или исследованиям, мы можем поинтересоваться простотой научного объяснения.

Интересные файлы с данными, конечно, могут быть очень большими. Но большие файлы не обязательно должны быть сложными. Например, файл, содержащий миллиарды нулей и ничего больше, на самом деле не сложен. Концепция длины информации, попросту говоря, состоит в том, что сложность информации определяется ее простейшим описанием. Применительно к компьютеру это означает, что сложность файла ограничивается самой короткой программой, которая может воссоздать его с нуля. Это и есть точное универсальное численное выражение простоты.

Такое определение простоты обладает существенным достоинством, так как открывает путь другим привлекательным и продуктивным идеям. Возьмем, к примеру, теоретическую физику. В теоретической физике мы пытаемся обобщить результаты обширных наблюдений и исследований в категориях нескольких всеобъемлющих законов. Другими словами, мы пытаемся создать самую короткую программу, описывающую весь мир. В этом смысле теоретическая физика — это стремление к простоте.

Следует отметить, что симметрия — основное качество физических законов — мощный инструмент простоты. Например, если мы используем законы, сохраняющие симметрию при перемещении в пространстве и времени, — иначе говоря, законы, применимые везде и всегда, — то нам нет нужды проговаривать законы для отдельных частей Вселенной или различных исторических эпох, и мы можем сохранить короткую программу для всего мира.

Простота ведет к глубине: чтобы короткая программа дала содержательные результаты, она должна поддерживать длинные логические цепочки и вычисления, которые и служат показателем глубины.

Простота ведет к элегантности: в самых коротких программах нет ничего лишнего. Каждый бит информации должен играть роль, иначе мы можем его удалить и сделать программу короче. Все различные части программы должны слаженно работать вместе, чтобы сделать из малого большое. На мой взгляд, редкий процесс более элегантен, чем развитие ребенка из оплодотворенной яйцеклетки в соответствии с программой ДНК. Простота ведет к красоте, потому что, как мы видели, она ведет к симметрии, которая служит одной из составляющих красоты. Так же как, в данном случае, глубина и элегантность.

Таким образом, правильно понятая простота показывает, что делает хорошее объяснение глубоким, элегантным и красивым.

ПРОСТОТА САМА ПО СЕБЕ

ТОМАС МЕТЦИНГЕР

Ведущий философского семинара в Майнцском университете Иоганна Гуттенберга; автор книги *Ego-tunnel* («Эго-туннель»)

Элегантность — более чем эстетическое качество или некий временный духовный подъем, который мы ощущаем, погружаясь в интуитивное познание. Элегантность — это формальная красота. А формальная красота как философское понятие представляет собой одну из наиболее опасных, провокационных идей, открытых человечеством, — это качество теоретической простоты. Ее разрушительная сила больше, чем теории Дарвина или любой другой отдельно взятой научной концепции, потому что она показывает глубину объяснения.

Элегантность как теоретическая простота проявляется в различных формах. Всем известна бритва Оккама — онтологический принцип скупости: не следует умножать сущности без необходимого. Уильям Оккам говорит, как метафизически осуществить выбор между конкурирующими теориями. Если все остальное одинаково, разумно предпочесть теорию, которая содержит меньше допущений.

«Мы не должны принимать иных причин природных явлений, кроме тех, что правдивы и достаточны для их объяснения», — так Исаак Ньютон сформулировал первое правило философского рассуждения в своих «Математических началах». Отбросьте все несущественное, а затем переложите груз доказательства на самую простую теорию. По словам Альберта Эйнштейна, «величайшая задача всей науки... в объяснении максимально возможного количества эмпирических фактов с помощью логических выводов при минимально допустимом числе гипотез и аксиом».

Конечно, в современных дискуссиях на эту тему возникает новый вопрос: при чем тут метафизика? Разве то, что мы должны определить, не представляет собой просто

несколько независимых, измеряемых параметров конкурирующих гипотез? Разве простота структуры, скажем, число основополагающих обобщений или принципов, на которых строится теория, — не лучший показатель эlegantности? Может быть, истинный критерий эlegantности в результате обнаружится в статистике — в выборе лучшей модели для набора фактов при соблюдении оптимального равновесия между удачно описывающей их кривой и принципом скупости? При этом, конечно, остается нерешенным вопрос относительно онтологической простоты в духе Оккамы: почему, собственно, простая теория более правдоподобна? В конечном счете, не кроется ли все это в глубоко скрытом убеждении, что Бог создал Вселенную совершенной?

Интересно, что идея простоты сохраняла свое влияние в течение столетий. Как умозрительный принцип она обладает мощным воздействием — ниспровергающей силой веского довода и упрощенного объяснения. Внешняя привлекательность теоретической простоты одновременно разрушительна и созидательна. Она заставляет нас отвергать лишние предположения, в достоверность которых мы просто не в состоянии поверить, в то время как на основе действительно эlegantных объяснений мы строим совершенно новые представления о мире. Но вот что я на самом деле хочу понять: можно ли такой основательный подход — разрушительное и созидательное качество простоты — перенести из области научных объяснений в нашу культуру или сознательный опыт? Может ли формальная простота сделать нашу культуру глубже и красивее? И что такое эlegantный разум?

ОБЪЯСНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА, ПОЧЕМУ ГРАВИТАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНА

ШОН КЭРРОЛЛ

Физик-теоретик (Калифорнийский технологический институт); автор книги *From the Eternity to Here* («Из вечности в сегодня»)

Древние греки полагали, что тяжелые предметы падают на землю быстрее, чем легкие. Для этого существуют веские основания, потому что тяжелый камень падает быстро, в то время как лист бумаги медленно планирует на землю. Но мысленный эксперимент Галилея обнаружил просчет в этом рассуждении. Представьте, что вы берете лист бумаги и привязываете его к камню. Вместе они тяжелее, чем каждый по отдельности, и должны падать быстрее. Но на практике лист бумаги задерживает падение камня.

Галилей утверждал, что скорость падения предметов — универсальное качество, не зависящее от их массы и строения, если отбросить сопротивление воздуха. Дейв Скотт, астронавт «Аполлона-15», находясь на поверхности Луны почти в вакууме, проиллюстрировал эту точку зрения. Он уронил перо и молоток — как и предсказывал Галилей, они упали с одинаковой скоростью.

Многие ученые задумывались над тем, почему так происходит. Частицы в электрическом поле ведут себя не так, как в гравитационном. Они все делают по-разному: положительно заряженные частицы движутся в одном направлении, отрицательно заряженные — в другом, а нейтральные остаются на месте. А вот гравитация универсальна — все объекты реагируют на нее одинаково.

Размышление над этой проблемой привело Эйнштейна к тому, что он назвал «самой счастливой мыслью в моей жизни». Представьте себе астронавта в космическом корабле без иллюминаторов или другой возможности увидеть

окружающий мир. Если корабль летит вдали от звезд или планет, все предметы внутри него находятся в состоянии свободного падения — отсутствует гравитационное поле, которое двигало бы их в определенном направлении. Теперь поместите корабль на орбиту крупной планеты, обладающей значительной гравитацией. Предметы внутри корабля по-прежнему будут находиться в свободном падении, потому что гравитация действует на них одинаково — ни один не движется вперед или в сторону от другого. Наблюдая только за тем, что происходит внутри корабля, мы не сможем обнаружить существование гравитации.

Эйнштейн, благодаря своей гениальности, сделал существенный вывод из подобного положения вещей. Если гравитация действует на все объекты одинаково, то не следует рассматривать ее как «силу» вовсе. Предпочтительно считать гравитацию свойством пространства-времени, сквозь которое они перемещаются. Точнее, гравитация — искривление пространства-времени. Пространство и время, сквозь которые мы движемся, не постоянны, как полагал Ньютон, — они сжимаются и растягиваются под воздействием материи и энергии. В результате объекты движутся в различных направлениях, подталкиваемые искривлением пространства-времени, — явлением, которое мы называем гравитацией. Таким образом, с помощью непревзойденной физической интуиции Эйнштейн сумел решить задачу, оставшуюся без ответа со времен Галилея.

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА И ПРОТИВОРЕЧИЯ ОБЩЕСТВЕННОЙ ЖИЗНИ

СТИВЕН ПИНКЕР

Профессор факультета психологии Гарвардского университета; автор книги *The Better Angels of Our Nature* («Лучшие стороны нашей натуры»)

Сложное устройство жизни — продукт естественного отбора, который приводится в действие конкуренцией между репликаторами. Результат зависит от того, какие репликаторы лучше используют энергию и материалы, необходимые для копирования самих себя, и как быстро они могут создавать собственные копии, которые, в свою очередь, также способны реплицироваться. Первая составляющая конкуренции может быть названа выживанием, обменом веществ или физическим напряжением, вторая — репликацией или размножением. Жизнь любого уровня — от РНК и ДНК до целого организма — выполняет эти две функции и постоянно ищет компромиссы между ними.

Первый из жизненных компромиссов — следует ли распределить ресурсы (энергию, питание, риск, время) так, чтобы произвести как можно больше потомства и оставить его на произвол судьбы, или ограничиться небольшим числом потомков и увеличить шансы на выживание и размножение каждого из них. Выбор между этими возможностями определяет уровень *родительского вклада* организма.

Так как родительский вклад ограничен, организм сталкивается со вторым компромиссом — между вложением ресурсов в потомство и сохранением их для существующих или потенциальных близких родственников.

Благодаря значительному различию между полами — самки производят меньше половых клеток, но они более ценные — самки большинства видов вкладывают в потомство больше, чем самцы, вклад которых часто близок

к нулю. Самки млекопитающих, в частности, идут на существенные затраты, включая вынашивание детенышей и вскармливание их молоком. У некоторых видов, в том числе у *Homo sapiens*, самцы также вносят свой вклад, хотя и меньший, чем самки.

Естественный отбор содействует распределению ресурсов не только между родителями и детьми, но и между генетическими родственниками, такими как родные и двоюродные братья и сестры. Точно так же, как ген, поощряющий родителей делать вклад в потомство, поддерживает копии самого себя в этом потомстве, ген, поощряющий вклад в братьев и сестер, способствует собственному копированию в соответствии с размером вложений, понесенными убытками и степенью генетического родства.

Я просто напоминаю основные свойства жизни на Земле (и, возможно, жизни вообще), а также некоторые необходимые сведения о нашем собственном виде — и мы млекопитающие, у которых самцы вносят свой вклад в потомство. Я также добавлю, что мы — мыслящий вид, который решает жизненные проблемы с помощью не только закрепленных эволюцией приспособлений, но и дополнительных способностей (мышления, языка, общения), которые мы развиваем в течение жизни, а их результатами обмениваемся посредством культуры.

Исходя из этих основных принципов эволюционного процесса, можно многое заключить об общественной жизни нашего вида (заслуга в этом принадлежит Уильяму Гамильтону, Джорджу Уильямсу, Роберту Трайверсу, Дональду Симонсу, Ричарду Александеру, Мартину Дейли и Марго Уилсон).

- Конфликты — часть существования человека. Вопреки религиозным мифам об Эдеме, романтическим описаниям благородных дикарей, утопическим мечтам об идеальной гармонии и таким прилипчивым метафорам, как верность, привязанность и согласие, человеческая жизнь не свободна от противоречий. Во всех обществах существуют некоторые различия в авторитете и социальном положении, неравенство во власти и благосостоянии, наказания, сексуальные ограничения, ревность,

враждебность по отношению к другим группам и конфликты внутри собственной группы, включая жестокость, насилие и убийство. Наши разумные и моральные соображения ограничивают эти конфликты. В мировой художественной литературе всего несколько сюжетов, посвященных вражде (часто смертельной) и трагедиям в семейных или любовных отношениях (иногда и в тех, и в других). В реальном мире истории нашей жизни — это по большей части истории конфликтов между друзьями, родственниками и соперниками: обида, вина и ревность.

- Главный заложник этих конфликтов — семья, совокупность индивидуальностей, эволюционно заинтересованных в процветании друг друга. Таким образом, мы обнаруживаем, что традиционные общества основаны на родственных связях, и политические лидеры — от императоров до доморощенных тиранов — стремятся передать власть своим потомкам. Яркие проявления альтруизма, например донорство органа или рискованная ссуда денег, обычно распространяются на родственников, как и завещания состояния после смерти. Семейственность постоянно угрожает социальным институтам, таким как религия, правительство и бизнес, которые соперничают с инстинктивными семейными связями.
- Даже семья не освобождает от конфликтов, потому что солидарность общих генов вынуждена противостоять конкуренции за родительский вклад. Родители должны распределить вложения между всеми своими детьми, рожденными и еще не рожденными, так, чтобы не обделить никого из потомков (при прочих равных условиях). Но почему потомок должен быть заинтересован в благополучии своих братьев и сестер, с которыми у него половина общих генов, в то время как с самим собой у него *все* гены общие? Следовательно, он непропорционально озабочен собственным благополучием. Скрытый конфликт проявляется в течение всей жизни: в послеродовой депрессии, детоубийстве, инфантилизме, капризах, истериках, детской ревности и ссорах из-за наследства.
- Секс — это не времяпровождение взрослых партнеров для взаимного удовольствия и по обоюдному согласию.

Причина в том, что разный родительский вклад мужчин и женщин создает предпосылки для различных эволюционных задач. Мужчины — но не женщины — могут увеличивать свое потомство с множеством партнерш. Мужчины более склонны к изменам, чем женщины. Женщины больше рискуют остаться в одиночестве, чем мужчины. Следовательно, секс — это отражение эксплуатации, беззакония, ревности, супружеского неравенства, измен, одиночества, домогательств и изнасилований.

- Любовь — это не все, что вам нужно, и не на ней держится мир. Брак не предоставляет супружеской паре теоретическую возможность реализовать эволюционные задачи, и, соответственно, перспективу блаженства, которую мы связываем с романтической любовью, потому что генетические судьбы супругов находятся в одной упаковке, а именно — в их детях. К несчастью, задачи супругов могут не совпадать из-за неверности, пасынков и падчериц, родственников с обеих сторон и возрастных различий, которые не случайно служат главным источником семейных ссор.

Ничего из вышесказанного не предполагает, что люди — это роботы, управляемые своими генотипами, что сложные черты характера определяются отдельными генами, что существует моральное оправдание за драку, изнасилование или измену. Это также не значит, что люди должны стремиться иметь как можно больше детей или что они невосприимчивы к влиянию культуры (примером может служить общее непонимание некоторых закономерностей эволюции). Очевидно лишь то, что значительное количество повторяющихся человеческих конфликтов происходит из небольшого числа особенностей процесса, который сделал возможной жизнь.

ГИПОТЕЗА ФАУРИ–РАЙМОНДА

ДЖОНАТАН ГОТТЧЕЛЛ

Литературовед, инструктор факультета английского языка колледжа Вашингтона и Джефферсона; автор книги *The Storytelling Animal* («Животные-рассказчики»)

Я читал о гипотезе Фаури–Раймонда довольно давно, но она не производила на меня впечатления, пока я не подрался с большим Ником. Ник — национальный гвардеец, который тренируется вместе со мной в местной академии боевых искусств. Вообще-то у нас была тренировка, а не бой. Но Ник так силен и наносит удары с такой самоотдачей, что даже когда старается быть деликатным, вытрясает всю душу. Прозвучал гонг, мы схватились, и мои опасения быстро уступили место самообману. Что-то тут не так. Ник, конечно, мощен, но не более техничен, чем я, и его нельзя назвать ловким в движениях или искусственным в ударах. Ник рвется вперед: джеб, кросс, джеб, кросс, хук¹. Ник не подныривает. Ник не уклоняется. Ник рвется вперед.

Так почему мне не удастся его достать? Почему мои удары безобидно скользят по его вискам и отскакивают от живота? И почему каждый раз, когда я пытаюсь уклониться и контратаковать, я натываюсь на кожу перчатки? Я слежу за ним сквозь размытые пятна его рук, и любой угол зрения кажется неверным, а поверхности его лица и тела — покатыми. Ничего цельного, по чему можно было бы стукнуть. И все это время он молотит по мне, нанося удары, которые я замечаю слишком поздно, — медленные тяжелые обводные.

Когда, наконец, меня спасает гонг, мы обнимаемся (парадокс — ничто не сближает мужчин больше, чем добродушный кулачный бой). С трясущейся головой, обливаясь потом, я падаю на один из складных стульев и говорю себе: «Это знак — Фаури и Раймонд правы».

¹ Виды ударов в боксе. — *Прим. перев.*

Ник относится к тому типу, которого 90% боксеров безоговорочно боятся и ненавидят. Ник — левша. Мой тренер называет это «мерзостью» и «врожденным дефектом». Здесь он солидарен с другими правшами, имеющими авторитет в боксе, которые, кажется, не шутят, когда говорят: «Всех левшей надо топить при рождении».

Как ни удивительно, в утверждении моего тренера, что левши неполноценны, есть доля истины. В мире, в котором все, от ножиц до школьных парт, предназначено для правшей, быть левшой не просто досадно — кажется, что это наносит тебе вред. Согласно ряду исследований, левши действительно подвержены повышенному риску некоторых заболеваний, таких как шизофрения, задержка умственного развития, СДВГ¹, алкоголизм и заикание.

Все это возвращает меня к Шарлотте Фаури и Мишелю Раймонду, паре французских ученых, которые изучали эволюцию левшей. Подтвердилось, что это качество отчасти наследуется и связано с серьезным риском для здоровья. Почему же тогда, удивлялись исследователи, естественный отбор сохранил этот признак? Может быть, издержки окупались скрытыми преимуществами?

Фаури и Раймонд заметили, что левши имеют преимущество в таких видах спорта, как бейсбол и фехтование, где соревнование носит характер противоборства, в отличие от гимнастики и плавания, где непосредственный контакт отсутствует. Левши непропорционально представлены среди ведущих мастеров крикета, бокса, борьбы, тенниса, бейсбола и т. д. Причина очевидна: если 90% человечества — правши, то они обычно и соревнуются друг с другом. Когда правши сталкиваются с левшами, делающими все наоборот, у них голова идет кругом, и получается такой же результат, как в моем случае с Ником. Левши же привыкли встречаться с правшами и легко справляются с ними.

Фаури и Раймонд задумались, распространяется ли преимущество левшей в спорте, включая такие единоборства, как бокс, борьба и фехтование, на настоящее сражение, не важно, каким оружием — кулаками, дубинами или копьями? Могли ли преимущества левшей в бою компенсировать

¹ Синдром дефицита внимания и гиперактивности — комплексное хроническое расстройство мозговых функций. — *Прим. перев.*

издержки, связанные со здоровьем? В 2005 году исследователи опубликовали статью, подтверждавшую существенную зависимость между насилием в доиндустриальных обществах и количеством левшей: чем больше насилия, тем больше левшей. В наиболее агрессивном обществе среди изученных — племени эйпо в горах Новой Гвинеи — левши составляли почти 30%¹.

Что делает научное объяснение красивым? Общие качества, такие как краткость, конечно, играют роль, но перевешивают особенности личного вкуса. Почему я нахожу привлекательной гипотезу Фаури–Раймонда? Отчасти потому, что это была почти безрассудно фантастическая идея, подтвержденная, однако, полученными данными. Но главное, потому что в прошлом году ее неоспоримую правоту вбил мне в голову молодой военнослужащий.

Это не означает — я приношу извинения Китсу, — что красота и правда синонимы. Иногда простота оказывается скучной и примитивной. Многие превосходные объяснения, которыми мы восхищаемся, оборачиваются безжизненной фальшивкой. Т. Г. Гексли называл это трагедией науки: «Уродливые факты убивают красивые гипотезы». Проверке гипотезы Фаури–Раймонда было посвящено множество исследований. Результаты оказались спорными, но открылись факты, на мой вкус, однозначно уродливые. Недавнее впечатляющее исследование не обнаружило доказательств того, что левши непропорционально представлены в племени эйпо в горах Новой Гвинеи².

Жалко отказываться от любимейшей идеи, запечатлевшейся в сознании благодаря жизненному опыту, а не статистическим данным, про которую *знаешь*, что она правдива. И я пока не готов похоронить ее в некрополе красивой, но мертвой науки. Фаури и Раймонд привлекли спортивные результаты, чтобы подкрепить свой основной сюжет о сражениях. Но мне кажется, что спортивные

¹ Charlotte Faurie & Michel Raymond, «Handedness, homicide and negative frequency-dependent selection», *Proc. Roy. Soc. B* 272, 25–8 (2005).

² Sara M. Schaafsma et al., «Handedness in a nonindustrial society challenges the fighting hypothesis as an evolutionary explanation for left-handedness», *Evol. & Hum. Behavior* 33:2, 94–9 (2012).

результаты — это и есть главная тема. Гены левшей могли сохраниться благодаря преимуществу в *игровых*, а не настоящих сражениях — возможность, которую Фаури и Раймонд допускают в своей последней статье¹. Спортивные состязания занимают важное место в различных культурах. Во всем мире спорт — в основном мужское занятие, и победители — от капитанов футбольных команд до традиционных африканских борцов, индейских бегунов и игроков в лакросс — приобретают больше чем простой лавровый венок. Они повышают свое общественное положение, вызывают восхищение у мужчин и влечение у женщин (исследование подтверждает стереотип — спортивные мужчины пользуются успехом у дам). Это открывает широкие возможности... По-видимому, формирование нашего вида в большей степени, чем мы полагаем, обязано выживанию своих самых спортивных представителей.

¹ V. Llaurens, M. Raymond & C. Faurie, «Why Are Some People Left-Handed? An Evolutionary Perspective», *Phil. Trans. Roy. Soc. B* 364, 881–94 (2009).

ГРУППОВАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

ДЭВИД ДЖ. МАЙЕРС

Профессор психологии Хоуп-колледжа;
автор книги *Psychology* («Психология»)

Сорок пять лет назад несколько групп социальных психологов решили выяснить, насколько люди готовы идти на риск. Например, каковы шансы начинающего писателя, решившего отказаться от постоянного дохода и попытаться написать серьезный роман? К всеобщему удивлению, оказалось, что тут очень большую, стимулирующую роль играют групповые обсуждения. Это породило волну спекуляций о принятии рискованных решений присяжными, советами директоров и военными. Однако другие исследования показали, что групповые обсуждения увеличивают осмотрительность. (Должен ли молодой женатый отец двух детей вкладывать свои сбережения в игру на бирже?) Проблема, что же на самом деле увеличивает групповое обсуждение, — склонность к риску или осторожность, получила глубокое, простое и элегантное решение: *групповое обсуждение увеличивает первоначальную предрасположенность людей*. Это явление групповой поляризации неоднократно подтверждалось. В одном из исследований студентов разделили на отдельные группы — предвзятых и непредвзятых — и попросили высказаться до и после обсуждения по расовым вопросам, таким как равные права на частную собственность. Дискуссия со сверстниками-единомышленниками увеличила разрыв во мнениях между группами предубежденных и непредубежденных студентов.

В наши дни самоизоляция родственников душ — обычное явление. С увеличением свободы передвижения консервативные общины привлекают жителей, настроенных консервативно, а прогрессивные — прогрессивно. Публицист Билл Бишоп и социолог Роберт Кашинг сообщают, что процент округов, где более 60% избирателей голосует за одного из кандидатов в президенты, почти удвоился с 1976 по

2008 год¹. А когда соседи разделяют ваши политические взгляды, это приводит к увеличению поляризации, что и продемонстрировал Дэвид Шкейд с коллегами из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Он собрал группы жителей двух городов штата Колорадо: либерального Боулдера и консервативного Колорадо-Спрингс. Совместное обсуждение изменения климата, мер против дискриминации и однополых браков сместило мнение жителей Боулдера дальше влево, а жителей Колорадо-Спрингс — дальше вправо.

Ярким проявлением поляризации групп служит терроризм. Практически никогда он не возникает на пустом месте, как одиночный акт. Напротив, побуждение к терроризму растет среди людей, которых объединяет общее недовольство. В отсутствие сдерживающих факторов групповое взаимодействие превращается в усилитель социальных стремлений. Интернет предоставляет дополнительные возможности для единомышленников — пацифистов и неонацистов, фанатов и готов, тайных аферистов и победивших рак больных — находить друг друга и обмениваться мнениями. Связанные социальной сетью, «одного поля ягоды» находят общие интересы, позиции, и предубеждения растут.

Следовательно, одно из элегантных и социально значимых объяснений возникновения различных убеждений выглядит просто: мнение-обособление + обсуждение → поляризация.

¹ Bill Bishop & Robert G. Cushing, *The Big Sort: Why the Clustering of Like-Minded America Is Tearing Us Apart* (New York: Houghton Mifflin, 2008).

УРАВНЕНИЕ ПРАЙСА

АРМАН МАРИ ЛЕРУА

Профессор Имперского колледжа Лондона, эволюционист; автор книги *Mutants: On Genetic Variety and the Human Body* («Мутанты. О генетической изменчивости и человеческом теле». М., Corpus, 2010)

Каждый раз, когда мы видим высокоорганизованную структуру, будь то ребенок, симфония, научная статья, корпорация, правительство или галактика, мы задаем себе вопрос: как возникла эта упорядоченность? Одно из объяснений, хотя и достаточно отвлеченное, состоит в том, что это результат изменчивости и отбора. Я подразумеваю любой процесс, возникший в виде множества вариантов, большинство из которых гибнет (рассеивается, разрушается или выкидывается в мусорную корзину), и остаются лишь немногие достаточно приспособленные (сильные, привлекательные или устойчивые), чтобы выжить. Самый известный пример такого процесса, конечно, происхождение органических форм путем естественного отбора. Сейчас общепризнано, что человеческая культура — результат подобного процесса, но, как подсказывают приведенные выше примеры, изменчивость и отбор можно обнаружить где угодно, если знать, что искать.

Многие разделяют эту идею, но никто не сделал из нее таких глубоких выводов, как Джордж Прайс, американец, живший в Лондоне и в 1970 году опубликовавший уравнение, описывающее процессы изменчивости и отбора всех типов¹. Уравнение Прайса — мой выбор в качестве самого простого, глубокого и элегантного объяснения. Это уравнение может описывать, *помимо всего прочего*, настройку шкалы радиоприемника, кинетику химических реакций, влияние младенческой смертности на средний вес новорожденных, причину, по которой мы живем именно в *этой*

¹ «Selection and covariance», *Nature* 227, 520–21 (1970).

Вселенной (если предположить, что существуют другие). Но меня по-настоящему привлекает не уравнение 1970 года, а его расширенный вариант, опубликованный двумя годами позже¹.

Одна из особенностей принципа изменчивости и отбора состоит в том, что отбор может осуществляться на множестве различных уровней. Музыка — очевидный результат этого процесса. Композитор сидит за фортепьяно, размышляет и выбирает нужные из бесконечного количества нот, аккордов и тем. Взгляните на рукописи партитур Бетховена (хороший пример — Крейцера соната) — они все исчерканы его исправлениями. В 1996 году Брайан Ино остроумно довел этот процесс до логического завершения, выпустив записанную с помощью программного обеспечения *Coan* компании *SSEYO* коллекцию разнообразных музыкальных фрагментов, которую назвал «генеративной музыкой».

Но музыка в наших айподах, конечно, не только результат отбора, проведенного композитором, продюсером, исполнителем и т. д., но и нашего собственного выбора. В качестве индивидуальных потребителей мы тоже представляем собой фактор отбора и, следовательно, созидательную силу. И мы не только индивидуальности, но и члены социальных групп. Исследования показывают, что если нам известно, какую музыку слушают окружающие нас люди, то мы готовы изменить (если не целиком отбросить) свои эстетические предпочтения и следовать за большинством. Это явление объясняет, почему так трудно предсказать, какая композиция станет хитом. Таким образом, композиторы, потребители и группы потребителей совместно формируют музыкальный мир. Умберто Эко пришел примерно к тому же выводу в *Opera Aperta* («Открытое произведение») еще в 1962 году. Конечно, как литературный критик Эко мог только привлечь внимание к проблеме. А Джордж Прайс ее решил.

В 1972 году Прайс расширил свое общее уравнение изменчивости и отбора, допустив многоуровневый отбор. Этот вариант уравнения позволил эволюционным биологам

¹ «Extension of covariance selection mathematics», *Ann. Hum. Genetics* 35:4, 485–90 (1972).

проследить, например, взаимосвязь между родственным и групповым отборами и разрешить бесконечные противоречия, возникавшие вследствие несовместимых математических разработок. Уравнение пока не применялось к эволюции культуры, но все еще впереди. Однако значение расширенного уравнения Прайса выходит за рамки даже таких исследований. Оно разрушает один из гордиевых узлов, который ученые долго не могли развязать.

Это проблема сводимости. Может ли поведение системы быть понято — сведено — к поведению ее составляющих? Этот вопрос, в той или иной форме, пронизывает всю науку. Системные биологи против биохимиков, когнитивные психологи против нейробиологов, Даркхейм против Бентама, Гулд против Докинза, Аристотель против Демокрита — пропасть (гносеологическая, онтологическая и методологическая) между позициями холистов и редукционистов служит причиной многих крупнейших научных разногласий. При этом она же — источник движения вперед, когда одно положение отвергается в пользу другого. В самом деле, исследовательские программы холистов и редукционистов часто существуют бок о бок, сохраняя вынужденное перемирие (вспомните любую биологическую научную организацию). Но когда перемирие заканчивается, что бывает довольно часто, открываются военные действия и становится ясно — нужно рационально разделить творческие силы, действующие на разных уровнях.

Это и сделал Прайс. Его формула описывает изменчивость и отбор, но если вдуматься, то большинство упорядоченных систем основаны на изменчивости и отборе. Возвращаясь к музыке — кто определяет ее облик? Поклонники Бетховена, настраивающие свои MID¹-файлы? Массовые предпочтения публики? Я думаю, уравнение Прайса может это объяснить. Оно наверняка содержит какое-то объяснение.

¹ Цифровой интерфейс музыкальных инструментов (сокр. от англ. Musical Instrument Digital Interface) — стандарт цифровой звукозаписи на формат обмена данными между электронными музыкальными инструментами.

БЕССОЗНАТЕЛЬНЫЕ УМОЗАКЛЮЧЕНИЯ

ГЕРД ГИГЕРЕНЦЕР

Психолог, директор Центра адаптивного поведения и когнитивных способностей Института развития человека Общества Макса Планка в Берлине; автор книги *Gut Feelings: The Intelligence of the Unconscious* («Интуитивные решения: интеллект подсознательного»)

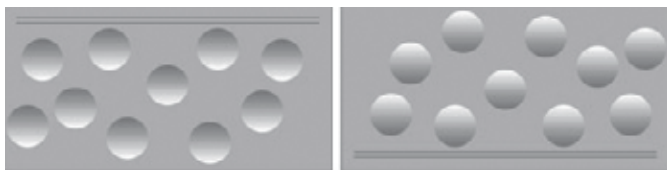
Оптические иллюзии всегда интересны — они удивительны и устойчивы. Даже если вы догадываетесь об обмане зрения, то все равно поддаетесь им. Почему они существуют? Что они собой представляют — просто каприз сознания? Физик и психолог Герман фон Гельмгольц (1821–1894) предложил красивое объяснение природы восприятия — как оно создает иллюзию глубины, пространства и других особенностей окружающего мира. Восприятие опирается на своеобразный мысленный спор, который и называется бессознательными умозаключениями.

В третьем томе «Физиологической оптики» Гельмгольц описывает свое детское впечатление: «Помню, еще совсем мальчишкой я как-то проходил мимо церкви военного гарнизона в Потсдаме. На колокольне стояло несколько человек. Я принял их за игрушки и попросил мою мать подняться наверх и принести их мне, что, как мне казалось, она может сделать. Тот день остался в моей памяти, потому что благодаря своей ошибке я понял принцип уменьшения объекта в перспективе».

Этот детский опыт показал Гельмгольцу, что информации, поступающей от сетчатки и других органов чувств, недостаточно для воссоздания окружающего мира. Представления о размере, расстоянии и многом другом нуждаются в подсказках, которые, в свою очередь, приобретаются с опытом. Основываясь на этом опыте, мозг делает бессознательные умозаключения о сообщениях органов чувств. Други-

ми словами, восприятие — это своего рода спор о том, что на самом деле находится вокруг.

Но каким образом работают бессознательные умозаключения? Гельмгольц провел параллель с вероятностными силлогизмами. Главной предпосылкой служит набор впечатлений из личного опыта, давно выпавший из нашего сознания. Второстепенной предпосылкой — непосредственное чувственное восприятие. Посмотрите на оптическую иллюзию, созданную В. С. Рамачандраном и его коллегами из Центра мозга и когнитивных способностей Калифорнийского университета в Сан-Диего:



Пятна на левом рисунке кажутся вогнутыми, углубленными в поверхность по отношению к наблюдателю, в то время как на правом рисунке — выпуклыми, выступающими над поверхностью. Если вы повернете страницу на 180° , вогнутые пятна станут выпуклыми, и наоборот. В действительности рисунки идентичны, но повернуты на 180° по отношению друг к другу. Иллюзия вогнутых и выпуклых пятен связана с тем, что наш мозг делает бессознательное умозаключение.

Главная предпосылка: тень в верхней части пятна практически всегда связана с вогнутой формой.

Второстепенная предпосылка: тень находится в верхней части пятна.

Бессознательное умозаключение: форма пятна вогнутая.

Наш мозг берет на себя воссоздание трехмерного мира, и главная предпосылка угадывает третье измерение, исходя из двух экологических допущений.

1. Свет исходит сверху.
2. Существует только один источник света.

Эти два положения преобладали на протяжении большей части истории человека, когда Солнце и Луна служили единственными источниками света. Первое из положений в некоторой степени справедливо для искусственного освещения и в наши дни. Гельмгольц в качестве главной предпосылки отдавал предпочтение личному опыту, другие исследователи — приобретениям в ходе эволюции. В любом случае оптические иллюзии — результат бессознательных умозаключений, основанных на опыте, который обычно надежен, но в определенных обстоятельствах способен вводить в заблуждение.

Принцип бессознательных умозаключений может также объяснять особенности других органов чувств. Яркий пример — ошибка главной предпосылки в случае ампутации у человека одной из конечностей. Хотя главная предпосылка («сигналы от нервов связаны с этой ступней») больше не работает, пациент продолжает испытывать боль в конечности, которой больше не существует. «Фантомная боль» показывает также нашу неспособность скорректировать бессознательные умозаключения, несмотря на наше осознание их ошибочности. Концепция Гельмгольца предложила нам новый взгляд на восприятие в частности и на познание в целом.

1. Познание — это индуктивное умозаключение. В наши дни вероятностному силлогизму пришли на смену статистическая и эвристическая модели умозаключений, предложенные, соответственно, Томасом Байерсом и Гербертом Саймоном.
2. Рациональное умозаключение не обязательно должно быть осознанным. Интуитивные решения так же основаны на индуктивных умозаключениях, как и осознанные разумом.
3. Иллюзии — неизбежное следствие разумной деятельности. Познанию необходимо проникнуть за пределы полученной информации, чтобы вступить в спор и пойти на риск. Было бы нам лучше без бессознательных умозаключений? Нет, нам было бы хуже, как человеку, который никогда ничего не говорит, чтобы избежать ошибок. Система, не совершающая ошибок, неразумна.

СНЕЖИНКИ И МНОЖЕСТВЕННАЯ ВСЕЛЕННАЯ

МАРТИН ДЖ. РИС

Бывший президент Лондонского Королевского общества, заслуженный профессор космологии и астрофизики Тринити-колледжа Кембриджского университета; автор книги *From Here to Infinity: A Vision for the Future of Science* («Отсюда в бесконечность: взгляд на будущее науки»)

Удивительная концепция стала частью главного направления космологической мысли: физическая реальность может быть гораздо обширнее, чем клочок пространства и времени, обычно называемой Вселенной. Мы привыкли думать, что живем в одной из миллиардов планетарных систем, в одной из миллиардов галактик. Но теперь это далеко не все. Весь наблюдаемый астрономами мир может быть ничтожной долей последствий «нашего» Большого взрыва, который, в свою очередь, всего лишь один большой взрыв из бесконечного множества.

Наше космическое окружение может быть плотно насыщено, но в таких огромных масштабах, что мы в состоянии усвоить только небольшой фрагмент. Мы не видим картины в целом, как планктон, весь мир которого составляет литр воды, не видит топографии и биосферы Земли. Очевидно, что для космологов разумно начать с исследования простейших моделей. Но нет оснований ожидать большей простоты на высоком уровне, чем в земном окружении, где преобладает замысловатая сложность.

Более того, теория струн предполагает — по причинам, совершенно независимым от космологии, — что существует бесконечное множество «вакуумных состояний». Если это правда, то различные Вселенные будут подчиняться разным физическим законам. То, что мы называем законами природы, в широкой перспективе может оказаться местны-

ми закономерностями, соответствующими некоей управляющей всем универсальной теории, но не предписываемыми этой теорией однозначно. Точнее говоря, одни особенности могут оказаться случайными, а другие — нет. В качестве примера (которым я обязан астробиологу и космологу Полу Дейвису), представьте себе форму снежинок. Распространенная симметричная шестиугольная форма снежинок — прямое следствие строения и свойств молекул воды. Но снежинки обладают бесконечно разнообразной структурой, потому что каждая имеет собственную историю и зависит от изменений температуры и влажности во время роста.

Если физики изобретут фундаментальную теорию, она подскажет, какие явления природы представляют собой ее непосредственные следствия (как симметричная форма снежинок обусловлена структурой молекул воды), а какие — результат стечения обстоятельств (как отличительные особенности снежинок).

Наша Вселенная может оказаться всего лишь случайностью и относиться к необычной подгруппе, в которой космические силы по счастливой случайности способствовали усложнению и, в конечном счете, возникновению сознания. Кажущаяся ее продуманность или тонкая настройка перестанут быть загадкой. Вероятно, к концу этого столетия мы сможем с уверенностью сказать, живем ли мы во множественной Вселенной и какую степень разнообразия проявляют составляющие ее миры. Ответ на этот вопрос, я думаю, достоверно покажет, в какой степени «дружественна» по отношению к нам Вселенная, в которой мы живем (и делим с инопланетными созданиями, которых можем однажды повстречать).

Возможно, некоторых физиков разочарует, что какие-то из ключевых явлений, которые они пытаются объяснить, окажутся просто стечением обстоятельств, не более универсальным, чем параметры орбиты Земли вокруг Солнца. Но это разочарование наверняка уйдет, когда станет ясно, что физическая реальность гораздо значительнее и богаче, чем ранее предполагалось.

ФОТОНЫ ЭЙНШТЕЙНА

АНТОН ЦАЙЛИНГЕР

Физик, директор по науке Института квантовой оптики и информации Австрийской академии наук; автор книги *Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation* («Танцующие фотоны: от Эйнштейна к квантовой телепортации»)

Мое любимое глубокое, элегантное и красивое объяснение — предположение Альберта Эйнштейна, сделанное в 1905 году, о том, что свет состоит из квантов энергии, сегодня называемых фотонами. Мало что известно, и даже физикам, о том, как Эйнштейн пришел к такому выводу. Часто полагают, что он придумал эту концепцию, чтобы объяснить фотоэлектрический эффект. Безусловно, этому посвящена часть публикации Эйнштейна 1905 года, но только финальная часть. Сама по себе идея гораздо глубже, элегантнее — и да, красивее.

Представьте себе закрытый контейнер, стены которого нагреты до высокой температуры. Раскаленные стены испускают и поглощают излучение. По прошествии некоторого времени внутри контейнера установится равновесное распределение излучения. Это было хорошо известно до Эйнштейна. Макс Планк предложил идею квантования, которая объясняла распределение энергии излучения в подобном объеме. Эйнштейн пошел дальше. Он изучил, насколько упорядочено распределение энергии излучения в таком контейнере.

Для физиков энтропия — это мера беспорядка. Австрийский физик Людвиг Больцман показал, что энтропия системы служит мерой вероятности ее состояния. Простым примером могут послужить книги, заметки, фотографии, ручки, карандаши и т. д., которые, скорее всего, разбросаны по поверхности моего рабочего стола, а не образуют аккуратные стопки. Если мы рассмотрим миллионы атомов внутри контейнера, то гораздо вероятнее, что они равно-

мерно распределены по всему контейнеру, а не находятся в одном углу. Первое состояние менее упорядочено, и если атомы займут больший объем, их энтропии еще увеличится.

Эйнштейн понимал, что энтропия излучения (в том числе света) меняется вместе с объемом, который оно занимает, подчиняясь тому же математическому принципу, что и атомы. В обоих случаях энтропия увеличивается как логарифм объема. Для Эйнштейна это не могло быть простым совпадением. Если можно объяснить энтропию газа тем, что он состоит из атомов, значит, излучение тоже состоит из частиц, которые Эйнштейн назвал квантами энергии, или фотонами.

Эйнштейн немедленно, и с успехом, применил эту идею к фотоэффекту. Но он прекрасно понимал фундаментальное противоречие идеи квантов энергии с наблюдаемым и хорошо изученным явлением интерференции.

Как объяснить интерференционную картину от двух щелевых источников света? Это явление, согласно Ричарду Фейнману, представляло собой «единственную загадку» квантовой физики. А разгадка очень проста. Направив пучок фотонов на пластину с двумя открытыми щелями, мы получаем на экране за пластиной светлые и темные полосы. Когда открыта одна щель, интерференционная картина не наблюдается, а вместо нее мы видим широкое распределение фотонов. Результат легко объяснить в соответствии с волновой теорией света. Волны проходят через обе щели, подавляя или усиливая друг друга. Вот почему мы видим светлые и темные полосы на экране.

Но что получится, если интенсивность светового пучка очень слаба и только один фотон в каждый момент времени проходит через пластину? Естественно предположить, что фотон пройдет через одну из щелей, но не через обе сразу. Мы можем провести эксперимент, посылая по одному фотону через пластину. Согласно Эйнштейну, интерференционной картины не будет, потому что фотон как частица должен будет «выбрать» одну открытую щель или другую, и, таким образом, не будет ни подавления, ни усиления, как в случае со световыми волнами. Эйнштейн предполагал, что полосы возникают только в том случае, когда множество

фотонов единовременно проникают через щели пластины и, взаимодействуя друг с другом, образуют интерференционную картину.

Сегодня мы знаем, что интерференционная картина возникает даже тогда, когда всего один фотон в секунду проходит через пластину. Если мы подождем достаточно долго и посмотрим на экран, то увидим темные и светлые полосы. Современное объяснение состоит в том, что интерференционная картина возникает только в том случае, если не существует информации — нигде во Вселенной, — через какую щель проникает частица (утверждение, что частица проникает через обе щели, следует воспринимать скептически). Пусть Эйнштейн и ошибался в данном случае, но его идея энергетических квантов света, то есть фотонов, имела большое будущее.

В том же поразительном 1905 году, в котором Эйнштейн также опубликовал специальную теорию относительности, в письме своему другу Конраду Хабихту он назвал публикацию о фотонах «революционной». Насколько известно, это единственная его работа, которую он когда-либо так называл, и неудивительно, что в 1921 году она принесла ему Нобелевскую премию. О том, что всего лишь несколькими годами ранее его теории казались совсем неочевидными, свидетельствует знаменитое письмо, подписанное Планком, Вальтером Нернстом, Генрихом Рубенсом и Эмилем Варбургом, которые предложили принять Эйнштейна в члены Прусской академии наук в 1913 году. Они писали: «В своих размышлениях временами он попадает мимо мишени, как, например, в гипотезе о квантах света, но это не следует ставить ему в вину, так как без периодического риска, даже в наиболее точных науках, не может быть сделано ни одно настоящее открытие». Глубокое, элегантное и красивое объяснение энтропии излучения с помощью квантов света, предложенное Эйнштейном в 1905 году, — веское основание целесообразности свободного полета мысли.

О МАЛОМ

ДЖЕРЕМИ БЕРНШТЕЙН

Заслуженный профессор физики Технологического института Стивенса, бывший сотрудник журнала *New Yorker*; автор книги *Quantum Leaps* («Квантовые скачки»)

Отвечая на вопрос *Edge*, трудно не поддасться искушению и не привести в пример что-нибудь «большое», наподобие теории относительности Эйнштейна. Вместо этого я обращаюсь к «малому». Когда Планк в начале XX столетия предложил свой квант действия, он понимал, что это открывает новый ряд естественных констант. Так, согласно Планку, время Планка представляет собой квадратный корень из отношения произведения постоянной Планка и гравитационной постоянной к скорости света в пятой степени. Это мельчайшая единица времени, но что она описывает, о чем говорит? Проблема состоит в том, что все физические константы одинаковы как для покоящегося, так и для движущегося наблюдателя. Но ведь время не таково. Я изложил эту проблему своим коллегам, и Фримен Дайсон нашел блестящее решение. Он попытался придумать часы, которые измерили бы эту единицу времени, и с помощью квантовой неопределенности показал, что такое измерение невозможно. Время Планка — не время, или, можно сказать, — оно вне времени.

ПОЧЕМУ НАШ МИР ПОЗНАВАЕМ?

АНДРЕЙ ЛИНДЕ

Создатель теории вечной хаотической инфляции,
профессор физики Стэнфордского университета,
лауреат премии Мильнера

«Самое непостижимое в мире то, что он постижим», — говорил Альберт Эйнштейн. Сходную мысль высказывал Юджин Вигнер, отмечая, что непомерно высокая эффективность математики — «чудесный дар, который мы не понимаем и которого не заслуживаем».

Почему мы живем в познаваемой Вселенной, подчиняющейся определенным законам, которые можем использовать, чтобы прогнозировать наше будущее?

Конечно, всегда можно сказать, что «так все устроено» — Бог создал Вселенную достаточно простой, чтобы мы могли в ней разобраться. Но мы ведь так легко не сдадимся? Давайте зададим другие подобные вопросы. Почему наша Вселенная такая огромная? Почему параллельные линии не пересекаются? Почему различные части Вселенной столь похожи? Долгое время такие вопросы казались слишком метафизическими, чтобы воспринимать их всерьез. Теперь мы знаем, что инфляционная космология может предложить на них ответы.

Дабы понять суть, рассмотрим пример непознаваемой Вселенной, где математика неэффективна. Представьте себе Вселенную в состоянии так называемой плотности Планка: $r \sim 10^{94}$ г/см³, что на 94 порядка больше, чем плотность воды. В соответствии с квантовой теорией гравитации, квантовые флуктуации пространства-времени в этих условиях столь велики, что любая измерительная шкала изгибается, сжимается и изменяется в непредсказуемом направлении — быстрее, чем вы сумеете измерить с ее помощью расстояние. Часы деформируются раньше, чем вы успеете узнать время. Все записи предшествующий событий стираются, так что вы ничего не сможете запомнить

и записать, чтобы предсказать будущее. Такая Вселенная непостижима для тех, кто в ней живет (если жизнь там вообще возможна), а законы математики в ней не работают.

Если пример Вселенной с высокой плотностью выглядит несколько экстремальным, давайте рассмотрим другие варианты. Существует три основных типа Вселенных: закрытая, открытая и плоская. Типичная закрытая Вселенная, возникшая в результате Большого взрыва, в течение 10^{-43} секунды сожмется в состояние плотности Планка, если только в самом начале она не обладает огромными размерами. Типичная открытая Вселенная, возникшая в результате Большого взрыва, будет увеличиваться с такой скоростью, что образование галактик станет невозможным, а наши тела (если нам не повезет, и мы родимся) будут незамедлительно разорваны на куски. Никто не сумеет жить во Вселенной, а тем более познавать ее в обоих этих случаях. Мы можем радоваться жизни в плоской (или почти плоской) Вселенной (что мы сейчас и делаем), но чтобы не случилось что-нибудь особенное (инфляция, см. ниже), необходима тонкая настройка исходных данных с невероятной точностью 10^{-60} в момент Большого взрыва.

Недавние разработки теории струн — наиболее популярной кандидатуры на «всеобщую теорию» — обнаружили еще большее разнообразие возможных, но непознаваемых Вселенных. Если мы допускаем, что теория струн способна описать нашу Вселенную, то означает ли это, что мы знаем все об окружающем мире? Рассмотрим более простой пример: вода может быть жидкой, замерзшей или паробразной. Химически это одно и то же вещество. Но дельфины могут существовать и по-своему познавать Вселенную, только если они окружены жидкой водой. В этом примере у нас лишь три варианта выбора: жидкость, лед и пар.

В соответствии с последними выводами теории струн у нас может быть 10^{500} (или более) вариантов состояния окружающего мира. Все эти возможности следуют из той самой основополагающей теории. Однако каждый из вариантов Вселенной будет выглядеть так, как будто он управляется разными законами физики, а их общие свойства станут незаметны. Поскольку существует такое великое множество вариантов, некоторые из них, надо надеяться, описывают Вселенную, в которой мы живем. Но большинство пред-

ставляют собой вселенные, в которых мы не смогли бы существовать, создавать измерительные приборы, записывать события или использовать законы математики и физики, чтобы строить предположения относительно будущего.

Когда Эйнштейн и Вигнер пытались понять, почему наша Вселенная познаваема, а математика эффективна, предполагалось, что Вселенная уникальна и единообразна, а законы физики соблюдаются повсеместно. Это допущение называлось космологическим принципом. Мы не знаем, *почему* Вселенная везде одинакова, мы просто воспринимаем это как данность. Следовательно, проблема, поставленная Эйнштейном и Вигнером, относится ко всей Вселенной. В таком контексте недавние разработки лишь заостряют постановку проблемы: если типичная Вселенная враждебна по отношению к жизни, как мы это теперь знаем, значит, нам невероятно повезло, что мы, по счастливому случаю, оказались во Вселенной, в которой возможна жизнь и которая познаваема. Это действительно чудо, «чудесный дар, который мы не понимаем и которого не заслуживаем». Способны ли мы на что-то большее, чем полагаться на чудо?

За последние 30 лет наши представления о происхождении и устройстве мира коренным образом изменились. Прежде всего, мы обнаружили, что инфляция — экспоненциально быстрое расширение новообразованной Вселенной — сделало ее плоской и тем самым потенциально приспособленной для жизни. Более того, стремительное растяжение Вселенной придало той ее части, где мы живем, чрезвычайную однородность. Таким образом, мы нашли объяснение наблюдаемому однообразию Вселенной. Однако мы также обнаружили, что в гораздо более крупном масштабе (далеко за пределами наблюдаемого нами горизонта примерно в 10^{10} световых лет) Вселенная становится на 100% неоднородной из-за квантовых эффектов, усиленных взрывным расширением пространства.

Согласно теории струн в сочетании с инфляционной космологией, это означает, что наш мир выглядит не как расширяющаяся симметричная сфера, а, скорее, как множественная Вселенная — невероятно обширная совокупность экспоненциально расширяющихся огромных «пузырей». Каждый из этих «пузырей» выглядит как Вселенная, и мы используем понятие «Вселенная» для описания протяжен-

ных, локально однообразных участков мироздания. Один из 10^{500} законов физики, вытекающих из теории струн, справедлив для каждой из этих вселенных.

В некоторых из них квантовые флуктуации столь велики, что никакие вычисления невозможны. Математика там бесполезна, потому что предположения не могут быть сохранены и применены. У одних вселенных очень короткое время существования, у других — долгое, но они необитаемы, так как их физические законы не позволяют никаким организмам существовать достаточно длительное время, чтобы выучить математику и физику.

К счастью, среди множества вселенных есть и такие, в которых возможна жизнь, как мы ее себе представляем. Но наша жизнь допустима, только если законы физики, действующие в нашей части множественной Вселенной, позволяют формирование стабильных, долгоживущих структур, поддающихся вычислениям. Это предполагает наличие математических взаимосвязей, которые могут быть использованы для долгосрочных прогнозов. Быстрое развитие человека оказалось возможным только потому, что мы живем в той части множественной Вселенной, где строить отдаленные планы настолько полезно и эффективно, что это позволило нам выживать во враждебном окружении и побеждать в соревновании с другими видами.

Подводя итог (и обобщая), следует сказать, что инфляционная Вселенная состоит из несметного числа «вселенных», в каждой из которых действуют собственные законы математики и физики. Мы можем жить только в тех из них, где законы физики позволяют наше существование, для чего необходимы надежные предположения. Другими словами, математики и физики могут жить только в постижимой Вселенной, в которой математические законы эффективны.

Вы вольны выбросить из головы все, только что мной написанное, как безответственную спекуляцию. Тем не менее любопытно, что в соответствии с новыми космологическими принципами, разработанными за последние 30 лет, мы впервые можем найти ответ на один из самых запутанных и сложных вопросов, которые беспокоили двух величайших ученых XX столетия.

КОСМОС АЛЬФВЕНА

ДЖОРДЖ ДАЙСОН

Историк науки; автор книги *Turing's Cathedral. The Origin of the Digital Universe* («Собор Тьюринга. Происхождение цифровой Вселенной»)

Иерархическая Вселенная может иметь среднюю плотность, равную нулю, и при этом обладать бесконечной массой.

Ханнес Альфвен (1908–1995) — первооткрыватель магнитогидродинамики, предложивший нам, вопреки бытовавшему скептицизму, Вселенную, пронизанную тем, что теперь называется волнами Альфвена, — никогда не отказывался от собственного скептицизма по отношению к Большому взрыву. «Они сражаются *против* общепринятого креационизма и в то же время фанатично борются *за* свой собственный креационизм»¹, — утверждал он в 1984 году, предлагая взамен иерархическую космологию, математическое обоснование которой, по его мнению, принадлежало Эдмунду Эдварду Фурнье Д'Альбе (1868–1933) и Карлу Вильгельму Людвигу Шарлье (1861–1934). Иерархическая не означает изотропная, и наблюдаемая анизотропия этого не опровергает.

Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646–1716), адвокат и ученый, верил, что наша Вселенная была выбрана из бесконечного множества возможных Вселенных, чтобы создать максимальное разнообразие при минимальном наборе законов природы. Трудно представить более прекрасные ограничивающие условия, чем нулевая плотность и бесконечная масса. Но тот же самый принцип бесконечного разнообразия предостерегает нас, что может потребоваться все время Вселенной, чтобы выяснить в деталях ее устройство.

¹ «Cosmology: Myth or Science?» *Jour. Astrophys. & Astron.* 5, 79–98 (1984).

НАША ВСЕЛЕННАЯ РАСТЕТ, КАК РЕБЕНОК

МАКС ТЕГМАРК

Космолог, профессор физики Массачусетского технологического института, научный директор Института фундаментальных проблем

Что послужило причиной Большого взрыва? Лучшее объяснение, которое я знаю, состоит в том, что наша Вселенная растет, как ребенок, — в буквальном смысле. Сразу после зачатия каждая из ваших клеток удваивается примерно раз в день, увеличивая общее число клеток вашего тела в виде последовательности 1, 2, 4, 8, 16 и т. д. Повторяющееся удвоение — могущественный процесс, поэтому ваша мама попала бы в беду, если бы вы продолжали удваивать свой вес каждый день, начиная с рождения: через 9 месяцев (около 274 удвоений) вы бы обладали большим весом, чем вся материя в обозримой Вселенной вместе взятая.

Как ни странно, именно так и происходило с нашей новообразованной Вселенной в соответствии с теорией инфляции, предложенной Аланом Гатом и др. Начав с частицы, значительно меньшей по размеру и весу, чем атом, она многократно удваивала свой размер, расширяясь с головокружительной скоростью, пока не стала более массивной, чем вся обозримая Вселенная. При этом она удваивалась не ежедневно, а практически непрерывно. Другими словами, инфляция создала наш Большой взрыв почти из ничего за считанные доли секунды. К тому времени, когда вы в угрозе матери достигаете размера около 10 см, ваш рост из ускоренного превращается в замедленный. В простейших моделях инфляции с нашей Вселенной произошло то же самое: когда *она* была размером около 10 см, ее экспоненциальный рост резко замедлился до более неторопливого расширения, в то время как горячая плазма разбавлялась и остывала, а составляющие ее частицы постепенно соединялись в ядра, атомы, молекулы, звезды и галактики.

Инфляция похожа на величественное волшебное зрелище. Мой внутренний голос подсказывает: «Это не должно подчиняться законам физики». Например, каким образом один грамм расширяющейся материи способен превратиться в два грамма? Очевидно, что масса не может возникнуть из ничего. Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что может. Любопытно, что Эйнштейн учел такую возможность в своей специальной теории относительности, которая предполагает, что энергия e и масса m связаны между собой посредством знаменитой формулы $e = mc^2$, где c — скорость света. Это означает, что можно увеличить массу какого-либо объекта, добавив к ней энергию. Например, вы можете сделать кусок резины тяжелее, растянув его: вы вкладываете энергию в растяжение, и эта энергия переходит в кусок резины, придавая ему дополнительную массу. Кусок резины обладает *отрицательным сжатием*, поскольку вам нужно приложить усилие, чтобы растянуть его. Подобным образом расширяющаяся материя должна обладать отрицательным сжатием, чтобы подчиняться законам физики, и это сжатие должно быть таким огромным, чтобы энергии, необходимой для расширения ее в два раза, оказалось достаточно для удвоения ее массы. Общая теория относительности Эйнштейна утверждает, что отрицательное сжатие служит причиной негативной гравитации. Это, в свою очередь, вызывает повторяющиеся удвоения, в конечном итоге создавая все, что мы можем наблюдать, практически из ничего.

По-моему, признаком глубокого и красивого объяснения служит то, что оно объясняет больше, чем вы спрашиваете. И теория инфляции доказала, что способна дать множество ответов — один за другим. Она объяснила, почему пространство такое плоское, что было подтверждено с точностью до 1%. Она объяснила также, почему удаленная Вселенная выглядит в среднем одинаково во всех направлениях с отклонениями всего лишь на 0,002% от одного места к другому. Она объяснила и происхождение этих 0,002% как квантовых флуктуаций, вызванных инфляцией от микроскопического уровня к макроскопическому и превратившихся затем благодаря гравитации в современные галактики и другие структуры космического масштаба. Она объяснила даже

космическое ускорение — инфляцию, возобновляющуюся в замедленном режиме и удваивающую размер нашей Вселенной не каждую долю секунды, а каждые 8 миллиардов лет, — открытие, удостоенное Нобелевской премии по физике 2011 года. В результате, теперь спорят не о том, была инфляция или нет, а о том, была она однажды или дважды.

Становится очевидно, что инфляция — объяснение, которому нет конца.

Так же как клеточное деление, производя одного ребенка, на этом не останавливается, а образует многочисленную и разнообразную человеческую популяцию, так и инфляция не ограничивается одной Вселенной, а создает множество различных параллельных вселенных, вероятно, реализуя все возможные варианты того, что мы привыкли считать физическими константами. Это объясняет еще одну загадку: то, что множество констант в нашей Вселенной так точно настроены, что малейшее их изменение сделало бы жизнь, как мы ее знаем, невозможной — скажем, не было бы ни галактик, ни атомов. Даже если большинство созданных инфляцией параллельных Вселенных — мертворожденные, некоторые из них должны соответствовать условиям для жизни, и нет ничего удивительного, что мы находимся в одной из них.

Инфляция поражает нас своей продуктивностью — и она действительно такова. Бесконечность вселенных вызвала так называемую проблему измерений, которую я рассматриваю как крупнейший кризис современной физики. Физика, опираясь на прошлое, призвана строить предположения относительно будущего, но инфляция, очевидно, этому противоречит. Теоретическая физика переполнена моделями и закономерностями, но, когда мы пытаемся применить их, чтобы подсчитать вероятность какого-нибудь конкретного события, инфляция дает нам один и тот же бесполезный ответ: бесконечность, поделенная на бесконечность.

Проблема состоит в том, что какой бы эксперимент вы ни поставили, инфляция предсказывает, что существуют бесконечные ваши копии, получающие все физически возможные результаты в бесконечном количестве параллельных вселенных, и, несмотря на годы обсуждений, космоло-

гическое сообщество не пришло ни к какому соглашению по поводу того, как получить вразумительные ответы от этих бесконечностей. Поэтому, строго говоря, мы, физики, больше не способны предсказать что бы то ни было вообще. Наша Вселенная превратилась из ребенка в непредсказуемого подростка.

Все это настолько плохо, что, по-моему, необходима радикально новая идея. Мы должны каким-то образом отделаться от бесконечности. Может быть, пространство, как кусок резины, не способно бесконечно расширяться и не разорваться? Или эти бесконечные параллельные вселенные уничтожены каким-нибудь еще не открытым процессом, или по каким-то причинам они — всего лишь миражи? Самые глубочайшие объяснения не только дают ответы, но также задают вопросы. Я думаю, инфляция еще нуждается в некоторых объяснениях.

КЕПЛЕР И ДР. И НЕСУЩЕСТВУЮЩАЯ ПРОБЛЕМА

ДЖИНО СЕГРЕ

Физик (Пенсильванский университет); автор книги *Ordinary Geniuses: Max Dellbruck, George Gamov and the Origin of Genomics and Big Bang Cosmology* («Обычные гении: Макс Дельбрюк, Джордж Гамов и происхождение геномики и космологии Большого взрыва»)

В 1595 году Иоганн Кеплер предложил глубокое, элегантное и красивое решение проблемы определения расстояния от Солнца до шести известных к тому времени планет. Поместив внутри сферы (как в русской матрешке) каждое из пяти тел Платона в определенном порядке — октаэдр, икосаэдр, додекаэдр, тетраэдр, куб, — он предположил, что последовательность их сферических радиусов будет иметь те же относительные пропорции, что и расстояния до планет. Конечно, глубокое, элегантное и красивое решение оказалось к тому же неверным, но, как звучит знаменитое высказывание персонажа Джо Брауна в финале фильма «В джазе только девушки», «у всех есть недостатки».

За пару тысяч лет до этого, в рассуждении, которое позднее получило название «Гармония сфер», Пифагор уже придумал решение этой задачи, связав данные расстояния с местами на струне, извлечение звука из которых было бы приятно слуху. Почти через 200 лет после Кеплера Иоганн Боде и Иоганн Титиус предложили, не вдаваясь в объяснения, простую числовую формулу, которая, по общему мнению, соответствовала этим расстояниям. Таким образом, предположение Кеплера не было ни первой, ни последней попыткой определить пропорции планетарных орбит, но в своем стремлении связать динамику с геометрией оно остается для меня самым глубоким, при этом простым и элегантным объяснением.

В строгом смысле ни одно из этих трех предположений нельзя назвать неверным. Они служат решениями несущ-

ществующей проблемы, так как теперь мы понимаем, что положение планет совершенно случайно и представляет собой побочный продукт развития пылевого диска, вращавшегося вокруг нашего новообразованного Солнца под действием гравитации, в современную планетарную систему. Понимание, что проблемы не существует, пришло с расширением наших представлений — от уникальности нашей планетарной системы до бесконечного количества подобных систем, разбросанных по бесчисленным галактикам, составляющим нашу Вселенную.

Я думал об этом, потому что вместе с многими моими коллегами — физиками-теоретиками — посвятил значительную часть своей научной деятельности поискам масс так называемых элементарных частиц. Но, возможно, существует причина, освобождающая нас от этого занятия, — предположение, завоевывающее все большее признание, а именно что наша обозримая Вселенная представляет собой лишь случайный вариант бесчисленных вселенных, каждая из которых содержит кварки и лептоны с массами, имеющими различные значения. Просто так получилось, что по крайней мере в одной из многих вселенных эти значения позволяют существовать как минимум одной звезде и одной планете, на которой живут существа, озадаченные подобными проблемами.

Другими словами, проблема, казавшаяся нам важной, может перестать существовать по мере развития нашей концепции Вселенной, которая в таком случае расширится до концепции множества вселенных. Если это правда, то каковы наши перспективы на будущее? Я лишь надеюсь, что наши потомки будут лучше разбираться в подобных вопросах и улыбнутся нашим слабым попыткам найти глубокое, элегантное и красивое решение проблемы, которую они сочтут несуществующей.

КАК МОГУТ СОСУЩЕСТВОВАТЬ НЕСОВМЕСТИМЫЕ МИРОВОЗЗРЕНИЯ

ФРИМЕН ДАЙСОН

Физик-теоретик (Институт перспективных исследований); автор книги *A Many Colored Glass: Reflections on the Place of Life in the Universe* («Разноцветное стекло: отражения места жизни во Вселенной»)

Феномен, который я хочу объяснить, — это существование бок о бок двух совершенно несовместимых представлений о Вселенной. Одно из них — классическая картина нашего мира как подчиняющаяся всемирному тяготению совокупность объектов и явлений, которые мы способны видеть и ощущать. Другое — зависящая от вероятностей и неопределенностей квантовая картина атомов и излучений, которые ведут себя непредсказуемым образом.

Обе картины кажутся правдивыми, но взаимосвязь между ними — тайна.

Физики полагают, что мы должны создать единую концепцию, включающую в себя обе картины в качестве частных случаев. Эта единая концепция должна содержать квантовую теорию гравитации и допускать существование частиц, называемых гравитонами, сочетая особенности гравитации с квантовыми неопределенностями.

Я пытаюсь найти другое объяснение тайны. Мне хочется понять — если гравитон существует, можно ли его обнаружить?

Я не знаю ответа на этот вопрос, но у меня есть основания предполагать, что ответ отрицательный. Подтверждением служит устройство по обнаружению гравитационных волн под названием LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory¹), части которого находятся сейчас в штатах Луизиана и Вашингтон. Принцип действия

¹ Лазерный интерферометр обсерватории гравитационных волн (англ.).

LIGO — очень точное измерения расстояния между двумя зеркалами посредством отражения света от одного к другому. При прохождении гравитационной волны расстояние между зеркалами должно незначительно измениться. В действительности из-за шумовых помех детекторы LIGO способны обнаружить лишь колебания, значительно более сильные, чем одиночная гравитационная волна. Но даже в совершенно бесшумной Вселенной я мог бы ответить на вопрос, способен ли идеальный детектор LIGO обнаружить гравитационную волну. Ответ — нет. В бесшумной Вселенной предел точности измерения расстояния определяется квантовыми неопределенностями в положениях зеркал. Для уменьшения квантовых неопределенностей зеркала должны быть тяжелыми. Простые подсчеты, основанные на известных законах гравитации и квантовой механики, приводят к впечатляющим результатам. Чтобы обнаружить единичную гравитационную волну с помощью LIGO, зеркала должны быть настолько тяжелыми, что смогут притянуть друг друга с необратимой силой и соединиться вместе, образовав черную дыру. Другими словами, сама природа запрещает нам обнаружить гравитационные волны подобным образом.

Я предлагаю гипотезу, основанную на этом единственном мысленном эксперименте: единичные гравитоны не могут быть обнаружены никаким устройством. Если эта гипотеза справедлива, то она подразумевает, что квантовая теория гравитации не подлежит проверке, следовательно, с научной точки зрения бессмысленна. Классическая и квантовая Вселенные могут тогда мирно сосуществовать, потому что никакого несоответствия между двумя картинами мира никогда не обнаружится. Обе картины будут правдивы, а надежда на единую концепцию превратится в иллюзию.

НЕВЕРОЯТНАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

САТЪЯДЖИТ ДАС

Финансовый эксперт, консультант по рискам;
автор книги *Extreme Money: The Master of the Universe and the Cult of Risk* («Экстремальные деньги. Хозяева Вселенной и культ риска»)

Неопределенность — это конец, который часто выглядит как начало. Ее совершенная красота — составная часть математики, методологии, философии, лингвистики и судьбы.

В 1927 году Вернер Гейзенберг показал, что неопределенность — неотъемлемая составляющая квантовой механики. Невозможно одновременно измерить разные характеристики частицы — положение и импульс. В квантовом мире материя может существовать в форме либо частицы, либо волны. Основные элементы не являются ни частицами, ни волнами, но проявляют свойства и тех, и других, что служит просто различными способами теоретического описания квантового мира.

Неопределенность обозначает конец достоверности. Если мы пытаемся точно измерить одно качество, мы лишаемся возможности измерить другое. Процесс измерения сводит на нет наше понимание системы.

Неопределенность отвергает научный детерминизм, подразумевая, что знание человека о мире всегда неполно, неточно и очень условно.

Неопределенность оспаривает причинную связь. Гейзенберг замечал: «Закон причинности утверждает, что, точно зная настоящее, можно предсказать будущее. Но вдумайтесь: в этой формулировке ложен не вывод, а предпосылка. Мы в принципе не можем знать все элементы, определяющие настоящее».

Неопределенность ставит под вопрос методологию. Эксперименты могут доказать только то, что они предположительно должны были доказать. Неопределенность —

теория, основанная на практической несостоятельности экспериментов.

Неопределенность и квантовая механика противостоят судьбе, равно как и истине, и упорядоченности. Они предполагают вероятностный мир, в котором мы ничего не можем знать с определенностью, но только в качестве вероятности. Это устраняет представления Ньютона о времени и пространстве из существующей реальности. В квантовом мире механика понимается как возможность вне всякой причинной связи.

Альберт Эйнштейн отказался принять то, что положения в пространстве-времени никогда не могут быть точно определены, а квантовые вероятности не связаны с какими-либо причинами. Он отвергал не теорию в целом, а отсутствие причинно-следственной связи. В знаменитом письме к Максу Борну он утверждал: «Во всяком случае, я убежден, что Он [Бог] не играет в кости». Но, как позднее отметил Стивен Хокинг (что оценил бы Гейзенберг), «Бог не только играет в кости... иногда он бросает их туда, где никто не сможет их увидеть».

Скрытая и неуловимая сила неопределенности оказывает свое метафорическое воздействие, проникая в различные области, такие как теория искусства, экономика и даже массовая культура. С одной стороны, принцип неопределенности Гейзенберга подразумевает, что измерение может иногда изменить то, что мы наблюдаем. С другой, намеренно или нет, Гейзенберг говорит о сущности системы в целом — отсутствии конечных истин и пределов нашего познания. Неопределенность связана с различными философскими концепциями. Сёрен Кьеркегор ввел различие между объективными и субъективными истинами. Объективные истины отбираются и изменяются посредством наших субъективных истин, напоминая взаимодействие между наблюдателем и событием, что составляет основу теории Гейзенберга.

Неопределенность существует и в лингвистике. В «Логико-философском трактате» Людвиг Витгенштейн использует неопределенность, утверждая, что структура языка устанавливает границы мышления и того, что можно выразить словами.

Противоречивость неопределенности проявляет себя и другим образом, к примеру, полемикой относительно истории жизни самого Гейзенберга. В 1941 году Гейзенберг и его бывший учитель Нильс Бор встретились в оккупированной Дании. В пьесе Майкла Фрейна «Копенгаген» (1998) Маргарет, жена Бора, задает важный вопрос, который обсуждается по ходу действия: «Зачем он [Гейзенберг] приехал в Копенгаген?». Герои пьесы встречаются трижды, каждый раз с различным результатом. Гейзенберг говорит: «Никто не понимает причины моей поездки в Копенгаген. Раз за разом я ее объясняю. Самому Бору и Маргарет. Следователям и офицерам разведки, журналистам и историкам. Чем подробнее я объясняю, тем больше неопределенность».

В статье «Принципы квантовой механики», написанной в 1930 году, Поль Дирак противопоставляет ньютоновский и квантовый мир: «Становится все более очевидно... что природа работает по другому плану. Фундаментальные законы не управляют миром напрямую, как это выглядит в нашем представлении, вместо этого они контролируют основу, которую мы не можем себе вообразить, не создавая бессмыслицу».

Мир существовал до Гейзенберга и его принципа неопределенности. Мир существует и после. Они, эти миры, составляют один и тот же мир, но при этом различаются.

НОВЫЙ УРОВЕНЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕРИИ?

ХАИМ ХАРАРИ

Физик-теоретик, бывший президент Института Вейцмана;
автор книги *The View from the Eye of the Storm*
(«Вид из эпицентра бури»)

Научная идея может быть элегантною. Она также может быть верной. Если вам приходится выбирать, выбирайте верную. Но лучше, если идея сочетает оба качества.

Элегантность идеи определяется взглядом исследователя. Верность — окончательным судом науки, матери-природы, обсуждением результатов экспериментов. В отличие от телевизионного конкурса талантов ни элегантность, ни верность не могут быть установлены путем голосования публики или скептически настроенного жюри. Но впечатление элегантности идеи часто зависит от того, решение какого вопроса она предлагает.

Вся материя состоит из 6 типов кварков и 6 типов лептонов, видимо, со случайными необъяснимыми значениями масс, различающимися на десять порядков. Никто не знает, почему в этих 12 строительных блоках трижды повторяется одна и та же структура. При определенных обстоятельствах эти объекты могут превращаться друг в друга в необъяснимых соотношениях, называемых «углами смешивания». Создается впечатление, что двадцать с лишним значений этих масс и соотношений выбраны кем-то (природой или Богом) произвольным образом. Все это сообщает нам Стандартная модель физики частиц. Это элегантно? Не очень.

Но то, что горы и змеи, океаны и помойки, люди и компьютеры, гамбургеры и звезды, алмазы и слоны, а также все остальное во Вселенной создано из дюжины типов фундаментальных объектов, действительно поражает воображение. Именно это сообщает нам та же Стандартная модель. Так это элегантно? Очень даже.

Я надеюсь, что природа на самом деле еще более элегантна. Двенадцать фундаментальных кварков и лептонов и их античастицы имеют электрические заряды 0, $1/3$, $2/3$ и 1 или такие же негативные значения. Каждое значение повторяется в точности три раза.

На многие вопросы нет удовлетворительных ответов. Почему все заряды кратны $1/3$ заряда электрона? Почему представлены все значения от 0 до 1, причем несколько раз? Почему не встречается более трех повторов одного значения? Почему одна и та же структура повторяется три раза? Почему лептоны имеют целые значения зарядов, а кварки — дробные? Почему заряды кварков и лептонов связаны друг с другом простыми соотношениями?

Причиной, по которой москиты, стулья и томатный сок электрически нейтральны, служит необъяснимое равенство величины электрических зарядов протонов и электронов, в результате чего атомы нейтральны. Это следствие простого и точного соотношения зарядов кварков и лептонов. Но почему заряд электрона не составляет, скажем, 0,8342 от заряда протона? Почему значение заряда у них в точности одинаковое? Элегантное объяснение этих головоломок может появиться, если все кварки и лептоны (следовательно, и вся материя во Вселенной) состоят только из двух строительных блоков, один из которых имеет электрический заряд, составляющий $1/3$ от заряда электрона, а второй не заряжен. Тогда комбинации из этих объектов будут в точности соответствовать известному набору кварков и лептонов и четко отвечать на поставленные выше вопросы. Странный комплект масс и соотношений кварков и лептонов так и останется необъяснимым, но будет переведен в рамки обсуждения динамических сил, связывающих два фундаментальных объекта в множество целостных образований, вместо попытки разобраться в данном природой или Богом списке более двадцати фундаментальных параметров.

Элегантное объяснение? Безусловно. Верное? Не обязательно, как мы теперь понимаем. Но вы никогда не докажете, что частицы не состоят из более простых первичных объектов. Это может быть обнаружено в будущем и не вызвать противоречий с имеющимися данными, особенно если новые структуры окажутся на меньшем расстоянии

и с более высокими энергиями, чем все, что нам до сих пор известны, или подчиняются странному набору новых физических законов. Не стоит и говорить, что такая простая гипотеза нуждается в решении множество дополнительных проблем, с одними из которых она легко справляется, а с другими оказывается несостоятельной. Возможно, это отчасти оправдывает общее негативное отношение большинства физиков частиц к такому простому объяснению.

На мой взгляд, идея, что вся Вселенная создана из двух типов строительных блоков (которые я назвал ризонами, или первичными), — элегантное и привлекательное объяснение известных фактов. В начале «Книги Бытия» сказано, что Вселенная «бесформенна и пуста», или в оригинале на иврите «*Tohu Vavohu*». Почему бы не дать двум фундаментальным объектам обозначения T (*Tohu*, «бесформенность») и V (*Vohu*, «пустота»)? Тогда каждый кварк и лептон будут состоять из различных комбинаций трех таких ризонов, например TTV или TTT.

Все это может навсегда остаться элегантной, но неверной идеей, или однажды оказаться новым уровнем структуры материи, следующим за атомом, ядром, протоном и кварком. Спросите мать-природу. Она знает, что такое элегантность и что такое правильность, но пока молчит.

НАБЛЮДАТЕЛИ НАБЛЮДАЮТ

РОБЕРТ ПРОВАЙН

Нейробиолог и психолог (Мэрилендский университет); автор книги *Curious Behaviour: Yawning, Laughing, Hiccupping and Beyond* («Странное поведение: зевота, смех, икота и прочее»)

Вопрос о лучшем глубоком, элегантном и красивом объяснении меня слегка разочаровал. «Глубокий», «элегантный» и «красивый» — эстетические категории, которые у меня ассоциируются скорее с опытом и процессом, чем с объяснением, особенно с наблюдающим наблюдателем. Наблюдение — связь между представителями эмпирических наук и рациональными физиками, которые были и среди основателей психологии. Разница между психологией и физикой в акцентах. Обе включают процесс наблюдения наблюдателями, но физика делает акцент на наблюдаемом, а психология — на наблюдателе. Как это ни противоестественно для закоренелых эмпириков, которые отрицают наблюдателя, физика — это по необходимости изучение физика, биология — биолога и т. д.

Несколько десятилетий назад я обсуждал этот вопрос с Джоном Уилером, для которого было очевидно: ничто так не ограничивает космологию, как космолог. Когда я говорю студентам моего курса «Чувство и восприятие», что мы занимаемся изучением всего на свете, я совершенно серьезен. По многим причинам изучение чувства и восприятия — самая основополагающая и универсальная наука.

Мое увлечение наблюдением носит как эстетический, так и научный характер. Моим самым запоминающимся наблюдением было ночное небо. Другие могут отдать предпочтение обнаружению останков тиранозавра или пению птиц в прекрасный весенний день. Чтобы видеть лучше и глубже, я конструировал телескопы, большие и маленькие. Я предпочитаю свои фотографии в первозданном виде, а не в компьютерной обработке. Я хочу встречаться с космосом

лицом к лицу, так, чтобы он омывал мою сетчатку. Моя профессия нейробиолога предоставляет возможность удивительного приключения — приключения наблюдателя, включая уникальную возможность замкнуть круг, изучая неврологический механизм, с помощью которого наблюдатель наблюдает космос.

ГЕНЫ, КЛАУСТРУМ И СОЗНАНИЕ

В. С. РАМАЧАНДРАН

Нейробиолог, профессор и директор Центра мозга и когнитивных способностей Калифорнийского университета в Сан-Диего; автор книги *The Tell-Tale Brain* («Мозг рассказывает». М., Карьера Пресс, 2012)

Какова моя любимая элегантная идея? Самая очевидная — открытие структуры ДНК, но тут я явно неоригинален. Я утверждаю, что та же самая стратегия, которая позволила взломать генетический код, может оказаться успешной в открытии «нервного кода» сознания и личности. Это долгий путь, но он того стоит.

Способность улавливать аналогии и видеть разницу между поверхностным сходством и глубокой взаимосвязью — отличительная черта многих больших ученых. Фрэнсис Крик и Джеймс Уотсон не были исключением. Крик сам предостерегал от стремления к элегантности в биологии, говоря, что эволюция происходит случайным образом. «Бог — не профессионал, — утверждал он и добавлял (согласно моему коллеге Дону Хоффману): многие из молодых биологов перерезали себе горло бритвой Оккама». Тем не менее его собственное решение загадки наследственности сопоставимо с естественным отбором в качестве наиболее элегантных биологических открытий. Можно ли придумать такое же элегантное объяснение проблемы сознания?

Общеизвестно, что Крик и Уотсон открыли строение молекулы ДНК в виде двойной спирали: двух комплементарных цепей нуклеотидов. Менее известна последовательность событий, приведших к этому открытию.

Прежде всего, законы Менделя утверждали, что гены дискретны (в первом приближении это остается справедливым до сих пор). Далее, Томас Морган показал, что плодовые мушки, подвергнутые рентгеновскому излучению, мутируют. Это сопровождается точечными изменениями

в хромосомах, ясно указывая, где происходят мутации. Хромосомы состоят из белков, гистонов, и ДНК. Еще в 1928 году британский бактериолог Фред Гриффит обнаружил, что безвредные виды бактерий после инкубации с убитыми нагреванием болезнетворными видами становятся опасными. Это было не менее поразительно, чем если бы свинья и овца, вошедшие в хлев, превратились вдруг в двух овец. Позднее Освальд Эвери показал, что причиной трансформации послужила ДНК. В биологии знание структуры часто приводит к пониманию функции — в качестве примера достаточно истории медицины. Вдохновленные Гриффитом и Эвери, Крик и Уотсон поняли, что ответ на проблему наследственности содержится в структуре ДНК. Локализация сыграла главную роль, как может оказаться и в случае функции мозга.

Крик и Уотсон не только описали структуру ДНК, но и объяснили ее смысл. Они разглядели аналогию между комплементарностью молекулярных цепей и комплементарностью родителей и потомства — почему свиньи рожают поросят, а не ягнят. Тогда и возникла современная биология. Существуют похожие взаимосвязи между структурой мозга и функцией мышления, между нейронами и сознанием. (Я утверждаю здесь очевидное только потому, что некоторые философы, называющие себя «новыми мистиками», верят в прямо противоположное.)

После своего триумфа с наследственностью Крик обратился, по его словам, ко «второй великой загадке» биологии — сознанию. Многие отнеслись к этому скептически. Я помню семинар по проблемам сознания, который Крик проводил в Институте Салка здесь, в Ла-Хойе. Не успел он начать, как какой-то джентльмен в аудитории поднял руку и сказал: «Позвольте, доктор Крик, вы даже не потрудились дать *определение* сознанию, прежде чем взяться за дело». Ответ Крика был запоминающимся: «Вынужден вам напомнить, что не было такого в истории биологии, чтобы компания ученых собралась за столом и решила: “Давайте сначала определим, что мы подразумеваем под жизнью”. Мы просто двигались вперед и выясняли, что она собой представляет. Оказалось — двойную спираль. Давайте оставим вопросы семантической гигиены философам».

На мой взгляд, Крик не добился успеха в решении проблем сознания (чтобы это ни значило). Тем не менее он двигался в правильном направлении. Крик был щедро вознагражден ранее в своей карьере за обнаруженную им аналогию между биологическими комплементарностями — структурной логикой молекулы и функциональной логикой наследственности. Учитывая его феноменальный успех в использовании структурно-функциональной аналогии, неудивительно, что он применил тот же стиль мышления в изучении сознания. Крик и его коллега Кристоф Кох сосредоточились на относительно малопонятной структуре, которая называется клаустромом.

Клаустром — это пластинка серого вещества, тонкий слой клеток, расположенный под островковой корой мозга в каждом полушарии. Она более однородна гистологически, чем большинство структур мозга, и в отличие от них (посылающих и принимающих сигналы от небольшого количества других структур) взаимосвязана практически с каждым участком коры. Структурно-функциональное взаимодействие гарантирует, что, когда волны информации проходят через клаустром, его нейроны воспринимают входящие сигналы.

Как все это связано с сознанием? Вместо того чтобы сосредоточиться на философских разногласиях, Крик и Кох положились на свою наивную интуицию. Сознание обладает множеством качеств — продолжительностью во времени, «свободой воли», рекурсивностью, самоанализом и т. д. Но одно из этих качеств выделяется среди прочих — это субъективное единство. Вы воспринимаете все разнообразные чувственные ощущения — мысли, осознанные действия и воспоминания — не по отдельности, а как единое целое. Это качество сознания вместе с чувством непосредственного присутствия — «здесь и сейчас» — настолько очевидно, что мы обычно не задумываемся над ним, принимая как само собой разумеющееся.

Соответственно, главное свойство сознания — это его целостность, а мы располагаем структурой мозга, которая посылает и получает сигналы практически от всех остальных мозговых структур, включая правую теменную долю (ответственную за сенсорное восприятие) и переднюю пояс-

ную кору (ответственную за «свободную волю»). Таким образом, пластинка серого вещества, видимо, унифицирует все анатомически, а сознание — мысленно. Крик и Кох заподозрили, что это не случайность: клаустрем, тонкая пластинка серого вещества, занимает ведущее положение в сознании и в самом деле может воплощать идею картезианского театра, запретную тему среди философов, или, по меньшей мере, играть роль дирижера оркестра. Такого рода «детские» рассуждения часто ведут к открытиям. Очевидно, что подобные аналогии не заменяют строгую науку, но служат хорошей отправной точкой. Идея Крика и Коха может быть правильной или нет, но она элегантна. Если она верна, то они указали путь решения величайшей тайны биологии. Но даже если она ошибочна, студенты, изучающие эту область знания, будут правы, копируя их стиль мышления. Крик слишком часто бывал прав, чтобы его игнорировать.

Я навел его дома, в Ла-Хойе в июле 2004 года. Когда я собрался уезжать, он проводил меня до дверей и, прощаясь, лукаво и заговорщически подмигнул: «Я думаю, это клаустрем, Рама. Вот где собака зарыта». Через неделю его не стало.

ПЕРЕКРЫВАЮЩИЕСЯ РЕШЕНИЯ

ДЭВИД М. ИГЛМЕН

Нейробиолог (Медицинский колледж Бейлора);
автор книги *Incognito: The Secret Lives of the Brain*
(«Инкогнито: тайная жизнь мозга»)

Элегантность мозга состоит в его неэлегантности. Столетиями нейробиологи пытались аккуратно приклеить этикетки к различным областям мозга: эта отвечает за речь, а та — за мораль, использование орудий, распознавание цветов, узнавание лиц и т. д. Подобные исследования ставили целью составление правильной карты мозга, но повели по ложному следу.

Глубокая и красивая загадка мозга намного интереснее: он обладает множественными, перекрывающимися способами взаимодействия с миром. Мозг — устройство, состоящее из противоборствующих частей. Это представительная демократия, действующая на основе *соревнования* между партиями, каждая из которых верит, что знает верное решение проблемы.

В результате мы можем свести себя с ума, спорить сами с собой, проклинать самих себя и общаться с самими собой. Мы способны испытывать противоречивые чувства. Подобные нервные баталии служат причиной супружеской неверности, вредных привычек, отклонений от диеты, нарушений новогодних обещаний — всех ситуаций, когда одна часть личности хочет одного, а другая — другого.

Это вещи, на которые современные машины не способны. Ваш автомобиль не может сомневаться, в какую сторону повернуть: у него один руль, управляемый одним водителем, и он без колебаний следует в одном направлении. Мозги, в свою очередь, могут иметь два мнения, а часто намного больше. Мы не уверены, повернуться ли в сторону кекса или от него, потому что рулем нашего поведения управляет множество пар рук.

Обратимся к памяти. В нормальных условиях воспоминания о событиях дня объединены в участке мозга, называемом гиппокампом. Но в случае опасности — такой как автомобильная авария или ограбление — другая часть мозга, миндалевидное тело, также сохраняет независимые воспоминания. Эти воспоминания обладают специфическими особенностями: их трудно стереть из памяти, и они возвращаются в виде вспышки — сходное описание дают жертвы изнасилования и ветераны войны. Другими словами, существует более одного типа памяти. Мы говорим не о памяти о разных событиях, а о различной памяти об одном и том же событии. В соответствии с открывающейся перспективой, может быть даже более двух задействованных в памяти участков мозга, запоминающих информацию и соревнующихся в изложении событий. Единство памяти — иллюзия.

Представьте, сколько различных систем участвует в принятии решения: одни — быстрые и автоматические, находящиеся за границами осознанного понимания, другие — медленные и сознательные. И нет оснований полагать, что существуют только две системы, — их может быть целый спектр. Какие-то системы мозга используются для долгосрочных решений, какие-то — для краткосрочных, а также может быть целая армия промежуточных вариантов.

Внимание, как недавно выяснилось, также представляет собой конечный результат множественных конкурирующих систем. Одни ответственны за внимание, сконцентрированное на какой-либо конкретной задаче, другие — на общем восприятии (бдительности). Они всегда конкурентно взаимосвязаны, чтобы отслеживать действия организма. Даже основные функции органов чувств, такие как контроль телодвижений, как теперь оказалось, были изобретены эволюцией неоднократно. Это обеспечивает идеальную основу для нервной демократии.

В большем, анатомическом масштабе два полушария мозга, левое и правое, могут рассматриваться как перекрывающиеся конкурирующие системы. Мы знаем это в результате изучения пациентов с нарушением связи между полушариями: практически у них работают два независимых мозга. Например, держа по карандашу в каждой руке,

они могут одновременно нарисовать два несовпадающих рисунка, таких как круг и треугольник. Два полушария ведут себя по-разному в устной речи, абстрактном мышлении, построении рассказа, умозаключениях, памяти, игровых стратегиях и т. д. Они образуют соперничающие команды с одинаковыми задачами, но различными способами их достижения.

На мой взгляд, это элегантное решение загадок мозга должно изменить предназначение нейробиологов. Вместо того чтобы годами отстаивать собственное решение, нужно рассматривать множество перекрывающихся решений: как они конкурируют, как действуют вместе и по отдельности. Существенная составляющая элегантной идеи — ее коммерциализация. Нервно-демократическая модель может заместить искусственный интеллект. Программисты ищут наилучший способ решения задачи, чтобы в конечном счете избавиться от нее. Но эволюция, решив задачу, не вычеркивает ее из списка. Напротив, она непрестанно заново изобретает алгоритмы, программы, перекрывающиеся и конкурирующие друг с другом. Урок состоит в том, чтобы отказаться от вопроса «Каков самый разумный путь решить эту задачу?» в пользу другого — «Существует ли множество перекрывающихся путей ее решения?». Это станет отправной точкой новой эпохи элегантно неэлегантных вычислительных устройств.

НАША ОГРАНИЧЕННАЯ РАЦИОНАЛЬНОСТЬ

МАЗАРИН БАНАДЖИ

Профессор социальной этики психологического факультета
Гарвардского университета

Аналитически и эстетически выдающиеся объяснения объединяют, помимо прочих, следующие качества: 1) они часто проще, чем объяснения, казавшиеся разумными раньше; 2) они указывают более достоверную причину (позволяя взглянуть на явление со стороны); 3) они заставляют сожалеть, что вы не нашли их сами.

Те из нас, кто пытается понять разум, сталкиваются с уникальным ограничением: разум — это то, что дает объяснение, и, одновременно, то, что должно быть объяснено. Взглянуть со стороны на разум, особенности мышления своего племени или вида, освободиться от самоанализа и интуиции (не для создания гипотез, а для ответов и объяснений) очень трудно, особенно когда мы стараемся понять свой собственный разум и мышление похожих на нас людей.

По этой причине мое предложение в качестве наиболее глубокого удовлетворительного объяснения последних десятилетий — идея ограниченной рациональности. Идея о том, что человеческие существа сообразительны по сравнению с другими видами, но недостаточно сообразительны по их собственным стандартам, включая поведение в соответствии с основополагающими принципами рациональности, стала теперь общепризнанной и экспериментально обоснованной.

Специалист в области познания и нобелевский лауреат по экономике Герберт Саймон, исследуя обработку информации и искусственный интеллект, показал, что как люди, так и организации привержены образу действий, вынуждающему их принимать удовлетворительные, но не

оптимальные решения. Дэниел Канеман и Амос Тверски продемонстрировали поразительный образ действий, при котором даже эксперты склонны совершать ошибки, имеющие негативные последствия не только для их собственного благополучия, но и для общества в целом.

Исследование природы человека за последние четыре десятилетия в корне изменило представление о том, кто мы такие и почему делаем то, что делаем. Мы совершаем ошибки уникальным образом, не руководствуясь дурными побуждениями, а вследствие эволюционной основы структуры нашего мышления — способов, с помощью которых мы учимся получать и запоминать информацию, воздействия на нас нашего окружения и т. д. Причина, по которой мы ограничено рациональны, состоит в том, что окружающее нас информационное пространство превышает наши возможности, включая жесткие ограничения нашего осознанного понимания и нашей способности контролировать собственное поведение и действовать в соответствии с собственными намерениями.

Если мы обратимся к компромиссу с моральными принципами, то вновь обнаружим ту же ситуацию — мы вовсе не стремимся причинить кому-либо ущерб. Скорее, причина в том, что определенная информация играет непропорциональную роль в принятии нами решений, в способности упрощать и преувеличивать, а также в привычности некорректного поведения в повседневной жизни. В этом — наиболее существенные причины этической несостоятельности личностей и общественных институтов.

Итак, негативные последствия — результат ограниченности человеческого мышления, неспособного воспринять, переработать и адаптироваться к требованиям своего окружения. Вот совершенно новое объяснение наших возможностей и, соответственно, нашей природы. Это абсолютно свежая идея. Ее элегантность и красота основаны на заурядном и скрытном, а не на очевидных дурных побуждениях. Она немногим отличается от другой, предложившей естественный отбор вместо Бога, и, похоже, встретит такой же отпор.

РОЕВОЙ ИНТЕЛЛЕКТ

РОБЕРТ САПОЛСКИ

Профессор неврологии Стэнфордского университета, научный сотрудник Национального музея Кении; автор книги *Monkeyluv: and Other Essays on Our Lives as Animals* («Обезьянья любовь и другие очерки нашей жизни как животных»)

Очевидный ответ на вопрос *Edge* — двойная спираль. С неподражаемой лаконичностью — «От нашего внимания не ускользнуло...» — было дано объяснение сущности механизма наследственности. Но двойная спираль — не для меня. Когда я учился в университете на биологическом факультете, двойная спираль уже превратилась в древнюю историю, наподобие сведений об эволюции березовой пяденицы или о том, что митохондрия — источник энергии клетки. Уотсон и Крик воспринимались как нечто удобное и привычное, к примеру как Баскин и Роббинс.

Зато в те годы было опубликовано исследование Хьюбела и Визела, которое показало, что кора больших полушарий мозга перерабатывает сигналы органов чувств в соподчиненную систему отдельных признаков. В первичном слое зрительной зоны коры, например, каждый нейрон получает сигнал от единственного фоторецептора сетчатки глаза. Таким образом, когда стимулируется один фоторецептор, активируется «его» нейрон в первичном слое зрительной коры. При стимуляции соседнего рецептора активируется соседний нейрон. По существу, каждый из этих нейронов «знает» лишь одно — а именно как распознавать отдельное пятно света. Группы таких нейронов затем посылают сигнал единичному нейрону вторичного слоя коры. Если стимулировать определенную совокупность нейронов в первичном слое коры, то активируется единичный нейрон вторичного слоя. Следовательно, нейрон второго слоя «знает» только, как распознавать, скажем, луч света под углом 45°. Далее группы подобных нейронов пересылают сигнал в следующий слой.

Красивая концепция, объясняющая все: от точки к линии, к кривой, к совокупности кривых, от слоя к слою коры, и так до верхнего слоя, где нейрон обладает только одним сложным, специализированным «знанием», например, как распознать вашу бабушку. И точно так же устроена слуховая зона коры: нейроны первичного слоя умеют распознавать, практически, лишь отдельные ноты, нейроны вторичного слоя — пары нот, и, наконец, на самом верху какой-то нейрон способен распознать голос вашей бабушки, поющей под Лоренса Уилка¹.

Однако оказалось, что все работает несколько иначе. В коре немного «бабушкиных нейронов» (хотя в 2005 году в журнале *Nature* было опубликовано сообщение о нейроне Дженнифер Энистон). Кора не может полагаться на «бабушкины нейроны», потому что потребовалось бы неисчислимое количество подобных нейронов, чтобы приспособиться к такой неэффективной узкой специализации. Более того, в мире, где существуют только «бабушкины нейроны», невозможны множественные ассоциации (например, когда определенная картина Моне заставляет вспомнить круасаны, музыку Дебюсси и кошмарное свидание на выставке импрессионистов в Метрополитене). Вместо этого мы вступили в мир нервных сетей.

Что и приводит меня к моему выбору — «роевому интеллекту». Понаблюдайте за одиноким муравьем — он не производит осмысленного впечатления: движется в одном направлении, неожиданно, без видимой причины направляется в другом, идет по собственным следам. Совершенно непредсказуемо. То же самое происходит с двумя муравьями, с группой муравьев. Но колония муравьев чрезвычайно осмысленна. Разделение труда, эффективные способы использования новых источников пищи, сложные подземные убежища с регулируемой температурой с точностью до нескольких градусов. И на самом деле, нет плана или командного пункта — у каждого отдельного муравья свой алгоритм поведения. Но это не мудрость толпы, когда группа правильно информированных индивидуальностей

¹ Лоренс Уилк (1903–1992) — американский музыкант, аккордеонист, руководитель оркестра, ведущий популярной телевизионной программы «Шоу Лоренса Уилка». — *Прим. перев.*

превосходит одного эксперта. Муравьи не имеют представления о картине в целом. Алгоритм поведения каждого муравья содержит несколько простых правил взаимодействия с ближайшим окружением и соседними муравьями. И из этого складывается высокоэффективная колония.

Все колонии прокладывают кратчайшие из всех возможных пути сообщения, руководствуясь простыми правилами — когда оставлять след феромонов и что делать, столкнувшись со следом, оставленным кем-то другим, — своего рода оптимальными решениями для коммивояжера. «Муравьиный маршрутизатор» — электронная модель с виртуальными муравьями, использующими сходные правила, — способен создавать оптимальные пути, связывающие компьютерные узлы в сети, что представляет существенный интерес для телекоммуникационных компаний. Нечто подобное происходит и в развивающемся мозге, который должен связать многочисленные нейроны с множеством соединений, не расходуя при этом миллионы миль аксонов. И мигрирующие эмбриональные нейроны вырабатывают оптимальное решение на основе одной из версий «муравьиного маршрутизатора».

Вот вам превосходный пример — правила притяжения и отталкивания (иначе говоря, положительный и отрицательный заряды) позволяют простым молекулам в органическом бульоне случайным образом формировать более сложные соединения. Жизнь могла возникнуть именно таким образом, без участия разрядов молнии, чтобы катализировать образование сложных молекул.

Почему самоорганизация так привлекательна на мой атеистический взгляд? Потому что, если сложные, способные к адаптации системы на нуждаются в плане, они не нуждаются и в Создателе Плана.

ЯЗЫК И ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР

КИТ ДЕВЛИН

Исполнительный директор Института H-STAR¹ Стэнфордского университета; автор книги *The Man of Numbers: Fibonacci's Arithmetic Revolution* («Человек чисел: Фибоначчи и революция в арифметике»)

Эволюция путем естественного отбора объясняет не только наше происхождение, существование и поведение, но также и то, почему множество людей отказываются с этим согласиться, а еще большее число людей верит во всемогущее Божество. Но раз другие корреспонденты *Edge* склонны считать естественный отбор самым глубоким, элегантным и красивым объяснением (а оно обладает всеми тремя качествами, а также дополнительной возможностью широкого толкования), я остановлюсь на одном отдельном случае: объяснении, как люди приобрели язык, имея в виду грамматическую структуру.

Существуют основания, позволяющие предположить, что наши предки развили эффективные способы словесного общения примерно 3 миллиона лет назад. Но грамматика появилась намного позже, возможно, около 75 000 лет назад. Как же это произошло?

Каждый, кто путешествовал за границей, знает — чтобы сообщить окружающим вас людям о простейших потребностях, желаниях или намерениях относительно объектов в пределах видимости, достаточно нескольких соответствующих слов, сопровождаемых жестами. Вся необходимая грамматика состоит в случайном сочетании двух слов (яркий классический пример из Голливуда: «Я — Тарзан, ты — Джейн», — служит информацией и намеком). Антропологи называют общение с помощью таких простых пар слов протоязыком.

¹ Институт перспективных исследований гуманитарных и прикладных наук (сокр. от англ. Human-Sciences and Technologies Advanced Research Institute). — *Прим. перев.*

Но для обсуждения вещей, не находящихся здесь и сейчас, вам нужно нечто большее. Эффективное планирование будущих совместных действий нуждается в практически полноценной грамматической структуре, особенно если план включает более двух людей. Еще большие требования к грамматике предъявляются, если план нуждается в координации действий между группами людей, не все из которых присутствуют в данном месте или в данное время.

Если учесть степень зависимости выживания человечества от способности планировать и координировать действия, а также обсуждать проблемы, когда дела идут плохо, чтобы избежать повторения ошибок, то становится очевидно, что грамматическая структура чрезвычайно важна для *Homo sapiens*. В самом деле, многие считают, что это наша определяющая характеристика. Но общение, очевидно, не может быть причиной помещения грамматики на первое место в генетическом фонде по очень простой причине. Если грамматика нужна, чтобы с помощью словесного общения выразить идеи, более сложные, чем способен передать протоязык, то она возникает лишь тогда, когда мозг в состоянии сформулировать подобные идеи. Эти соображения привели к тому, что сейчас принято (хотя и не без возражений) в качестве Стандартного объяснения овладения языком. В очень упрощенном виде Стандартное объяснение представляет собой следующее.

1. Мозг (или то, что позднее стало мозгом) первоначально возник, чтобы связать сигналы органов чувств с двигательными реакциями.
2. У некоторых существ мозг стал более сложным, исполняя роль посредника между сигналами органов чувств и двигательными реакциями.
3. У некоторых из этих существ мозг получил возможность управлять автоматической последовательностью «стимул-реакция».
4. У *Homo sapiens* и в меньшей степени у других видов мозг приобрел способность работать автономно, эффективно моделируя действия и не нуждаясь ни в сигналах от органов чувств, ни в ответной реакции на них.

Четвертый этап связан с приобретением мозгом грамматики. То, что мы называем грамматической структурой, на самом деле представляет собой описательно-коммуникативное проявление структуры мозга, моделирующей мир.

Мне, как математику, в этом объяснении нравится то, что оно также сообщает нам, как мозг приобрел способность к математическому мышлению. Математическое мышление, по существу, — еще одно проявление способности мозга к моделированию, но не в описательно-коммуникативном отношении, а в количественно-связанно-логическом.

Как обычно происходит с доказательствами, основанными на естественном отборе, тут требуются существенные усилия, чтобы прояснить детали этих простых объяснений (и бывают дни, когда я не слишком уверен в некоторых из них), но в целом они поражают меня своей правотой. В частности, математическая часть объясняет, почему математическое мышление связано с преобладанием платоновского способа рассуждения не об абстракциях, а о реальных объектах — реальных, по крайней мере, в мире Платона. На этом месте преподаватель математики во мне подсказывает, что следует оставить доказательство этого вывода в качестве упражнения для читателя — так я и поступлю.

ОБЯЗАТЕЛЬСТВО

РИЧАРД ТАЛЕР

Директор Центра по изучению принятия решений Школы бизнеса Чикагского университета; соавтор книги (с Кассом Санстейном) *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth and Happiness* («Подталкивание: улучшение решений по поводу здоровья, богатства и счастья»)

Фундаментальный принцип экономики состоит в том, что человеку всегда лучше, когда существует выбор из нескольких возможностей. Но это неверный принцип. Бывают случаи, когда мне проще ограничить возможность выбора и заставить себя поступить определенным образом.

Идея обязательства как стратегии восходит к древности. Так, знаменитый Одиссей приказал своей команде привязать себя к мачте, чтобы, услышав пение сирен, не направить корабль на скалы. Другой классический пример — решение Кортеса сжечь корабли по прибытии в Америку, чтобы не оставить своим соратникам пути к отступлению. Но хотя идея стара, мы не понимали до конца ее тонкостей, пока нобелевский лауреат Томас Шеллинг не написал в 1956 году свой шедевр «Опыт ведения переговоров».

Хорошо известно, что игры вроде «Дилеммы заключенного» срабатывают, если оба игрока вступают в эффективное сотрудничество. Но как я могу убедить вас сотрудничать, если моя главная стратегия — побег? (И если мы оба знакомы с теорией игр, то вы знаете, что я знаю, что вы знаете, что я знаю, что это моя главная стратегия.) Шеллинг приводит множество примеров, как решить эту проблему, и вот мой любимый: реабилитационная клиника в Денвере, клиентура которой состояла из богатых кокаинистов, предложила стратегию «шантажа самого себя». Пациентам предоставили возможность написать компрометирующие их самих письма, которые предполагалось отправить только в том случае, если при выборочной проверке обнаружится, что пациент употреблял кокаин. В результате пациенты

приобрели серьезные побудительные причины воздержаться от наркотиков — они были связаны обязательствами.

Многие сложные социальные проблемы — от изменения климата до ближневосточного конфликта — могут быть решены, если заинтересованные стороны будут вынуждены действовать определенным образом. Хорошим подспорьем для них послужит изучение трудов Тома Шеллинга, которые подскажут, как взять на себя подобные обязательства.

ТЫ — МНЕ, Я — ТЕБЕ

ДЖЕННИФЕР ДЖЕКЕТ

Профессор исследований окружающей среды
Нью-Йоркского университета

Эгоизм иногда кажется лучшей стратегией. Это разумное решение «Дилеммы заключенного», например, когда каждый из двух участников игры может сотрудничать или нет, что приводит к четырем возможным последствиям. Вне зависимости от поведения партнера, эгоизм всегда приносит больший успех. Но если оба партнера преследуют корыстные цели, то оба оказываются в худшем положении, чем при сотрудничестве. Однако когда политолог Роберт Аксельрод с коллегами сыграли сотни раундов «Дилеммы заключенного», используя математическую программу на компьютере, повторение игры дало противоположные результаты.

Эксперты по широкому кругу дисциплин прислали Аксельроду 76 различных игровых стратегий, некоторые из них были тщательно разработаны, с тем чтобы испробовать их друг против друга. Каждая стратегия применялась против всех остальных в течение 200 раундов. В конечном итоге стратегия, обладавшая наилучшими показателями, оказалась к тому же самой простой. Стратегия «ты — мне, я — тебе», при которой игрок вначале идет на сотрудничество, а затем поступает так же, как и его партнер, стала победителем. Существенная роль взаимности в эволюции сотрудничества была замечена людьми, но смоделирована и подтверждена машинами.

Это элегантное объяснение получило затем документальное подтверждение в изящном эксперименте на живых эгоистах. Эволюционный биолог Манфред Милински обнаружил поведение «ты — мне, я — тебе» у своих подопытных объектов — трехиглых колюшек. Когда пара этих рыбок приближалась к хищнику, наблюдалось четыре варианта поведения: они могли плыть бок о бок; одна выдвигалась вперед, а вторая следовала за ней (или наоборот); обе

уплывали. Эти четыре сценария соответствовали четырем возможностям, заложенным в «Дилемму заключенного».

Для эксперимента Милински собирался использовать пары колюшек, но оказалось, что они не способны к обучению. Тогда он поместил в искусственный водоем одну колюшку и зеркала, которые должны были исполнять роли двух различных типов партнеров. В первом опыте параллельное зеркало изображало сотрудничающего партнера, который плывет рядом с испытуемой колюшкой. Во втором опыте наклонное зеркало, установленное под углом 32° , играло роль эгоистичного партнера — когда колюшка приближалась к хищнику, создавалось впечатление, что партнер трусливо остался позади. В зависимости от зеркала, колюшка либо разделяла риск поровну с партнером, либо принимала его на себя.

Когда партнером колюшек оказывался эгоист, они предпочитали наиболее безопасную часть водоема, удаленную от хищника. Но в опытах с отражающимся в зеркале соратником колюшки в два раза охотнее отправлялись в часть водоема, ближайшую к хищнику. Колюшки становились отважнее, заручившись поддержкой партнера. В природе сотрудничество позволяет приобрести больше пищи и пространства, следовательно, добиться большего успеха в размножении. Вопреки предсказаниям о предпочтительности эгоистичного поведения, наблюдения Милински за колюшками, обычно приближавшимися к хищнику вместе, согласовались с выводом Аксельрода: «ты — мне, я — тебе» — оптимальная эволюционная стратегия.

Данные Милински, опубликованные в 1987 году в журнале *Nature*¹, стали первым доказательством основанного на взаимности сотрудничества, определенно возникшего среди эгоистов, хотя и маленьких. В настоящее время результаты значительного количества исследований подтверждают, что многие биологические системы, особенно человеческие общества, создаются на основе стратегий сотрудничества. Научные методы все более усложняются, но оригинальные опыты Милински и стратегия «ты — мне, я — тебе» красивы в своей простоте.

¹ «TIT FOR TAT in sticklebacks and the evolution of cooperation», *Nature* 325, 433–5 (1987).

ПРАВДА ИЛИ ЛОЖЬ: КРАСОТА — ЭТО ПРАВДА

ДЖУДИТ РИЧ ХАРРИС

Независимый исследователь и теоретик; автор книги *The Nurture Assumption: Why Children Turn Out the Way They Do* («Воспитательная ложь: почему дети становятся тем, кем они становятся»)

«В прекрасном — правда, в правде — красота»¹, сказал Джон Китс. Но что он в этом понимал? Китс был поэт, а не ученый. В мире, который унаследовали ученые, правда не всегда красива или элегантна, хотя может быть глубока. На самом деле, по моему наблюдению, чем глубже объяснение, тем менее вероятно, что оно красиво или элегантно.

В 1938 году физиолог Б. Ф. Скиннер предложил элегантное объяснение «поведения организмов» (так называлась его первая книга), основанное на идее, что вознаграждение какого-либо действия — он назвал это «подкрепление» — увеличивает вероятность повторения подобного действия в будущем. Теория потерпела неудачу, но не из-за своей ошибочности — подкрепление действительно повышает вероятность повторения действия, а потому что была слишком простой. Она пренебрегала врожденными составляющими поведения. Она не способна была разобраться даже в поведении, основанном на обучении. Поведение в значительной степени приобретается или формируется через опыт, но не обязательно посредством подкрепления. Организмы учатся разным вещам различными путями.

Теория модулярной психики — другой способ объяснить поведение, в частности поведение человека. Идея заключается в том, что разум человека состоит из некоторого количества специализированных частей, называемых модулями, которые работают более-менее независимо. Эти

¹ Дж. Китс. Ода к греческой вазе. Перевод В. Б. Микушевича. — *Прим. перев.*

модули накапливают разную информацию из окружения и перерабатывают ее различным образом. Они дают разнообразные команды, временами противоречащие друг другу. Это не элегантная теория, наоборот, — она того сорта, что могла бы заставить Оккама взяться за свою бритву. Но мы не станем судить теории по результатам участия в конкурсе красоты. Мы зададимся вопросом, в состоянии ли они объяснить больше или объяснить лучше, чем предыдущие теории. Модулярная теория может внести ясность, например, в необычные результаты мозговых травм. При этом теряются одни способности и сохраняются другие, причем клиническая картина различается у разных пациентов.

Модулярная теория способна пролить свет также на некоторые загадки повседневной жизни. Рассмотрим конфликт между группами. Монтеки и Капулетти испытывали взаимную ненависть, однако Ромео (Монтеки) и Джульетта (Капулетти) полюбили друг друга. Как можно любить члена группы, продолжая одновременно ненавидеть эту группу? Ответ состоит в том, что задействованы разные модули психики. Один отвечает за групповые взаимоотношения (отождествление себя с одной группой и враждебность по отношению к другим), другой — за личные. Оба модуля накапливают информацию о людях, но по-разному обращаются с фактами. Модуль, ответственный за взаимоотношения с группами, устанавливает между ними разграничения и определяет их общие черты. Модуль, ответственный за личные взаимоотношения, собирает и хранит подробную информацию об отдельных людях. В этом причина, почему мы так любим сплетничать, читать биографии и наблюдать выступления политических деятелей по телевидению. Никто нам за это не заплатит, никто нас не накормит и даже не похлопает по плечу, потому что накопление фактов само по себе служит наградой.

Теорию модулярной психики нельзя назвать красивой или элегантной. Но не будучи поэтом, я ценю правду выше красоты.

ЭРАТОСФЕН И МОДУЛЯРНАЯ ПСИХИКА

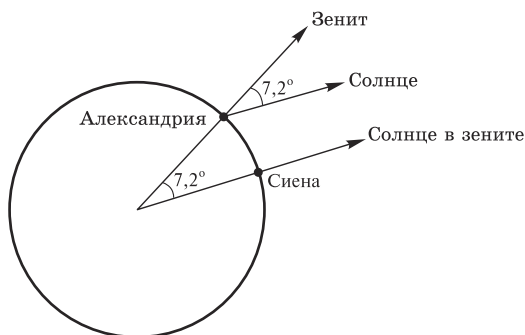
ДЭН СПЕРБЕР

Социолог и когнитивный психолог, директор Международного института познания и культуры; соавтор (с Дьердем Уилсоном) книги *Meaning and Relevance* («Значение и релевантность»)

Эратосфен (276–195 гг. до н. э.), возглавлявший знаменитую Александрийскую библиотеку в Египте эпохи Птолемеев, внес основополагающий вклад в математику, астрономию, географию и историю. Он также возражал против разделения человечества на греков и «варваров». Однако помнят его за первое точное вычисление окружности Земли (замечательно описанное в недавно опубликованной книге Николаса Никастро «Окружность»). Как ему это удалось?

Эратосфен слышал, что раз в год, в полдень, Солнце освещает дно колодца в городе Сиене (ныне Асуан). Это означало, что Солнце в это время находится в зените. Следовательно, Сиена должна находиться на тропике Рака, а время — соответствовать дню летнего солнцестояния (21 июня). Эратосфен знал, сколько времени занимает путь каравана из Александрии в Сиену, и оценил расстояние между двумя городами в 5,014 стадий. Он полагал, что Сиена расположена к югу от Александрии, на том же меридиане. На самом деле, он слегка ошибся — Сиена находится несколько к востоку от Александрии и не точно на тропике Рака. Но, по счастливой случайности, эти две ошибки взаимно исключили друг друга. Эратосфен понимал, что Солнце достаточно далеко, чтобы считать достигающие Земли солнечные лучи параллельными. Когда Солнце в зените в Сиене, оно должно быть к югу от зенита в расположенной севернее Александрии. Но каково отклонение от зенита? Согласно легенде, Эратосфен измерил длину тени обелиска напротив библиотеки (или длину тени любого другого, более удобного объекта) и без всякой тригонометрии, которую еще предстояло изобрести, определил, что Солнце располагалось под углом $7,2^\circ$ к югу от зенита. Этот

же угол, как он догадался, соответствовал изгибу поверхности Земли между Александрией и Сиеной (см. рис.). Так как $7,2^\circ$ составляет пятидесятую часть от 360° , Эратосфен смог, умножив расстояние от Александрии до Сиены на 50, вычислить окружность Земли. Результат — 252 000 стадий — всего на 1% отличается от современного измерения, составляющего 40 008 км.



Эратосфен совместил на первый взгляд никак не связанные между собой факты (освещающее дно колодца Солнце, караванный путь, длину тени обелиска), предположения (сферичность Земли, расстояние до Солнца) и математические методы, чтобы вычислить окружность, которую он не мог увидеть или измерить, а только вообразить. Его результат прост и убедителен. Способ, которым он его получил, характеризует человеческий интеллект с самой выигрышной стороны.

Джерри Фодор (внесший грандиозный вклад в современную философию сознания) мог бы использовать этот интеллектуальный подвиг в качестве идеальной иллюстрации процессов, лежащих в основе нашего мышления. По его мнению, они «изотропны», потому что каждое мнение или свидетельство значимо для выдвижения новой гипотезы, и составляют единую взаимосвязанную систему. Это противоречит теории (в развитии которой я сам принимал участие), утверждающей, что разум целиком состоит из специализированных «модулей», каждый из которых отвечает за специфическую область познания или выполняет определенную задачу, а наше мышление — результат сложных взаимодействий (дополнений, противодействий...) между

этими модулями. Однако не доказывает ли история Эратосфена, что Фодор прав? Каким образом модулярная психика смогла бы прийти к таким выдающимся результатам?

Вот ответ. Некоторые из наших модулей *метарепрезентативны*. Они специализируются на обработке различных представлений: модули, ответственные за умственную деятельность, формируют мысленные образы; модули, связанные с общением — лингвистические образы... Эти метарепрезентативные модули высокоспециализированы. В конце концов, представления — особые объекты, которые обнаруживаются только в таких перерабатывающих информацию устройствах, как люди, или в том, что они создают. Представления обладают определенными качествами — правильностью или ошибочностью, логичностью и т. д., которые не свойственны никаким другим объектам. Однако если допустить, что представления, создаваемые этими метарепрезентативными модулями, могут быть какими угодно, то они образуют кажущуюся универсальной мозаику. Следовательно, иллюзию, что метарепрезентативное мышление действительно всеобъемлющее и неспециализированное.

Я предполагаю, что Эратосфен не размышлял непосредственно об окружности Земли (в том смысле, в каком он мог рассуждать о расстоянии от библиотеки до дворца в Александрии). Скорее, он думал о несоответствиях между оценками окружности Земли разными учеными того времени. Он прикидывал, какие математические принципы и методы способны прояснить этот вопрос. Он пытался понять, какую практическую пользу можно почерпнуть из разнообразных свидетельств и сообщений. Он стремился найти ясное и неоспоримое решение, убедительное доказательство. Другими словами, он рассматривал объекты одного типа — представления — и искал новый способ соединить их вместе. Делая это, он основывался на достижениях других и рассчитывал на их одобрение. Его интеллектуальный подвиг имеет смысл только в качестве связующего звена в социально-культурной цепи интеллектуальных и информационных событий. Для меня это превосходная иллюстрация не только одиночной работы индивидуального сознания, но и мощи социально и культурно расширенной модулярной психики.

ОБЪЯСНЕНИЕ КУЛЬТУРЫ ДЭНА СПЕРБЕРА

КЛЭЙ ШИРКИ

Исследователь социальной среды, профессор искусств Интерактивной телекоммуникационной программы Школы искусств Тиша Нью-Йоркского университета; автор книги *Cognitive Surplus: How Technology Makes Consumers into Collaborators* («Когнитивный излишек: как технология превращает потребителей в сотрудников»)

Почему люди, составляющие одну группу, ведут себя одинаково? Почему они ведут себя иначе, чем представители других групп, живущих по соседству? Почему это поведение сохраняется с течением времени? Увы, очевидный ответ — культура приспосабливается к своему окружению — не выдерживает критики. Многие культуры, возникшие на берегах Инда, Евфрата и в верховьях Рейна, различались по языку, одежде и обычаям, несмотря на то что существовали бок о бок в практически одинаковом окружении.

Что-то удерживает группу людей в рамках определенного поведения. В начале 1970-х годов Эдвард Уилсон и Ричард Докинз заметили, что обмен идеями в культуре обладает теми же свойствами, что и обмен генами внутри вида — он происходит активно внутри группы и ограничено между группами. Докинз предположил существование единицы культуры, получившей название «мем», хотя и указал недостатки этой гипотезы. В норме генетический материал точно воспроизводится, а мутации составляют исключения. В культуре все наоборот: события запоминаются и излагаются с ошибками, цитаты искажаются, даже шутки («чистые мемы») приобретают отличия в зависимости от рассказчика. Сопоставление гена с мемом в течение целого поколения оставалось интересной, но бесплодной идеей.

Дэн Спербер, на мой взгляд, решил эту проблему. В небольшой книге 1996 года, скромно озаглавленной «Объяс-

няя культуру», он сформулировал теорию культуры как следствия эпидемического распространения идей. Согласно этой модели, мема или другой единицы культуры не существует. Вместо этого происходит живой беспорядочный обмен мнениями. Все разнообразие культурной коммуникации может быть сведено к одному из двух типов: индивидуальное представление становится достоянием общества или общественное представление воспринимается индивидуумом. Согласно Сперберу, «культура — это осадок познания и общения в человеческой популяции».

Два основных положения Спербера — экспорт и импорт идей — представляют культуру не как пространство, населенное людьми, а как тонкую сеть, очертания которой позволяют нам узнать, каким образом поведение индивидуумов создает прочные, долговременные модели. Одни общественные представления последовательно воспринимаются, выражаются и вновь воспринимаются — стихи Матушки Гусыни¹, шотландская клетка сохраняются столетиями. Другие с годами превращаются из всеобщих в маргинальные — булыжник в подарочной упаковке в качестве домашнего питомца, «Песня пинаколады»². Третьи существуют только в виде субкультуры — косплей³, театрализованное воспроизведение событий Гражданской войны в США. (В действительности, субкультура — это сеть людей, связанная с определенными представлениями, которые по большей части безразличны для культуры в целом.)

Согласно модели Спербера, культура лучше поддается анализу как перекрывающаяся сеть взаимодействий, а не в качестве вместилища какого-либо содержимого. Исходя из этого, мы можем узнать в подробностях, какие индивидуальные идеи стали достоянием общественности и где это произошло, а также когда и каким образом общественные идеи овладели индивидуальным сознанием.

¹ Персонаж французской и англо-американской детской литературы — сказок, стихов, считалок и т. п. — *Прим. перев.*

² Популярная песня конца 1970-х гг. — *Прим. перев.*

³ Развлечение поклонников манга (японских комиксов) — переодевание в костюмы персонажей манга и участие в различных шествиях, парадах и конкурсах. — *Прим. перев.*

Например, вместо того чтобы спорить, является ли еще сонет существенной частью западной культуры, Спербер предлагает спросить: «Какие люди имеют представления о конкретном сонете или о сонете как форме поэзии? Как часто они выражают эти представления? Как часто другие люди эти представления запоминают?» Выяснение этих вопросов позволит судить о том, насколько широко распространены, подробны и согласованны представления о сонете. Культурная приверженность сонетам, компьютерным играм, идее американской исключительности и теории относительности могут быть изучены одним и тем же способом. Вот почему идея Сперберга так продуктивна: культура представляет собой огромную нерегулярную воспроизводящуюся сеть: идеи превращаются в образы, которые, в свою очередь, превращаются в другие, близкие по содержанию идеи. Спербер также дает возможность понять, почему общественные представления так устойчивы. Когда я напеваю «Кэмптонские скачки»¹ моему сыну, он усваивает свою собственную (слегка отличающуюся) версию. Однако, научившись читать ноты, он получает доступ к гораздо большему объему подобных представлений. Бетховен означает для него не только возможность напеть «К Элизе» — посредством набора символов (которые сами по себе представляют ментальные образы) общественные представления о Бетховене сохраняются столетиями.

Идея Спербера также предполагает, что расширенный доступ к общественным представлениям увеличивает диапазон развития культуры в целом. Некоторые идеи становятся достоянием самой широкой аудитории в истории человечества, как в численном, так и в процентном выражении. (Представьте, например, сколько людей способно теперь понять фразу «Убить двух свиней одной птицей»².) Это и есть заключенная в Интернете глобальная возможность культурного копирования, о которой эволюционной

¹ Песня американского поэта, певца и композитора Стивена Фостера (1826–1864). — *Прим. перев.*

² Получившая развитие благодаря компьютерным играм и Интернету английская поговорка «Убить двух птиц одним камнем» (соответствует русской поговорке «Убить одним выстрелом двух зайцев»). — *Прим. перев.*

теоретик Марк Пэйгл сетует, что Интернет способствует «безграничному идиотизму».

В то же время представителям субкультур никогда еще не предоставлялась возможность так легко найти друг друга и с минимальными затратами создать собственные долгоживущие и доступные обычным людям общественные представления. Протесты в Египте 25 января 2011 года отменили официальный День национальной полиции — это стало возможным только потому, что диссиденты смогли создать альтернативные общественные представления, сравнимые по масштабу с государственными.

Подлинный редукционизм — истолкование множества фактов с помощью ограниченного числа причин — редкость в социальных науках, но Спербер нашел способ превращения существенных и запутанных проблем культуры в ряд поддающихся решению исследовательских программ. Большую часть «осадка познания и общения» еще предстоит изучить, но я не знаю другой идеи в современных социальных науках, обладающей сопоставимой способностью объяснять.

ПОЧЕМУ ЧЕЛОВЕЧЕСКОМУ РАЗУМУ МОЖНО ДАТЬ ЭЛЕГАНТНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ, ДАЖЕ ЕСЛИ ЕГО НЕ СУЩЕСТВУЕТ

НИКОЛАС ХАМФРИ

Почетный профессор Лондонской школы экономики;
автор книги *Soul Dust: The Magic of Consciousness*
(«Сознание. Пыльца души». М., Карьера Пресс, 2014)

Прочитав в 1859 году «Происхождение видов», Эразм Дарвин написал своему брату Чарлзу: «Доказательство настолько совершенно удовлетворительно для меня *a priori*¹, что если факты не будут ему соответствовать, то тем хуже для фактов». Некоторые факты — такие как подсчет возраста Земли, сделанный Кельвином, — выглядели в то время труднопреодолимыми для Дарвина. Но теория естественного отбора представлялась слишком красивой, чтобы оказаться ложной. Брат Дарвина был уверен, что неудобные факты неизбежно подвергнутся переоценке. Так оно и вышло.

Но так получается не всегда. Элегантность может ввести в заблуждение. Рассмотрим простой математический пример. Какому правилу подчиняется последовательность 2; 4; 6; 8? Существует несколько возможных ответов. Простейшее правило таково: возьмите предыдущее число x и вычислите величину $x + 2$. Но в равной степени верным для этого ряда чисел будет и более сложное правило: возьмите предыдущее число x и вычислите величину $-1/44x^3 + 3/11x^2 + 34/11$.

Для последовательности, представленной в данном виде, первое правило, очевидно, более элегантно. И если кто-либо, назовем ее Трейси, станет утверждать, что раз оба правила одинаково хорошо работают, то она лично предпо-

¹ Заведомо, до опыта (лат.). — Прим. перев.

читает второе, мы наверняка сочтем, что она нарочно нам противоречит и не ценит элегантности. (Трейси Эмин¹, не Микеланджело.)

Но представим себе, что Трейси говорит: «Уверена, что если мы заглянем дальше, то увидим, что я была права». И предположим, сделав это, мы, к нашему удивлению, обнаружим, что следующее число последовательности не 10, а 8,91, а за ним — не 12, а 8,67. Оказывается, мы исследуем последовательность 2; 4; 6; 8; 8,91; 8,67. Таким образом, правило, которое раньше казалось наилучшим, теперь вообще не соответствует имеющимся данным. Тем не менее — сюрприз! — второе правило все еще прекрасно работает. В этом случае мы вынуждены будем признать, что анти-элегантность Трейси одержала победу.

Как часто реальный мир дразнит нас, представляясь проще, чем он есть на самом деле? Известный пример — теория Френсиса Крика 1957 года о том, как ДНК передает информацию для синтеза белка посредством «кода без запятой». Сам Крик признавался спустя много лет: «Естественно, [мы] были воодушевлены идеей кода без запятой. Она казалась очень привлекательной, почти элегантной. Нас завораживали магические числа 4 (4 основания) и 3 (триплетный код) и из них получалось магическое число 20 (количество аминокислот)»². Но, увы, эта красивая теория не согласовывалась с экспериментальными данными. Правда в конечном счете оказалась менее элегантной.

Конечно, я не предполагаю, что природа сознательно дразнила Крика. Как сказал Эйнштейн, «Бог изощрен, но не злонамерен». В данном случае то, что наиболее элегантное объяснение оказалось ложным, — просто невезение. И, учитывая, что такое случается редко, возможно, мы в целом можем рассчитывать, что правда и красота сопутствуют друг другу (как, несомненно, докажут другие ответы на этот вопрос *Edge*).

Однако существует ряд случаев, при которых элегантность ложной теории не зависит от удачи, — когда сложное явление на самом деле маскируется под простое, или, во

¹ Английская художница (род. 1963). — *Прим. перев.*

² Francis Crick, *What Mad Pursuit* (New York: Basic Books, 1988), 99–100.

всяком случае, представляется таковым. Подобные ситуации возникают в ходе эволюции, когда простой взгляд на некоторые вещи дает эволюционное преимущество. Создатель такой псевдо-элегантности — не Бог и не естественный отбор. Вот мой любимый пример. Нам представляется, что другие человеческие существа управляются замечательным устройством, которое мы называем разумом. Но самое удивительное в человеческом сознании то, что мы легко можем прочесть мысли других людей. Мы делаем это с детского возраста, используя бытовую психологию, известную психологам как «теория сознания». Теория сознания проста, элегантна и понятна двухлетнему ребенку. Она успешно объясняет, почему люди ведут себя так или иначе. И этот навык чтения мыслей необходим для выживания людей в социальных группах. Тем не менее теория сознания не смогла бы работать так хорошо, если бы естественный отбор не придал человеческому мозгу способность читать мысли других людей и быть прочитанным самому. Вот в чем состоит уловка. Потому что о том, как *работает* человеческий мозг, теория сознания не дает никакого представления. Это созданный с практической целью, упрощенный до предела, глубокий и элегантный миф, неадекватность которого незаметна, пока не возникают непредвиденные обстоятельства — повреждение мозга или сумасшествие — на которые селекция не рассчитывала.

Я нахожу такое объяснение элегантности теории сознания красивым.

О БЕЗОПАСНОСТИ ОКЕАНОВ И АЭРОПОРТОВ

КЕВИН П. ХЭНД

Планетолог и астробиолог, заместитель научного руководителя исследований Солнечной системы NASA¹ (Лаборатория реактивного движения Калифорнийского технологического института)

Признаться, я ненавижу зоны безопасности аэропортов, но пока стою там, раздетый и лишенный металлических предметов, и ожидаю прохождения через рамку металлодетектора, я, как это ни странно, отправляюсь в воображаемое путешествие по океанам, которые, возможно, существуют в отдаленных мирах нашей Солнечной системы.

Эти океаны укрыты под оболочкой льда, которая покрывает Европу, Ганимед и Каллисто (спутники Юпитера), Энцелад и Титан (спутники Сатурна). Океаны этих миров похожи на те, что мы знаем и любим на Земле, — они состоят из воды и существуют, вероятно, столько же, сколько и Солнечная система (около 4,6 миллиардов лет). Общий объем содержащийся в них воды, по меньшей мере, в двадцать раз больше, чем на Земле. С точки зрения поиска жизни за пределами Земли, эти океаны — первые кандидаты на происхождение другой жизни и эволюцию внеземных экосистем.

Но откуда мы знаем, что они существуют? Спутники покрыты льдом, и мы не можем просто посмотреть вниз с космического корабля, чтобы увидеть воду. Вот где стоит вспомнить службу безопасности аэропорта. Когда вы проходите через рамку металлодетектора, вы перемещаетесь через быстро меняющееся магнитное поле. Согласно законам физики, если вы поместите проводящий металл в ме-

¹ Национальное агентство по авиационной и исследованию космического пространства (сокр. от англ. National Aeronautics and Space Administration) — государственная организация США, занимающаяся исследованием космоса. — *Прим. перев.*

няющееся магнитное поле, появятся электрические потоки, которые, в свою очередь, создадут вторичное магнитное поле. Это вторичное поле часто называют индуцированным магнитным полем, потому что оно индуцировано магнитным полем рамки. Внутри нее находятся детекторы, которые улавливают появление индуцированного поля. Если это происходит — звучит сигнал тревоги, и вас отправляют в специальное помещение для досмотра.

Фундаментальной физике мы обязаны также своими знаниями об океанах в некоторых из этих удаленных миров. Европа — показательный пример. В конце 1990-х годов космический аппарат NASA «Галилео» сделал несколько облетов Европы, и его приборы обнаружили, что у спутника нет собственного сильного магнитного поля. Вместо этого имеется индуцированное поле, созданное под действием мощного магнитного поля Юпитера. Проще говоря, прозвучал сигнал тревоги.

Но для того, чтобы он прозвучал, должен быть проводник. Исследования показали, что у Европы проводящий слой находится рядом с поверхностью. По другим сведениям, примерно 150 км внешней оболочки Европы составляет вода, но полученные данные не позволяли отличить жидкую воду от твердого льда. Изучение магнитного поля, однако, свидетельствовало не в пользу льда — он слишком плохой проводник, в отличие от воды с растворенными в ней солями, как в наших океанах. Наиболее точное соответствие результатам предполагало, что у Европы имеется ледяная оболочка толщиной 10 км, под которой находится мировой океан глубиной около 100 км. Под ним — океаническое дно, где могут располагаться гидротермальные источники и обитать загадочные внеземные организмы.

Поэтому, когда в следующий раз в службе безопасности аэропорта перед вами окажется неорганизованный пассажир, не способный взять в толк, что его пояс, бумажник и часы включают сигнал тревоги, сделайте глубокий вдох и подумайте о далеких и, возможно, обитаемых океанах. Представления о них мы получили благодаря той же самой красивой физике, которая выводит вас из себя, когда вы опаздываете на самолет.

ТЕКТОНИКА ПЛИТ ЭЛЕГАНТНО ОБОСНОВЫВАЕТ ДРЕЙФ МАТЕРИКОВ

ПОЛ САФФО

Специалист по техническому прогнозированию,
управляющий директор фирмы *Discern Analytics*,
профессор Стэнфордского университета

Тектоника плит — это элегантное объяснение красивой теории континентального дрейфа. И загадка, и разгадка скрывались на самом виду, прямо под нашими ногами. Поколения школьников, вращая глобус, замечали, что выпуклость Южной Америки соответствует впадине Африки, а Нижняя Калифорния выглядит так, как будто откололась от континентальной Мексики. Эта и другие подсказки привели Альфреда Вегенера к предположению, которое он изложил Германскому геологическому обществу в 1912 году, — континенты когда-то образовывали единое целое. Его красивая теория была освистана и подверглась резкой научной критике.

Проблема заключалась в том, что теория Вегенера не предполагала никакого механизма движения материков. Критики издевательски заключили, что легковесные континенты, вероятно, не в состоянии бороздить твердую, неподатливую гладь океана. Никто, включая Вегенера, не мог представить себе силу, способную сдвинуть континенты с места. Плохую службу сослужило и то, что Вегенер был метеорологом, вторгшимся на территорию геофизики. Он умер во время экспедиции в Гренландию в 1930 году, а его теория была окончательно отвергнута и почти забыта.

Между тем, указания на механизм имелись повсеместно, но были одновременно слишком незаметными и слишком обширными, чтобы их увидеть. Как муравьи, карабкающиеся на глобус, люди не замечали очевидного. Должны были появиться новые мощные научные методы, чтобы выявить скрытые доказательства континентального дрейфа.

Сонары обнаружили таинственные горные хребты, напоминающие застезки-молнии и расположенные вдоль океанического дна. Магнитометры, буксируемые над дном, отметили симметричные, как у зебры, полосы магнитных аномалий. Сейсмографы, фиксирующие землетрясения, указали границы плит. И радиометрический анализ установил временную шкалу, ведущую в глубину веков.

Через три десятилетия после смерти Вегенера механизм тектоники плит стал очевиден с захватывающей дух ясностью. Континенты ничего не бороздят — они плывут на поверхности коры, как зефир на пластинке остывающего шоколада. А океаническая кора движется, как конвейер: новая кора образуется в зонах растекания океанического дна, а старая поглощается, разрушается или выпячивается в виде горных хребтов на рубежах, где встречаются плиты.

Элегантные объяснения, согласно Томасу Куну, — это растворитель, вымывающий связующее вещество из старых парадигм и оставляющий место для пришедших им на смену новых теорий. Тектоника плит получила всеобщее признание, не оставляющее места для сомнений, в середине 1960-х годов. Несоответствия неожиданно приобрели смысл, а концы удалось свести с концами, чего никто не ожидал. Континенты превратились в бродяг, какими они всегда и были. Гималаи признали результатом столкновения индийской плиты с евразийской соседкой, и стало ясно, что в Африканской рифтовой долине рождается новый океан. Тайны рассыпались, как домино, под действием предсказаний красивой теории и ее элегантного объяснения. Скептики умолкли, а Вегенер был посмертно реабилитирован.

ПОЧЕМУ НЕКОТОРЫЕ МОРСКИЕ ЧЕРЕПАХИ МИГРИРУЮТ

ДЭНИЕЛ К. ДЕННЕТТ

Философ, профессор и содиректор Центра когнитивных исследований Университета Тафтса; автор книги *Breaking the Spell: Religion as a Natural Phenomenon* («Разрушая чары: религия как природное явление»)

Мой выбор — объяснение, которое меня восхищает. Правдивое оно или ложное — я не знаю. Может быть, кто-нибудь, читающий *Edge*, сумеет авторитетно ответить на этот вопрос и приведет ссылки на соответствующую литературу. Мне бы очень хотелось в этом разобраться. Несколько лет назад мне рассказали, что некоторые виды морских черепах после спаривания на западном побережье Африки мигрируют через всю Южную Атлантику, чтобы отложить яйца на восточном побережье Южной Америки. Причина их такого странного поведения заключается в следующем: когда Гондвана только начала распадаться на отдельные континенты (между 130 и 110 миллионами лет назад), черепахи для откладки яиц просто переплывали узкий пролив. С каждым годом расстояние увеличивалось — примерно на дюйм, — но кто мог это заметить? В конечном счете, черепахи, чтобы отложить яйца, стали переплывать океан, разумеется, не имея ни малейшего представления, почему они ведут себя столь странным образом.

В этом примере восхищает то, что он живо иллюстрирует важные положения эволюции посредством естественного отбора: изменения происходят в течение миллионов лет настолько постепенно, что практически незаметны, а поведение животных по большей части бесцельно, даже если имеет приспособительный характер. Этот пример также показывает, что эволюционная гипотеза может быть *с равным успехом* подтверждена открытыми фактами (если они с ней согласуются) или опровергнута ими (если они ей противоречат).

Привлекательная гипотеза, подобная этой, — только начало, а не конец исследования. Критики часто высмеивают эволюционные гипотезы относительно доисторических событий как «сказки», но эти необоснованные обвинения не следует принимать во внимание. Тысячи подобных гипотез — первоначально возникших на шаткой основе, — были проверены и получили подтверждения, не оставлявшие места для сомнений. Тысячи других были проверены и отвергнуты. Другими словами, эти гипотезы оставались «сказками», пока не переставали ими быть. Таким путем развивается наука.

Я заметил, что существует закономерность в обвинениях в «сказочности»: почти без исключений они применяются к гипотезам об эволюции *человека*. Ведь никого, похоже, не смущает, что мы недостаточно знаем о воздействии окружающей среды на появление цветов или китов, чтобы уверенно рассуждать об их происхождении. Поэтому мое первое правило таково: если вы слышите определение «сказка» — ищите политический мотив. Практически всегда вы его найдете. Пусть некоторые эволюционные психологи выдвинули слабо обоснованные гипотезы об эволюции человека и не слишком настойчивы в поисках их подтверждения или опровержения, очевидно, что критика обращена к области исследований в целом, а не к конкретному методу или гипотезе. Так обстоит дело и со многими другими проблемами эволюционной биологии.

ГОРЯЧАЯ МОЛОДАЯ ЗЕМЛЯ: БЕССПОРНО КРАСИВО И СОВЕРШЕННО НЕВЕРНО

КАРЛ ЦИММЕР

Ученый и писатель; автор книги *Planet of Viruses*
(«Планета вирусов»)

Около 4,567 миллиарда лет назад образовалось огромное облако пыли. В центре облака начало светить наше Солнце, в то время как внешние частицы пыли стали слипаться, вращаясь вокруг новой звезды. В течение миллионов лет эти скопления пыли превратились в протопланеты. За 50 миллионов лет наша собственная планета приобрела примерно половину нынешней массы. Так как другие протопланеты сталкивались с Землей, она продолжала расти. В общей сложности, потребовалось еще 50 миллионов лет, чтобы она достигла своего полноценного размера, — время, в течение которого планета размером с Марс врезалась в Землю, оставив память об этом событии, — нашу Луну.

Образование Земли поражает воображение — оно величественно. Но я бы не назвал приведенное мной объяснение *элегантным*. Ученые не вывели его из основных законов. Эквивалента уравнению $e = mc^2$, которое на основе происходивших в ранней Солнечной системе процессов предсказало бы появление обводненной планеты с условиями для жизни, не существует. На самом деле, причина, по которой мы так много знаем о происхождении Земли, состоит в том, что геологи избавились от заманчиво элегантного объяснения, которое довлело над ними 150 лет назад. Оно было бесспорно красиво и совершенно неверно.

А предложил его один из величайших физиков XIX века Уильям Томсон (он же лорд Кельвин). Вклад Кельвина в науку огромен. Он занимался и прикладными вещами (прокладка телеграфного кабеля из Европы в Америку), и теорией (первое и второе начала термодинамики). Большую

часть своей деятельности Кельвин посвятил уравнениям, которые позволили бы подсчитать, как быстро остывают горячие предметы. Он понимал, что эти уравнения можно использовать для определения возраста Земли. «Математическая теория, на которой основаны эти оценки, очень проста»¹, — заявил Кельвин, когда обнародовал свои вычисления в 1862 году.

К тому времени ученые в целом согласились с тем, что Земля первоначально представляла собой шар из расплавленной горной породы и с тех пор остывала. Такое происхождение объясняло, почему на дне шахт обнаруживается горячая порода: в первую очередь остыла поверхность Земли, а оставшееся внутри планеты тепло в дальнейшем улетучивалось в космос. Кельвин рассудил, что с течением времени планета будет постепенно остывать. Он использовал свои уравнения, чтобы подсчитать, сколько времени остывает шар из горной породы до современной температуры Земли с учетом наблюдаемой потери тепла. Его вывод — 98 миллионов лет.

Геологи бурно протестовали. Они не представляли себе возраст Земли, но мыслили не миллионами лет, а миллиардами. Чарлз Дарвин, который первоначально был геологом, подсчитал — чтобы эрозия превратила долину в Англии в ее нынешнее состояние, требуется 300 миллионов лет. Сама Земля, утверждал Дарвин, намного старше. И публикуя свою теорию эволюции, он по умолчанию считал, что Земля невообразимо стара. Избыток времени предоставлял возможность эволюции действовать медленно и незаметно.

Кельвину это было безразлично. Его объяснение представлялось таким элегантным, красивым и простым, что исключало ошибку. Неважно, сколько проблем оно создавало другим ученым, пренебрегавшим термодинамикой. Кельвин еще больше навредил геологам, когда проверил свои вычисления. Он посчитал, что первая оценка была слишком приблизительной. Возраст Земли — всего-навсего 10 миллионов лет.

Оказалось, что Кельвин ошибался, но не потому, что его уравнения были некрасивыми или неэлегантными. Они

¹ «On the Secular Cooling of the Earth», Trans. Roy. Soc. Edinburgh XXIII, 167–9 (1864). Read April 28, 1862.

безупречны. Проблема состояла в модели Земли, которую Кельвин взял за основу для своих вычислений.

История опровержения теории Кельвина была несколько искажена в последующие годы. Многие люди (включая меня) ошибочно полагали, что его заблуждение проистекало из неведения о существовании радиации. Радиоактивность открыли только в начале 1900-х годов, когда появилась квантовая физика. Физик Эрнест Резерфорд пришел к выводу, что тепло, выделяемое радиоактивными атомами, распадающимися внутри Земли, согревает ее дольше, чем ранее предполагалось. Таким образом, горячая Земля — это не молодая Земля.

При распаде радиоактивных элементов действительно выделяется тепло, но его недостаточно, чтобы компенсировать тепло, отдаваемое планетой в космос. Но главной ошибкой Кельвина было предположение, что Земля представляет собой просто твердый шар. На самом деле горная порода течет, как сироп: нагревание поднимает ее к земной коре, где она остывает и вновь опускается в глубину. Это перемешивание служит причиной землетрясений, перемещает старую кору вглубь планеты и образует новую кору в виде океанических горных хребтов. Благодаря этому процессу кора нагревается в значительно большей степени, чем предполагал Кельвин.

Это не означает, что радиоактивность не сыграла свою роль в доказательстве неправоты Кельвина. Физики поняли, что радиоактивный распад представляет собой часы, по которым они могут оценить возраст горных пород с высокой точностью. Таким образом, мы можем теперь сказать, что возраст Земли не просто несколько миллиардов лет, а 4,567 миллиарда.

Элегантность, несомненно, играет существенную роль в развитии науки. Математическая простота квантовой физики радует взор. Но в руках геологов квантовая физика вывела на свет блистательную, запутанную и очень неэлегантную историю нашей планеты.

ТЕОРИЯ СЕКСУАЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ

ДЭВИД М. БАСС

Профессор психологии Техасского университета в Остине; соавтор книги (с Синди М. Местон) *Why Women Have Sex* («Почему женщины занимаются сексом»)

Замечательная параллель возникла между исторически несвязанными между собой науками: биологией и психологией. Биологи традиционно рассматривают размножение как наследственное кооперативное предприятие. Самец и самка составляют пару, чтобы разделить обязанности по воспроизведению общего потомства. Психология в подобных отношениях считает нормой романтическую гармонию. Конфликты и раньше, и теперь служат признаком функциональных нарушений. Кардинальное переосмысление этих взглядов произошло благодаря теории сексуальных конфликтов.

Сексуальные конфликты происходят тогда, когда индивидуальные репродуктивные интересы самца и самки не совпадают — или, точнее, не совпадают «интересы» их генов. Теория сексуальных конфликтов приводит множество обстоятельств, при которых разногласия предсказуемы и неизбежны.

Рассмотрим мошенничество на рынке сексуальных отношений. Если мужчина планирует краткосрочные отношения, а женщина, которая его сексуально привлекает, — долгосрочные, то конфликт между ними практически неотвратим. Мужчины могут имитировать длительную привязанность, заинтересованность или эмоциональное участие, чтобы добиться сексуального контакта, что противоречит долгосрочной стратегии женщин. Мужчины разработали изоощренные тактики сексуальной эксплуатации; со своей стороны, женщины позиционируют себя в качестве бесценных сексуальных партнеров и успешно овладевают помыслами мужчин. И в один прекрасный день мужчина просыпается с мыслью, что жить не может без этой жен-

щины, — вот один из вариантов тактики «заманить и подловить» из арсенала женщин.

Даже создав однажды романтическую пару, мужчина и женщина преследуют разные эволюционные цели. Сексуальная неверность женщины может принести ей выгоду в виде генов лучшего качества для потомства, что оборачивается катастрофой для ее незадачливого партнера, который невольно тратит собственные ресурсы на ребенка соперника. С точки зрения женщины, неверность мужчины представляет опасность потери ресурсов в пользу соперницы и их детей, а также угрозу окончательной утраты покровительства мужчины. Сексуальная, эмоциональная и материальная неверность — настолько распространенные причины сексуальных конфликтов, что психологи даже подобрали для них специальные названия.

Но не все потеряно. Как красноречиво заметила эволюционный биолог Хелена Кронин, сексуальные конфликты возникают из сексуального сотрудничества. Для сексуального сотрудничества четко определены следующие эволюционные условия: полностью моногамные отношения; отсутствие вероятности обмана или неверности; наличие потомства — средства сохранения общего генетического наследия; невозможность перераспределения общих ресурсов родственникам одного из партнеров. Такие условия иногда встречаются, что приводит к любви и гармонии между мужчиной и женщиной.

Преобладание недоверия, обмана, сексуального принуждения, насилия, убийства и многих других форм неверности показывает, что конфликт между полами носит повсеместный характер. Теория сексуальных конфликтов — логическое следствие современной эволюционной генетики — дает наиболее красивое теоретическое обоснование этим темным сторонам человеческих сексуальных отношений.

ИСТОКИ ИСТОРИЧЕСКОГО ПРЕВОСХОДСТВА

ДЭВИД ПИЗАРРО

Профессор психологии Корнелльского университета

Одно из наиболее элегантных объяснений, которое я когда-либо встречал в социальных науках, появилось благодаря Джареду Даймонду и изложено в его замечательной книге «Ружья, микробы и сталь». Даймонд попытался ответить на очень сложный и исторически неоднозначный вопрос — почему одни общества получили историческое преимущество перед другими, — основываясь на различиях в природном окружении, где эти общества возникли, таких как наличие растений и животных, которых можно одомашнить.

Эти различия, утверждает Даймонд, предоставляют ряд особых преимуществ, например устойчивость к заболеваниям, и служат непосредственной причиной исторического успеха некоторых обществ. Я не являюсь специалистом в этой области и понимаю, что объяснение Даймонда может быть ошибочным. Тем не менее обращение к подобным основополагающим механизмам для объяснения широкого круга разнообразных фактов выглядит настолько убедительным, что я надеюсь, он прав.

РОЛЬ ЛИЧНОСТИ В ИСТОРИИ

ХОВАРД ГАРДНЕР

Профессор теории познания и образования Гарвардского университета; автор книги *Truth, Beauty and Goodness Reframed: Education for the Virtues in the 21st Century* («Переосмысление правды, красоты и доброты: воспитание добродетелей в XXI веке»)

Я считаю себя ученым, и теория эволюции занимает почетное место в моем сознании. Я социолог и имею также определенные представления о других социальных науках, включая экономику. Тем не менее я не склонен соглашаться с попытками объяснить все человеческое поведение только эволюционной психологией, теорией рационального выбора в экономике или сочетанием этих концепций.

На планете с почти семимиллиардным населением меня поражает, как много может значить один человек. Представьте себе классическую музыку без Моцарта или Стравинского; живопись без Караваджо, Пикассо или Поллока; драму без Шекспира или Беккета. Подумайте о неизмеримом вкладе в искусство Микеланджело или Леонардо, а в наше время — о проявлении глубоких чувств по поводу смерти Стива Джобса (или, если уж на то пошло, Майкла Джексона и принцессы Дианы). Подумайте об общечеловеческих ценностях в отсутствие Моисея или Христа.

Увы, не все индивидуальности вносят положительный вклад. История XX века была бы более благополучной, если бы не Гитлер, Сталин и Мао (или в XXI столетии — бен Ладен). Но в противовес этим индивидуальностям иногда появляются более достойные фигуры: Конрад Аденауэр в Германии, Михаил Горбачев в Советском Союзе, Дэн Сяопин в Китае. Они разительно отличаются от своих предшественников.

Я считаю Махатму Ганди самым выдающимся представителем человечества за последнее тысячелетие. Его достижения в Индии говорят сами за себя. Но даже если бы

жизненная энергия и идеи Ганди оказались не востребованы в его собственной стране, его учение оказало бы (и так и случилось) огромное влияние на сторонников ненасильственного сопротивления во всем мире. Это Нельсон Мандела в Южной Африке, Мартин Лютер Кинг в Соединенных Штатах и множество людей на площадях Тяньаньмэнь в 1989 и Тахрир в 2011 годах.

Несмотря на похвальные усилия ученых докопаться до основ поведения человечества, я продолжаю настаивать на вкладе отдельных личностей или небольших групп, действующих вопреки всему. Как ученые, мы не можем и не станем замечать эти частные случаи под ковер исследований. Мы должны помнить знаменитое наставление антрополога Маргарет Мид: «Никогда не сомневайтесь, что горстка мыслящих самоотверженных граждан может изменить мир; в действительности, это единственное, что его может изменить».

СУБЪЕКТИВНАЯ СРЕДА

АНДРИАН КРЕЙЕ

Редактор, обозреватель газеты
*Süddeutsche Zeitung*¹, Мюнхен

Объяснения становятся элегантными, когда наука сводит философские рассуждения к факту. В поисках объяснения одного своего наблюдения я натолкнулся на теорию эстонского биолога и основателя биосемиотики Якоба фон Икскюля, противопоставлявшую *Umwelt*² и *Umfeld*³. В соответствии с его определением, *Umwelt* — это субъективное окружение, которое воспринимается организмом и подвергается его воздействию, а *Umfeld* — это объективное окружение, которое включает в себя организмы и воздействует на них.

Мое наблюдение — просто точка зрения на основное различие между моей родной Европой и Америкой, приютившей меня на пару десятилетий. В Европе настоящее воспринимается как конечный пункт истории. В Америке настоящее — это начало будущего. В философии и истории, как я полагал, найдется объяснение такого простого, но принципиального различия. Разумеется, каждая из этих наук может содержать свою часть объяснения. Удивительно, какими разными путями двигались история идей и история государств последние двести лет.

Определение субъективного окружения было приведено в книге Икскюля *Umwelt und Innenwelt der Tiere* («Окружающая среда и внутренний мир животных»), опубликованной в 1909 году на немецком языке. Оно объединяет философию и историю в общем контексте и перспективе. Не доверяя теориям, Икскюль искал подтверждения своим идеям в природе и проверял концепцию субъективного

¹ Крупнейшая ежедневная газета Германии. — *Прим. перев.*

² Окружающая среда, среда обитания, окружающий мир (нем.). — *Прим. перев.*

³ То же. — *Прим. перев.*

окружения в Индийском и Атлантическом океанах, Средиземном море. Он наблюдал такие простые организмы, как актинии, морские ежи, ракообразные, но самой известной иллюстрацией его теории стали клещи. Икскуль нашел существо, ощущения и действия которого определяются всего тремя параметрами. В окружающем мире клещи воспринимают верх и низ, тепло и холод, присутствие и отсутствие масляной кислоты. Их действия для выживания и размножения — подкрадывание, выжидание и нападение.

Эта модель привела Икскуля к определению не только окружения, но и времени как субъективного ощущения. Он обнаружил, что восприятие организмом времени так же субъективно, как и восприятие пространства, и определяется теми же самыми ощущениями и действиями, которые создают субъективную среду.

Если субъективное время определяется опытом и действиями организма, то философия и история в контексте исторического развития континента с его несметным числом параметров превращаются всего лишь в условия сложной окружающей среды коллективного восприятия. Это и есть элегантно объяснение довольно простого наблюдения. Еще более элегантно его делает замечание, что в контексте развития континента такие условия, как география, климат, пища и культура, играют роль как в восприятии субъективной среды, так и субъективного времени, исключая возможность научного подтверждения или опровержения объяснения. Якоб фон Икскуль, сведя философию всего лишь к одному из параметров, тем самым ограничил возможность поставить под сомнение свое определение субъективной среды, как безосновательное философское рассуждение.

МОЕ ЛЮБИМОЕ НЕПРИЯТНОЕ ЭЛЕГАНТНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ: КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

РАФАЭЛ БУССО

Профессор теоретической физики
Калифорнийского университета в Беркли

Наверное, о моих любимых объяснениях уже пишут другие авторы, которые раньше взялись за выполнение домашнего задания. Хотя я и физик-теоретик, но запросто мог бы выбрать теорию Дарвина. Ближе к области моих научных интересов — теория относительности. Вывод Эйнштейна о том, что невесомость представляет собой свойство самого пространства-времени, окончательно раскрыл великую тайну (почему гравитация действует одинаково на любые тела). Поэтому, для разнообразия, я внесу некоторое уточнение и обращусь к моему любимому *неприятному* элегантному объяснению — квантовой теории.

Трудно представить другое объяснение, которое имело бы такое же широкое применение, как революционная теория квантовой механики, созданная в первой четверти XX века. Почему атомы стабильны? Почему горячие предметы светятся? Почему я могу провести рукой по воздуху, но не могу просунуть ее сквозь стену? Какая энергия питает Солнце? Странные механизмы квантовой механики составляют основу нашего поразительно точного, количественного обоснования этих и многих других явлений.

Квантовая механика — действительно странная теория. Электрон может выбрать любую траекторию между двумя положениями, в которых его можно обнаружить, и бессмысленно выяснять, какую именно. Мы должны принять без объяснений, что невозможно одновременно определить импульс и положение электрона. На какое-то время мы должны были даже поверить, что существуют два разных закона для времени: уравнение Шрёдингера описыва-

ет ненаблюдаемое время, но при попытке измерить время вторгается таинственный «коллапс волновой функции». Последний, предполагавший, что разумный наблюдатель может воздействовать на фундаментальный закон физики, был вытеснен позднее концепцией «декогерентности». Воздух и свет в помещении, в классической физике практически не влияющие на точность измерения, в корне меняют описание любого объекта в квантовой механике, если он не был тщательно изолирован от своего окружения. Это тоже странно. Но проведите вычисления, и вы убедитесь, что так называемый коллапс волновой функции не нужно было постулировать как самостоятельное явление. Так или иначе, он вытекает из уравнения Шрёдингера, раз уж мы принимаем во внимание роль окружения.

Квантовая механика причудлива, но это не значит, что она неверна. Судьей выступает природа, и эксперименты подтверждают многие из наиболее экстравагантных особенностей теории. Квантовая механика не лишена элегантности — это довольно простая концепция с широкими возможностями давать объяснения явлениям. Но вот что меня тревожит: *мы не уверены в том, что квантовая механика ошибочна.*

Многие великие теории физики содержат в себе зачатки собственного опровержения. Это прекрасное качество. Оно намекает на будущие выдающиеся открытия и революционные концепции. В один прекрасный день красивое объяснение, которое изменило наше представление о Вселенной, заменит другое, еще более основополагающее открытие. Количественно новая теория должна соответствовать старым экспериментальным данным. Но качественно она должна основываться на новых концепциях, позволяя задать немислимые до сих пор вопросы и получить на них ответы.

Ньютон, например, был обеспокоен тем, что его теория гравитации предполагает мгновенное взаимодействие на сколь угодно далеком расстоянии. Общая теория относительности Эйнштейна разрешила эту проблему и в качестве побочного продукта оставила нам подвижное пространство-время, черные дыры и расширяющуюся Вселенную, которая, возможно, имела отправную точку.

Общая теория относительности, в свою очередь, всего лишь обычная теория. Она основывается на заведомо ложной предпосылке, что импульс и положение могут быть определены одновременно. Это прекрасно подходит для яблок, планет и галактик — крупных объектов, для которых силы тяготения имеют существенно большее значение, чем для мельчайших частиц квантового мира. Но в принципе теория неверна. В ней есть зачаток опровержения. Общая теория относительности не может быть последним словом в науке, а только приближением к более общей квантовой теории гравитации.

Но как обстоит дело с самой квантовой механикой? Где ее слабое место? Поразительно, но неизвестно, есть ли оно вообще. Само название основной задачи теоретической физики — квантование общей теории относительности — не оставляет надежды на сохранение квантовой теории в неприкосновенности. Теория струн, на мой взгляд, наиболее удачное, хотя и неполное, решение поставленной задачи на сегодняшний день — это чистая квантовая механика, без каких бы то ни было изменений по сравнению с концепцией, доведенной до завершения Гейзенбергом, Шрёдингером и Дираком. На самом деле, математическая строгость квантовой механики с трудом поддается каким-либо изменениям, — нужны ли они или нет с точки зрения исследователя.

Тем не менее существуют робкие намеки, что квантовую механику ждет судьба предшествующих теорий. Самое интересное, по-моему, — это фактор времени. В квантовой механике время служит важным эволюционным параметром. Но в общей теории относительности время — всего лишь одно из свойств пространства-времени, концепция, из которой, как мы знаем, есть исключения, и она рушится глубоко внутри черной дыры. Трудно представить, как может работать квантовая механика там, где время больше не имеет значения. Если квантовая механика представляет опасность для общей теории относительности, то существование исключений предполагает, что общая теория относительности также угрожает квантовой механике. Разворачивающаяся битва обещает захватывающее зрелище.

МЕСТЬ ЭЙНШТЕЙНА: НОВЫЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КВАНТ

ЭРИК Р. ВАЙНШТЕЙН

Математик и экономист, руководитель *Natron Group*

Совсем недавно стало понятно, что современная квантовая теория гораздо более геометрична, чем общая теория относительности Эйнштейна. Как пришли к этому пониманию в течение последних сорока лет — увлекательная история, которую, насколько мне известно, никогда не излагали от начала и до конца, потому что она не слишком популярна среди людей, причастных к этому потрясающему достижению.

История начинается примерно в 1973–1974 годах, когда теория фундаментальных частиц зашла в тупик. Этот тупик, известный как стандартная модель физики элементарных частиц, поначалу казался не более чем временным пристанищем на неуклонном пути прогресса фундаментальной физики, и теоретики, не теряя времени, выдвигали новые теории в надежде, что они скоро будут подтверждены экспериментаторами, занимающимися поисками новых явлений. Однако это ожидаемое вступление в обетованную землю новой физики превратилось в сорок лет блужданий по засушливой пустыне, лишенных новых свершений.

Но пока теория частиц в середине 1970-х годов буксовала на месте, что-то удивительное незаметно происходило во время обедов в Университете штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук. Там лауреат Нобелевской премии по физике Чжэньнин Янг и геометр (вскоре ставший миллиардером) Джим Симонс начали проводить неофициальный семинар, чтобы разобраться, какое отношение современная геометрия имеет к квантовой теории поля, если имеет вообще. Их потрясающим открытием стало то, что как геометры, так и квантовые теоретики обладали независимыми представлениями о единой структуре, к которым каждая группа пришла самостоятельно. Ученые быстро составили «Розеттский камень» физики и геометрии, получивший название «словарь

Бу-Янга». Айседор Зингер из Массачусетского технологического института передал эти результаты своему коллеге Майклу Атья в Оксфорд, где их совместные исследования с Найджелом Хитчином положили начало вдохновленному физикой геометрическому Ренессансу, который продолжается по сей день.

История Стоуни-Брук редко обсуждается сегодня молодым поколением математиков и физиков, так как не она служит яблоком раздора между различными членами научного сообщества. Спорная составляющая этой истории заключается в том, что надежды на золотой век теоретической физики не оправдались, а новая теория элементарных частиц так и не появилась. Вместо этого взаимодействие геометрии и физики породило странную идею, что, возможно, квантовая теория на самом деле — естественная и элегантная часть чистой геометрии, пришедшая в безнадежное состояние, потому что не получила математического признания. По этой логике квантовая теория смогла уцепиться за жизнь и неоднократно пережить предсмертный опыт, противостоя математической строгости, только потому, что ее удерживала в целостности присущая ей бесконечномерная геометрия, которая и сегодня непонятна до конца.

Короче говоря, большинство физиков предпринимало неудачные попытки квантовать геометрическую теорию гравитации Эйнштейна, потому что иначе им первым пришлось бы отправиться в противоположном, куда менее привлекательном направлении и геометривать квантовую теорию. К счастью для физиков, математики первыми сели в лужу, недостаточно продвинувшись в геометрии бесконечномерных систем (таких как «стандартная модель»), которые были бы аналогичны четырехмерной Римановой геометрии, заимствованной из математики Эйнштейном.

Этот поворот на 180° может рассматриваться как месть Эйнштейна за избыток самодовольства квантовой физики, ставшего причиной холодных, как лед, десятилетий после его смерти. Чем больше исследователей мечтало получить Нобелевскую премию по физике за квантование геометрической теории гравитации, тем больше их вознаграждали только в качестве математиков за исправительные работы по геометривации квантовой теории. Чем больше они утверждали, что «сила и слава» теории струн (неудачного

фрагмента субатомной физики 1970-х годов, который загадочным образом сохранился до XXI века) в том, что это «единственная забава в городке», тем больше казалось, что унификация на основе этой теории, при отсутствии подлежащих проверке предсказаний, с бульканьем погружается на дно моря.

Мы усвоили из этой истории важную вещь. Если физики и проиграли, то только по их собственному мнению. Как и в более раннюю эпоху, когда некоторые физики переориентировались, чтобы стать первым поколением молекулярных биологов, в последние четыре десятилетия физики оказали существенное влияние на современную геометрию, заложив основу многих достижений, которые выдержат испытание временем. Попытка квантования геометрической теории гравитации самым романтическим и элегантным способом привела к прямо противоположному результату — геометризации квантовой теории, которая, оглядываясь назад, была необходима, чтобы залатать зияющую дыру, оставленную математиками. Эту дыру рано или поздно обнаружили бы сами математики, потому что сейчас все это воспринимается как совершенно естественная часть чистой математики. Квантовая теория поля, несмотря на свое название, действительно оказалась частью математики, которую разработали гениальные дилетанты, столкнувшиеся с необходимостью разобраться со следствиями фундаментальных уравнений, имеющими физическое содержание.

Но самый важный урок заключается в том, что, по меньшей мере, мечта Эйнштейна уже осуществилась в результате совместных усилий. Все известные физические явления в настоящее время можно признать созданными из благородного мрамора геометрии благодаря усилиям пантеона новых титанов с малознакомыми нам именами — Куиллен, Зингер, Симонс, Атья, Уиттен, Пенроуз, Янг, Шварц, Сибберг, Сигал, Хитчин и Жакив. В преддверии унификации это говорит о том, что исходный код Вселенной, скорее всего, окажется чисто геометрической операционной системой, написанной на едином языке программирования. В то время как задача унификации физики остается незавершенной, а мрамор напоминает пестрое лоскутное одеяло, можно предположить, что ученые эпохи стандартной модели потратили это время на благо тех из нас, кто за ними последует.

КОТОРЫЙ ЧАС?

ДЭЙВ УИНТЕР

Разработчик программного обеспечения, основатель компании *UserLand Software*, редактор интернет-журнала *Scripting News*

Несколько лет назад я услышал, что только старомодные люди носят часы. Но я полагал, что всегда буду носить часы. Сегодня я не ношу часы.

Как я узнаю время? Либо я обхожусь без этого, либо смотрю на экран компьютера, где время указано в правом верхнем углу. Дошло до того, что меня возмущает, почему в реальном мире время не указано в верхнем правом углу.

РЕАЛИЗМ И ДРУГИЕ МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛУПРАВДЫ

ТАНЯ ЛОМБРОЗО

Профессор психологии Калифорнийского университета
в Беркли

Самые глубокие, элегантные и красивые объяснения мы находим настолько убедительными, что даже не осознаем, что они существуют. Могут потребоваться годы философской подготовки, чтобы признать их существование и оценить их достоинства. Рассмотрим следующие три примера.

Реализм. Мы объясняем успех наших научных теорий тем, что философы называют реализмом — идеей, что они более или менее верны. Другими словами, химия «работает», потому что атомы действительно существуют, а мытье рук предотвращает заболевания, потому что на них скапливаются патогенные микроорганизмы.

Разум других людей. Мы объясняем, почему люди действуют так, а не иначе, считая, что их разум более или менее похож на наш. Мы полагаем, что они имеют чувства, убеждения, желания и не являются, например, зомби, которые действуют так, как будто они обладают разумом.

Причинно-следственная связь. Мы объясняем предсказуемую взаимосвязь между событиями, которые называем причинами, и другими событиями, которые называем следствиями, посредством обращения к таинственной силе, именуемой причинно-следственной связью. Однако, как отметил философ XVIII века Дэвид Юм, «мы никогда не обнаруживаем ничего, кроме одного события, следующего за другим», и мы никогда непосредственно не наблюдаем «силу, посредством которой действует причина, или какую-то связь между ней и ее предполагаемым следствием»¹.

¹ Enquiry Concerning Human Understanding, Section 7: The Idea of Necessary Connection.

Эти объяснения лежат в основе человеческого понимания мира — нашей интуитивной метафизики. Они также иллюстрируют главное свойство убедительных объяснений: унификацию множества разнородных явлений с помощью небольшого числа основных принципов. Другими словами, они обладают широтой и простотой. Реализм объясняет успехи не только химии, но и физики, зоологии и глубоководной экологии. Вера в разум других людей может помочь кому-то разобраться в политике, своей семье или в «Миддлмарче»¹. И, исходя из предположения, что мир управляется упорядоченно, причинно-следственные связи помогают объяснить предсказуемую зависимость между Луной и приливами или потреблением кофеина и бессонницей.

Тем не менее каждое объяснение подверглось критике с той или иной точки зрения. Взять, например, реализм. Притом что многие из наших современных научных теорий по-настоящему впечатляют, они создаются в результате длинной череды неудач: *каждая* из предшествующих теорий оказалось неверной. Птолемеяевская астрономия была неплоха, пока не произошла революция Коперника. Ньютоновская механика действительно внушительна, но и она, в конце концов, была заменена современной физикой. Скромность и здравый смысл подсказывают, что наши нынешние теории, как и все предыдущие, в конечном итоге будут отменены. Но если они не соответствуют действительности, то почему они так эффективны? Интуитивный реализм в лучшем случае — метафизическая половина истины, хотя и довольно безобидная.

Из этих примеров я извлекаю два важных урока. Во-первых, глубина, элегантность и красота наших интуитивных метафизических объяснений могут быть обузой. Эти объяснения настолько широки и просты, что мы позволяем им работать подсознательно, постоянно используя, но редко осмысливая. Как результат, большинство из нас не может их ни отстоять, ни пересмотреть. Метафизические полуправды нашли безопасное и удобное убежище в человеческих умах.

¹ Роман английской писательницы Джордж Элиот (псевдоним Мэри Энн Эванс, 1819–1880). — *Прим. перев.*

Во-вторых, глубина, элегантность и красота наших интуитивных метафизических объяснений могут заставить нас ценить их *меньше*, а не больше. Мы не замечаем их, как постоянный шум. Отсюда следует, что объяснения, которые чаще всего упоминают за их достоинства, — такие как естественный отбор и теория относительности, — значительно отличаются от тех, что лежат в основе интуитивных убеждений. Выдающиеся объяснения похожи на хороший детектив. В то время как интуитивные метафизические объяснения легко создать, но трудно оценить, научные суперзвезды, такие как эволюция, наоборот, — трудно создать, но легко оценить. Нам нужны философы, как Юм, чтобы избавить нас от благодушия в первом случае, и ученые, как Дарвин, чтобы продвигать науку во втором.

НА ПОМОЩЬ!

СИРИАН САММЕР

Постдокторант Института зоологии Лондонского зоологического общества (специальность — эволюция социальности)

Со своими детьми я частенько играю в «Угадай кто?». Нужно задумать животное, человека или предмет, а затем попытаться описать его другому, но при этом не выдать, что же вы задумали. Второй участник игры должен догадаться, что вы имеете в виду: иными словами, понять, «кто вы» (или «что вы»). Вам нужно вжиться в образ и рассказать историю: чем вы занимаетесь, что вы чувствуете, думаете, чего хотите?

Давайте попробуем. Прочтите сценарии, которые приводятся ниже, и посмотрим, удастся ли вам определить, о чем (или о ком) идет речь.

«Это нечестно! Мама говорит, что я все время путаюсь у нее под ногами, что я лентяйка и что она не может себе позволить, чтобы я с ней оставалась. А мне нравится жить в большой семье, и я не хочу ее покидать. Зачем рисковать и выбираться за порог? Мало ли что там встретится! Но мама говорит, что если уж мне приспичило оставаться дома, потребуется какой-нибудь «клей», иначе мы с ней расстанемся. Только вот клей — штука дорогая, и она уверяет, что у нее нет ни времени, ни сил делать его самой, поскольку она занята деланием детей. И вдруг у меня появилась блестящая мысль: а если я *сама* сделаю этот клей? Использую для этого немного материала из клеточных стенок (мама не будет сердиться), добавляю чуть-чуть гликопротеинов (они довольно липкие, так что мне придется пообещать маме потом вымыть руки) — и готово! Теперь у нас есть чудесный внеклеточный матрикс. Я с удовольствием буду делать основную часть работы, лишь бы мама продолжала дарить мне всё новых и новых братьев-сестер. Не далее как вчера вечером я предложила это маме, и что бы вы думали? Она

согласилась! Но она заявила, что выставит меня за дверь, если я не буду соблюдать свою часть договора: мне запрещается принимать непрошенных гостей...»

Кто же я? Я — единичная клетка, которая превращается в ансамбль клеток. Если я объединяюсь со своими сородичами, кому-нибудь придется платить причитающуюся за это цену — создавать внеклеточный матрикс. Но я готова сама платить эту цену, если за это мои родичи будут распространять мои гены.

Ну да, это хитрая загадка. Теперь попробуйте справиться вот с этой:

«Пожалуй, можно сказать, что во мне очень развит материнский инстинкт. Мне нравится, когда у меня появляются дети. В этом году, похоже, у меня их появилось слишком уж много. По крайней мере, так уверяют мои отпрыски. Но мне, судя по всему, неплохо удается эта работа. И, сдается мне, я их всех люблю одинаково. Хотя труд это чертовски непростой, ведь отца-то этих детишек и след простыл. Его интересовало только одно, а потом он мигом исчез. Но вряд ли самые юные из моих ребят выживут, если мне никто не поможет по хозяйству. Столько ртов кормить, времени прибраться нет. Так что вчера я так и сказала своей старшенькой: как, не хочешь помочь мамочке? Уговор: ты добываешь еду, а я пока поднатужусь и произведу тебе еще немножко братьев и сестер. Имей в виду, для тебя же стараюсь: если посмотреть на дело, что называется, в долгосрочной перспективе, то окажется, что такое большое количество детей имеет свои преимущества. Однажды кто-нибудь из них тоже станет мамашей, как и я, только представь! И ты тоже будешь получать от нее выгоду, даже когда пройдет уже очень много времени после того, как нас с тобой не станет. При таком раскладе тебе никогда не нужно будет беспокоиться насчет секса, мужчин или этой штуки, которая зовется спермой. У твоей мамочки есть всё, что тебе нужно, прямо здесь. Тебе нужно лишь добывать нам пропитание и вовремя прибираться. Вот и умница, отправляйся на промысел, только не разговаривай с незнакомыми, особенно с мужчинами!»

Кто я? Я — одиночное насекомое, которое становится общественным. Если я вывожу потомство в одиночку, мне

нужно искать корм, а значит, на какое-то время оставлять своих отпрысков без присмотра и защиты. Если же некоторые из моих подростков детей остаются в родных стенах и помогают мне, они могут регулярно отправляться на поиски пищи, а я буду сидеть дома и охранять всех прочих детей. Так мне даже удастся заводить больше детей, что будет только по душе другим моим ребятам, поскольку это означает, что все большее количество их генов будет передаваться грядущим поколениям — через их братьев и сестер. В любом случае мир сейчас довольно-таки жесток к молодежи. Куда меньше риска, когда остаешься дома.

Если слегка изменить детали в этих двух зарисовках, можно представить, что я — ген, который становится геномом, или прокариота, которая превращается в эукариоту. Я — составная часть одного и того же события, происходящего на игровой площадке эволюции. Я — эволюция помощи и сотрудничества. Я — важнейший переход, формирующий все уровни биологического разнообразия. Я живу, поскольку помогаю себе подобным и мы договорились о разделении труда (ну да, порой у нас случаются стычки, но мы уравниваем конфликты кооперацией, а иногда имеет место и некоторое принуждение к мирному сосуществованию). Почему я помогаю? Не только потому, что мне это приятно, но и потому, что — парадоксальным образом — я даже выигрываю от такой помощи. Секрет в том, что я отношусь к другим довольно-таки избирательно: мне нравится помогать родственникам, поскольку рано или поздно они мне тоже поспособствуют, передавая новым поколениям наши общие гены. Как, оказывается, славно перейти от автономии к сотрудничеству!

Изучение эволюции поведения, направленного на сотрудничество и помощь, позволяет дать простое и красивое объяснение того, как и почему природа становится такой сложной, разнообразной и прекрасной. И дело тут не ограничивается пушистыми шмелями или своенравными сурикатами. Это явление носит всеобщий характер и охватывает хорошие, дурные и уродливые стороны природы, создавая биологические иерархии, которые характеризуют мир живого. Одиночки (гены, прокариоты, одноклеточные и многоклеточные организмы), которые прежде могли

воспроизводить себя независимо от других, теперь слагаются в группы, в результате чего возникают новые, более сложные объекты. Такой новый коллективный индивидуум может размножаться лишь как целое. Возьмите любой его компонент в отдельности, и он не сумеет функционировать сам по себе или передавать гены следующему поколению.

В природе, как выясняется, действует простейшее и изящнейшее правило, которое объясняет возникновение таких сложных объектов: теория совокупной приспособленности (или — теория родственного отбора) Уильяма Гамильтона (1964), затрагивающая самую суть процесса естественного отбора. Общности (и объекты) сотрудничают друг с другом, потому что это повышает их приспособляемость, то есть их шансы передать свои гены следующему поколению. Адресаты помощи получают непосредственную выгоду благодаря росту собственного воспроизводства — прямой репродуктивный выигрыш. Те, кто оказывает помощь, выгадывают благодаря распространению генов, общих с адресатами помощи: это — косвенный выигрыш. Да, по-прежнему существуют одиночки — как среди насекомых, так и среди одноклеточных организмов и прокариот: необходимо ведь, чтобы возникли условия для такого разделения труда. Иными словами, его преимущества должны перевешивать затраты, а на этот суммарный результат влияют те возможности, которые доступны индивидуальным размножающимся объектам. Здесь играет роль не только степень родства, но и экологическая обстановка, окружающая среда. Возникающее разделение труда — фундаментальная основа общественного бытования, объединения генов в геномы, соединения митохондрий и прокариот с образованием эукариот, объединения одноклеточных организмов в многоклеточные, а животных-одиночек — в общества. Без эволюции в области помощи и разделения труда не было бы ни эукариот, ни многоклеточных организмов, ни сообществ животных. Иными словами, наша планета оставалась бы пустынной и скучной.

Мы приняли эту несложную идею полвека назад, однако лишь совсем недавно осознали, что эволюция процессов помощи объясняет не только переход к социальной жизни

у насекомых (для которых Гамильтон изначально и разработал свою теорию), но и эволюцию важнейших преобразований в живом мире вообще. В частности, Эндрю Бурк дает весьма глубокий синтез этих подходов к изучению происхождения сложных биологических объектов в своей недавней книге «Принципы социальной эволюции» (Andrew Bourke, *Principles of Social Evolution*). Это приятно-простое объяснение делает сложности мироустройства менее загадочными, но не менее прекрасными.

Быть может, если бы взрослые чаще предавались детским играм, нам бы удалось наткнуться и на другие простые объяснения сложных явлений жизни.

В НАЧАЛЕ БЫЛА ТЕОРИЯ

ХЕЛЕНА КРОНИН

Директор Центра философии естественных и общественных наук Лондонской экономической школы; автор книги *The Ant and the Peacock: Altruism and the Sexual Selection from Darwin to Today* («Муравей и павлин: альтруизм и половой отбор от Дарвина до наших дней»)

Давайте подслушаем воображаемую беседу между Чарлзом Дарвином и Карлом Поппером. Дарвин, раздраженный той примитивной и дремучей философией науки, которую всячески продвигают его критики, восклицает: «Как странно — никто не понимает, что всякое наблюдение, если от него вообще ожидается прок, должно производиться в поддержку либо против какого-то воззрения!»¹ А когда речь заходит об эволюции, Поппер замечает: «Вся жизнь — решение проблем», — подчеркивая, что «накопление знаний всегда происходит одинаково, что у амебы, что у Эйнштейна»².

В их размышлениях есть точка слияния. Хотя их мысли движутся разными путями, оба ученых приходят к одному и тому же выводу. Речь идет о первичной и основополагающей роли теорий (идей, гипотез, концепций, воззрений, мнений и т. п.) в приобретении и росте знания. Дарвин был прав, заявляя, что такая первичность необходима, если от наблюдения «ожидается прок». Но роль «воззрения» здесь более глубока. Как отлично знал Дарвин, наблюдать вообще невозможно, если у вас нет воззрения того или иного рода. Если вы не уверены в этом, попробуйте-ка провести опыт, который Поппер нередко призывал проделать во время своих лекций: «Наблюдайте!» Ну как, удалось? Нет.

¹ Письмо Дарвина Генри Фосетту, от 18 сентября 1861 года. Darwin Correspondence Database, <http://www.darwinproject.ac.uk/entry-3257>.

² Objective Knowledge: An Evolutionary Approach (Oxford, UK: Oxford University Press, 1972), 261.

Потому что вам необходимо прежде знать, *что* наблюдать. Все наблюдения проводятся в свете той или иной теории; более того, все наблюдения *должны* осуществляться в свете той или иной теории. А значит, в основе каждого наблюдения лежит теория — не «иногда», не «в определенных обстоятельствах», а всегда. Это необходимое условие.

Заявляя об этом, мы вовсе не стремимся принизить наблюдение, факты, данные. Напротив, такое утверждение в полной мере воздает им должное. Лишь в свете теории, проблемы, поисков решения факты могут по-настоящему говорить с нами, раскрывая неведомое.

Чрезвычайно простая мысль. Но сфера ее применения весьма широка, а перспективы применения колоссальны. Отсюда ее изящество и красота.

Вот два примера. Один — из дарвиновской области, другой — из попперовской.

Обратимся к утомительному, но живучему спору о том, что важнее — гены или окружение? Возьмем хорошо изученный случай. Индиговые овсянковые кардиналы каждый год совершают перелеты на большие расстояния. Чтобы решить проблему навигации, естественный отбор наделил этих птиц способностью создавать в мозгу своего рода мысленный компас, изучая звезды на ночном небе, как делают бойскауты (только вот птицы осуществляют это уже в течение первых месяцев жизни). Процесс возникновения и развития такой адаптации — богатый источник информации, которую естественный отбор на протяжении эволюции «упаковывал» в гены этих пернатых. В частности, речь идет об информации о расположении небесных созвездий. И сегодня мигрирующие овсянковые кардиналы могут пользоваться теми же инстинктами и теми же регулярно возникающими особенностями окружающей среды, которые управляли инструментами точной навигации, встроенными в тела их давно умерших предков.

Так действуют все адаптационные механизмы. Обеспечивая организм врожденной информацией об окружающем мире, они снабжают его и ресурсами для того, чтобы он сумел удовлетворить свои адаптационные потребности. Иными словами, естественный отбор как бы создает для организма определенную среду, специфичную именно для

данного вида. Таким образом, различные проблемы адаптации, в сущности, порождают разную среду, вот почему, скажем, разные виды существуют в разном окружении.

А значит, то, что составляет среду, зависит от адаптационных особенностей данного организма. Без врожденной информации, передаваемой генами и задающей характерные особенности среды, никакой подобной среды не могло бы существовать. Такие среды не являются автономными, независимыми и отдельными от биологии: напротив, биология частично формирует их. Следовательно, среда — объект биологический, у истоков которого как раз и находится информация, накапливаемая биологическим путем.

Но ведь в наши дни мы все увлекаемся теориями взаимодействия, правда? И речь идет уже не о выборе «гены или окружение?», а о взаимодействии генов и окружения. Взаимодействие — это как раз то, для чего естественный отбор и предназначает гены. Гены овсянкового кардинала нагружены сведениями о том, как получать знания путем наблюдения звезд, поскольку звезды — важнейшая часть окружения этих птиц, как и яйцо, в котором развивается птенец, или вода, которую он пьет. Овсянковые кардиналы без звезд обречены быть овсянковыми кардиналами без потомков. Но взаимодействие несимметрично: врожденная информация должна появиться первой. Гены используют среду с определенной целью — воспроизвести себя. Но у сред нет целей, и они не используют гены.

Второй пример имеет отношение к понятию объективности в науке. Сначала обратимся к жалобе Дарвина на распространенное непонимание того, что такое научное наблюдение: «Насколько же, должно быть, он [этот критик] глубоко невежествен в том, что касается самой сути наблюдения! Еще лет 30 назад многие рассуждали о том, что геологам следует лишь наблюдать, а не теоретизировать, и я хорошо помню, как кто-то говорил, что в таком случае довольно лишь спуститься в горный отвал, сосчитать все камешки и описать их цвета»¹.

Полтора века спустя подобное же мышление по-прежнему встречается в науке. Взять хотя бы вполне достойную и перспективную инициативу — перейти к полицейскому сыску,

¹ Дарвин — Фосетту, 18 сентября 1861 года.

базирующемся лишь на уликах и доказательствах. Эта инициатива в наши дни подверглась многим искажениям. Что же пошло не так? Слишком уж часто объективные доказательства рассматривались как данные, никак не связанные с какой бы то ни было первоначальной теорией. Но что останется от фактов, если не будет «самой сути» — руководящей теории? Объективность — не в том, чтобы заранее отказаться от всех предварительных умозаключений. Чем более возможным или желательным кажется такой отказ, тем больше вероятность, что в наши рассуждения вкрадутся другие, некритические умозаключения, в результате чего объективность лишь снизится. И в самом худшем случае желаемая, но не объявленная заранее цель, исподтишка оказавшая влияние на эти наши выкладки, скажется и на результате анализа. Вот почему этот вполне благонамеренный подход зачастую справедливо называют «фабрикацией улики, производимой полицейскими».

Один недавний вопиющий пример из моего собственного опыта до сих пор заставляет меня кривиться от сильнейшего отвращения. Некий исследователь «гендерного разнообразия» озаботился профессиональной дискриминацией женщин. Он заявил, что его работа совершенно свободна от любых предварительных предположений касательно различий между мужским и женским, а значит, абсолютно нейтральна и беспристрастна. И если полученные им данные покажут какие-то различия в характере изучаемых процессов, то он вынесет взвешенное и беспристрастное суждение: эти различия — результат дискриминации. Сможет ли он принять, что существуют различия между полами, возникшие в ходе эволюции? Да, если это будет доказано. И как же может выглядеть такое доказательство? Тут он недоуменно умолк. Неудивительно: его «нейтральные» гипотезы изначально предшествовали гендерным различиям. Забавно: ради «интересов научной объективности» он, проявив завидное упорство, счел возможным отмахнуться от всего богатства научных открытий, доступного нам сегодня.

Идея Дарвина — Поппера, несмотря на свою красоту, пока еще привлекла слишком мало восхищенных почитателей. А ведь она заслуживает куда большего внимания.

ТОМПСОН О РАЗВИТИИ

ПОЛ БЛУМ

Рейдженовский профессор психологии и когнитивных наук Йельского университета (получатель гранта Брукса и Сьюзен Рейдженов); автор книги *How Pleasure Works* («Как работает удовольствие»)

«Всё таково, потому что так сложилось». Этот афоризм приписывают биологу и классицисту Д'Арси Томпсону, и он может служить изящным резюме попыток Томпсона объяснить форму вещей, от медуз до песчаных дюн и словных бивней. Впервые я увидел эту фразу в одном из дискуссионных материалов *Edge*, где Дэниел Деннет настаивал, что данная идея применима и для объяснения более широкого ряда явлений и объектов: в конце концов, все науки — исторические (по крайней мере в какой-то степени).

Приведенное высказывание кажется мне отличным девизом для моей собственной области — психологии развития. У каждого взрослого сознания есть две истории. Одна из них — эволюционная. Мало кто сомневается, что некоторые из наиболее элегантных и убедительных объяснений в психологии основаны на конструктивном процессе естественного отбора. Вторая история — это история собственно развития: как наше сознание совершенствуется с течением времени, как мы взрослеем и обучаемся.

Эволюционные объяснения помогают понять общее между всеми людьми, а гипотезы развития иногда позволяют уловить различия между нами. Что ж, вполне очевидная вещь. Мы не удивимся, если узнаем, что люди, свободно говорящие по-корейски, как правило, выросли в среде, где все общались на этом языке, или что правоверные иудеи, как правило, воспитывались в еврейских семьях. Но другие объяснения, основанные на развитии, могут оказаться более интересными.

Существуют доказательства, что неспособность взрослого человека к стереоскопическому зрительному восприя-

тию вызвана ограниченными зрительными возможностями в определенный критический период детства. Некоторые полагают, что степень уверенности взрослых мужчин определяется тем, насколько молодыми они достигли половой зрелости (благодаря резкому росту психологического статуса, обусловленному тем, что подросток становится, пусть и временно, физически крупнее своих ровесников). Есть мнение, что более умные, как правило, являются первенцами в своей семье (поскольку младшие дети попадают в менее интеллектуально сложное окружение — если брать «средние величины»). Яркие таланты с большей вероятностью являются поздними детьми (поскольку в таком случае они вынуждены находить собственные социальные ниши, четко отличающиеся от других). На наши романтические привязанности влияет то, какими были в детстве наши отношения с родителями. Чувствительность мужчины к боли отчасти обусловлена тем, перенес ли он в младенчестве об-резание.

Не знаю, верно ли хоть какое-то из приведенных объяснений (за исключением примера со стереоскопическим зрением). Но они изящны и нетривиальны, а некоторые из них почти прекрасны.

КАК ПРОЙТИ ПУТЬ ОТ ОМАРА ДО КОТА?

ДЖОН МАКУОРТЕР

Лингвист, старший научный сотрудник Манхэттенского института политических исследований; автор книги *What Language Is (And What Isn't and What It Could Be)* («Чем язык является, не является и может являться»)

Вы замечали, что «вена», которую рекомендуют извлечь из креветки, прежде чем ее съесть, не выделяет ничего хотя бы отдаленно похожего на кровь? Выходящая из нее слизь больше напоминает отходы пищеварения, не правда ли? Что ж, так оно и есть. Пищеварительная система креветки пролегает ближе к ее спине, и оттуда до нее легче всего добраться. Там же находится и сердце. Более того, точно так же обстоят дела у всех членистоногих. Членистоногие — тип животных, к которому относятся и насекомые. Кстати, если вам вдруг захочется отыскать главный нервный путь креветки, имейте в виду, что он проходит вдоль нижней ее части.

Нам кажется, что тут «всё наоборот», поскольку мы-то с вами относимся к хордовым, еще одному обширному типу в животном царстве. Спинной нерв хордовых проходит именно вдоль спины, а сердце и кишечник располагаются спереди. Схема устройства нашего тела словно зеркальна схеме устройства членистоногих, что отражает принципиальные различия между более крупными классификационными таксонами. Членистоногие принадлежат к *протостомам*, пищеварительные органы которых находятся «сзади», тогда как у *дейтеростом* (среди которых и мы, хордовые) эти органы — «спереди».

Биологи заметили это еще давным-давно, когда натуралист Этьен Жоффруа Сент-Илер рассек омара, перевернул его и показал, что в таком положении «вверх ногами» расположение его внутренностей напоминает наше. Вопрос был лишь в том, как это получилось. Такой вопрос ученые

начали особенно активно задавать после того, как получила широкое распространение дарвиновская теория естественного отбора. Как можно шаг за шагом пройти путь от «органов пищеварения сзади и спинного хребта спереди» к обратной ситуации? А главное, почему такой переход дает преимущества с эволюционной точки зрения — ведь иначе, как мы полагаем, он бы вообще не случился?

Конечно, биологи не воображали, будто нервный ствол пробрался наверх, вытесняя органы пищеварения, а новые пищеварительные органы сами собой сформировались внизу, поскольку это «требовалось» (впрочем, такую идею некоторое время пестовал один предприимчивый мыслитель). Долгое время лучшим, что могли предположить биологи, оставалась гипотеза, согласно которой схема устройства членистоногих и схема устройства хордовых были альтернативными путями эволюции для некоего первичного существа. А там уж процесс пошел случайным образом, как при игре в кости, полагали ученые.

Объяснение скучноватое. Более того, проблема в том, что молекулярная биология как никогда ясно показала: членистоногие и хордовые во многих деталях восходят к некоей общей схеме устройства тела. Маленькие сегменты креветки порождены теми же генами, что порождают и наш позвоночный столб — и т. п. И снова возникает старый вопрос: как же пройти путь от омара до кота? Сегодня многие биологи сходятся во мнении, которое сочетает в себе изящество, отголосок тайны, да еще и некоторую крупицу смирения.

Итак, полагают специалисты, какое-то древнее червеобразное водное существо со схемой устройства тела, напоминающей телесную схему членистоногих, начало плавать вверх тормашками. Некоторые создания действительно умеют так делать — скажем, солоноводная креветка, наша современница. Часто это происходит из-за того, что в верхней и в нижней частях животное окрашено по-разному, и в результате перевертывания хищникам труднее различить хитроумную жертву. Таким образом, это существо получило бы эволюционные преимущества, если бы всегда плавало вверх тормашками. У него спинной хребет находился вверху, а органы пищеварения — внизу. Сама по

себе история вполне милая, может быть, немного грустная, но в ней, по сути, нет ничего особенного. Представим себе теперь, что этот маленький червячок в ходе эволюции превратился в сегодняшних хордовых. Тут нет никакой натяжки, ведь самые примитивные из хордовых действительно похожи на червей: это ланцетники, напоминающие рыб лишь отдаленно. И если вы решите вскрыть такое существо, то обнаружите, что нервный тяж у него сзади, а не спереди.

Молекулярная биология все активнее демонстрирует, каким именно образом организмам может поступать сигнал о развитии «креветочной» или «кошачьей» схемы устройства тела. Похоже, нашлось и недостающее промежуточное звено — довольно мерзкие, зловонные существа, ползающие и кормящиеся на дне и именуемые кишечнодышцами. У них имеется и спинной, и брюшной нервный ствол, а органы пищеварения, похоже, находятся в процессе смещения вниз.

Поэтому причина того, что наш с вами хребет расположен сзади, вовсе не в том, что он, к примеру, препятствует нашему падению на спину. Бросьте кубик еще раз, и мы окажемся двуногими, чей позвоночный столб проходит спереди, как застежка-молния, и чьи кишки прячутся сзади, в спине (пожалуй, не такая уж плохая идея). Это объяснение так называемой дорсовентральной инверсии может служить еще одним доказательством того, как под действием естественного отбора могло возникнуть столь ошеломляющее многообразие форм жизни — от таких скромных прародителей. И наконец, трудно не воодушевиться, услышав научное объяснение того, почему такие первопроходцы, как Жоффри Сент-Илер, поначалу подвергались осмеянию.

Частенько, варя креветки, или разделявая омара, или представляя себе, каково мне было бы, заставь меня кто-нибудь рассечь кишечнодышащего червя, или похлопывая кота по пузу, или обнимая кого-нибудь, я ловлю себя на мысли, что все эти существа выстроены по единому плану, только вот тела кота и обнимаемого человека несут в себе наследие некоего червя, который плавал не так, как прочие, в докембрийском океане больше 350 миллионов лет назад. Мне всегда казалось, что это потрясающе.

МИКРОБЫ — ПРИЧИНА БОЛЕЗНЕЙ

ГРЕГОРИ КОХРЕЙН

Консультант по адаптивной оптике, адъюнкт-профессор антропологии Университета штата Юта; соавтор книги *The 10000-Year Explosion: How Civilization Accelerated Human Evolution* («Взрыв длиной в десять тысяч лет: как цивилизация ускорила эволюцию человека»)

Микробная теория возникновения и распространения болезней оказалась весьма успешной, особенно если речь идет о практической стороне вопроса — скажем, о сохранении нашей с вами жизни. Теория объясняет, почему недуги способны быстро распространяться среди большого количества людей (так называемый экспоненциальный рост заболеваемости), почему существует так много различных болезней (из-за наличия множества отдельных видов патогенных микроорганизмов) и почему для заражения требуется какой-то контакт (не всегда прямой). Говоря современным языком, большинство симптомов заболеваний, как выясняется, вызваны крошечными самовоспроизводящимися машинами, чьи генетические интересы не совсем совпадают с нашими.

Собственно говоря, микробная теория оказалась настолько эффективной, что сейчас она даже и не очень-то интересна. Выявив причины холеры, пневмонии и сифилиса, человечество избавилось от них, по крайней мере — в развитых странах. И теперь настало время, когда некоторые люди даже сопротивляются воздействию средств достижения победы (скажем, противятся вакцинации), ибо уже успели забыть об угрозах.

Но эту теорию по-прежнему стоит изучать — не только для того, чтобы во всеоружии встретить очередную чуму, но и потому что болезнетворные микробы стали важным фактором в истории и эволюции человечества. Нельзя по-настоящему понять Кортеса, не зная об оспе, а Кита — не зная о туберкулезе.

Теория эта может объяснить даже те процессы, которые мы не должны бы и видеть, не говоря уж о том, чтобы понять их. Так, человеческий разум до недавнего времени не мог справиться с проблемами, вызванными воздействием паразитарных микроорганизмов, как подчеркивает Уильям Макнил в своей книге *Plagues and Peoples* («Народы и недуги»). Эти невидимые враги во многом определяют биологическую приспособленность человека: в одних местах они влияют на нее значительно сильнее, в других — слабее.

Наконец, когда вы пролистываете иллюстрированное издание, посвященное тропическим заболеваниям, и ваш взгляд падает на статью о запущенном случае слоновой болезни или корковой чесотки, вы начинаете понимать: любая теория, объясняющая эту мерзость, просто обязана быть верной.

ИНФОРМАЦИЯ — ПРЕОДОЛЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

ЭНДРЮ ЛИ

Адъюнкт-профессор журналистики Университета Северной Каролины; автор книги *The Wikipedia Revolution: How a Bunch of Nobodies Created the World's Greatest Encyclopedia* («Википедическая революция. Как компания неизвестных создала величайшую энциклопедию в мире»)

Почти все, чем мы с удовольствием пользуемся в наш цифровой век, базируется на этой идее, хотя мало кто знает о том, кто ее автор или что лежит в основе соответствующей простой и элегантной теории информации. Многим ли известно, что информационная эпоха — творение не Билла Гейтса или Стива Джобса, а Клода Шеннона, и что она, по сути, началась еще в 1948 году? Шеннон, скромный человек, разносторонний мыслитель, сторонился публичных выступлений и интервью. Этот блестящий математик, генетик и криптоаналитик, сформулировал основы концепции, которой суждено было вырасти в информационную теорию. Он сделал это вскоре после окончания Второй мировой войны, когда стало очевидно, что ее сражения уже не сводятся к пулям и пушкам.

Если Первая мировая оказалась первой механизированной войной, то Вторую мировую можно считать первым силовым конфликтом, завязанным на коммуникационные технологии. В отличие от предыдущих боевых противостояний армейские части здесь массово применяли радиосвязь. Быстрая координация между удаленными друг от друга подразделениями принесла войну во все части света. Стала активно развиваться криптография, поскольку требовалось сохранять передаваемые депеши в тайне от противника. Кроме того, в боевых операциях впервые был задействован радар — устройство, позволявшее обнаруживать летательные аппараты и следить за их перемеще-

ниями: так удалось расширить возможности слежения за воздушной техникой, ведь сфера действия традиционного — визуального — наблюдения ограничивалась линией горизонта.

Клод Шеннон работал над проблемой прицельного уничтожения самолетов и разрабатывал системы контроля огня, которые могли бы напрямую взаимодействовать с радаром. Как определить текущее и будущее положение вражеского самолета, чтобы вовремя направить артиллерийский огонь в нужную точку и сбить неприятельскую воздушную машину? Появление радара ознаменовало собой настоящую революцию в противовоздушной обороне, однако поступающий с радара сигнал был загрязнен «шумом»: получаемая информация позволяла приблизительно определить местонахождение объекта, но была недостаточно точной, чтобы ею удалось сразу же воспользоваться. После войны это заставило Шеннона и многих других специалистов задуматься о природе фильтрации и распространения информации, будь то радарные сигналы, голос (передаваемый по телефону) или видеоматериалы (транслируемые по телевидению). Шум оказался врагом связи, так что любые способы хранения и передачи информации, снижавшие уровень шума, весьма интересовали нанимателей Шеннона — компанию *Bell Laboratories*, научно-исследовательское подразделение знаменитого американского телефонного монополиста середины XX века.

Шеннон рассматривал коммуникационную сферу как наиболее математизированную из прикладных наук. Он решил сосредоточить все свои интеллектуальные усилия на проблеме информационного шума. Поизучав тонкости работы аналогового компьютера — дифференциального анализатора Ванневара Буша — в первые годы своей работы в Массачусетском технологическом институте и защитив весьма математизированную диссертацию на тему «Алгебра в теоретической генетике», Шеннон оказался особенно хорошо экипирован для понимания основ теории о том, как следует обращаться с информацией, используя знания из самых разных дисциплин. К 1948 году он сформулировал свой главный тезис, простой и сильный: «Информация — преодоление неопределенности».

Если уж мы можем передать что-нибудь, это «что-нибудь» снижает неопределенность: такова фундаментальная природа информации. Звучит самоочевидно, однако это важнейшее умозаключение, если вспомнить, что люди говорят на огромном количестве различных языков и какое-то сочетание звуков может оказаться полным смысла для одного человека и совершенно непонятным для другого. До того как Шеннон сформулировал свою теорию, никто не знал, как правильно компенсировать «психологические факторы» подобного рода. Основываясь на работах своих коллег Ральфа Хартли и Гарри Найквиста, Шеннон показал, что метод кодирования и используемые символы — ключевые элементы при решении, будут ли две коммуницирующие стороны обладать общим пониманием преодолеваемой неопределенности.

Шеннон задался вопросом: «Как проще всего преодолеть неопределенность?» Для него решением стало подбрасывание воображаемой монетки: «орел» или «решка», «да» или «нет», событие с всего двумя возможными исходами. Он пришел к выводу, что информацию любого типа можно закодировать как серию ответов «да» и «нет». В наши дни такие ответы мы называем битами цифровой информации — единицами и нулями. Ими представлено все, от текста электронного письма до цифровых фотографий, музыки на CD, видео высокого разрешения. То, что совершенно любую информацию можно представить и закодировать отдельными битами не приблизительно, а идеально точно, без шумов и ошибок, явилось поистине революционной идеей. Она поразила даже его коллег и других ученых, отчаянно пытавшихся создать простую и универсальную теорию информации.

Компакт-диск, первый рассчитанный на обычного потребителя и повсеместно распространенный носитель информации, закодированной цифровым способом, открыл наследие Шеннона широким массам населения в 1982 году. Такой диск позволяет идеально воспроизводить звук благодаря тому, что каждая секунда музыкальных аудиоволн делится на 44 100 фрагментов (семплов), а затем количественно записывается высота каждого фрагмента (проводится так называемая квантизация). Увеличение коли-

чества семплов для каждой секунды исходного звукового материала и более точная квантизация повышают качество записываемого звука. Превращение этого цифрового потока обратно в слышимый нами аналоговый звук с использованием современной электронной техники позволяет достигать стабильно высокого качества воспроизведения. Подобные же цифровые методы стали использоваться для записи статичных изображений и видео, так что сегодня мы наслаждаемся миром, где есть mp3-файлы, DVD-диски, HD-телевидение и видео высокой четкости. Всё это можно хранить, передавать и копировать без потери качества.

Шеннон стал профессором Массачусетского технологического института, и в течение многих лет его студенты сделали большое количество революционных открытий, во многом определивших лицо информационной эпохи: здесь и модемы, и компьютерная графика, и сжатие данных, и искусственный интеллект, и беспроводная цифровая связь. Информационная теория преобразила почти все стороны нашей повседневной жизни, от работы до отдыха, насытив их «цифрой». Красиво, изящно, невероятно эффективно!

ВСЁ ТАКОВО, ПОТОМУ ЧТО ТАК СЛОЖИЛОСЬ

П. З. МАЙЕРС

Адъюнкт-профессор биологии Миннесотского университета в Моррисе; автор книги *Atheist Voices of Minnesota:*

An Anthology of Personal Stories («Голоса миннесотских атеистов: антология личных историй»)

Никто не станет отрицать, что центральной идеей современной биологии является идея эволюции. Но я — жертва американской системы государственного образования и в течение 12 школьных лет не слышал от учителей ни единого упоминания о пресловутом слове на букву Э. Мы резали кошек, заучивали кучу таксономических единиц, отрывали крошечные элементарные клочки биохимии на экзаменах, но нам никто не давал общей картины, в которую все это логично встраивается. И сейчас я так пекусь о научном образовании во многом именно потому, что сам получил столь скверное.

Когда я попал в колледж, ситуация улучшилась ненамного. Там-то эволюция была принята в полной мере и повсюду, но настоящего введения в предмет, которое ликвидировало бы пробелы в наших знаниях, нам не дали: тони или плыви. Решив не тонуть, я стал искать, так сказать, контекст: всё, что помогло бы мне понять все те факты, которые пытались вбить мне в голову наставники. Я нашел то, что искал, в букинистическом магазине, в книге, которую выбрал, потому что она показалась мне в общем-то не слишком толстой и устрашающей; кроме того, я пролистал ее и обнаружил, что написана она весьма ясным языком, в отличие от тех массивных, нудных и невнятных справочников, которыми нагружали меня в классе. Это была книга Джона Тайлера Боннера «О развитии: биология формы» (*On Development: The Biology of Form*), и она поистине взорвала мне мозг, навсегда изменив мое сознание, так что теперь я воспринимаю биологию через призму развития.

Перво-наперво эта книга научила меня... нет, не какому-то объяснению, что принесло мне своеобразное облегчение: на занятиях в нас и без того впихивали несметное количество объяснений. В книге Боннера главным оказались вопросы — хорошие вопросы. На некоторые уже имелись ответы, другие же пока оставались без них и висели, словно созревшие плоды на ветке. К примеру, каким образом биологическую форму определяет генетика? Само заглавие книги подводит нас к этому вопросу. Книга Боннера помогает выделить такие вопросы, на которые нужно ответить, чтобы что-то объяснить. Наука — не корпус хранящихся в архиве фактов, а путь, по которому мы идем, чтобы обрести новые знания.

Кроме того, Боннер привел меня и к Д'Арси Вентворту Томпсону с его классическим трудом «О росте и форме» (*On Growth and Form*), откуда я почерпнул афоризм, ставший моим любимым описанием научного взгляда на мир: «Все таково, потому что так сложилось». Этой фразой Томпсон очень тонко подчеркивает важность процесса и истории для понимания того, почему вещи именно такие, какие они есть. Вы попросту не сможете по-настоящему ухватить научные идеи, если ваш подход сводится к расчленению статичного снимка предмета в его нынешнем состоянии. Нет, следует стремиться к тому, чтобы понять глубинные механизмы, которые породили это состояние, разобраться, каким образом оно возникло. Нетрудно догадаться, что такое понимание необходимо для всех, кто занимается биологией развития, где мы только и делаем, что изучаем процессы изменений, которые происходят в формирующемся и развивающемся эмбрионе. Но я обнаружил, что подобное понимание играет важнейшую роль и в генетике, сравнительной психологии, анатомии, биохимии. И разумеется, оно жизненно необходимо для работы в области эволюционной биологии.

Так что самое фундаментальное объяснение, которым я руководствуюсь, можно назвать способом мышления: чтобы понять, как что-то работает, мы должны прежде всего понять, как оно стало таким.

ИДЕЯ О ВОЗНИКНОВЕНИИ

ДЭВИД КРИСТИАН

Профессор истории Университета Маккуори (Сидней);
автор книги *Maps of Time* («Карты времени»)

Среди наиболее красивых и глубоких идей, известных мне, выделяется идея о возникновении новых объектов и об особенностях такого возникновения. Увы, пока ее перспективность и универсальность еще недостаточно широко признаны.

При своем возникновении наша Вселенная была сравнительно проста. Несколько сотен миллионов лет в ней не существовало звезд, не было почти никаких атомов сложнее гелия и, конечно, никаких планет, никаких живых организмов, никаких людей, никакой поэзии.

А затем, более 13,7 миллиарда лет назад, все это стало появляться одно за другим. И каждый объект обладал невиданными прежде качествами. Вот оно, творческое созидание в своей наиболее основополагающей — и самой загадочной — форме. Галактики и звезды стали первыми крупными и сложными объектами, со странными новыми свойствами. Звезды превращали атомы водорода в атомы гелия, высвобождая гигантские количества энергии и тем самым образуя раскаленные объекты, которые вскоре усеяли Вселенную. В своей агонии самые крупные звезды создали элементы Периодической системы, а энергия, которую они выбрасывали в холодное космическое пространство вокруг себя, помогала собрать эти элементы в совершенно новые формы вещества с абсолютно новыми свойствами. В итоге постепенно стало возможным появление планет, бактерий, динозавров и нас с вами.

Откуда взялись все эти новые экзотические вещи? Как возникают новые предметы, новые качества? Может быть, они уже присутствовали в тех компонентах, из которых эти новые объекты сложились? Простейшие редукционистские рассуждения, сводящие сложное к простому, подталкива-

ют нас к мысли, что так и должно быть. Но если так, эти свойства чертовски трудно отыскать. Сумеете ли вы найти «водность» в атомах водорода и кислорода, из которых слагаются молекулы воды? Едва ли. Вот почему такое «возникновение» зачастую кажется магическим и таинственным.

На самом деле особой тайны тут нет. Одно из красивейших объяснений возникновения новых сущностей содержится в буддистской сутре «Вопрошания Милинды», сложенной, как полагают, более 10 тысяч лет назад. (Я даю вольный пересказ онлайн-перевода.)

Милинда был великим правителем. Это реальная историческая фигура — греко-бактрийский властитель Менандр, правивший центральноазиатским царством, которое основали военачальники армии Александра Македонского¹. В сутре Милинда встречается с Нагасеной, буддийским мудрецом. Судя по всему, дело происходит на равнинах нынешнего Афганистана. Милинда призвал к себе Нагасену, потому что заинтересовался буддизмом, но при этом недоумевал, отчего Будда, судя по всему, отрицает реальность Я. Для большинства из нас ощущение своего Я — краеугольный камень всей реальности. (Когда Декарт изрек «Я мыслю — следовательно, существую», он, несомненно, имел в виду что-нибудь вроде «Наше Я — единственное, в существовании чего мы твердо уверены».)

Представим себе Милинду, сидящего в своей царской колеснице. За ним тянется огромный шлейф придворных и воинов. И вот он встречается с Нагасеной, которого сопровождает своя свита — буддийские монахи. Они сошлись для грандиозного спора о природе человеческого Я, реальности и творческой способности. Великолепное зрелище.

Милинда просит Нагасену объяснить идею Будды о человеческом Я. Нагасена спрашивает:

— Ваше величество, как вы сюда попали?

Милинда отвечает:

— Разумеется, на колеснице, почтеннейший.

¹ Не совсем понятно, может ли при этом возраст сутры составлять целых 10 тысяч лет. Другие специалисты датируют ее примерно 100 г. до н.э. — *Прим. перев.*

— Ваше величество, если бы вы убрали у нее колеса, она по-прежнему оставалась бы колесницей?

— Разумеется, оставалась бы, — с некоторым раздражением говорит Милинда, не понимая, куда клонит собеседник.

— А если вы уберете ее каркас, или стойку для флага, или хомут, или поводья, или кнут, она по-прежнему останется колесницей?

Милинда начинает догадываться, к чему ведет мудрец. Ему приходится признать, что в какой-то момент его колесница перестанет быть колесницей, ибо утратит качество «колесничности» и больше не сможет делать того, что делают колесницы.

Нагасена не может сдержать торжествующей улыбки: Милинде не удастся определить, в каком же смысле, собственно, его колесница существует на самом деле. И тут мыслитель выдает решающее умозаключение:

— Ваше величество хорошо говорило о колеснице. То же самое относится и ко мне... Слово, которое меня обозначает, «Нагасена», — это лишь имя. В окончательной реальности личность, носящую это имя, осознать невозможно.

Или, выражаясь по-современному, я и все сложные вещи вокруг меня существуют лишь благодаря тому, что прошли предварительную сборку. «Возникающие» свойства — отнюдь не магические. Они действительно есть и в какой-то момент могут начать постепенно преобразовывать среду, которая их породила. Но они не существуют «внутри» тех кусочков и фрагментов, из которых сделаны. Они возникают благодаря некоему весьма строго определенному расположению этих кусочков и фрагментов. То же самое верно и относительно возникновения новых сущностей, таких как «вы» или «я».

СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

ДИМИТАР А. САССЕЛОВ

Профессор астрономии Гарвардского университета, руководитель гарвардского проекта «Происхождение жизни»; автор книги *The Life of SuperEarth: How the Hunt for Alien Worlds and Artificial Cells Will Revolutionize Life on Our Planet* («Жизнь на Супер-Земле. Как охота на внеземные миры и искусственные клетки революционным образом изменит жизнь на нашей планете»)

Во многих глубоких и изящных объяснениях природных или социальных явлений зачастую не учитывается наблюдатель. А я еще во времена студенческой молодости стремился понять, как работают различные системы отсчета: иными словами, узнать, что это значит — быть наблюдателем.

Понятие системы отсчета является ключевым в физике и астрономии. Например, исследование потоков чаще всего основывается на двух основных допущениях. В рамках одного допущения поток считается просто движущимся через пространство (эйлерова система отсчета), а в рамках другого сама система отсчета движется с потоком, растягиваясь и изгибаясь вместе с ним (лагранжева система отсчета). Уравнения движения в эйлеровой системе координат показались мне интуитивно-очевидными, но я ощутил настоящий восторг, когда осознал: тот же поток можно описать и уравнениями в лагранжевой системе координат.

Вообразим себе поток воды в реке, со всеми ее излучинами и изгибами. Вы расположились на берегу, где-нибудь на живописном холме, и спокойно наблюдаете, как течет вода. В этом вам помогает множество плывущих листьев. Берега реки, детали окружающего ландшафта создают естественную координатную систему, как на географической карте. Вы почти видите мысленным взором сетку фиксированных перекрещивающихся линий — вашу систему координат. Река течет по этой фиксированной карте; вы видите ее изгибы и повороты. Меняющуюся скорость ее течений можно

описать благодаря этой фиксированной системе координат, названной в честь Леонарда Эйлера (1707–1783).

Как выясняется, с таким же успехом можно описать наш поток, если вместо того, чтобы в полной безопасности стоять на холме, вы броситесь в воду и устремитесь вниз по течению, наблюдая завихрения упавших в воду листьев вокруг вас. Ваша система координат, названная в честь Жозефа Луи Лагранжа (1736–1813), уже не является фиксированной: теперь вы описываете все движения тел относительно себя (наблюдателя) и относительно друг друга. При этом ваше описание потока в точности совпадет с тем описанием, которое вы делали, находясь на холме, хотя соответствующие математические уравнения и кажутся до неузнаваемости иными.

В юности такой переход из одной системы координат к другой казался мне каким-то чудом. Может быть, в нем нет особенной глубины мысли, но он элегантен и чрезвычайно полезен. Однако это оказалось лишь началом пути, который словно бы вытянул из-под меня все мои прежние системы отсчета. Все началось с наивной картины неподвижной Земли, аристотелевой абсолютной системы отсчета. Вскоре мне пришлось отвергнуть ее, заменив галилеевой, где движение не является абсолютным. Мне очень нравилось плыть с Лагранжем вниз по эйлеровой реке, но тут меня поджидала новая причина для смятения — специальная теория относительности Эйнштейна и попытки понять, как происходит утрата одновременности. А ведь она еще как происходит!

Фундаментальные изменения нашей системы отсчета, особенно той, что определяет наше место в мире, глубиннейшим образом влияют на каждого из нас лично. Мы живем и в процессе жизни обучаемся. А следующее поколение рождается в новом мире, по сути, ничем не связанном со старым.

В науке с этим нетрудно справиться. Но человеческие системы отсчета выходят за рамки математики, физики и астрономии. Знаем ли мы, как успешно переключаться между различными человеческими системами отсчета? Правда ли, что чаще они относительны, «нелагранжевы»? Возможно, нам следует обратиться к научным методам и поискать изящное решение. Или, по крайней мере, изящное объяснение.

ЭПИГЕНЕТИКА — НЕДОСТАЮЩЕЕ ЗВЕНО

ЭЛЕН ФИШЕР

Биолог-антрополог (Ратгерский университет);
автор книги *Why Him? Why Her? How to Find
and Keep Lasting Love* («Почему он? Почему она?
Как найти и сохранить любовь»)

Для меня эпигенетика предоставляет наиболее впечатляющее объяснение из всех, что появились в общественных и биологических науках с тех пор, как Дарвин предложил свою теорию естественного отбора. Более 2500 статей, множество научных встреч, Эпигеномный центр в Сан-Диего и другие организации, пятилетняя программа «Эпигеномика», запущенная в 2008 году американскими Национальными институтами здоровья, а также многие иные учреждения, академические форумы и, главное, множество людей — все вращается в этой новой сфере. Эпигенетике дают определения в рамках нескольких различных подходов, но в основе всех этих дефиниций — идея о том, что силы, действующие в окружающей среде, способны влиять на поведение генов, «включая» либо «выключая» их. Я антрополог и не разбираюсь в серьезной генетике, поэтому не стану даже пытаться описать процессы, которые при этом идут, но два основных механизма широко известны. В рамках одного из них метильные группы сцепляются с ДНК, чтобы подавить и заглушить экспрессию генов; в рамках другого ацетильные группы ее активируют и усиливают.

Последствия воздействия эпигенетических механизмов, судя по всему, весьма значительны. Ученые предполагают, что эпигенетические факторы вносят вклад в этиологию многих человеческих недугов и отклонений, от онкологических заболеваний до клинической депрессии и психиче-

ских расстройств. Влияют они и на поведенческие и культурно-цивилизационные особенности личности.

Возьмем марокканских амазигов (берберов), людей с весьма сходным генетическим профилем, обитающих ныне в трех различных средах: одни кочуют по пустыням, другие возделывают горные склоны, а третьи осели в малых и больших городах вдоль марокканского побережья. В зависимости от места обитания до одной трети их генов экспрессирует особым образом, сообщает исследователь Юсеф Идахдур¹.

Так, у городских жителей «включаются» некоторые гены, отвечающие за дыхательную систему: предполагает Идахдур, чтобы компенсировать повышенную уязвимость по отношению к астме и бронхиту в этой среде, полной смога. По мнению Идахдура и ряда его коллег, эпигенетические механизмы изменили экспрессию многих генов в этих трех берберских сообществах, тем самым создавая популяционные различия между ними.

Психиатры, психологи, врачи-терапевты с давних пор озабочены проблемой детских переживаний, особенно тем, как этот опыт формирует наши взрослые привычки, воззрения и модели поведения. Однако главное внимание они до последнего времени обращали на то, как мозг интегрирует и вспоминает эти случаи. Эпигенетические исследования выдвигают свое объяснение. Так, крысы-матери, которые проводят больше времени за вылизыванием и прихорашиванием детеныша в течение первой недели после его рождения, могут похвастаться потомством, которое во взрослую пору жизни оказывается лучше приспособленным к окружающей среде. Исследователь Моше Жиф полагает: такая поведенческая адаптация происходит благодаря тому, что в этот критический период запускаются определенные эпигенетические механизмы, включающие более активный вариант гена, который кодирует определенный белок. А затем этот белок, посредством сложных биологических

¹ Y. Idaghdour, J. D. Storey, S. J. Jadallah & G. Gibson, «A Genome-Wide Gene Expression Signature of Environmental Geography in Leukocytes of Moroccan Amazighs», *PLoS Genetics* 4(4):e1000052 (2008).

процессов, создает своего рода петлю обратной связи в гиппокампе (находящемся в мозгу), позволяя таким крысам эффективнее справляться со стрессом¹.

Эти поведенческие модификации сохраняют стабильность в течение всей взрослой жизни. Однако, как отмечает Жиф, когда в мозг взрослой крысы вводят некоторые химические вещества, призванные изменить эпигенетические процессы и подавить экспрессию соответствующего гена, наши «хорошо приспособленные» крысы начинают пугаться и впадать в тревожное состояние. Когда же вводят вещества, запускающие эпигенетические процессы, которые, напротив, усиливают экспрессию данного гена, опасливые взрослые крысы (те, что в детстве получали мало материнской заботы и ласки) успокаиваются и расслабляются.

Гены несут в себе инструкции. Эпигенетические факторы управляют тем, как эти инструкции выполняются. Как утверждают ученые, по мере нашего взросления и старения подобные эпигенетические процессы продолжают вносить модификации в наше тело, тем самым влияя на то, кем мы являемся. Так, пятидесятилетние близнецы проявляют втрое больше эпигенетических модификаций, нежели близнецы трехлетние, а двойняшки, воспитываемые порознь, показывают больше эпигенетических изменений, чем те, что растут вместе. Эпигенетические исследования доказывают: ни гены, ни среда не предопределяют судьбу заранее — даже у нас с вами.

Это показала, в частности, Шелли Тейлор. Изучая аллель (генетическую вариацию) системы выработки серотонина, она совместно с коллегами продемонстрировала, что симптомы депрессии проявляются лишь тогда, когда экспрессия этого аллеля происходит на фоне определенных условий окружающей среды. Более того, Тейлор утверждает, что люди, выросшие в нестабильных семьях, на протяжении всей жизни более подвержены депрессии, тревожности, онкологическим и сердечно-сосудистым заболеваниям,

¹ I. C. G. Weaver et al., «Epigenetic programming by maternal behavior», *Nature Neuroscience* 7, 847–854 (2004).

диабету, ожирению¹. Что это — эпигенетика в действии? Возможно.

Еще сильнее впечатляет то, что некоторые эпигенетические инструкции передаются от одного поколения к другому — следующему. В наши дни документально подтверждены случаи межпоколенческих эпигенетических модификаций у растений и грибов. Есть предположения, что возможны они и у мышей. Гены подобны фортепианным клавишам; эпигенетические процессы управляют тем, как на этих клавишах будут играть, изменяя мелодию и даже передавая эти изменения грядущим поколениям. А в 2010 году журнал *Science* опубликовал статью, авторы которой утверждали, что генетические системы теперь следует считать наследуемыми, самоподдерживающимися и обратимыми.

Если эпигенетические механизмы способны не только влиять на наши интеллектуальные и физические возможности, но и передавать эти изменения нашим потомкам, эпигенетика будет иметь широчайшую сферу применения, включающую в себя происхождение, эволюцию и будущее жизни на Земле. Возможно, в ближайшие десятилетия ученые, занимающиеся эпигенетикой, поймут, каким именно образом бесчисленные силы, действующие в окружающей среде, влияют на наше здоровье и продолжительность нашей жизни, а потом отыщут лекарства для многих человеческих заболеваний и расстройств, объяснят тончайшие вариации личностных особенностей человека.

Джон Локк, философ XVII века, был убежден, что человеческий ум — чистый лист, на котором окружение пишет то, из чего сложится личность. С такой же самоуверенностью другие заявляли, что за наше развитие, болезни, образ жизни отвечают в первую очередь гены. Однако специалисты по общественным наукам многие десятилетия никак не могли объяснить механизмы, регулирующие поведенческие вариации между близнецами, среди членов родной семьи, в рамках одной культурно-цивилизационной группы. А биологам никак не удавалось точно определить

¹ «Early Family Experience Can Reverse the Effects of Genes», UCLA Psychologists Report, *ScienceDaily*, 2006. <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/10/061012190132.htm>.

генетические причины многих психических расстройств и комплексных заболеваний. Теперь же выявлен принципиальный механизм объяснения подобных сложных явлений.

Эта новая область биологии сулит поистине революционные изменения. Мы обнаружили основополагающий процесс взаимодействия природы и воспитания. И для меня как для антрополога, долгое время пытающегося отыскать гармоничный срединный путь в научной области, безнадежно погрязшей в битве «природа или воспитание?», эпигенетика служит своего рода недостающим звеном.

КАК ПТИЦЫ СОБИРАЮТСЯ В СТАЮ

ДЖОН НОУТОН

Журналист, вице-президент кембриджского Вольфсон-колледжа; автор книги *From Gutenberg to Zuckerberg: What You Really Need to Know About Internet* («От Гутенберга к Цукербергу: что вам на самом деле нужно знать об Интернете»)

Мое любимое объяснение — это идея Крейга Рейнольдса (опубликованная еще в 1987 году) о том, что стайное поведение птиц можно объяснить, предположив, что каждая птица следует в групповом полете трем простым правилам: отдельности (не тесни соседей), однонаправленности (лети туда же, куда твои соседи: речь идет об усредненном общем направлении) и согласованности (располагайся так же, как и твои соседи: речь идет об усредненном положении)¹. Прекрасно, когда столь сложное поведение можно описать столь захватывающе простым способом.

¹ C. W. Reynolds, «Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model», *Computer Graphics* 21:4 (SIGGRAPH'87 Conference Proceedings), 25–34 (1987).

ЛИМОНЫ — ШТУКА БЫСТРАЯ

БАРРИ СМИТ

Профессор, директор Института философии Школы передовых исследований Лондонского университета; автор книги *Questions of Taste: The Philosophy of Wine* («Вопросы вкуса. Философия вина»)

Если попросить человека расположить лимон на шкале между «быстрым» и «медленным», почти всякий скажет «быстрый», хоть мы и понятия не имеем почему. Возможно, человеческий мозг просто устроен таким образом, что склонен выдавать подобный ответ. Это какое-никакое объяснение, но оно представляется тупиком, если мы хотим узнать больше. И тут мы приходим к вопросу о том, чего мы, собственно, вообще ждем от объяснения: чтобы оно было верным или чтобы нас устраивало? Многие утверждения некогда представлялись самоочевидными, а теперь выясняется, что они ложны. Прямая линия явно служит кратчайшим расстоянием между двумя точками, но не в искривленном пространстве. То, что удовлетворяет наше мышление, еще не обязательно отражает реальность. С чего бы нам ожидать простой теории для сложно устроенного мира?

Витгенштейн высказывал любопытные суждения насчет того, чего мы хотим от объяснений, и знал, что нам могут пригодиться различные их типы. Иногда нам просто требуется больше информации, иногда нужно изучить механизм (скажем, крана или шкива), чтобы понять, как эта штука работает; а иногда потребен способ увидеть нечто знакомое в новом свете, чтобы постичь, что же это такое на самом деле. Витгенштейн знал и то, что бывают случаи, когда никакие объяснения не работают: «Погруженному в любовные переживания не очень-то поможет какая-нибудь объясняющая гипотеза»¹.

¹ Remarks on Frazer's Golden Bough, trans. Rush Rhees (Oxford, UK: Blackwell 1967).

Как же насчет почти повсеместно одинакового ответа на, казалось бы, бессмысленный вопрос о скорости и медленности лимонов? Когда нам просто говорят, что наш мозг устроен таким образом, чтобы так отвечать, нас эта версия не удовлетворяет. Но именно такие неполные объяснения подталкивают к дальнейшим умственным усилиям: это начало истории, а не конец. Напрашивается следующая фраза: *почему же* человеческие мозги так устроены? Какой цели служит такое их устройство? А дальше феномен свободных («автоматических») ассоциаций даст нам немаловажные указания на то, как работает сознание, позволяя выявлять так называемые кроссмодальные соотношения — неслучайные связи между разноплановыми свойствами, между различными органами чувств. (Модальность здесь — та или иная воспринимающая функция организма.)

Существуют кроссмодальные соотношения между вкусом и формой, звуком и зрением, слухом и запахом. Психолог-экспериментатор Чарлз Спенс и философ Офелия Дерой исследуют многие из них. Эти неожиданные связи вполне надежны, воспроизводимы и являются общими для большинства людей, в отличие, скажем, от синестезии, свойственной лишь немногим, хотя и обладающей одним и тем же характером на протяжении всей жизни отдельного человека (если уж он наделен этой редкой способностью). Такие связи возникают у нас в мозгу, чтобы позволить нам осуществлять множественную фиксацию на объектах нашего окружения, которые мы можем одновременно и слышать, и видеть. Они также позволяют нам передавать другим собственные трудноуловимые переживания.

Мы часто утверждаем, что вкус описать трудно, однако нам откроются новые возможности, едва мы поймем, что можно расширить словарь и говорить о вкусе как о чем-то круглом или колючем. Музыкальные ноты бывают высокими или низкими; точно так же кислые оттенки вкуса — «высокие», а горькие — «низкие». У запахов тоже бывают низкие и высокие ноты. Ваше настроение порой падает или поднимается, становясь «ниже» или «выше». Подобное переключение словарей дает возможность использовать хорошо известные модальности (т. е. воспринимающие функ-

ции организма) для того, чтобы представлять всевозможные грани чувственного опыта.

Рекламщики понимают это на интуитивном уровне, вовсю эксплуатируя кроссодальные соотношения между абстрактными формами и определенными товарами или же между звуковыми и зрительными образами. Угловатые предметы ассоциируются у нас с газированными напитками, а не с напитками без газа. Отметьте также, как много названий преуспевающих компаний начинается со звука К и как мало — со звука С. Эти и другие подобные ассоциации порождают в нашем мозгу ожидания, которые не только помогают нам воспринимать, но и могут сами формировать наше восприятие, наш опыт.

И речь не только о мысленных словарях, которыми мы пользуемся. Еще в XIX веке Генрих Вёльфлин в своем трактате о психологии архитектуры отмечал: именно благодаря тому, что у нас есть тело и мы подвержены воздействию гравитации, умеем наклоняться и сгибаться, а также поддерживать равновесие, мы в состоянии оценивать форму зданий или отдельных колонн, как бы сочувствуя их тяжести и напряжению. Физические формы обладают для нас своим характером лишь потому, что мы сами обладаем телом.

Эта идея недавно привела к открытиям в области эстетического восприятия, представленным в работе Криса Макмануса из Лондонского университетского колледжа. Как и всякое хорошее объяснение, оно порождает новые объяснения и дальнейшие открытия. Вот еще один пример того, как мы используем взаимодействие между различными типами сенсорной информации для понимания окружающего мира и отклика на его проявления. И тот факт, что все мы считаем лимоны чем-то быстрым, может служить одной из многочисленных причин того, что мы так невероятно умны.

ПАДЕНИЕ В НУЖНОЕ МЕСТО: ЭНТРОПИЯ И ОТЧАЯННАЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

ДЖОН ТУБИ

Отец эволюционной психологии, содиректор Центра эволюционной психологии Калифорнийского университета в Санта-Барбаре

В раннюю пору моей научной жизни мне пришлось принять решение, отказываться ли от роскошных загадок квантовой механики и космологии ради столь же захватывающих вещей — поразительной инженерии кода, встроенного благодаря естественному отбору в программы жизни организмов. В 1970 году активизация ряда социально-культурных и геополитических процессов в мире показала, что необходимо как можно скорее прийти к математизированному и неидеологизированному пониманию того, что такое «человеческая природа» с точки зрения эволюции. Бурное развитие компьютерных наук и кибернетики позволило предположить, что такое понимание возможно. Стало ясно, что ученые, занимающиеся гуманитарными науками, в интересах прогресса своих дисциплин должны перестать испытывать враждебность к эволюционной биологии.

Окончательно перетянула меня в другую сферу теория о том, что естественный отбор сам по себе является необыкновенно прекрасным и изящным механизмом для вмешательства в развитие природы. Надев эти теоретические очки, я сумел значительно улучшить свое научное зрение, населить ум цепочками дедуктивных рассуждений, которые выстраивались, словно кристаллическая решетка в пересыщенном растворе. Более того, эта теория вырастает из неких основополагающих принципов (заложенных, в частности, физикой и теорией множеств), так что значительная ее часть весьма жестка и не предполагает особой свободы выбора.

Однако с точки зрения физики в естественном отборе кроется глубинная проблема, требующая объяснения. Мир, открываемый нам физикой, безотрадно мрачен. Он способен обжечь, не горя, или незаметно и постепенно истереть наши клетки и макромолекулы, пока мы не умрем. Он обращает в прах целые планеты, миры, тех, кого мы любим, нас самих. Всплески гамма-излучения уничтожают огромные галактические области, а взрывы сверхновых, удары астероидов, извержения гигантских вулканов, ледниковые периоды стирают с лица Земли экосистемы и кладут конец видам. Эпидемии, инсульты, физические травмы, повреждения из-за избытка окислителя, белковые сшивки, сборка ДНК под действием тепловых шумов, — все эти случайные процессы уводят нас от ограниченного и строго организованного набора состояний, который мы так ценим, в сторону усиливающегося хаоса. Второе начало термодинамики признает, что физические системы склонны стремиться к более вероятным состояниям, словно бы неуправляемо летя с горы на санках, стремительно скатываясь от состояний менее вероятных (а значит, от упорядоченных) к максимальной неупорядоченности.

Таким образом, энтропия — неупорядоченность — ставит перед нами проблему: как же живые существа вообще оказываются совместимыми с физическим миром, где правит энтропия? И как в условиях постоянного стремления к энтропии естественный отбор может, в долгосрочной перспективе, приводить к постоянному увеличению уровня функциональной организации живого? Живые существа выделяются как необычное отклонение от физической нормы (которая представлена, скажем, металлическим ядром Земли, лунными кратерами или солнечным ветром). Все организмы, от терновника до ольхи, от цапли до выдры, отличаются от всего прочего во Вселенной тем, что в их «конструкцию» вплетены практически невероятные системы тонко настроенных взаимоотношений — высокоорганизованных и весьма эффективных. Но, как всякая высокоорганизованная физическая система, живые организмы имеют тенденцию быстро скатываться в состояние максимальной неупорядоченности (максимальной вероятности). Как выразился физик Эрвин Шрёдингер, «живые

организмы кажутся такими загадочными, поскольку им удается избегать быстрого сползания в инертное состояние “равновесия”»¹.

Поспешный ответ, который обычно норовят подsunуть креационистам, относительно правилен, но неполон: Земля не является закрытой системой; живые организмы также не являются закрытыми системами, так что энтропия все-таки возрастает в масштабах Вселенной (что вполне согласуется со вторым началом термодинамики), однако уменьшается на локальном уровне — в живых существах. Но это еще не объясняет высокоорганизованность живого (хотя и допускает ее). Для такого объяснения можно привлечь идею естественного отбора, в том числе и адаптационные процессы, задерживающие рост энтропии, что позволяет нам сравнительно долгое время избегать мгновенного окисления в горстку праха.

Естественный отбор — единственный известный нам противовес тенденции физических систем к снижению (а не к росту) уровня функциональной организации: это единственный из природных физических процессов, который (иногда) подталкивает биологические популяции «вверх», к более высоким степеням функциональной упорядоченности. Как же это работает?

Именно на данном этапе рассуждений можно, наряду с энтропией и естественным отбором, привлечь и третью идею из великого трио изящных научных концепций. Это блистательная идея Галилея касательно систем отсчета: с ее помощью он вносил ясность в физику движения.

Понятие энтропии изначально разрабатывали, изучая теплоту и энергию, но если бы единственным видом реальной энтропии была термодинамическая энтропия рассеяния энергии, мы с вами (и сама жизнь) попросту не могли бы существовать. Однако благодаря научному вкладу Галилея можно рассмотреть множественные уровни упорядоченности (структуры, невероятные с точки зрения строгой физики), определив каждый из них относительно какой-то определенной системы отсчета.

Может существовать множество разновидностей энтропии — столько же, сколько и корректных систем отсчета.

¹ *What is Life?* Введение. 1944.

Организм по определению является самовоспроизводящейся физической системой. Это создает систему отсчета, упорядоченность в которой определяется в понятиях случайных взаимосвязей, способствующих воспроизводству системы (репродуктивный, а не термодинамический порядок). И в самом деле, организмы должны быть физически «сконструированы» так, чтобы улавливать нерассеянную энергию. Подобно плотинам ГЭС, где водопады используются для вращения турбин, живые организмы используют термодинамический энтропийный поток, питая с его помощью процессы собственного воспроизводства. Так они распространяют множество своих копий по окружающему их миру.

Порой из-за энтропии в процесс подобного копирования вкрадываются ошибки, но такой «наведенный» беспорядок в системах, способных к воспроизводству, подвержен автокоррекции. Ведь «хуже» организованные системы по определению менее эффективны в самовоспроизводстве, а потому вымываются из популяции. Однако ошибки копирования, *увеличивающие* функциональную упорядоченность (а значит, и репродуктивную способность), становятся все более распространенными. Так и работает маховик неизбежного естественного отбора при воспроизводстве живых организмов.

Живые организмы применяют фокус с использованием различных энтропийных систем отсчета самыми многообразными путями, иной раз весьма хитроумными. Однако главное здесь — то, что факторы, естественным образом увеличивающие неупорядоченность (а значит, смещающие систему в сторону максимально вероятных состояний) для одной системы отсчета в рамках одной физической области, могут быть использованы для уменьшения неупорядоченности в другой системе отсчета. Естественный отбор выбирает и связывает между собой различные группы объектов, управляемых энтропией (скажем, клетки, органы, мембраны), причем каждой из этих групп свойственна определенная энтропийная система отсчета. Когда связываются между собой подходящие группы объектов, они проделывают работу по воспроизводству, задействуя процессы возрастания энтропии одних разновидностей для того, чтобы

снижать энтропию других разновидностей, да так, чтобы это приносило пользу данному организму. К примеру, диффузия кислорода из легких в кровотоки и далее в клетки происходит благодаря энтропии химического смешивания: идет сдвиг в сторону более вероятных, высокоэнтропийных состояний, однако при этом повышается упорядоченность с точки зрения способствования воспроизводству.

Энтропия вынуждает предметы падать, но жизнь изобретательна и частенько заставляет падающие предметы опускаться строго на нужное место.

ПОЧЕМУ ВСЁ ПРОИСХОДИТ

ПИТЕР АТКИНС

Почетный профессор химии Оксфордского университета;
автор книги *Reactions: The Private Life of Atoms*
(«Реакции: личная жизнь атомов»)

Существует чудесное по своей простоте мнение: события происходят, потому что ситуация ухудшается. Здесь есть прямая связь со вторым началом термодинамики и тем фактом, что все естественные изменения сопровождаются возрастанием энтропии. При этом я понимаю эти слова так: материя и энергия имеют тенденцию беспорядочно рассеиваться. Молекулы газа находятся в неустанном движении (которое можно с большой степенью точности назвать случайным) и стремятся занять весь предоставленный им объем. Хаотическое тепловое движение атомов в бруске раскаленного металла приводит в движение их соседей, и энергия распространяется все дальше, так что брусок постепенно остывает. Все естественные изменения, по сути, представляют собой проявление этого несложного процесса — беспорядочного рассеяния.

Однако такое восприятие естественных изменений приводит нас к потрясающему выводу: рассеяние может и создавать порядок, рождать некую структуру. Требуется лишь устройство, которое встроится в процесс рассеяния, подобно тому как ревущую струю воды используют в созидательных целях. Точно так же можно использовать и дисперсионный поток. Говоря в целом, по мере развития мира в нем растет неупорядоченность, однако на локальном уровне многие структуры (соборы, мозг, динозавры, собаки, благочестивые и греховные деяния, стихи, проповеди) способны побороть хаос, пускай на время и в ограниченном пространстве.

Возьмем, к примеру, двигатель внутреннего сгорания. Искра воспламеняет углеводородное топливо, в результате чего возникают более мелкие молекулы — воды и углекислого газа, — склонные к рассеянию. В процессе такого рассеяния они дают толчок поршню. Одновременно энергия,

высвобождаемая при сгорании топлива, распространяется в окружающем пространстве. Конструкция двигателя использует силу этого рассеяния, и благодаря целому ряду механизмов-посредников подобную энергию можно использовать для того, чтобы построить из кирпичей собор. Таким образом, рассеяние энергии привело к созданию некой локальной структуры, хотя *в целом* мир при этом чуть больше погрузился в неупорядоченность.

Наш обед — тоже своего рода топливо. В процессе его метаболической переработки высвобождаются молекулы и энергия, которая затем распространяется. Аналог осей, валов и шестерен автомобиля — целая сеть биохимических реакций у нас внутри, а вместо кирпичей, из которых строится собор, у нас аминокислоты, которые соединяются вместе, образуя затейливую структуру белка. Еда позволяет нам расти. Мы тоже представляем собой пример локального противостояния хаосу, но лишь благодаря тому, что в других-то местах неупорядоченность при этом возрастает.

Сходным образом можно представить себе творческий процесс или просто какую-нибудь безответственную мечту, это не будет большой натяжкой, верно? Даже в состоянии относительного покоя мозг являет собой настоящий улей, где кипит физико-химическая деятельность. Метаболические процессы, запускаемые в ходе переваривания пищи, могут приводить к росту упорядоченности. Это уже не стройка собора из кирпичей или белка из аминокислот, а превращение электрических токов в гипотезы, произведения искусства, бескомпромиссные решения, научные открытия.

Естественный отбор, еще один великий принцип, тоже можно рассматривать как невероятно сложный, филигранный процесс, когда изменения, происходящие в биосфере, и ее эволюция управляются, в конечном счете, процессом нарастания неупорядоченности. Неудивительно, что второе начало термодинамики кажется мне грандиозным открытием. Из столь простого принципа проистекают колоссальные последствия, а это — критерий величия научной идеи. «Ситуация постоянно ухудшается»: что может быть проще такого принципа? А ведь он применим ко всей Вселенной: что может быть грандиозней? А значит, это величайший из всех научных принципов.

ПОЧЕМУ МЫ ОПАСАЕМСЯ, ЧТО НАМ НЕ ХВАТИТ ВРЕМЕНИ

ЭЛИЗАБЕТ ДАНН

Социальный психолог (Университет Британской Колумбии)

Как-то раз, совсем недавно, я оказалась на обочине дороги, выковыривая мелкие камешки из ранки на ушибленной коленке и недоумевая, что меня сюда занесло. Я ехала на велосипеде с работы и собиралась встретиться с подругой в тренажерном зале — и вот яростно крутила педали, чтобы возместить несколько минут задержки. Я знала, что чересчур разогналась, поэтому во время одного из поворотов мой двухколесный друг слишком накренился, задел участок, засыпанный гравием, и выскользнул из-под меня. Как я загнала себя в такое положение? Почему я так спешила?

Мне показалось, что я знаю ответ. Темп нашей жизни постоянно возрастает, люди больше работают и меньше отдыхают по сравнению с временами полувековой давности. По крайней мере, такое впечатление складывается из СМИ. Но я социальный психолог, и мне захотелось увидеть реальные данные. Как выяснилось, вообще-то существует очень мало доказательств того, что сегодня человек больше работает и меньше отдыхает по сравнению с представителями предыдущих поколений. Собственно, ряд наиболее тщательных исследований предполагает прямо противоположное. Почему же наши современники так часто ощущают цейтнот?

Очень красивое объяснение этого загадочного явления предложили недавно Сэнфорд Дево из Университета Торонто и Джеффри Пфеффер из Стэнфорда. Они утверждают, что по мере того, как время дорожает, оно воспринимается как все более и более редкий товар. Редкость и цена для нас сегодня — своего рода сиамские близнецы: когда какой-то ресурс (от алмазов до питьевой воды) встречается редко, он становится более ценным, и наоборот. Так что когда наше время растет в цене, нам кажется, что у нас его меньше.

Социологические опросы, проводящиеся по всему миру, показывают, что люди с более высоким уровнем дохода ощущают более острую нехватку времени, хотя для этого могут существовать и другие правдоподобные причины, в том числе и тот факт, что обеспеченный человек зачастую работает больше часов в сутки по сравнению с человеком победнее, так что свободного времени у него остается меньше.

Однако, по предположению Дево и Пфедфера, иной раз достаточно лишь *воспринимать* себя как человека богатого, чтобы почувствовать, будто времени вам остро не хватает. Корреляционного анализа им показалось мало, и ученые пошли дальше: они прибегли к особому рода контролируемым экспериментам, чтобы по-настоящему проверить это «бытовое» объяснение¹. В ходе одного из таких опытов Дево и Пфедфер попросили 128 студентов-старшекурсников сообщить, какова общая сумма, которая хранится у них в банке. Все студенты отвечали на вопрос, используя 11-балльную шкалу, но половине из них вручили шкалу, которая делилась на 50-долларовые отрезки (от «0–50 долларов» до «500 и выше»), тогда как другим дали шкалу со значительно более крупной ценой деления: от «0–500 долларов» до «400 тысяч долларов и выше». Большинство студентов, использовавших шкалу с 50-долларовыми отрезками, обвели кружком пункт ближе к верхней планке, создающий у них впечатление, что они принадлежат к людям сравнительно обеспеченным. Эта, казалось бы, банальная процедура заставила их почувствовать, что времени им решительно не хватает. Лишь *ощущение* себя богатыми вызвало у студентов чувство дефицита времени, о котором общаются лица по-настоящему богатые. При помощи других методов исследователи подтвердили, что увеличение субъективной экономической ценности времени увеличивает и его субъективную «редкость» как ресурса.

Если чувство редкости времени частично коренится в ощущении, что время — ресурс весьма дорогостоящий, то, возможно, среди лучших способов снизить уровень

¹ S. E. DeVoe & J. Pfeffer, «Time is Tight: How Higher Economic Value of Time Increases Feelings of Time Pressure», *Jour. Appl. Psychol.* 96, 665–676 (2011).

такого рода опасений — попытка начать намеренно тратить время не на себя. И в самом деле, новые исследования как будто показывают, что такая трата времени на помощь другим действительно уменьшает уровень стресса, связанного с ощущением нехватки времени. *Home Depot* и другие подобные компании предоставляют своим сотрудникам возможности волонтерской деятельности, в ходе которой они тратят время на благо других, что служит профилактикой развития стресса, связанного с нехваткой времени, и последующего истощения сил. *Google* поощряет персонал тратить около 20% своего времени на личные проекты-хобби, и неважно, приносят ли эти проекты реальную отдачу. Хотя некоторые из них действительно привели к созданию экономически выгодных продуктов (таких, как *Gmail*), основная ценность этой программы, вероятно, как раз в том, что она снижает у сотрудников остроту ощущения, будто времени у них мало.

Работа Дево и Пфеффера, возможно, позволит лучше оценить некоторые важные культурно-цивилизационные тенденции. За последние 50 лет чувство нехватки времени резко усилилось в Северной Америке, несмотря на тот факт, что продолжительность рабочей недели в среднем не изменилась, а количество еженедельных часов досуга даже возросло. Этот кажущийся парадокс можно в немалой степени объяснить тем, что за тот же период существенно выросли доходы населения. Тот же эффект отчасти поможет объяснить, почему в богатых городах вроде Токио или Торонто люди ходят быстрее, чем в таких городах, как Найроби или Джакарта. На индивидуальном уровне из этого объяснения следует, что по мере роста доходов на протяжении жизни отдельного человека этому человеку представляется, что времени у него все меньше. Так что по мере дальнейшего развития моей карьеры мне, возможно, имеет смысл попытаться заставить себя ездить помедленнее. Легче на поворотах!

ПОЧЕМУ СОЛНЦЕ ДО СИХ ПОР СВЕТИТ

БАРТ КОСКО

Профессор электротехники и юриспруденции Университета Южной Каролины; автор книги *Noise* («Шум»)

Одно из самых глубоких объяснений — ответ на вопрос, почему до сих пор сияет Солнце — иными словами, почему оно до сих пор не выгорело, как сгорают все костры, которые мы наблюдаем в нашей повседневной жизни. Об этом спрашивали себя люди еще в далеком прошлом, глядя на наше светило и сравнивая его с кострами или лесными пожарами, которые случались нередко. Ученых XIX столетия также волновала эта проблема: они понимали, что продолжительность жизни Солнца зависит не от одной только гравитации.

Меня еще в детстве заинтересовал и встревожил этот вопрос.

Объяснение, что атомы водорода в ходе ядерной реакции превращаются в атомы гелия, принесло мне мало утешения. Я услышал его на пике «холодной войны» с ее параноидальными поисками укрытия от ядерного удара. В начале 1960-х мой отец даже переоборудовал часть подвала нашего нового дома в атомное бомбоубежище. В этом однокомнатном укрытии имелись железобетонные стены, металлические оконца и морозилка с быстрыми обедами домашнего приготовления. Солнце, объясняли мне, пылает так долго и так ярко, потому что внутри него, по сути, происходит огромное количество термоядерных взрывов, подобных взрывам водородной бомбы (порождающим знаменитые облака-«грибы»), и потому что в Солнце имеется огромное количество материала для этих «водородных бомб». Такие взрывы, говорили мне, произойди они достаточно близко, испепелили бы Землю, не пощадив даже наше маленькое бомбоубежище.

Логика этого объяснения выходила далеко за пределы рассуждений о глобальном стратегическом равновесии

в условиях Карибского кризиса. Хорошая новость (о том, что в ближайшее время Солнце не догорит) сопровождалась новостью плохой — о том, что в грядущие несколько миллиардов лет непременно наступит момент, когда Солнце сгорит дотла. Но вначале, став красным гигантом, оно поглотит Землю, предварительно ее расплавив.

В том же самом объяснении указывалось, что рано или поздно (по космическим меркам) все звезды сгорят или взорвутся. Нам не даются даром тепло и свет, которые вырабатываются, когда в ходе ядерных реакций более простые атомы превращаются в чуть более сложные и масса превращается в энергию. Даже звездам суждена (опять же, по космическим масштабам) не такая уж долгая жизнь. Рано или поздно во Вселенной наступит мрак и холод: она еще ближе придвинется к абсолютному нулю. Останется лишь слабенький «белый шум» рассеянной энергии и материи. По прошествии колоссального (с нашей точки зрения) времени даже черные дыры могут полностью израсходовать свою энергию или схлопнуться практически в ничто — в почти идеальный слабый белый шум. Этот белый шум будет обладать высокой стабильностью и, по сути, содержать в себе нулевую информацию. Такими станут последние несколько шагов в ошеломляюще долгой череде необратимых и нелинейных процессов, из которых и складывается эволюция Вселенной. Тогда уже не будет никакой возможности узнать о мирах и жизнях, которые предшествовали этим фазам существования Вселенной, даже если и появится кто-нибудь, кто задастся таким вопросом.

Объяснение, почему Солнце по-прежнему светит, кажется мне довольно глубоким. По крайней мере, так можно объяснить конец света.

МЕЖАТОМНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПО БОШКОВИЧУ

ЧАРЛЗ СИМОНИЙ

Создатель текстового редактора WYSIWYG, соучредитель компании *International Software*, бывший директор управления развития приложений компании *Microsoft* и ее бывший главный программный архитектор

Объяснение, которое дал межатомным взаимодействиям еще в XVIII столетии разносторонний ученый-иезуит Руджер Бошкович, — пример того, как самые простые рассуждения порой приводят к удивительному прозрению.

Среди наиболее значимых философских противостояний того времени можно с уверенностью назвать борьбу между приверженцами Декарта, которые вслед за Аристотелем считали, что физические силы могут являться лишь результатом непосредственного соприкосновения тел, и последователями Ньютона, которые приняли его идею о силах, действующих на расстоянии. В этом Ньютон совершил подлинную научную революцию, однако его оппоненты не без оснований возражали, что подобное «действие на расстоянии» возвращает в физику полузабытые мистические объяснения, отнюдь не выводимые ясным логическим путем, которого требовал Декарт. Между тем Бошкович, страстный защитник ньютоновской точки зрения, вывернул вопрос наизнанку, призывая: давайте четко уясним себе, что происходит к ходе взаимодействия, которое мы именуем «непосредственным соприкосновением».

Его доводы легко понять, и они чрезвычайно убедительны. Представим себе два тела, одно из которых движется со скоростью 6 единиц, а второе — со скоростью 12 единиц, причем более быстрое тело настигает более медленное и они движутся по одному и тому же прямолинейному пути. Когда два тела столкнутся, то благодаря закону сохранения импульса оба должны будут после столкновения продолжать движение по тому же пути, со скоростью 9 единиц каждое

(в случае неупругого соударения, в случае же соударения упругого такое движение будет происходить лишь в течение краткого периода сразу после столкновения).

Но каким образом скорость более быстрого тела снизилась с 12 до 9 единиц, а скорость более медленного тела возросла с 6 до 9 единиц? Понятно, что временной интервал изменения скоростей не может быть нулевым, поскольку тогда, замечает Бошкович, такое мгновенное изменение скорости нарушило бы принцип непрерывности¹. Более того, нам пришлось бы заключить, что в момент соударения скорость одного тела одновременно составляет 12 и 9 единиц: явный абсурд. А значит, изменение скорости должно происходить в течение небольшого, но конечного промежутка времени. Однако такое предположение приводит нас к другому противоречию. Представим, к примеру, что по прошествии небольшого количества времени скорость более быстрого тела составляет 11 единиц, а более медленного — 7 единиц. Но это значит, что они не движутся с одной и той же скоростью, а следовательно, передняя поверхность быстрого тела должна проникнуть сквозь заднюю поверхность медленного тела, что невозможно, поскольку в условиях нашего опыта оба тела непроницаемы. Отсюда легко видеть, что взаимодействие должно происходить непосредственно перед соударением двух тел и что оно может являться лишь отталкиванием, поскольку выражается в том, что одно тело замедляется, а другое ускоряется.

То же рассуждение верно и для тел, движущихся с произвольной скоростью, так что уже не приходится говорить о четких пространственных измерениях частиц (а именно атомов), которые до этого считались непроницаемыми. Атом следует рассматривать скорее как точечный источник силы, и сила, «исходящая» от него, воздействует на другие тела неким сложным образом и зависит от расстояния.

По Бошковичу, когда тела удалены друг от друга, они взаимодействуют посредством силы, соотносимой с гравитационной силой и обратно пропорциональной квадрату

¹ Формулируя еще в XVII веке принцип всеобщей непрерывности, согласно которому «природа никогда не делает скачков», Лейбниц замечал: «Существует бесконечное число ступеней между каким угодно движением и полным покоем». — *Прим. перев.*

расстояния между телами. Но с сокращением расстояния в этот закон следует вносить поправки, так как, согласно уже высказанным соображениям, сила при этом меняет знак и становится силой отталкивания. Бошкович даже начертил причудливые графики, показывающие, как сила должна меняться с расстоянием, несколько раз при этом меняя знак. Тем самым он словно бы намекал на существование минимального потенциала взаимодействия и стабильных связей между частицами — атомами.

Выдвинув эту идею, Бошкович не только предложил новую картину взаимодействий взамен теории Аристотеля и Декарта, рассматривавшей лишь непосредственный контакт тел, но и предвосхитил современные теории о структуре материи, особенно в твердых объектах.

ПТИЦЫ — ПРЯМЫЕ ПОТОМКИ ДИНОЗАВРОВ

ГРЕГОРИ С. ПОЛ

Независимый исследователь; автор книги *The Princeton Field Guide to Dinosaurs* («Динозавры: принстонский путеводитель»)

Наиболее изящный пример элегантной идеи в одной из сфер моих научных интересов — идея о том, что динозавры были тахиэнергетическими существами: иными словами, они были эндотермами (теплокровными животными) с высоким уровнем производства внутренней энергии и высоким уровнем потребления кислорода при физических нагрузках, что характерно для птиц и млекопитающих, способных к долгим периодам физической деятельности. Такая идея о «высокоэнергетичном» динозавре вполне согласуется с гипотезой о том, что птицы являются прямыми потомками динозавров — в сущности, летающими динозаврами (подобно тому, как летучие мыши — летающие млекопитающие).

Из тахиэнергетической идеи следуют важнейшие выводы. Она совершила настоящий переворот в нашем понимании значительной части эволюции и 230 миллионов лет истории Земли, коренным образом изменив представления, державшиеся в науке с середины XIX века до 1960-х годов. Раньше большинство ученых предполагали, что динозавры — тупиковая ветвь холоднокровных рептилий, способных лишь на краткие всплески бурной физической активности. Даже ходьба со скоростью 8 км/ч требует высокой респираторной емкости, которой нет у пресмыкающихся: передвигаясь на большие расстояния, они вынуждены тащиться со скоростью всего лишь 1,5 км/ч. Птицы же рассматривались как особая группа животных — пернатые существа, в процессе эволюции научившиеся управлять «неэффективным» (с точки зрения рептилий) расходом энергии, чтобы эта энергия позволяла им летать. Хотя

новая гипотеза не заключала в себе логических противоречий, она все же отличалась от общепринятых гипотез об эволюции летучих мышей: их шерстистые предки, как и они сами, обладали высокой респираторной емкостью.

Я впервые узнал о «теплокровных» динозаврах, еще будучи старшеклассником, в свой последний школьный год: *Smithsonian Magazine* давал хвалебную рецензию на статью Роберта Бэккера, вышедшую в *Nature* летом 1972 года. Как только я прочел этот текст, у меня в сознании все встало на свои места. Раньше я воображал себе динозавров похожими на рептилий, но что-то здесь не складывалось, поскольку динозавры явно сложены как птицы и млекопитающие, а не как крокодилы и ящерицы. Примерно в то же время Джон Остром, также приложивший руку к открытию эндотермии динозавров, представил доказательства того, что птицы — летающая разновидность динозавров-авепод: идея настолько очевидная, что она должна была бы стать доминирующей в науке еще в XIX столетии.

На протяжении четверти века эти гипотезы считались весьма противоречивыми (особенно та, что описывала метаболизм динозавров), и некоторые из первых их обоснований грешили недостатками. Но доказательства продолжали накапливаться. Кольца роста в костях динозавров демонстрируют, что эти существа росли сравнительно быстро: рептилии не могли бы увеличиваться в размерах с такой скоростью. Следы динозавров показывают, что эти животные на протяжении длительных промежутков времени ходили с высокой скоростью, недостижимой для холоднокровных существ. У многих небольших динозавров имелись перья. А полярные динозавры, птицы и млекопитающие переживали снежные мезозойские зимы, что было бы невозможно для существ холоднокровных (эктотермов).

Благодаря этой «динозавриной революции» наше понимание эволюции животных, некогда царствовавших на земных континентах, теперь гораздо ближе к истине, чем раньше. Энергоэффективные амфибии и рептилии доминировали на суше лишь в течение 70 миллионов лет — на протяжении самой поздней части палеозойской эры, которая началась с трилобитов и с полного отсутствия сухопутной живности. На протяжении последних 270 миллионов лет

высокоэнергетические, хотя и менее энергоэффективные, тахиэнергетики царили на суше. Все началось с протомлекопитающих — терапсид, появившихся ближе к концу палеозоя. Терапсиды вымерли в начале мезозоя (в этой группе животных выжили только млекопитающие, в ту пору сравнительно мелкие), и в течение следующих 150 миллионов лет на смену им пришли не низкоэнергетические динозавры, а такие динозавры, которые смогли быстро увеличить свой и без того немалый уровень освоения кислорода.

Необычная респираторная система птиц настолько эффективна, что некоторые пернатые умеют летать не ниже самолетов. Однако эволюция создавала эту систему не для полета. Дело в том, что конструкции скелета, позволявшие управляться с легкими, сделанными по принципу воздушного мешка, впервые возникли у нелетающих динозавров-авепод для вполне сухопутных целей (некоторые исследователи, пусть и далеко не все, полагают, что фактором отбора здесь стал низкий уровень содержания кислорода в атмосфере Земли). Так что основы «птичьей» энергетики появились не у кого-нибудь, а у хищных динозавров. Далеко не сразу эти особенности стали использоваться для настоящего полета. Точно так же и двигатель внутреннего сгорания изначально был разработан не для полетов, однако позже позволил человеку внедрить такие устройства в самолетостроение.

СЛОЖНОСТЬ ИЗ ПРОСТОТЫ

БРЮС ХУД

Директор Бристольского центра когнитивного развития (Бристольский университет); автор книги *The Self Illusion: How the Social Brain Creates Identity* («Самообман. Как социализированный мозг формирует личность»)

Как ученый я имею дело со сложными поведенческими и когнитивными процессами, но мое любимое «глубокое и изящное объяснение» взято не из психологии (которая редко бывает изящной), а из математической физики. Готов поручиться, что теорема Фурье обладает куда большей простотой и при этом куда большей применимостью, чем многие другие широко известные научные объяснения. Выразим ее упрощенно: любой сложный объект или процесс, будь то во времени или в пространстве, можно описать в виде серии перекрывающихся синусоидальных волн различной частоты и амплитуды.

Я впервые столкнулся с теоремой Фурье, когда работал в Кембридже над диссертацией о развитии зрения. Там-то я и познакомился с Фергусом Кэмпбеллом, который в 1960-е годы продемонстрировал, что теорема Фурье не только позволяет элегантейшим образом анализировать сложные визуальные объекты и процессы, но является корректной и с биологической точки зрения. Это открытие позже позволило заложить основу для разработки многообразных математических моделей зрения. Но зачем ограничиваться в нашем анализе лишь зрением?

В сущности, любое сложное физическое явление можно свести к синусоидам с их математической простотой. Неважно, о чем идет речь: о «Звездной ночи» Ван Гога, моцартовском «Реквиеме», духах «Шанель № 5», роденовском «Мыслителе» или салате «Вальдорф». Любой сложный объект или процесс в окружающем нас мире можно перевести в нейронный рисунок, который, в свою очередь, можно

разложить на множество синусоид, соответствующих проявлениям нейронной активности.

Может быть, я в чем-то даже завидую физикам. Процитирую лорда Кельвина: «Теорема Фурье... не только один из красивейших плодов современного анализа, но и незаменимый инструмент в разрешении почти всякого запутанного вопроса сегодняшней физики»¹. Трудно удостоиться более высокой похвалы.

¹ Treatise on Natural Philosophy (Cambridge: Cambridge University Press, 1879), 54.

РАССЕЛОВА ТЕОРИЯ ОПИСАНИЙ

Э. К. ГРЕЙЛИНГ

Философ, глава Нового гуманитарного колледжа (Лондон), преподаватель колледжа Святой Анны (Оксфорд); автор книги *The Good Book: A Humanist Bible* («Хорошая книга: библия гуманиста»)

Мой излюбленный пример изящной и вдохновляющей философской теории — теория описаний, предложенная Бертраном Расселом. Как позже выяснилось, она не является истиной в последней инстанции, однако она помогла проложить ряд весьма перспективных путей в исследованиях структуры языка и мышления.

По сути, главное в теории Рассела — идея о том, что под «поверхностными» формами языка кроется логически выверенная структура, которую можно выявить с помощью анализа. А обнаружив эту структуру, мы поймем, что же на самом деле говорим, каким убеждениям и верованиям на самом деле привержены, а кроме того, какие существуют условия истинности или ложности наших высказываний и убеждений.

Рассел часто иллюстрировал эту идею следующим примером. Допустим, фраза «Нынешний король Франции лыс» [*The present king of France is bald*] произносится в эпоху, когда никакого короля во Франции нет и в помине. Каким является высказанное утверждение — истинным или ложным? Можно ответить: ни тем, ни другим, ведь монарха во Франции нет. Но Расселу хотелось найти объяснение ложности данного утверждения, не отказываясь при этом от двузначной логики — иными словами, уникальную альтернативу истинности и ложности, выраженную как два и только два значения истинности.

Он постулировал, что в основе данного утверждения лежит конъюнкция трех утверждений (более «основополагающих» с логической точки зрения):

а) существует нечто, обладающее свойством «быть французским королем»;

- б) в данный момент времени существует лишь один такой объект (вот почему в английском языке перед ним ставится определенный артикль «the»);
- в) этот объект обладает еще одним свойством — плешивостью.

Рассел считал, что соответствующий логический предикат первого порядка можно непротиворечивым образом выразить в следующей форме (для упрощения я убрал некоторые скобки):

$$(Ex)Kx \ \& \ [(y)Ky \rightarrow y = x] \ \& \ Bx.$$

Словами это выражается так: «Существует x такое, что оно является K ; при этом (для любого y) если y является K , то y и x идентичны (так на языке логики объясняется смысл артикля «the», предполагающего уникальность); при этом x является B (где K значит «обладает свойством быть королем Франции», а B значит «обладает свойством быть лысым»). E здесь означает «существует...» или «существует по крайней мере один...», а (y) означает «для всех» или «всякий».

Из этого видно, что для нашего утверждения есть две возможности оказаться ложным: либо нет такого x , чтобы x являлось K , либо такой x есть, но он не лыс. Оставаясь в рамках двужначности и обдирая утверждение до его логического костяка, Рассел подарил человечеству то, что Фрэнк Рамсей удачно назвал «философским эталоном».

Для неисправимых скептиков, презирующих философию, все это, конечно, выглядит как буря в стакане воды (или, по ливанской поговорке, попытка «утонуть на мелком месте»). Но на самом деле это великолепный пример философского анализа, весьма плодотворный подход, который в дальнейшем породил работы в самом широком спектре областей, от трудов Витгенштейна и Уилларда Куайна до многочисленных исследований в области философии языка, лингвистики, психологии, когнитивистики, кибернетики, теории искусственного интеллекта.

ФЕЙНМАНОВСКИЙ СПАСАТЕЛЬ

ТИМО ХАННЕЙ

Исполнительный директор отдела цифровых наук
издательства *Macmillan Publishers Ltd.*, бывший
издатель *Nature.com*, соучредитель *SciFoo*

Мне хотелось бы предложить не только какое-то единичное объяснение, но и целое обрамление для него. Речь идет о лекциях Ричарда Фейнмана по квантовой электродинамике, которые он читал в Оклендском университете в 1979 году и которые наверняка можно отнести к числу самых лучших лекций в истории науки.

Начнем с того, что сама эта теория необычайно глубока, поскольку имеет дело с поведением и взаимодействиями наиболее фундаментальных (по-видимому) частиц — фотонов и электронов. При этом она объясняет гигантский спектр явлений — от отражения, преломления и дифракции света до структуры и поведения электронов в атомах и вытекающих из этого химических свойств вещества. Возможно, Фейнман и преувеличивал, когда утверждал, что квантовая электродинамика объясняет вообще все явления на свете, «за исключением разве что радиоактивности и гравитации», но это лишь небольшое преувеличение.

Приведу маленький пример. Всем известно, что свет распространяется по прямой — кроме тех случаев, когда он этого не делает: скажем, когда он входит в стекло или воду не под прямым углом. Откуда это «кроме»? Как объясняет Фейнман, свет всегда избирает путь, который позволит ему преодолеть расстояние от одной точки до другой за минимальное время. Наш лектор использует аналогию со спасателем, который бежит по пляжу, чтобы спасти тонущего человека. (Спасатель в данном случае — Фейнман, а тонет, разумеется, красивая девушка.) Спасатель может пробежать по прямой к кромке воды и затем по диагонали поплыть вдоль берега в открытое море, но тогда он больше времени проведет плывя, а ведь плывет человек медленнее,

чем бежит по пляжу. С другой стороны, он может подбегать к воде в точке, которая ближе всего к купальщице, и плыть уже оттуда. Но тогда общее расстояние, которое ему придется преодолеть, будет слишком большим. Оптимальная стратегия (если его цель — добраться до девушки как можно скорее) лежит где-то между этими двумя крайностями. Свет также выбирает маршрут, при котором он затрачивает наименьшее время на путь от одной точки до другой, вот почему он преломляется при прохождении через границу сред (двух различных материалов) [если только не падает на эту границу под прямым углом].

Далее Фейнман сообщает, что на самом деле это неполное утверждение. Используя так называемую *формулировку квантовой теории через интегралы по траекториям* (хотя сам лектор избегает столь неуклюжего термина), он объясняет, что в действительности свет путешествует по *всем* возможным маршрутам между двумя точками, однако большинство из этих маршрутов «гасят» друг друга, и в результате нам кажется, что луч проходит лишь по одному маршруту — тому, что характеризуется наименьшим временем. Оказывается, точно так же можно объяснить, почему не встречающий препятствий луч света (как и все прочее) распространяется по прямой. Это настолько фундаментальное явление, что наверняка мало кто считает, будто оно вообще нуждается хоть в каком-то объяснении. Хотя на первый взгляд разработка соответствующей теории кажется нелепой тратой научных сил, такая теория дает полезные результаты, сводя к минимуму произвольность — настоящий бич науки.

Мои дилетантские попытки кратко изложить это объяснение, быть может, создают впечатление, что речь идет о каком-то потаенном знании. На самом же деле еще одна причина восхититься им — в том, что оно поражает почти невероятной простотой и интуитивной понятностью. Даже я, бывший биолог, не разбирающийся в физике, вынес из этих лекций не смутное ощущение, что некие ученые где-то открыли что-то новенькое, а твердую убежденность, новую концепцию реальности, ощущение, что этой концепцией я спокойно могу поделиться с окружающими. В науке такие переживания вообще редки, а уж в абстрактном, заумном

мире квантовой физики они практически не встречаются. Главной причиной такой доходчивости стало введение своего рода визуального языка (знаменитых фейнмановских диаграмм) и почти полный отказ от зубодробительного математического аппарата (тот факт, что вращающиеся векторы, играющие центральную роль в этой теории, на самом деле являются представлением комплексных чисел, кажется едва ли не случайностью). Хотя мир, который рисует эта теория, видится нам совершенно незнакомым, он — на свой странный лад — наполнен смыслом.

ГРАНИЦЫ ИНТУИЦИИ

БРАЙАН ИНО

Художник, композитор, музыкант, продюсер, участник групп *U2*, *Coldplay*, *Talking Heads*, сотрудничал с Полом Саймоном

Иногда мы склонны полагать, будто идеи и ощущения, рожденные нашей интуицией, по сути своей «выше» тех, к которым мы пришли с помощью разума и логики. Интуицию, «нутряное чутье», превозносят как эдакого «доброто дикаря» нашего сознания, бесстрашно рассекающего педантичную паутину рассудка. Особенно подвержены такому убеждению люди творческие, ибо они основную часть времени работают исходя из интуиции. Но кое-какие примеры из личного опыта заставляют меня усомниться в этом мнении.

Для начала обратимся к вопросу, который любил задавать своим студентам Витгенштейн. Допустим, у вас есть лента, которой вы хотите обернуть Землю по экватору (будем считать нашу планету идеальным шаром). К сожалению, вы завязали ленту слабовато, и она оказалась на метр длиннее, чем нужно. Вопрос: если вы сумеете равномерно распределить этот лишний метр так, чтобы лента чуть парила над поверхностью Земли, на каком расстоянии от ее поверхности она окажется?

Интуиция большинства людей подскажет им ответ: «Какие-то ничтожные доли миллиметра». Однако правильный ответ — почти 16 см. По собственному опыту могу заключить, что *интуитивно* к этой величине оказываются близки лишь представители двух профессий — математики и портные. Мне же верный ответ представляется чем-то невероятным. Я узнал об этой задаче, учась в художественном вузе, и провел чуть ли не весь вечер за расчетами, проверяя и перепроверя ответ: моя интуиция оскорбленно вопила, не веря этой цифре.

Несколько лет спустя, в Сан-Франциско, в интерактивном музее «Эксплораториум» моя интуиция получила еще

один удар. Я впервые увидел компьютерную демонстрацию «Жизни» Джона Конвея. Если кто не знает, это простенькая сетка, в которой расположены точки, ведущие себя по простым и строгим правилам. Эти правила определяют, какие точки останутся жить, какие погибнут, а какие породят себе подобных. Никаких фокусов, никаких творческих изысков, лишь элементарные правила. Вся система кажется до того примитивно-прозрачной, что от нее не ждешь никаких сюрпризов. На самом же деле сюрпризов тут возникает множество. Сложность и «природоподобность» эволюции таких узоров, состоящих из точек, полностью обманывает ожидания и предсказания. В самом начале вы меняете положение всего одной точки — и вся история разворачивается совершенно по-другому. Внесите крошечное изменение в одно из правил — и произойдет взрывной рост популяции точек или же мгновенный Армагеддон. При этом интуиция не позволяет вам заранее угадать, что случится с популяцией точек — процветание или быстрая гибель.

Эти два примера с большим изяществом демонстрируют мне следующее:

- а) «детерминистский»¹ не значит «предсказуемый»;
- б) наша интуиция плохо помогает нам разбираться во взаимодействии простых правил и начальных условий (более того, человеческий мозг может изначально быть ограничен в своей способности интуитивно постигать некоторые вещи — скажем, квантовую физику или теорию вероятностей);
- в) интуиция — не какой-то псевдомистический глас извне, вещающий через нас, а лишь своего рода быстрая и неряшливая обработка нашего предшествующего опыта (вот почему портные, давая ответ на вопрос о Земле и ленте, оказались столь сообразительными). Этот прибор обработки информации способен иной раз выдавать впечатляющие результаты с астрономической скоростью. Однако следует помнить: полученные результаты могут оказаться совершенно неверными.

¹ Детерминистский подход — такой, при котором из одной или нескольких причин вытекает единственное возможное следствие. Его противоположность — вероятностный подход. — *Прим. перев.*

МЕХАНИЗМ ХИГГСА

ЛИЗА РЭНДАЛЛ

Физик (Гарвардский университет); автор книги *Knocking on Heaven's Door: How Physics and Scientific Thinking Illuminate the Universe and the Modern World* («Стучась в небесную дверь: как физика и научное мышление открывают тайны Вселенной и современного мира»)

По большому счету, красота науки — в отсутствии у нее субъективности. Так что вопрос «Какое у вас любимое глубокое, красивое и элегантное объяснение?» может смутить настоящего ученого: для него объективные слова здесь — лишь «какое», «у», «вас», «или» и (в идеальном научном мире) «объяснение». Красота и изящество, конечно, играют роль в науке, но отнюдь не являются арбитрами истины. Впрочем, я готова признать, что простота (которую часто путают с изяществом) иной раз может служить полезным критерием «объяснительной силы» теорий и гипотез.

Но если все-таки отвечать на вопрос без уверток, то я выберу объяснение, которое кажется мне совершенно очаровательным и относительно простым и которое даже, пожалуй, можно проверить не более чем за год. Это механизм Хиггса, названный в честь физика Питера Хиггса, который его и описал. По всей видимости, механизм Хиггса отвечает за массы элементарных частиц, подобных электрону. Если бы электрон обладал нулевой массой (как фотон), он бы не соединялся с другими частицами, образуя атомы, и никакие структуры в нашей Вселенной не возникли.

Так или иначе, экспериментальное измерение масс элементарных частиц показало, что эти массы не равны нулю. Проблема лишь в том, что они нарушают фундаментальную структурную симметрию, которая, как нам известно, присутствует в физическом описании частиц: если считать, что элементарные частицы обладают массой с самого начала, теория будет предсказывать абсурдное поведение частиц с околосветовой скоростью и высокой энергией: к примеру,

она будет давать вероятности взаимодействия, превышающие единицу.

Так что здесь кроется серьезная загадка. Это и пытаются разъяснить механизм Хиггса. Мы еще до конца не знаем, действительно ли он в ответе за возникновение массы у элементарных частиц, но пока никто не нашел другого удовлетворительного объяснения.

Механизм Хиггса можно попробовать понять, рассуждая в категориях так называемого спонтанного нарушения симметрии, которое само по себе, по-моему, идея весьма красивая. Симметрия в таких случаях нарушается благодаря реальному состоянию природного объекта, а не под действием законов физики. К примеру, вы сидите за обеденным столом и пьете из бокала, который стоит справа от вас, точно так же поступают и все ваши сотрапезники. В этом смысле обеденный стол симметричен: и справа, и слева от вас имеется бокал. Однако каждый выбирает правую емкость, тем самым спонтанно нарушая симметрию «право — лево», которая иначе наблюдалась бы за столом.

Природа ведет себя сходным образом. Физические законы, которые описывают объект, именуемый полем Хиггса, следуют природной симметрии. Однако реальное состояние поля Хиггса эту симметрию нарушает. При низкой энергии частиц оно обретает определенное «значение». Это исчезающее поле Хиггса чем-то сродни электрическому заряду, распространяющемуся в вакууме (вакуум — состояние, при котором в данной части Вселенной нет никаких реальных частиц). Частицы приобретают свои массы, взаимодействуя с этими «зарядами». Поскольку это значение поля возникает лишь при низких энергиях частиц, они, в сущности, обладают массами лишь при таких энергиях, так что парадокс масс элементарных частиц, похоже, успешно разрешен.

Имейте в виду, что в физике частиц так называемая стандартная модель работала и работает превосходно, хотя мы пока и не знаем, корректен ли предложенный Хиггсом механизм. Более того, нам не нужно знать о механизме Хиггса, чтобы выяснить, что частицы имеют массы, и делать многие успешные предсказания в рамках стандартной модели. Однако механизм Хиггса играет важнейшую роль

для разработки приемлемой теории того, как эти массы возникают. Успех стандартной модели иллюстрирует другую красивую идею, имеющую принципиальное значение для всей физики: речь идет о понятии «эффективной теории». Идея всего лишь в том, что вы можете полностью сосредоточиться на измеряемых количественных величинах, делая прогнозы, и оставить проблемы понимания этих количественных величин на потом, когда вы освоите более точные методы измерений.

К счастью, такое «потом» уже наступило для механизма Хиггса или, по крайней мере, для его простейшего варианта, где задействована частица, получившая название «бозон Хиггса». Большой адронный коллайдер в ЦЕРНе, расположенный близ Женевы, дал ответ, существует ли такая частица. Теперь, когда бозон Хиггса обнаружили, можно провести измерения его количественных характеристик и выяснить, подтверждает ли он базовые ожидания или более сложные гипотезы, существующие в рамках механизма Хиггса. Бозон Хиггса поможет продемонстрировать корректность механизма Хиггса и даст нам представление о том, какая структура отвечает за спонтанное нарушение симметрии и распространение «заряда» в вакууме. Мало того, бозон Хиггса можно будет отнести к новому типу частиц (это будет, по терминологии некоторых физиков, фундаментальный бозон), в каком-то смысле он будет проявлением нового типа взаимодействий. Все это может показаться очень уж затейливыми и эзотерическими рассуждениями. Однако они кажутся мне (и большинству физиков-теоретиков) красивыми, глубокими и изящными.

Симметрия — штука грандиозная. Как и ее нарушение. Многие аспекты физики частиц сначала казались уродливыми, а с годами приобрели элегантность. Субъективность в науке возможна не только на уровне академических сообществ, но и на уровне отдельных специалистов. И даже эти отдельные специалисты нередко меняют свое мнение с течением времени. Вот почему так важно проводить эксперименты, пускай и весьма сложные: куда легче интерпретировать их результаты, чем понять природу красоты.

СОЗНАНИЕ МЫСЛИТ ВОПЛОЩЕННЫМИ МЕТАФОРАМИ

СИМОНА ШНОЛЛ

Директор Кембриджской лаборатории изучения практических когнитивно-эмоциональных проблем, преподаватель факультета социальной психологии и психологии развития (Кембридж)

Философы и психологи уже довольно долго пытаются разобраться в одной фундаментальной проблеме: откуда в нашем мозгу возникают смыслы? Если наши мысли представляют собой манипуляцию абстрактными символами, подобно тому как компьютеры обрабатывают нули и единицы, каким же тогда образом столь абстрактные знаки превращаются в осмысленные когнитивные образы? Эту проблему обработки символов сейчас уже в значительной мере разрешили. Многочисленные открытия, сделанные когнитивистами, дают возможность предположить, что мозг вообще не превращает поступающую информацию в абстрактные символы. Напротив, наши повседневные впечатления и ощущения принимаются в их собственной форме, специфичной для данной разновидности чувственного восприятия (зрения, слуха и т. п.), и затем служат строительным материалом для формирования мыслей.

Британские философы-эмпирики (скажем, Локк или Беркли) давно понимали, что познание по сути своей опирается на восприятие. Но после когнитивной революции 1950-х годов психологи стали рассматривать компьютер как самую подходящую модель для изучения сознания. Теперь-то нам известно, что мозг действует не как компьютер. Его главная работа — не в том, чтобы накапливать или обрабатывать информацию. Напротив, его первоочередная функция состоит в том, чтобы управлять действиями основного придатка мозга — нашего тела. Таким образом, сейчас в науке постепенно набирает обороты новая револю-

ция. По мнению некоторых, она должна положить конец господству нынешней формы когнитивистики, породив новую, преобразенную разновидность когнитивной науки — материальную когнитивистику.

Основная идея новой науки — в том, что сознание мыслит воплощенными (конкретными) метафорами. Первыми эту концепцию начали продвигать лингвисты (например, Джордж Лакофф). За последние годы социопсихологи провели немало корректных экспериментов, дающих убедительные доказательства этой точки зрения. Но это еще не всё: существует и обратная связь. Поскольку мышление ориентировано на практические действия, многие идущие в организме процессы подают сигналы нашему сознанию, чтобы оно, в свою очередь, дало толчок новым действиям.

Обратимся к недавним находкам, касающимся одного из базовых пространственных понятий — вертикальности. Поскольку перемещение в пространстве — общеизвестное физическое действие, такие понятия, как «вверху» или «внизу», для человека являются интуитивно понятными. Полученное на опыте представление о вертикальности служит отличной основой для понимания абстрактных идей — скажем, относящихся к сфере морали: добродетельность для нас — «верх», греховность — «низ». Хорошие люди зачастую обладают «высокими помыслами» и представляют собой «вершины духа», тогда как люди дурные нередко ведут «низменную жизнь» и находятся «на дне общества». Исследование, проведенное недавно Брайаном Мейером, Мартином Селлбомом и Дастином Вайгантом, показало, что участники эксперимента способны быстрее распознавать «высокоморальные понятия», когда те представлены в контексте «верха», а «аморальные понятия» — когда те представлены в контексте «низа». Следовательно, нравственные критерии человек интуитивно соотносит с вертикальностью. Однако Мейер и его коллеги обнаружили, что люди, не умеющие распознавать моральную норму (то есть психопаты), такой эффект не демонстрируют¹.

¹ «Failing to take the moral high ground: Psychopathy and the vertical representation of morality», *Personality & Individual Differences* 43, 757–767 (2007).

Люди не только располагают «вверху» все хорошее и высоконравственное: они склонны думать также, что Бог находится вверху, а Дьявол — внизу. Более того, правители представляются находящимися выше по отношению к тем, над кем они парят и над кем они осуществляют контроль: это показано в работе Томаса Шуберта¹. Все эмпирические доказательства указывают на то, что в сознании человека действительно существует понятийная вертикаль, как в буквальном, так и в переносном смысле. Эта вертикаль вынуждает сознание «смотреть снизу вверх» на существующую власть: такое явление глубоко укоренено в нашем практическом опыте восприятия вертикальности (и вертикали власти).

Вертикальность влияет не только на представления человека о благом, нравственном или божественном. Движение в пространстве по вертикали может влиять и на наши поступки в области морали. Лоуренс Санта, Эдвард Чен, Пол Мицели и Кристьян Лундберг недавно показали, что манипулирование месторасположением человека в вертикальном измерении делает его более «высокоморальным», приближая к «вершинам духа». Ученые обнаружили, что покупатели в торговом центре, только что поднявшиеся на эскалаторе, более склонны опускать деньги в ящик для сбора пожертвований, чем те, кто на эскалаторе спустился. Точно так же участники эксперимента, посмотревшие фильм с видом сверху (полет над облаками, снятый из окна самолета), затем проявляли более значительную склонность к сотрудничеству, чем те, кому показали фильм с менее «возвышенными» видами — всего лишь из окна автомобиля. Таким образом, восприятие себя «на высоте» побуждало людей к более высоконравственным действиям².

Ширящееся понимание того, что из воплощенных метафор выстраивается повседневный язык сознания, привело к развитию принципиально новых способов изучения того, как человек мыслит. Например, исходя из предположения,

¹ «Your highness: Vertical positions as perceptual symbols of power», *J. Personality & Soc. Psychol.* 89, 1–21 (2005).

² «Rising Up to Higher Virtues: Experiencing Elevated Physical Height Uplifts Prosocial Actions», *J. Exp. Soc. Psychol.*, 47:2, 472–476 (2011).

что человеческое сознание функционирует подобно компьютеру, психологи надеялись понять, как люди мыслят, путем наблюдения за тем, как они играют в шахматы или запоминают случайную подборку слов. С точки зрения материальной когнитивистики ясно, что такие попытки были изначально обречены на неудачу. Становится все более очевидным, что познавательные операции у любого существа (в том числе у людей) должны быть направлены на адаптацию к физическому окружению, преодоление физических препятствий, которые ставит перед нами среда. В рамках этого процесса воплощенные метафоры служат строительными элементами восприятия, познания и действия. Весьма простая и элегантная идея.

МЕТАФОРЫ СОДЕРЖАТСЯ В СОЗНАНИИ

БЕНДЖАМИН К. БЕРГЕН

Адъюнкт-профессор когнитивистики,
Калифорнийский университет в Сан-Диего

Я занимаюсь лингвистикой, и в моей сфере за последние столетия возникло несколько объяснений, коренным образом меняющих научный ландшафт. Одно из них — объяснение того, как язык меняется с течением времени. Другое — объяснение того, почему все языки обладают некоторыми общими характеристиками. Но мое любимое — то, что когда-то и побудило меня заняться изучением проблем языка и сознания. Я имею в виду объяснение сущности метафоры.

Если внимательно посмотреть, как мы используем язык, можно обнаружить следующее. Многие из того, что мы произносим, является выражениями метафорическими: мы говорим о каких-то вещах так, словно это что-то другое. Мы описываем политические кампании как бега: «Сенатор Джонс обскакал своего конкурента и вырвался вперед». Мы рассуждаем о нравственности в категориях чистоты: «Он проделал грязный трюк». А понимание для нас во многом относится к области зрительного восприятия: «Эта находка проливает свет на структуру Вселенной».

Люди давно знали о существовании метафор. Однако до конца XX века почти все соглашались с определением метафоры, которое аккуратно сформулировал еще Аристотель. Метафору воспринимали как чисто лингвистический инструмент, своего рода броскую игру слов, когда вы просто именуєте один предмет названием другого, похожего. Возможно, именно такую дефиницию метафоры вам преподавали в старших классах на уроках родного языка. Из этого подхода следует, что вы можете сказать «Джулия — наше солнышко» лишь в том случае, если Джулия и Солнце похожи: к примеру, если они оба очень ярко сияют.

Однако в своей книге 1980 года *Metaphors We Live By* («Метафоры, которыми мы живем») Джордж Лакофф и Марк Джонсон предложили объяснение, наносящее серьезный удар этой банальной мудрости. Они рассуждали так: если метафора — всего лишь «свободно плавающий» лингвистический инструмент, в основе действия которого лежит сходство, тогда вы должны бы иметь возможность метафорически описать все что угодно, сравнивая объекты со всем, на что они похожи. Но Лакофф и Джонсон обнаружили, что реально используемый метафорический язык чужд такой произвольности. Напротив, ему свойственна систематичность и внутренняя логика.

Систематичность проявляется в том, что вы не просто метафорически уподобляете что-то чему-то (неважно что и неважно чему, было бы сходство). Обычно вы описываете абстрактное, уподобляя его конкретному. Так, нравственность абстрактнее чистоты (в прямом — гигиеническом — смысле слова «чистота»). Понимание абстрактнее зрительного восприятия. Кроме того, метафоры нельзя обратить. Можно сказать «Он чист», имея в виду чистоту перед законом и отсутствие судимостей, но нельзя сказать «Он высоконравственен», имея в виду, что человек недавно принял ванну. Метафора — вещь однонаправленная.

Кроме того, метафорические выражения согласуются друг с другом. Существует множество связанных метафорических выражений: скажем, «Я вижу, к чему вы клоните», «Давайте лучше осветим этот вопрос» или «Не помешало бы рассмотреть идею детальнее и понять, есть ли в ней смысл» — и т. п. Хотя это совершенно разные выражения и в них используются разные слова, все они согласуются друг с другом в том смысле, что все они соотносят некоторые стороны понимания с определенными аспектами зрительного восприятия. Того, кто обладает пониманием, вы в таких случаях всегда описываете как видящего, сам акт понимания — как процесс зрительного восприятия, доступность идеи — как зрительную воспринимаемость (видимость) объекта и т. п. Иными словами, те аспекты зрительного восприятия, которые вы используете, говоря об аспектах понимания, как бы зафиксированы на мысленной карте друг относительно друга.

Эти наблюдения заставили Лакоффа и Джонсона предположить, что в метафоре кроется нечто глубже слов. Они заявили, что метафорические выражения, используемые в языке, представляют собой лишь некое поверхностное явление, организуемое и формируемое такими вот «картами», которые складываются в сознании человека. По мнению Лакоффа и Джонсона, метафорический язык существует и является систематичным и внутренне логичным именно потому, что человек мыслит метафорически. Вы не просто на словах уподобляете понимание зрительному восприятию: вы и думаете о понимании как о зрительном восприятии. Вы не просто говорите о нравственности как о чистоте: вы и думаете о нравственности как о чистоте. Именно благодаря тому, что вы мыслите метафорами (поскольку систематически наносите определенные идеи на карту, которая складывается у вас в сознании), вы и разговариваете метафорами. Так что метафорические выражения — лишь, выражаясь метафорически, верхушка айсберга.

Это поистине универсальное объяснение. Оно элегантно, поскольку разъясняет сложные и запутанные явления в более простых выражениях: речь идет о структурном «картографировании» двух понятийных зон сознания. Оно масштабно, так как охватывает не только метафорический язык, но и многое другое. Так, недавние работы в области когнитивной психологии показали, что люди мыслят метафорами даже в отсутствие метафорического языка как такового (привязанность представляется теплотой, нравственность — чистотой). Это понятийно-метафорическое объяснение позволяет предположить, что мы воспринимаем абстрактные понятия вроде «привязанности» или «нравственности», как бы нанося их на внутреннюю карту, где уже нарисованы более конкретные понятия. Если же говорить о практическом применении данной концепции, то она породила большое количество исследований в целом ряде разнообразных областей. На ее основе лингвисты документально подтверждали богатство метафорического языка и изучали его особенности по всему миру, психологи проверяли свои предсказания касательно человеческого поведения, а нейрофизиологи изучали физическую подоплеку функционирования мозга. И наконец, понятийно-метафо-

рическое объяснение способно перевернуть наши научные представления: оно расправляется с общепринятой идеей о том, что метафора является всего-навсего лингвистическим инструментом, действующим по принципу сходства. В одно мгновение это объяснение позволило нам пересмотреть плоды более чем двухтысячелетних размышлений человечества. Это не значит, что понятийно-метафорическая гипотеза полностью лишена недостатков или что она — последнее слово в изучении метафор. Но это объяснение (если вы позволите мне использовать такую метафору) отбрасывает громадную тень.

ПРИНЦИП ГОЛУБЕЙ И ЯЩИКОВ

ДЖОН КЛЕЙНБЕРГ

Тишевский профессор информатики Корнелльского университета (участник программы Тишевской школы искусств Нью-Йоркского университета); автор книги *Networks, Crowds and Markets: Reasoning About a Highly Connected World* («Сети, толпы и рынки. Рассуждения о чрезвычайно взаимосвязанном мире») (совместно с Дэвидом Изли)

Некоторые математические факты создают такое впечатление, будто содержат в себе какую-то спрессованную силу. Поначалу, при первом знакомстве, они выглядят невинно, однако кажутся ошеломляющими, когда вы наблюдаете их в действии. Один из самых потрясающих примеров — так называемый принцип голубей и ящиков (принцип Дирихле).

Вот в чем его суть. Предположим, стая голубей садится на группу деревьев, причем голубей больше, чем деревьев. Тогда после того, как все голуби опустятся на ветки, по меньшей мере на одном из деревьев окажется больше двух голубей. [О «ящиках» в названии идет речь, так как они часто фигурируют в описании принципа вместо деревьев.]

Этот принцип кажется очевидным, каковым он и является. Голубей попросту слишком много, так что каждый из них не может иметь собственное дерево. Если бы история на этом и кончалась, непонятно было бы, отчего столь тривиальный факт заслужил такое внимание. Но чтобы по-настоящему оценить сей голубиный принцип, не помешает ознакомиться с некоторыми вещами, которые можно проделывать с его помощью.

Давайте перейдем к гораздо менее самоочевидному факту. Само по себе утверждение, которое мы сейчас приведем, весьма интригующе, однако еще более интригует та легкость, с которой оно выводится из принципа голубей и ящиков. Вот вам факт: на вашем фамильном древе (будем рассматривать лишь его участок, отвечающий последним

четырем тысячам лет) есть два человека, назовем их А и В, причем А является предком матери В и одновременно предком отца В. Иными словами, на вашем фамильном древе имеется своего рода петля: две ветки, растущие вверх от В, сходятся к А, то есть среди ваших предков есть родительская пара, состоящая из кровных родственников — благодаря их сравнительно недавнему общему предку А.

Здесь следует упомянуть о некоторых важных вещах. Во-первых, «вы» из предыдущего параграфа — это именно вы, читатель. Да, одно из любопытных свойств приведенного факта состоит именно в том, что я могу сделать такое утверждение, даже не зная, кто вы. Во-вторых, это утверждение не основывается ни на каких предположениях насчет человечества как биологической общности или географических превратностей его истории. Вот все допущения, которые мне нужны:

1. У каждого человека двое биологических родителей.
2. Ни у кого не появляются дети после 100 лет.
3. Человечеству не менее 4 тысяч лет.
4. За последние 4 тысячи лет на Земле жило в общей сложности не больше триллиона человеческих существ. (На самом деле ученые предполагают, что за всю историю человечества на Земле существовало, по приблизительным оценкам, около 100 миллиардов человек. Я на всякий случай увеличил эту оценку на порядок.)

Все четыре допущения намеренно сделаны как можно более непротиворечивыми. Немногочисленные исключения из первых двух условий и еще более значительная оценочная величина в четвертом условии приведут лишь к самым небольшим изменениям в нашей аргументации.

Вернемся к вам и вашим пращурам. Начнем рисовать ваше генеалогическое древо на 40 поколений в прошлое: вы, ваши родители, их родители и т. п., на 40 шагов назад. Поскольку каждое поколение, как правило, живет не больше 100 лет, последние 40 поколений на вашем фамильном древе все разместятся в прошедших четырех тысячах лет. (Собственно, они почти наверняка займут всего 1000–1200 лет, но помните, что мы всеми силами стараемся избежать возможных внутренних противоречий.)

Создание вашего генеалогического древа можно уподобить вычерчиванию «организационной схемы» — скажем, когда требуется отыскать людей для определенного набора профессий или ролей. Иными словами, кто-то должен быть вашей матерью, кто-то должен быть вашим отцом, кто-то должен быть отцом вашей матери и т. п., восходя вверх по древу. Каждую из этих позиций назовем «ролью предка»: это своего рода профессия, существующая в вашей генеалогической схеме, и мы можем говорить о работе вне зависимости от того, кто ее выполняет. При движении вверх (в прошлое) по вашему фамильному древу первое поколение над вами имеет две роли предка, соответствующие двум вашим родителям. Второе поколение содержит четыре роли предка (две ваших бабушки и два ваших дедушки), третье — восемь ролей (все ваши прабабушки и прадедушки). При подъеме на каждый следующий уровень удваивается число ролей предков (вакансий, которые необходимо заполнить). Расчеты показывают, что 40 поколений требуют более триллиона ролей, и для каждой должен существовать исполнитель.

Тут-то и выходит на сцену принцип голубей и ящиков. Последние 40 поколений вашего генеалогического древа размещаются в последних четырех тысячах лет, а мы уже приняли как допущение, что в течение этого периода на Земле успел пожить триллион человек. А значит, ролей предков (таких ролей свыше триллиона) больше, чем людей, которые могли бы сыграть эти роли (таких людей не более триллиона). Что и подводит нас к решающему моменту рассуждения: по меньшей мере две роли среди ваших предков исполнял один и тот же человек. Назовем его (или ее) А.

Идентифицировав А таким способом, мы уже сделали основную часть работы. Теперь, начиная от двух различных ролей, которую А довелось сыграть среди ваших предков, давайте двинемся вниз по генеалогическому древу — в вашу сторону. Две линии, идущие вниз от А, должны впервые встретиться друг с другом в виде какой-то роли предка на более низком уровне древа. Эту роль исполняет В. Поскольку здесь эти две линии встречаются впервые, одна линия пришла к В через его (или ее) мать, а другая — через

его (или ее) отца. Иными словами, А — предок матери В и одновременно предок отца В, что и требовалось доказать.

Внимательно подумав над тем, как работает это рассуждение, можно прийти к некоторым важным выводам. Во-первых, в каком-то смысле оно скорее касается простых математических конструкций, нежели людей. Мы взяли ваше гигантское генеалогическое древо и попытались втиснуть его в последние четыре тысячелетия истории человечества. Оно слишком большое и не помещается, так что некоторым пришлось занять на этом древе более одной позиции.

Во-вторых, у этого рассуждения имеется, как называют это математики, неконструктивный аспект. Оно вовсе не дает вам рецепта для отыскания А и В на вашем фамильном древе, оно лишь убеждает вас в том, что такие А и В должны на нем существовать — и, в общем-то, не более того.

Наконец, мне приятно думать, что это — типичный эпизод из жизни принципа голубей и ящиков, а также и всех прочих негромких, но мощных утверждений, которые усеивают математический ландшафт: разрозненная компания недооцененных фактиков, которые, как может показаться, часто являются как раз в нужное время и без всяких видимых усилий наводят порядок в ситуации, которая иначе оставалась бы запутанной и неясной.

ЕЩЕ КОЕ-ЧТО О ПРИНЦИПЕ ГОЛУБЕЙ И ЯЩИКОВ

ЧАРЛЗ СЕЙФЕ

Профессор журналистики Нью-Йоркского университета, бывший автор журнала *Science*; автор книги *Proofiness: The Dark Arts of Mathematical Deception* («Непроницаемость: темное искусство математического обмана»)

Порой даже простой подсчет может поведать нечто значительное. Однажды, еще в конце 1990-х, будучи корреспондентом журнала *New Scientist*, я получил рекламное электронное письмо, воспевавшее какую-то необычайную компьютерную программу. В письме провозглашалось, что эта программа архивирования данных произведет настоящую революцию в цифровом мире, ибо она столь эффективна, что может сжать любой файл на 95% или больше, не потеряв при этом ни единого бита данных. Может быть, мой журнал не упустит шанс поведать миру об этом софте, который позволит хранить на жестком диске в 20 раз больше информации, чем раньше?

Нет, мой журнал не станет об этом рассказывать, решил я.

Подобный алгоритм сжатия информации не может существовать. Это алгоритмический аналог вечного двигателя. Этот софт — жульничество. Причина — принцип голубей и ящиков.

Принцип голубей и ящиков — по сути, простое правило счета. Если у вас имеется n голубей и вам удалось запихнуть их менее чем в n ящиков, это означает, что по меньшей мере один ящик будет содержать в себе более одной птицы. Очевидно до банальности, не правда ли? Однако этот принцип — весьма полезный и мощный инструмент. К примеру, представим себе, что компрессионный софт, о котором шла речь, соответствует рекламному описанию и сжимает каждый файл в 20 раз без потери информации. Таким образом,

каждый файл размером 2000 бит будет стиснут в какие-нибудь 100 бит, а при обращении алгоритма этот стобитный файл примет первоначальную форму, ничуть при этом не пострадав.

Сжимая файлы, вы волей-неволей натываетесь на принцип голубей и ящиков. Ведь общее количество 2000-битных голубей намного, намного больше (их 2^{2000} , если быть точным), чем 100-битных ящиков (их 2^{100}). Если алгоритм позволяет полностью втиснуть первое во второе, это означает, что по меньшей мере один ящик должен содержать более одного голубя. Возьмем этот ящик (этот 100-битный файл) и попробуем обратить алгоритм сжатия, расширив этот файл до его исходной 2000-битной формы. Это не удастся сделать! Поскольку существует множество 2000-битных файлов, каждый из которых окажется сжатым в *один и тот же* 100-битный файл, алгоритм не сумеет определить, какой из этих 2000-битных файлов — истинный оригинал, так что компрессию будет невозможно обратить.

Принцип голубей и ящиков кладет непреодолимый предел возможностям компрессионных алгоритмов. Такие алгоритмы действительно способны успешно (без потери информации при распаковке) сжимать некоторые файлы, иной раз весьма значительно, однако все файлы так сжимать нельзя — во всяком случае, если вы настаиваете на идеальном сохранении данных.

Подобного рода «пересчет» открывает перед исследователями обширные горизонты. Немецкий математик Георг Кантор использовал разновидность обратного принципа голубей и ящиков, дабы показать, что действительные числа невозможно упаковать в ящики, предназначенные для целых чисел (по одному ящику на каждое число), хотя целых чисел бесконечно много. Отсюда следовал труднообразимый вывод: существуют различные уровни бесконечности. Бесконечность целых чисел ничтожна по сравнению с бесконечностью действительных чисел, которая, в свою очередь, смехотворно мала по сравнению с еще одной бесконечностью, а та — по сравнению с еще одной бесконечностью... бесконечное число бесконечностей, которые останутся неисследованными, пока мы не научимся как-то их считать.

Применение принципа голубей и ящиков к исследованию глубин космоса приводит к еще более странным умозаключениям. Один из физических принципов, так называемый принцип голографической ограниченности, гласит: для каждого конечного объема пространства существует лишь конечное число возможных конфигураций массы и энергии. Если, как склонны полагать космологи, Вселенная бесконечна, то в ней существует бесконечное количество объемов пространства размером с видимую вселенную — гигантских космических пузырей, содержащих материю и энергию. Если пространство более или менее гомогенно (однородно), то в пузыре, где мы с вами обитаем, нет ничего такого уж особенного и уникального. Из всех этих допущений, взятых в совокупности, следует ошеломляющий вывод. Бесконечность количества таких пузырей размером со вселенную при конечном числе конфигураций вещества и энергии в каждом означает, что существует даже не одна точная копия нашей Вселенной (и нашей Земли). Согласно космической версии принципа голубей и ящиков, существует бесконечное количество копий каждой (строго выражаясь, «почти каждой»: для этого выражения имеется точное математическое определение) из возможных вселенных. Мало того, что существует бесконечное количество ваших собственных копий на этом бесконечном количестве планет Земля, есть и бесконечное количество вариаций на ту же тему: вы с хватательным хвостом, вы с несколькими головами, вы как профессиональный жонглер хищными кроликоподобными зверьками, получающий драгоценности для украшения одежды в уплату за демонстрацию своего искусства. Как видите, даже простой счет «раз, два, три...» способен привести к причудливым и неожиданным результатам.

ПОЧЕМУ В ПРОГРАММАХ ВСТРЕЧАЮТСЯ БАГИ

МАРТИ ХЁРСТ

Кибернетик, факультет информации Калифорнийского университета в Беркли; автор книги *Search User Interface* («Пользовательские поисковые интерфейсы»)

На протяжении всей истории программирования мы то и дело сталкиваемся с неприятной реальностью: никто из специалистов не знает, как создавать программы, заведомо свободные от ошибок.

Почему мы не можем в программировании быть так же успешны, как в других областях техники? Возможно, наиболее романтичным мыслителем из всех, кому следовало бы адресовать такой вопрос, является Фредерик Брукс, автор книги *The Mythical Man-Month* («Мифический человек-месяц»). (Если обратить внимание на то, что эта книга со столь неудачным названием, как бы подразумевающим, что «человек» — это лишь «мужчина», man, впервые вышла в 1975 году, легче игнорировать сквозящий в ней сексистский душок: утверждения, которые Брукс сделал 4 десятка лет назад, почти все верны и на сегодняшний день, за исключением того, что программист — не всегда «он», как пишет Брукс, — бывает и «она».)

Делясь с читателями радостями программирования, Брукс пишет:

Программист, как и поэт, работает, почти вплотную соприкасаясь с веществом чистой мысли. Он строит замки в воздухе и из воздуха, создавая их лишь силой собственного воображения. Мало есть творческих инструментов столь гибких, столь удобных для перестройки и отладки, столь готовых к воплощению придуманных нами грандиозных конструкций... И при этом само творение-программа, в отличие от строк поэта, вполне реально в том смысле, что оно движется и работает, давая зримые результаты, отдельные

и отличные от собственно конструкции. Программа распечатывает данные, рисует чертежи, издает звуки, двигает манипуляторами. В наше время магия легенд и мифов воплотилась в жизнь.

Но у этой магии есть своя оборотная сторона:

Во многих видах творческой деятельности средство исполнения не очень-то податливо и надежно. Древесина расщепляется, краска размазывается, электрические цепи дают короткое замыкание. Эти физические ограничения, присущие средству или материалу исполнения, сдерживают и выражение идей, создают непредвиденные трудности в их воплощении и развитии.

...Между тем программист творит с помощью невероятно податливых средств. Он созидает новое из чистого мысленного вещества — идей и их весьма гибких представлений. А поскольку средство податливо, мы ожидаем лишь незначительных трудностей при воплощении наших мыслей; отсюда наш упорный оптимизм. Баги возникают из-за того, что сами наши исходные идеи имеют погрешности; вот почему наш оптимизм не очень-то оправдан.

Существует почти бесконечное число способов сложить слова в статью. Невообразимо велико и количество различных программ, которые можно написать для выполнения одной и той же функции. Вселенная возможностей слишком уж широка, слишком уж неограниченна, так что ошибки в ней неизбежны.

Есть и другие немаловажные причины программных ошибок. В первую очередь следует вспомнить о взаимодействующих друг с другом независимых системах, сопряжение которых зачастую дает непредсказуемый результат на выходе, причем на этом результате нередко сказываются еще более непредсказуемые действия людей, соединенных между собой во всемирную сеть. Но, на мой взгляд, самое красивое из объяснений — как раз насчет ничем не скованного вещества мысли.

УЗОРЫ В ЧЕСТЬ КЕЙДЖА

ХАНС-УЛЬРИХ ОБРИСТ

Куратор галереи *Serpentine* (Лондон); автор книг *Ai Weiwei speaks* («Говорит Ай Вэйвэй»), *Project Japan* («Проект “Япония”») и многих других

В искусстве название работы может часто служить ее первым объяснением. В этой связи особенно показательными мне представляются названия произведений Герхарда Рихтера. В 2006 году, когда я заглянул к Рихтеру в его кельнскую студию, он только что закончил цикл из шести взаимосвязанных абстрактных картин под общим названием «Кейдж».

Между полотнами Рихтера и композициями Джона Кейджа есть много общего. В книге, посвященной циклу «Кейдж», Роберт Сторр отмечает, что еще в 1963 году Рихтер посетил выступление Кейджа на дюссельдорфском фестивале «*Festum Fluxorum Fluxus*», и прослеживает аналогии в творческих процессах двух мастеров. Кейдж часто применял в своих композициях «метод случайности»: наиболее известно использование им для этих целей Книги Перемен. В своих абстрактных картинах Рихтер также намеренно вводит элемент случайности. Иной раз он наносит масляную краску на холст при помощи специальных больших шпателей, скребков и валиков. Цвет краски он выбирает сам, но тот след, который устройство оставит на холсте, в значительной мере зависит от случайных факторов. Подобное обращение к «управляемой случайности» роднит искусство Кейджа и Рихтера. Кроме того, у Рихтера само название «*Sage*», (в переводе с английского — *клетка*) несет и зрительные ассоциации: в своей совокупности эти шесть полотен кажутся чем-то герметичным, почти непроницаемым. Так что название имеет разные смысловые пласты.

Аналогии с творчеством Кейджа можно найти не только в абстрактных картинах Рихтера, но и в других его работах. Так, его книга «Узоры» — моя любимая среди всех вы-

шедших в 2011 году. В ней описывается проведенный Рихтером эксперимент: изображение со своего «Абстрактного полотна» [CR: 724-4] он разделяет на вертикальные полосы: сначала на 2, затем на 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 и, наконец, на 4096 и 8190 полосок. Разумеется, в ходе этого процесса получают всё более узкие полоски. Затем полоски зеркально отражаются и дублируются, что приводит к огромному разнообразию узоров. Результат — 221 узор. Все они напечатаны в виде 246 книжных разворотов. В своих «Узорах» Рихтер задает жесткие правила, однако он не манипулирует результатом, так что получающиеся изображения опять же являются плодом взаимодействия четко выстроенной системы и случайности.

«Узоры» — лишь одна из многих выдающихся арт-книг, которые Рихтер сделал за последние годы. В их числе — «Лес» (2008), а также более давний «Лед» (1981), куда включены удивительные фотографии из его путешествия в Антарктиду, расположенные особым образом. В этих книгах серии фотографий прослоены пустым пространством, напоминающим паузы в музыке. Рихтер сам признался мне, что такая структура книги навеяна «музыкой, Кейджем и молчанием».

В 2007 году Рихтер спроектировал 20-метровой высоты витраж для южного трансепта (поперечного нефа) Кельнского собора. «Окно для Кельнского собора» состоит из 11 тысяч сделанных вручную квадратиков стекла 72 оттенков, навеянных палитрой оригинальных средневековых витражей, уничтоженных во время Второй мировой войны. Раскраску половины квадратиков задал генератор случайных чисел, вторая же половина стала их зеркальным отражением. Таким образом, Рихтер снова сознательно выпустил из рук жесткий контроль над художественным процессом, подчинив индивидуальную волю творца силам, которыми он не может управлять. «Совпадения только приносят пользу, — говорил мне Рихтер, — поскольку они всегда значимы — и когда их просто допускаешь, и когда их подчеркиваешь, и даже когда их устраняешь».

Недавно в Хальберштадте состоялось исполнение кейджевской пьесы «ORGAN² / ASLSP». Аббревиатура «ASLSP» расшифровывается как «as slow as possible» — «как

можно медленнее». Кейдж не дал иных уточнений к этой инструкции, так что каждое исполнение этого произведения должно поневоле отличаться от других. Если исполнять пьесу целиком, процесс займет 639 лет. Медленность этого кейджевского творения играет важнейшую роль для нашего нынешнего времени. С развитием глобализации и Интернета все процессы разогнались до скорости, при которой не остается времени на их критическое осмысление. А значит, кейджевское «Медленное движение» как бы советует нам не спешить с обдумыванием решений и применять подход, более ориентированный на местные особенности. Эта идея неспешности — одна из многих сторон кейджевского творчества, которые делают его наследие сегодня весьма актуальным.

Рихтеровское емкое название «Sage» можно развернуть до пространной интерпретации его цикла (да и других его работ), однако эта краткая форма, по сути, уже содержит в себе всё необходимое. Название, как и объяснение какого-нибудь явления природы, словно бы раскрывает тайны художественных произведений Рихтера, описывая их соотношение с одной из центральных фигур в культуре XX века — Джоном Кейджем, которого сближает с Рихтером постоянное обращение к великим темам случайности, неопределенности, зыбкости.

ИСТИННАЯ ВРАЩАТЕЛЬНАЯ СИММЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА

СЕТ ЛЛОЙД

Профессор квантовомеханической инженерии
Массачусетского технологического института; автор книги
Programming the Universe («Программируя Вселенную»)

Нижеследующее глубокое, изящное и красивое объяснение истинной вращательной симметрии пространства дал ныне покойный Сидни Коулмен перед своими гарвардскими студентами-старшекурсниками. Это объяснение производится в виде физического опыта, который вы можете проделать сами. Однако при всей своей элегантности объяснение трудно выразить словами и физически трудно произвести как опыт. Возможно вам потребуется несколько раз потренироваться. Итак, укрепитесь духом и приготовьтесь: вам предстоит лично испытать, что такое истинная вращательная симметрия пространства!

По сути, законы физики основаны на разного рода симметриях, и одна из важнейших — вращательная симметрия пространства. Максимальной вращательной симметрией среди всех объектов обладает сфера. Так что возьмем шар — скажем, футбольный или баскетбольный мяч, причем на каком-то участке его поверхности должна иметься надпись, значок, логотип или что-нибудь в этом роде. Раскрутим шар вокруг любой оси. Вращательная симметрия пространства подразумевает, что форма шара инвариантна по отношению к вращению. Более того, если на поверхности сферы есть метка и вы поворачиваете сферу на 360° , в результате эта метка вернется в исходное положение. Можете попробовать сами. Держите мяч обеими руками и поверните его на 360° , пока метка не вернется на место.

Вы скажете, что это не так уж трудно. Но дело в том, что пока вы еще не продемонстрировали истинную вращательную симметрию пространства. Для этого нужны более тон-

кие ухищрения. Пусть мяч покоится у вас на одной руке, в чуть вогнутой ладони, обращенной вверх. Ваша цель — вращать сферу так, чтобы ладонь оставалась обращенной кверху. Это сложнее, но Майкл Джордан умеет проделывать такую штуку, сумеете и вы.

По стадиям:

Держа ладонь обращенной кверху, вращайте мяч «внутри», в сторону вашего тела. После поворота на 90° (четверть полного оборота шара вокруг собственной оси) мяч уютно угнездится у вас под мышкой.

Продолжайте вращение в том же направлении, по-прежнему держа кисть руки ладонью вверх. После поворота на 180° (половина полного оборота) ваша рука вынуждена протянуться назад, чтобы мяч по-прежнему оставался у вас на ладони.

Вращение продолжается. При 270° (это три четверти полного оборота) ваша рука нелепо вывернута, и мяч едва удерживается на ладони.

В этот момент вам может показаться, что довернуть мяч на последние 90° до полного оборота не удастся. Но если вы все-таки попытаетесь это сделать, то обнаружите, что можете продолжать вращение мяча так, чтобы ладонь по-прежнему оставалась обращенной кверху: для этого вам придется поднять руку, согнув ее в локте так, чтобы участок от кисти до локтя был обращен вперед. Мяч совершил полный оборот — на 360° . Однако если вы сделали все правильно, то обнаружите, что вам пришлось для этого согнуть руку в самом мучительном и неудобном положении.

Чтобы уменьшить мучения, продолжайте вращать мяч — совершите оборот еще на 90° (четверть полного оборота), не забывая, что ладонь по-прежнему должна быть обращена кверху. Теперь мяч окажется у вас над головой, и болезненное напряжение в плече несколько ослабнет.

Наконец, подобно официанту, являющему клиентам поднос с главным блюдом, продолжайте движение, совершая остальные три четверти полного оборота: в итоге мяч вместе с вашей рукой окажутся в первоначальном положении (какое облегчение!).

Если вы сумели проделать все стадии трюка правильно и без травм, вы обнаружите, что траектория мяча походит

на изображенную в пространстве восьмерку или знак бесконечности (∞) и что траектория эта совершила не один полный поворот, а два. Таким образом, истинная симметрия пространства соответствует повороту не на 360° , а на 720° .

Хотя это упражнение может показаться пустой забавой или, в лучшем случае, мучительным элементом баскетбольной тренировки, тот факт, что истинная симметрия пространства подразумевает не однократное, а двукратное вращение, является весьма значимым для понимания природы физического мира на его наиболее микроскопическом уровне. Иными словами, из этого факта следует, что «шарики» (например, электроны), «привязанные» к некоей отдаленной точке посредством упругих деформируемых «струн» (скажем, линий магнитного поля), должны совершить двойной оборот, чтобы вернуться к своей исходной конфигурации. А если копнуть еще глубже, обнаружится, что такая природа сферической симметрии, требующая двойного вращения, приводит к тому, что два электрона, вращающиеся вокруг своей оси в одном и том же направлении, не могут находиться в одном и том же месте в один и тот же момент времени. В свою очередь, этот принцип исключительности лежит в основе стабильности материи. Если бы истинная симметрия пространства требовала лишь однократного вращения, все атомы вашего тела в кратчайшую долю секунды схлопнулись бы в ничто. К счастью, истинная симметрия пространства требует двойного оборота, и ваши атомы стабильны. Пускай этот факт утешает вас, когда вы будете прикладывать лед к измученному плечу.

ЗАКОН МУРА

РОДНИ БРУКС

Роботолог, почетный профессор Массачусетского технологического института; учредитель, председатель и технический директор компании *Heartland Robotics*; автор книги *Flesh and Mashines: How Robots Will Change Us* («Плоть и машины: как роботы изменят нас»)

Впервые закон Мура явился миру в четырехстраничной статейке 1965 года, написанной Гордоном Муром, в ту пору работавшим в *Fairchild Semiconductor*, а позже ставшим одним из основателей компании *Intel*. Его закон предсказывал, что число компонентов единичной интегральной схемы в ближайшее десятилетие увеличится с их тогдашнего количества, составлявшего примерно 2^6 , до приблизительно 2^{16} : иными словами, число компонентов будет ежегодно удваиваться. В основу его предсказания легли четыре эмпирические точки и точка нулевая: они отлично ложились на прямую, соответствующую логарифму количества компонентов единичной микросхемы в зависимости от календарного года. Позже *Intel* внесла поправку в закон Мура, заявив, что «количество транзисторов на интегральной схеме удваивается примерно каждые два года».

Закон Мура справедливо считается одной из основных движущих сил революции, которая произошла в информационных технологиях за последние полвека. Такое частое удвоение числа транзисторов позволило нашим компьютерам становиться вдвое мощнее, сохраняя прежнюю стоимость; при этом они могли хранить или отображать вдвое больше данных, быстродействие машин также удваивалось, они становились компактнее, дешевле и, вообще говоря, вдвое лучше, причем это удвоение шло словно бы по расписанию.

Но почему такое происходит? Ведь закону Мура не подчиняются ни автомобили, ни батарейки, ни одежда, ни пищевая промышленность, ни уровень политических дискуссий. Всё, кроме последнего, зримо усовершенствовалось благодаря влиянию закона Мура, однако ничто из перечис-

ленного не показало столь неутомимого экспоненциального улучшения.

Наиболее элегантное объяснение того, почему выполнение закона Мура оказалось возможным, состоит в том, что цифровая логика вся основана, по сути, на абстракциях, более того — на однобитной абстракции, сводящейся к ответу типа «да/нет», а такие абстракции независимы от своих физических носителей.

В мире, который целиком состоял бы из куч красного песка и куч зеленого песка, размер этих куч не имел бы особого значения. Куча либо красная, либо зеленая, и если убрать половину кучи, она все равно останется кучей красного или зеленого песка. Если же потом убрать половину от оставшейся половины и повторять эту процедуру вновь и вновь, уровень абстракции не изменится. А неоднократное уполовинивание, происходящее с постоянной скоростью, как раз и представляет собой экспоненциальное изменение.

Вот почему закон Мура соблюдается для цифровых технологий и не соблюдается для технологий, требующих физической силы или физического носителя, а также тех, где требуются затраты определенного количества энергии. Цифровые же технологии используют физику лишь для поддержки своих абстракций — и больше ни для чего.

Впрочем, тут есть и некоторые оговорки.

1. В своей статье Мур выражал сомнение, останется ли его предсказание верным и для линейных, а не цифровых, интегральных схем, указывая, что первые по своей природе «требуют хранения энергии в некотором объеме» и этот объем должен быть сравнительно большим.
2. Когда вы путем последовательного деления дойдете до кучи песка, содержащей лишь единственную песчинку, придется изменить технологию и задействовать какое-то другое физическое свойство, чтобы дать определение вашей абстракции. За последние 5 десятилетий такие изменения технологии происходили не раз, однако закон Мура продолжал выполняться.
3. Муровская идея не объясняет социологию применения его закона или того, что определяет константу времени удвоения, однако она объясняет, почему в этой сфере вообще возможно экспоненциальное изменение.

КОСМИЧЕСКАЯ СЛОЖНОСТЬ

ДЖОН К. МАЗЕР

Старший астрофизик Лаборатории космологических наблюдений Центра космических полетов НАСА им. Годдарда; автор книги *The Very First Light* («Самая первая заря»)

Как объяснить невероятную сложность наблюдаемого нами космоса во всех масштабах — от кварков до расширяющейся Вселенной? Мое излюбленное объяснение (имейте в виду, его придумал не я) состоит в следующем: фундаментальные законы физики порождают естественную нестабильность, энергетические потоки и хаос. Результат некоторые именуют Живой Силой, некоторые отмечают, что Земля сама по себе являет собой живую систему (Гея, эта «живучая стерва», как говаривала покойная Линн Маргулис), а некоторые приходят к выводу, что наблюдаемая нами сложность требует какого-то сверхъестественного объяснения (таких объяснений у нас множество). Но мой отец был статистиком (он занимался учетом молочных коров) и поведал мне о клетках, генах, эволюции и случайности еще в моем раннем детстве. Так что, на мой взгляд, ученому следует в поисках объяснений попытаться понять, как законы природы и статистика привели к тому, что мы сумели обрести сознательное существование. И как невероятные (казалось бы) события ухитряются постоянно происходить.

Что ж, физики располагают бесчисленными примерами естественной нестабильности, когда высвобождаемая энергия приводит к резкому переходу от простоты к сложности. Один из самых распространенных примеров — остывание паров воды ниже точки замерзания, в результате чего образуются снежинки: все они сложны и прекрасны, причем двух одинаковых снежинок не бывает. Мы часто их видим, поэтому данное явление нас не особенно удивляет. Но физикам довелось наблюдать так много разновидностей подобных переходов от одной структуры к другой (мы именуем

их фазовыми переходами), что в 1992 году среди кандидатов на Нобелевскую премию по физике рассматривались и специалисты, расширившие понимание математики общих свойств таких превращений.

А теперь несколько примеров того, как законы физики порождают нестабильности, которые, в свою очередь, стали причиной нашего собственного существования. Первый пример — Большой взрыв (недостаточно полное название!): судя по всему, он произошел именно из-за некоей нестабильности, когда «ложный вакуум», распадаясь, постепенно превратился в обыкновенный вакуум, который существует у нас во Вселенной сегодня, и в основные известные нам фундаментальные частицы — кварки и лептоны. Так что у истоков Вселенной как таковой лежала нестабильность. Затем произошло великое расширение и остывание, и свободные кварки, обнаружив, что они тоже являются нестабильными, соединились в сегодняшние «менее элементарные» (более сложные) частицы — протоны и нейтроны; при этом высвобождалась небольшая энергия и возникла сложность. Затем расширяющаяся Вселенная остыла еще немного, и нейтроны с протонами больше не удерживались врозь из-за колоссальных температур: они выяснили, что нестабильны, и образовали ядра гелия. Чуть-чуть дальнейшего остывания, и ядра атомов и электроны еще более сближаются; Вселенная становится прозрачной. Она остывает еще — и начинается следующая нестабильность: гравитация стягивает воедино вещество, разбросанное на космических расстояниях, и образует звезды и галактики. Эту нестабильность описывают как «отрицательную теплоемкость»: в таких случаях извлечение энергии из системы, которая находится под действием гравитации, делает ее лишь горячее. Получается, второе правило термодинамики здесь неприменимо. (Видимо, это физический вариант идеи э. э. каммингса¹ насчет «того чуда, что не дает слиться звездам».) Следующая нестабильность заставляет ядра водорода и гелия вступить в ядерную реакцию, высвобождая

¹ Инициалы и фамилию этого американского поэта принято писать со строчных букв, так как в значительной части его стихотворений прописные буквы принципиально не используются (как и знаки препинания). — *Прим. перев.*

энергию и заставляя звезды гореть в течение миллиардов лет. А когда топливо иссякает, звезды сами становятся нестабильными, взрываются и выбрасывают составляющие их химические элементы в космос. Благодаря таким явлениям на Земле и подобных ей планетах постоянный приток энергии поддерживает развитие дополнительных нестабильностей и всевозможных сложных систем и процессов. Гравитационная нестабильность загоняет наиболее плотные вещества в ядро Земли, оставляя тоненькую оболочку из воды и воздуха, и внутреннее содержимое нашей планеты неустанно бурлит, а теплота утекает вовне. Солнечное же тепло (основную его часть получают области на экваторе и рядом с ним, а затем оно распространяется к полюсам) поддерживает сложную систему атмосферных и океанических течений.

Благодаря всему этому Земля как физический объект представляет собой огромное количество природных химических лабораторий: где-то элементы концентрируются, где-то смешиваются, температура где-то растет, а где-то падает; природа неутомимо экспериментирует с бесчисленными событиями, где могут возникать новые нестабильности. Один из таких опытов — сравнительно недавно поставленный эксперимент под названием Жизнь. Теперь, когда нам известно, что планет не меньше, чем звезд, трудно представить себе, чтобы беспрестанное экспериментирование привело природу к созданию Жизни лишь на одной-единственной планете. Но пока мы точно не знаем, есть ли Жизнь где-то еще.

Дальше Жизнь развивалась, вызывая новые нестабильности, постоянно эволюционируя, порождая существ, обитающих в невероятно разнообразных природных средах, меняющих глобальную среду в ходе циклов «взрывной рост — взрывной спад», с хищниками, имеющимися для каждого вида добычи, с преступниками для каждого возможного преступления, с правительствами, которые должны бы предотвращать эти нарушения, и с нестабильностями в самих правительствах.

Одна из таких нестабильностей — то, что люди вечно требуют новых вооружений и всевозможных новых товаров, а это, в свою очередь, приводит к масштабным инве-

стициям в науку и технику. Поэтому природно-человеческий мир вечной конкуренции и борьбы, по сути, приобрел свою нынешнюю структуру, чтобы вырабатывать все более совершенное оружие и — все более продвинутые мобильные телефоны. Вот где мы очутились в 2010-х годах, когда люди пишут себе статейки и размышляют над тем, будут ли их потомки представлять собой искусственные формы жизни, отправившиеся в космос — колыбель жизни. Вот почему мы столько размышляем над тем, каково происхождение сил природы, давших начало всему на свете. Голландский физик-теоретик Эрик Верлинде полагает, что гравитация, то единственное физическое взаимодействие, которое пока сопротивляется нашим попыткам дать ему квантовое описание, являет собой не только фундаментальную силу, но и силу статистическую — как осмос.

Поразительный поворот! Но после всего сказанного здесь я бы этому совершенно не удивился.

ГИПОТЕЗА ГЕИ

СКОТТ СЭМПСОН

Палеонтолог, специалист по динозаврам; популяризатор науки; автор книги *Dinosaur Odyssey: Fossil Threads in the Web of Life* («Одиссея динозавров. Нити окаменелостей в паутине жизни»)

Готов биться об заклад, что самое глубокое и красивое научное объяснение — это так называемая гипотеза Геи, идея, согласно которой физические и биологические процессы, идущие на Земле, тесно переплетены друг с другом, образуя саморегулирующуюся систему. Эту концепцию придумал в 1965 году химик Джеймс Лавлок, а затем она получила дальнейшее развитие благодаря биологу Линн Маргулис. Согласно этой гипотезе, воздух (атмосфера), вода (гидросфера), земля (геосфера) и жизнь (биосфера) взаимодействуют, образуя единую эволюционирующую систему, способную самостоятельно поддерживать экологические условия, необходимые для существования жизни. Лавлок выдвинул гипотезу Геи, чтобы объяснить, каким образом жизнь на Земле смогла просуществовать почти 4 миллиарда лет, несмотря на то что за этот промежуток времени интенсивность свечения Солнца успела возрасти на 30%.

Как же работает гипотеза Геи? Лавлок и Маргулис продемонстрировали, что в отсутствие системы сознательного контроля и управления Гея применяет своего рода петли обратной связи для отслеживания и подстройки важнейших экологических параметров. Возьмем кислород, высококорректноспособный побочный продукт жизни, создаваемый водорослями и растениями в процессе фотосинтеза; они постоянно возобновляют его запасы в природе. В настоящее время в атмосфере содержится около 21% кислорода. Будь его на каких-нибудь несколько процентов меньше, существа, дышащие воздухом, не смогли бы выжить. Будь его на несколько процентов больше, экосистемы суши стали бы чересчур подверженными воспламенению. По гипотезе Геи, организмы, вырабатывающие кислород, ис-

пользуют контуры обратной связи для постоянного поддержания его необходимого уровня в этих узких рамках. Так происходит сотни миллионов лет.

Сходные умозаключения, подкрепленные растущим объемом научных данных, можно сделать и для иных компонентов атмосферы, а также для средней температуры на поверхности земли, солености океанской воды и других ключевых экологических параметров. Хотя в гипотезе Геи особо подчеркивается «кооперация» в масштабах всей биосферы, ученые зафиксировали множество случаев, когда кооперация на одном уровне может эволюционировать посредством конкуренции и естественного отбора на более низких уровнях. Серьезные ученые поначалу насмешливо называли радикальную идею Лавлока магией в духе сект «ню-эйдж», однако с годами представления Лавлока все шире включаются в традиционную систему научных взглядов, и ее основные элементы ныне зачастую преподаются в рамках «системной науки о Земле» (т. е. науки о Земле как о единой системе). Одним из своевременных уроков, который человечеству удалось извлечь из гипотезы Геи (по крайней мере, она сыграла тут некоторую роль), состоит в том, что усложнение хитросплетений паутины трофических отношений (пищевой сети), в том числе и рост разнообразия видов, имеет тенденцию способствовать экологической и климатической стабильности.

Так что, хоть Земля и находится в благодатной умеренной зоне (не слишком близко к Солнцу, но и не слишком далеко от него), триумф жизни на нашей «крошечной голубой точке» нельзя приписать лишь чистому везению. Сама жизнь напрямую приложила руку к тому, чтобы обеспечить собственное существование.

Наука еще не совсем приняла гипотезу Геи. Следует признать, что пока эта идея может считаться лишь неполным объяснением. Умозаключения, в изобилии рождающиеся на основе гипотезы Геи, зачастую, вне всякого сомнения, являются глубокими и красивыми. Они объединяют биосферу и процессы, идущие на поверхности Земли, в единую постоянно развивающуюся саморегулирующуюся систему. Но этому объяснению недостает третьей важной составляющей, названной в вопросе, который предложил нам в этом

году *Edge*: речь идет об изяществе. Гипотезе Геи не хватает математической точности и лаконичности эйнштейновской формулы $E = mc^2$. Пока еще не предложено никакой объединенной теории Земли и жизни, которая объяснила бы, почему жизнь скорее стабилизируется, нежели дестабилизируется.

Биолог-эволюционист Уильям Дональд Гамильтон однажды сравнил идеи Лавлока с открытиями Коперника, добавив, что мы по-прежнему ожидаем нового Ньютона, который сформулировал бы законы для этой грандиозной взаимосвязи, порой кажущейся чем-то невероятным. Сам Гамильтон с некоторых пор глубоко погрузился в поиски ответа на этот вопрос, разрабатывая компьютерную модель, которая вроде бы показывала, как биологические стабильность и производительность могут взаимосвязанно расти. Если бы не безвременная кончина, он бы сам мог стать Ньютоном наших дней.

Продолжает обсуждаться и возможное применение гипотезы Геи в более широком культурном контексте. Есть основания полагать, что наиболее серьезные перспективы — у вытекающего из этой гипотезы предположения о том, что Земля, рассматриваемая как единое целое, обладает многими качествами живого организма. Но действительно ли Гея является живой, подобно какой-нибудь единичной форме жизни, или же более корректно считать ее экосистемой размером с планету? Линн Маргулис весьма активно (и, на мой взгляд, убедительно) высказывалась в пользу последней точки зрения. Маргулис, чьи работы совершили настоящий переворот в эволюционной биологии, умерла в 2011 году. Всегда оставаясь ученым до мозга костей, она однажды заметила: «Гея — живучая стерва. Эта система больше трех миллиардов лет работала без людей. Поверхность планеты, ее атмосфера и прочие ее части будут продолжать развиваться и спустя долгое время после того, как исчезнут люди с их предрассудками».

Не споря с этой резкой оценкой, я все-таки черпаю значительно большее утешение в размышлениях, на которые вдохновляет гипотеза Геи. Решусь даже предположить, что эта идея, возможно, поспособствует изменению наших представлений о природе. С типично современной точки

зрения, природный мир — лишь немногим больше, чем просто набор практически неограниченных ресурсов, доступных для эксплуатации человечеством. Однако гипотеза Геи побуждает нас воспринимать земную природу как взаимосвязанное и конечное целое, из которого мы произошли и в которое мы, несмотря ни на что, по-прежнему полностью включены. Вот вам глубокая, красивая и перспективная идея, и она остро нуждается в широком пространстве.

УРАВНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОСТИ

ЛОУРЕНС СМИТ

Профессор географии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе; автор книги *The World in 2050* («Мир в 2050 году»)

Они вам уже знакомы — по крайней мере, в более доступной форме. Почти все слышали о законе сохранения массы (иногда вместо слова «масса» фигурирует «вещество») и, вероятно, о его спутнике — законе сохранения энергии. Эти законы говорят нам, что для явлений обычного, повседневного, «реального» мира (т. е. не квантового и не требующего описания в понятиях общей теории относительности) материя и энергия не могут возникать или бесследно исчезать, они лишь перетекают с места на место. Эта идея появилась еще у древних греков (если не раньше), получила четкую формулировку в XVIII веке (что стало мощным толчком к развитию современной химии) и в наши дни пронизывает практически каждый аспект естественных наук. Сохранение массы (или вещества) окончательно поставило крест на алхимических поползновениях найти способ превращения свинца в золото; сохранение энергии — причина того, почему невероятная мощь посоха волшебника Гэндальфа так поражает воображение бесчисленных поклонников «Властелина Колец».

Уравнения непрерывности выводят эти законы на важную новую ступень, давая четкое математическое выражение процессов сохранения и/или переноса массы (непрерывность массы) и энергии (непрерывность энергии) — в частности, при их перемещении из одного объема пространства в другой или из одного состояния в другое. Это не просто пара уравнений: они записываются во всевозможных формах, от очень простых до весьма сложных, дабы лучше представить физическое явление, которое они призваны описать в том или ином случае. Наиболее изящные их формы, обожаемые математиками и физиками, изоби-

луют тонкими подробностями, а следовательно, наиболее сложны. Классическим примером служит система уравнений Навье–Стокса (иногда их называют уравнениями Сен-Венана), помогающая понять движение жидкостей, ускорение их потоков и т. п. Красота уравнений Навье–Стокса в том, что здесь в явном виде разделены и отслежены во времени и пространстве масса, энергия и импульс. Однако на практике такая детализация приводит к тому, что решать эти уравнения трудно: требуются либо мощные компьютеры, либо всякого рода упрощающие допущения, применяемые к уравнениям.

Но широкая применимость уравнений непрерывности не ограничена их сложными формами, которые понятны лишь математикам да физикам. Так, лесоустроитель вполне может воспользоваться упрощенной формой уравнения непрерывности массы (так называемым уравнением массового равновесия), чтобы изучать свой лес, вводя в уравнение плотность посадок, количество и размер деревьев, определяя скорость приживания саженцев, вычитая уровень гибели деревьев и объем вывозимой древесины, чтобы узнать, возрастает, падает или остается стабильным общее количество биомассы леса. Конструкторы автомобилей часто применяют простые уравнения энергетического равновесия, когда им, к примеру, требуется создать гибридный электромобиль, способный накапливать кинетическую энергию тормозной системы. Никакая энергия здесь не возникает и не исчезает: она лишь переходит из одной формы в другую, в данном случае — от двигателя внутреннего сгорания, который получает ее от разрыва древних химических связей, которые некогда возникли благодаря реакциям фотосинтеза, которые произошли благодаря воздействию Солнца. Остальная энергия, не поглощенная тормозной системой, на самом деле, конечно же, не теряется: она передается в атмосферу в виде незначительного количества теплоты.

Главное допущение, лежащее в основе этих законов и уравнений, состоит в том, что масса и энергия в закрытой системе сохраняются. В принципе гибридный электромобиль удовлетворяет условиям энергетической непрерывности лишь в том случае, если потребление энергии просле-

дить с самого начала (от Солнца) до самого конца (рассеяния энергии в виде тепла, выбрасываемого в атмосферу). Для этого потребовались бы изнурительные расчеты, так что подобные процессы обычно рассматривают как происходящие в открытой системе. Точно так же и металлы, применяемые для производства автомобиля, удовлетворяют закону непрерывности массы, лишь если проследить их путь от источника (руды) до свалки. Такое отслеживание осуществить легче, а значит, подобное изучение пути ресурсов «от их колыбели до могилы» (которому придают огромное значение многие защитники окружающей среды) более совместимо с законами природы, чем наша нынешняя экономическая модель, склонная исходить из того, что такие потоки ресурсов имеют место в открытых системах.

Подобно автомобилю, наша планета с практической точки зрения представляет собой открытую систему по энергии и закрытую — по массе. (Хотя Землю по-прежнему бомбардируют метеориты, их вклад в увеличение ее массы пренебрежимо мал.) Первая особенность делает возможной жизнь на Земле. Без постоянной подпитки солнечной энергией жизнь, какой мы ее знаем, быстро пришла бы к концу. Внешний источник энергии все-таки требуется, поскольку, хотя энергию нельзя разрушить, она постоянно переходит в более «слабые», менее полезные формы, в полном соответствии со вторым началом термодинамики. (Взять хотя бы тормозные колодки гибридного электромобиля. Тепло, которое они выделяют, вряд ли может принести кому-нибудь ощутимую пользу.) Открытость этой системы носит двусторонний характер, поскольку Земля отправляет тепловую инфракрасную энергию обратно в космическое пространство. Это излучение мы не в состоянии увидеть невооруженным глазом, однако спутники, наделенные «зрением» в соответствующей области электромагнитного спектра, воспринимают Землю как ярко светящийся шар, во многом напоминающий Солнце.

Любопытно, что эта дихотомия «закрытость/открытость» — одна из причин невозможности понять до конца физику климатических изменений. Сжигая топливо, полученное из полезных ископаемых, мы выводим углерод («массу») из слоев, залегающих под поверхностью Земли

(но не слишком далеко от этой поверхности), где он практически не участвовал в общем энергетическом балансе планеты, в атмосферу, где он в этом балансе участвует. Можно считать доказанным, что изменение содержания уровня углерода в атмосфере влияет на энергетический баланс планеты. Физика этого явления известна еще с 1893 года благодаря шведскому ученому Сванте Аррениусу. Без углеродсодержащих и других парниковых газов наша планета была бы мрачной гибнущей глыбой, закованной в лед. Парниковые газы препятствуют этому, избирательным образом меняя энергетический баланс Земли в тропосфере (нижних километрах атмосферы), где сосредоточена основная часть газов, составляющих атмосферу. При этом может повышаться уровень теплового инфракрасного излучения, которое испускает Земля. Поскольку некоторая доля этой энергии направляется затем обратно к Земле, нижний слой тропосферы нагревается, чтобы достичь энергетического баланса. Так предписывает непрерывность энергии.

Однако непрерывность массы предписывает, чтобы атомы углерода нашей планеты пребывали с нами вечно. Вопрос в том, с какой скоростью и в каких масштабах нам извлекать углеродное сырье из земли. Физику природных ресурсов, климатические изменения и другие проблемы зачастую можно свести к относительно простым и элегантным уравнениям, да только у нас далеко не всегда имеются достаточно мощные и изощренные инструменты для того, чтобы провести в жизнь соответствующие решения.

ПАРИ ПАСКАЛЯ

ТИМ О'РЕЙЛИ

Основатель и генеральный директор компании
O'Reilly Media

В 1661 или 1662 году в своих «Мыслях» философ и математик Блез Паскаль сформулировал то, что позже вошло в историю под названием «Пари Паскаля». Речь идет о том, верить ли в Бога, если рассудок и наука не смогут дать определенный ответ на вопрос о Его существовании:

Вы попросту вынуждены заключить это пари. Иного пути нет. Вы вошли в игру. Что же вы изберете?... Потерять вы можете две вещи — истинную и благую; поставить на кон вы можете две вещи — ваш рассудок и вашу волю, ваше знание и ваше счастье; и ваша природа сторонится двух вещей — ошибок и тягот. Рассудок ваш не будет сильнее поражен, если он выберет что-то одно, так что вы обязаны совершить выбор. Итак, этот пункт уяснен. Но как же ваше счастье? Взвесим возможные выгоды и потери в том случае, если вы ставите на то, что Господь существует. Рассмотрим два исхода. Если вы выигрываете, получаете всё; если проигрываете, не теряете ничего. А значит, можно без колебаний ставить на то, что Он есть.

Хотя это предложение Паскаля выражено темным религиозным языком и посвящено религиозной теме, оно является собой один из первых и очень важных примеров использования теории принятия решений. Если обратиться к самой его сути и отринуть детали, выяснится, что оно дает простой и эффективный метод для рассуждений о таких современных проблемах, как, к примеру, изменения климата.

Чтобы начать действовать, нам не нужно быть стопроцентно уверенными, что худшие опасения климатологов справедливы. Нам достаточно лишь рассмотреть возможные последствия собственных заблуждений.

Представим себе на минутку, что антропогенных климатических изменений не происходит или же что их последствия не несут в себе угрозы, между тем мы уже вложили крупные средства в борьбу с таким воздействием человека на природу. Каков худший из возможных исходов? Допустим, чтобы справиться с изменениями климата, мы уже предприняли следующее:

1. Осуществили масштабное инвестирование в возобновляемые источники энергии. Это необходимо сделать срочно и без всякого глобального потепления: Международное энергетическое агентство сдвинуло прогнозируемое время «максимальной добычи нефти» на 2020 год, а это уже очень скоро. (Дальше общее количество доступной нефти начнет снижаться.)
2. Сделали инвестиции в новый потенциальный источник рабочих мест.
3. Усилили национальную безопасность, снизив свою зависимость от поступления нефти из враждебных или нестабильных регионов.
4. Снизили гигантские (официально толком не учитываемые) экономические потери от загрязнения окружающей среды. (Китай недавно оценил свои потери такого рода в 10% ВВП.) Сейчас мы десятками различных путей субсидируем применение топлива на основе полезных ископаемых, позволяя энергопроизводящим компаниям, автопроизводителям и т.п. не учитывать экологический ущерб в своей отчетности. К примеру, мы из государственных средств финансируем инфраструктуру для автомобилей, требуя при этом, чтобы частные железные дороги сами строили для себя инфраструктуру.
5. Обновили промышленную базу, инвестируя в новые виды производства, а не подпирая старые. «Климатические скептики» вроде Бьорна Ломборга любят говорить о затратах на борьбу с глобальным потеплением. Но эти затраты сродни тем «затратам», на которые пришлось пойти звукозаписывающим компаниям при переходе на цифру, или «затратам», которые пришлось понести традиционным газетам с развитием Интернета. Для уже существующих производств это действительно затраты, но при таких рассуждениях мы игнорируем возмож-

ности, которые открываются для новых производств, использующих ту или иную новую технологию. Пока мне никто не привел убедительных доказательств, что затраты на борьбу с изменениями климата не являются, в сущности, затратами на защиту старых производств.

А теперь предположим, что климатические скептики ошибаются. В результате мы оказываемся перед угрозой вынужденной миграции миллионов людей, засух, наводнений и других стихийных бедствий, перед угрозой гибели биологических видов и экономического ущерба, который еще заставит нас вспомнить старые добрые времена нынешнего финансового кризиса.

Изменения климата — современный вариант пари Паскаля. Если мы поставим на одно, худшим исходом будет создание более устойчивой экономики. Если же мы поставим на другое, худшим исходом будет форменный Апокалипсис. Короче говоря, лучше уж верить в изменения климата и действовать в соответствии с этой верой, даже если окажется, что мы ошибались.

Но я отвлекся. Собственно, приведенная мной иллюстрация и стала моим главным доводом. Пари Паскаля — не только для математиков или людей религиозных. Оно может служить полезным инструментом для каждого мыслящего человека.

ЭВОЛЮЦИОННО СТАБИЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ

С. АББАС РАЗА

Редактор-основатель 3quarksdaily.Com

Мой пример глубокого, изящного, красивого объяснения в науке — идея Джона Мейнарда Кейнса об эволюционно стабильной стратегии (ЭСС). Эта гипотеза «прямого действия» (в этом ее прелесть) не только объясняет всю совокупность биологических явлений, но и дает полезный эвристический инструмент для оценки правдоподобности различного рода гипотез эволюционной биологии — позволяя нам, скажем, с порога отмести неверные представления сторонников идей группового отбора, утверждающих, что индивидуальные альтруистические действия можно объяснить с точки зрения преимуществ, которые они приносят виду в целом. Идея Кейнса настолько перспективна, что даже объясняет вещи, которые я и не считал нуждающимися в объяснении — пока не встретился с таким объяснением.

Я представлю здесь лишь одно такое объяснение, чтобы показать мощь ЭСС. Хотя Смит разрабатывал концепцию ЭСС, задействуя (совместно с Дж. Р. Прайсом и Дж. А. Паркером) математический аппарат из теории игр, сам я попытаюсь объяснить суть его идеи, практически не используя математики.

Представим себе какой-нибудь распространенный вид животных — кошек, собак, беркутов или людей. Почему у всех таких видов практически равное количество мужских и женских особей? Почему не бывает так, чтобы 30% особей данного вида составляли мужские, а 70% — женские? Почему не бывает наоборот? Почему гендерное соотношение всегда составляет почти в точности пятьдесят на пятьдесят? Сам я никогда не задумывался над этим вопросом, пока не прочел изящный ответ на него.

Возьмем моржей. Они существуют в условиях обычного распределения полов поровну, однако большинство

моржей-самцов умирают девственниками, тогда как почти все моржихи спариваются. Небольшая доля моржей — доминирующие самцы — присваивает всех самок. Зачем же тогда все эти лишние самцы? Они пожирают пищу и другие ресурсы, но, с точки зрения единственной вещи, важной для эволюции, они бесполезны, ибо не размножаются. С точки зрения вида было бы куда лучше и эффективнее, если бы лишь небольшую долю моржей составляли самцы, а остальную часть составляли самки. Такой вид гораздо эффективнее расходовал бы свои ресурсы и, следуя логике сторонников концепции группового отбора, вскоре вытеснил бы существующие виды моржей с их неэффективным соотношением полов пятьдесят на пятьдесят. Почему же такого не произошло?

А вот почему. Популяция моржей (можете подставить в этот пример любой другой вид животных из упомянутых мною), где будет, скажем, 10% самцов и 90% самок (или другое соотношение, при котором самок и самцов неравное количество), не была бы стабильна в масштабах длинной череды поколений. Почему? В нашем примере, где в популяции 10% самцов и 90% самок, каждый самец порождает в среднем в 9 раз больше детей, чем каждая самка, ибо самец успешно спаривается в среднем с 9 самками. Представьте себе такую популяцию. Если вы в ней самец, то с эволюционной точки зрения для вас выгоднее производить больше сыновей, чем дочерей, поскольку каждый сын, как ожидается, будет давать примерно в 9 раз больше потомков, чем каждая из ваших дочерей. Чтобы внести некоторую ясность, проведем небольшой подсчет. Пусть средний морж-самец становится в течение своей жизни отцом 90 детей, причем (опять же, в среднем) лишь 9 из них — самцы, а остальные 81 — самки. При этом средняя моржиха становится матерью 10 моржат, лишь один из которых — самец, а остальные 9 — самки. Так?

Мы подходим к сути дела. Допустим, у одного из моржей-самцов происходит мутация (на протяжении большого количества поколений такое вполне может случиться), которая наделяет данного самца более значительным количеством Y-сперматозоидов (порождающих самцов) по сравнению с X-сперматозоидами (порождающих самок).

По описанной нами популяции этот ген будет распространяться подобно лесному пожару. На протяжении нескольких поколений все больше и больше самцов будут обладать геном, который заставляет их порождать больше мужского потомства, чем женского, и вскоре мы получим то же одинаковое количество особей мужского и женского пола, которое и наблюдаем в реальном мире.

Такое же рассуждение применимо и к самкам. Любая мутация у самки, заставляющая ее давать больше мужского потомства, чем женского (хотя пол детеныша определяется сперматозоидом, а не яйцеклеткой, существуют иные механизмы, которые могут влиять на гендерное соотношение у потомства самок), быстро распространится в популяции, и соотношение полов будет с каждым поколением все больше приближаться к равному. Собственно, всякое значительное отклонение от равного гендерного соотношения (если применить такое рассуждение) нестабильно с эволюционной точки зрения и благодаря случайным мутациям вскоре вернется к равному соотношению полов. Это лишь один пример объяснительной мощи ЭСС — глубокой, изящной и красивой.

ДИЛЕММА КОЛЛИНРИДЖА

ЕВГЕНИЙ МОРОЗОВ

Журналист, приглашенный специалист (Стэнфордский университет), преподаватель фонда «New America Foundation»; автор книги *The Net Dellusion: The Dark Side of Internet Freedom* («Интернет как иллюзия. Обратная сторона Сети»). М., Corpus, 2014)

В 1980 году Дэвид Коллинридж, малоизвестный ученый из британского Астонского университета, опубликовал весьма значимую книгу под названием *The Social Control of Technology* («Общественный контроль над технологией»), в которой сформулировал принцип, позже названной дилеммой Коллинриджа. Ее идея такова: знание воздействия той или иной технологии всегда мешает влиять на ее социальную, политическую и инновационную траекторию.

Коллинридж говорит, что мы можем успешно регулировать технологию, лишь когда она еще молода и непопулярна, а значит, пока от нас, судя по всему, еще скрыты ее неожиданные и нежелательные последствия. Мы можем подождать, чтобы воочию увидеть, какими же будут эти последствия, но тогда мы рискуем утратить контроль над регулированием этой технологии. Сам Коллинридж весьма красноречиво выразил это так: «Когда изменения внести легко, их необходимость невозможно предвидеть; а когда нужда в изменениях очевидна, такие изменения уже становятся дорогостоящими, трудноосуществимыми и отнимающими массу времени». Дилемма Коллинриджа — один из самых элегантных способов объяснить многие из запутанных этических и технологических проблем (скажем, использования самолетов-беспилотников или систем автоматического распознавания лиц), которыми заражен наш современный глобализированный мир.

ВСЁ ТАК, КАК ОНО ЕСТЬ, И ВСЁ?

БРЮС ПАРКЕР

Приглашенный профессор Центра исследования морских систем Стивенсовского технологического института, океанограф; автор книги *The Power of the Sea: Tsunamis, Storm Surges, Rogue Waves, and Our Quest to Predict Disasters* («Сила моря: цунами, штормы, волны-бродяги и наши попытки предсказания катастроф»)

Понятие *неделимого элемента вещества*, который невозможно раздробить дальше, знакомо человечеству не меньше 2,5 тысяч лет. Впервые его предложили древнегреческие и древнеиндийские философы. Демокрит назвал мельчайшую неделимую частицу вещества *атомом* (это как раз и означает «неделимый»). Атомы считались предметами простыми, вечными и неизменяемыми. Но в древнегреческой мысли (и, по большому счету, на протяжении еще примерно 2 тысяч лет) атомы проиграли 4 стихиям-первоэлементам Эмпедокла: огню, воздуху, воде и земле. Эти стихии также считались простыми, вечными и неизменяемыми, однако не состоящими из маленьких частиц. Аристотель полагал, что они бесконечно и неразрывно протяженные.

Дальнейшее развитие наших представлений о мире, основанных на идее атомов, произошло лишь в XVIII веке. На смену 4 первоэлементам Аристотеля пришли 33 элемента Лавуазье, который вычленил их с помощью химического анализа. Затем Дальтон использовал идею атомов для того, чтобы объяснить, почему элементы всегда реагируют друг с другом в целочисленных отношениях. Он предположил, что каждый элемент состоит из атомов определенного — и единственного — типа и что эти атомы могут связываться друг с другом, образуя химические соединения. Разумеется, к началу XX века (благодаря работам Томсона, Резерфорда, Бора и многих других ученых) человечество осознало, что атомы не являются неделимыми, а следовательно, не могут служить базовыми единицами материи. Стало ясно, что все атомы состоят из протонов, нейтронов

и электронов, которые и стали *неделимыми компонентами материи* — ее основными «кирпичиками».

То ли из-за того, что атомная модель Резерфорда–Бора теперь рассматривается как переходный этап в преддверии появления более сложных моделей, в основе которых лежит квантовая механика, то ли из-за того, что модель Резерфорда–Бора возникла не сразу, а стала результатом работы множества людей (и не представляла собой какой-то единичный красивый закон, предложенный учеными), мы как-то позабыли, какое большое количество явлений природы и ее объектов можно объяснить при помощи идеи протонов, нейтронов и электронов: вероятно, такого охвата не достигает ни одна другая теория. На основании свойств всего лишь трех этих основных частиц можно объяснить свойства 118 атомов (элементов) и свойства миллионов химических веществ, которые из этих атомов состоят. Поразительная универсальность, и она позволяет дать модели Резерфорда–Бора звание «моего любимого глубокого, изящного и красивого объяснения».

Со времен этого великого упрощения наши представления о Вселенной неустанно развивались, становясь более, а не менее сложными. Чтобы объяснить свойства трех основных частиц вещества, мы принялись искать «более основные» частицы. Выяснилось, что нам требуется 12 фермионов (6 кварков и 6 лептонов) для «объяснения» свойств 3 частиц, которые прежде считались фундаментальными (а также свойств некоторых других частиц: эти частицы оставались неизвестными нам, пока мы не построили ускорители с высокой энергией). Мы добавили в картину еще 4 частицы — носительницы взаимодействий, чтобы «объяснить» 4 фундаментальных типа силовых полей (электромагнитные, гравитационные, сильное и слабое ядерные взаимодействия), которые влияют на 3 частицы, раньше считавшиеся фундаментальными. Из этих 16 частиц (мы полагаем, что все они существуют) большинство нельзя наблюдать независимо (во всяком случае, при низких энергиях).

Даже если современная Стандартная модель в физике частиц окажется верной, все равно останется вопрос: «А что дальше?» Каждая частица, независимо от своего уровня в иерархии, имеет определенные свойства и характери-

ки. Когда нас спрашивают, почему кварки обладают определенным электрическим зарядом, «цветом», спином или массой, разве мы отвечаем: «Обладают — и всё»? Или мы пытаемся отыскать «еще более фундаментальные» частицы, которые, как нам представляется, объясняют свойства кварков, лептонов и бозонов? А если так, то означает ли это, что возможен поиск «еще более элементарных» частиц? И может ли такой процесс длиться вечно? Или же на каком-то этапе мы ответим на вопрос: «Почему эта частица обладает такими свойствами?» простым «обладает — и всё»? Настанет ли момент, когда нам придется сказать, что во Вселенной больше не осталось «почему?» и она такова просто потому, что такова?

На каком уровне иерархии нашего понимания Вселенной мы удовлетворимся таким ответом? Первый уровень (с наименьшим объемом понимания мира) — религиозный: олимпийские боги, каждый из которых отвечает за свое явление природы, или всеведущий монотеистический Бог, сотворивший мир и заставляющий все действовать непознаваемыми для человека средствами и способами. Аристотель и некоторые другие древнегреческие философы включали олимпийских богов (землей, водой, огнем и воздухом управляли отдельные божества) в свои теории устройства мира, однако Демокрит и его последователи были детерминистами и материалистами, поэтому искали в природе предсказуемый рисунок событий и объектов, простые строительные элементы. В ходе эволюции научного мышления встречается много различных эпизодов, сводящихся к максиме «Это так, потому что это так», когда объяснение или теория, кажется, словно бы заходит в тупик, пока не явится кто-нибудь, кто скажет: «Может, дело обстоит иначе» — и поможет дальнейшему развитию наших представлений о мире. Но когда мы обращаемся к наиболее фундаментальным вопросам насчет нашей Вселенной (и нашего собственного существования), ответ «Это так, просто потому что это так» становится более вероятным. Один из основополагающих вопросов науки — будут ли когда-нибудь найдены по-настоящему неделимые частицы вещества. Сопутствующий ему философский вопрос — *могут ли вообще* в природе существовать неделимые частицы.

На каком-то уровне следующая группа математически предсказанных «частиц» может показаться настолько ненаблюдаемой («нереальной»), что мы опишем эти частицы просто как компоненты математической модели, которая, как нам представляется, точно описывает наблюдаемые частицы *предыдущего* уровня. И тогда на вопрос, почему эти «новые» частицы ведут себя так, как описывает данная математическая модель, можно будет ответить лишь: «Ведут себя так — и всё». Насколько далеко мы зайдем с такими моделями, зависит, по всей видимости, от того, много ли новый уровень модели позволяет нам объяснить в наблюдаемых явлениях, прежде не получивших никакого объяснения, и удастся ли нам корректно предсказывать новые явления. (А может быть, нас остановит то, что модель станет чересчур сложной и громоздкой.)

Детерминистам, которых по-прежнему беспокоит вероятностная природа квантовой механики или философский вопрос о том, что было до Большого взрыва, осталось сделать всего один шаг и признать, что в нашей Вселенной есть по-настоящему неразрешимая загадка. Признать, но, быть может, все-таки не принять: нельзя исключить, что еще появится новая, куда более удачная модель, которая объяснит необъясненное.

ПОДРЫВАЯ ОСНОВЫ БИОЛОГИИ

ПАТРИК БЕЙТСОН

Профессор этологии Кембриджского университета;
автор книги *Design for a Life* («Конструкции для жизни»)

Два года назад я заново пересмотрел факты, касающиеся близкородственного скрещивания (инбридинга) породистых собак. Инбридинг может приводить к снижению репродуктивной способности и в смысле размера выводка, и в смысле жизнеспособности спермы, к нарушениям развития, падению рождаемости, росту младенческой смертности, уменьшению продолжительности жизни, более частому проявлению наследственных заболеваний, ослаблению иммунной системы. Иммунная система тесно связана с процессами удаления раковых клеток из здорового организма, и ее ослабление повышает риск развития злокачественных опухолей. Эти хорошо задокументированные для домашних собак случаи лишь подтверждают то, что и без того известно из наблюдений над популяциями многих видов диких животных. Неудивительно, что в природе существует целый ряд различных механизмов, снижающих вероятность инбридинга. Один из них — выбор незнакомых особей в качестве сексуальных партнеров.

Несмотря на все полученные доказательства, история оказывается более запутанной, чем представляется на первый взгляд, и объяснение происходящего обладает своеобразной красотой. Обычно инбридинг считается явлением нежелательным, однако в последние годы вокруг этой проблемы стали вестись дискуссии, углубляющиеся в куда более тонкие нюансы, чем прежде. Избавление от генов, оказывающих серьезное вредоносное воздействие, приносит очевидную пользу, а ведь именно такое избавление может происходить в популяции, где идет близкородственное скрещивание. При этом ауткроссинг (аутбридинг, скрещивание особей из разных линий), который обычно считается благотворным процессом, таит в себе возможность того, что

преимущества избавления от дурных генов будут перечеркнуты введением в популяцию новых вредоносных генов. Более того, популяция, успевшая адаптироваться к какой-то одной среде, может чувствовать себя в ней не очень-то комфортно после скрещивания с популяцией, приспособленной к другой среде. Так что между инбридингом и аутбридингом должно соблюдаться равновесие.

Когда особенности жизни вида требуют тщательного вскармливания потомства, будущий родитель прилагает огромные усилия к тому, чтобы спариться с лучшим из возможных партнеров. Этот партнер должен быть не слишком похож на вас, но и не слишком несхож с вами. Японские перепела обоего пола предпочитают двоюродных братьев или сестер в качестве партнера. Соответствующие исследования, проведенные зоологами, дают основания предположить, что оптимальная степень родства партнеров при спаривании — такая, которая наиболее выгодна для организма с точки зрения его репродуктивной успешности. Изучение популяции людей, населяющих Исландию, приводит к сходным выводам. У пар, являющихся четырех-юродными или пятиюродными братьями-сестрами, количество внуков больше, чем у партнеров, находящихся в более тесном или более отдаленном родстве. Многие факты из жизни людей и животных указывают на то, что выбор партнера зависит от впечатлений первых лет жизни: существа стремятся выбирать партнеров, которые несколько (но не слишком сильно) отличаются от знакомых им по детству существ, обычно (хотя и не всегда) являющихся их близкими родственниками.

Роль детских впечатлений при формировании сексуальных и социальных предпочтений вполне соответствует хорошо известному наблюдению, согласно которому люди, как правило, чрезвычайно лояльны по отношению к членам своей группы. Порой они даже готовы отдать жизнь, защищая тех, с кем себя идентифицируют. Однако при этом они могут проявлять убийственную агрессивность по отношению к незнакомым. Есть надежда, что такие теории (вкуче с меняющимися поведенческими моделями) помогут справиться с расизмом и нетерпимостью — бичом многих обществ. По мере того как представители разных стран

и носители разной этнической истории лучше знакомятся друг с другом, повышается вероятность того, что они будут обращаться друг с другом хорошо, особенно если знакомство начинается в раннем возрасте. Если знакомство приведет к браку, у такой пары может оказаться меньше внуков, но для нашей и без того перенаселенной планеты подобное развитие событий будет сущим благословением. Этот оптимистический принцип равновесия, в основе которого — знание о том, где проходит грань между инбридингом и аутбридингом, как будто подрывает основы биологии, однако, на мой взгляд, не лишен красоты.

ТКНУТЬ ПАЛЬЦЕМ В ГЕНДЕРНЫЕ РАЗЛИЧИЯ

САЙМОН БАРОН-КОЭН

Психолог, директор Центра исследования аутизма Кембриджского университета; автор книги *The Science of Evil: On Empathy and the Origins of Cruelty* («Наука о зле: эмпатия и происхождение жестокости»)

Все мы знаем, что мужские и женские человеческие особи отличаются ниже шеи, а сегодня ученые получают все больше свидетельств того, что и выше уровня шеи есть определенные различия. Изучение сознания показывает: у средней женщины быстрее развивается эмпатия; средний мужчина больше интересуется всякого рода системами и тем, как что работает. Эти различия — не столько в способностях, сколько в когнитивной манере и в рисунке интересов. Поспешим оговориться, что такие различия не должны становиться на пути достижения равных возможностей в обществе или равного представительства во всех сферах и областях, подобные политические и социальные проблемы не имеют ничего общего с научным наблюдением когнитивных несходств.

Изучение мозга также демонстрирует гендерные различия. К примеру, мозг среднего мужчины крупнее, чем у средней женщины (даже с поправкой на рост и вес), однако у средней женщины максимальное количество серого и белого вещества в мозгу достигается по меньшей мере на год раньше, чем у среднего мужчины. Есть разница и в количестве нейронов в неокортексе (новой коре головного мозга): у среднего мужчины их 23 миллиона, у средней женщины — 19 миллионов, 16% -е расхождение. Другие зоны мозга также демонстрируют гендерные различия. Так, у среднего мужчины более крупная мозжечковая миндалина (область, отвечающая за эмоции), а у средней женщины более крупная *planum temporale* (височная площадка) (языковая область). Рассуждая о гендерных различиях, в конечном счете мы хотим узнать, что же порождает эти различия.

Здесь-то я и нахожу некоторые глубокие, изящные и красивые объяснения.

Мое любимое касается эмбрионального тестостерона. Несколько лишних капель этого специфического вещества, похоже, оказывают «маскулинизирующее» действие на развитие мозга и сознания. Сия несложная идея принадлежит Чарлзу Финиксу и его коллегам по Канзасскому университету, выдвинувшим ее еще в 1959 году¹. В начале 1980-х Норман Гешвинд и Альберт Галабурда занялись этой теорией у себя в Гарварде. Это не единственный механизм маскулинизации (еще один связан с X-хромосомой), но именно его удалось изящным образом препарировать.

Однако ученые, исследующие обычные свойства эмбрионального тестостерона, иной раз прибегают к не очень-то этичным опытам на животных. К примеру, часть мозжечковой миндалины, именуемая срединным задним ядром (*medial posterodorsal nuclei*), у самцов крыс крупнее, чем у самок. Если кастрировать бедного самца крысы (тем самым лишив его главного источника тестостерона), ядро всего за 4 недели сожмется до женских размеров. Если же обратить эксперимент и вводить тестостерон крысе-самке, ее ядро увеличится до размеров, свойственных среднему самцу, за те же 4 недели.

Для людей мы ищем более этичные способы изучения того, как выполняет свою работу эмбриональный тестостерон. Можно измерять содержание этого гормона в околоплодных водах, окружающих зародыш в утробе. Тестостерон попадает в эту жидкость, поскольку какая-то его часть выводится плодом наружу и, как полагают, отражает содержание гормона в теле и мозге формирующегося младенца. Вместе с моими кембриджскими коллегами мы определили таким способом концентрацию тестостерона у еще не рожденных детей, а спустя 10 лет предлагали им (уже появившимся на свет и подросткам) пройти сканирование мозга с помощью магнитно-резонансной томографии. В недавней статье, которую опубликовал *Journal of Neuroscience*, наша группа, в частности, показала, что чем больше тесто-

¹ «Organizing Action of Prenatally Administered Testosterone Propionate on the Tissues Mediating Mating Behavior in the Female Guinea Pig», *Endocrinology* 65:3, 369–382 (1959).

стерона содержится в околоплодной жидкости, тем меньше серого вещества содержится в *planum temporale*¹.

Это согласуется с нашими более давними наблюдениями, согласно которым чем больше тестостерона в околоплодных водах, тем беднее словарь ребенка в двухлетнем возрасте². А это, в свою очередь, помогает раскрыть давнюю тайну — почему девочки, как правило, начинают говорить раньше мальчиков и почему пациенты-мальчики так непропорционально представлены в клиниках, куда помещают детей с отставанием речевого развития и другими речевыми расстройствами: оказывается, мальчики в утробе вырабатывают по крайней мере вдвое больше тестостерона, чем девочки.

Помогает это и разобраться в проблеме индивидуальных различий в темпах речевого развития у «типичных» детей независимо от пола: почему в двухлетнем возрасте у одних детей уже имеется огромный словарь (600 слов), а другие даже еще не начали говорить. Уровень эмбрионального тестостерона — вовсе не единственный фактор, влияющий на развитие речи: здесь также играет роль социальное воздействие (к примеру, первенцы обычно осваивают язык быстрее, чем последующие дети), однако именно тестостерон представляется ключевым элементом объяснения. Как показывают исследования, уровень эмбрионального тестостерона связан с целым рядом других гендерных свойств — от склонности к зрительному контакту до склонности к эмпатии, от способности проявлять внимание к мелочам до аутических черт.

Эмбриональный тестостерон как таковой заполучить непросто: меньше всего ученым хочется вмешиваться в delicate гомеостаз внутриутробной среды. В последние годы специалисты предложили своеобразный критерий для определения уровня зародышевого тестостерона — соотношение длины указательного и безымянного пальца (так на-

¹ Michael V. Lombardo et al., «Fetal Testosterone Influences Sexually Dimorphic Gray Matter in the Human Brain», *J. Neurosci.* 32:2, 674–680 (2012).

² S. Lutchmaya et al., «Foetal testosterone and vocabulary size in 18- and 24-month-old infants», *Infant Behavior & Development*, 24:4, 418–424 (2002).

зываемое «отношение 2D:4D»). В среднем в человеческой популяции у мужчин это отношение ниже, чем у женщин. По-видимому, оно задается еще в утробе и остается постоянным на протяжении всей жизни человека. Так что исследователям больше незачем придумывать изощренные способы определения уровня тестостерона непосредственно в утробе. Они могут просто взять ксерокопированное изображение кисти руки человека (ладонью вниз), полученное в любой момент жизни, и таким способом опосредованно оценить уровень внутриутробного тестостерона в ту пору, когда этот человек еще не появился на свет.

Я долгое время скептически относился к измерению отношения 2D:4D, просто потому, что считал: с чего бы соотношение длин нашего второго и четвертого пальца должно быть как-то связано с нашими гормонами, да еще и в пренатальный период? Но совсем недавно в *Proceedings of the National Academy of Sciences* Чжэн и Кон опубликовали статью, где показали, что даже в мышинных лапках плотность распределения тестостероновых и эстрогеновых рецепторов отличается во втором и четвертом пальце, что дает роскошное объяснение тому, отчего на соотношение длин соответствующих пальцев влияют уровни этих гормонов¹. Тот же гормон, что делает наш мозг мужественнее, воздействует и на наши пальцы.

¹ Zhenghui Zheng & Martin J. Cohn, “Developmental basis of sexually dimorphic digit ratios”, *PNAS* 108:39, 16289–16294 (2011).

ПОЧЕМУ ДВИЖУТСЯ ДВИЖУЩИЕСЯ КАРТИНКИ?

ЭЛВИ РЕЙ СМИТ

Соучредитель компании *Pixar*,
пионер цифрового изображения

Кинофильмам не свойственна такая уж гладкость и плавность. Время между кадрами ничем не заполнено. Камера фиксирует лишь 24 кадра в секунду и отвергает все, что происходит между ними. Тем не менее мы воспринимаем кинокартину как нечто связное. Точнее, мы видим череду моментальных снимков, но нам кажется, что перед нами движение. Как это объяснить? Тот же самый вопрос можно задать относительно цифровых фильмов, видеофильмов, видеоигр — собственно, всей современной медиапродукции. Объяснение этому относится к числу моих любимых.

Старая добрая «инерция зрения» объяснением служить не может. Это вполне реальное объяснение, но оно лишь дает понять, отчего вы не видите пустоту между кадрами. Если актер или мультипликационный персонаж движется между кадрами (т. е. его положение на соседних кадрах отличается), то (благодаря инерции зрения) вы должны были бы видеть его в двух положениях сразу: два Хамфри Богарта, два Базза Светика. На самом деле ваша сетчатка действительно воспринимает оба изображения: одно из них как бы гаснет, другое как бы делается ярче. Каждый кадр проецируется достаточно долго, чтобы это происходило. То, как ваш мозг обрабатывает информацию, поступающую с сетчатки, и определяет, будете ли вы воспринимать двух Богартов в двух разных положениях или же одного Богарта, зато движущегося.

Сам по себе мозг воспринимает движение контура (края) фигуры, но только если этот контур продвигается между первым и вторым кадром не на слишком большое расстояние и не слишком быстро. Подобно инерции зрения, это вполне реальный эффект, хоть он и именуется *иллюзор-*

ным движением. Что ж, интересно. Но это еще не само объяснение, которое мне так по душе. Классическая мультипликация стародавней разновидности «чернила на целлулоиде» полагается на феномен иллюзорного движения. Мультипликаторы прошлого интуитивно чувствовали, как поддерживать последовательно сменяющиеся кадры в рамках требований «не слишком далеко, не слишком быстро». Если им нужно было выйти за эти пределы, они применяли специальные трюки, которые помогают зрителю воспринимать данную последовательность кадров как движение: использовали, к примеру, линии, означающие скорость, «пуф!» пыли — чтобы обозначить стремительный спуск мистера Хитрого Койота с горки в погоне за коварным Скореходом.

Если же выйти за эти пределы иллюзорного движения, не применяя таких трюков, то результаты окажутся не очень-то красивыми. Возможно, вы видели старинные мультфильмы, сделанные в технике покадровой съемки: скажем, классическую сцену из «Ясона и аргонавтов» Рэя Харрихаузена, где скелеты бьются на мечах. Она испорчена неприятными дергаными движениями персонажей. У вас двоится перед глазами (в каждый момент времени вы видите больше одного края скелета), и вы лишь с трудом интерпретируете увиденное как движение. Края словно бы спотыкаются, дергаются, трясутся, вибрируют, мигают: такое стаккато вызывает у зрителя лишь мучения.

А почему в игровых фильмах изображение не дергается? (Только представьте, каково пришлось бы режиссеру, вынужденному удерживать Уму Турман в пределах «не слишком далеко, не слишком быстро».) Почему не дергаются компьютерные мультики пиксаровского типа? И почему — увы — видеоигры порой ужасно мигают, словно безумный стробоскоп? Ведь все они являют собой последовательности отдельных кадров. Для всех трех фактов есть общее объяснение. Оно именуется *размытием движущегося изображения* и поражает простотой и очаровательностью.

Вот как работает камера для обычного кинофильма. Кадр, который она записывает, представляет собой не просто картинку в единичный момент, как в случае со Скореходом или харрихаузеновским кадром. Затвор камеры

остается открытым на некоторое небольшое время, именуемое временем экспонирования (выдержкой). Разумеется, движущийся объект во время этого краткого интервала продолжает двигаться, а значит, слегка размывается в кадре за время экспонирования. Похожая штука происходит, когда вы пытаетесь снять с длинной выдержкой, как ваш ребенок бросает мяч: его рука выглядит на снимке как размытое пятно. Однако такие огрехи фотографий оборачиваются достоинством для кинофильмов. Без этого размывания все фильмы выглядели бы дергаными, словно скелеты Харрихаузена.

Научное объяснение может привести к техническому решению. Для цифровых фильмов (скажем, той же «Истории игрушек») решение, позволившее избежать мигания (стробоскопического эффекта), коренится в объяснении, существующем для игровых фильмов: нужно *намеренно* размывать движущийся объект в кадре вдоль направления перемещения этого объекта. Скажем, если персонаж размахивает рукой, ее изображение должно быть размыто вдоль той дуги, которую при этом проходит рука, вращаясь вокруг плечевого сустава. Другая же рука должна быть независимым образом размыта вдоль *своей* дуги, часто в направлении, противоположном тому, в котором движется первая рука. Оставалось лишь понять, как проделывать на компьютере то, что делает камера, и — что немаловажно — как делать это эффективно. В обычных игровых фильмах размывание движущегося изображения получается бесплатно, но в цифровых мультфильмах оно стоит дорого. Решение предложила группа, которая ныне называется *Pixar*. Оно проложило путь к первому цифровому мультфильму. Прорыв позволило совершить именно размывание движущегося изображения.

По сути, такое размывание показывает вашему мозгу, в каком направлении производится движение и каков его размах. Чем длиннее размывание, тем быстрее движение. Вместо того чтобы просто отбрасывать информацию о времени, которое затрачивается на движение, мы как бы сохраняем ее в пространственном виде — как размывание. Последовательность таких кадров слегка перекрывается (из-за инерции зрения), что позволяет показывать движение

достаточно четко, так, чтобы мозг сумел создать полную его иллюзию.

Pixar бросает на каждый фильм тысячи компьютеров. На один-единственный кадр иногда уходит больше 30 часов работы. Между тем видеоигра (в сущности, тот же цифровой фильм, ограниченный рамками реального времени) должна демонстрировать новый кадр каждую тридцатую долю секунды. Лишь два десятка лет назад неумолимое увеличение быстродействия компьютеров на единицу их стоимости (описанное законом Мура) сделало возможным создание цифровых фильмов с эффектом размытия в движении. Видеоигры просто еще не достигли этой стадии. Устройства пока не могут считать достаточно быстро, чтобы создать эффект размытия. Некоторые производители делают робкие шаги в этом направлении, но от таких нововведений сильно страдает эффект присутствия, так что игрок просто выключает этот режим, предпочитая страдать от подергивающейся картинке. Однако закон Мура продолжает успешно действовать, и скоро (через 5 лет? через 10?) в наш мир придут настоящие видеоигры с эффектом размытия в движении.

Что интереснее всего, такое размытие — лишь один пример мощного и куда более общего объяснения, именуемого *теоремой отсчетов*. Теорема применима, в частности, к кадрам, которые снимаются с регулярными интервалами во времени для того, чтобы сделать фильм, или к пикселям, которые фиксируются с регулярными пространственными интервалами, образуя фотоизображение. Применима она и к цифровой звукозаписи. Короче говоря, объяснение плавного движения охватывает далеко не только фильмы с дерганой картинкой, но и весь современный медиа-мир, рассказывая о том, почему он вообще возможен. Но для этого потребуется более долгое объяснение.

СОЧЕТАЕТСЯ ЛИ ЭТО С ГОЛУБЫМ СЫРОМ, КАК ПО-ВАШЕМУ?

АЛЬБЕРТ-ЛАСЛО БАРАБАШИ

Исследователь комплексных сетей, заслуженный профессор и директор Центра исследования комплексных сетей Северо-Восточного университета; автор книги *Bursts: The Hidden Pattern Behind Everything We Do* («Тайные взрывы: характерные узоры, таящиеся за всем, что мы делаем»)

Потребуется целых 100 лет, чтобы попробовать освоить все 100 тысяч рецептов, которые приводятся на портале *Epicurious* — самом большом кулинарном сайте в Соединенных Штатах. Но меня это число поражает не тем, что оно такое огромное, а тем, что оно такое скромное. И в самом деле, для типичного блюда требуется в среднем 8 ингредиентов. А значит, те примерно 300 компонентов, что используются в современной кулинарии, дают возможность приготовить около квадриллиона отличающихся друг от друга кушаний. Добавьте к этому ваши предпочтения по части заморозки, жарки, разминания, отжима или пропаривания ингредиентов, и вы начнете понимать, отчего кулинария — отрасль непрерывно развивающаяся. Сейчас она использует лишь пренебрежимо малую толику своих ресурсов — меньше одного блюда из каждого триллиона, существование которого допускает кулинарная комбинаторика.

Нравятся ли вам зеленые яйца с ветчиной¹? Зачем вообще оставлять совершенно неисследованной эту бескрайнюю *terra incognita*² кулинарии? Может быть, нам про-

¹ «Зеленые яйца и окорок» — название популярной книги (1960) Доктора Хьюза (Теодора Гейзеля, 1904–1991), американского детского писателя, художника и мультипликатора. Герой книги настойчиво угощает своего друга этим кушаньем, а тот упорно отказывается, когда же наконец решается попробовать, то тут же приходит в невероятное восхищение. — *Прим. перев.*

² Неведомую землю (лат.). — *Прим. перев.*

сто не хватит времени на то, чтобы отведать все блюда из этого богатейшего каталога? А может быть, большинство комбинаций отвратительны и отталкивающи? Могут ли существовать правила, объясняющие, почему нам нравятся определенные сочетания ингредиентов, а других сочетаний мы избегаем? Вероятно, ответ — да. Что и подводит меня к моему излюбленному (по крайней мере, на сегодняшний день) объяснению.

Ища доказательства в пользу «законов», которые могли бы управлять нашим гастрономическим восприятием (или стремясь доказать, что таких законов не бывает), следует иметь в виду, что на вкусовые ощущения влияет множество факторов, от цвета до текстуры, от температуры до звука. Однако главным образом аппетитность определяется следующей группой ощущений: вкусом, запахом, свежестью и остротой (назовем их в совокупности «вкуснотой»). В основном тут, впрочем, работает химия. Запах — это воздействие особых молекул, которые связываются с обонятельными рецепторами. Вкус — воздействие веществ, стимулирующих вкусовые сосочки языка. Свежесть или острота — следствие воздействия химических раздражителей на наш рот и гортань. А следовательно, если мы хотим понять, почему превозносим до небес одни сочетания ингредиентов и терпеть не можем другие, следует рассмотреть наши рецепты с химической точки зрения.

Но как химия может поведать нам, сочетание каких ингредиентов даст приятный вкус? Сформулируем две как будто противоречащие друг другу гипотезы. Первая: возможно, нам нравятся комбинации некоторых ингредиентов, потому что по своей химии (в данном случае — по своей вкусноте) они взаимно дополняют друг друга: то, чего не хватает в одном, есть в другом. Вторая гипотеза противоположна первой. Вкус напоминает подбор цветов в модных нарядах: мы предпочитаем сочетать ингредиенты, которые уже содержат некоторые общие вкусовые соединения, что и приводит такие компоненты в химическую гармонию друг с другом. Пока не читайте дальше. Подумайте, какая из гипотез кажется вам более правдоподобной.

В первой, на мой взгляд, больше разумного: я солю омлет не потому, что в химическом букете яйца уже есть

единственный компонент поваренной соли, NaCl, а именно потому, что в яйце соли нет. Тем не менее повара и молекулярные гастрономы в последнее время склоняются ко второй гипотезе, они даже присвоили ей отдельное название — *принцип парной сочетаемости продуктов*. Результаты уже сейчас вполне могут оказаться на столе перед вами. Некоторые модные рестораны подают белый шоколад вместе с икрой, поскольку в обоих продуктах имеется триметиламин и другие компоненты вкусноты, или шоколад вместе с голубым сыром, ибо у них не менее 73 общих компонентов такого рода. Однако пока доказательства принципа парной сочетаемости носят довольно бессистемный и случайный характер (если их вообще можно назвать доказательствами), так что ученые вроде меня вынуждены задаться вопросом: а если это просто миф, не более того?

Кому же доверять — моей интуиции или молекулярным гастрономам? И как по-настоящему проверить, хорошо ли сочетаются два ингредиента? Наше первое — инстинктивное — побуждение призывает нас в одних и тех же контролируемых условиях попробовать все возможные пары ингредиентов. Однако 300 ингредиентов дадут около 44 850 возможных пар для дегустации. Пожалуй, многовато. А значит, нужно поискать более хитроумные способы решить проблему. Проведя последние 10 лет за попытками разобраться в законах, управляющих разного рода сетями, от социальных до сложнейшей паутины генов, властвующих над нашими клетками, мы с коллегами решили положиться и в кулинарном вопросе на учение о сетях. Мы составили список «компонентов вкусноты» из более чем 300 ингредиентов и выстроили из них воображаемую сеть, связывая ингредиенты попарно, если в них содержится одно и то же соединение, характеризующее вкусноту. Затем мы обратились к коллективному разуму, накопленному в существующем корпусе кулинарных рецептов, чтобы проверить, что с чем сочетается. Если два распространенных ингредиента почти никогда не сочетают (скажем, чеснок и ваниль), для этого должна иметься какая-то причина. Возможно, те, кто все-таки попробовал соединить эти два компонента, счел результат пресным, скучным или явно омерзительным. Если же какие-то два ингредиента сочетают

чаще, чем мы могли бы ожидать, исходя из популярности каждого из них в отдельности, то мы принимаем это как знак того, что вместе они должны давать приятный вкус. В эту категорию попадают, скажем, помидоры и чеснок: их сочетают в 12% рецептов¹.

Истина, к которой мы в результате подошли, носит несколько причудливо-сюрреалистический характер. Нам могут нравиться некоторые комбинации в одном месте, но не в другом: «здесь, а не там». Так, североамериканская и западноевропейская кухни весьма склонны сочетать ингредиенты, имеющие общие вещества. Если вы *здесь*, подавайте пармезан с папайей и землянику с пивом. Но не пытайтесь проделать это *там*: дальневосточная кухня всеми силами стремится избегать сочетания ингредиентов, у которых есть общие вещества. Так что если вы родом из Азии, пусть вами руководит принцип «инь и ян»: ищите гармонию, создавая пары из диаметрально противоположных вещей. Вам нравится соевый соус с медом? Попробуйте такое сочетание — может быть, оно придется вам по вкусу.

¹ Yong-Yeol Ahn et al., «Flavor network and the principles of food pairing», *Scientific Reports* 1, article 196, doi:10.1038/srep00196 (2011).

ЗАКОНЫ МАТЕРИ-ПРИРОДЫ

СТЮАРТ ПИММ

Профессор консервационной экологии Николасовской школы экологии Университета Дьюка; автор книги *The Scientist Audits the Earth* («Ученый устраивает аудит Земле»)

Альфред Рассел Уоллес в научной работе, присланной из малайского Саравака, сжато и ярко выразил самый важный закон живого в 14 словах: *«Каждый вид начал существовать, совпадая во времени и пространстве с существовавшим прежде дружественным видом».*

После тщательного редактирования Уоллес мог бы довести свою статью 1855 года о «законах эволюции» до размеров, которые позволили бы втиснуть ее в журналы *PNAS* или *Nature*, известные своими жесткими критериями относительно объема публикуемых текстов. Не бывает так, чтобы мы находили окаменелые останки трилобитов из девона, юры и эоцена, не обнаруживая при этом никаких промежуточных форм. Статья Уоллеса громко требовала объяснения того факта, что и в палеонтологии, и в биогеографии мы находим сплоченные группы сходных объектов. Но научное сообщество дремало у штурвала и почти не обратило внимания на этот вопль. Через несколько лет, возмущенный таким невниманием, Уоллес отправил свое глубокое, изящное и красивое объяснение Дарвину, ища моральной поддержки. Дарвин, конечно, согласился с его гипотезой.

Какие еще законы Мать-Природа подарила нам, дабы обеспечить биологическое разнообразие?

Средний ареал географического распространения группы видов значительно больше ареала медианного, т. е. ареала для половины видов данной группы.

Среднее по географическим ареалам 1684 видов млекопитающих Нового Света составляет 1,8 млн км², однако у половины из этих видов ареал меньше 250 тысяч км²: отношение 7:1. Для трех основных групп птиц в данном

регионе отношение составляет 5,8:1, для земноводных — 40:1. Попросту говоря, есть много видов с узким ареалом обитания и немного видов с ареалом широким.

В тропиках больше видов, чем в регионах с умеренным климатом.

Этот закон открыли первые исследователи, попавшие в тропики. Рембрандт рисовал райских птиц и конические морские раковины еще в начале XVII века. Уоллес первым делом отправился в Амазонию, поскольку зарабатывал на жизнь сбором образцов неизвестных науке видов.

Виды с узким ареалом обитания сосредоточены в тех местах, где обычно не живет самое большое количество видов.

На первый взгляд какая-то бессмыслица. Конечно же, с ростом числа видов у вас должно быть больше видов с широким ареалом обитания, с узким ареалом обитания и со всевозможными ареалами промежуточных размеров. Но это не так. Виды с узким ареалом обитания концентрируются в весьма специфических местах. Примерно половина всех видов живет всего в паре дюжин мест, которые в совокупности составляют примерно 10% всей площади свободных ото льда зон нашей планеты.

Виды с узким ареалом обитания являются редкими в этих ареалах, тогда как виды с широким ареалом обитания являются в своих ареалах распространенными.

Извините за резкость, но Мать-Природа — сушая гадина. Думаете, она пощадит виды с узким ареалом и сделает их распространенными на местном уровне? Как бы не так. Широко распространенные виды имеют тенденцию попадаться повсюду, а виды локальные редки даже там, где вам посчастливится их найти.

На эти мысли Дарвина и Уоллеса натолкнули путешествия в места, где живет множество птиц и млекопитающих, не встречающихся больше нигде: речь идет о Галапагосских островах и некоторых островах Юго-Восточной Азии. Таких местечек в Европе нет. Дарвин провел основную часть своего плавания на корабле «Бигль» далеко-да-

леко на юге, в районе Южной Америки, тогда как первая научная поездка Уоллеса, как мы уже знаем, привела его в Амазонию. Этот регион весьма богат разнообразными видами, но при этом служит ярчайшим примером выполнения закона, согласно которому в подобных местах редко встречается много видов с узким ареалом обитания. (Подозреваю, что Уоллесу недешево обошлось это плавание: его спонсоры жаждали новизны. Он нашел эту новизну в своем следующем путешествии — на Восток.)

Ученые обнаружили широко распространенные виды прежде всех прочих видов. Дарвин и Уоллес оказались в числе первых натуралистов, которые встретились с основной частью видов — теми, чьи узкие географические ареалы сосредоточены в немногочисленных местах. Даже для хорошо известных групп видов виды, имеющие самые узкие ареалы обитания, были открыты лишь в последние несколько десятилетий.

Какое же глубокое, изящное и красивое объяснение лежит в основе этих неизбежно связанных между собой законов? Такого объяснения нет.

С учетом наблюдаемого распределения ареалов по размерам в тропиках должно быть больше видов просто потому, что тропики расположены «посередине» земного шара. Достаточно крупные ареалы обязаны занимать средние широты глобуса, иначе их просто не удалось бы на нем разместить. При этом они не должны располагаться «на концах» — в умеренных или арктических широтах. Однако в срединных широтах больше видов, чем на «концах» планеты, даже если срединный регион не является тропическим. Скажем, в срединной части мадагаскарских влажных лесов больше видов, чем на северном конце острова, хотя он ближе к экватору.

Более того, в теплых и влажных средних широтах (влажные тропические леса) живет больше видов, чем в более жарких и сухих средних широтах. Корреляция между числом видов и теплотой-влажностью поражает, но поразительные механизмы иной раз оказываются иллюзией.

Виды с узким ареалом могли бы обнаруживаться везде — и близ средних широт, и в приполярных областях. Но такого не наблюдается. Они склонны жить на островах

(Галапагосы, Малайский архипелаг) и в «местах обитания островного типа» — скажем, на вершинах гор (к примеру, в андских высокогорьях). Это вполне укладывается в наши представления о том, как возникают виды. Увы, на островах и в горах умеренной зоны не так-то много видов, так что Дарвину и Уоллесу приходится уезжать из дому, чтобы напиться научным вдохновением. Исключение — саламандры. В Аппалачах, на востоке США, похоже, под каждым камнем таится свой вид саламандр: получается, что здесь (рассуждая теоретически) находится устойчивый центр эндемизма, уникальный для умеренного климата. Причем на птиц, млекопитающих, растения и даже на других амфибий эта особенность здесь не распространяется.

Всё это как будто заставляет предположить, что мы знаем, почему некоторые виды обладают широким ареалом обитания, а некоторые — узким. Нет, на самом деле мы этого не знаем. У нас (если говорить коротко) есть корреляции, особые случаи и некоторые специфические дерзкие гипотезы, но научное изящество здесь, прямо скажем, отсутствует. Разумеется, тут совсем не обязательно должно иметься какое-то глубокое объяснение.

Наше невежество удручает. Локальные, редкие виды сосредоточены там, где бурная деятельность человека заставляет виды вымирать в 100–1000 раз быстрее, чем это произошло бы под действием лишь естественных факторов. Ну да, мы можем нанести на карту ареалы распространения птиц и млекопитающих и понять, где нам необходимо предпринять решительные действия, чтобы попытаться спасти их от исчезновения. Но для обожаемых людьми бабочек такое невозможно, не говоря уж о нематодах. Без соответствующих объяснений нам не удастся определить, будут ли те места, где мы защищаем птиц, также служить защитой и для бабочек. Пока мы не поймем законы Матери-Природы и не сумеем распространить их на подавляющее большинство существующих на Земле видов, которое пока еще неведомо науке, мы можем даже не узнать, что же мы уничтожили.

ПИРАМИДА ОКЛО

КАРЛ САББАХ

Писатель, телепродюсер; автор книги *Remembering Our Childhood: How Memory Betrays Us* («Вспоминая детство: как нас предает память»)

Новые объяснения в науке требуются, когда наблюдение не укладывается в рамки существующей теории. Сущность настоящего научного объяснения можно представить в виде пирамиды, стоящей вверх ногами, причем первое объяснение (зачастую просто какого-то отклонения от нормы) соответствует вершине пирамиды, а затем идут расширяющиеся слои следствий, причем каждый слой зависит от расположенного непосредственно под ним: процесс строительства такой перевернутой пирамиды продолжается, пока не возникнет сооружение, которое сможет дать удовлетворительное, убедительное и цельное объяснение.

Одно из моих любимых объяснений такого типа датируется 1972 годом. Речь идет о наблюдении небольшой аномалии в самом обычном с виду образце урановой руды из Окло — региона провинции Высокий Огу центральноафриканского государства Габон. Образец в рамках вполне рутинной процедуры анализировали в одной французской лаборатории. Природные материалы, где присутствует уран, обычно содержат два типа изотопов урана — уран-238 и уран-235. Основная часть атомов — уран-238, но около 0,7% — уран-235. Точнее, эта величина составляет 0,720%, но в образце, доставленном во Францию, этот показатель равнялся «всего» 0,717%, т. е. в нем, вопреки ожиданиям, «не хватало» 0,003% атомов урана-235.

Подобные отклонения в распределении урановых изотопов, как считалось, могут возникать лишь в искусственной среде ядерного реактора, где уран-235 бомбардируется нейтронами в ходе цепной реакции, которая трансформирует атомы и приводит к изменению их естественной пропорции. Но этот образец прибыл из габонской шахты, а в ту

пору в Африке вообще не было ни одного ядерного реактора. Так что объяснение найти было невозможно. Или все-таки возможно?

Лет за двадцать до этого ученые высказали предположение, что где-то на Земле некогда существовали условия, в которых урановая руда вела себя, словно в природном ядерном реакторе. Специалисты решили, что для этого необходимы три условия:

1. Размер месторождения урана должен превышать среднее расстояние, которое пролетают нейтроны, высвобождающиеся при такой ядерной реакции (около 70 см).
2. Доля атомов урана-235 должна превышать ту, что свойственна нынешним природным урановым рудам, составляя целых 3% вместо сегодняшних 0,720%.
3. Как и в рукотворных ядерных реакторах, здесь должен иметься так называемый модератор — вещество, которое «укутывает» испускаемые нейтроны, замедляя их и тем самым способствуя тому, чтобы они запускали процесс ядерного распада.

Эти условия как раз и применимы к месторождению Окло, каким оно было 2 миллиарда лет назад. Урановые залежи были гораздо больше минимального предсказанного размера. Более того, уран-235 имеет период полураспада 704 миллиона лет, распадаясь вшестеро быстрее, чем атомы урана-238, так что несколько периодов полураспада назад (как раз примерно за 2 миллиарда лет до наших дней) в этих рудах было гораздо больше урана-235 — достаточное количество, чтобы запустить устойчивую цепную реакцию. Если провести экстраполяцию в прошлое, можно прикинуть, что пропорции содержания изотопов составляли бы тогда приблизительно 97 к 3, а не сегодняшние 99,3 к 0,7. И наконец, слои породы, содержащие уран, первоначально соприкасались с грунтовыми водами, поэтому можно предположить, что происходило следующее:

Цепная реакция началась в породах, окруженных водой. Атомы урана стали расщепляться, отдавая тепло. Тепло заставило воду вскипеть, лишая ее способности служить модератором реакции. Нейтроны вырвались на свободу, остановив реакцию. Пар, остывая, сконденсировался

в воду и начал сдерживать испускание нейтронов. В системе оставалось больше нейтронов, они помогали расщеплять атомы и заново запускали цепную реакцию.

Объяснение микроскопической аномалии в соотношении двух изотопов атома в маленьком обломке породы привело к описанию целой череды событий, которые произошли в не совсем обычном месте Земли миллиарды лет назад. На протяжении 150 миллионов лет происходило, вероятно, вот что: природный ядерный реактор вырабатывал тепло в течение примерно получаса, затем на два с половиной часа прекращал работу, после чего вновь раскочегаривался, производя в среднем около 100 кВт энергии (как средний автомобильный мотор). Это объяснение не только глубоко, элегантно и красиво: оно еще и неопровержимо. Оно не зависит от предвзятых мнений или желаний, чем выгодно отличается от множества других «объяснений» того, как устроен и функционирует мир. В этом — могущество истинной науки.

КИТТИ ДЖЕНОВЕЗЕ И ГРУППОВАЯ АПАТИЯ

АДАМ АЛТЕР

Психолог, доцент маркетинга Стерновской школы бизнеса Нью-Йоркского университета

Самое изящное социопсихологическое объяснение, какое мне довелось встречать, даже заставило меня защитить диссертацию в соответствующей области. Каждые несколько лет какая-нибудь громкая трагедия, при которой никто даже не попытался ничем помочь жертве, привлекает большое внимание прессы. В 2010 году, апрельским утром, незадолго до рассвета, на тротуаре в нью-йоркском районе Квинс умирал человек. Этот мужчина, бездомный гватемалец Хьюго Альфредо Тейл-Якс, вмешался в уличный конфликт между незнакомыми ему людьми — какой-то женщиной и ее спутником, который, издавая истошные вопли, бешено ее тряс. Когда Тейл-Якс попытался помочь женщине, ее спутник несколько раз ударил его ножом в грудь. В течение полутора часов Тейл-Якс лежал, истекая кровью, а десятки прохожих не обращали на него внимания или же лишь бросали мимолетный взгляд и спешили дальше. К тому времени, как прибыла «скорая», солнце уже взошло, а Тейл-Якс был мертв.

Почти за полвека до этого Китти Дженовезе, также проживавшая в Нью-Йорке, подверглась нападению, которое закончилось ее убийством, причем десятки видевших это, судя по всему, предпочли не вступать в происходящее. Один из авторов *New York Times* с негодованием писал о черствости ньюйоркцев. Специалисты заявляли, что жизнь в Нью-Йорке как раз и вызывает у его обитателей такое бездушие. Как и в случае с гибелью Тейла-Якса, всевозможные мыслители недоумевали, почему десятки людей с нормально работающим нравственным компасом не помогли умирающему человеку.

Социопсихологов учат преодолевать наше естественное стремление обвинять других в явно дурном поведении: их

учат поискать объяснения в окружении этих людей. После смерти Дженовезе социопсихологи Бибб Латане и Джон М. Дарли высказали элегантную гипотезу: человеческий отклик на события не является аддитивным, и в этом его отличие от аддитивности предметов. Четыре лампочки осветят комнату эффективнее, чем три, а три динамика эффективнее наполнят комнату звуком, чем два. Но два человека зачастую действуют менее эффективно, чем один. Люди снова и снова обдумывают ситуацию, делают паузу, чтобы разобраться в череде предшествующих событий перед тем, как начать действовать, а иногда гордость и страх выглядеть смешно мешают им начать действовать вообще.

В рамках одной из серий своих блистательных экспериментов Латане и Дарли зафиксировали на видео поведение студентов, сидевших в комнате, которая постепенно заполнялась дымом¹. Экспериментаторы закачивали его в помещение при помощи специального насоса, спрятанного за вентиляционной решеткой. Возникал такой эффект, словно где-то рядом пожар. Когда испытуемый был один, он обычно вскоре выходил из комнаты и сообщал экспериментатору: что-то не в порядке. Но когда испытуемого окружали два или три других человека (некоторые из них — «подсадные утки», которым давалась инструкция нарочно вести себя пассивно), он зачастую продолжал сидеть, даже когда уже не видел других за пеленой дыма. При последующем опросе эти студенты сообщали, что решили ничего не предпринимать, ибо пришли к выводу, что этот дым безвреден (и являет собой, скажем, испарения системы кондиционирования или какой-то другой пар). Они заявляли, что не обратили никакого внимания на то, как реагировали на дым другие находящиеся в комнате (или же обратили на это мало внимания).

По мнению Латане и Дарли, мыслительные схемы, отличающие нас от животных более низкого уровня развития, способны подрывать наше стремление помочь ближнему в подобных ситуациях — когда мы находимся рядом с другими людьми, которые, по нашему мнению, способны действовать с той же эффективностью, что и мы сами.

¹ B. Latané & John M. Darley, «Group Inhibition of Bystander Intervention in Emergencies», *J. Pers. & Soc. Psych.* 10:3, 215–221 (1968).

ВОЛШЕБНИК ПО ИМЕНИ Я

ДЖЕРАЛЬД СМОЛБЕРГ

Практикующий невролог, драматург

Сознание — по-прежнему неразрешимая загадка для ученых и философов. Это неудивительно. Каким бы ни оказался окончательный ответ, подозреваю, он окажется лишь иллюзией, которую выработало само же сознание, чтобы скрыть от нас работу механизмов своих модульных вычислений, идущих параллельно известным нам процессам.

Нейрофизиологи, слегка приоткрывая завесу, окутывающую этого «Волшебника по имени Я», обнаруживают, что незаменимый персональный компьютер, именуемый сознанием, во многом полагается на некий трюк, позволяющий обманывать наше восприятие. Скажем, наше субъективное чувство времени с реальностью не соотносится. Всплески электрических импульсов в коре мозга при обычной повседневной деятельности, как показали исследования, почти на треть секунды опережают осознание реального движения или отклика на сенсорную стимуляцию. Эти всплески импульсов показывают, что мозг инициирует реакцию или реагирует на происходящее гораздо быстрее, чем наше мгновенное восприятие. В физиологических масштабах это гигантское расхождение, несоответствие, которое наш мозг исправляет, «подделывая» момент времени, в который происходит действие или событие, тем самым позволяя нашему сознательному переживанию соответствовать тому, что мы воспринимаем.

Данные, наносящие еще больший ущерб нашей уверенности в надежности нашего восприятия, ученые получают благодаря исследованиям быстрых движений глаз (так называемых саккад), которые провоцируются новыми зрительными стимулами. В течение кратких мгновений этих «дерганий» глазами визуальный сигнал, идущий к мозгу, активно подавляется: в эти мгновения мы в буквальном смысле слепы. Без такой произвольной оптической цен-

зуры мы бы постоянно испытывали состояния, когда зрительное восприятие весьма размыто: это неприятно, да и небезопасно. С точки зрения высшей математики выживания, этот эффект представлял бы собой огромный недостаток, поскольку он всегда бы возникал при появлении новых зрительных раздражителей, которые по самой своей природе требуют не худшей, а лучшей зрительной деятельности.

Волшебник-Я справляется с этой недопустимой ситуацией, исключая такие интервалы из нашего потока осознания реальности и заменяя их образами, экстраполированными на основе только что произошедшего и того, что ожидается в ближайшие мгновения. Сознание, подобно уходящему в отставку президенту, обязано выступить с отчетом за истекший период, в данном случае — за период как бы вычеркнутый. Эволюция предоставила нашему виду куда больше времени на то, чтобы устранить неполадки в этой необходимой иллюзии, чем те немногие минуты, которые имеются у президента под прицелом гособвинителя по особо важным преступлениям. Наше сознание не пытается скрыть существование компрометирующей кассеты. Оно выступает с более хитрым фокусом, прячущим сам факт уничтожения сведений о каком-то интервале времени. Оно прodelывает это, фальсифицируя показания нашего внутреннего хронометра, датируя нужные моменты более ранним временем, так что нам кажется, будто разрыва никакого нет.

Иллюзия визуальной непрерывности, получаемая благодаря таким умозаключениям и такой экстраполяции, выявляет изначальную уязвимость мозгового софта, которой может воспользоваться любой знающий хакер. Фокусники и шулера всех мастей нажили немалые состояния, эксплуатируя эту «дырку» в восприятии. Лучше всего выразил сей феномен комик Ричард Прайор в сценке, где жена застаёт его героя с другой женщиной. Прайор в роли мужа-изменщика спрашивает: «Кому ты скорее поверишь — мне или своим лживым глазам?»

ГЛУБОКОЕ ВРЕМЯ

АЛУН АНДЕРСОН

Старший консультант, бывший главный редактор и издательский директор *New Scientist*; автор книги *After the Ice: Life, Death, and Geopolitics in the New Arctics* («После льда. Жизнь, смерть и геополитика в Новой Арктике»)

Есть одна простая и могущественная идея, которая поражает меня глубиной и красотой и сама по себе, и как прама-терь целого ряда других элегантных теорий и объяснений. Это идея «глубокого времени», согласно которой Земля чрезвычайно стара, а жизнь нашего вида на ней чрезвычайно коротка. Когда эта идея возникла впервые, она противоречила всему, во что в ту пору верили. Но в конечном итоге она изменила взгляд людей на самих себя так же сильно, как это сделало более раннее открытие, показавшее, что Земля вращается вокруг Солнца.

Мы знаем, когда родилась идея глубокого времени — или, по крайней мере, когда она впервые была доказана. Некий Джон Плэйфэйр, профессор Эдинбургского университета, в 1788 году записал свою реакцию на нее: «Кружится голова, когда заглядываешь так далеко в бездну времени»¹. Перед этим он совершил поездку на шотландское побережье с другом, геологом Джеймсом Геттоном, который позже изложил свои идеи в книге «Теория Земли». Геттон показал ему ряд своеобразных структур и узоров горных пород. Эти структуры и узоры проще всего было бы объяснить, предположив, что нынешние участки суши некогда лежали на дне моря, а позже поднялись, искривились, пережили эрозию и снова оказались покрыты осадочными материалами нового морского дна. Земле не 6 тысяч лет, как показывали библейские расчеты, признанные тогда (в западном мире) повсеместно; геологические напластования возникли не в ходе всемирного потопа (согласно

¹ *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, V, pt. III (1805).

преобладавшему тогда научному мнению, основанному на лучших химических методах эпохи).

Потребовался гигантский сдвиг в сознании, чтобы посмотреть на мир так, как это сделал Геттон. Оценить бескрайность космического пространства нетрудно. Когда мы поднимаем взгляд к звездам, необозримость Вселенной очевидна и внушает нам восторженный трепет. А вот необозримость времени недоступна непосредственному восприятию. Природа, если наблюдать ее в масштабах человеческой жизни, просто циклически проходит через смену времен года, и этот цикл лишь иногда прерывается катастрофическими землетрясениями, извержениями вулканов и наводнениями. Вот почему креационистская и катастрофистская теории происхождения Земли казались более убедительными, нежели теории, предполагавшие медленное и постепенное развитие. Но Геттон поверил тому, что он увидел в камнях, и заклинал всех «раскрыть книгу Природы, вчитаться в ее летопись».

Его размышления о времени создали благоприятную почву для других грандиозных теорий. За огромные периоды даже неощутимо-медленные процессы могли успеть сформировать мир и природу. После Геттона пришла новая геология, а затем — эволюционная теория, которая объяснила, как постепенно возникают новые виды; наконец явилась и теория постепенного движения самих континентов. И всё это основывалось на концепции глубокого времени.

Взгляды Геттона бросали дерзкий вызов и религиозным ортодоксам. Как он написал в финале своей книги, «мы не находим ни следа начала и никаких предвестий конца». Тем самым он нанес удар идее творения и Страшного Суда.

Его гипотеза по-прежнему поражает красотой. Сегодня, если мы заглянем в бездну времени, у нас не закружится голова, однако не исключено, что мы ощутим собственную незначительность перед лицом земной истории, насчитывающей 4,6 миллиарда лет, и лишний раз убедимся в важности краткого мига, подаренного нам для нашей собственной жизни.

КАК ПОДВЕСТИ НАУЧНУЮ БАЗУ ПОД ПСИХОТЕРАПИЮ: ПЯТЬ ПРОСТЫХ УРОКОВ

ЭРИК Р. КЭНДЕЛ

Психотерапевт, профессор Колумбийского университета; автор книги *The Age of Insight: The Quest of Understand the Unconscious in Art, Mind and Brain, from Vienna 1900 to the Present* («Эпоха открытий. В поисках понимания бессознательного в искусстве, уме и мозге, от Вены 1900 года до наших дней»)

Каким образом психоанализ, некогда служивший основным средством для борьбы с непсихотическими душевными расстройствами, мог так низко пасть в мнении и врачебного сообщества, и общественности в целом? Как вернуть ему утраченную репутацию? Позвольте мне попытаться ответить на эти вопросы, поместив проблему в исторический контекст.

На старших курсах Гарварда я увлекся психиатрией, в особенности психоанализом. В годы моего обучения (1960–1965) психотерапия служила главным методом лечения психических заболеваний. Этот метод, по сути, вырос из психоанализа. Его главная идея такова: симптомы душевной болезни необходимо рассматривать сквозь призму детства пациента, где и коренятся причины недуга. Лечение нередко растягивалось на годы, и ни его результаты, ни механизмы никогда не подвергались систематическому изучению, поскольку считалось, что это слишком сложная и трудоемкая задача. Психотерапия и психоанализ в случае успешного применения позволяли пациентам работать чуть-чуть лучше и чуть-чуть любить, а эти сферы — работы и любви — считались тогда не очень-то подвластными количественному измерению.

В 1960-е годы Аарон Бек все это переменял, предложив несколько важнейших нововведений — вполне очевидных, но от этого не менее элегантных и красивых.

Первое: он разработал инструментарий для количественной оценки душевных недугов. До работ Бека психиатрическим исследованиям препятствовала нехватка методик измерения параметров различных заболеваний и их остроты. Бек создал целый ряд инструментов: шкалу депрессии, безнадежности, склонности к суициду. Эти шкалы помогли объективизировать психопатологические изыскания и улучшить клинический результат.

Второе: Бек предложил новую краткосрочную доказательную терапию, которую назвал когнитивно-поведенческой.

Третье: он сделал методы лечения более доступными, написав учебник для врачей. В принципе, мы с вами тоже можем научиться проводить сеансы когнитивно-поведенческой терапии.

Четвертое: с помощью нескольких коллег Бек провел ряд экспериментов (степень контролируемости опытов неуклонно повышалась), показывавших, что когнитивно-поведенческая терапия при лечении слабой и умеренной депрессии действует эффективнее разного рода плацебо и столь же эффективно, как антидепрессанты. При острой депрессии ее эффективность меньше, чем у антидепрессантов, однако ее действие суммируется с действием лекарств, тем самым дополнительно способствуя выздоровлению.

Знамя Бека подхватила Элен Мэйберг, тоже принадлежащая к числу моих психиатрических героев. Обследуя методом функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) мозг пациентов, страдающих депрессией, она обнаружила, что при депрессии бродмановское поле мозга оказывается средоточием аномальной активности. Далее она выяснила, что эта аномальность приходит в норму, лишь когда пациент откликается на когнитивно-поведенческую терапию или на введение селективных ингибиторов обратного захвата серотонина.

После такого экскурса в историю я расскажу, какое изящное и глубокое объяснение Аарон Бек привнес в свою работу: оно-то и позволило ему стать по-настоящему выдающимся исследователем.

Бек увлекся радикальной идеей, согласно которой основная причина многих психических расстройств — не какой-то бессознательный конфликт, а искаженный рисунок мышления. Он пришел к этой новаторской идее,

выслушивая (критически и непредвзято) своих пациентов, страдающих депрессией. Ее источник, решил он, — «гнев, проецируемый внутрь». В рамках этой гипотезы утверждается, что пациенты, страдающие депрессией, испытывают глубинную враждебность и гнев по отношению к кому-то, кого они любят, кто им важен. Однако больные не могут позволить себе питать недружественные чувства к таким людям, а потому подавляют свой гнев и направляют его внутрь — на себя. Бек проверил эту гипотезу, сопоставляя сновидения (пролагающие широкую дорогу к бессознательному) пациентов, страдающих депрессией, со снами людей без депрессии. Он обнаружил, что в своих снах депрессивные пациенты показывали меньше враждебности к другим, чем те, кто депрессии не испытывал, и очень часто видели себя «неудачниками».

Бек рассматривал такой искаженный рисунок мышления не просто как симптом (отражение конфликта, таящегося где-то в глубине души), а как важнейший этиологический агент, подпитывающий заболевания. Это позволило ему разработать системную методику психологического лечения депрессии. Такое лечение как раз и было сосредоточено главным образом на борьбе с «искаженным мышлением». Он обнаружил, что рост объективности пациентов по отношению к интерпретации различных жизненных ситуаций или к их когнитивным отклонениям или негативным ожиданиям приводит к значительным сдвигам в характере мышления и к последующим улучшениям в реакциях и поведении.

Занимаясь проблемами депрессии, Бек уделял особое внимание суициду. Он впервые подвел рациональную базу под классификацию и оценку типов суицидального поведения. В результате оказалось возможным заранее выделять людей с высокой степенью предрасположенности к самоубийству. Его обследование 9 тысяч пациентов позволило вывести алгоритм предсказания будущих самоубийств, который, как выяснилось, обладает большой прогностической силой. Особенно полезными для предсказания будущих самоубийств оказались методы идентификации таких клинических и психологических параметров, как ощущение безнадежности и беспомощности. Эти факторы оказались более эффективными для предсказания суицида, чем клиническая депрессия сама по себе. Суицидологические

исследования Бека (и других ученых, в том числе Джона Манна из Колумбийского университета) демонстрируют, что кратковременное вмешательство при помощи когнитивной терапии может существенно понизить вероятность последующих попыток пациента свести счеты с жизнью.

В 1970-е годы Бек провел уже упомянутые жестко контролируемые опыты. Позже в Национальном институте психического здоровья США осуществили аналогичные испытания. В результате удалось утвердить когнитивную терапию как первую методику психологического лечения, зарекомендовавшую себя эффективной при борьбе с клинической депрессией.

Едва когнитивную терапию сочли эффективной для лечения депрессии, Бек обратился к другим психическим отклонениям. В ходе контролируемых клинических испытаний он показал, что когнитивная терапия эффективна при борьбе с паническими состояниями, посттравматическим стрессом и маниакально-депрессивным психозом. Собственно, еще до работ Элен Мэйберг в области депрессии Льюис Бакстер из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, проводя сканирование мозга страдающих маниакально-депрессивным психозом, обнаружил аномалии, которые начинали сглаживаться под действием когнитивно-поведенческой терапии.

В последнее время Аарон Бек стал заниматься пациентами, страдающими шизофренией, и выяснил, что когнитивная терапия помогает улучшить ситуацию с их когнитивными и негативистскими симптомами, особенно касающимися недостатка мотивации. Что ж, еще одно замечательное достижение.

Так что пресловутый «закат психоанализа» может объясняться не ограниченностью фрейдистской мысли, а нехваткой глубокого, критического научного подхода у последующих поколений психотерапевтов. Я почти не сомневаюсь, что когнитивная терапия — чрезвычайно полезный метод лечения. Проведены многочисленные исследования, подтверждающие мое мнение. Однако изящное, глубокое и красивое доказательство требует совмещения целого ряда проверенных и надежных подходов, чтобы по-настоящему убедительно выступить в защиту этого метода и, быть может, даже подарить нам идею о том, каким же образом достигается его терапевтический эффект.

ПЕРЕХОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

ШЕРРИ ТЁРКЛ

Профессор социальных исследований в науке и технике Массачусетского технологического института; автор книги *Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other* («Вместе, но в одиночестве: почему мы все больше ожидаем от технологии и все меньше — друг от друга»)

В середине 1970-х, в мои студенческие времена, я изучала психологию в Гарварде. В частности, я занималась у Джорджа Гоуталса. Он рассказывал нам о страсти в мышлении и о логической структуре, лежащей в основе страсти. Гоуталс, психолог, специализировавшийся на периоде полового созревания, вел семинар по психоанализу. Главное внимание он уделял одному из его направлений — британской теории объектных отношений. Соответствующая психоаналитическая традиция постоянно обращается к обманчиво-простому вопросу: как мы воспринимаем окружающих и что они значит для нас «внутри» нас. «Объекты» в названии теории — это, собственно, люди.

Несколько занятий посвящались работам Дэвида Винникотта и выработанному им понятию переходного объекта. Винникотт называл «переходными» предметы из детства — мягкие игрушки в виде животных, кусочки шелка из детского одеяльца, любимую подушку, — которые ребенок воспринимает и как часть себя, и как часть внешней («расширенной») реальности. По Винникотту, такие объекты — своего рода посредники между детским ощущением связи с телом матери и растущим осознанием, что ты являешься отдельным существом. Переходные объекты детской обречены на то, чтобы их рано или поздно забросили. Однако, утверждает Винникотт, они оставляют следы, которые сказываются на всей оставшейся жизни человека. В частности, эти объекты влияют на то, насколько легко у человека развивается умение радоваться, ощущать эстетические

переживания, заниматься творчеством. Переходные объекты, принадлежащие и нашему Я, и Другому (внешней среде), показывают ребенку, что объекты окружающего мира можно любить.

Как полагает Винникотт, на всех этапах жизни мы продолжаем искать объекты, которые ощущались бы нами как находящиеся одновременно и внутри, и вне нашего Я. Мы вырастаем из детского одеяльца, но продолжаем поиск того чувства цельности, которое оно нам дарило. И находим его в моменты ощущения единства с миром: Фрейд называл это «океаническим чувством». Мы переживаем такие моменты, чувствуя свое единение с произведением искусства, с прекрасным видом, с сексуальным партнером.

В качестве научного предположения теория переходного объекта имеет свои ограничения. Но как способ мышления о разного рода психологических связях она представляет собой мощный инструмент. В частности, она позволила мне начать понимать те новые взаимоотношения, которые люди завязывают с компьютерами: изучением этих проблем я занялась в конце 1970–1980-х годов. С самого начала, обратившись к исследованию нарождающейся цифровой культуры, я увидела, что компьютеры — отнюдь не «всего-навсего инструменты» (как утверждали тогда многие). Это машины весьма интимного свойства. Человек воспринимает их как часть себя: они одновременно и отделены от нашего Я, и связаны с ним.

Так, один романист, использовавший текстовую программу, отмечал свое «особое эмоциональное взаимодействие с машиной. Слова текут из меня наружу. Я делю экран со своими словами». А один архитектор, разработавший с помощью компьютера свои проекты, пошел еще дальше: «Я не вижу будущее здание в своем воображении, пока не начну играть с формами и контурами на компьютере. Конструкция оживает где-то в пространстве между моими глазами и экраном». Пройдя курс обучения программированию, одна тринадцатилетняя девочка сказала, что, работая на компьютере, она чувствует, как «небольшой кусочек твоего ума становится небольшим кусочком ума компьютера, так что ты начинаешь видеть себя по-другому».

Один программист уверял, что его сознание «сплавляется с компьютером воедино, словно в пламени вулкана».

Когда я начала изучать эту особую силу воздействия компьютера на человека, мне вспомнились занятия у Джорджа Гуталса и наш кружок старшекурсников-гарвардцев, погруженных в изучение Винникотта. Компьютеры служат своего рода переходными объектами. Они возвращают нам ощущение единства с миром. Музыканты часто внутренне слышат музыку, перед тем как ее исполнить: ощущение музыки приходит к ним и извне, и снаружи. Сходным образом и компьютер часто воспринимается как объект, находящийся на границе между Я и не-Я. Подобно тому как музыкальные инструменты могут служить продолжением нашего внутреннего процесса создания звука, и компьютеры могут являться продолжением нашего внутреннего процесса создания мысли.

Такие размышления о компьютере как о «вдохновляющем объекте» подводят нас к одной изысканной шутке, доступной лишь посвященным. Ведь когда психоаналитик толкует об объектных отношениях, он всегда имеет в виду людей. С самого начала люди воспринимали компьютеры как «живых» или «вроде как живых». А с приходом компьютеров психоанализ объектных отношений можно распространить и на объекты в прямом смысле слова. Люди чувствуют собственное единение с видеоиграми, со строчками кода, с аватарами, под которыми выступают в виртуальном мире, со своими смартфонами. Классические переходные объекты должны быть рано или поздно оставлены, и в дальнейшей жизни они задним числом вновь обретают силу лишь в моменты особенно острых переживаний. Но когда наши нынешние цифровые устройства (наши смартфоны, мобильники и прочее) приобретают силу переходных объектов, вступает в действие новая психология. Эти цифровые объекты вовсе не обречены на то, чтобы их оставили в прошлом. Выходит, нам суждено стать киборгами.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР — ВЕЩЬ ПРОСТАЯ, НО СИСТЕМЫ, КОТОРЫЕ ОН ФОРМИРУЕТ, НЕВООБРАЗИМО СЛОЖНЫ

РЭНДОЛЬФ НЕССЕ

Профессор психиатрии и психологии Мичиганского университета; автор книги *Why We Get Sick: The New Science of Darwinian Medicine* («Почему мы заболеваем: новая дарвинистская медицина»)

Принцип естественного отбора необычайно прост. Если у каких-то особей в популяции есть наследуемая черта, позволяющая иметь больше потомства, по мере смены поколений эта черта обычно становится более распространенной в данной популяции.

А вот плоды естественного отбора сложны. Они сложны не только в том смысле, в каком сложны машины: они изначально сложны, поскольку принципиально отличаются от продуктов, придуманных и сделанных человеком. Поэтому нам непросто полностью описать их или понять. А значит, приходится прибегать к великой уловке человеческого понимания — метафоре. Итак, уподобим тело машине.

Эта метафора позволяет легче представлять системы, обеспечивающие деление клеток, иммунный отклик, регулирование уровня глюкозы в организме и т. п.: мы рисуем квадратик для тех или иных деталей машины (органов тела) и стрелочки, дабы показать причинные связи. Подобные схемы позволяют сжато излагать важную информацию так, чтобы мы сумели ее ухватить. Учителя вычерчивают их на уроках. Студенты старательно запоминают их. Однако такие схемы совершенно неверно представляют природу сложности органического мира. Как отмечал Джон Скотт Холдейн в своей пророческой книге 1917 года, «живой организм в действительности обладает лишь небольшим

сходством с обыкновенной машиной»¹. Машины обдуманно конструируются; они состоят из отдельных деталей, и каждая выполняет определенную функцию. Обычно машины не меняются после того, как их выключают. Идентичные экземпляры любой машины производят по одному и тому же чертежу. А вот организмы эволюционируют. У них есть компоненты с нечеткими границами и с множественными функциями, и эти компоненты взаимодействуют с огромным количеством других частей и с окружающей средой, в результате чего возникают самоподдерживающиеся размножающиеся системы, выживание которых требует постоянной активности и сотрудничества тысяч взаимозависимых подсистем. Индивидуальные организмы развиваются из уникальных комбинаций генов, эти гены взаимодействуют друг с другом и со средой, создавая фенотипы, и двух идентичных фенотипов нет.

Представление о теле как о механизме стало огромным шагом вперед в XVI веке, предложив альтернативу витализму и смутным концепциям жизненной силы. Теперь же этот взгляд устарел. Он искажает наше восприятие биологических систем, побуждая нас считать их более просто и разумно «сконструированными» по сравнению с реальным положением дел. Специалисты давно знают, что эта метафора неточна. Они понимают, что природные механизмы, регулирующие тромбообразование, лишь очень грубо и приблизительно представлены аккуратненькими диаграммами, которые заучивают студенты-медики: в системе тромбообразования большинство молекул взаимодействуют со многими другими. Специалисты по мозжечковой миндалине знают, что у нее множество функций, а не одна или две, и что сигналы от миндалины идут в другие области мозга через огромное число путей. Серотонин существует главным образом не для того, чтобы регулировать наше настроение и уровень тревожности: он играет ключевую роль в поддержании сосудистого тонуса, регуляции перистальтики кишечника и процессах отложения различных веществ в костях. Лептин — далеко не только «гормон жира»: у него много функций, и в разное время он выпол-

¹ John Scott Haldane, *Organism and Environment as Illustrated by the Physiology of Breathing* (New Haven, CT: Yale University Press, 1917), 91.

няет разные (даже в одной и той же клетке). Увы, живые системы не похожи на машины. Ум человека способен интуитивно понять сложность живого мира не лучше, чем квантовую физику.

Последние достижения генетики дают возможность попытаться справиться с этой проблемой. Сейчас становится все очевиднее, что на большинство черт организма влияет не один ген, а множество, к тому же почти каждый ген влияет не на одну, а на несколько черт. Так, примерно 80% случаев изменчивости такого параметра, как рост человека, относят к изменчивости генетической. Напрашивается вывод: ищите соответствующие гены. Однако этот поиск показал, что 180 локусов (местоположений гена в хромосоме) с наиболее сильным воздействием отвечают лишь примерно за 10% случаев этой фенотипической вариативности. Недавние открытия в области медицинской генетики еще больше обескураживают. Всего лет десять назад мы очень надеялись, что вот-вот найдем генетические вариации, отвечающие за часто передающиеся по наследству заболевания и отклонения, такие, как шизофрения или аутизм. Но исследования генома показало, что для этих заболеваний не существует каких-то одних и тех же аллелей, которые обладали бы сильным эффектом. Некоторые говорят, что мы должны были знать это заранее. В конце концов, естественный отбор стремится устранять аллели, вызывающие болезни. Представление о теле как о машине заставило многих питать несбыточные надежды...

Отдельные нейробиологи ставят себе грандиозную задачу — проследить за каждой молекулой и биологическим маршрутом, чтобы охарактеризовать все физиологические цепи в нашем организме и окончательно понять, как работает мозг. Молекулы, локусы и нервные пути действительно выполняют отличающиеся друг от друга функции. Мы это знаем, и такое знание весьма важно для лечения людей. Однако, по-видимому, следует оставить надежды, что мы когда-нибудь поймем, как работает мозг, всего лишь нарисовав схему, где отображены все его компоненты, их взаимосвязи и функции. Проблема тут не только в том, чтобы уместить на одной странице миллион элементов. Главное в том, что никакая подобная диаграмма в принципе не в состоянии адекватно описать структуру органической

системы. Такие системы — продукт мельчайших изменений (разнообразных мутаций, миграций, переноса генов и отбора), из которых постепенно складываются системы с не полностью дифференцированными частями и с неопостижимыми внутренними взаимодействиями — системы, которые, тем не менее, работают очень даже неплохо. При попытках провести инженерный анализ мозговых систем основное внимание обращают на функциональную значимость, но этот подход грешит изначальной ограниченностью, ибо мозговые системы никогда никем не были «сконструированы».

Естественный отбор формирует системы, чью сложность невозможно описать в доступных человеческому уму понятиях. Кому-то покажется, что это нигилистический взгляд на вещи. Он действительно лишает нас надежд на отыскание простых и специфичных описаний для всех на свете биологических систем. Однако признание задачи безнадежно-сложной часто лишь служит толчком к дальнейшему прогрессу. Холдейн писал об этом: «... Структура живого организма по своему поведению не имеет реального сходства с поведением машины... В живом организме... “структура” является лишь видимостью, которую формирует то, что поначалу кажется нам постоянным потоком особого материала — потоком, который начинается и кончается где-то в окружающей среде»¹.

Если тела не похожи на машины, на что же они тогда похожи? Они больше напоминают дарвиновский «заросший берег» с его «изошреннейше устроенными формами, столь отличными друг от друга и столь сложным образом зависящими друг от друга»². Очень мило. Но может ли экологическая метафора прийти на смену метафоре, уподобляющей тело механизму? Едва ли. Вероятно, когда-нибудь понимание того, как естественный отбор формирует сложность органического мира, станет настолько глубоким и всеобщим, что ученые смогут сказать: «Организм похож... на организм» — и все сразу с полной отчетливостью поймут, что имеется в виду.

¹ Haldane, *Organization and Environment...*, 99.

² Charles Darwin, *On the Origin of Species*. (London: John Murray, 1872), 429.

ОТКУДА БЕРУТСЯ ХОРОШИЕ ИДЕИ

МАРСЕЛЬ КИНСБУРН

Профессор психологии Новой школы; автор книги *Children's Learning and Attention Problems* («Проблемы обучения и расстройств внимания у детей»)

Чтобы обзавестись хорошей идеей, не обязательно быть человеком. Достаточно быть рыбой.

На микронезийских мелководьях водится крупная рыба, питающаяся мелкими рыбешками. Эти рыбешки таятся в норах, которыми изрыт донный ил, но время от времени стайками выплывают наружу в поисках пищи. Большая рыба начинает глотать мелких одну за другой, но они тут же прячутся обратно в норы, а ведь трапеза большой рыбы только-только началась. Что же ей делать?

Я много лет подряд ставлю эту проблему перед моими студентами. Помню лишь одного студента, который выдвинул Хорошую Идею для большой рыбы. Конечно, он сделал это всего после нескольких минут раздумья, а не после миллионов лет эволюции, но у нас ведь не соревнования на скорость, правда?

Вот он, изящный трюк. Как только появляется стайка рыбешек, большая рыба не должна кидаться их глотать — ей следует опуститься пониже, чтобы ее брюхо касалось ила и блокировало спасительные для рыбешек норки. И тогда уж она сможет спокойно и не спеша пообедать.

Чем нас учит этот пример? Чтобы прийти к хорошей идее, имеет смысл отказаться от плохой. Фокус в том, чтобы отринуть самоочевидные, легкие с виду, но неэффективные подходы, тем самым открыв свой ум для решения лучше. В рыбьей древности это решение пришло к нашей крупной рыбе благодаря каким-нибудь механизмам мутации и естественного отбора. Вместо того чтобы мыкаться с очевидным: норовать жрать побыстрее, откусывать более крупные куски и т. п., — просто отбросьте план А, и у вас в голове всплывет план Б. Совет для людей: если второе решение тоже не срабатывает, заблокируйте и его — и подо-

ждите. В вашем сознании замаячит третье. Далее процесс можно повторять, пока неразрешимое не разрешится, пусть даже самые интуитивно-очевидные варианты придется отвергать в процессе такого перебора.

Для дилетанта Хорошая Идея кажется чем-то волшебным, своего рода мгновенным интеллектуальным озарением. Однако более вероятно, что такая идея — результат последовательных приближений, как описано выше: при этом у вас достаточно опыта, чтобы отвергать соблазнительные, но заводящие в тупик пути. Так из обычного шаг за шагом вырастает необычное.

В эволюции не только человека, но и других видов появление хорошей идеи — далеко не редкая вещь. Многим видам, если не большинству, время от времени требуется какая-то идея или хитроумный трюк, чтобы вид смог продолжить свое существование. Когда лучшие умы в течение десятилетий или даже столетий неустанных попыток не могут разрешить какую-нибудь «классическую» проблему, они, вероятно, находятся в плену устоявшихся представлений, которые в данной культуре представляются столь очевидными, что никому даже не приходит в голову подвергнуть их сомнению — или же они принимают их как данность, практически не замечая. Но культурный контекст меняется, и то, что вчера казалось совершенно очевидным, сегодня или завтра представляется как минимум сомнительным. Рано или поздно кто-нибудь (возможно, не более одаренный, чем его предшественники, но не скованный рамками какого-нибудь «основополагающего», но неверного допущения) сумеет с относительной легкостью натолкнуться на решение.

Впрочем, есть альтернатива — если вы рыба, просто подождите миллион-другой лет и поглядите, не всплывет ли какая-нибудь ценная идея.

ДЕТСКИЙ ВОПРОС

НИКОЛАС КРИСТАКИС

Врач-терапевт, социолог (Гарвардский университет); соавтор книги *Connected: The Surprising Power of Our Social Networks and How They Shape Our Lives* («Связанные. Об удивительной мощи наших социальных сетей и о том, как они формируют нашу жизнь»)

Мое любимое объяснение — то, которое я пытался найти еще в детстве. Почему небо голубое? Этот вопрос задает всякий малыш, но к нему обращалось и большинство великих ученых со времен Аристотеля, в том числе Леонардо да Винчи, Исаак Ньютон, Иоганн Кеплер, Рене Декарт, Леонард Эйлер и даже Альберт Эйнштейн.

Едва ли не больше всего (если не считать безыскусной простоты самого вопроса) мне в этом объяснении нравится то, сколько веков человеческих усилий потребовалось на получение приемлемого ответа и сколько отраслей науки пришлось для этого привлечь.

В отличие от других повседневных явлений вроде восхода и захода Солнца, цвет неба не вдохновил людей (даже древних греков или древних китайцев) на создание большого количества мифов, однако с давних пор все-таки имелось некоторое количество ненаучных объяснений окраски неба. Лазурность неба не скоро попала в категорию научных проблем, но когда это произошло, она, прямо скажем, надолго привлекла внимание ученых. Почему атмосфера окрашена, хотя воздух, которым мы дышим, бесцветен?

Насколько нам известно, первым такой вопрос задал Аристотель. Его ответ, содержащийся в трактате «О цветах», гласит: ближайшие к нам слои воздуха бесцветны, а воздух в глубинах неба голубой, точно так же, как тонкий слой воды бесцветен, а в глубоком колодце вода кажется черной. Эту идею повторяет уже в XIII веке Роджер Бэкон. Позже Кеплер также выдвинул сходное объяснение, утверждая, что воздух лишь выглядит бесцветным, поскольку насыщенность его окраски в тонком слое мала. Однако

никто из них не предложил объяснения *голубизны* атмосферы.

В своей рабочей тетради, позже названной «Лестерским кодексом»¹, Леонардо да Винчи в начале XVI века писал: «Полагаю, голубизна, которую мы видим в атмосфере, являет собой не собственный ее цвет, а вызвана нагревом жидкости, при испарении порождающей самые крошечные и неразличимые глазом частицы, привлекаемые лучами солнца. Эти частицы кажутся сияющими на фоне глубокой тьмы той области огня, что образует покров, лежащий над ними». Увы, и великий Леонардо не дает ответа, почему эти частицы непременно должны быть голубыми.

Ньютон тоже внес свой вклад в решение проблемы, задавшись вопросом, почему небо голубое, и продемонстрировав в ходе экспериментов с рефракцией, совершивших настоящий переворот в науке, что белый свет можно разложить на составляющие его цвета.

После Ньютона к поискам ответа подключились многие ныне забытые и многие до сих пор памятные нам ученые. Что могло бы в результате рефракции порождать эффект, при котором мы наблюдаем такой избыток синего? В 1760 году математик Леонард Эйлер предположил, что волновая теория света, возможно, позволит объяснить, почему небо голубое. Деятнадцатое столетие характеризуется целым вихрем всевозможных экспериментов и научных наблюдений, от экспедиций на вершины гор для изучения неба до изощреннейших попыток воссоздать его голубизну в особой бутылке, как описано в замечательной книге Питера Пешича, которая так и называется — «Небо в бутылке». Проводились бесчисленные тщательные наблюдения небесной голубизны в различных местах, на различных высотах, в различное время, в том числе при помощи специальных приборов — цианометров. Первый цианометр создал Орас Бенедикт де Соссюр в 1789 году. У его прибора имелось 53 расположенных по кругу секции, чья окраска соответствовала разным градациям синевы. Соссюр предполагал, что причиной небесной голубизны должна служить некая взвесь, присутствующая в воздухе.

Долгое время многие другие ученые тоже подозревали, что некая примесь в воздухе «модифицирует» свет, застав-

¹ В честь графа Лестера, который купил эту тетрадь заметок да Винчи в 1717 году. — *Прим. перев.*

ляя его казаться голубым. В конце концов поняли, что это делает *сам воздух* — находящиеся в газообразном состоянии молекулы воздуха играют основную роль в его окраске. Цвет неба имеет глубинную связь и с атомной теорией, и даже с числом Авогадро. А это, в свою очередь, привлекло внимание Эйнштейна, который уделял внимание данной проблеме в период с 1905 по 1910 год.

Итак, небо имеет голубую окраску, поскольку падающие лучи света взаимодействуют с молекулами воздуха, находящимися в газообразном состоянии, таким образом, что больше света в голубой части спектра рассеивается, достигая поверхности планеты и наших с вами глаз. Собственно, все частоты падающего света могут рассеиваться таким образом, но голубой цвет (обладающий сравнительно высокой частотой и сравнительно малой длиной волны) рассеивается сильнее, чем оттенки более низких частот, в ходе процесса, известного как рэлеевское рассеяние и описанного в 1870-е годы. Джон Уильям Стратт (лорд Рэлей), в 1904 году получивший Нобелевскую премию по физике за открытие аргона, показал: когда длина волны света — того же порядка, что и размер молекул газа, интенсивность рассеиваемого света изменяется обратно пропорционально четвертой степени его длины волны. Лучи с меньшей длиной волны (скажем, голубые, синие и фиолетовые) рассеиваются сильнее, чем лучи с большей длиной волны. Все молекулы воздуха словно бы предпочитают светиться голубым, что мы и наблюдаем повсюду.

Но тогда небо должно бы казаться фиолетовым, ведь фиолетовый свет рассеивается еще сильнее, чем голубой. Однако небо не кажется фиолетовым: тут вступает в дело последняя — биологическая — часть загадки. Как выясняется, наши глаза устроены так, что они более чувствительны к голубому свету, нежели к фиолетовому.

Объяснение того, почему небо голубое, потребовало участия целого ряда естественных наук, рассмотрения множества факторов: здесь и цвета оптического спектра, и волновая природа света, и угол, под которым солнечные лучи попадают в атмосферу, и математика рассеяния света, и размер молекул кислорода и азота, и даже особенности восприятия света человеческим глазом. Вот сколько серьезной науки понадобилось для ответа на один-единственный вопрос, который может задать любой ребенок.

КРАСОТА ВОСХОДА

ФИЛИП КЭМПБЕЛЛ

Главный редактор *Nature*

Когда я впервые увлекся физикой, меня завораживала глубина ее объяснений вещей фундаментальных. К примеру, связь материи, энергии и пространства-времени в общей теории относительности казалась мне чрезвычайно изящным и глубоким объяснением (впрочем, так оно и есть).

А сегодня меня больше восхищают объяснения, лежащие в основе явлений, которые мы постоянно, каждый день видим вокруг себя и которые так легко принять как нечто само собой разумеющееся.

Как щедро солнце, что всегда
является в урочный час
(не опоздает никогда
раскрыть нам снова тайну дня)

Эти строки э.э.каммингс написал в начале своего лирического прославления нашей звезды. Как нетрудно понять, в них превозносится ежедневное событие — восход. Мы воспринимаем его как нечто (не)значительное и (не)таинственное, но это восприятие может стать для кого-то еще глубже, если мы узнаем о (по меньшей мере) трех объяснениях, которые лежат в основе данного явления. Каждое из них обладает как минимум одним из качеств, обозначенных в вопросе *Edge*: глубиной, изяществом или красотой.

Если вы (как и я) живете в умеренных северных широтах, вы наверняка знаете, что на ближайшем к вам горизонте, примерно между юго-востоком и северо-востоком, ежедневно поднимается солнце, причем точка пересечения им линии горизонта меняется в течение года: восход происходит все позже по мере того, как его точка смещается к северу и дни укорачиваются, а после зимнего солнцестояния процесс поворачивает вспять. За этим довольно сложным поведением таится простая истина: солнце точно соблюда-

ет расписание, и мы можем на него положиться, рассчитывая, что каждое утро где-то в восточной стороне оно будет подниматься над горизонтом.

Подобно великим творениям искусства, великое научное объяснение не теряет своей способности внушать восторженный трепет всякий раз, когда мы к нему обращаемся. В частности, так обстоит дело и с объяснением, согласно которому суточные и годовые циклы восходов вызваны вращением чуть наклонной Земли вокруг Солнца, чье положение относительно некоторой оси можно считать фиксированным — благодаря закону сохранения, по-прежнему остающемуся для нас загадкой.

В отличие от двух других выбранных мною объяснений вышеприведенное десятилетиями наталкивалось на скептицизм со стороны ученых. Гелиоцентрическое представление о Солнечной системе, предложенное Коперником в середине XVI столетия, широко приняли только ближе к середине XVII века. Мне кажется, эта победа над твердолобым научным скептицизмом и религиозной враждебностью лишь добавляет ему привлекательности.

Еще одно объяснение тоже явно обладает изяществом. Оно показывает, почему цвет неба меняется по мере подъема солнца. Лорд Рэлей сменил Джеймса Клерка Максвелла на посту кавендишского профессора физики¹ в Кембридже. Среди его первых достижений — формулировка законов рассеяния света. Его первая попытка вывести эти законы основывалась на неверной предпосылке: он считал, что свет рассеивается в упругом эфире. Хотя существование такого эфира опровергли только годы спустя, он заново провел свои расчеты, используя электромагнитную теорию Максвелла, носящую в высшей степени объединительный характер (иными словами, соединявшую в себе объяснение целого ряда разнородных явлений). «Рэлеевское рассеяние» — результат применения этих теорий к тем случаям, когда электромагнитная волна встречает на своем пути электрически поляризованные частицы значительно меньшего размера по сравнению с длиной этой волны. Как обнаружил Рэлей, интенсивность такого рассеяния обратно

¹ Традиционное почетное звание, которое носит один из профессоров Кавендишской лаборатории. — *Прим. перев.*

пропорциональна четвертой степени длины волны. К 1899 году он показал, что сами молекулы воздуха являются мощными «рассеивателями».

Вот, в сжатом виде, суть объяснения того, почему небо голубое, а рассветы — алые. Голубой свет гораздо сильнее рассеивается молекулами воздуха, чем свет с большей длиной волны. Поэтому солнечный диск кажется красным, когда свет от него должен проходить длинный атмосферный путь во время восхода и заката. (Следует также учитывать солнечный спектр и особенности визуального восприятия, свойственные нашим глазам.) Розовые облака, которые иной раз добавляют очарования восходу, состоят из сравнительно крупных капель, и те рассеивают покрасневший солнечный свет более равномерно, чем это делают молекулы воздуха, так что в цветовом отношении мы видим то же, что эти капли получают.

Третье объяснение восхода — самое глубокое и в философском, и в космологическом смысле. Какие процессы, идущие в самом Солнце, позволяют ему давать свет и тепло, кажущиеся нам вечными? Понимание особенностей ядерных реакций, проходящих в центре Солнца, явилось лишь частью объяснения, которое (во многом благодаря опубликованной в 1957 году работе Фаулера и Хойла¹) позволило нам понять не только то, как распространяется свет звезд, но и то, как возникают во Вселенной почти все природные элементы. Они рождаются благодаря цепным реакциям, идущим внутри стабильных и катастрофически нестабильных звезд — космических газовых шаров — на различных стадиях звездной эволюции, причем на них оказывают влияние все фундаментальные силы природы: гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия.

Читатели *Edge* знают: научное понимание усиливает, а не уменьшает красоту природы. И для меня все перечисленные объяснения вносят свой вклад в красоту восхода.

Кстати, как там насчет объяснения красоты? Нейрофизиологи ломают голову над изображениями, полученными методом ядерного магнитного резонанса. Недавнее сопо-

¹ «Synthesis of the Elements in Stars», *Rev. Mod. Phys.* 29:4, 547–650 (1957).

ставление целого ряда таких данных заставило предположить, что все наши эстетические суждения, похоже, подразумевают использование нейронных цепей в правой передней островковой доле — области коры головного мозга, которую обычно связывают с ощущениями от внутренних органов. Возможно, наше чувство прекрасного — какой-то побочный продукт эволюционных механизмов, в нужный момент поддерживающих в нас чувство сплоченности с ближними, а иногда и чувство отвращения. Когда наши астрономы обнаружат множество экзопланет, мы можем столкнуться с доказательствами существования каких-то форм внеземной жизни задолго до того, как придем к глубокому, изящному или красивому пониманию человеческой эстетики.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДЕНЕГ

ДИЛАН ЭВАНС

Основатель и генеральный директор *Projection Point*;
автор книги *Risk Intelligence: How to Live with Uncertainty*
(«Оценка риска: как жить в условиях неуверенности»)

Рассказ Карла Менгера о происхождении денег — мое любимое научное объяснение. Оно весьма убедительно, ибо показывает, как деньги постепенно возникли из бартерных отношений, при том, что никто их сознательно не изобретал, так что это великолепный пример действия Невидимой Руки из учения Адама Смита. Современные ученые как раз и называют такой процесс «постепенным возникновением».

Карл Менгер (1840–1921) основал австрийскую школу экономической мысли, неортодоксальную, часто высмеивавшуюся многими экономистами традиционного толка, чьи мнения зачастую определяли магистральный путь в экономической науке. Однако в своих гипотезах происхождения денег эти экономисты обходят вопрос, на который дает ответ Менгер. В традиционном учебнике экономики обычно перечисляются проблемы, вызванные натуральным обменом, и затем объясняется, как деньги позволили справиться с этими проблемами. Но авторы толком не объясняют, каким образом, собственно, появились деньги: точно так же простое перечисление всевозможных преимуществ воздушных перелетов не объясняет, как изобрели самолет. В своей «Теории монетарных институтов» (*The Theory of Monetary Institution*) (1999) Лоуренс Уайт пишет: «Создается впечатление, что меновая торговля в одно прекрасное утро просто почувствовала, какие преимущества сулит денежный обмен, и к середине дня уже всю использовала какой-то из товаров в качестве денег».

Такое объяснение, разумеется, смехотворно. По словам Менгера, деньги появляются в результате целого ряда небольших шагов, в основе каждого из которых — личная выгода и личный выбор индивидуальных торговцев. Сначала

торговцы, занимающиеся натуральным обменом, понимают, что в случаях, когда прямой обмен затруднителен, они могут получить желаемое путем непрямого обмена. Вместо того чтобы искать кого-то, у кого есть то, что я хочу, и кто одновременно хочет заполучить то, что у меня есть, мне достаточно просто найти того, кто хочет то, что у меня есть. Затем я могу сменять то, что у меня есть, на его товар, даже если не хочу потреблять его сам. А уж потом я сменяю полученный товар на что-то, что сам хочу потребить. Получается, что в данном случае я использовал промежуточный товар в качестве средства обмена.

Как отмечает Менгер, не все товары одинаково востребованы для обмена: некоторые легче обменять, чем другие. Следовательно, торговцу выгоднее накопить у себя большой запас ходких товаров для использования их в качестве средства обмена. Другие смысленные участники рынка быстро подхватят этот фокус, и в конце концов рынок сойдется на одном общем средстве обмена. Это и есть деньги.

Теория Менгера показывает не только то, как деньги могут появляться без всякого сознательного плана, но и то, что этот процесс не зависит от законодательных актов или центральных банков. На это, впрочем, тоже часто не обращают внимание экономисты традиционных направлений. Возьмите хоть Майкла Вудфорда. Это один из самых влиятельных экономистов-монетаристов из ныне живущих, но в его книге 2003 года «Выгода и цена: основы теории монетарной политики» (*Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*) не отводится и страницы на то, чтобы разобраться, как выглядела бы банковская система без всякого центрального банка. У свободной банковской системы долгая история. Впервые такая система зародилась в Китае примерно в 995 году, более чем за 6 столетий до появления первого центрального банка.

Можно ли дать появлению центральных банков такое же объяснение с точки зрения Невидимой Руки Рынка, которое Менгер предложил для механизма возникновения денег? По мнению Лоуренса Уайта, ответ зависит от того, что мы понимаем под термином «центральный банк». Если среди его определяющих свойств значится государственное финансирование, тогда ответ — «нет». Появление цен-

тральных банков нельзя приписать лишь воздействию рыночных механизмов: на каком-то этапе в дело вступает сознательная деятельность государства. Мотивы, которыми при этом руководствуются власти, нетрудно представить. Начнем с того, что, становясь эксклюзивным поставщиком банкнот, правительство получает монопольный источник прибыли, осуществляя своего рода беспроцентный заем у общества, являющегося носителем этих беспроцентных бумаг — денежных знаков.

В наши беспокойные времена, когда центральные банки увеличивают свои запасы денег путем массовых количественных послаблений (увеличения объема денежной массы с одновременным изменением размера обязательных резервов у коммерческих банков при весьма низких процентных ставках), теория Менгера действенна как никогда. Она предупреждает нас, что откликом еврозоны на нынешний кризис не обязательно должно быть усиление централизации: может возникнуть движение в противоположном направлении — в сторону режима, при котором каждому банку разрешено выпускать собственные банкноты. Тогда приток денег в экономику будут контролировать рыночные механизмы, а не центральные банки.

ПРЕЦЕССИЯ СИМУЛЯКРОВ

ДУГЛАС РУШКОФФ

Медиа-аналитик, писатель-документалист; автор книги *Life Inc: How Corporatism Conquered the World, and How We Can Take It Back* («Компания “Жизнь”: как корпоративизм завоевал мир и как нам отвоевать его обратно»)

Лишь в сравнительно позднем возрасте я обнаружил, что многие вещи, которые я считал чем-то само собой разумеющимся, какими-то изначально существующими во Вселенной, на самом деле являются собой творения и идеи людей. Я понял, что «прецессия симулякров» французского социолога и философа Жана Бодрийера — чрезвычайно полезный путь для понимания того, насколько мы сегодня оторваны от реальности.

Основная идея тут в следующем. Существует реальный мир, существуют карты, которыми мы пользуемся для его описания, и существует всякого рода иная деятельность, которая происходит на такой карте, — иногда почти не связанная с территорией, которую изображает данный участок карты. Есть реальный мир, есть представление реального мира, и есть ошибочное мнение, что эта симуляция и есть реальность.

Эта идея вновь вошла в моду, когда на сцену ворвалась виртуальная реальность. Различные авторы принялись то и дело цитировать Бодрийера, словно нас необходимо предупредить об опасностях ухода в наши виртуальные миры, как будто при этом мы оставляем позади наш мир из кирпича и цемента, из плоти и крови. Но я никогда не воспринимал компьютерные симуляции как нечто очень уж опасное. Более того, очевидная поддельность компьютерных имитаций (от игр до Фейсбука) не только поддерживает в нас осознание их симуляционной природы, но и вынуждает задаться вопросом о реальности всего остального.

Итак, есть земля — та реальная штука, по которой мы ходим. Есть территория — карты и линии, которые мы

используем, дабы определить границы земли. Но ведь вокруг того, как провести эти линии на картах, ведутся настоящие войны.

Можно выстраивать все новые и новые уровни отчуждения человека от реального мира, приводящие к все новым и новым абстракциям. Земля становится территорией; территория затем становится собственностью, которой начинает кто-то владеть. Сама по себе собственность может быть куплена в кредит. Ипотечный кредит — разновидность инвестиций, которую можно соотнести с производными финансовыми инструментами (деривативами), застраховавав их при помощи так называемого свопа на дефолт по кредиту (т.е. застраховавшись от неисполнения кредитных обязательств).

Есть компьютерный алгоритм для торговли кредитными дефолтными свопами (и есть программисты, пытающиеся отследить действия этого алгоритма, чтобы создать конкурирующие алгоритмы): такой уровень взаимодействия вполне реален. И с финансовой точки зрения он оказывает большее влияние на то, кому достанется право жить в вашем доме, чем едва ли не все прочие факторы. Кризис кредитных дефолтных свопов может обанкротить страну размером с Соединенные Штаты, ничего не изменяя на соответствующей реальной земле.

Или возьмем деньги. Это мера стоимости — труда, курицы, ботинка. Следующий уровень — та штука, при помощи которой мы представляем эту стоимость: скажем, золото, или таблички с записями о количестве хранящегося у вас в амбарах зерна, или золотые сертификаты. Мало того: как только мы привыкнем использовать эти записи или иные документы как эквивалент ценной вещи, мы можем сделать еще один шаг и прийти к банкноте федеральной резервной системы — бумажной валюте, которая не имеет никакой связи с золотом, зерном или трудом, с курами, с башмаками. Итак, перед нами три главных шага: стоимость, представление стоимости и отчуждение от того, что имеет стоимость.

Это последнее отчуждение играет особую роль, во многих отношениях весьма печальную. В этот момент мы забываем, откуда берутся вещи, мы забываем то, что они пред-

ставляют. Симуляция выходит на первый план, изображая реальность. Придуманный ландшафт ловко вписывается в природу, и в дальнейшем мы принимаем его за настоящий.

Тогда-то мы и становимся особенно уязвимы для иллюзий, фантазий и жульничества. Едва мы начинаем жить в мире искусственно созданных символов и симуляций, тот, кто управляет картой, будет управлять и нашей реальностью.

ТЕОРИЯ ПЕРСПЕКТИВЫ ВРЕМЕНИ

ФИЛИП ЗИМБАРДО

Почетный профессор психологии Стэнфордского университета; автор книги *The Lucifer Effect: Understanding How Good People Turn Evil* («Эффект Люцифера: как хорошие люди становятся дурными»)

На каждое наше решение, способное привести к важным действиям, сильнее всего влияет ощущение психологического времени. Все мы живем во множестве временных зон сразу: мы впитали их в детстве, они сформировались у нас благодаря образованию, влиянию культуры, общественного слоя, к которому мы принадлежим, опыта экономической и семейной стабильности или нестабильности. У большинства из нас в результате смещается ориентация во времени — мы предпочитаем одну зону времени другим, в результате чересчур ориентируясь на прошлое, настоящее или будущее. А следовательно, когда настает пора принимать решения (по важным или маловажным вопросам), на некоторых из нас оказывают влияние лишь факторы, касающиеся ситуации перед нашими глазами: что делают другие, что они говорят, на чем настаивают, а кроме того, каковы наши собственные побуждения и желания. Другие, оказавшись в подобной ситуации, игнорируют настоящее, обращая главное внимание на прошлое: на сходства между обстоятельствами того, что происходит сейчас, и того, что происходило раньше, при этом вспоминая, что было тогда сделано и к каким последствиям привело. Третья разновидность принимающих решения игнорирует и прошлое, и настоящее, сосредоточившись в основном на будущем, сопоставляя грядущие затраты и выгоды.

Более того, в каждой из этих временных зон имеются дополнительные подразделения. Некоторые люди, ориентированные на прошлое, склонны фокусироваться на негативном опыте (на сожалении, неуспехе, насилии, травме), тогда как другие преимущественно обращают внимание на

положительные стороны прошлого (старые добрые деньки, ностальгические ощущения, чувство благодарности, былые успехи). Ориентация на настоящее тоже бывает двойкой: вы живете либо в гедонистической субзоне (ища удовольствий, новизны, острых ощущений), либо в фаталистической, полагая, что ничто не способно изменить ваше будущее. Ориентированные на будущее могут ставить цели, планировать стратегии, которые часто оказываются успешными; другие же любители этой зоны глядят в будущее с трансцендентной точки зрения, размышляя о той жизни, что начнется после смерти нашего бренного тела.

Интерес к теории перспективы времени побудил меня разработать специальный определитель, позволяющий точно узнать, в какой степени мы вписываемся в одну из этих 6 временных зон. Определитель Перспективы Времени по Зимбардо (ОПВЗ) проводит корреляцию между количественно выраженной степенью погруженности в эти временные зоны и целым рядом других психологических черт и особенностей поведения. Мы продемонстрировали, что восприятие перспективы времени оказывает существенное влияние на огромное количество аспектов человеческой природы. Некоторые из открытых нами связей показывают коэффициенты корреляции, которые гораздо выше, чем при оценке с помощью любых традиционных личностных тестов. Так, ориентация на будущее коррелирует (коэффициент 0,70) с такой чертой, как добросовестность, а она, в свою очередь, служит прогностическим фактором для долголетия. Гедонизм ориентирующихся на настоящее коррелирует (коэффициент 0,70) с поиском острых ощущений и новизны. Те, кто очень склонен искать негативное в прошлом, скорее всего, будут обладать высоким уровнем тревожности, депрессивности и гневности: соответствующие коэффициенты корреляции достигают 0,75. Значительные корреляции выявлены также между фатализмом и уровнем душевных страданий. Следует пояснить, что этот многофакторный анализ проведен на примере выборки студентов колледжа, так что подобные эффекты должны привлечь внимание их наставников. Кроме простых количественных корреляций ОПВЗ позволяет давать предсказания, касающиеся широкого ряда моделей

поведения: здесь и успеваемость, и склонность к риску или насилию, и злоупотребление алкоголем и наркотиками, и стремление охранять окружающую среду, и желание регулярно проходить медосмотры, и творческий потенциал, и эффективность в решении проблем, и многое другое.

Наконец, одно из наиболее неожиданных приложений теории перспективы времени — ее применение в качестве лечения временем (временной терапии) для исцеления посттравматического стрессового расстройства у ветеранов войн, женщин, подвергшихся изнасилованию, или у тех, кто пережил автокатастрофу с человеческими жертвами. Доктора Ричард и Розмари Суорд добились выдающихся успехов, лечя при помощи этой методики ветеранов недавних войн, которые вели США, а также гражданских пациентов. Главное в такой терапии — заменить чрезмерный фатализм и чрезмерную ориентацию на негативные моменты прошлого на взгляд в будущее, наполненное надеждой, с некоторой добавкой гедонизма в настоящем и светлых воспоминаний о прошлом. Среди 30 ветеранов разного возраста и этнической принадлежности, страдающих посттравматическим расстройством, временная терапия на протяжении сравнительно малого количества сеансов (по сравнению с традиционными методами когнитивно-поведенческой терапии) привела к значительным успехам в лечении посттравматического расстройства, а кроме того, значительно улучшила социальные и профессиональные связи пациентов, что в перспективе должно сильно изменить их жизнь. Приятно видеть, что мы приносим пользу такому большому количеству наших ветеранов, десятилетиями страдавших от острых психологических травм, причиной которых стали боевые действия. Теперь эти ветераны открывают для себя новую жизнь — заводят семьи, приобретают друзей, с удовольствием работают и отдыхают. И все это — благодаря простой и изящной перенастройке их ментальной ориентации.

ТЯГОТЫ ПЕРЕХОДНОГО ВОЗРАСТА ОБЪЯСНЯЮТСЯ ВРЕМЕННЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ РАЗВИТИЯ

ЭЛИСОН ГОУПНИК

Профессор психологии, аффилированный профессор философии Калифорнийского университета в Беркли; автор книги *The Philosophical Baby* («Философское дитя»)

«О чем он только думал?» Типичный стон озадаченных родителей, пытающихся объяснить, почему их ребенок-подросток плохо себя ведет. Психологи, занимающиеся проблемами развития, нейрофизиологи, практикующие врачи дают интересное и вполне изящное объяснение тинейджерских странностей. Идея состоит в том, что при превращении детей во взрослых задействуются две различных нервных и функциональных системы, связи между этими двумя системами меняются, что и определяет особенности переходного возраста.

Во-первых, существует мотивационная и эмоциональная система, которая весьма тесно связана с биологическими и химическими изменениями, происходящими в организме в период полового созревания. Вот что превращает тихих десятилеток, находящихся в безопасной гавани незрелого детства, в беспокойных, буйных, эмоционально напряженных подростков, отчаянно пытающихся достичь каждой поставленной цели, удовлетворить каждое желание, испытать каждое возможное ощущение. А для подростков самая важная цель из всех — добиться уважения сверстников. Как показали недавние исследования, подростки безрассудны вовсе не потому, что недооценивают степень риска, а потому, что переоценивают возможную награду, особенно социальную; награда для них более ценна, чем для взрослых. Вспомните страсти первой любви, неповторимые моменты триумфа после победы в школьных соревнованиях по баскетболу... В юности вы *хотите* чего-то, в среднем возрасте вы *хотите хотеть*.

Вторая система — контролирующая: она способна перенаправлять и обуздывать всю эту бурлящую энергию. Префронтальная кора головного мозга старается руководить другими частями мозга, она подавляет спонтанные импульсы и управляет принятием решений. Эта система больше зависит от обучения, чем система мотивационная. Вы учитесь принимать правильные решения, сначала принимая не очень-то хорошие, а затем внося в них исправления. Умение приходит с опытом.

В нашем далеком эволюционном прошлом (чего там, даже в недавнем историческом прошлом) эти две системы работали синхронно. Образование в детстве главным образом сводилось к формальному и неформальному практическому ученичеству — в том смысле, в каком подмастерье перенимает навыки и умения у мастера. У детей имелась масса возможностей попрактиковаться именно в том, что понадобится им для достижения своих целей во взрослую пору жизни, а значит, они могли уже с ранних лет стать опытными планировщиками и исполнителями своих планов. Чтобы стать хорошим охотником или собирателем, кухаркой или воспитательницей, нужно на самом деле заниматься охотой, собирательством, стряпней и воспитанием детей, тем самым настраивая те нейронные схемы в префронтальной коре, которые понадобятся юному человеку в зрелом возрасте. Но все это вы проделываете под надзором опытных взрослых и в защищенном мире детства, где последствия ваших неизбежных промахов сглажены. А когда в вас взыграют мотивационные соки переходного возраста, вы будете готовы гнаться за реальными наградами с новым рвением, и у вас уже будет нужный опыт и умение владеть собой, позволяющие делать это эффективно и благоразумно-безопасно.

Однако в современной жизни отношения между этими двумя системами переменились. По отчасти таинственным (но наверняка биологическим) причинам период полового созревания наступает у человека во все более и более раннем возрасте. (Основная гипотеза сводится к тому, что у детей меняется энергетический баланс: они больше едят и меньше двигаются.) Одновременно активизируется и мотивационная система.

При этом у современных детей очень мало опыта, касающегося тех задач, которые им придется выполнять, став взрослыми. У подрастающего поколения все меньше и меньше возможностей практиковаться в таких базовых навыках, как приготовление пищи и воспитание детей. Собственно говоря, нынешние подростки периода полового созревания (и приближающиеся к этому периоду) занимаются в основном тем, что ходят в школу. А что касается попыток достичь реальной цели в реальном времени и в реальном мире, то подобный опыт приобретается сегодня позже, а ведь развитие внутренней системы контроля как раз и зависит от него. Психолог Рон Даль, специализирующийся на проблемах развития, придумал удачную метафору для того, что получается в результате: у подростков формируются педаль газа и акселератор задолго до того, как они обретают руль и тормоза.

Это не значит, что нынешние подростки глупее своих предшественников: во многих смыслах они умнее. Есть даже некоторые доказательства в пользу того, что такое отставание в накоплении «реального опыта» (и в связанном с ним развитии префронтальных областей коры головного мозга) имеет корреляцию с более высоким уровнем интеллекта. Усиливающееся внимание к школьному обучению приводит к тому, что дети больше знают по большому числу предметов по сравнению со временами подмастерий. Становясь опытной кухаркой традиционным способом, вы ничего не узнаете об эволюции использования инструментов или о составе соли — хлориде натрия: таким вещам учат в школе. Но есть разный ум: знание истории и химии не поможет вам приготовить суфле.

Разумеется, старики всегда жаловались на молодежь. Но приведенное объяснение элегантно разрешает парадоксы и проблемы нынешнего поколения подростков. Вокруг нас, похоже, сейчас действительно имеется множество молодых взрослых, которые невероятно умны и сведущи, однако лишены цели в жизни; они полны энтузиазма и кипучей энергии, но не в состоянии сделать какую-либо определенную работу (или устроить семейную жизнь хоть с кем-нибудь) лет до 25, а то и до 35. Что еще печальнее, нас окружает множество детей, сталкивающихся с жесто-

кой реальностью жажды секса, власти, уважения, однако лишенных опыта и умения контролировать собственные порывы, а потому не умеющих избежать беременности или насилия.

Мне нравится это объяснение, поскольку оно дает истолкование многим повседневным сложным явлениям. Но мне оно нравится еще и потому, что подчеркивает два немаловажных факта касательно мозга и сознания: этими фактами часто пренебрегают. Во-первых, мозг во многом формируется опытом. Наш опыт управления собственными импульсами заставляет префронтальную кору развиваться, а не наоборот. Во-вторых, становится очевиднее, что развитие играет ключевую роль в объяснении человеческой природы. Старинная эволюционно-психологическая картинка сводилась к следующему: небольшой набор генов («модуль») напрямую отвечает за какую-то определенную модель поведения взрослого человека. Однако ученые получают все больше доказательств в пользу того, что гены — лишь первая ступень в сложных цепочках развития, каскадах взаимодействия между организмом и средой, и что именно эти процессы развития и формируют мозг взрослого. Даже небольшие сдвиги в хронометраже развития могут привести к большим изменениям в нас самих — в том, какими мы становимся.

ВЕЛИКОЕ ОТКРЫТИЕ ИВАНА ПАВЛОВА И ЕГО СЛЕДСТВИЯ

СТИВЕН М. КОССЛИН

Психолог, директор Центра передовых исследований
в области поведенческих наук Стэнфордского университета

РОБИН РОЗЕНБЕРГ

Психолог-клиницист; автор книги *What's the Matter with Batman?* («Что не так с Бэтменом?»)

Легко представить себе, как стали бы возражать политики, предложи им кто-нибудь направить федеральные средства на исследование того, в каких случаях у собаки капает слюна. Однако нежелание поддержать такие изыскания оказалось бы весьма недалёковидным. Великий русский физиолог Иван Павлов (1849–1936), изучая процессы пищеварения (эти работы принесут ему Нобелевскую премию), измерял количество слюны, выделяющейся у подопытной собаки во время ее кормления. В процессе экспериментов Павлов с коллегами заметили неожиданную вещь: слюна у собак начинала вырабатываться задолго до кормления. Собственно, слюноотделение начиналось, едва подопытное животное слышало шаги приближающегося человека, который должен принести еду. Так был открыт классический условный рефлекс.

Основная идея классического (павловского) условного рефлекса состоит в том, что нейтральный стимул (к примеру, звук приближающихся шагов) начинает ассоциироваться со стимулом (скажем, пищей), который вызывает рефлекторную реакцию (скажем, выделение слюны). Спустя некоторое время этот нейтральный стимул уже сам по себе вызывает отклик, который рефлекторно возникал под действием парного к нему стимула (раздражителя). Чтобы явление было понятнее, нужно сказать несколько слов о терминах. Упомянутый нейтральный стимул становится «условным», вот почему его так и называют — условным

стимулом, тогда как стимул, вызывающий рефлекторную реакцию, называется безусловным. Отклик, вызванный безусловным стимулом, называется безусловным рефлексом. Классический условный рефлекс (классическое обусловливание) возникает, когда условный стимул представляется непосредственно перед безусловным, так что через какое-то время условный стимул сам по себе дает отклик — реакцию, которая называется условным рефлексом. Коротко говоря, появление безусловного стимула (такого, как пища) дает безусловный рефлекс (скажем, слюноотделение); когда условный раздражитель (например, звук шагов того, кто приносит корм) представлен незадолго до безусловного раздражителя, он вскоре сам начинает порождать тот же отклик — теперь уже условный рефлекс (слюноотделение).

Этот несложный процесс дает возможность сформулировать целый ряд изящных объяснений, не являющихся интуитивно-очевидными.

Возьмем, к примеру, случайную гибель от передозировки наркотиков. Обычно наркоман склонен принимать свою отраву в определенной обстановке — скажем, у себя в ванной. Сама по себе эта обстановка является нейтральным стимулом, но после того, как в ней кто-нибудь несколько раз употребит свое зелье, ванная комната начнет выполнять функцию условного стимула: едва наркоман входит в ванную с наркотиком, его организм откликается на эту обстановку, готовясь усваивать препарат. Определенные физиологические реакции позволяют организму худо-бедно справиться с наркотиком, и эти реакции становятся «обусловленными» ванной — иными словами, становятся условным рефлексом. Теперь, чтобы как следует «заточить», наркоман вынужден вводить себе такую дозу наркотика, чтобы она превозмогла эту подготовку, заранее принятую организмом. Но если бедняга принимает наркотик в другом месте (скажем, в ванной своего друга во время вечеринки), условный рефлекс не проявится, т. е. привычная физиологическая подготовка к приему наркотика не произойдет. Поэтому обычное количество наркотика подействует как более серьезная доза — возможно, превышающая ту, которую наркоман может выдержать без пред-

варительной подготовки, осуществляемой его организмом. И хотя процесс классического обусловливания был описан для объяснения совсем других явлений, можно применить это описание и для того, чтобы объяснить, почему наркотическая передозировка происходит иногда случайно, когда привычная доза принимается в новой обстановке.

Сходным образом классическое обусловливание играет роль и в возникновении эффекта плацебо. Многие из нас регулярно принимают анальгетики (скажем, ибупрофен или аспирин). Эти вещества порой начинают давать эффект задолго до того, как вступят в действие их активные компоненты. В чем причина? В опыте предшествующего приема лекарства. Сам акт приема таблетки становится условным стимулом, который запускает процессы обезболивания, вызываемые собственно препаратом (эти процессы становятся условным рефлексом).

Классическое обусловливание может возникать и в результате применения кардиостимулятора (искусственного водителя сердечного ритма). Когда сердце начинает биться слишком часто, устройство подает на него электрический разряд, что заставляет орган сокращаться с нормальной скоростью. Пока сила разряда не откалибрована как следует, такой разряд может быть весьма болезненным и вести себя как безусловный стимул, вызывая страх — безусловный рефлекс. Поскольку в обстановке «стабильности» разряд не дается, пациент ассоциирует с ним разного рода случайные элементы обстановки, которые затем начинают действовать как условные раздражители. И когда появится любой из этих элементов, пациент будет испытывать острое, тревожное состояние, ожидая возможного разряда.

Тот же процесс объясняет, почему какой-то продукт кажется вам непривлекательным после того, как вы им отравились. Продукт может стать условным стимулом, и если вы затем его едите или даже думаете о том, чтобы его отведать, не исключено, что вы начнете чувствовать тошноту: так проявляется условный рефлекс. Скорее всего, вы начнете избегать этого продукта, и в результате у вас разовьется отвращение к нему. Собственно, даже просто совместный показ изображений определенных видов пищи (скажем, картофеля, поджаренного во фритюре) и фотографий,

вызывающих омерзение (скажем, ужасно обожженного трупа), может изменить восприятие данного продукта, сделав его гораздо менее привлекательным.

Таким образом, открытие Павловым процесса выделения «слюны ожидания» легкоприменимо к широкому ряду явлений. При всем при том следует отметить, что его первоначальная концепция классического обусловливания оказалась все же не совсем верной. Он полагал, что поступающий в организм сенсорный сигнал напрямую связан с определенными реакциями, поэтому раздражители вызывают отклик автоматически. Теперь нам известно, что здесь не такая прямая связь: классическое обусловливание включает в себя множество когнитивных процессов, в том числе концентрацию внимания, а также процессы, лежащие в основе интерпретации и понимания. В сущности, классическое обусловливание — форма неявного обучения, позволяющая нам ориентироваться в жизни, затрачивая меньше когнитивных (познавательных) усилий, чем потребовалось бы, не обладай мы способностью к выработке условных рефлексов. Однако такая разновидность обусловливания имеет и побочные последствия, которые могут оказывать весьма мощный, неожиданный, а подчас даже и опасный эффект.

ПРИРОДА УМНЕЕ НАС

ТЕРЕНС ДЖ. СЕЙНОВСКИ

Специалист по вычислительной нейрофизиологии, профессор Института Солка; автор книги *The Computational Brain* («Мозг-вычислитель»)

Мы полагаем, что важнейшие решения в нашей жизни — какую работу выбрать, где жить, на ком жениться — мы принимаем сознательно. Однако целый ряд свидетельств, полученных биологами, указывает на противоположное: процесс принятия решений происходит в древней системе мозга, именуемой базальными ядрами, и в их мозговые цепи наше сознание доступа не имеет.

Научный путь, приведший к такому выводу, начался с исследования пчел. Рабочие пчелы летят на весеннее поле за нектаром, который они идентифицируют по цвету, запаху и форме цветка. Цепь обучения в пчелином мозгу замыкается на VUMx1 — единичный нейрон: он получает сенсорный сигнал, а чуть позже — сообщение о степени ценности нектара, таким образом учась предсказывать нектарную ценность данного цветка в следующий раз, когда пчела с ним встретится. Эта отсрочка играет важную роль. Здесь важнее всего именно предсказание, а не просто ассоциация. Та же идея является стержнем темпорально-дифференциального (ТД-) обучения, которое включает в себя освоение последовательности решений, приводящих к определенной цели, и особенно эффективно в нестабильных и ненадежных средах — скажем, в мире, где мы живаем.

В глубине среднего мозга у нас таится небольшой набор нейронов, который имелся и у наших самых ранних позвоночных предков; он подает сигналы и корковой мантии, и базальным ядрам. Нейроны эти вырабатывают нейротрансмиттер под названием допамин: он оказывает огромное влияние на наше поведение. Допамин именуют «молекулой вознаграждения», но еще важнее награды способность этих нейронов предсказывать награждение: насколько я буду рад, если получу эту работу? Допаминовые нейроны,

играющие центральную роль в мотивационных процессах, реализуют ТД-обучение — как и нейрон VUMmx1.

ТД-обучение решает проблему отыскания кратчайшего пути к цели. Этот алгоритм действует в реальном времени, поскольку обучение происходит посредством непрерывного исследования и посредством выявления ценности промежуточных решений на пути к цели. При этом создается некая «функция внутренней ценности», которую можно использовать для предсказания последствий действий. Допаминовые нейроны оценивают текущее состояние всей коры в целом и сообщают мозгу, каков оптимальный план действий, исходя из текущего состояния. Во многих случаях оптимальным вариантом является догадка, но поскольку эффективность догадок можно улучшать, ТД-обучение со временем вырабатывает функцию ценности прогностических возможностей. Допамин служит источником «внутреннего предчувствия», которое у нас иногда бывает: из этого вещества и делается интуиция.

Когда вы рассматриваете различные варианты действий, мозговые цепочки оценивают каждый сценарий, и прогнозируемая ценность каждого решения оценивается по промежуточному содержанию допамина для каждого случая. Уровень допамина связан также с уровнем мотивации, так что высокое содержание допамина не только указывает на высокий уровень ожидаемого вознаграждения, но и подразумевает, что вам потребуется более высокий уровень мотивации, чтобы достигнуть цели. С двигательной системой в буквальном смысле то же самое: более высокий уровень допаминового тонуса обеспечивает более быстрые движения. Кокаин и амфетамины вызывают такое сильное привыкание именно вследствие повышения допаминовой активности при их приеме: они словно взламывают внутреннюю мотивационную систему мозга. Снижение содержания допамина в организме приводит к агедонии — неспособности испытывать удовольствие. Утрата допаминовых нейронов ведет к развитию болезни Паркинсона — неспособности самостоятельно действовать и мыслить.

ТД-обучение обладает такой высокой эффективностью, поскольку позволяет объединять ценностную информацию множества разных аспектов — к примеру, сравнивая

яблоки и апельсины. Оно играет такую важную роль, ибо рациональное принятие решений бывает весьма затруднительным, когда мы имеем дело с большим количеством переменных параметров и неизвестных величин. Обладание внутренней системой, умеющей быстро снабжать нас удачными догадками, несет в себе громадные преимущества и может даже спасти нам жизнь в тех случаях, когда срочно требуется решение. ТД-обучение зависит от нашего жизненного опыта, от былых переживаний. Оно извлекает самое существенное из этого опыта даже спустя долгое время после того, как отдельные подробности уже забылись.

ТД-обучение также дает объяснение многим экспериментам, которые ставили психологи, обучая крыс и голубей выполнять несложные задания. Алгоритмы психологического подкрепления при обучении считаются слишком слабыми для объяснения сложных моделей поведения, поскольку при этом обратная связь со стороны среды минимальна. Тем не менее обучение методом подкрепления распространено почти у всех видов и играет важнейшую роль в возникновении самых сложных форм сенсорно-моторной координации — таких, например, как игра на фортепиано или речь. Обучение методом подкрепления оттачивалось сотнями миллионов лет эволюции.

Насколько сложную проблему можно решить с помощью ТД-обучения? «TD-Gammon» — компьютерная программа, которая учится играть в нарды, просто сражаясь сама с собой. Трудность такого подхода в том, что награда приходит лишь в конце партии, так что неясно, какие именно ходы были хорошими и привели к победе. Вначале программа ничего не знает об игре кроме правил. Играя сама с собой много раз и применяя алгоритмы ТД-обучения, программа постепенно поднимается от уровня новичка к уровню опытного игрока, попутно придумывая и запоминая хитрые стратегии, похожие на те, что используются игроками-людьми. Сыграв сама с собой миллион раз, программа достигла чемпионского уровня и открыла новый метод позиционной игры, изумивший специалистов-людей. Такие же принципы, примененные к игре го, позволили компьютерам достичь впечатляющего мастерства; не за горами их выступление на профессиональном уровне.

Когда речь идет об огромном количестве возможных исходов, полезно применять методы предварительного отбора, отсекающие незначимых вариантов. Внимание и работоспособная память позволяют нам сосредоточиваться на самых важных элементах проблемы. Обучение методом подкрепления становится еще эффективнее благодаря сознательной (декларативной) памяти, которая отслеживает уникальные объекты и события. Когда у приматов в ходе эволюции появился более крупный мозг, соответствующее увеличение емкости памяти чрезвычайно улучшило их способность принимать сложные решения, позволив осуществлять более длинные последовательности действий для достижения целей. Мы — единственный вид, который избрал систему образования и который ввергает себя в долгие годы уроков и экзаменов. Отложенное вознаграждение может восприниматься как нечто ожидающее нас лишь в далеком будущем (в некоторых случаях — в воображаемой жизни после смерти): такова власть допамина над нашим поведением.

В начале когнитивной революции 1960-х даже самые блестящие умы не могли представить себе, что обучение с подкреплением может служить причиной разумного поведения. Ум ненадежен. Природа умнее нас.

НАСАЖДАЯ СЛУЧАЙНОСТЬ

МАЙКЛ НОРТОН

Адъюнкт-профессор бизнес-администрирования
Гарвардской бизнес-школы

Пол Мейер, скончавшийся в 2011 году, известен прежде всего благодаря так называемой процедуре Каплана–Мейера, применяемой для оценки выживаемости. Однако Мейер также сыграл важнейшую роль в широком распространении бесценного объяснительного средства — рандомизированного эксперимента. Нарочитая сухость термина маскирует его элегантность, которая в руках лучших исполнителей достигает уровня искусства. Попросту говоря, такие эксперименты представляют собой уникальное и мощное средство получения ответов на вопрос, интересующий ученых из самых разных областей: как нам узнать, работает что-то или нет?

Возьмем вопрос, каждый год всплывающий в прессе: полезно или вредно для нас красное вино? Мы многое выясним насчет того, как действует эта жидкость, опрашивая людей об их режиме потребления напитка и состоянии здоровья, а затем ища корреляции между первым и вторым. Однако для того, чтобы избирательно оценить воздействие красного вина на здоровье, требуется задать людям *много* вопросов — обо всем, что они потребляют (о еде, о лекарствах, которые они принимают), об их привычках (здесь и физическая активность, и сон, и секс), об их прошлом (об «истории болезней» не только самого человека, но и его родителей, бабушек и дедушек) и т. п. — а уж затем попытаться просеять эти факторы, чтобы выделить роль вина. Только представьте длину такой анкеты и продолжительность соответствующего исследования!

И тут рандомизированные эксперименты коренным образом меняют наш подход. Мы принимаем как данность, что люди отличаются друг от друга по множеству вышеописанных (и других) параметров, но справляемся с этим разнообразием, случайным образом выбирая людей, которым поручаем или пить красное вино, или не пить его. Если любители пончиков, никогда не занимающиеся физиче-

скими упражнениями, с равной вероятностью попадают и в «винную группу», и в «контрольную группу» (ту, которой не дают вина), мы можем довольно уверенно оценить усредненное влияние красного вина *вне зависимости от других факторов* — как бы «поверх» их. Звучит просто? Что ж, это действительно довольно просто, но всякий раз, когда столь простая методика позволяет достичь столь многого, уместно назвать ее изящной.

Количество экспериментов в общественных науках сильно выросло в 1950-е годы (к этому периоду относятся и работы Мейера). В последние годы экспериментальная деятельность в этой сфере вновь переживает взлет благодаря широкому применению рандомизированных экспериментов в самых разных сферах — от медицины (скажем, при проверке результатов применения когнитивно-поведенческой терапии) до политологии (опыты по оценке явки на избирательные участки) и образования (изыскания, при которых родителям предлагают платить детям за школьные успехи). Этот экспериментальный метод начал просачиваться и в публичную политику, оказывая на нее немалое влияние: так, президент Обама назначил Касса Санстейна, специалиста по поведенческой экономике, главой Службы информации и нормативно-законодательного регулирования Белого дома, а британский премьер-министр Дэвид Кэмерон учредил Группу поведенческих исследований.

Рандомизированные эксперименты, конечно, не являются идеальным инструментом. Некоторые важные вопросы не поддаются решению с их помощью, а в неподходящих руках этот метод может даже принести вред — как печально известный эксперимент по исследованию сифилиса, некогда проведенный в алабамском городе Таскиги¹. Однако все более широкое применение метода свидетельствует о его гибкости, нередко позволяющей получать нужные объяснения.

¹ Многолетний эксперимент над представителями бедного афроамериканского населения Таскиги (1932–1972). Испытуемые не получали должного лечения, в результате некоторые из них погибли. Один из врачей, проводивших эти изыскания, во всеуслышание заявлял, что относится к изучаемым в рамках эксперимента людям «как к материалу для исследований, а не как к больным». — *Прим. перев.*

ОБЪЕДИНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

ЛОУРЕНС М. КРАУСС

Физик, космолог (Аризонский университет); автор книги
A Universe from Nothing («Вселенная из ничего»)

В недавней истории науки я не могу найти другого столь же красивого и глубокого, а в конечном счете и столь же изящного объяснения, каким, на мой взгляд, является сформулированное еще в XIX веке объяснение примечательной связи между двумя всем известными, но, казалось бы, довольно далекими друг от друга природными силами — электричеством и магнетизмом. Для меня здесь сосредоточены лучшие черты науки. Идея сочетает в себе неожиданные эмпирические открытия с необычайно простым и элегантным математическим описанием, которое объяснило гораздо больше, чем планировалось, попутно породив технологию, и сегодня питающую нашу современную цивилизацию.

Чудноватые опыты с лягушками и электрическими цепями в итоге привели, во многом благодаря счастливой случайности, к открытию, которое сделал ученый-самоучка и при этом величайший экспериментатор своего времени — Майкл Фарадей. Он обнаружил, что между магнитами и электрическими токами существует некая странная связь. Ученые тогда уже хорошо знали, что движущийся электрический заряд (или ток) создает вокруг себя магнитное поле, способное отталкивать или притягивать другие магниты, оказывающиеся поблизости. Оставалось неясным, способны ли магниты создавать какую-то электрическую силу в заряженных предметах. Фарадей случайно обнаружил: включая или выключая рубильник и тем самым включая или выключая электрический ток и создавая магнитное поле, которое со временем росло или ослабевало в течение тех периодов, когда это магнитное поле менялось, в расположенном поблизости проводе внезапно возникала некая

сила, которая приводила в движение находящиеся в проводе электрические заряды, тем самым создавая ток.

Фарадеевский закон индукции (как его стали называть) — не только описание основополагающего принципа, управляющего всеми генераторами электроэнергии (от гидроэлектростанции на Ниагарском водопаде до всевозможных АЭС), но и теоретическая загадка, для решения которой потребовался незаурядный ум величайшего физика-теоретика фарадеевских времен Джеймса Клерка Максвелла. Он понял: результат, полученный Фарадеем, заставляет предположить, что именно переменное магнитное поле (яркое понятие, введенное самим Фарадеем, поскольку он увереннее чувствовал себя с образами, чем с алгеброй) порождает электрическое поле, которое, в свою очередь, толкает заряды провода, тем самым создавая в нем электрический ток.

Требования математической симметрии в уравнениях, которым подчиняются электрические и магнитные поля, привели к пониманию того, что магнитное поле возникает при изменении электрического поля, а не просто при перемещении зарядов. Отсюда не только компактный (умещающийся на майку) набор математически корректных и согласующихся друг с другом уравнений, известных каждому студенту-физику (некоторые их даже любят) и носящих название уравнений Максвелла, но и закрепление как физической реальности того, что иначе оставалось бы лишь плодом воображения Фарадея. Мы говорим про поле — некую количественную характеристику, связанную с каждой точкой пространства и времени.

Более того, Максвелл осознал, что если меняющееся электрическое поле создает в результате поле магнитное, то постоянно меняющееся электрическое поле (скажем, если все время то увеличивать, то уменьшать заряд), вероятно, даст постоянно меняющееся магнитное поле. А это, в свою очередь, породит постоянно меняющееся электрическое поле, которое, в свою очередь, породит постоянно меняющееся магнитное поле — и так далее. Подобное «возмущение» поля выйдет за пределы своего источника (нашего колеблющегося заряда) со скоростью, которую Максвелл считал при помощи своих уравнений. Их параметры были

получены экспериментальным путем — при измерении силы электрического взаимодействия между двумя известными зарядами и силы магнитного взаимодействия между двумя известными токами.

На основании этих двух фундаментальных свойств природы Максвелл вычислил скорость распространения таких возмущений и обнаружил, что она в точности равна ранее измеренной скорости света! Так он доказал, что свет действительно представляет собой волну, причем, как продемонстрировал Максвелл, волну электрических и магнитных полей, которая движется в пространстве с фиксированной скоростью, определяемой двумя фундаментальными природными константами. Это позволило Эйнштейну, примерно поколение спустя, показать, что постоянство скорости света требует пересмотра наших представлений о пространстве и времени.

Так из опытов с лягушками и дифференциальных уравнений выросла одна из самых красивых универсальных теорий физики — слияние электричества и магнетизма в единую теорию электромагнетизма. Теория Максвелла объясняла то, что позволяет нам наблюдать окружающую Вселенную, а именно — природу света. Ее практическое применение породило механизмы, которые питают энергией нашу цивилизацию, и принципы, которые легли в основу действия практически всех нынешних электронных приборов. Природа же самой этой теории породила целый ряд дальнейших загадок, позволивших Эйнштейну прийти к новым прозрениям касательно пространства и времени.

Неплохо для опытов, в чьей пользе сомневался Гладстон (или королева Виктория — в зависимости от того, какому историческому анекдоту вы верите): придя к Фарадею в лабораторию, сие историческое лицо изволило осведомиться, вокруг чего столько суматохи и какая польза от всех этих экспериментов. По преданию, ответ Фарадея гласил: «А какая польза от новорожденного младенца?» или же (моя любимая версия): «Польза? Ну, когда-нибудь эта штука станет такой полезной, что вы начнете брать с нас налоги за нее!» Красота, изящество, глубина, практичность, приключения, интеллектуальный восторг! Наука в лучших своих проявлениях!

ПУШИСТЫЕ РЕЗИНОВЫЕ ЛЕНТЫ

НИЛ ГЕРШЕНФЕЛЬД

Директор Центра элементарных частиц и атомов

Массачусетского технологического института; автор книги
*Fab: The Coming Revolution on your Desktop — from Personal
Computers to Personal Fabrication*

(«Фабы: грядущая революция на вашем рабочем столе —
от персонального компьютера до фабрикации личности»)

Я изучал электродинамику в Суортморе, у профессора Марка Хилда и по его лаконичному учебнику, описывающему еще более лаконичный набор уравнений — уравнения Максвелла. В четырех строчках, всего в 31 символе (даже меньше, если похитрить со способами записи) уравнения Максвелла сумели объединить явления, считавшиеся не связанными друг с другом (динамику электрического и магнитного полей), предсказать новые эффекты, стать предвестием грядущих теоретических достижений (в том числе доказательства волновой природы света и формулировки специальной теории относительности) и будущих технологий (позволивших, в частности, создать волоконную оптику и коаксиальные кабели, а кроме того, разработать методики беспроводной передачи сигнала — в том числе и для Интернета).

Но больше всего мне запомнилось не максвелловское объяснение электромагнетизма, славящееся красотой и своими замечательными следствиями, а объяснение Хилда про линии электрического поля, похожие на пушистые резиновые полоски: они стремятся быть как можно короче (так ведет себя резина), но не хотят находиться совсем уж рядом друг с другом (словно покрыты мехом). Это легко схватываемое описание (пускай и не количественное, а только качественное) сослужило мне хорошую службу, когда я разрабатывал всевозможные устройства. Более того, оно позволяет глубже взглядеться в природу уравнений Максвелла.

Образы в науке помогают нам строить умозаключения о режимах бытия, в которых наш разум еще не приспособился действовать. Объединение природных взаимодействий не относится к области повседневного опыта, однако объяснение таких вещей вполне может к ней относиться. Понимание, что нечто в точности похоже на нечто другое, является одним из проявлений объектно-ориентированного мышления, которое помогает формировать большие мысли на основе малых идей.

Я понял, что такое фаза Берри в спинорном виде, когда попытался вращать кистью руки, вертикально держа в ней стакан. Я разобрался в том, что такое спиновое эхо при ядерно-магнитном резонансе, размахивая руками и при этом вращаясь вокруг своей оси. Выравнивание уровней Ферми полупроводников в зоне перехода стало для меня понятным, когда его объяснили мне, сравнив с наполнением ведер водой. Подобно сравнению линий электрических полей с пушистыми резиновыми лентами, такое сопоставление отражает аналогии между уравнениями, которые описывают эти процессы. В отличие от слов образы порой способны давать неожиданно точное описание, связывая знакомый опыт с незнакомой формализацией явления.

ПРИНЦИП ИНЕРЦИИ

ЛИ СМОЛИН

Физик (Канадский институт теоретической физики «Периметр»); автор книг *The Trouble with Physics* («Трудности с физикой»), *The Life of the Cosmos* («Жизнь космоса») и других

Мое излюбленное научное объяснение — принцип инерции. Он объясняет, почему мы не ощущаем движения Земли. Этот принцип, возможно, стал наименее интуитивно очевидным и притом наиболее революционным достижением во всей истории науки. Его независимо выдвинули Галилей и Декарт, а в последующие столетия он лег в основу бесчисленных успешных объяснений в области физики. Принцип инерции дает ответ на очень простой вопрос: как будет двигаться свободный объект (то есть такой, на движение которого не оказывают влияние никакие внешние силы или иные внешние воздействия)?

Чтобы ответить на этот вопрос, нам понадобится определение движения. Что мы имеем в виду, говоря, что предмет движется? Согласно современным представлениям, движение следует описывать лишь относительно наблюдателя.

Представьте себе объект, находящийся в состоянии покоя относительно вас: к примеру, кошку, спящую у вас на коленях. Другим наблюдателям может казаться, что она движется. Причем в зависимости от того, как перемещается наблюдатель, ему может казаться, что кошка совершает движения разного рода. Скажем, если наблюдатель вращается вокруг вас, ему покажется, что кошка вращается вокруг него. Таким образом, чтобы понять вопрос о движении свободных объектов, нам следует отнести этот вопрос к особому классу наблюдателей. Итак, вот ответ:

Есть особый класс наблюдателей, по отношению к которым все свободные объекты кажутся либо находящимися в состоянии покоя, либо движущимися по прямой с постоянной скоростью.

Тем самым я сформулировал принцип инерции.

Его сила — в его совершеннейшей всеобщности. Если наш «особый наблюдатель» видит, как свободный объект движется по прямой линии с постоянной скоростью, этот наблюдатель будет воспринимать и все другие свободные объекты движущимися таким образом.

Предположим теперь, что такой наблюдатель — это вы. Всякий наблюдатель, который по отношению к вам движется по прямой с постоянной скоростью, также будет воспринимать все свободные объекты как движущиеся с постоянной скоростью и по прямой. Подобные наблюдатели образуют обширное сообщество, все участники которого движутся друг относительно друга. Эти особые наблюдатели именуются *инерциальными наблюдателями*.

Отсюда сразу же следует важнейшее умозаключение: неподвижность не абсолютна. Объект может находиться в состоянии покоя по отношению к одному инерциальному наблюдателю, но другие инерциальные наблюдатели при этом будут воспринимать этот объект как движущийся, причем непременно по прямой и с постоянной скоростью. Вышесказанное можно выразить в виде такого принципа:

Наблюдая объекты в движении, невозможно отличить наблюдателей, находящихся в состоянии покоя, от других инерциальных наблюдателей.

Всякий инерциальный наблюдатель может вполне убедительно заявить, что это он находится в состоянии покоя, а все остальные движутся. Это так называемый принцип относительности Галилея. Он объясняет, почему Земля движется, своим движением не вызывая у нас головокружения.

Чтобы оценить революционность этого принципа, имейте в виду, что физики XVI столетия могли путем несложного наблюдения опровергнуть заявление Коперника о том, что Земля вращается вокруг Солнца. Возьмите шар и уроните его с вершины башни. Если Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца со скоростями, которых требовал Коперник, шар упадет далеко от башни. На самом же деле он падает близ ее основания. Что и требовалось доказать: Земля находится в состоянии покоя.

Но это доказательство подразумевает абсолютность движения, определяя движение по отношению к наблюдателю, который пребывает в состоянии покоя и по отношению к которому те объекты, на которые не воздействуют внешние силы, тоже рано или поздно приходят в состояние покоя. Изменив дефиницию движения, Галилей мог бы заметить: тот же самый эксперимент показывает, что Земля, возможно, действительно движется.

Принцип инерции стал одной из основополагающих идей Научной революции XVII столетия. Более того, он содержал в себе предпосылки и других революций в науке. Почему? Обратимся к формулировке Галилеева принципа относительности, где указано условие: «наблюдая объекты в движении». Долгие годы считалось, что когда-нибудь мы сумеем осуществить наблюдения иного рода, которые покажут, какие инерциальные наблюдатели в действительности движутся, а какие находятся в состоянии покоя. Эйнштейн разработал свою специальную теорию относительности, попросту убрав это условие. Его принцип относительности гласит:

Невозможно отличить наблюдателей, находящихся в состоянии покоя, от других инерциальных наблюдателей.

Но и это еще не всё. Спустя десятилетие после появления специальной теории относительности принцип инерции породил очередную революцию — общую теорию относительности. Принцип подвергся еще одному обобщению: вместо «движущимися по прямой с постоянной скоростью» появилось «движущимися по геодезической линии в пространстве-времени». Геодезическая линия — обобщение прямой линии, распространяющееся на искривленные пространства, кратчайшее расстояние между двумя точками. Теперь принцип инерции звучит так:

Существует особый класс наблюдателей, по отношению к которым все свободные объекты кажутся движущимися по геодезическим линиям в пространстве-времени. Это наблюдатели, находящиеся в состоянии свободного падения в гравитационном поле.

Отсюда следует обобщение:

Невозможно отличить друг от друга наблюдателей, находящихся в свободном падении.

Это умозаключение стало принципом эквивалентности Эйнштейна, одним из основных положений его общей теории относительности.

Но действительно ли принцип инерции справедлив? Пока его справедливость проверяли в условиях, когда энергия движения частицы не более чем на 11 порядков выше, чем масса этой частицы. Впечатляет, но остается множество ситуаций, в которых принцип инерции может не работать. И лишь эксперименты способны показать нам, станет ли такое несрабатывание залогом новых научных революций.

Каким бы ни оказался результат подобных опытов, этот принцип все равно остается единственным научным объяснением, которое так долго продержалось незыблемым, которое доказали в таком огромном диапазоне масштабов и которое породило столько переворотов в науке.

ВИДЕТЬ — ЗНАЧИТ ВЕРИТЬ: ОТ ПЛАЦЕБО ДО ФИЛЬМОВ В НАШЕМ МОЗГУ

ЭРИК ДЖ. ТОПОЛ

Руководитель Центра инновационной медицины, профессор трансляционной геномики Института Скриппса; автор книги *The Creative Destruction of Medicine* («Креативное разрушение медицины»)

Наш мозг с его ста миллиардами нейронов и квадриллионном синапсов (ну, плюс-минус несколько миллиардигов) представляет собой один из самых сложно устроенных объектов, с тайнами которых доводилось биться человечеству. Может, это и хорошо, что он так сложно устроен: мы не всегда хотим, чтобы другие читали наши мысли.

Однако использование методов сканирования мозга с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), позволяющее получать изображения мозга и выстраивать сложнейшие карты активации различных его областей, подтверждает, назло скептикам, справедливость афоризма «Видеть — значит верить». Среди спорных вопросов медицины, дольше всего остававшихся без окончательного ответа, одно из первых мест занимает вопрос о том, кроется ли какой-то реальный биологический механизм за эффектом плацебо, этим известным своей сложностью «конечным продуктом» взаимодействия тела и сознания. Теперь, судя по всему, противоречие разрешено: ученые выявили, что опиоидный нервный путь (активизируемый при введении в организм таких веществ, как морфин или окситоцин) дает такой же рисунок активации мозга, как и при введении различных плацебо для ослабления боли. Кроме того, обнаружено, что при введении плацебо пациентам, страдающим болезнью Паркинсона, определенные участки мозга выделяют допамин. Выяснение конкретных, поддающихся

определению физиологических механизмов, лежащих в основе эффекта плацебо, позволило значительно повысить его статус, побудив начать рассматривать применение плацебо как настоящее терапевтическое лечение: скажем, в Гарвардском университете недавно разработали специальную Программу изучения плацебо и его терапевтического применения.

«Расшифровка» эффекта плацебо — возможно, шаг на пути к достижению куда более амбициозной цели — научиться читать мысли. Летом 2011 года группа специалистов из Калифорнийского университета в Беркли путем реконструкции карт активации зон мозга, получаемых при его сканировании, добыла убедительные «факсимильные отпечатки» роликов YouTube, показываемых участникам эксперимента¹. Когда замечаешь своеобразное сходство фильма с реконструкцией мозговых образов (при покadroвом сравнении), это вдохновляет, но и несколько пугает.

Прибавьте к этому еще и бурное развитие миниатюрных переносных магнитно-резонансных томографов: возможно, мы на пути к тому, чтобы поутру заново пересматривать собственные сны — уже на айпаде. Или (что вселяет еще более сильную тревогу) выкладывать свое внутреннее мозговое кино в Сеть, чтобы с ним могли ознакомиться все желающие.

¹ Shinji Nishimoto et al., «Reconstructing Visual Experiences from Brain Activity Evoked by Natural Movies», *Curr. Biol.* 21:19, 1641–1646 (2011).

ПРЕРЫВИСТОСТЬ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ

ДЖЕРАЛЬД ХОЛТОН

Маллинкродтовский профессор физики (получатель гранта Маллинкродта), почетный профессор истории науки Гарвардского университета; редактор книги *Einstein for the 21st Century: His Legacy in Science, Art and Modern Culture* («Эйнштейн в XXI веке: наследие в науке, искусстве и современной культуре»)

Время от времени большие части человечества внезапно обнаруживают себя в изменившемся мире. Наука, культура и общество претерпевают тектонический сдвиг, к лучшему или к худшему: приходит к власти могущественный религиозный или политический лидер, принимается Декларация независимости, отменяется рабство в США, — или, с другой стороны, происходит падение Рима, приходит Великая Чума, разражается Первая или Вторая мировая война.

В искусстве то же самое. По известному выражению Вирджинии Вулф, «примерно в декабре 1910 года человеческий характер переменился» — по ее мнению, из-за скандальной выставки постимпрессионистов, прошедшей тогда в Лондоне. После открытия атомного ядра Василий Кандинский писал: «Крушение прежней модели атома кажется мне крушением всего прежнего мира. Вдруг рухнули самые толстые из стен...» — и в результате он смог обратиться к новой художественной манере.

Каждое из таких событий, меняющих наше восприятие мира, зачастую бывает глубоко загадочным или вселяет в нас тревогу. В знакомой ткани истории вдруг возникают разрывы, которые требуют объяснения. Год за годом выходят бесчисленные трактаты, авторы каждого надеются дать ответ, найдя причину того или иного потрясения.

Я рассмотрю здесь одно из таких явлений.

В 1611 году Джон Донн опубликовал поэму «Первая годовщина», где содержатся знаменитые строки: «Все новые философы в сомненье. / Эфир отвергли — нет воспламененья» и далее: «...Едва свершится / Открытье — всё на атомы крушится, / Всё — из частиц, а целого не стало, / Распались связи...»¹. Как и многие современники, Донн чувствовал, что на смену старому порядку и единству пришли релятивизм и прерывистость. Поводом для его тревоги послужило совершенно неожиданное событие, которое случилось годом раньше: открытие Галилеем гор на Луне, спутников у Юпитера, а также того, что существует неизмеримо больше звезд, чем было известно раньше.

Об этих и последовавших открытиях историк Марджори Николсон пишет: «Возможно, имеет смысл датировать зарождение современной мысли 7 января 1610 года, когда Галилею при помощи сконструированного им прибора (телескопа) удалось наблюдать то, что он счел новыми планетами и новыми мирами, расширявшими известный ранее мир»².

И в самом деле, своей работой Галилей дал глубокое и изящное объяснение того, как устроен наш космос, хотя это объяснение могло причинить немалые страдания аристотелианцам и поэтам его времени. (Во всяком случае, теория Коперника, сформулированная значительно раньше, вызывала больше доверия.) Благодаря этому гигантскому шагу вперед появились и новая наука, и новая культура.

¹ Перевод Д. Щедровицкого.

² *Science and Imagination* (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1956), 4.

ГОРМЕЗИС — ЭТО ИЗБЫТОЧНОСТЬ

НАССИМ НИКОЛАС ТАЛЕБ

Заслуженный профессор риск-инженерии Политехнического института Нью-Йоркского университета; автор книги *The Black Swan* («Черный Лебедь», М., Колибри, 2009)

Природа — весьма сведущий специалист по статистике и теории вероятностей. В своей стратегии управления риском она следует особого рода логике, в основе которой лежат многочисленные слои избыточностей. Природа очень часто делает конструкции с запасными частями (две почки у человека) и запасом емкости (легкие, нейронная система, артериальный аппарат и т. п.), тогда как человеческие творения чаще всего грешат излишней экономностью и оптимизированностью, обладая качеством, противоположным избыточности, то есть своего рода леввериджем, стремлением к увеличению дохода без увеличения капиталовложений. Мы рекордным образом погрязли в долгах, что противоположно избыточности (если у вас есть 50 тысяч лишних долларов на банковском счете или, еще лучше, под матрасом, это избыточность; но если вы должны банку такую же сумму, это уже долг).

Но есть замечательный механизм, именуемый гормезисом. Это форма избыточности, причем настолько изощренная со статистической точки зрения, что человеческая наука с ней (пока) справиться не может.

Гормезис проявляется, когда толика вредного вещества (стрессора) вводится в нужной дозе или в нужной концентрации, стимулируя организм, делая его сильнее, здоровее, лучше и — готовя его к более мощной дозе вещества. Именно по этой причине мы ходим в тренажерный зал, время от времени постимся, отвечаем на трудности укреплением характера (в порядке своего рода гиперкомпенсации). Гормезис после 1930-х годов несколько утратил научный интерес, уважение и практическое применение — отчасти из-за того, что некоторые ошибочно ассоциировали его с гомеопатией. Ассоциация несправедлива, поскольку механизмы

тут совершенно различны. В основе гомеопатии лежат другие принципы: например, тот, согласно которому крошечные, сильно разбавленные частицы болезнетворных агентов (настолько малые дозы, что их почти невозможно ощутить, а значит, они не могут вызвать гормезис) способны помочь излечению от болезни. Эффективность гомеопатии практически не подтверждена, и сегодня она принадлежит к области альтернативной медицины, тогда как гормезис доказан научно.

Как теперь выясняется, логика избыточности и гиперкомпенсации одна и та же, как если бы у природы имелся простой, элегантный и единый стиль действий. Если я усую, скажем, 15 мг яда, мой организм окрепнет и будет готов к 20 мг или даже к большей дозе. Увеличение нагрузки на кости (в ходе тренировок по карате или ношения кувшина с водой на голове) готовит их к более значительным нагрузкам: в процессе такой подготовки кости становятся плотнее и крепче. Система, занимающаяся гиперкомпенсацией, вынуждена действовать в режиме вечного перепроизводства, вырабатывая дополнительные способности и набирая дополнительные силы в ожидании худшего — в ответ на информацию о том, что опасность возможна. Здесь мы имеем дело с весьма сложной системой взаимодействий, где обнаруживается и учитывается вероятность возникновения стрессоров. И разумеется, такие дополнительные способности или силы наверняка пригодятся нам сами по себе: их можно при случае использовать даже в отсутствие угрозы, которой мы опасались.

Увы, методы управления рисками, принятые не в нашем организме, а в наших организациях, совершенно иные. Нынешняя практика сводится к тому, чтобы найти в прошлом худший сценарий, окрестить его «стресс-тестом» и внести в него поправки, даже не задумываясь, что, подобно тому, как в изучаемом прошлом случилось сильное отклонение, у которого не нашлось прецедента, так и наши поправки могут оказаться недостаточными. К примеру, нынешние системы оценки риска берут худший в истории человечества финансовый кризис, худшую войну, худшую стратегию в области процентной ставки, худшие показатели безработицы и т.п., считая их отправной точкой при

прогнозировании худшего будущего. Многих из нас весьма разочаровало применение метода «стресс-тестов», при котором аналитик никогда не выходит за пределы того, что случилось раньше. Приходится даже сталкиваться с обычными проявлениями наивного эмпиризма («А доказательства у вас есть?»), когда высказываешь предположение, что нам может понадобиться рассмотреть и вариант похуже.

И разумеется, такие системы не предполагают рекурсивного анализа, который позволил бы понять очевидное: у худшего события из прошлого *не было* прецедента того же размаха, и любой, кто стал бы накануне Первой мировой рассматривать «худший сценарий из прошлого Европы», вскоре столкнулся бы с неприятной неожиданностью. Я называю это явление лукрецианской недооценкой, в честь древнеримского поэта и мыслителя Лукреция, который писал: дурак верит, что самая высокая гора в мире равна по высоте самой большой вершине из всех, какие он сам когда-либо видел. В свою очередь, Дэвид Канеман пишет, опираясь на труды Говарда Кюнрейтера, что «защитительные меры, предпринимаемые частными лицами или правительствами, обычно проводятся с учетом худшей катастрофы из всех, что реально происходили в прошлом, и как бы направлены на борьбу с катастрофой именно такого масштаба и характера... Представления о еще более печальной катастрофе приходят в голову лишь с трудом»¹. К примеру, писцы в Древнем Египте использовали самую высокую отметку уровня воды в Ниле как «худший сценарий». Никакой экономист никогда не задавался очевидным вопросом: «А что, с годами интенсивность экстремальных событий только снижается?» — или, по крайней мере, не проводил соответствующих проверок. Увы, если взглянуть в прошлое, ответом будет: «Извините, нет, не снижается».

Подобное же опасное безрассудство можно увидеть и в случае с фукусимским ядерным реактором: его строили в расчете на худший сценарий из прошлого, без экстраполяции на гораздо более скверные варианты развития событий. Что ж, природа, в отличие от риск-менеджеров, готовится к тому, чего не случилось раньше...

¹ Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow* (New York: Farrar, Straus & Giroux, 2011), 137.

Итак, если люди склонны всегда сражаться в прошедшей войне (а не в нынешней), то природа всегда сражается в войне следующей. Но, конечно, у нашей природной гиперкомпенсации существуют свои биологические пределы.

Эта форма избыточности остается гораздо, гораздо более экстраполятивной, чем наше сознание, которое интраполятивно.

Р. С. Понятие «приспособленности», широко употребляемое в современной научной речи, не кажется мне достаточно точным. Я не могу понять: то, что называют «дарвиновской приспособленностью» — просто интерполятивная адаптация к текущему окружению или же тут есть какие-то элементы статистической экстраполяции. Иными словами, есть существенная разница между прочностью (подразумевающей, что стрессоры объекту не наносят ущерба) и тем, что я назвал антихрупкостью (подразумевающей, что объект даже получает пользу от стрессоров).

ПРЕКРАСНЫЙ ЗАКОН НЕПРЕДВИДЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

РОБЕРТ КУРЗБАН

Адъюнкт-профессор эволюционной психологии Пенсильванского университета, директор Пенсильванской лаборатории экспериментальной эволюционной психологии; автор книги *Why Everyone (Else) is a Hypocrite* («Почему все (остальные) — лицемеры»)

Примерно в 1900 году на Сидней обрушилась чума, и власти назначили за убитых крыс премию, чтобы поощрить жителей истреблять их. В те годы уже все знали, что крысы — прибежище блох, которые являются переносчиками этого заболевания от крыс к человеку. Назначая вознаграждение, власти хотели, уменьшив число грызунов, уменьшить и масштабы эпидемии. Однако жители города в погоне за вознаграждением стали — специально разводить крыс! Вот такое случилось непредвиденное последствие.

Закон непредвиденных последствий часто связывают с именем американского социолога Роберта Мертона. Дух этого закона проявляется в самых разных формах — и не в последнюю очередь во введенном Адамом Смитом понятии Невидимой руки рынка. Этот закон восхищает хаотичностью своих проявлений, как если бы сама Природа то и дело насмеялась над нашими попытками обуздать ее.

Идея закона состоит в следующем. Вмешиваясь в системы, где много движущихся/меняющихся компонентов (особенно в экологические и экономические), мы получаем (из-за сложных взаимодействий между компонентами системы) не только те эффекты, на которые рассчитывали, но и другие, не предсказанные или даже непредсказуемые.

Примеров тому множество. Вернемся в Австралию. Один из самых известных примеров непредусмотренных последствий такого рода — завоз Первым флотом¹ кроли-

¹ Первый флот — парусные корабли, отплывшие в 1787 году от берегов Великобритании, чтобы основать первую европейскую колонию в Австралии. — *Прим. перев.*

ков в качестве пищи, выпуск их в дикую природу, дабы на них потом охотиться, и вот вам непредвиденные последствия: кроличья популяция стала расти ошеломляющими темпами, вызвав невероятное экологическое опустошение Зеленого континента. Это, в свою очередь, привело к принятию мер по контролю над кроликами, в том числе — к постройке чрезвычайно длинной изгороди, что, в свою очередь, привело к незапланированным последствиям: в 1930-е годы она помогла трем девочкам найти дорогу домой, что, в свою очередь, имело неожиданные последствия: в 2002 году появился основанный на этих событиях фильм «Кроликоустойчивая изгородь»¹, завоевавший ряд наград.

Подобные цепочки последствий возникают из-за того, что внесение изменений в одну часть системы, имеющей множество взаимодействующих частей, приводит к изменениям и в других ее частях. Поскольку многие системы, на которые мы пытаемся влиять, сложно устроены, но при этом недостаточно нами поняты (живые организмы, среды обитания, рынки), результатом воздействия обязательно окажутся и такие, труднопредсказуемые последствия.

Это не значит, что эти последствия всегда будут нежелательными. Недавно власти некоторых муниципальных образований изменили законы, регулирующие использование марихуаны, облегчив ее получение для медицинских целей. Неизвестно, облегчил ли закон страдания больных глаукомой, но данные о количестве дорожных аварий заставляют предположить, что изменение законодательства снизило количество погибших при ДТП примерно на 9%. (Вероятно, водители заменили алкоголь марихуаной и, очевидно, лучше управляют с рулем, когда едут накурившись, а не напившись².) Спасение водительских жизней не входило в намерения законодателей, однако эффект оказался именно таким. Еще один пример (меньше по размаху, но ближе моему сердцу) — недавнее резкое повышение (на треть) стоимости парковки в Университетском городке Филадельфии, где я работаю. Авторы закона намеревались,

¹ В традиционном русском переводе — «Клетка для кроликов». — *Прим. перев.*

² Мы оставляем это глубокомысленное умозаключение на совести автора. — *Прим. перев.*

увеличив парковочные сборы, помочь финансированию школ города. Неожиданное последствие: студенты, судя по всему, не склонны платить за парковку повышенную цену, и я, приезжая на свои уроки, всегда могу рассчитывать на свободное парковочное место.

Вмешательство в любую достаточно усложненную систему волей-неволей приведет к незапланированным эффектам. Мы пичкаем больных антибиотиками, тем самым проводя отбор устойчивых штаммов вирусов. Мы искусственным образом выводим бульдогов с морщинистой мордой, а заодно и с менее приятными чертами (скажем, с дыхательными проблемами). С утренней тошнотой при беременности мы призываем бороться при помощи талидомида, а в итоге появляются на свет младенцы с врожденными дефектами.

В экономической сфере принимаемые меры чаще всего несут в себе целый ряд побочных эффектов. Среди наиболее характерных примеров — всевозможные запреты и ограничения, в том числе и печально знаменитый американский сухой закон, который породил массу разнообразных последствий, среди которых — рост организованной преступности. Поскольку власти обычно склонны запрещать лишь то, что людям хочется, после введения запретов они так или иначе находят способы удовлетворять свои желания, обращаясь к суррогатам или к черному рынку: как нетрудно догадаться, то и другое приводит к многообразным последствиям. Запретите продажу газировки — взлетят вверх продажи «спортивных напитков». Запретите продажу человеческих почек — расцветет международный черный рынок органов и подпольная хирургия. Запретите охоту на пум — поставите под угрозу жизнь бегунов в соответствующих районах.

Есть что-то странно-прекрасное в этом бесконечном ветвлении причинно-следственных связей в сложных системах. Схожую привлекательность мы находим в намеренной антиэстетичности машин Руба Голдберга¹. Однако мы не

¹ Нью-йоркский художник, инженер и изобретатель Руб Голдберг в 1915 году начал рисовать для газет карикатуры с изображением механизмов, выполняющих очень простые действия чрезвычайно запутанным, сложным и зачастую комичным образом. Вскоре выражение «машина Руба Голдберга» стало в Америке нарицательным. — *Прим. перев.*

должны опускать руки — нет-нет, просто следует действовать осторожно и с разумной скромностью. И постепенно накапливая знания о больших, сложных системах, мы разрабатываем новые методы, которые помогут предусматривать незапланированные последствия наших действий. История уже преподавала нам кое-какие уроки: люди всегда найдут замену запрещенным или обложенным чрезмерным налогом товарам; от устранения одного вида из экологической системы обычно страдают популяции, которые на них охотятся, и выигрывают виды, которые с ними конкурируют; и так далее, и тому подобное. Последствия, к которым мы не стремились, будут, по-видимому, возникать в таких случаях всегда, но им совсем не обязательно быть совершенно неожиданными!

МЫ — ТО, ЧТО МЫ ДЕЛАЕМ

ТИМОТИ Д. УИЛСОН

Профессор психологии Виргинского университета; автор книги *Redirect: The Surprising New Science of Psychological Change* («Перенаправление (редирект): новая наука о психологическом изменении»)

Люди становятся тем, что они делают. Данное объяснение того, как мы приобретаем наши воззрения и черты, принадлежит британскому философу Гилберту Райлу (1900–1976), однако по-настоящему его сформулировал социопсихолог Дэрил Бем в своей теории самовосприятия (представления человека о себе).

Теория самовосприятия переворачивает наши устоявшиеся представления вверх ногами. Люди совершают те или иные поступки, руководствуясь чертами своего характера, своими воззрениями, мнениями и вкусами, верно? Они возвращают потерянный кем-то бумажник, потому что честны, выбрасывают мусор в контейнер для последующей переработки, поскольку пекутся об окружающей среде, они платят 5 долларов за карамель-брюле-латте, ибо любят дорогие кофейные напитки. Очевидно, что наше поведение — проекция нашего характера, но Бем предполагает, что имеет место и противоположное. Если мы возвращаем найденный бумажник, щелкает наш внутренний счетчик честности. После того как мы оттаскиваем мешок с мусором на положенное место, мы считаем, что по-настоящему заботимся об экологии. А заказав латте, мы проникаемся сознанием, что принадлежим к числу истинных ценителей кофе.

Сотни экспериментов подтверждают эту теорию и показывают, в каких случаях такой процесс «самовлияния» наиболее вероятен.

Теория самовосприятия изящна, поскольку проста. Но она глубока, так как позволяет делать далеко идущие выводы о природе человеческого сознания. Из данной теории вытекают две другие мощные идеи. Первая состоит в том, что мы для самих себя — незнакомцы. Если бы наше созна-

ние было для нас открытой книгой, мы бы всегда точно знали, насколько мы честны и насколько нам по-настоящему нравится латте. На самом же деле нам, напротив, зачастую требуется обратиться к собственному поведению, чтобы понять, кто мы. Таким образом, теория самовосприятия предвосхитила революцию в сфере психологического изучения человеческого сознания — революцию, которая показала нам пределы, ограничивающие наш собственный взгляд внутрь себя самих (пределы интроспекции).

Но, как выясняется, мы не только используем свое же поведение, чтобы узнать о своем характере: мы сами внушаем себе черты характера, которых у нас раньше не было. Наше поведение часто формируется под действием внешних факторов — внешнего давления. При этом мы ошибочно полагаем, будто наше поведение — проекция лишь нашего характера и мнений. К примеру, мы на самом деле не очень-то щепетильны, а бумажник вернули просто для того, чтобы произвести впечатление на окружающих. Однако, не осознавая причины своего поступка, мы внушаем себе, что кристально честны. Возможно, мы выбрасываем мусор куда полагается, потому что городские власти облегчили для нас этот процесс (выдавая нам специальный мусорный бак и приезжая забрать его каждый вторник), и наша жена/муж или соседи не одобрили бы, если бы мы так не поступили. Не осознавая этой мотивации, мы всерьез полагаем, что могли бы претендовать на звание Самого экологичного жителя города в текущем месяце (и соответствующую премию). Как показывают бесчисленные исследования, люди весьма подвержены социальному влиянию, но редко это понимают, приписывая свое социально-обусловленное поведение проявлению своих личных желаний и побуждений.

Как и все хорошие психологические объяснения, теория самовосприятия имеет практическое применение. Так, она неявно присутствует в некоторых вариантах психотерапии, когда пациентов вначале побуждают изменить свое поведение, поскольку это должно бы изменить черты их характера. Короче говоря, всем нам следует прислушаться к совету Курта Воннегута: «Мы — то, чем прикидываемся, так что прикидываться надо осторожно».

ЛИЧНОСТНЫЕ РАЗЛИЧИЯ: ВАЖНОСТЬ ФАКТОРА СЛУЧАЙНОСТИ

СЭМЮЭЛ БАРОНДЕС

Профессор нейробиологии и психиатрии Калифорнийского университета в Сан-Франциско; автор книги *Making Sense of People* («Как разобраться в людях»)

В золотой век древнегреческой философии Теофраст, последователь и преемник Аристотеля, поставил вопрос, благодаря которому его помнят до сих пор: «Как случилось, что, хотя вся Греция лежит в одном и том же климате и все греки получают схожее воспитание, мы все такие разные?» Вопрос особенно примечателен, поскольку затрагивает наше ощущение себя (того, кто мы такие). Теперь-то мы знаем достаточно, чтобы ответить: личность каждого из нас является отражением деятельности мозговых цепочек, которые постепенно формируются под одновременным руководством уникального набора генов, а также наших опыта и впечатлений. Из этого ответа можно сделать далеко идущие выводы: в конечном счете они приводят к умозаключению, что на личностные различия оказывают огромное влияние случайные события.

Генетические факторы, влияющие на формирование личности, находятся под воздействием двух типов случайности. Первый (и наиболее очевидный) — события, которые свели вместе будущих родителей данного человека. При этом у каждого из них имеется свой определенный набор генетических вариаций. Второе случайное событие — слияние конкретной яйцеклетки и конкретного сперматозоида, которое, собственно говоря, и порождает потомство и которое либо произойдет, либо нет. Каждому из детей достается по половине генетических вариаций каждого из родителей (и сперматозоид, и яйцеклетка содержит по половине случайно выбранных вариаций). Именно взаимодействия в получающейся смеси материнских и отцовских генетических вариаций играют важнейшую роль в 25-летнем процессе

развития, в ходе которого и формируются человеческий мозг и личность. Так что две случайности нашего рождения (родители, которые нас зачинают, и комбинации яйцеклетка — сперматозоид, которые нас «делают») оказывают решающее воздействие на то, какими мы станем.

Однако на это влияют не только гены. В нашем организме существуют врожденные программы экспрессии генов, продолжающие активизироваться на протяжении раннего периода зрелости, дабы направлять создание грубых черновиков мозговых цепочек, и эти программы специально устроены так, чтобы впитывать информацию о физическом и социальном мире данного человека. Некоторая часть таких процессов адаптации к нашим личным обстоятельствам непременно должна происходить в определенные периоды развития, называемые критическими. Например, мозговые цепочки, отвечающие за характерные интонации человека при разговоре на родном языке, открыты для воздействия окружения лишь в течение ограниченного во времени «окна развития».

Случайность влияет и на то, с каким набором генов мы появляемся на свет, и на среду, где мы рождаемся. Наши гены подталкивают нас к тому, чтобы мы вели себя более (или менее) дружелюбно, были более (или менее) надежны или уверены в себе, но точно так же и тот конкретный мир, где мы растем, склоняет нас к тому, чтобы стремиться к определенным целям, хвататься за определенные возможности, принимать определенные правила поведения. Самые очевидные аспекты этого мира — культурные, религиозные, социальные и экономические. Их доносят до нас родители, братья-сестры, учителя, сверстники. И специфические особенности этих воздействий (время, место, культура и т. п., в которых нас угораздило родиться) являются результатом действия случайностей в той же степени, что и содержимое яйцеклетки и сперматозоида, которые дали нам начало.

Конечно, случайность — это не какая-то там неумолимая судьба. Признать, что случайные события вносят вклад в индивидуальные личностные различия, не означает верить в то, что жизнь человека заранее предопределена и свободы воли не существует. Черты личности, возникшие

благодаря биологическим и социокультурным случайностям, можно сознательно модифицировать самыми разными способами — даже в зрелом возрасте. Однако случайные события, направляющие развитие мозга в первые два-три десятилетия нашей жизни, оставляют в нас долгий след.

Размышляя о характере и чертах личности какого-нибудь человека, полезно помнить, сколь огромную роль сыграла в их формировании случайность. Признание важности роли случая в наших индивидуальных различиях не только (пусть лишь отчасти) лишает их загадочности, но имеет и моральные последствия: мы начинаем лучше понимать самых разных людей, с которыми нас сводит судьба, и больше сочувствовать им.

МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ СИНДРОМ: КЛЕТОЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА АДАПТИРУЕТСЯ К ЖИЗНИ В ТОКСИЧНОМ МИРЕ?

БЕАТРИС ГОЛОМБ

Профессор медицины Калифорнийского университета
в Сан-Диего

Метаболический синдром (МС) называют эпидемией XXI века. Это целая совокупность симптомов, в числе которых высокий индекс массы тела, высокое содержание сахара в крови, высокое кровяное давление, высокое содержание триглицеридов в крови, большой объем талии и/или сниженный уровень холестерина с липопротеинами высокой плотности (так называемого «хорошего холестерина»). Эпидемии ожирения и диабета тесно связаны с резким ростом МС.

Согласно преобладающей сейчас точке зрения, МС возникает из-за избытка потребляемых с пищей калорий («энергии») при недостаточном количестве энергии, затрачиваемой на физическую активность. Этим «избытком энергии» подхлестывается ненужный рост веса, что приводит к ряду других последствий. В конце концов, по сравнению с людьми былых времен мы больше едим и гораздо меньше двигаемся. Факторы, сопутствующие МС, повышают смертность даже среди молодежи.

Однако такой подход оставляет без ответа многие вопросы. Почему элементы МС коррелируют между собой? Почему в наши дни люди с лишним весом более склонны к диабету, чем толстяки прошлого? Почему элементы МС теперь стали проявляться в младенческом возрасте? Почему МС возникает в странах третьего мира, в бедных государствах?

Кроме того, общепринятое объяснение плодит парадоксы. Если причина МС в избытке энергии, тогда почему

этому синдрому *способствуют* факторы, которые мы сейчас перечислим? Ведь они снижают приток энергии или увеличивают потребность в ней, а значит, должны бы защищать людей от МС. Вот эти факторы:

- сонная одышка (более опасный фактор риска развития МС, чем лишний вес; кроме того, лечение сонной одышки позитивно сказывается на всех элементах МС);
- супернизкокалорийные или супернизкожировые диеты;
- пост, пропуск трапез;
- диеты, способствующие гипогликемии (высокоуглеводные/низкожировые/низкобелковые диеты, приводящие к некомпенсированному всплеску уровня инсулина в организме);
- недосыпание (возрастает доля времени бодрствования, а на бодрствование затрачивается больше энергии);
- болезни/травмы/хирургические операции (повышение энергетических потребностей организма);
- холодная погода (необходимы дополнительные затраты энергии на выработку тепла);
- нехватка питательных веществ и антиоксидантов (для нормальной выработки энергии требуется определенное их количество);
- воздействие окислительных стрессоров (ухудшает функционирование митохондрий — энергопроизводящих компонентов клеток);
- митохондриальные патологии.

Почему факторы, защищающие нас от нехватки энергии (скажем, потребление таких антиоксидантов, как кокосы или корица, введение кофермента Q10, поддерживающего функционирование митохондрий), ослабляют действие факторов, способствующих МС?

Почему ослабляют действие МС-факторов физические упражнения, занятие энергозатратное, однако приводящее к резкому росту производства энергии благодаря антиоксидантным эффектам, митохондриальному биогенезу, усилению кровообращения и активизации сердечно-легочной деятельности (увеличивая потребление кислорода, активизируя процессы доставки и трансформации энергии)?

Почему МС перестает увеличивать смертность (и даже иногда резко увеличивает выживаемость), когда обследуемая группа состоит из пожилых людей или из тех, кто страдает от сердечных или острых почечных заболеваний, ведь все это условия, которые негативно влияют на клеточную энергетику?

Предположим, что правильное объяснение — полная противоположность общепринятому. Может быть, признаки МС — адаптивный ответ организма на *неадекватный* энергетический баланс? В конце концов, отложения жира, глюкоза, триглицериды — лишь дополнительные источники энергии (главный ее источник — кислород); для того, чтобы доставлять их в ткани, требуется кровяное давление, особенно когда кровоснабжение этих тканей недостаточно интенсивно. Клеточная энергия, необходимая для выживания клеток и организма в целом, требуется постоянно; мы проживем без кислорода лишь несколько минут. Натяжка, на которую мы пошли в нашем допущении, не так уж велика: популяции, где предшествующие поколения испытывали энергетическое голодание, теперь демонстрируют рост проявлений ожирения/МС, а низкий приток энергии в эмбриональный период развития, судя по всему, способствует появлению МС во взрослые годы.

В отличие от концепции энергетического избытка такой подход объясняет, почему МС вообще существует; почему статистически согласуются повышенное содержание глюкозы и триглицеридов, повышенное кровяное давление (а ведь кровь — переносчик кислорода, глюкозы, питательных веществ), жировые отложения в области живота. Эта гипотеза объясняет, почему другие адаптационные процессы, направленные на увеличение запасов энергии (скажем, подразумевающие наличие свободных жирных кислот и метаболически активных «смещенных» жировых прослоек в печени, поджелудочной железе, почках, даже в кровеносных сосудах), сопутствуют названным факторам МС; почему МС связан с ростом утомляемости и продолжительности сна (который сохраняет энергию). И в самом деле, увеличение потребления калорий и снижение физической активности (традиционное объяснение МС) тоже возникают как сопутствующие друг другу энергетиче-

ческие адаптационные процессы. Следовательно, такая гипотеза, вероятно, не является противоположностью канонической, а в каком-то смысле включает ее в себя. В отличие от концепции энергетического избытка эта гипотеза объясняет, почему риску МС подвержены пожилые люди (уровень функционирования митохондрий экспоненциально падает с возрастом) и страдающие сонной одышкой или находящиеся под действием других факторов, регулярно затрудняющих выработку энергии. Кроме того, гипотеза объясняет, почему при обследовании пациентов с заболеваниями, угнетающими процессы выработки энергии, пациенты с симптомами МС парадоксальным образом демонстрируют, что чувствуют себя не хуже остальных, а иной раз даже и лучше.

Почему же тогда МС — эпидемия? Вспомним характерные для нынешнего времени многочисленные изменения образа жизни, неблагоприятные для энергетического баланса организма. В их числе — рост потребления доступной псевдопищи с низким содержанием полезных питательных веществ и антиоксидантов, но с высоким содержанием ускорителей окисления (имеются в виду питательные вещества, необходимые для работы биологических механизмов выработки энергии; антиоксиданты защищают организм от окислительного удара, чьей главной мишенью становятся митохондрии — клеточные электростанции), снижение доли регулярных сбалансированных трапез, а также питание, способствующее развитию гипогликемии (простые углеводы без жиров или белков вызывают нескомпенсированные инсулиновые всплески и падение уровня глюкозы). Однако основной фактор здесь — резкий рост присутствия в нашей окружающей среде окислительных стрессоров, которые нарушают функционирование митохондрий и их ДНК. Среди таких стрессоров:

- металлы, в том числе тяжелые (ртуть в рыбе, в обогащенном фруктозой кукурузном сиропе, в разбитых лампочках; мышьяк, применяемый как стимулятор роста кур; алюминий в добавках ко все шире распространяющимся детским вакцинам);
- пластмассы с бисфенолом А;

- продукты личной гигиены и т. п. (опасные вещества в кремах от загара, лосьонах, краске для волос, косметике, стиральных порошках, умягчителях ткани, салфетках с антистатиком);
- чистящие средства;
- мебель и одежда с формальдегидом (фанера, немнущаяся хлопчатобумажная ткань);
- нефтепродукты и другое горючее;
- электромагнитные поля (бытовая электроника, мобильные телефоны, счетчики электроэнергии);
- товары из огнестойкой ткани (пижамы, постельное белье);
- средства для химической чистки;
- «освежители» воздуха;
- пестициды, гербициды (мощные окислительные стрессоры, в наши дни повсюду применяемые в жилых домах, офисах и местах отдыха);
- уничтожение насекомых в закрытых помещениях путем фумигации;
- лекарства, отпускаемые по рецепту и без рецепта, а том числе антибиотики (как непосредственный прием, так и косвенный — с пищей);
- антибактериальное мыло с активными компонентами, значительную часть которых невозможно удалить из систем водоснабжения путем фильтрации;
- промышленные выбросы, загрязняющие воздух и воду;
- искусственные компоненты пищевых продуктов — транс-жиры, искусственные подсластители, красители, консерванты.

Гипотеза дефицита энергии («голодающей клетки») объясняет массу разнообразных фактов, перед которыми становится в тупик современная наука. Наблюдения, в рамках традиционного подхода кажущиеся парадоксальными, легко вписываются в эту гипотезу. Она позволяет делать проверяемые предсказания — например, что многие другие пока не изученные варианты воздействия окислительных стрессоров и процессов, нарушающих функционирование митохондрий, будут способствовать развитию

как минимум одного элемента МС. Если есть два фактора, которые в обоих своих крайних проявлениях связаны с МС (скажем, слишком малая и слишком большая продолжительность сна), тот вариант, который нарушает приток энергии, окажется приводящим к МС, а тот, что увеличивает его, будет служить сопутствующим адаптивным следствием процесса.

Некоторые ученые полагают, что МС обречен лишить нас всего, чего мы достигли в области долголетия. Этот вывод должен побудить нас не только переосмыслить причины МС, но и найти новые способы борьбы с этим синдромом.

СЧЕТНЫЕ БЕСКОНЕЧНЫЕ МНОЖЕСТВА И СОСТОЯНИЯ СОЗНАНИЯ

ДЭВИД ГЕЛЕРНТЕР

Специалист по информатике (Йельский университет), ведущий научный сотрудник *Mirror Worlds Technologies*; автор книги *America-Lite: How Imperial Academia Dismantled Our Culture (and Ushered In the Obamacrats)* («Америка-лайт: как авторитарная наука погубила нашу культуру (и дала ход обамакратам)»)

Мои любимые объяснения:

1. Математик XIX века Георг Кантор объясняет, почему все счетные бесконечные множества имеют один и тот же размер: почему, скажем, множество всех целых чисел — того же размера, что и множество всех положительных целых чисел или всех четных чисел, и почему некоторые бесконечные множества больше других. (Множество всех рациональных чисел — того же размера, что и множество всех целых чисел, однако множество всех действительных чисел — непериодических и периодических десятичных дробей — больше.) Множество всех положительных целых чисел имеет тот же размер, что и множество всех четных положительных целых чисел. Чтобы убедиться в этом, просто выстроим их в два ряда. Тогда 1 образует пару с 2 (первым четным положительным целым числом), 2 образует пару с 4, 3 — с 6, 4 — с 8 и т. д. Вам может показаться, что положительных целых чисел больше, чем четных положительных целых чисел, но такое объединение чисел в пары показывает, что никакое положительное целое число никогда не останется без партнера. (Так что они все радостно танцуют и никто не сидит у стенки.) Другие аналогичные доказательства столь же ошеломляюще просты, но их куда легче продемонстрировать на доске с помощью формул, чем описать словами.

2. (Не менее любимое.) Философ Джон Сёрль доказывает, что никакой цифровой компьютер не может обладать состояниями сознания (если понимать под состоянием сознания, к примеру, то, что происходит у вас в голове, когда я говорю: «Представьте себе красную розу» — и вы ее себе представляете): сознание нельзя построить из софта. Цифровой компьютер способен лишь выполнять тривиальные арифметические и логические операции. Вы тоже это можете: собственно, вы в состоянии выполнить любую операцию, какую может выполнить компьютер. Вы также можете представить себе, как вы проделываете великое множество тривиальных операций. Теперь задайте себе вопрос: «Могу ли я себе представить, как новое сознание появляется на основе выполнения мною множества тривиальных операций?» Ответ — нет. Или представьте, как вы сортируете по старшинству и по мастям колоду карт: сортировка — как раз такая штука, которую частенько проделывают цифровые вычислительные устройства. Представьте, что вы сортируете все более и более толстую колоду. Можете себе представить, что в какой-то момент, когда стопка станет достаточно толстой, появится некое новое сознание? Да ни за что!

Сразу же следует неизбежное возражение: но ведь наши нейроны осуществляют лишь простейшую передачу сигнала — можно ли представить себе, как из *этого* возникает сознание? Неизбежный ответ: вопрос некорректен. Тот факт, что из множества нейронов складывается сознание, никак не влияет на вопрос о том, сложится ли сознание из множества чего-то другого. Я не могу вообразить себя нейроном, но я в состоянии представить, как выполняю машинные операции. Никакое сознание в результате такого выполнения не появляется, и неважно, сколько таких операций я могу выполнить.

ОБРАТНЫЕ СТЕПЕННЫЕ ЗАКОНЫ

РУДИ РЮКЕР

Математик, специалист по информатике, пионер киберпанка; автор научно-фантастических романов и сборника эссе *Surfing the Gnarl* («Серфинг на крутой волне»)

Меня весьма интригует тот факт, что большинство аспектов нашего мира и нашего общества дают математическое распределение, которое соответствует так называемым обратным степенным законам. Иными словами, многие графики распределения имеют форму колокола, причем его нижние линии асимптотически прижимаются к горизонтальной оси.

Обратные степенные законы изящно-просты и глубоко таинственны, но скорее раздражают, чем вызывают восхищение своей красотой. Эти законы самоорганизуются и сами себя поддерживают. По не вполне понятным причинам они спонтанно возникают в широком спектре «параллельных вычислений» — касающихся как социальных, так и природных процессов.

Одним из первых гуманитариев, обративших внимание на обратный степенной закон, стал филолог Джордж Кингсли Ципф, сформулировавший наблюдение, известное ныне как закон Ципфа. Это статистический факт: в большинстве текстов частотность любого слова примерно пропорциональна обратной величине позиции слова в общем рейтинге частотности («рейтинге популярности»). Таким образом, второе по популярности слово будет использоваться вдвое реже первого по популярности, десятое — в десять раз реже популярнейшего слова и т. п.

В обществе сходные разновидности обратных степенных законов управляют вознаграждением, которое общество выделяет. Как писатель я подметил, к примеру, что у сотого по популярности автора продается в сто раз меньше книг, чем у автора, занимающего вершину рейтинга. Если

автор с первого места распродаст миллион экземпляров, то у автора вроде меня купят около десяти тысяч.

Обозленные писаки иной раз воображают себе утопический рынок, где естественно возникающее распределение, подчиняющееся обратным степенным законам, принудительно заменяют распределением *линейным* — т. е. вышеописанные продажи лежат на слегка наклонной прямой, а не на колоколообразной кривой с ее бесстыдно высоким пиком и нижними частями, бесславно прозябающими близ горизонтальной оси.

Однако очевидного способа, каким можно было бы изменить кривую продаж книг, не существует. И само собой, незачем надеяться на попытки какой-нибудь правящей группировки силой ввести иное распределение. В конце концов, люди сами выбирают, какие книги им читать.

Разумеется, многих особенно тревожит проявление обратных степенных законов в распределении доходов. Получается, второй богач в том или ином обществе должен иметь вдвое меньше, чем богатейший человек в этом социуме; занимающий десятую строчку рейтинга обеспеченности — вдесятеро меньше главного богача, а занимающий тысячную строчку (и влачащий жалкое существование где-нибудь в пригородных трущобах) — лишь одну тысячную того, что имеет главный толстосум.

Вот наглядный пример. Допустим, генеральный директор компании зарабатывает 100 миллионов долларов в год, программист той же компании — 100 тысяч в год, а рабочий на одном из заокеанских сборочных предприятий компании — всего-навсего 10 тысяч долларов в год, т. е. в 10 тысяч раз меньше, чем гендиректор фирмы.

Распределение согласно обратным степенным законам можно увидеть и при анализе сборов нового фильма в первые выходные проката, и в количестве заходов на интернет-страницы, и в количестве зрителей телевизионных шоу. Есть ли какая-то причина, по которой верхние строчки рейтинга так бессовестно процветают, а нижние так несправедливо наказываются? Короткий ответ — нет, особой причины тут не существует. Чтобы распределять награды столь несправедливо, никакой заговор не нужен. Пусть это и кажется демонстративной наглостью, но распределения,

подчиняющиеся обратным степенным законам, ведут себя в соответствии с фундаментальным законом, определяющим поведение самых разных систем.

Обратные степенные законы проявляют себя не только в обществе: они доминируют и в статистике мира природы. Десятое по размеру озеро, скорее всего, будет примерно в 10 раз меньше самого крупного, сотое по высоте дерево в лесу — в 100 раз ниже самого большого, а тысячный по величине камень на берегу моря окажется в 1000 раз меньше самого крупного.

Нравятся они нам или нет, обратные степенные законы неизбежны, как турбулентность, энтропия или закон всемирного тяготения. При всем при том мы можем несколько сглаживать их проявления в социальном контексте: все-таки не стоит с безнадежным видом утверждать, что мы совсем не в состоянии контролировать имущественное неравенство между нашими богатыми и нашими бедными. Но общие очертания графиков для обратных степенных законов никуда не денутся. Можно сколько угодно негодовать на обратный степенной закон, а можно принять его, надеясь когда-нибудь сгладить безжалостную кривую, чтобы она не вздымалась вверх так круто.

ОТКУДА У ЛЕОПАРДА ПЯТНА

СЭМЮЭЛ ЭББСМАН

Специалист по прикладной математике, старший научный сотрудник *Ewing Marion Kauffman Foundation*

В одной из своих знаменитых «Сказок просто так» Редьярд Киплинг повествует о том, как леопард обзавелся пятнами. Если довести этот подход до логического предела, выяснится, что нам нужны отдельные истории про самых разных животных, к примеру, про пятна леопарда, коровы или сплошную окраску пантеры. Пришлось бы добавить и рассказы о сложных узорах всевозможных других существ, от моллюсков до тропических рыб.

Но к счастью, существует единственное общее объяснение, показывающее, каким образом возникают все эти разнообразие узоры. Нужно лишь применить одну объединяющую теорию.

Еще в 1952 году, когда Алан Тьюринг опубликовал статью «Химические основы морфогенеза», ученые начали понимать, что простой набор математических формул может управлять всем разнообразием узоров и расцветок животного мира. Эта модель называется реакционно-диффузной и работает сравнительно просто. Представьте, что у вас есть несколько веществ, которые диффундируют по поверхности с различной скоростью и могут взаимодействовать друг с другом. В большинстве случаев процесс диффузии просто приводит к равномерному распределению того или иного вещества (скажем, сливки, влитые в кофе, в конце концов равномерно распределятся по всей кружке, и в результате мы получим светло-коричневую жидкость), однако при диффузии и одновременном взаимодействии нескольких веществ распределение цветов может оказаться неравномерным. Хотя наша интуиция, возможно, и противится этому, выясняется, что такой процесс не только происходит, но и может быть смоделирован при помощи простого набора уравнений, которые и объясняют невероятное разнообразие узоров и расцветок животного мира.

Биологи-математики исследуют свойства реакционно-диффузных уравнений с тех самых пор, как вышла статья Тьюринга. Они обнаружили, что варьирование параметров уравнений позволяет получить те самые «животные узоры», которые мы наблюдаем в природе. Некоторые математики изучают, как размеры и форма поверхности влияют на них. По мере изменения одного из параметров можно легко перейти от жирафьих пятен к кляксам, украшающим шкуру голштинских коров.

Эта изящная модель даже позволяет давать несложные прогнозы: к примеру, если пятнистое животное может иметь полосатый хвост (и очень часто имеет), то у полосатого животного никогда не будет пятнистого хвоста. И именно это мы и видим в жизни! Реакционно-диффузные уравнения не только дают все разнообразнейшие вариации узоров и расцветок, наблюдаемые в природе, но показывают и ограничения, присущие биологии. Кипплинговское «просто так» можно без опасений променять на элегантность и универсальность этих уравнений.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ ЧЕЛОВЕКОМ РЕШЕНИЙ

СТАНИСЛАС ДЕХАН

Нейробиолог (Коллеж де Франс); автор книги *Reading in the Brain: The New Science How We Read* («Чтение мозга: новая наука о том, как мы читаем»)

Конечной целью науки, как некогда утверждал французский физик Жан Батист Перрен, должна стать «замена видимой сложности невидимой простотой». Может ли наука о психологии человека достичь этой амбициозной цели — открыть изящные правила, которые лежат в основе невероятного разнообразия человеческих мыслей? Многие ученые до сих пор считают психологию «нестрогой» наукой, чьи методы и объект исследования чересчур расплывчаты, чересчур сложны и чересчур пронизаны бесчисленными слоями культурных тонкостей, чтобы когда-нибудь привести их к элегантным математическим обобщениям. Однако ученые-когнитивисты знают, что это предубеждение ошибочно. Человеческое поведение следует строгим законам потрясающей математической красоты, причем следует им неукоснительно. Я представлю на ваш суд лишь один из них — математический закон, в соответствии с которым мы принимаем свои решения.

Похоже, все наши решения описываются простым правилом, в котором сплетаются воедино наиболее изящные математические находки прошлых веков: броуновское движение, закон Байеса, машина Тьюринга. Начнем с простейшего из решений: как мы определяем, что 4 меньше 5? Психологические изыскания показывают, что за этим несложным действием таится много сюрпризов. Во-первых, наше быстрое действие при этом не так уж велико: на решение уходит почти полсекунды — от момента, когда на экране появляется цифра 4, до момента, когда мы нажимаем на кнопку. Во-вторых, наше время отклика сильно варьируется от опыта к опыту (в интервале от 300 до 800 миллисекунд), хотя мы всякий раз реагируем на один и тот же цифровой знак — «4». В-третьих, мы допускаем ошибки. Это звучит смешно, однако даже при сравнении 4 и 5 мы ино-

гда ошибаемся. В-четвертых, наши успехи в этом действии различны при разном числовом значении показываемых нам объектов: когда числа находятся далеко друг от друга (скажем, если это 1 и 5), мы принимаем решение быстрее и делаем меньше ошибок по сравнению с теми случаями, когда числа близки (скажем, если это те же 4 и 5).

Все вышеприведенные факты, как и многие другие, можно объяснить одним законом: наш мозг принимает решения, накапливая доступную статистическую информацию и выдавая результат, когда общий объем информации превышает некоторый порог.

Поясню это утверждение. Принимая решение, мозг сталкивается с проблемой отделения сигнала от шума. Поступающая информация (которая служит основой для принятия решения) всегда содержит шум: фотоны попадают на нашу сетчатку в случайные моменты, нейроны передают информацию лишь с ограниченной надежностью, к тому же по всему мозгу то и дело происходят спонтанные всплески нейронной активности, добавляя шум. Даже когда на входе всего лишь число, анализ нейронной активности показывает, что количество, соответствующее этому числу, кодируется «шумной» группой нейронов, активизирующихся в полуслучайные моменты, причем некоторые нейроны сигнализируют «Я думаю, это 4», другие — «Это ближе к 5», третьи — «Это ближе к 3» и т.п. Поскольку мозговая система принятия решений видит лишь никак не помеченные пики нейронной активности, а не развернутые символы, отделение зерен от плевел становится для нее настоящей проблемой.

Как же вынести надежное решение в присутствии шума? Впервые математический ответ для этой задачи предложил Алан Тьюринг, разгадывая во время Второй мировой войны код «Энигмы» в Блетчли-парке — секретном центре британской разведки. Тьюринг обнаружил небольшую погрешность в действиях немецкой шифровальной машины «Энигма»; это означало, что некоторые немецкие послания содержали небольшое количество понятной британским дешифровщикам информации. Но, к сожалению, ее не хватало, чтобы разгадать шифр. И тогда Тьюринг для объединения всех разрозненных «улик» применил закон Байеса. Не останавливаясь на математическом аппарате, скажем лишь, что закон Байеса дает простой способ учесть и сложить вместе все

такие «намекы на истину», приплюсовать их к уже имеющимся сведениям и в результате получить обобщенную статистическую картину, которая покажет искомую «общую сумму».

Из-за шума на входе поступающая «сумма улик» колеблется вверх-вниз: некоторые входящие послания подтверждают наши выводы, а некоторые лишь добавляют шума. На выходе мы получаем то, что математики именуют случайным блужданием: колеблющуюся череду чисел, которая является функцией времени. Однако в нашем случае числа имеют определенный смысл: они представляют вероятность того, что одна гипотеза верна (т. е. что число на входе меньше 5). А следовательно, разумно будет действовать подобно специалистам-статистикам и подождать, пока накапливаемый нами массив статистических данных не превзойдет определенный порог — определенное значение вероятности (p). Если мы установим $p = 0,999$, это будет означать, что шанс ошибиться у нас — один из тысячи.

Заметьте, мы можем установить этот порог на любом произвольно выбранном значении. Однако чем выше мы его задерем, тем дольше нам придется ждать решения. Тут уж либо скорость ценой точности, либо наоборот: можно долго ждать и в итоге принять очень точное решение, либо рискнуть отреагировать раньше, но при этом допустить больше ошибок. Собственно, при любом выборе мы всегда совершим сколько-то ошибок.

Достаточно сказать, что алгоритм принятия решений, который я набросал выше (и который, попросту говоря, описывает, как любое разумное существо должно вести себя в условиях информационного шума), ныне рассматривается учеными как общий механизм принятия решений людьми. Он объясняет и время отклика, и разброс этого времени, и форму соответствующего статистического распределения. Он дает описание того, почему мы допускаем ошибки, как эти ошибки соотносятся со временем отклика и как мы устанавливаем баланс скорости и точности. Он применим ко всем разновидностям решений, от сенсорных (я заметил какое-то движение — или нет?) до лингвистических (что я услышал — «дом» или «лом»?) и даже до проблем сравнительно высокого уровня (когда мне лучше выполнить это задание — в первую или во вторую очередь?). А в более сложных случаях (скажем, при выполнении операций над

многозначными числами или осуществлении целой серии заданий) наше поведение являет собой череду шагов, каждый из которых включает накопление информации и достижение определенного порога. Так что подобный подход, оказывается, великолепно описывает и наши напряженные многостадийные подсчеты, уподобляющие нас машинам Тьюринга.

Более того, это поведенческое описание принятия решений сегодня позволяет добиться существенного прогресса в нейробиологии. Можно записать сигналы нейронов обезьяньего мозга, указывающие на похожее накопление соответствующих сенсорных сигналов: об этом свидетельствует скорость передачи нервных импульсов и их интенсивность. Теоретическое различие между накоплением информации и достижением порогового значения помогает разбить мозг на специализированные подсистемы с точки зрения теории принятия решений.

Как и для всякого изящного научного закона, нас здесь подстерегает много сложностей. Вероятно, «накопитель информации» у нас не один, их много: мозг аккумулирует данные на каждом из последовательных этапов обработки данных. И в самом деле, чем больше мы исследуем человеческий мозг, тем сильнее он напоминает потрясающей мощи байесовскую машину, которая на каждой стадии обработки данных совершает множество параллельных операций, принимая множество микрорешений. Многие ученые полагают, что наше чувство уверенности, стабильности и даже осознания себя и мира могут корениться в таких мозговых «решениях» высокого порядка и в конце концов тоже станут жертвой какой-нибудь похожей математической модели. Процесс оценки — еще один немаловажный ингредиент в принятии взвешенных решений (я намеренно не стал о нем здесь распространяться). И наконец, система принятия решений полна априорных допущений, отклонений, ограничений по времени и других значимых факторов, которые не позволяют с абсолютной точностью свести ее к математически оптимальному виду.

Однако в первом приближении этот закон все-таки является одним из самых изящных и плодотворных открытий, которые совершила психология в XX веке: люди действуют как статистические механизмы, стремящиеся к оптимуму, и наши решения связаны с накоплением доступной информации, продолжающимся, пока не будет достигнут определенный порог.

ОБ ОДНОМ ИЗРЕЧЕНИИ ЛОРДА АКТОНА

МИХАЙ ЧИКСЕНТМИХАЙИ

Заслуженный профессор психологии и менеджмента Клермонского университета, содиректор-учредитель Научно-исследовательского центра качества жизни Клермонского университета; автор книги *Flow: The Psychology of Optimal Experience* («Поток. Психология оптимального переживания»). М., Альпина Нон-фикшн, 2013)

Надеюсь, меня не выгонят с позором из рядов специалистов по общественным наукам, если я сознаюсь, что никак не могу вспомнить в нашей сфере ни одного объяснения, обладающее одновременно изяществом и красотой. Что касается глубины, то мы, по-моему, пока еще слишком молоды как цивилизация, чтобы давать по-настоящему глубокие объяснения. Впрочем, есть одно элегантно и глубокое утверждение (все-таки, увы, это не совсем «объяснение»), которое мне представляется весьма полезным, а кроме того, прекрасным своей простотой.

Я имею в виду знаменитые строки лорда Актона из одного его неапольского письма 1887 года; в вольном пересказе они звучат так: «Всякая власть развращает, а абсолютная власть развращает абсолютно». По меньшей мере один специалист по философии науки написал, что на основе данной сентенции можно выстроить целую науку о человеке.

Полагаю, эта фраза закладывает основания для попытки объяснить, почему неудавшийся художник Адольф Гитлер и неудавшийся семинарист Иосиф Сталин смогли дойти до миллионных массовых кровопролитий или почему китайские императоры, римские папы, французские аристократы не сумели устоять перед искушением властью. Когда религия или идеология начинает доминировать в том или ином обществе, нехватка контролирующих механизмов приводит власть ко все большей вседозволенности, а это, в свою очередь, ведет к деградации и развращенности.

Было бы неплохо, если бы идею Актона удалось развить в полномасштабное объяснение еще до того, как сегодняшние гегемонии, основанные на слепой вере в науку и преклонение перед Невидимой Рукой Рынка, последуют за более старыми формами власти в мусорный бак истории.

ФАКТ И ВЫДУМКА В НАШЕМ ВЕРОЯТНОСТНОМ МИРЕ

ВИКТОРИЯ СТОДДЕН

Специалист по юридической информатике,
доцент статистики Колумбийского университета

Каким образом мы отделяем факты от выдумок? Нас часто поражают совпадения, которые кажутся очень необычными. Допустим, в утренней газете вы встречаете заметку с описанием какой-то рыбы, потом на обед вам подают рыбу и разговор заходит о рыбацких первоапрельских розыгрышах. Позже на работе коллега показывает вам несколько фотографий рыб, а вечером вам преподносят вышивку, изображающую морских чудищ. На следующее утро сотрудница вашего отдела сообщает, что ей снилась рыба. Возможно, вы начнете чувствовать себя неудобно, однако, как выясняется, такие вещи не должны нас удивлять. Почему? У ответа на этот вопрос долгая история. Человек не сразу начал понимать, как случайности посредством распределения вероятностей встраиваются в наше восприятие мира. Ведь такое понимание, по сути, противоречит нашим интуитивным догадкам.

Случайность как плод невежества

Толстой скептически относился к общепринятым представлениям о случайностях. Он приводил пример: допустим, в стаде овец одну наметили на убой. Ей дают больше корма по сравнению с остальными, и овечье стадо, по мнению Толстого, начинает (не зная о том, что предстоит бедняге) считать эту неуклонно жиреющую овцу чем-то необычным и случайным. Толстой предлагает овечьему стаду перестать думать, будто все случается лишь «ради выполнения их овечьих целей», и осознать, что существуют скрытые от нас цели, которые все превосходным образом объясняют, так что незачем прибегать к понятию случая.

Случайность как незримая сила

Восемьдесят три года спустя Карл Юнг изложил схожую идею в своей хорошо известной статье «Синхрония как акаузальный объединяющий принцип». Он постулировал существование скрытой силы, ответственной за события, кажущиеся связанными, однако не причинно-следственной связью. История о встречах с рыбой взята как раз из книги Юнга. Он находит эту череду событий необычной — слишком необычной, чтобы списать ее на проявления случайности. Он полагает, что здесь должно действовать что-то еще, и именует это «что-то» акаузальным объединяющим принципом.

Перси Диаконис, профессор статистики и математики Стэнфордского университета и мой бывший преподаватель, критически подходит к юнговскому примеру. Допустим, в среднем мы раз в день сталкиваемся с тем или иным проявлением идеи рыбы. Обратимся к статистическому методу, именуемому процессом Пуассона (кстати, в переводе с французского это слово тоже означает «рыба»). Пуассоновский процесс являет собой стандартную математическую модель для описания счетных единиц: скажем, радиоактивный распад, похоже, развивается как пуассоновский процесс. Модель устанавливает определенную фиксированную частоту, с которой происходит определенное наблюдаемое явление (при усреднении результатов наблюдений), а все иные значения этой частоты рассматриваются как случайные. Применяя пуассоновский процесс к примеру Юнга, предположим, что при усреднении результатов долгих наблюдений мы наблюдаем одно событие за 24 часа. Вычислим вероятность наблюдения 6 или более «рыбных» событий в 24-часовом промежутке. Диаконис обнаруживает, что эта вероятность — около 22%. Так что Юнгу не следовало бы особенно удивляться.

Статистическая революция: случайность в моделях генерирования данных

Всего через два десятка лет после того, как Толстой написал про овец, английский математик Карл Пирсон вызвал статистическую революцию в научном мышлении, высказав

новую идею о том, как появляются наблюдения: схожую идею использовал Диаконис в своем расчете вероятности. Пирсон предположил, что природа снабжает нас данными из некоего неведомого распределения, но они рассеиваются случайным образом. Его открытие состояло в том, что это рассеяние отличается от собственно погрешности измерений, тем самым добавляя дополнительную погрешность в процесс записи наблюдений.

До Пирсона наука имела дело с «реальными» вещами — скажем, с законами, описывающими движение планет или кровоток лошадей (примеры взяты из книги Дэвида Салсберга «Дама, пробуящая чай» (David Salsburg, *The Lady Tasting Tea*). Пирсон сделал возможным вероятностный взгляд на мир. Планеты не следуют законам природы с абсолютной точностью, даже после того, как мы учтем погрешность измерений. У разных лошадей кровь течет по-разному, однако кровеносная система лошади выстроена не совершенно случайным образом. Оценивая распределения, а не сами явления, мы можем точнее представить себе картину мира.

Случайность, описываемая распределениями вероятностей

Гипотеза, согласно которой сами измерения характеризуются неким распределением вероятностей, ознаменовала существенный сдвиг по сравнению с теми временами, когда случайность считали ограниченной лишь погрешностями измерения. Подход Пирсона весьма полезен, ибо позволяет оценивать, насколько вероятно то, что мы видим, — исходя из условий распределения. Сегодня такой подход — наш главный инструмент при оценке того, насколько вероятно, что определенное объяснение верно.

Так мы можем, к примеру, количественно оценить вероятность того, что лекарство окажется эффективным, или того, что частицу удастся зафиксировать в ускорителе. Является ли ноль центром распределения среднего отклика при сравнении результатов той группы, которой давали препарат, и контрольной группы (которой препарата не давали)? Если это кажется вероятным, мы вправе высказать

скептицизм касательно эффективности препарата. Отстоят ли исследуемые сигналы настолько далеко от распределения для известных частиц, чтобы принадлежать к иному распределению, а значит, давать основания полагать, что их создает какая-то новая частица? Обнаружение бозона Хиггса потребовало подобной вероятностной интерпретации данных, чтобы отличить хиггсовские сигналы от сигналов, соответствующих другим событиям. Главное во всех подобных случаях — определить характеристики статистического распределения, которое лежит в основе интересующего нас явления.

Пирсон напрямую включил случайность в распределение вероятностей, что позволяет нам критически подходить к оценке возможности тех или иных событий и количественно выражать нашу уверенность в тех или иных объяснениях. Благодаря открытию Пирсона мы можем эффективнее оценивать, когда наблюдаемые нами явления имеют особое значение, а когда — нет. А значит, нам лучше удастся достигать своих целей — не овечьих, а человеческих.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАШИНА ТЬЮРИНГА

ГЛОРИЯ ОРИГГИ

Философ (Национальный центр научных исследований, Париж); редактор книги *Text-e: Text in the Age of the Internet* («Е-текст, или Текст в эпоху Интернета»)

«Есть многое на свете, друг Горацио, что вашей философии не снилось»¹, — говорит Гамлет своему приятелю. Изыщное резюме, которое преследует нас в жизни. Один из самых замечательных научных экспериментов всех времен и народов подводит нас к тому же печальному выводу: некоторые математические проблемы попросту неразрешимы.

В 1936 году британский математик Алан Тьюринг придумал самую простую и изящную вычислительную машину на свете, устройство (которое он позже описал в своей статье 1948 года «Разумная машина»), наделенное

бесконечным объемом памяти, представленной в виде бесконечной ленты, размеченной на квадраты, на каждом из которых может быть напечатан символ. В каждый данный момент времени в машине находится один символ: он называется отсканированным. Затем машина может изменить отсканированный символ, и ее поведение частично определяется этим символом, но символы, находящиеся на других участках ленты, никак не влияют на поведение машины. Однако лента может двигаться сквозь машину взад-вперед: это одна из элементарных операций, совершаемых машиной.

Итак, перед нами абстрактная машина, порожденная гением для того, чтобы справиться с неразрешимой проблемой — *проблемой разрешения*. Вот формулировка этой проблемы. Возможно ли для каждой логической формулы, существующей в какой-либо теории, за конечное число шагов определить, верна ли данная формула для данной теории?

¹ Совмещены переводы Н. Полевого и Б. Пастернака.

Ну так вот, Тьюринг демонстрирует, что это невозможно. Проблема разрешения (*Entscheidungsproblem*) была хорошо знакома тогдашним математикам. Она занимала десятую строчку в перечне проблем, которые Дэвид Гильберт в 1900 году представил математической общественности, тем самым обрисовав основную часть повестки математических исследований на XX век. В классической формулировке задается вопрос, существует ли *механический* процесс, способный за конечное число шагов определить, верна ли формула или можно ли вычислить значение функции. Тьюринг начал с вопроса: «А что такое механический процесс?» и дал ответ: механический процесс — такой, который может осуществить машина. Очевидно, не так ли?

Затем он разработал машину для операций со всеми возможными формулами в логике первого порядка и со всеми возможными рекурсивными функциями натуральных чисел, с учетом доказанной Гёделем (в его теореме о неполноте) логической эквивалентности между множеством формул логики первого порядка и множеством натуральных чисел. И в самом деле, на основе простой дефиниции Тьюринга можно описать функцию при помощи записанных на ленту нулей и единиц, затем дать машине список простых команд (сдвинь ленту влево, сдвинь ленту вправо, стоп) так, чтобы она записала «демонстрацию» функции и затем прекратила работу.

Это и есть Универсальная машина Тьюринга: универсальная, ибо она способна взять в качестве входящей информации любой возможный набор символов, описывающих функцию, и продемонстрировать эту функцию на выходе. Но если вы введете в Универсальную машину Тьюринга описание ее самой, она не остановит работу: она без конца будет выдавать нули и единицы. Вот так. Эта Праматерь всех компьютеров, душа цифровой эпохи, была создана для того, чтобы показать: не все можно свести к той или иной тьюринговской машине. Много есть на свете такого, что не снилось нашей философии.

ВОПРОС ПОЭТИКИ

РИЧАРД ФОРМАН

Драматург и режиссер, основатель
Театра онтологической истерики

Поскольку всякое объяснение зависит от обстоятельств и ограничено ими, поскольку его рано или поздно непременно затмит лучшее или кажущееся в данный момент более обаятельным, «любимое объяснение» — это вопрос скорее поэтики, нежели науки или философии. И все равно у меня, как у всех, есть в этой сфере свой предмет страсти — пылкое романтическое увлечение. В молодости меня во многом сформировало и сориентировало то, что теперь я назвал бы *двумя* моими любимыми объяснениями:

1. Почти не помню подробностей (в конце концов, я же не ученый), но помню, как читал о теории Поля Дирака насчет моря отрицательной энергии, из которого (из дыры, из ничего) вдруг возникает позитрон — одна из фундаментальных частиц нашего мира. Надеюсь, у меня есть право поделиться этим воспоминанием и я не выставил себя на посмешище, дав неверную интерпретацию упомянутой теории. В каком-то смысле это и неважно. Потому что этот образ, подпитываемый этим объяснением, побудил меня предпринять более активные поиски нового типа театра, где (если прибегать к своего рода отрицательной теологии) я пытался и до сих пор пытаюсь затянуть зрителей в пустоту, а не скормить им то, что они и без того чувствуют и знают о «реальном» мире.
2. Вскоре после этого (все описываемое происходило в 1950-е годы), встретившись с философом Ортегой-и-Гассетом, я испытал настоящее потрясение от его объяснения, согласно которому человек — не «цельная личность» (в мире, где это понятие вскоре станет расхожим штампом, применяемым ко всем подряд), а нечто иное. Согласно его знаменитой формулировке, «я — это я сам плюс мои обстоятельства»: иными словами, человек — существо разделенное, расщепленное, раздробленное.

Почему же ортегианские обстоятельства заставили меня увлечься диракианским объяснением? Возможно, тут есть какая-то связь с тем, что вырос я в элитарном Скарсдейле, ненавидя его, но скрывая, что чувствую себя не в своей тарелке и мне весьма неудобно получать хорошие отметки в старших классах. Дирак подарил мне мощную поэтическую метафору, которая позволила мне воображать, будто некий недостижимый источник (море отрицательной энергии) является реальной почвой, на которой все мы втайне стоим — и черпать отвагу в том факте, что мир вокруг меня не замечает глубинной реальности вещей, а значит, мое отчуждение в известном смысле оправданно.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

ДЖАРЕД ДАЙМОНД

Профессор географии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе; автор книги *Collaps: How Society Choose to Fall or to Succeed* («Коллапс: почему одни общества выживают, а другие умирают»). М., АСТ, 2010)

Мое любимое глубокое, изящное и красивое объяснение — объяснение механизма выработки электричества животными и растениями. Британские физиологи Алан Ходжкин и Эндрю Хаксли предложили его в 1952 году, а в 1963 году они получили за эту работу Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

К тому времени уже больше столетия было известно, что нервы, мышцы и некоторые другие органы животных и отдельных растений генерируют электроэнергию. Основная часть этого электричества имеет низкое напряжение — несколько вольт или всего лишь какие-то доли вольта. Однако у электрического угря имеется набор из 6 тысяч мышечных мембран, позволяющий ему генерировать напряжение в 600 вольт, вполне достаточное для того, чтобы убивать добычу и поражать мощным разрядом лошадей, переходящих реку вброд. Как-то один такой угорь меня тоже сильно ударил током: старшекурсником я изучал процесс выработки электричества угрями и так сосредоточился на размышлении о физиологических механизмах, что на время позабыл об их практических следствиях.

Электричество подразумевает движение заряженных частиц. В наших лампочках и электросетях эти частицы — отрицательно заряженные электроны. А как обстоит дело в биологических системах? Больше века назад немецкий физиолог Юлиус Бернштейн предположил, что заряженные частицы, чье движение порождает биологическое электричество, — это не электроны, а положительно заряженные ионы.

Ходжкин и Хаксли начали свои решающие эксперименты в конце 1930-х. Они ожидали обнаружить, что электрический потенциал на нервной мембране (т. е., собственно говоря, разность потенциалов по обе стороны мембраны) во время прохождения электрического импульса быстро падает до нуля благодаря избирательной проницаемости мембраны для положительно заряженных ионов калия. Однако выяснилось, что потенциал на нервной мембране не просто падает до нуля и нервная мембрана не просто становится неселективно проницаемой: потенциал меняет знак, а значит, требуется какое-то особое объяснение этого явления. Но тут Гитлер вторгся в Польшу, и следующие 6 лет Ходжкин и Хаксли провели, используя свое понимание электричества при конструировании радарных установок для британской армии.

В 1945 году ученые возобновили эксперименты, используя гигантские нервы, которые были обнаружены в спинной части кальмаров и которые оказались достаточно большими, чтобы в них можно было вставить электрод для измерения разности потенциалов на нервной мембране. Ходжкин и Хаксли подтвердили свое поразительное предвоенное открытие — нервный потенциал действительно меняет знак и это изменение передается вдоль нерва, как раз и создавая электрический импульс. В серии экспериментов невероятного изящества они искусственно создавали ту или иную фиксированную разность потенциалов на мембране, измеряя силу тока, входящего в мембрану и выходящего из нее, как функцию времени, и определяли на основе этих измерений потенциалов то, как меняется проницаемость мембраны по отношению к положительно заряженным ионам калия, а затем — к положительно заряженным ионам натрия (тоже в зависимости от потенциала и времени). В конце концов им удалось воссоздать всю цепочку распространения нервного импульса — путем изучения этих изменений проницаемости мембраны в зависимости от времени и потенциала. В наши дни студенты-физиологи выполняют расчеты биоэлектрических потенциалов на своих настольных компьютерах за несколько часов. В 1952 году, еще до наступления эры современных вычислительных машин, Эндрю Хаксли вынужден был выполнять эти расчеты

на настольном калькуляторе, позволявшем ему обсчитать один нервный импульс примерно за месяц!

Четыре статьи, которые Ходжкин и Хаксли опубликовали в британском *Journal of Physiology* в 1952 году, настолько ошеломляли детальными описаниями перемещений ионов калия и натрия и реконструкцией нервных импульсов, что научный мир почти сразу же поверил в истинность этого открытия. Изменения проницаемости мембраны по отношению к положительно заряженным ионам (а не к отрицательно заряженным электронам) дают нервам возможность передавать электрические импульсы, нервно-мышечным узлам — передавать импульсы, которыми нервы активируют мышцы, участкам пересечения нервов (так называемым синапсам) — передавать импульсы, которыми один нерв активирует другой нерв, органам чувств — вырабатывать импульсы, которые превращают свет, звук и прикосновение в электричество. По сути, благодаря этим изменениям проницаемости функционируют наши нервы и наш мозг. Таким образом, процессы возникновения и распространения животного электричества, тайну которых раскрыли Ходжкин и Хаксли, позволяют вам читать эту страницу, думать об этой странице, перелистывать эту страницу, удивленно восклицать, размышлять и делать все прочее, что включает в себя движение, ощущения и мысль. Лежащий в основе этих действий принцип (перемещение положительно заряженных частиц) прост, однако промысел Божий чувствуется в тончайших деталях сих процессов и их элегантно реконструкции.

ПОЧЕМУ ДРЕВНИЕ ГРЕКИ ИЗОБРАЖАЛИ КРАСНЫЕ ФИГУРКИ НА ЧЕРНЫХ ГОРШКАХ

ТИМОТИ ТЕЙЛОР

Археолог (Брэдфордский университет, Великобритания);
автор книги *The Artificial Ape* («Искусственная
человекообразная обезьяна»)

Хорошая штука — объяснение чего-нибудь такого, что кажется нам вовсе не нуждающимся в объяснении. А если оно приводит к объяснению и других вещей, которые кажутся не нуждающимися в объяснении, так это еще лучше. Если же оно порождает мощный скандал, в ходе которого различные группы интересов, прикрываясь академическими мантиями, пытаются сохранить существующее положение вещей, опасаясь далеко идущих последствий новой гипотезы, значит, это объяснение — в числе самых великолепных. Я выбрал простое и весьма далеко идущее объяснение Майкла Викерса: почему древние греки рисовали на своей керамике маленькие красные фигурки.

Краснофигурная ваза стала символом античности. Вопрос о том, почему изображенные фигуры не белые, желтые, лиловые или черные (а древнегреческие гончары могли производить и действительно производили такие красители для своих шликеров¹ и глазурей), не кажется важным. Если посмотреть на проблему с практической точки зрения, можно сделать вывод, что благодаря такому цветовому единообразию древнегреческие покупатели керамики могли смешивать разную посуду, не опасаясь конфликта стилей, а общепринятая схема росписи позволяла гончарам сосредоточиться на их главной страсти — рассказывании историй при помощи своих изделий. Красные силуэты на черном фоне образуют сложные сцены — тут и

¹ Шликер — смешанная с водой окрашенная глина, которая использовалась в древности для росписи керамики. — *Прим. перев.*

мифология, и война, и производство, и домашняя жизнь, и спорт, и двусмысленный секс. Благодаря такому сочетанию цветов сцены выглядят графически выразительными. Всякий поймет, что здесь происходит (потому-то музеи часто хранят в запасниках, не выставляя на всеобщее обозрение, керамику на темы секса — традиционного, гомосексуального, лесбийского, группового, зоофильского и олицбосекса, связанного с применением фаллоимитатора, дилдо).

Блестящая мысль Викерса состояла в том, чтобы приложить к свежему контексту идею, хорошо известную уже ученому Витрувию в I веке до нашей эры. Витрувий отмечал, что многие элементы греческих святилищ, кажущиеся чисто декоративными, на самом деле являют собой отзвуки прежних практических соображений. Небольшие ряды старательно обточенных каменных кубиков и просветов под самой кромкой крыши — это *скевоморф*, формальное эхо тех концов балок и стропил, которые упирались в соответствующие места, когда строения возводили из дерева, а не из камня. Майкл доказывал, что древнегреческая керамика также являлась скевоморфической, став дешевой заменой аристократических драгоценных металлов. По его мнению, красные фигуры на черном служили имитацией золоченых фигур на серебре, тогда как форма сосудов, с их острыми краями (на линии соединения дна со стенками) и тонкими ручками (которые так легко ломаются, будучи выполненными из глины), стала прямым заимствованием из арсенала серебряных дел мастеров.

Многим такое объяснение до сих пор кажется не слишком правдоподобным. Но для тех из нас, кто (как и я) работал в Восточной Европе на раскопках памятников железного века, с пышными варварскими курганами, набитыми предметами роскоши из драгоценных металлов, эта гипотеза кажется весьма разумной. Извлеченное из земли древнее серебро кажется черным, и золотые изображения на нем контрастно выделяются, имея красновато-желтоватую окраску. Раньше музеи обычно стремились «консервировать» такие сосуды, не понимая (как мы понимаем сейчас), что сульфидное чернение — вещь намеренная. Никакой древний грек не потерпел бы, чтобы его похоронили с сияющим серебром, ведь этот стиль предпочитали ненавист-

ные грекам персы, которые таким образом хвастались своим доступом к экзотическим плодам — лимонам: именно при помощи лимонов они чистили серебро.

Для меня, сразу же с энтузиазмом принявшего идею Викерса, ключевым моментом стала фотография, на которой он запечатлел серию *лекифов* — изящных цилиндрических ваз для масла или благовоний, элегантно дугой уложенных в цепочку по убыванию длины. Тем самым он продемонстрировал, что никакой из лекифов (единственный тип широко распространенной керамики с белым фоном, черными были только основание и крышка) не превышал по диаметру самый большой многослойный цилиндр, какой можно вырезать из слоновьего бивня. Эти лекифы, поясняет Викарс, являлись скевоморфами оригиналов из слоновой кости, укреплявшихся на серебряных подставках.

Пока не до конца понятно, какие выводы можно сделать из этой гипотезы, однако репутация Древней Греции как цивилизации, ориентированной на философию и чистое искусство, теперь весьма контрастирует с образом мира, где каждый отчаянно стремился подражать богатым владельцам серебряных копей (существовавших благодаря рабскому труду) с их огромными флотами торговых галер. На мой взгляд, размах античной экономики во всех ее аспектах (рабство, торговля, численность населения, социальное расслоение) долгое время систематически недооценивался, как и воздействие колониализма на весь мир или влияние роста усложненности общества на доисторическую Евразию.

Забавная вещь: на современном арт-рынке краснофигурные вазы продаются и покупаются за баснословные суммы, а ведь древние греки ценили их совсем невысоко. И теперь совершенно очевидно: иллюзию того, что эти в действительности довольно дешевые «древние раритеты» дороги, намеренно подпитывали аукционные дома XIX века, весьма избирательно цитируя древнегреческие тексты с чисто рыночными целями.

ЯЗЫК КАК АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА

ЭНДИ КЛАРК

Философ, профессор логики и метафизики
(Эдинбургский университет); автор книги *Supersizing
the Mind: Embodiment, Action and Cognitive Extension*
(«Гиперрасширение сознания: воплощение, действие,
когнитивная экспансия»)

Объяснение возникновения структурированного языка на основе гипотезы обучения методом последовательных приближений — одно из тех красивых объяснений, которые переворачивают вещи с ног на голову. Оно предлагает убедительные и перспективные альтернативы теориям, утверждающим, что человеческий мозг весьма эффективно приспособлен к обучению «человеческим» языкам. Согласно данной же гипотезе, все наоборот: человеческие языки весьма эффективно приспособлены к особенностям инструментов обучения, имеющихся у человека в мозгу.

Ключевая идея здесь в том, что язык сам по себе является адаптивной системой, которая меняет свои формы и структуры, чтобы становиться все более доступной для изучения носителями (то есть нами). Насколько мне известно, впервые эту идею высказал Терри Дикон в своей книге 1997 года *The Symbolic Species* («Символический биологический вид»). В неявном виде ее развивали такие компьютерно-ориентированные лингвисты, как Саймон Кирби, Мортен Кристиансен и другие. Во многих из этих работ использовались компьютерные модели, но в 2008 году Кирби с соавторами опубликовали в *Proceedings of the National Academy of Sciences* статью, где в принципе продолжали тот же ход рассуждений, расширяя доказательную базу при помощи лабораторных экспериментов на добровольцах-людях.

В ходе экспериментов испытуемых учили простенькому искусственному языку, состоящему из пар «набор символов — его значение», а затем тестировали их, чтобы узнать, насколько они освоили язык. В тесте задействовались

как значения, которые уже показывались при обучении, так и новые значения. И дальше — главный фокус: затем обучалось «новое поколение» испытуемых, но при этом использовались не исходные материалы, а данные, полученные от «предшествующего поколения». Таким образом, язык заставляли протискиваться сквозь «поколенческое бутылочное горлышко», и языковые предпочтения одного поколения (в том числе вариации и допущенные ошибки) становились базой для обучения следующего поколения. Эксперименты неизменно показывали (согласуясь с результатами компьютерного моделирования, проведенного ранее), что языки, подвергающиеся такого рода кумулятивной (накопительной) культурной эволюции, становятся проще для изучения, демонстрируя усиление закономерностей в словообразовании и словоизменении. Это происходит потому, что языки меняются так, чтобы все лучше и лучше соответствовать основным особенностям субъектов (их носителей). Иными словами, языки адаптируются, становясь доступнее для изучения теми, кому предстоит осваивать их в данном месте и в данное время. Так происходит, поскольку ожидания и особенности изучающих влияют и на то, насколько хорошо они запоминают исходный материал («набор символов — его значение»), и на то, как они ведут себя, когда им представляют новый материал.

Таким образом, поведение языка отчасти напоминает поведение организма, который адаптируется к определенной экологической нише.

Эта ниша — мы.

МЕХАНИЗМ ПОСРЕДСТВЕННОСТИ

НИКОЛАС КАРП

Журналист; автор книги *The Shallows: What the Internet Is Doing to Our Brains* («Мелководье: что Интернет делает с нашим мозгом»)

В 1969 году канадец Лоуренс Дж. Питер совершил в американском капитализме форменный переворот. «В любой иерархической структуре, — объявил он, — каждый работник склонен подниматься до уровня своей некомпетентности». Он назвал это утверждение принципом Питера и опубликовал его в одноименной книге. Небольшой томик, менее чем в 180 страниц, стал главным бестселлером года, разойдясь в количестве примерно 200 тысяч экземпляров. Нетрудно понять причину. Принцип Питера не только подтверждал то, что все давно подозревали (что все боссы — идиоты), но и объяснял, почему это должно быть так. Когда человек преуспевает в своей работе, он получает повышение. И так далее, и так далее — его повышают до тех пор, пока он не достигает должности, для которой не очень-то подходит. Тогда чередa повышений кончается. Он нашел свой уровень некомпетентности. Здесь он и останется навсегда.

Принцип Питера стал крючком со многими остриями. Он не просто открыл нам глаза на болвана в шикарном кабинете. Он вдребезги разбил самую сердцевину Американской Мечты — желание как можно выше вскарабкаться по лестнице успеха. Оказалось, это желание — просто-напросто рецепт для формирования нации посредственностей. Предпринимательство — хитроумно устроенное надувательство, посредством которого некомпетентные работники сделали свою страсть к карьеризму повсеместно распространенной. Но это еще не все. Как отметил один рецензент из *New York Times*, этот принцип имеет «космические перспективы». Вскоре ученые разработали «обобщенный принцип Питера»: «В ходе эволюции системы стремятся

развиваться так, чтобы достичь предела своей адаптивной компетенции». Прогресс всех на свете систем приводит их к точке, где система спотыкается. Форма всего сущего — форма вечного неуспеха.

Самые запоминающиеся, значительные объяснения поражают нас своей подозрительной очевидностью. Они обращаются к общим местам, к наблюдениям, которые все мы делали, к переживаниям, которые все мы испытывали, — и затем извлекают из них истину, которая в них таилась. Большинство из нас проходят жизнь, постоянно натываясь на деревья. Требуется великий объяснитель (такой, как Лоуренс Дж. Питер), чтобы сообщить нам: видите ли, дело в том, что мы в лесу.

ПРИНЦИП ЭМПИРИЗМА, ИЛИ СМОТРИТЕ САМИ

МАЙКЛ ШЕРМЕР

Издатель журнала *Skeptic*, ежемесячный колумнист *Scientific American*; автор книги *The Believing Brain* («Доверчивый мозг»)

Эмпиризм — самый глубокий и широкий (по сути, всеохватный) принцип, позволяющий объяснить большинство явлений в природе и обществе. Эмпиризм — принцип, который призывает нас смотреть на все своими глазами, а не доверяться авторитету других. Эмпиризм — основа науки. Девиз лондонского Королевского научного общества (первой научной организации в истории) гласит: «Nullius in verba», «Не верь никому на слово».

Вот и Галилей никому не верил на слово. Согласно аристотелианской космологии, которую Католическая церковь считала окончательным и неоспоримым авторитетом в вопросах Истины о небесных материях, все объекты в космическом пространстве должны быть круглыми и совершенно гладкими, к тому же все они должны обращаться вокруг Земли по орбитам, являющим собой идеальные окружности. Но когда Галилей собственными глазами посмотрел на небо через свою трубку с преломляющей линзой на одном конце и увеличительным стеклом на другом, он увидел горы на Луне, пятна на Солнце, фазы Венеры, спутники, вращающиеся вокруг Юпитера, и странный объект, движущийся вокруг Сатурна. Коллега Галилея, маститый астроном Чезаре Кремонини из Падуанского университета был столь рьяным приверженцем космологии Аристотеля, что даже отказался взглянуть в телескоп Галилея, заявив: «Я не верю, чтобы эти вещи видел кто-нибудь, кроме него, к тому же у меня закружится голова, если я стану смотреть в эти стекла». Те же, кто все-таки посмотрел в эти стекла, в буквальном смысле не поверили собственным глазам.

Еще один коллега Галилея сообщал, что инструмент пригоден лишь для наземных наблюдений, но не для небесных: «Я испытал сей прибор Галилея тысячью способами, и на предметах земных, и на предметах небесных. Тут, внизу, он работает превосходно; при обращении же в небесные выси он обманывает зрение»¹. Один профессор математики из Колледжии Романо был убежден, что Галилей сам вставил четыре спутника Юпитера в свою трубку. Галилей кипел от гнева: «Когда я пожелал показать спутники Юпитера флорентийским профессорам, они отказывались видеть и их, и самый телескоп. Эти люди полагают, что в природе незачем искать истину, ибо эта истина отыскивается лишь при сравнении различных текстов»².

Полагаясь на собственные глаза, Галилей, Кеплер, Ньютон и другие вызвали Научную революцию, которая в эпоху Просвещения как раз и позволила ученым применить принцип эмпиризма не только к миру природы, но и к миру человека, к обществу. Так, великий политический философ Томас Гоббс считал себя Галилеем и Уильямом Харви общественных наук: «Галилей... стал первым, кто открыл нам врата универсальной натурфилософии, даровав нам знание природы движения... Науку о теле человеческого, наиболее ценную часть естественной науки, впервые открыл нам, с достойной восхищения прозорливостью, наш соотечественник доктор Харви... Следственно, натурфилософия еще довольно молода; однако философия общественная еще моложе, ибо она уж во всяком случае не старше... моего собственного сочинения “О гражданине”»³.

Со времен начала Научной революции и далее, на протяжении всей эпохи Просвещения, принцип эмпиризма медленно, но неуклонно и неизбежно вытеснял суеверия, предрассудки, догматизм, власть Церкви. Вместо божественной истины, основанной на авторитете какой-то древней священной книги или философского трактата, люди начали изучать книгу природы самостоятельно.

Вместо разглядывания иллюстраций в ботанических атласах с их разукрашенными буквицадами ученые все чаще

¹ Daniel J. Boorstin, *The Discoverers*. (New York: Random House, 1983), 315–316.

² W. T. Sedgwick & H. W. Tyler, *A Short History of Science* (New York: Macmillan, 1921), 222n.

³ Hobbes, *De Corpore*, предисловие к т. 1 (1655).

отправлялись на природу, чтобы увидеть, что же на самом деле происходит «в полевых условиях».

Вместо того чтобы полагаться на гравюры из старых медицинских книг, изображающие рассеченные тела, врачи вскрывали трупы сами, дабы собственными глазами увидеть, что находится внутри человека.

Вместо того чтобы сжигать ведьм после рассмотрения сновидческих доказательств, как предписывает «*Malleus maleficarum*» («Молот ведьм»), авторитетное пособие по охоте на злокозненных колдуний, юристы начали рассматривать более надежные формы доказательств перед тем, как обвинять кого-нибудь в преступлении.

Вместо того чтобы подчиняться горстке элиты, сосредоточившей в своих руках политическую власть путем поддержания в народе неграмотности и невежества, люди учились видеть своими глазами — посредством науки, литературы и образования, — ту власть и ту коррупцию, что мешали им поднять голову, а увидев, сбрасывали цепи и добивались своих прав.

Вместо божественного права королей люди потребовали естественного демократического права. Демократические выборы явились в этом смысле социальным экспериментом. Каждые несколько лет, устраивая выборы, вы осторожно меняете переменные и наблюдаете результат. Многие из отцов-основателей США были учеными, которые намеренно применили метод сбора данных, проверки гипотез и формирования теорий к процессу построения государства. Понимание преходящести вещей привело их к созданию социальной системы, где эмпиризм стал краеугольным камнем действующей политики. Новое правительство походило на научную лабораторию. Оно проводило серию экспериментов — год за годом, штат за штатом. Главной целью было не насаждать ту или иную политическую систему, а учредить систему, где люди могли бы сами экспериментировать, чтобы понять, что в ней работает, а что — нет. Так принцип эмпиризма нашел применение в социальном мире.

В 1804 году Томас Джефферсон писал Джону Тайлеру: «Не может быть более захватывающего опыта, нежели тот, который мы пытаемся проводить ныне и который, как мы убеждены, приведет к утверждению того, что человеком должны править разум и истина».

МЫ — ЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ

КЕВИН КЕЛЛИ

Колумнист *Wired*; автор книги *What Technology Wants*
(«Чего хочет технология»)

Откуда мы взялись? Мне представляется глубоким, изящным и красивым объяснение, согласно которому мы все когда-то зародились в звездах. Это объяснение гласит: основная часть атомов нашего тела состоит из более мелких частиц, некогда созданных в жаровнях звезд. Эти светила давно погасли. Лишь фрагменты нашего первичного водорода родились прежде звезд. По космическому счету, мы на 90% являем собой останки звезд. По сути, люди — побочный продукт термоядерного синтеза. Колоссальные давления и температуры в этих гигантских небесных печах сгущали сталкивающиеся облака крошечных элементарных частиц, порождая более тяжелые частицы, которые после ядерного синтеза выбрасывались в пространство, когда печь погибала. Самые тяжелые атомы, находящиеся у нас в костях, могли потребовать более одного цикла пребывания в звездных печах, иначе бы эти атомы не набрали вес. Бесчисленные количества выстроенных таким же путем атомов некогда слиплись в планету, и странный неравновесный феномен под названием «жизнь» объединил часть их в наши с вами смертные формы. Все мы — собранная вместе звездная пыль. И, благодаря самой изящной и замечательной трансформации, это наше звездное вещество способно смотреть в ночное небо, любуясь тем, как сияют другие звезды. Они кажутся очень далекими, однако на самом-то деле они к нам очень близки, и неважно, сколько световых лет нас разделяет. Все, что мы видим в других, рождено в звездах. Прекрасно, не правда ли?

СОДЕРЖАНИЕ

Благодарности	5
Предисловие	6
<i>С. Блэкмор.</i> Эволюция путем естественного отбора	9
<i>М. Ридли.</i> Жизнь — это дискретный код	11
<i>Р. Докинз.</i> Снижение избыточности и распознавание образов	13
<i>С. Этран.</i> Сила абсурда	17
<i>К. Ровелли.</i> Как может возникнуть кажущаяся завершенность	21
<i>О. Грей.</i> Просроченная кончина моногамии	23
<i>Л. Саскинд.</i> Объяснение второго начала термодинамики Больцманом	27
<i>Дж. Голд.</i> Темная материя сознания	30
<i>А. Элда.</i> «И в небе, и в земле сокрыто больше, чем снится вашей мудрости...»	32
<i>Дж. О’Доннелл.</i> Вселенная Птолемея	33
<i>П. Стейнхардт.</i> Квазиэлегантность	35
<i>Ф. Вильчек.</i> Простота	38
<i>Т. Метцингер.</i> Простота сама по себе	41
<i>Ш. Кэрролл.</i> Объяснение Эйнштейна, почему гравитация универсальна	43
<i>С. Пинкер.</i> Эволюционная генетика и противоречия общественной жизни	45
<i>Д. Готтчелл.</i> Гипотеза Фаури–Раймонда	49
<i>Д. Майерс.</i> Групповая поляризация	53
<i>А. Леруа.</i> Уравнение Прайса	55
<i>Г. Гигеренцер.</i> Бессознательные умозаключения	58
<i>М. Рис.</i> Снежинки и множественная вселенная	61
<i>А. Цайлингер.</i> Фотоны Эйнштейна	63
<i>Д. Бернштейн.</i> О малом	66

<i>А. Линде.</i> Почему наш мир познаваем?	67
<i>Д. Дайсон.</i> Космос Альфвена	71
<i>М. Тегмарк.</i> Наша Вселенная растет, как ребенок	72
<i>Д. Сегре.</i> Кеплер и др. и несуществующая проблема	76
<i>Ф. Дайсон.</i> Как могут сосуществовать несовместимые мировоззрения	78
<i>С. Дас.</i> Невероятная неопределенность.	80
<i>Х. Харари.</i> Новый уровень фундаментальной материи?	83
<i>Р. Провайн.</i> Наблюдатели наблюдают	86
<i>В. Рамачандран.</i> Гены, клауструм и сознание	88
<i>Д. Иглмен.</i> Перекрывающиеся решения	92
<i>М. Банаджи.</i> Наша ограниченная рациональность	95
<i>Р. Саполски.</i> Роевой интеллект	97
<i>К. Девлин.</i> Язык и естественный отбор.	100
<i>Р. Галер.</i> Обязательство	103
<i>Дж. Джекет.</i> Ты — мне, я — тебе	105
<i>Дж. Харрис.</i> Правда или ложь: красота — это правда	107
<i>Д. Спербер.</i> Эратосфен и модулярная психика	109
<i>К. Ширки.</i> Объяснение культуры Дэна Спербера.	112
<i>Н. Хамфри.</i> Почему человеческому разуму можно дать элегантное объяснение, даже если его не существует	116
<i>К. Хэнд.</i> О безопасности океанов и аэропортов.	119
<i>П. Саффо.</i> Тектоника плит элегантно обосновывает дрейф материков	121
<i>Д. Деннетт.</i> Почему некоторые морские черепахи мигрируют	123
<i>К. Циммер.</i> Горячая молодая Земля: бесспорно красиво и совершенно неверно	125
<i>Д. Басс.</i> Теория сексуальных конфликтов	128
<i>Д. Пизарро.</i> Истоки исторического превосходства.	130
<i>Х. Гарднер.</i> Роль личности в истории	131
<i>А. Крейе.</i> Субъективная среда.	133
<i>Р. Буссо.</i> Мое любимое неприятное элегантное объяснение: квантовая теория	135
<i>Э. Вайнштейн.</i> Месть Эйнштейна: новый геометрический квант.	138

<i>Д. УИНТЕР.</i> Который час?	141
<i>Т. ЛОМБРОЗО.</i> Реализм и другие метафизические полууправды	142
<i>С. САММЕР.</i> На помощь!	145
<i>Х. КРОНИН.</i> В начале была теория	150
<i>П. БЛУМ.</i> Томпсон о развитии	154
<i>Дж. МАКУОРТЕР.</i> Как пройти путь от омара до кота?	156
<i>Г. КОХРЕЙН.</i> Микробы — причина болезней	159
<i>Э. ЛИ.</i> Информация — преодоление неопределенности	161
<i>П. МАЙЕРС.</i> Всё таково, потому что так сложилось	165
<i>Д. КРИСТИАН.</i> Идея о возникновении	167
<i>Д. САССЕЛОВ.</i> Системы отсчета	170
<i>Э. ФИШЕР.</i> Эпигенетика — недостающее звено	172
<i>Дж. НОУТОН.</i> Как птицы собираются в стаю	177
<i>Б. СМИТ.</i> Лимоны — штука быстрая	178
<i>Дж. ТУБИ.</i> Падение в нужное место: энтропия и отчаянная изобретательность жизни	181
<i>П. АТКИНС.</i> Почему всё происходит	186
<i>Э. ДАНН.</i> Почему мы опасаемся, что нам не хватит времени	188
<i>Б. КОСКО.</i> Почему Солнце до сих пор светит	191
<i>Ч. СИМОНИЙ.</i> Межатомные взаимодействия по Бошковичу	193
<i>Г. ПОЛ.</i> Птицы — прямые потомки динозавров	196
<i>Б. ХУД.</i> Сложность из простоты	199
<i>Э. ГРЕЙЛИНГ.</i> Расселова теория описаний	201
<i>Т. ХАННЕЙ.</i> Фейнмановский спасатель	203
<i>Б. ИНО.</i> Границы интуиции	206
<i>Л. РЭНДАЛЛ.</i> Механизм Хиггса	208
<i>С. ШНОЛЛ.</i> Сознание мыслит воплощенными метафорами	211
<i>Б. БЕРГЕН.</i> Метафоры содержатся в сознании	215
<i>Дж. КЛЕЙНБЕРГ.</i> Принцип голубей и ящиков	219
<i>Ч. СЕЙФЕ.</i> Еще кое-что о принципе голубей и ящиков	223
<i>М. ХЁРСТ.</i> Почему в программах встречаются баги	226
<i>Х.-У. ОБРИСТ.</i> Узоры в честь Кейджа	228

<i>С. ЛЛОЙД</i> . Истинная вращательная симметрия пространства	231
<i>Р. БРУКС</i> . Закон Мура	234
<i>Дж. МАЗЕР</i> . Космическая сложность	236
<i>С. СЭМПСОН</i> . Гипотеза Геи	240
<i>Л. СМИТ</i> . Уравнения непрерывности	244
<i>Т. О'РЕЙЛИ</i> . Пари Паскаля	248
<i>С. РАЗА</i> . Эволюционно стабильные стратегии	251
<i>Е. МОРОЗОВ</i> . Дилемма Коллинриджа	254
<i>Б. ПАРКЕР</i> . Всё так, как оно есть, и всё?	255
<i>П. БЕЙТСОН</i> . Подрывая основы биологии	259
<i>С. БАРОН-КОЭН</i> . Ткнуть пальцем в гендерные различия	262
<i>Э. СМИТ</i> . Почему движутся движущиеся картинки?	266
<i>А.-Л. БАРАБАШИ</i> . Сочетается ли это с голубым сыром, как по-вашему?	270
<i>С. ПИММ</i> . Законы Матери-Природы	274
<i>К. САБАХ</i> . Пирамида Окло	278
<i>А. АЛТЕР</i> . Китти Дженовезе и групповая апатия	281
<i>Дж. СМОЛБЕРГ</i> . Волшебник по имени Я	283
<i>А. АНДЕРСОН</i> . Глубокое время	285
<i>Э. КЭНДЕЛ</i> . Как подвести научную базу под психотерапию: пять простых уроков	287
III. ТЁРКЛ . Переходные объекты	291
<i>Р. НЕССЕ</i> . Естественный отбор — вещь простая, но системы, которые он формирует, невообразимо сложны	294
<i>М. КИНСБУРН</i> . Откуда берутся хорошие идеи	298
<i>Н. КРИСТАКИС</i> . Детский вопрос	300
<i>Ф. КЭМПБЕЛЛ</i> . Красота восхода	303
<i>Д. ЭВАНС</i> . Происхождение денег	307
<i>Д. РУШКОФФ</i> . Прецессия симулякров	310
<i>Ф. ЗИМБАРДО</i> . Теория перспективы времени	313
<i>Э. ГОУПНИК</i> . Тяготы переходного возраста объясняются временными особенностями развития	316
<i>С. КОСЛИН, Р. РОЗЕНБЕРГ</i> . Великое открытие Ивана Павлова и его следствия	320
<i>Т. СЕЙНОВСКИ</i> . Природа умнее нас	324

<i>М. НОРТОН.</i> Насаждая случайность	328
<i>Л. КРАУСС.</i> Объединение электричества и магнетизма	330
<i>Н. ГЕРШЕНФЕЛЬД.</i> Пушистые резиновые ленты	333
<i>Л. СМОЛИН.</i> Принцип инерции	335
<i>Э. ТОПОЛ.</i> Видеть — значит верить: от плацебо до фильмов в нашем мозгу	339
<i>Дж. ХОЛТОН.</i> Прерывистость науки и культуры	341
<i>Н. ТАЛЕВ.</i> Гормезис — это избыточность	343
<i>Р. КУРЗБАН.</i> Прекрасный закон непредвиденных последствий	347
<i>Т. УИЛСОН.</i> Мы — то, что мы делаем	351
<i>С. БАРОНДЕС.</i> Личностные различия: важность фактора случайности	353
<i>Б. ГОЛОМБ.</i> Метаболический синдром: клеточная энергетика адаптируется к жизни в токсичном мире?	356
<i>Д. ГЕЛЕРНТЕР.</i> Счетные бесконечные множества и состояния сознания	362
<i>Р. РЮКЕР.</i> Обратные степенные законы	364
<i>С. ЭВБСМАН.</i> Откуда у леопарда пятна	367
<i>С. ДЕХАН.</i> Универсальный алгоритм принятия человеком решений	369
<i>М. ЧИКСЕНТМИХАЙИ.</i> Об одном изречении лорда Актона . . .	373
<i>В. СТОДДЕН.</i> Факт и выдумка в нашем вероятностном мире	374
<i>Г. ОРИГГИ.</i> Универсальная машина Тьюринга	378
<i>Р. ФОРМАН.</i> Вопрос поэтики	380
<i>Дж. ДАЙМОНД.</i> Происхождение биологического электричества	382
<i>Т. ТЕЙЛОР.</i> Почему древние греки изображали красные фигурки на черных горшках	385
<i>Э. КЛАРК.</i> Язык как адаптивная система	388
<i>Н. КАРР.</i> Механизм посредственности	390
<i>М. ШЕРМЕР.</i> Принцип эмпиризма, или Смотрите сами	392
<i>К. КЕЛЛИ.</i> Мы — звездная пыль	395

Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программы Adobe Reader версии не ниже 11-й для платформ Windows, Mac OS, Android, iOS, Windows Phone и BlackBerry; экран 10"

Научно-популярное электронное издание

Серия: «Universum»

ТЕОРИИ ВСЕГО НА СВЕТЕ

Ведущий редактор *И. В. Опимах*

Художник *В. Е. Шкерин*

Корректор *Е. Н. Клитина*

Компьютерная верстка: *С. А. Янковая, Е. Г. Ивлева*

Подписано к использованию 17.11.15.

Формат 125×200 мм

Подготовлено при участии

ООО «Лаборатория Базовых Знаний»
129110, Москва, ул. Гиляровского, д. 54, стр. 1

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>