

Почему мы существуем

*История Вселенной от Большого взрыва до
человеческого сознания*

Тим Кулсон

*«Задумайтесь о чуде самого существования — и
радуйтесь тому, что способны его осознавать.
Думаю, я вправе сказать вам это, потому что,
записывая сейчас эти слова, сам делаю то же
самое».*

— Тед Чан, «Выдох»

ВВЕДЕНИЕ

Если бы я мог стать богом, никаких эффектных чудес я бы не устраивал. Зато создал бы множество вселенных — столько, чтобы учёный вроде меня мог провести эксперимент, о котором мечтаю я и, уверен, многие другие. Я в точности воссоздал бы условия, существовавшие в самый первый миг рождения нашей Вселенной, запустил время вперёд и посмотрел, сколько из этих вселенных в конце концов превратятся в место, где появятся такие существа, как вы и я.

Я позаботился бы о том, чтобы начальные условия во всех моих вселенных были совершенно одинаковыми. Спустя 13,77 миллиарда лет — столько лет нашей собственной Вселенной — я отправился бы туда, где в каждом экспериментальном варианте должна находиться Солнечная система. Если бы она действительно была на месте, я стал бы искать Землю, а затем — вас и меня. Оказались бы мы там каждый раз, именно такими, как сегодня? Или возникли бы лишь в нескольких вселенных? А может, ни в одной? Иногда вместо нас там могли бы появляться маленькие зелёные инопланетяне с огромными ушами и без носов. В некоторых вселенных, возможно, не было бы вообще ни нашего Солнца, ни Земли. Или Земля оказалась бы безжизненной, лишённой Луны, растений и животных, вращаясь слишком далеко от Солнца, чтобы жизнь могла на ней расцвести. В одних вселенных жизнь могла бы быть повсюду, в других — встречаться редко, а где-то отсутствовать вовсе. Насколько нам известно, во всей нашей Вселенной жизнь существует только на одной планете — хотя исследовали мы пока ничтожную её часть.

Такой эксперимент показал бы, была ли история нашей Вселенной predetermined в момент её рождения или каждое новое «проигрывание» даёт иной результат. Если бы при каждом запуске в конце концов появлялись вы и я, учёные назвали бы

Вселенную детерминистической. При достаточном усердии и колоссальной вычислительной мощности мы могли бы в совершенстве предсказывать будущее любой вселенной — от рождения до самого конца. Некоторые физики считают, что именно это и произошло бы, будь мой эксперимент возможен. Они полагают, что однажды физика докажет: вещи, которые сегодня кажутся нам случайными, включая поведение мельчайших частиц, на самом деле полностью предопределены. Но если бы каждый раз результат оказывался другим — а именно так считают большинство биологов и многие другие учёные, — это означало бы, что в развитии нашей Вселенной огромную роль сыграла случайность. Одно-единственное случайное различие в истории каждой вселенной могло бы привести к совершенно разным итогам. Возможно, если бы астероид, уничтоживший динозавров, пролетел мимо Земли, люди вообще никогда бы не появились, а книгу вроде этой сегодня писал бы какой-нибудь разумный динозавр.

Вселенные, в которых случайные события не позволяют точно предсказывать будущее, учёные называют стохастическими. Если случай действительно сыграл роль в истории нашей Вселенной и в нашем собственном появлении, мы никогда не сможем предсказать будущее с абсолютной точностью. Но это вовсе не означает, что оно совершенно непредсказуемо. Представьте, что мы наблюдаем тысячу вселенных в моём эксперименте. Допустим, разумная жизнь возникла бы в 531 из них и не возникла бы в 469. Если бы в Букмекерской конторе у Истоков Времени можно было сделать ставку на появление разумной жизни, ваши шансы выиграть оказались бы чуть выше пятидесяти процентов. При коэффициенте немного меньше двух к одному, если разумная жизнь всё-таки появится, вы получите примерно вдвое больше поставленной суммы.

К сожалению, я не бог, и мы пока не умеем проводить подобные мысленные эксперименты в реальности, чтобы выяснить, детерминистична наша Вселенная или стохастична. Создавать

новые вселенные по своему желанию и наблюдать за их развитием — это пока далеко за пределами наших технических возможностей. Поэтому, чтобы ответить на вопрос, были ли мы с вами неизбежны уже в момент рождения Вселенной или нам просто невероятно повезло, придётся воспользоваться другим методом — наукой, которую мы действительно способны делать. Эта книга рассказывает две истории одновременно. Первая — история Вселенной от её рождения до появления вас и меня. Вторая — история всего того, что должно было произойти, чтобы вы и я вообще смогли существовать. Это эпос длиной 13,77 миллиарда лет. В нём есть невообразимое насилие, смерть и огромное количество секса, и хотя временами он напоминает трагедию, в конечном счёте это история успеха. Сыщики, которые годами по крупицам восстанавливали ответ на вопрос, почему мы с вами живы — и осознаём это, — были изобретательнее и хитроумнее, чем мисс Марпл, Шерлок Холмс, Нэнси Дрю и Эркюль Пуаро вместе взятые. Среди них Альберт Эйнштейн, Мария Кюри, Исаак Ньютон, Розалинд Франклин, Чарльз Дарвин и тысячи других людей, чьих имён вы, скорее всего, никогда не слышали. Эта история всё ещё пишется, и сюжет продолжает меняться по мере того, как блестящие умы разгадывают всё новые части загадки: почему я — это я, а вы — это вы. Но даже в незавершённом виде эта история настолько поразительна, что знать её должен каждый.

Меня поражает и одновременно смиряет то, сколько учёным удалось восстановить в истории от Большого взрыва до появления вас и меня. Ещё сильнее это ощущается от мысли, что я сам зарабатываю на жизнь наукой — провожу исследования, которые позволяют добавить к этой истории несколько крошечных новых кусочков, дополняя удивительные открытия, сделанные бесчисленными учёными до меня. Эта история настолько впечатлила меня, что я решил рассказать её так, чтобы она была понятна не только учёным, но вообще каждому. Мне хочется сделать это потому, что я встречал слишком много людей, которые

почти ничего не знают о невероятном прогрессе науки и именно поэтому относятся к ней с недоверием. Наука может казаться трудной и пугающей. Её язык часто технический, а идеи непросто ухватить. Я сам люблю читать работы о химии морских гидротермальных источников или математических моделях первых микросекунд существования Вселенной, но даже после тридцати лет профессиональной работы биологом мне регулярно приходится заглядывать в словарь. В этой книге я хочу объяснять всё такими словами, которые читателю не придётся искать.

Человек устроен с головокружительной сложностью. Если бы вас или меня разобрали на части, сортируя каждый тип составляющих в отдельную кучку, то более 30 триллионов клеток — строительных блоков всей жизни, — из которых состоит ваше тело, образовали бы примерно 220 кучек. В одной были бы эритроциты, в другой — нервные клетки, в третьей — клетки кожи и так далее. Тридцать триллионов — огромное число, первое из множества огромных чисел, которые встретятся нам в этой книге. Такие величины почти невозможно представить, но стоит хотя бы попытаться. Тридцать триллионов секунд — это примерно 950 тысяч лет, или 9500 столетий. Вообразить такой отрезок времени нелегко. Одну секунду мы понимаем без труда, но представить 950 тысяч лет как последовательность секунд практически невозможно. И всё же 30 триллионов — сравнительно небольшое число, если начать разбирать каждую клетку на составляющие её молекулы. В среднем в каждой из ваших 30 триллионов клеток содержится более 40 миллионов белковых молекул, необходимых для поддержания жизни. Тридцать триллионов, умноженные на сорок миллионов, — это 1,2 секстиллиона, единица с двадцатью нулями. И даже при этом белки по сравнению с другими типами молекул внутри клеток довольно редки. Самая распространённая молекула вашего тела — вода: около 99 процентов всех молекул и примерно 60 процентов массы тела приходится на H_2O . Число молекул становится ещё грандиознее, если считать не только

белки. Если разобрать каждую клетку до молекул и снова рассортировать их по кучкам, получится более 30 тысяч отдельных куч. В каких-то будут невероятные количества молекул, в других — совсем немного. Например, в вашем организме всего около 0,003 грамма кобальта, но без него вы не сможете оставаться здоровыми. Большая часть атомов кобальта входит в молекулы витамина B12, дефицит которого может приводить к неврологическим нарушениям, болям в суставах, ухудшению зрения и даже депрессии.

Можно продолжить эту мысленную сортировку, разобрав молекулы на составляющие их атомы и создав новый набор кучек. Теперь их будет около шестидесяти. Одна — с атомами углерода, другая — с железом, третья — с кислородом и так далее. Затем каждый атом можно разобрать на составные части и снова разложить их по кучкам: получится куча протонов, куча нейтронов и куча электронов — основных строительных блоков атома. Потом протоны и нейтроны можно разобрать на так называемые верхние и нижние кварки, но эти странные создания, как и электроны, дальше уже не делятся. В самом начале истории Вселенной все эти частицы возникли из энергии, поэтому последним шагом могло бы стать превращение кучек фундаментальных частиц обратно в энергию. И тогда перед нами осталось бы огромное количество энергии — той самой, из которой в конечном счёте возникло всё, включая нас. Вселенная началась с микроскопической точки невероятно концентрированной энергии. Как же из неё получилось то, что сегодня называем вами и мной? Я расскажу обо всех необходимых ступенях. Если совсем кратко и без лишних спойлеров, часть энергии превратилась в кварки и электроны. Взаимодействуя, кварки образовали более сложные частицы — протоны и нейтроны, те в свою очередь создали ещё более сложные структуры — атомные ядра. Ядра соединились с электронами и образовали атомы, а атомы начали объединяться в молекулы. Во Вселенной существует огромное множество типов

молекул — гораздо больше тех примерно 30 тысяч, из которых состоите вы. При определённых условиях эти молекулы способны образовывать планеты, клетки и живые организмы. Разные виды этих организмов взаимодействуют между собой множеством способов, и в течение миллиардов лет эти взаимодействия приводили к тому, что некоторые живые существа становились всё сложнее и сложнее, пока в конце концов не появились люди.

Учёные раскрывают устройство Вселенной при помощи наблюдений и экспериментов. Хорошо поставленный эксперимент — один из лучших способов проверить идею или гипотезу и узнать что-то новое. Многие боятся науки, но на самом деле в глубине души мы все экспериментаторы. Не верите? Объясню. Если перед вами возникает практическая проблема, вы, скорее всего, пробуете несколько разных решений, пока не найдёте то, что работает. Нужно заставить ребёнка убрать комнату. Подкупить? Приказать строгим голосом? Лишить карманных денег, пока не наведёт порядок? Или самому показать пример? С моими детьми ни один из этих методов не сработал, зато метод проб и ошибок оказался гораздо успешнее на кухне. Меняя количество ингредиентов, температуру духовки и время приготовления, я научился готовить идеальную британскую закуску — яйцо по-шотландски.

Учёные экспериментируют примерно так же, как я на кухне. Они меняют условия в лаборатории и смотрят, как это влияет на результат. Только итогом научного эксперимента становится не убранная детская или вкусный ужин, а новое понимание того, как работает физический, химический или биологический мир. Некоторые эксперименты учёных поистине грандиозны. Самая большая машина в мире называется Большим адронным коллайдером, или БАК. Она находится в Европейской организации по ядерным исследованиям — CERN, и представляет собой кольцевой тоннель длиной 27 километров под территорией Швейцарии. Огромные электромагниты внутри тоннеля

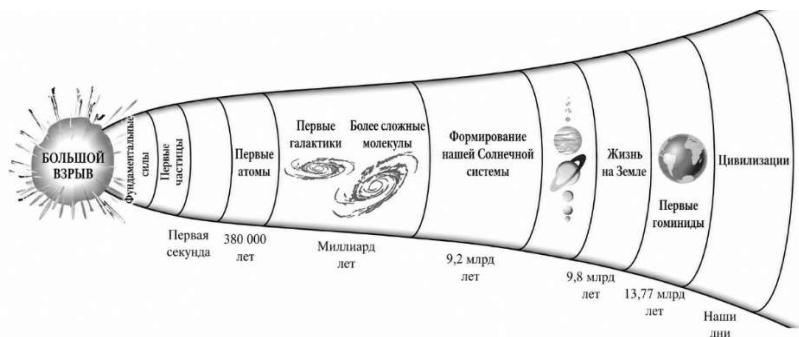
разгоняют частицы почти до скорости света — предельной скорости во Вселенной, — а затем сталкивают их друг с другом. Гигантские детекторы в подземных залах размером с соборы фиксируют результаты этих столкновений. Анализ собранных данных позволил обнаружить субатомные частицы, из которых построена Вселенная, и эти открытия заставили некоторых физиков заявить, что мы приближаемся к созданию «теории всего» — теории, способной описать все взаимодействия всех частиц нашей Вселенной. Теории всего у нас пока нет, но физики, химики, биологи, математики, историки, археологи и исследователи множества других специальностей добились потрясающего прогресса.

Эти любознательные и талантливые исследователи установили, что для появления вас и меня должно было произойти множество ключевых событий. Они продвигались к пониманию этих событий, задавая тщательно продуманные вопросы о том, почему всё произошло именно так. Мы знаем, что жизнь во Вселенной существует, — достаточно посмотреть в зеркало. Но могла ли она появиться, если бы гравитация была совсем немного слабее? Или если бы лёд тонул в воде, а не плавал на поверхности? Считается, что вулканы сыграли важнейшую роль в возникновении жизни, а Земля необычайно вулканически активна по сравнению с другими изученными каменистыми планетами. Возможно, для жизни были необходимы и приливы — а за них мы должны благодарить Луну. Геологи полагают, что Луна появилась, когда планета под названием Тейя столкнулась с молодой Землёй. Если бы Тейя пролетела мимо, у нас не было бы Луны — а возможно, и жизни. А что, если бы 300 миллионов лет назад, в каменноугольный период, не образовался уголь? Научились бы мы использовать солнечный свет и ветер для технологического развития? Смогли бы избежать антропогенного изменения климата? Наше технологическое превосходство почти наверняка зависит от мёртвых растений возрастом около 300 миллионов лет,

из которых образовался уголь. Значит ли это, что уголь должен появляться на любой планете, где возникает технологически развитая цивилизация? И если да, насколько часто такое происходит? По мере того как мы находим ответы на одни вопросы, перед нами открываются новые — например, насколько вообще распространена жизнь во Вселенной: цивилизации вроде нашей встречаются повсюду или мы уникальны?

История научных открытий, благодаря которым мы смогли заглянуть в первые 13,77 миллиарда лет истории Вселенной, полна упорства, удивительных и порой совершенно неожиданных находок. Было множество научных тупиков, когда красивые идеи оказывались неверными, но были и моменты настоящего «эврики!», когда странные наблюдения вдруг складывались в понятную картину. Многие из этих прорывов породили технологии, без которых невозможно представить современный мир. GPS, солнечные батареи, атомная энергетика, высокие урожаи, современная медицина и смартфоны существуют только благодаря знаниям, с огромным трудом добытым учёными. Несколько исследователей стали знаменитостями, ещё несколько разбогатели на своих открытиях, но подавляющее большинство научных достижений принадлежит преданным своему делу людям, которых двигало не желание славы и богатства, а стремление решить проблему и понять какую-то часть Вселенной. Человечество обязано огромной благодарностью бесчисленным исследователям, посвятившим всю карьеру изучению природы и истории нашей Вселенной. В этой книге я почти не рассказываю, как именно учёные открывали то, о чём пойдёт речь, не потому, что эти истории неинтересны, а потому, что хочу сосредоточиться прежде всего на том, **что мы знаем**. Если бы я попытался подробно рассказать ещё и о том, **как мы это узнали**, книга получилась бы намного длиннее.

ВСЕЛЕННАЯ ЧЕРЕЗ ГОРНИЛО ВРЕМЕНИ



Описать 13,77 миллиарда лет истории в одной небольшой книге — значит неизбежно решать, что включить, а что оставить за скобками. Я сосредоточился на ключевых событиях, без которых не появились бы ни вы, ни я. Сначала должна была возникнуть Вселенная, а вместе с ней — четыре фундаментальные силы: гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия. Причём силы эти должны были обладать именно такими величинами, какие они имеют. Затем должны были появиться кварки и электроны; кварки — объединиться в протоны и нейтроны, а те, в свою очередь, вместе с электронами — образовать атомы водорода и гелия. Первые звёзды должны были возникнуть, чтобы создать более тяжёлые элементы, такие как углерод и кислород, а затем эти элементы должны были вступить во взаимодействие и породить огромное разнообразие молекул. Должны были сформироваться Млечный Путь, звёздные системы и, в частности, Солнце и Земля; условия на нашей планете должны были оказаться достаточно подходящими, чтобы зародилась жизнь. Более того, они должны были оставаться в определённых пределах достаточно долго, чтобы жизнь могла распространяться и эволюционировать, в конце концов приведя к появлению сложных, обладающих сознанием животных — таких, как мы с вами. А затем множество событий должно было сформировать

наши личности. В этой книге я сначала расскажу о науке, стоящей за этими ключевыми событиями, а потом задамся вопросом: были ли они неизбежны — или нам просто невероятно повезло? Каждую из затронутых здесь тем можно было бы описывать гораздо подробнее: научные исследования, лежащие в основе идей каждой главы, способны заполнить целые библиотеки. Моя цель — не погружаться во все тонкости и текущие научные споры, а показать, какого поразительного прогресса исследователи добились в понимании самых разных сторон нашей Вселенной. Если вам захочется узнать больше, в приложении я привожу небольшой список научно-популярных книг, которые гораздо подробнее рассказывают о физике, химии, науках о Земле, эволюции и истории человечества. Возможно, вы спросите: а какова моя собственная подготовка и в чём моя компетенция? Если вы не занимаетесь исследованиями в области экологии или эволюции, то, скорее всего, никогда обо мне не слышали. Это моя первая попытка написать научно-популярную книгу, поэтому у меня нет длинного списка предыдущих работ, которые вы могли бы читать. Я профессор Оксфордского университета и в настоящее время являюсь одним из руководителей кафедры биологии. Я работаю учёным в исследовательских институтах и университетах уже более тридцати лет, и мои исследования посвящены тому, как устроен и функционирует живой мир. Когда я преподаю, то из всех сил стараюсь объяснять сложные идеи доступно, а публичные лекции и вовсе доставляют мне настоящее удовольствие.

Когда вскоре после нашего знакомства в 2013 году моя жена Соня рассказала близким подругам, что встречается с оксфордским профессором, те, как потом сами признались, решили, что я наверняка окажусь холодным, напыщенным и высокомерным. Не потому, что они лично знали других оксфордских профессоров, а потому, что у учёных — особенно работающих в ведущих университетах — не всегда самый располагающий общественный образ. Я был рад, что подругам Сони я понравился и не оправдал

их ожиданий. Да, мне встречались холодные, напыщенные и высокомерные профессора Оксфорда. Но мне встречались и юристы, бухгалтеры, и крупные промышленники с точно такими же качествами. Наука может казаться пугающе сложной, но учёные — самые обычные люди. Одни скромны, другие — не очень. Они тревожатся, ошибаются, бывают серьёзными или смешными. Я никогда не выбирал для себя роль оксфордского профессора — всё получилось в результате цепочки счастливых и незапланированных событий, о некоторых из которых я расскажу в этой книге, вплетая в повествование отдельные эпизоды собственной жизни. Я делаю это по нескольким причинам. Во-первых, мне хочется не только сделать науку понятной, но и показать человеческую сторону жизни учёного. Во-вторых, ближе к концу книги я буду говорить о том, как формируются наши личности. Поскольку часть этой главы посвящена событиям моей жизни, которые, возможно, повлияли на то, каким человеком я стал, вам нужно хотя бы немного знать, что я за человек. И наконец, в заключительной главе я поразмышляю о том, чему меня научила наука, и здесь небольшая часть моей собственной истории снова поможет рассказу.

Эта книга — часть личного пути, который начался более тридцати лет назад, когда мне было чуть за двадцать. В подростковом возрасте я совершенно не представлял, чем хочу заниматься в жизни, но подал документы на математический факультет одного британского университета и был принят. Я рассудил, что серьёзная математическая подготовка оставит мне широкий выбор профессий, и мне повезло: математика действительно мне нравилась.

До поступления в университет я год преподавал в сельской школе в Зимбабве. Однажды, гуляя по саванне, я остановился посмотреть на стадо антилоп — и вдруг подумал, что, возможно, биология подходит мне больше, чем карьера математика. Я сменил направление и в итоге стал изучать биологию в Йоркском

университете на севере Англии. За тот год преподавания я влюбился и в Зимбабве, и в людей, которых там встретил. Мне отчаянно хотелось вернуться в Африку, и возможность появилась, когда в конце второго курса нужно было выбирать тему студенческого исследовательского проекта. Оказалось, что проект можно придумать самому — если сумеешь убедить преподавателя стать твоим научным руководителем. Мне повезло: мне это удалось.

Один хорошо связанный родственник любезно устроил так, что я смог поехать в национальный заповедник Кора в Кении и пожить в полевом лагере Джорджа Адамсона — натуралиста старой школы, ставшего знаменитым после выхода книги и фильма *Рождённая свободной*, рассказывавших о некоторых эпизодах его жизни и жизни его жены Джой. Книгу написала именно Джой.

Мой проект состоял в сравнении поведения диких львят и львят, выращенных человеком. Их мать застрелили, и Джордж растил их с тем, чтобы впоследствии выпустить обратно в дикую природу. Я провёл в лагере несколько недель, наблюдая за поведением львов и записывая результаты, а затем моя тогдашняя девушка и ещё пара друзей прилетели в Кению, и мы автостопом отправились в Танзанию, потом в Малави, а уже оттуда улетели домой.

В Африке мне снова было великолепно, и я наслаждался каждой минутой, даже если мой исследовательский проект с научной точки зрения был довольно слаб. В детстве я мечтал вырасти и стать Тарзаном. В двадцать один год, работая со львами, я приблизился к этой мечте так близко, как только мог, — хотя, надо признать, Тарзан из меня получился не самый убедительный.

И всё же именно несколько африканских эпизодов направили меня на путь учёного. В какой-то момент во время путешествий после отъезда из Кении я заразился церебральной малярией, вызванной паразитом *Plasmodium falciparum*. Профилактические препараты я принимал, но к тем лекарствам, которые были у меня,

уже начинала развиваться устойчивость. Не помогло и то, что я перепутал таблетки для очистки воды с противомалярийными препаратами. Воду я пил непригодную, поэтому подхватил кишечную инфекцию. Во время болезни мой организм плохо усваивал противомалярийные средства, и в итоге я заболел.

Заодно выяснилось, почему каждый раз после таблеток, которые я принимал за средство от малярии, у меня болел живот: это был хлор из таблеток для очистки воды, который раздражал слизистую желудка. Церебральная малярия протекает приступами, которые повторяются каждые несколько дней. В Африке я уже чувствовал себя плохо, но не понимал почему. Через день после возвращения в Великобританию у меня начался бред, и меня срочно доставили в больницу Адденбрукс недалеко от дома моих родителей, под Кембриджем. Я мало что помню о том времени, но хорошо запомнил, как после постановки диагноза и начала лечения врач сказал мне: следующий приступ меня бы убил. К счастью, эта форма малярии излечима, и со временем я полностью поправился. Я понял, насколько мне повезло, что тяжёлый приступ случился уже после возвращения домой, а не где-нибудь у дороги, когда я ехал автостопом через Малави. Эта мысль отрезвляла.

До этого я никогда всерьёз не задумывался о собственной смертности, но встреча с малярией во многом определила дальнейшую жизнь. В последующие месяцы я начал размышлять о том, чего хочу добиться. Я думал о том, что хотел бы чувствовать, когда действительно окажусь на смертном одре. Если бы я умер от малярии, мне было бы обидно за то, как бездарно я потратил предыдущие годы. Я решил, что, когда смерть действительно придёт, мне хотелось бы в последний момент оглянуться на свою жизнь и подумать: она была интересной, весёлой — и я всё-таки чего-то добился. Примерно тогда же я решил, что не верю в Бога, и по-настоящему принял науку как способ открывать новое знание.

Я поставил себе цель: к концу жизни хорошо понимать, почему я вообще существую — и почему у меня сформировалась именно та

личность, которая однажды исчезнет. И именно в тот период я решил стать учёным. С тех пор я много лет размышляю о собственном существовании и исследую его. Многие учёные хотят изменить мир — например, уменьшить страдания людей или животных, повысить уровень жизни или противостоять таким угрозам человечеству, как изменение климата. Моя мотивация была более личной. Я просто хотел понять, почему существую и что должно было произойти, чтобы я вообще оказался здесь. Эти решения я принял более тридцати лет назад. А на то, чтобы действительно взяться за эту книгу, ушло столько времени потому, что вмешалась жизнь. Нужно было зарабатывать на жизнь. Я женился, обзавёлся семьёй, развёлся и снова женился. Моя жизнь, как и жизнь любого другого человека, бывала весёлой и печальной, лёгкой и тяжёлой, разочаровывающей и щедрой на награды. Но желание понять, почему я существую, осталось со мной до сих пор. Когда я увидел, какие замечательные книги о Вселенной написали Билл Брайсон и Дэвид Кристиан, мне пришло в голову, что, возможно, и я способен написать подобную книгу — только подойти к теме иначе, чем предыдущие авторы. У меня нет всех ответов на вопрос, почему мы существуем. Но я довольно хорошо понимаю, что должно было произойти, чтобы мы появились. И я также представляю себе, каким образом учёным удалось выяснить причины каждого из ключевых событий. Работая учёным, я постепенно понял и другое: довольно много людей не доверяют науке и стараются держаться от неё подальше. Наука действительно бывает сложной. Некоторые результаты противоречат интуиции. Да и в школе её далеко не всегда преподают так, чтобы она захватывала. Часть недоверия к науке возникает и потому, что технологический прогресс последних десятилетий поразителен, но далеко не всякая технология использовалась во благо человечества. Расщепление атома было выдающимся научным достижением, но оно открыло эпоху ядерного оружия, способного уничтожить человечество. Лазеры

можно применять в глазной хирургии — а можно использовать как оружие, прожигающее человеческую плоть. Беспилотники могут разбрасывать семена с воздуха, не вспахивая почву, а могут взрывать людей за сотни километров от операторов, которые ими управляют. Но сама наука не виновата в том, как её используют. Если научные знания применяют для причинения вреда или убийства, значит, кто-то сознательно выбрал такое применение. Точно так же, если они служат добру, это результат человеческого выбора. Наука — всего лишь способ устанавливать факты о мире. К её несомненным достижениям относится продление человеческой жизни благодаря искоренению, профилактике и лечению множества заболеваний, а также повышение продовольственной безопасности во многих частях мира. Сделали ли эти достижения людей счастливее — вопрос куда менее однозначный.

Технологии дают нам больше времени: облегчают повседневную жизнь и увеличивают число лет, которые мы можем прожить. Но они же способны порождать тревогу. Сможет ли искусственный интеллект написать подобную книгу раньше меня? Сделают ли будущие версии ChatGPT меня ненужным? Не знаю. Но если люди понимают науку, они могут участвовать в обсуждении того, как её следует применять. Чем больше я думал о том, почему мы существуем, тем яснее понимал: мне хочется ещё и защищать науку, объяснять её ценность. Наука труднее истории или философии, но именно она обеспечивает такой прогресс, какого не даёт ни одна другая область знания. Без науки и технологий мы сидели бы под открытым небом, полностью зависимые от погоды, спорили бы о причинах происходящего и гадали, вызваны ли землетрясения тем, что мы прогневали могущественного духа предков, или это предзнаменование будущих бед. Сегодня благодаря науке мы знаем: землетрясения происходят потому, что огромные плиты горных пород, образующие поверхность нашей планеты, движутся относительно друг друга. Наука удивительна. Именно благодаря ей мы довольно хорошо понимаем, как

возникли. Но применение научных знаний за последние десятилетия одновременно привело к тому, что мы радикально изменили мир. Следующая глава посвящена тому, как работает наука и каким образом мы устанавливаем факты. Без научного метода мы не знали бы ничего о том, как устроена Вселенная и как она стала такой, какой мы её видим. И, пожалуй, создание научного метода — величайшее достижение человечества.

Научный метод

Фалес Милетский вполне может претендовать на звание первого учёного в истории. Он был также первым из семи мудрецов Древней Греции — людей, прославившихся достижениями в философии, праве и политике и пользовавшихся огромным уважением за свою мудрость и знания. Фалес жил 2600 лет назад в городе Милете, с которым и связано его имя, и, если хотя бы часть рассказов о нём правдива, прожил поистине необыкновенную жизнь и был настоящей знаменитостью своего времени.

Восстановить биографию Фалеса Милетского непросто, потому что многие приписываемые ему достижения были записаны лишь спустя десятилетия после его смерти. Свидетельств, относящихся непосредственно к его эпохе, сохранилось мало, а тексты, написанные самим Фалесом, историкам обнаружить не удалось. И всё же древнегреческие авторы, в том числе Геродот и Евдем, относились к нему с огромным уважением и приписывали ему целый ряд выдающихся достижений: измерение диаметров Солнца и Луны, определение продолжительности года в 365 дней, усовершенствование морской навигации с помощью звёзд, предсказание солнечных затмений, установление дат летнего и зимнего солнцестояний, изменение русла реки Галис, чтобы армия могла её перейти, создание множества математических теорем, изобретение торговли фьючерсами и вывод о том, что Земля имеет шарообразную форму. Одни из этих достижений подтверждены лучше, другие хуже, но во всех рассказах о Фалесе проходит одна и та же мысль: он пытался понять мир с помощью гипотез, которые можно было проверить.

Учёные — от Фалеса Милетского до наших современников — стремятся устанавливать факты о мире. Делают они это с помощью того, что называется **научным методом**. В нём нет ничего особенно сложного, но сила его огромна. Именно благодаря ему

были установлены все факты, о которых рассказывается в этой книге.

Наука пытается объяснить, почему мы наблюдаем то или иное явление, а затем предсказать, что произойдёт в будущем. Самые простые наблюдения связаны с вещами, которые происходят всегда. Например, если подпрыгнуть, мы снова падаем на Землю. Мы никогда не взмываем после прыжка в открытый космос — за это можно поблагодарить гравитацию. Она всегда тянет нас вниз. Но есть явления куда более капризные: иногда они происходят, а иногда нет. Оставленный лёд в одних случаях превращается в жидкую воду, а в других остаётся льдом. Если температура ниже точки замерзания — по крайней мере на уровне моря на Земле, — лёд остаётся льдом. Если выше, он тает. Наука стремится разобраться в подобных наблюдениях и определить условия, при которых происходит то или иное явление. Прыжок в воздух и таяние льда — сравнительно простые вещи, которые можно повторять бесконечно.

С редкими событиями работать гораздо труднее. Сам факт нашего существования и вопрос о том, были ли вы и я неизбежны с момента рождения Вселенной, изучать куда сложнее, потому что произошло это только один раз. И всё же учёные постепенно подбираются к ответу. Трудно исследовать и события далёкого прошлого. Чем дальше мы заглядываем назад во времени, тем меньше обычно остаётся информации. О современных знаменитостях мы знаем гораздо больше — порой намного больше, чем нам хотелось бы, — чем о выдающихся людях Древней Греции. Но всё-таки о жителях древнего Милета нам известно больше, чем о людях Чатал-Хююка — одного из древнейших крупных поселений мира, достигшего расцвета около девяти тысяч лет назад.

Чем дальше назад, тем знания скуднее. Ископаемая летопись, на которой во многом основано наше понимание истории жизни, редка и фрагментарна. Лишь ничтожная доля древних организмов

после смерти превратилась в окаменелости. На сегодняшний день палеонтологи обнаружили останки тридцати двух взрослых тираннозавров. *Tyrannosaurus rex* был огромным животным с массивными костями и зубами — то есть как раз теми частями тела, которые имеют наибольший шанс сохраниться в виде окаменелостей. Тридцать два экземпляра могут показаться немалым числом, и по сравнению с некоторыми видами это действительно много. Но эти гигантские хищники существовали на Земле около 2,5 миллиона лет, и, по оценкам палеонтологов, за это время могло жить примерно 2,5 миллиарда тираннозавров. Если бы у современных людей была такая же вероятность окаменеть, то из всего нынешнего человечества через 66 миллионов лет в виде ископаемых сохранились бы останки лишь примерно ста человек. Это означает, что шанс отдельного человека стать окаменелостью составляет около 0,00000128 процента.

Чтобы животное — или растение — стало окаменелостью, оно должно умереть при очень удачном сочетании обстоятельств. Если вы хотите максимально увеличить свои шансы, лучше всего быстро оказаться погребённым под осадочными породами после внезапного наводнения или под вулканическим пеплом, а затем пролежать нетронутым как минимум десять тысяч лет. И даже это ничего не гарантирует. Я, кстати, хотел бы стать окаменелостью — хотя мои дети утверждают, что я уже ею стал. Правда, предпочёл бы более спокойный конец, чем быть погребённым заживо наводнением или извержением вулкана. Мне хотелось бы стать окаменелостью потому, что тогда я смог бы помочь учёным будущего понять историю, которую мы создаём сегодня. Если какой-нибудь палеонтолог далёкого будущего обнаружит мою окаменелость, возможно, после смерти я окажусь человечеству полезнее, чем при жизни.

История организмов прошлого частично записана в отпечатках на камне, но такие следы редки и часто мало помогают восстановить отдельные части истории того, как появились вы и я.

И всё же, изучая ископаемые останки, палеонтологи смогли сделать поразительные открытия о прошлом жизни.

В этой главе я хочу разобраться в том, **как работает наука**. Научный метод включает несколько приёмов, позволяющих узнавать новое о Вселенной, в которой мы живём. Вопреки убеждению некоторых политиков-популистов и гуру социальных сетей, многократное повторение выдумки не превращает её в знание. Это очень древний и давно устаревший способ объяснять мир. До появления знаний, полученных научным методом, люди объясняли окружающие явления историями. Некоторые из этих историй великолепны, но очень часто они остаются всего лишь мифами.

Учитывая, сколько знаний дала человечеству наука, меня одновременно удивляет и огорчает, какую заметную роль мифы и создание новых мифов продолжают играть в современном обществе. Я встречал сторонников теорий заговора, уверенных, что британская королевская семья — это раса инопланетных ящеров, что Элвис жив и скрывается, что Дональд Трамп выиграл президентские выборы в США в 2020 году, что высадка на Луну была инсценировкой и что Киану Ривз бессмертен — а возможно, вообще вампир.

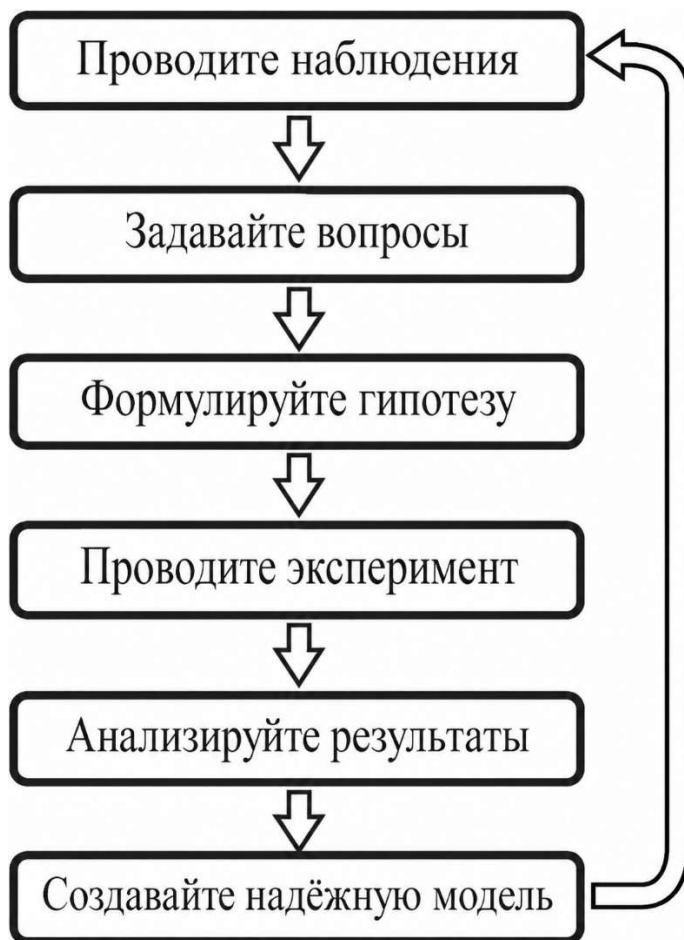
Некоторые из этих теорий настолько нелепы, что над ними можно посмеяться. Но когда человек в принципе отказывается от фактов в пользу ничем не подтверждённой чепухи, последствия могут быть опасными. Наука убедительно показала, что ни гомеопатия, ни «лечение на расстоянии» не работают и что имбирь не лечит рак. Тем не менее многие продолжают держаться за подобные заблуждения. Наука и медицина не способны вылечить все болезни. Но в лечении многих заболеваний они добились потрясающего прогресса. Отказаться от современной медицины потому, что какой-то незнакомый мистик утверждает, будто молится за вас где-нибудь в Тимбукту, — хороший способ сократить собственную жизнь. Доверяйте науке. Она собирает

доказательства, подтверждающие или опровергающие гипотезы, и объясняет то, что прежде было непонятно. Мифы и теории заговора не основаны на доказательствах. Наша цивилизация стала развитой благодаря науке, а не потому, что какие-то иллюминаты тайно дёргают за ниточки из-за кулис. И факты о том, почему вы вообще появились на свет, куда удивительнее любой мифологии или теории заговора. К тому же их можно проверить.

Научный метод начинается с наблюдения, которое нередко формулируют в виде вопроса. Наблюдение может касаться любой стороны природного мира — или мира, созданного человеком. Вопрос может быть совсем простым: «Почему это дерево растёт именно здесь?» или «Почему здесь растёт именно такой вид дерева, а не другой?»; «Почему я заболеваю?» и «Почему потом выздоравливаю?»; «Почему, подпрыгнув, я всегда возвращаюсь на землю?»; «Почему сегодня в Англии выпадает меньше снега, чем в молодости моих родителей?»

Наблюдение, лежащее в основе этой книги, звучит так: **мы с вами существуем**. А вопрос таков: **почему мы живы?** И наука уже очень далеко продвинулась в поисках ответа.

НАУЧНЫЙ МЕТОД



С раннего детства я задавал вопросы такого рода и, подозреваю, временами сводил родителей с ума. Когда они впервые привезли меня к морю — мне было года три или четыре, — я, как мне потом рассказывали, несколько минут молча смотрел на волны, а затем спросил, почему они поднимаются и опускаются. Родители у меня образованные, оба неплохо разбираются в науке, но очень скоро я стал задавать вопросы, на которые они уже не могли ответить.

Тогда мы начали брать научные книги в библиотеке. К подростковому возрасту родители оформили мне подписку на еженедельный научно-популярный журнал для молодых читателей. Я с нетерпением ждал каждого номера, читал от корки до корки, иногда рисовал графики или пытался записывать уравнения, чтобы лучше понять прочитанное.

Если бы в детстве за мной наблюдал психолог, он, вероятно, записал бы меня в странные ботаники. А если бы он изучал моих родителей, то заметил бы, что моя одержимость наукой в сочетании с не слишком блестящей учёбой временами серьёзно их тревожила. Школу я не любил. Не только потому, что большинство одноклассников считали меня чудаком — и, надо признать, гольф-брюки, остроносые кожаные туфли, плащ и зелёная фетровая шляпа, которые я носил значительную часть подростковых лет, делу не помогали. Главное было в другом: нас не учили понимать, как устроен мир. Нам просто выдавали списки фактов, которые следовало запомнить. Научный метод в школе мне никто не объяснял. Я изучил его сам — дома. После наблюдения следующим шагом научного метода становится гипотеза. Гипотеза — это правдоподобное объяснение наблюдаемого явления. Психолог, наблюдая за мной в детстве, мог бы предположить, что я генетически обречён стать научным ботаником. Но в начале 1980-х такую гипотезу было бы непросто проверить. Гипотеза полезна только тогда, когда её можно проверить новыми наблюдениями, экспериментами или и тем и другим. Непроверяемая гипотеза ничем не отличается от мифа или истории: она может звучать убедительно, но знание не может простирается дальше того, что мы способны наблюдать. Чтобы показать, как формулируется гипотеза, вернёмся к первому из моих вопросов: «Почему это дерево растёт именно здесь?» Я выбрал его по двум причинам. Во-первых, он понятен каждому, хотя, возможно, вы никогда не задавались им, глядя на дерево. Во-вторых, вскоре после начала работы над докторской диссертацией я примерно час сидел

посреди поля и смотрел на серебристую берёзу, размышляя ровно над этим вопросом. В итоге именно он определил тему моей диссертации: как животные вроде белок и оленей влияют на распределение деревьев в ландшафте?

Самый прямой ответ таков: в это место попало жизнеспособное семя определённого вида дерева, условия оказались подходящими для прорастания, молодой росток выжил, превратился в саженец, а затем вырос во взрослое дерево. Для этого ему нужно было не погибнуть от травоядных, не заразиться смертельной болезнью и одновременно получить достаточно воды, света и питательных веществ для роста. Ответ кажется очевидным. Но какие гипотезы нужно было сначала выдвинуть и проверить, чтобы мы вообще смогли это знать? Оказывается, довольно много.

Для начала нужно было предположить — а затем проверить, — что деревья вырастают из семян. Сегодня для нас это очевидно. Проверить гипотезу можно простым экспериментом: собрать семена нескольких видов деревьев, посадить их в известных местах и посмотреть, во что они превратятся. Сейчас такая гипотеза кажется почти смешной. Но ещё в середине XIX века многие верили в самозарождение — в то, что живые существа могут возникать из неживой материи, например из камня или воды. Люди вполне могли одновременно знать, что сельскохозяйственные культуры вырастают из семян, и при этом не считать семя обязательным условием появления нового растения. В XVII веке некоторые авторы, например, утверждали, что смесь пшеницы и тряпок способна самопроизвольно породить мышей.

Если собрать семена и посадить их, прорастут далеко не все. Но если прорастёт достаточное количество, мы получим доказательство того, что семена действительно способны превращаться в молодые деревья. И тут сразу возникает новый вопрос: почему часть семян не прорастает? Можно предположить,

что всё решают местные условия. Тогда мы ставим новый эксперимент: сажаем семена в разные типы почвы, даём им разное количество света, воды и питательных веществ и смотрим, где они растут лучше. Если в одних условиях семена прорастают, а в других нет, у нас появляется доказательство того, что окружающая среда помогает объяснить, почему не каждое семя превращается в растение.

Но даже если условия подходят для прорастания и роста, далеко не все молодые растения доживут до стадии саженца. Следующий вопрос: почему? Одни, возможно, были объедены насекомыми, улитками, кроликами или оленями. Другие могли заболеть из-за вирусов, бактерий или грибов. Эти наблюдения естественным образом порождают новые гипотезы: болезни и травоядные животные могут быть важными причинами гибели молодых растений. Тогда следующий эксперимент — выращивать семена, всходы и саженцы в одинаково хороших условиях света, воды и питания, но часть оставить доступной для травоядных и патогенов, а часть защитить. Если смертность в двух группах различается, это уже доказательство того, что животные и болезни действительно влияют на то, доживёт ли растение до взрослого возраста.

Даже если воды, света и питательных веществ ровно столько, сколько нужно, а ни патогенов, ни травоядных рядом нет, часть семян всё равно может не прорасти. Тогда можно предположить, что проблема в самих семенах. Возможно, они неправильно сформировались, испортились или содержат генетический дефект, мешающий прорастанию. Проверять такие гипотезы уже придётся не в поле и не в теплице, а в лаборатории. Мы можем использовать микроскопы, весы, масс-спектрометры, приборы для секвенирования генов и даже генетическое редактирование, чтобы сравнить строение, обмен веществ и генетический код разных семян, а затем высадить их в идеальных условиях и посмотреть, какие прорастут, а какие нет. Часть моей докторской работы как

раз состояла из экспериментов, в которых я не подпускал оленей к отдельным участкам английского леса и смотрел, как это влияет на выживание семян и молодых растений. Я ограждал некоторые участки забором и называл их «зонами исключения оленей». Рядом выбирал такие же по размеру участки без ограды, куда олени могли заходить свободно, — это были контрольные зоны. Затем высаживал семена и молодые растения в каждом участке. Мне было важно, чтобы ограждённые и контрольные зоны отличались только одним: могут туда попасть олени или нет. Подлесок я срезал косой и там и там. Однажды мне стало скучно, и я, размахивая косой, провозгласил: «Я — Смерть с косой!» В ту же секунду из-за поворота вышла женщина с собакой, увидела меня и поспешно ушла. Полевой участок находился недалеко от охраняемой психиатрической больницы для опасных преступников, поэтому я быстро ретировался, опасаясь, что женщина решит сообщить в полицию о сбежавшем пациенте. К счастью, к тому времени я уже перестал носить плащ и зелёную фетровую шляпу. Несмотря на этот небольшой эпизод, эксперимент удался, и я смог оценить, насколько сильно олени влияют на выживание семян и молодых растений нескольких видов деревьев. К концу полевых экспериментов я уже лучше понимал, где и почему деревья способны успешно приживаться. Это был полезный результат. Но он не отвечал на второй вопрос: почему дерево, на которое вы смотрите, относится именно к этому виду, а не к другому? Почему та берёза, на которую я смотрел много лет назад, была серебристой берёзой, а не пальмой коко-де-мер? Чтобы ответить на это, нужен уже новый набор гипотез.

Такие гипотезы могут касаться того, подходят ли определённые условия одним видам лучше, чем другим, или того, насколько близко находятся потенциальные родительские деревья и насколько удачно семя конкретного вида оказалось в нужном месте и в подходящий момент. Возможно, семени серебристой берёзы требуется одно количество света, воды и питательных

веществ, а гигантскому ореху коко-де-мер — совсем другое. И тут возникает следующий вопрос: почему у разных видов деревьев семена настолько различаются по размеру и форме? Помогает ли форма и размер семян одним видам процветать в одних условиях и мешает другим? Учёные изучали эти вопросы и с помощью научного метода сумели объяснить, почему у одного вида пальм семена достигли совершенно фантастических размеров.

Коко-де-мер — пальма, растущая только на двух островах Сейшельского архипелага. Она производит самые крупные семена среди всех растений на Земле. Стоять под такой пальмой, когда её орех готов упасть, — плохая идея. Один плод может весить до 20 килограммов и достигать трети метра в поперечнике. Если такой орех попадёт вам по голове, он вполне способен убить. А вот если вам на голову упадёт семечко серебристой берёзы, вы, скорее всего, даже не заметите. Оно имеет всего 1–2 миллиметра в ширину и весит ничтожную долю грамма. В отличие от коко-де-мер, серебристая берёза сумела завоевать гораздо больше двух островов — она широко распространена по Европе и Азии. Биологи не слишком интересовались крошечными семенами берёзы, зато гигантские семена коко-де-мер годами не давали им покоя. И теперь мы знаем, почему они такие огромные.

Первые пальмы появились около 80 миллионов лет назад — примерно за 14 миллионов лет до исчезновения динозавров. С тех пор коко-де-мер эволюционировала так, чтобы жить на бедных почвах, где мало минералов и питательных веществ. У неё сформировались особенности, позволяющие прекрасно чувствовать себя в суровых условиях, где представители других видов обычно быстро погибают. Цена такой специализации в том, что на богатых почвах коко-де-мер проигрывает конкуренцию другим растениям. Так какие же особенности позволили ей стать специалистом по выживанию в бедной среде?

Эволюция превратила листья коко-де-мер в нечто вроде водосточных желобов. Они направляют дождевую воду прямо к

основанию ствола. По пути вода смывает с листьев птичий помёт, пыльцу и прочий органический мусор. Теперь уже обогащённая ценными минералами и питательными веществами, она стекает к почве у ствола, просачивается вниз, поглощается корнями и используется для роста новых ветвей, листьев, плодов и корней. Таким образом, необычная форма листьев помогает растению буквально собирать дефицитные питательные вещества из окружающей среды.

Коко-де-мер также поразительно эффективно забирает питательные вещества из старых листьев перед тем, как сбросить их. Среди изученных растений нет другого вида, который настолько хорошо перерабатывал бы собственные ресурсы. Среда, где живёт эта пальма, настолько бедна, что почти всё приходится использовать повторно. Ничто не должно пропадать зря. Но всё это пока ещё не объясняет, почему семена такие огромные.

Эти драгоценные ресурсы пальма вкладывает в гигантские орехи, которые могут созревать до четырёх лет, а после падения ещё два года прорасти. Коко-де-мер эволюционировала так, чтобы её огромные семена были буквально набиты питательными веществами и давали молодому растению великолепный старт. Всход получает настолько богатый запас, что быстро вырастает до размера, при котором уже сам может собирать редкие минералы и питательные вещества своими «водосточными» листьями. С самого начала у него есть огромное преимущество перед видами с мелкими семенами, которым родительское растение не способно дать такой запас ресурсов.

Тяжёлые семена далеко от родительского дерева не улетают, и у коко-де-мер большинство из них прорастает прямо в его тени. Но самое удивительное в другом: это единственное известное растение, которое по-настоящему заботится о своих детях. Многие животные так делают, но среди растений известен лишь один такой пример. Эксперименты показали, что семена, упавшие под родительской пальмой, растут быстрее тех, что оказались дальше.

Отчасти это связано с тем, что листья родительского дерева направляют к основанию ствола воду и органические вещества, а значит, одновременно подкармливают и потомство. Но этим дело не ограничивается. Многие деревья специально выделяют вещества, мешающие семенам собственного вида прорасти под их кроной, чтобы снизить конкуренцию. Коко-де-мер делает противоположное: взрослое растение создаёт среду, которая помогает его молодняку.

Серебристая берёза выбрала совсем другую стратегию. Вместо одного или нескольких семян в год, как у коко-де-мер, она способна производить сотни тысяч семян ежегодно. Эти крошечные семена снабжены маленькими «крылышками» и могут переноситься ветром на многие километры. Под плотной кроной леса им обычно плохо. Зато они прекрасно растут на открытых местах, где мало конкурентов. Поэтому лишь ничтожная доля семян вообще оказывается в подходящих условиях. Жизненная стратегия серебристой берёзы радикально отличается от стратегии коко-де-мер. Один вид производит миллионы семян, почти все из которых обречены погибнуть очень рано. Другой за всю жизнь производит совсем немного семян, но каждое из них имеет вполне приличный шанс стать взрослым деревом. Используя научный метод — наблюдение, гипотезу, эксперимент и повторение, — ботаники смогли удивительно хорошо понять, почему виды выглядят именно так, как выглядят, и почему обладают именно теми приспособлениями, которые позволяют им выживать в своей среде.

Возможно, вы никогда не задумывались, почему конкретное дерево растёт именно здесь. Но если бы вас попросили это объяснить, вы, вероятно, тут же стали бы выдвигать гипотезы: как сюда попало семя, почему оно проросло, как превратилось сначала в саженец, а потом во взрослое дерево. Вы способны делать это потому, что в глубине души мы все немного учёные. Мы постоянно строим гипотезы, объясняющие происходящее вокруг нас. Это

может быть что-то совсем бытовое — почему знакомый сегодня утром сделал вид, что не заметил вас на улице, — или нечто грандиозное вроде смысла жизни. Часто для одного и того же наблюдения у нас есть несколько конкурирующих гипотез. Вы не знаете, почему собаку вырвало на ковёр: возможно, вчера на прогулке она съела выброшенный кебаб, а может быть, дело в прививке от бешенства, сделанной два дня назад.

Итак, формулирование гипотезы — второй шаг научного метода после наблюдения. Следующий этап — собрать информацию, которая позволит её проверить. Но как это делается? Что считать хорошим доказательством, а что нет? Сколько доказательств достаточно? Научный метод — это не только наблюдения, гипотезы и эксперименты. Важно ещё уметь понять, действительно ли обнаруженный результат реален или просто возник случайно. Как учёные оценивают доказательства и решают, подтверждена гипотеза или нет?

Смелые заявления требуют сильных доказательств. Если вы объявляете, что нашли лекарство от рака, вам придётся продемонстрировать это так, чтобы убедить других учёных. Научный метод требует не только предоставить доказательства своих выводов, но и сделать так, чтобы другие люди могли повторить вашу работу и получить те же результаты. Можно придумать блестящую гипотезу, собрать наблюдения или поставить эксперимент — а затем выяснить, что данных недостаточно, чтобы убедительно проверить собственную идею. Давайте рассмотрим три примера человекоподобных существ, чтобы увидеть, насколько разным по силе может быть доказательство.

Лепреконы — одиночные сверхъестественные существа из ирландского фольклора. Они невысокие, а мужчин обычно изображают бородастыми и одетыми в зелёное. Я могу очень убедительно заявить вам, что у меня в саду живёт лепрекон. Но пока я не предъявляю доказательств, верить мне вы не обязаны.

Просто сказать что-нибудь — ещё не доказательство. Что вас убедило бы? В идеале вы захотели бы увидеть лепрекона собственными глазами или, если он умер, осмотреть тело. Возможно, согласились бы на качественные, явно не подделанные фотографии или на генетический образец неизвестного вида, родственного человеку. Но просто на слово верить мне не стоит, как бы уверенно я ни говорил. Сила науки как раз в том, что она основана на доказательствах. Гипотезы нужно либо подтверждать, либо опровергать данными. Если гипотеза выдерживает огромное число экспериментов, она постепенно становится фактом. Для ясности: никаких доказательств существования лепрекона в моём саду у меня нет. Хотя чему тут удивляться — как он вообще мог бы выжить, если по саду постоянно носится моё стадо единорогов? Заявление о лепреконе вы, скорее всего, сразу сочли бы фантастикой. А слышали ли вы об оранг-пендеке? Время от времени кто-нибудь объявляет, что нашёл следы нового, ныне живущего человекоподобного вида. Исследователь возвращается из экспедиции с «доказательствами» йети, снежного человека или оранг-пендека — двуногой обезьяны, которая якобы обитает в удалённых горных лесах Суматры. Дальше сценарий обычно один и тот же. Искатель приключений предъявляет «доказательства» нового вида — будь то сасквоч, скунсовая обезьяна или батутут, — пресса впадает в восторг, а затем история быстро выдыхается, и журналисты переключаются на очередного плохо ведущего себя политика или знаменитость — на что-нибудь, чем можно заполнить финальную минуту новостей. Когда шумиха стихает, постепенно выясняется, что доказательства слабые: размытая фотография, на которой может быть что угодно, сомнительный гипсовый слепок следа, волос, якобы принадлежащий загадочному существу, или рассказы местных жителей, которые невозможно проверить. Иногда волос отправляют генетикам, и те выясняют, что он принадлежит корове, козе или собаке, либо вообще не содержит пригодной для анализа ДНК. Человек, собравший такие

данные, нередко искренне уверен в том, что видел. Но он не всегда понимает: большинству учёных нужны гораздо более серьёзные доказательства — в идеале, например, скелет реального представителя вида.

Однажды я присутствовал на лекции об orang-пендеке в Институте зоологии — исследовательском подразделении Лондонского зоопарка. Докладчик был совершенно убеждён собственными доказательствами. Аудитория — нет. После выступления стало ясно, что большинство слушателей очень хотели бы, чтобы orang-пендек существовал. Открытие нового вида человекообразной обезьяны стало бы огромным событием в биологии, а его первооткрыватель по праву прославился бы. Но почти все сочли показанные фотографии слишком размытыми, чтобы считать их доказательством, и не придали большого значения интервью с местным жителем, чьи слова приводились как подтверждение существования orang-пендека. Этот человек явно прекрасно знал местную природу и много лет провёл в лесу. Но он не смог вернуться к месту, где, по его словам, похоронил найденного мёртвого orang-пендека. А его утверждение, будто эти существа способны снимать собственные ступни и надевать их задом наперёд, чтобы запутывать следы, доверия не внушало: ни одна другая обезьяна — да и вообще ни одно известное животное — такого делать не умеет. С эволюционной точки зрения это выглядело бы особенно странно, потому что подобная способность едва ли дала бы её обладателю преимущество в размножении — а именно потомство является «валютой» эволюции — по сравнению с существом с обычными, крепко прикреплёнными лодыжками. Один слушатель заметил, что заявление этого человека о том, будто в прошлой жизни он был голубем, звучит правдоподобнее истории со съёмными ступнями. Мы пожелали исследователю удачи в сборе новых данных, объяснив, что пока не убеждены и что именно потребовалось бы, чтобы убедить большинство из нас. Я всё ещё надеюсь однажды услышать, что на Суматре

действительно нашли новый вид человекообразной обезьяны. Но дыхание в ожидании не задерживаю. Мне бы также очень хотелось узнать, что сасквочи и йети действительно бродят по далёким уголкам планеты. Но и здесь, подозреваю, шансы невелики. При этом для серьёзного доказательства существования вида далеко не всегда нужно много материала. Лепреконов не существует. Оранг-пендек, скорее всего, тоже. А вот женщина Х существовала совершенно точно. Она принадлежала к группе древних людей, которых мы называем денисовцами. Денисовцы были древними людьми, похожими на неандертальцев, но жили в Центральной Азии, а не в Европе, и были нашими близкими родственниками. Материала найдено недостаточно, чтобы учёные окончательно решили, следует ли считать денисовцев отдельным видом, но то, что удалось обнаружить, поражает. Значительная часть известной нам истории денисовцев была восстановлена по одной-единственной фаланге пальца, подвергнутой высокотехнологичному анализу, который многое рассказал и о происхождении нашего собственного вида.

Эта история начинается в пещере Денисова в Алтайских горах Сибири. Когда-то там жил русский отшельник по имени Дионисий, поселившийся в пещере в XVIII веке. Английское соответствие имени Дионисий — Denis, отсюда и название Denisova Cave — Денисова пещера.

Но Дионисий был далеко не первым человеком, пользовавшимся этой пещерой. Российские археологи нашли там свидетельства того, что на протяжении как минимум ста тысяч лет пещеру последовательно использовали неандертальцы, «женщина Х», а позднее и люди современного типа. Женщину Х удалось идентифицировать благодаря косточке пальца ребёнка, который не был ни неандертальцем, ни *Homo sapiens* — современным человеком. Причём это стало ясно не по форме кости, а по последовательностям ДНК, извлечённым из неё.

Девочка, которой принадлежала эта кость, жила в пещере примерно 30–50 тысяч лет назад. Биологи пока не пришли к окончательному выводу, была ли она представителем отдельного вида или лишь отдельного подвида, поэтому её точное научное название остаётся предметом споров. В биологии организмы относят к видам, но провести границу между видами бывает непросто, потому что разные популяции одного вида могут заметно отличаться друг от друга. Например, бенгальский тигр (*Panthera tigris tigris*), суматранский тигр (*Panthera tigris sumatrae*) и сибирский тигр (*Panthera tigris altaica*) выглядят немного по-разному, генетически различаются и эволюционировали обособленно, возможно, сотни поколений. Но все они остаются тиграми и способны скрещиваться между собой, производя жизнеспособное потомство. Поэтому их считают подвидами. Женщину X обычно называют денисовкой. Если бы решение зависело от меня, я бы, пожалуй, считал денисовцев, неандертальцев и современных людей подвидами одного вида, а не отдельными видами — хотя некоторые палеонтологи, возможно, были бы этим недовольны.

О жизни женщины X мы почти ничего не знаем. Но из её пальцевой кости удалось чрезвычайно осторожно извлечь ДНК и расшифровать её с помощью самых современных технологий. Геном этой девочки сравнили с геномами современных людей из разных частей мира, а также с геномами неандертальцев. ДНК показала: она не была ни неандертальцем, ни современным человеком. Возможно, её смерть сама по себе ничем не выделялась — хотя я не сомневаюсь, что родные и друзья её оплакивали. Но спустя десятки тысяч лет найденная косточка её пальца оставила невероятное наследие: учёным пришлось заново переписать часть истории человечества.

Открытие денисовцев вызвало огромный научный интерес, но это был не первый случай, когда останки исчезнувших людей, очень похожих на нас, потрясли научный мир. В 1856 году, за три

года до публикации Дарвином «*Происхождения видов*», в пещере в долине Неандерталь в Германии нашли кости, явно отличавшиеся от костей современного человека. Об открытии написала газета Эльберфельда, и находка вызвала сенсацию. В последующие годы учёные спорили, кому принадлежали кости: русскому казаку, коренному американцу, солдату армии Аттилы, человеку, страдавшему тяжёлым рахитом, или представителю исчезнувшего племени примитивных европейцев, живших здесь до появления современных людей. В 1864 году Уильям Кинг опубликовал работу, в которой отметил сходство этих ископаемых костей с костями человекообразных обезьян вроде шимпанзе и горилл и предложил отнести их к новому виду, который назвал *Homo neanderthalensis*. Постепенно учёные приняли идею, что когда-то в Европе действительно существовал другой вид — или подвид — людей, похожих на нас. Неандертальцев, правда, долго считали простыми и жестокими дикарями. Понадобилось почти полтора века, чтобы избавиться от этого представления.

До появления технологий, позволяющих извлекать и секвенировать крошечные количества ДНК из древних костей, стандартная картина человеческой эволюции выглядела так. Вид *Homo erectus* возник в Африке, а затем около двух миллионов лет назад расселился по Европе и Азии. Это был чрезвычайно успешный вид, из которого впоследствии произошли неандертальцы и различные другие группы, в том числе крошечный *Homo floresiensis* — так называемый человек-хоббит с индонезийского острова Флорес. В Африке потомки *Homo erectus* около 300 тысяч лет назад эволюционировали в людей современного типа. Первая волна *Homo sapiens* вышла из Африки ещё примерно 125 тысяч лет спустя, но добралась только до Аравийского полуострова, Сирии и Турции. Эти группы не смогли создать устойчивые популяции за пределами Африки и со временем исчезли. Но около 60 тысяч лет назад произошла вторая миграция. На этот раз *Homo sapiens* оказались успешнее: 50–60

тысяч лет назад они достигли Южной Азии, а несколько тысяч лет спустя — Австралии. Европу успешно заселили около 40 тысяч лет назад. Америка была заселена позже — примерно 25–16,5 тысячи лет назад. По мере расселения *Homo sapiens* вытесняли более древние линии гоминин, произошедшие от *Homo erectus*. Последними исчезли неандертальцы — примерно 30 тысяч лет назад.

К середине 1990-х годов споры о том, скрещивались ли выходцы из Африки с неандертальцами, стали очень популярны. Но без окаменелостей непосредственно спаривающейся пары неандертальца и человека доказательств почти не было. Помню, в 1994 году одного моего коллегу во время телевизионного интервью спросили, вступали ли наши предки в связь с неандертальцами. Он ответил, что доказательств нет и, по его мнению, скорее всего нет. Через несколько дней ему пришло письмо от зрителя: «Неандертальцы и современные люди размножались, и у меня есть доказательство. Прилагаю фотографию моего партнёра». Забавная история. Но поскольку неандертальцы исчезли многие тысячелетия назад, в 1990-е казалось вполне возможным, что мы никогда не узнаем, смешивались ли они с людьми. Удивительно, насколько генетика изменила исследования человеческой эволюции всего за последние три десятилетия.

Открытие пальцевой кости женщины Х, хорошо сохранившиеся останки неандертальцев и огромный технологический прогресс в извлечении древней ДНК и сборке геномов из фрагментов позволили биологам наконец исследовать вопрос скрещивания неандертальцев, *Homo sapiens* и денисовцев по-настоящему строго. Правда, делать это нужно было с невероятной осторожностью.

После смерти ДНК постепенно разрушается: химические связи между атомами распадаются. Скорость этого процесса зависит от условий. В Денисовой пещере средняя температура со времени

смерти женщины Х оставалась примерно около нуля, а воздух был относительно сухим, поэтому часть её ДНК сохранилась. Учёным удалось извлечь из пальцевой кости совсем крошечные количества генетического материала. Но дальше нужно было убедиться, что фаланга не загрязнена чужой ДНК — например ДНК самого отшельника Дионисия или археологов, нашедших кость. Нужно было также исключить ДНК животных и бактерий, которые могли жить в пещере. Следуя исключительно строгим процедурам, группа биологов из Германии смогла прочесть — или секвенировать — ДНК женщины Х, а затем сравнить её с ДНК множества современных людей из разных частей мира и с ДНК, извлечённой из костей и зубов неандертальцев.

Хотя для первого анализа женщины Х использовалась всего одна пальцевая кость, данных получилось огромное количество. ДНК состоит из длинных цепочек молекул, называемых азотистыми основаниями. Их четыре: аденин, гуанин, цитозин и тимин — А, G, С и Т. Порядок этих оснований в цепочке называется последовательностью ДНК. Например, AACACTGT и ATTAGAGC — две разные последовательности. Ваш геном содержит около трёх миллиардов таких оснований, объединённых в 46 длинных цепей, которые мы называем хромосомами. Геном женщины Х первоначально секвенировали с глубиной 1,9 раза. Это означает, что в среднем каждое основание каждой хромосомы было прочитано чуть меньше двух раз. Иногда отдельная А, G, С или Т могла вообще не быть прочитана, иногда — несколько раз, но в среднем получалось 1,9. Зачем вообще читать одно и то же основание больше одного раза?

Потому что сегодня невозможно просто взять хромосому и сразу прочесть все основания от начала до конца. При секвенировании ДНК из множества клеток разрезается на огромное число фрагментов. Многие из них очень короткие — всего несколько десятков оснований. Секвенирование означает сначала прочесть последовательности в тысячах и миллионах

таких кусочков, а затем при помощи компьютерных алгоритмов собрать их обратно. Чем чаще каждое основание вместе со своими соседями встречается в разных фрагментах, тем выше уверенность, что хромосома собрана правильно.

Возможно, вы спрашиваете, зачем всё так усложнять. Представьте короткую последовательность ACAGTCAGA, которую разрезали на два фрагмента: ACAG и TCAGA. Как их соединить? Сначала ACAG, потом TCAGA? Или наоборот? Ситуация усложняется ещё больше тем, что мы не всегда знаем, в каком направлении читать фрагмент. Это ACAG или GACA? При глубине 1,9 раза собрать целый геном с высокой уверенностью трудно. Сегодня геномы нередко секвенируют с глубиной 30 раз. И действительно, когда пять лет спустя геном женщины Х исследовали заново, удалось приблизиться именно к этому уровню.

Полезная аналогия: представьте, что вы взяли много экземпляров этой книги, пропустили каждый через уничтожитель бумаги, получили огромное количество клочков по несколько слов, а затем попытались восстановить исходный текст. С генетическими последовательностями всё ещё сложнее. В распоряжении у вас всего четыре буквы вместо двадцати шести букв английского алфавита, никаких пробелов, и вы не знаете, читать каждый фрагмент слева направо или справа налево. Кроме того, в этой книге чуть больше трёх четвертей миллиона знаков, а геномы людей и наших предков намного длиннее. Собирать генетические последовательности — чрезвычайно трудная работа.

Геномы неандертальцев, современных людей и денисовцев имеют примерно по три миллиарда пар оснований. Учёные сравнили геном женщины Х с геномом неандертальца, двенадцати современных людей из разных частей света и шимпанзе. Это колоссальный массив данных — около 45 миллиардов оснований. Сравнение выявило участки денисовской ДНК у современных жителей некоторых регионов Южной Азии и Океании, а

фрагменты неандертальской ДНК — у современных евразийских популяций.

Что вы скорее сочтёте убедительным доказательством существования или прежнего существования человекоподобного вида? Моё заявление о лепреконе? Размытую фотографию плюс рассказ человека, который в прошлой жизни был голубем, в случае оранг-пендека? Или 45 миллиардов генетических оснований, сверхточное секвенирование и строгий статистический анализ в случае женщины Х? Наука основана на доказательствах, и данные о том, что наши предки скрещивались с неандертальцами и денисовцами, чрезвычайно убедительны. Правда, до сих пор встречаются отдельные учёные, которые пытаются исключить другие объяснения — например необычные закономерности мутаций, то есть ошибок при копировании ДНК, — способные теоретически породить похожую картину. Но мало кто считает такие объяснения убедительными. И всё же выдвигать альтернативные гипотезы важно. Наука именно так и работает: предлагает разные объяснения и проверяет, какое из них лучше всего порождает наблюдаемую картину.

Не только история человека выиграла от технологий, способных производить огромные объёмы данных. Столкновения частиц в Большом адронном коллайдере создают столько информации о фундаментальных частицах Вселенной, что сохраняется лишь небольшая её часть — та, которая выглядит потенциально интересной для новых открытий. Остальное просто удаляется. Космические телескопы вроде недавно запущенного «Джеймса Уэбба» тоже производят гигантские объёмы информации. Орбитальный телескоп отправляет на Землю множество высококачественных изображений галактик, находящихся в миллиардах световых лет от нас. Да и вы сами постоянно создаёте данные: телефон связывается с базовыми станциями, считает шаги и этажи, публикации в социальных сетях и контент, который вы просматриваете, создают сети

взаимодействий, а каждая операция по кредитной или дебетовой карте оставляет цифровой след. По оценкам, человечество ежедневно производит около 1,145 триллиона мегабайт данных. Чтобы почувствовать масштаб: примерно 130 тысяч слов, составляющих эту книгу, помещаются менее чем в половину мегабайта.

И объём данных будет продолжать расти. Сегодня человечество примерно удваивает их количество каждые полтора-два года. В 1945 году на удвоение уходило около двадцати пяти лет. Следить за всей этой информацией невозможно — кстати, *data* грамматически множественное число, единственное — *datum*. Даже анализ небольшой части данных превращается в отдельную проблему. Именно поэтому появилась новая научная область — *data science*, наука о данных. Если вы умеете собирать, обрабатывать и анализировать данные, ваши навыки будут востребованы где угодно — от банковского дела и политических кампаний до индустрии видеоигр. По мере появления всё более точных приборов и методов наблюдения объём создаваемых данных будет увеличиваться. И вполне возможно, вместе с ним будет расти и человеческое знание.

Чтобы собирать данные, нужно что-то наблюдать и измерять: последовательность ДНК, обломки частиц после столкновения в БАК или ископаемые останки тираннозавра возрастом 125 миллионов лет. Современных объектов для измерения намного больше, чем объектов прошлого. О жизни Фалеса Милетского мы знаем больше, чем о женщине Х, отчасти потому, что она жила за многие тысячи лет до его рождения — ещё до появления первых городов, письменности и письменных архивов. И всё же подробный анализ информации, записанной в её ДНК, позволил восстановить важную часть истории человечества. Благодаря способности извлекать генетический материал из её пальца и знанию общих законов генетики мы смогли по кусочкам собрать картину человеческой эволюции. Гипотезы здесь несравнимо

сложнее, чем вопрос о том, почему определённое дерево растёт в конкретном месте, но основаны они на том же научном методе. Именно поэтому научный метод, на мой взгляд, является величайшим достижением человечества. Он позволяет отвечать на вопросы о нашей истории, о местоположении и приспособлениях деревьев — и даже об истории самой Вселенной.

Хорошая наука начинается с убедительных наблюдений, и сегодня мы умеем наблюдать мир с невероятной точностью и разнообразием. Но этого недостаточно. Огромные массивы данных создают новые трудности. Их анализ может требовать колоссальных вычислительных ресурсов. Кроме того, насколько сильной должна быть обнаруженная закономерность, чтобы мы могли уверенно сказать: это не случайность? И насколько сильной — чтобы начать о ней всерьёз беспокоиться? Среди моих студентов бакалавриата 61,4 процента не любят статистику. Убедить людей, что статистика может быть интересной — или хотя бы полезной, — бывает непросто. Но статистический анализ является одним из краеугольных камней современной науки. Его задача — показать, насколько уверенно мы можем считать наблюдаемую закономерность реальной.

Представьте большой пакет конфет. Вы опускаете туда руку и достаёте одну. Она красная. Значит ли это, что все конфеты в пакете красные? Интуитивно вы понимаете, что нет: вы посмотрели — или, как сказали бы статистики, отобрали в выборку — всего одну конфету из нескольких сотен. Если вы достали две, и обе красные, уверенности станет чуть больше. Если вы достали пятьдесят и все оказались красными, вера в то, что весь пакет красный, станет намного сильнее. Но стопроцентной уверенности всё равно не будет. Она появится только тогда, когда вы проверите все конфеты и убедитесь, что каждая из них красная. Статистика как раз и позволяет количественно выразить степень уверенности в закономерностях, обнаруженных в данных. В нашем примере данные — это количество красных конфет, которые вы достали, а

закономерность — тот факт, что все они красные. Вам хотелось бы сказать что-то вроде: «Я на 85 процентов уверен, что все конфеты в пакете красные». Как в глубине души мы все немного учёные, так же мы все немного статистики. Мы бесконечно принимаем решения, исходя из того, насколько уверены, что что-то случится или не случится. Пока я писал эти строки, я тоже делал ставку — надеялся, что кто-нибудь захочет издать эту книгу. Современную статистику во многом создал биолог Рональд Фишер. Он родился в Англии в 1890 году, а умер в Австралии в 1962-м в возрасте семидесяти двух лет. Список статистических методов, разработанных Фишером, впечатляет. И каждый, кому когда-нибудь приходилось сидеть на занятиях по статистике, может мысленно поблагодарить его за такие понятия, как «максимальное правдоподобие», «дисперсионный анализ» и «F-тест». Всё это до сих пор преподают студентам естественных наук, медицины и социальных дисциплин. С тех пор как Фишер заложил фундамент статистики, область ушла далеко вперёд. Теперь существует огромное множество экзотически звучащих методов вроде обратимого скачкового MCMC, трансразмерного имитационного отжига и иерархических байесовских многосостояний моделей. Но все они восходят к фундаментальной мысли Фишера: различия в наблюдаемых данных можно разложить на вклад разных причин. Представьте, что вы измерили вес всех жителей вашего района. Люди весят по-разному — значит, в данных есть вариация. Статистические методы позволяют выяснить, откуда она берётся. Из-за питания? Места рождения? Генов? Физической активности? Пола? Роста? Возраста? Фишер разработал методы, позволяющие оценивать вклад таких факторов и выражать степень уверенности в полученных числах.

Допустимый уровень уверенности зависит от того, сколько данных доступно. В физике часто используют критерий «пять сигм»: вероятность того, что результат возник случайно, составляет примерно один шанс на миллион. В других областях,

где данных гораздо меньше — например в палеонтологии, — результат могут считать достаточно убедительным уже тогда, когда вероятность случайности составляет примерно один к двадцати.

Статистика позволяет оценить уверенность в закономерностях, найденных и в наблюдениях, и в экспериментах. Если закономерность сначала обнаружена в наблюдательных данных, следующий шаг — если это возможно — поставить эксперимент и проверить, действительно ли предполагаемый процесс или механизм способен её породить. Вернёмся к вопросу «Почему это дерево растёт здесь?». Я мог бы посадить семена разных деревьев в разные типы почвы и посмотреть, что прорастёт. Хороший эксперимент включает разные условия и контроль. В нашем случае разные виды семян и разные типы почвы были бы экспериментальными вариантами. Контрольными могли бы быть участки без семян, семена без почвы или вообще участки без семян и почвы — на случай если нам захочется проверить возможность самозарождения. Спойлер: оно не происходит.

Хороший эксперимент создаёт новые данные, позволяющие проверить гипотезу о причине закономерности, найденной ранее. Эти новые данные снова можно анализировать статистически. Если эксперимент поддерживает гипотезу, у нас получается цепочка: мы заметили закономерность, предложили несколько объяснений и получили экспериментальные данные, которые помогают определить, какое из объяснений правдоподобно. Если гипотеза не подтверждается, это тоже полезный результат: он может привести к новому эксперименту или целой серии новых экспериментов.

Но иногда эксперимент просто невозможен. Например, мы не умеем воссоздать условия, существовавшие при рождении Вселенной. Технически нам это недоступно. Поэтому приходится опираться на наблюдения телескопов за далёкими объектами ночного неба. Когда эксперимент невозможен, лучший следующий

шаг — построить математическую модель и посмотреть, какие предсказания она даёт и совпадают ли они с наблюдениями. Учёные создали модели развития Вселенной и сравнивают их результаты с реальностью. Те модели, которые лучше всего воспроизводят наблюдаемую картину, вероятнее всего, действительно схватывают процессы, породившие наш мир.

Математика — точный и безжалостный язык. Она абстрактна и описывает, как разные вещи связаны друг с другом и как меняются во времени, пространстве или даже в таких абстрактных измерениях, которые мы с трудом можем вообразить. Как и во многих других человеческих занятиях — спорте, музыке, искусстве или изучении языков, — способности к математике у людей различаются очень сильно. Для одних она почти очевидна, для других навсегда останется тарабарщиной, сколько бы усилий они ни вкладывали. Но далеко не вся наука требует выдающейся математики. Многие блестящие экспериментаторы, полевые исследователи и лабораторные учёные являются прекрасными специалистами, хотя математики они посредственные. Я сам в математике довольно неплох, но не выдающийся, зато совершенно безнадёжен в полевых исследованиях. Поэтому предпочитаю работать с коллегами, которые сильны там, где слаб я. Одно из моих собственных умений — собирать вместе людей с взаимодополняющими навыками, чтобы решать интересные задачи.

Математические модели существуют не только для развития Вселенной. Есть модели поведения солнечных систем и галактик, химических реакций, разнообразия жизни, работы человеческого мозга. Мне трудно назвать хоть одну область науки, которую никто не пытался бы описать уравнениями. Как в музыке и искусстве существуют разные жанры, так существуют и разные типы математических моделей. Одни намеренно делают очень простыми, чтобы понять, способен ли один процесс породить определённую закономерность. Другие чрезвычайно сложны и

стараятся в реальном времени точно описывать изучаемую систему. Каждый тип по-своему полезен. Главное — выбрать подходящий. Альберту Эйнштейну приписывают фразу: «Всё следует делать настолько простым, насколько возможно, но не проще». Иногда её понимают как призыв всегда строить сверхпростые модели. Но это неверно. Иногда модель обязана быть сложной, чтобы выполнять свою задачу. Представьте, что вы создали сложную математическую модель, которая идеально предсказывает фондовый рынок. Вы были бы счастливы. Если любая попытка упростить её уничтожает точность предсказаний, значит, сложность необходима — хотя бы ради вашего досрочного выхода на пенсию. Возможно, вас вообще не будет интересовать, почему модель работает. Главное, что работает. В этом случае уровень сложности выбран правильно, потому что модель выполняет поставленную задачу: делает вас богатым.

Модели также чрезвычайно важны для появления новых гипотез. Построив модель, можно получить предсказания, а затем иногда проверить их новыми наблюдениями или экспериментами. Стандартная модель физики частиц — сложная система уравнений, описывающая три из четырёх фундаментальных взаимодействий во Вселенной: слабое и сильное ядерные взаимодействия и электромагнетизм. Анализ модели предсказал существование частицы, которую назвали бозоном Хиггса. Чтобы найти её, построили Большой адронный коллайдер — крупнейшую машину в мире. И нашли. Математическая модель предсказала новую фундаментальную частицу, а когда учёные посмотрели, она оказалась там, где модель и обещала. Трудно представить более впечатляющий пример того, как математическая модель формулирует гипотезу, а эксперимент её подтверждает.

БАК сам по себе потрясает. Это пример невероятного технологического прогресса науки и инженерии за последние два столетия. Сегодня мы умеем делать измерения, которые ещё десять лет назад казались невозможными, и измерять известные

величины куда точнее и с гораздо меньшей погрешностью. Мы научились и по-новому вмешиваться в природу: менять какую-то её часть и смотреть, что произойдёт.

Одна из областей, где наши способности понимать и изменять природу выросли особенно сильно, — генетика. Когда я учился в университете в конце 1980-х, почти вся наша практическая генетика вращалась вокруг плодовых мушек *Drosophila melanogaster*. Мы брали мух с разными признаками, скрещивали их и смотрели, какие особенности появляются у потомства. Например, цвет глаз или количество щетинок на ногах. Работа была скучной, но позволяла понять закономерности наследования и определить, сколько генов участвуют в формировании признака. Статистика и эволюция мне всегда нравились, а эти практические занятия — нет. Но кое-чему я всё же научился. Сегодня я участвую в проекте, где мы ушли невероятно далеко от сравнения мух, которые лишь слегка отличаются друг от друга. И это как раз тот проект, где математическая модель дала нам новое понимание.

Одна из моих исследовательских систем — популяция серых волков в Йеллоустонском национальном парке. Это замечательное место для работы. Возвращение и восстановление волков в парке и вокруг него — один из великих успехов охраны природы, в значительной степени благодаря неустанной работе моего друга и коллеги Дага Смита. Правда, не все рады волкам по соседству. Несмотря на то что волки улучшили состояние экосистемы, сократив численность вапити, некоторые группы смотрят на ситуацию иначе. Например, охотникам теперь приходится выходить из машины, чтобы подстрелить вапити, и уже за одно это они волков недолюбливают.

Несмотря на название «серый волк», *Canis lupus* бывает и серым, и чёрным. Генетический вариант, отвечающий за чёрную шерсть, возник у домашних собак и попал к волкам после скрещивания с собаками вскоре после появления людей в Северной Америке. После этого доля чёрных волков стала расти. Но

распределены они неравномерно. На крайнем северо-востоке ареала, возле Новой Шотландии, их почти нет, а по мере движения на юго-запад, в сторону Мексики, они встречаются всё чаще. В других частях мира чёрные волки отсутствуют или крайне редки.

Если бы вместо мушек в школьных и университетских экспериментах мы скрещивали волков, то обнаружили бы, что цвет шерсти определяется вариантами одного гена. Если серый волк спаривается с серым, все щенки будут серыми. Если чёрный спаривается с серым или чёрный — с чёрным, потомство может быть и серым, и чёрным. Соотношение щенков показывает, что у гена есть два варианта — аллеля. Назовём их Grey и Black, или G и B. У каждого волка по два аллеля. Если оба G, волк серый. Если оба B — чёрный. Если один G, другой B — тоже чёрный. Аллель B доминирует над G. Должен сказать, в школе мне было бы гораздо интереснее скрещивать волков, чем плодовых мушек, но правила техники безопасности почему-то этого не позволяли.

По всему ареалу чёрные волки чаще встречаются в лесистых районах. Поэтому возникла гипотеза: чёрная окраска помогает им охотиться в лесу, потому что обеспечивает лучшую маскировку. Мы провели статистический анализ выживаемости и размножения волков с разными генотипами и обнаружили нечто интересное. Чёрные волки с одним аллелем B и одним G — то есть BG — выживали и размножались лучше, чем волки BB. Они же немного превосходили по выживаемости серых волков GG. Это означало, что преимущество связано не просто с чёрной окраской. Ведь BB и BG внешне одинаковы, но их жизненные перспективы с рождения очень различаются. Если бы преимуществом был сам чёрный цвет, BB должны были бы выживать не хуже BG. Но BB обычно умирали молодыми, а если выживали, редко размножались. BG, напротив, процветали. Значит, ген, определяющий окраску, делает что-то ещё.

Этот ген называется *CBD103*, и у других видов он связан с иммунитетом. Тогда мы предложили новую гипотезу: возможно,

волки BG лучше сопротивляются инфекциям, чем BB и GG. Каждые несколько лет в Йеллоустоне вспыхивает вирус чумы плотоядных — CDV. Для волков и других хищников он чем-то похож на корь. Мы предположили, что в годы вспышек CDV волки BG будут погибать реже, чем BB и GG. Статистический анализ подтвердил гипотезу. В годы без вспышек разница в выживаемости между BG и GG была намного меньше, а BB почти всегда чувствовали себя хуже остальных.

CDV способен заражать множество видов млекопитающих, включая медведей, енотов и скунсов. Болезнь сохраняется в регионе только тогда, когда там живёт достаточно много видов, способных поддерживать инфекцию. Таких видов больше на юго-западе ареала волков и меньше на северо-востоке. Получается, распространение чёрных волков определяется присутствием CDV, а присутствие CDV — количеством видов, которых вирус может заражать в конкретном регионе.

Подтверждение нашей гипотезы было очень захватывающим. Но могли существовать и другие объяснения. Поэтому мои коллеги в Лос-Анджелесе во главе с Бобом Уэйном, который, к сожалению, недавно умер, придумали замечательный эксперимент, показывающий, насколько технологии изменили изучение диких животных.

Чтобы изучать волков, сначала нужно их найти. Для этого одному-двум животным в каждой стае надевают ошейники, передающие радиосигнал. Волкам они не причиняют вреда — просто выглядят как массивный собачий ошейник. Чтобы надеть такой ошейник, животное усыпляют дропиком с транквилизатором. Пока волк спит, его обследуют на болезни, взвешивают, берут кровь и соскоб клеток с внутренней стороны щеки. Эти клетки замораживают и отправляют самолётом в Лос-Анджелес, где мои коллеги выращивают их в лаборатории. Таким образом, для каждого пойманного волка у нас существовала культура щёчных клеток. Используя метод генетического

редактирования CRISPR, коллеги создавали три линии клеток для каждого животного: одну с генотипом BB в гене *CBD103*, вторую — BG, третью — GG. Никакие другие гены не менялись. Затем часть клеток подвергали воздействию патогенов и наблюдали за реакцией. Эксперимент должен был показать, даёт ли преимущество именно генотип BG в гене *CBD103* или дело в других генах. Результаты подтвердили: *CBD103* действительно играет важную роль в иммунитете, хотя участвуют в нём и многие другие гены.

Но даже после впечатляющего генетического эксперимента и статистических данных о разной выживаемости волков с разными генотипами мы всё ещё не знали, насколько всё это важно для популяции в целом. В конце концов, умирают все. Имеет ли значение, что волки разных генотипов умирают от CDV с разной частотой? Чтобы ответить на этот вопрос, мы построили математическую модель.

Модель дала интересное предсказание. Представим, что вы — чёрный волк в Йеллоустоне, где каждые несколько лет вспыхивает CDV. С точки зрения эволюции ваша лучшая стратегия — та, которая позволяет оставить как можно больше копий своих генов будущим поколениям. В случае волков выгоднее всего производить потомство BG, потому что именно этот генотип повышает устойчивость к CDV. Как этого добиться? Оказалось, если вы чёрный волк, лучше выбирать серого партнёра, и наоборот. Независимо от того, BB вы или BG, максимальный шанс получить щенков BG появляется при спаривании с волком другого цвета. То же верно и для серых GG. Значит, пары «чёрный + серый» должны встречаться чаще, чем «чёрный + чёрный» или «серый + серый». Мы проверили, кто с кем спаривается в Йеллоустоне, и действительно обнаружили: чёрно-серые пары встречаются чаще, чем ожидалось бы при случайном выборе партнёра.

Но модель предсказала ещё кое-что. Если CDV отсутствует, всегда выгоднее производить серых волков GG, потому что в

местах без вируса они эволюционно успешнее чёрных. Серые волки должны чаще спариваться с серыми, а аллель В и вместе с ним чёрные волки со временем должны исчезать. Именно это мы и обнаружили. В районах Северной Америки, где CDV почти никогда не вспыхивает или отсутствует совсем, чёрных волков нет.

Наши предсказания, конечно, не настолько грандиозны, как Стандартная модель физики частиц, предсказавшая существование новой частицы, которую потом действительно нашли. Но и наша модель дала проверяемые предсказания, и они подтвердились. Она наглядно показывает, насколько мощной силой является эволюция. В районах с CDV волки, которым по генетической случайности чаще нравились партнёры другого цвета, оставляли больше выживших детёнышей, чем те, кто выбирал волков той же окраски. Со временем там, где вирус регулярно вспыхивал, всё больше животных спаривалось с партнёрами противоположного цвета. Так и возникло современное распределение чёрных волков по Северной Америке.

Технологический прогресс преобразил не только генетику, но и физику, химию, информатику. Сегодня мы можем наблюдать галактики, находящиеся более чем в 13 миллиардах световых лет от нас, и одновременно изучать структуру молекул размером всего в несколько атомов. Мы умеем регистрировать едва заметные гравитационные волны от столкновения далёких чёрных дыр и разгонять фундаментальные частицы вещества электромагнитами до 99,999999 процента скорости света. Искусственный интеллект уже способен заставить нас поверить, что мы общаемся с человеком, а не с компьютером, и написать вполне сносное студенческое эссе. Наш технологический путь начался тогда, когда предки впервые оббили камень и получили острый край. С тех пор мы проделали невероятный путь, и новейшие технологии одновременно восхищают и немного пугают.

Способность изменять генотип отдельных клеток, как мы делали с клетками волков, открывает возможности лечения

тяжёлых человеческих заболеваний — если общество решит, что готово включить такие методы в медицинский арсенал. Работа моих коллег с волчьими клетками показывает, что уже возможно. Но обращаться с подобными технологиями нужно очень осторожно. Мы пока слишком плохо понимаем человеческий геном, чтобы надёжно создавать людей с устойчивостью к болезням или заданными способностями. Однако знания растут стремительно, поэтому использование таких технологий, включая генную терапию, должно строго регулироваться. Похожие опасения вызывает и новое поколение искусственного интеллекта. ChatGPT, несомненно, полезный инструмент, но мы должны следить, чтобы применяли его только во благо.

Наблюдение описывает закономерность. Процесс объясняет, почему эта закономерность возникает. Механизм показывает, как именно работает процесс. Например, наблюдение, что атомы водорода и кислорода соединяются, образуя молекулы воды, — это закономерность. Почему они соединяются? Потому что между атомами действуют электрические силы притяжения. А как именно они связываются? Потому что атомы делят между собой частицы, называемые электронами. Чтобы по-настоящему понять наблюдаемую закономерность, нужно знать и процесс, и механизм.

Некоторые механизмы невероятно сложны — особенно у сложных живых организмов. Например, разделение двух линий, которые в итоге привели к шимпанзе и человеку, от общего предка, жившего 6–8 миллионов лет назад, — это закономерность. Процесс, вызвавший разделение, — эволюция посредством естественного отбора. А механизмы, благодаря которым появились отдельные линии шимпанзе и людей, — ошибки, или мутации, в генетическом коде, влияющие на развитие организма. Разные пути развития связаны с тем, что в растущем эмбрионе разные гены включаются и выключаются в разное время, в клетках производятся разные белки, и эти белки в конечном счёте влияют

на то, вырастет ли организм человеком или шимпанзе. В этом примере закономерность описана хорошо, процесс понят довольно хорошо, а вот механизмы развития изучены лишь частично. Подробные объяснения сложных механизмов очень быстро становятся технически громоздкими, поэтому в этой книге я по большей части буду их избегать. Основное внимание я уделю процессам, которые привели от Большого взрыва к вам и мне, а механизмы буду описывать лишь там, где это можно сделать без чрезмерной технической сложности.

Иногда по мере развития науки одна и та же закономерность допускает несколько объяснений. Пока исследователи собирают новые данные и пытаются выбрать между конкурирующими гипотезами, большинство учёных обращаются к бритве Оккама. Уильям Оккам был английским теологом и философом, родившимся в деревне Оккам в графстве Суррей в 1287 году. Его знаменитый принцип гласит: если существует несколько объяснений одного явления, предпочтение следует отдавать самому простому. Именно так поступаю и я, когда сталкиваюсь с одинаково правдоподобными версиями. Особенно важен этот принцип в последней главе, где я попытаюсь ответить на главный вопрос книги: было ли наше существование неизбежным — или мы появились благодаря случайности?

Но помимо ответа на этот вопрос я хочу убедить вас ещё в одном: достижения науки поразительны. В этой книге я смогу рассказать лишь о ничтожной части того, что человечество уже понимает, но и этого достаточно, чтобы проследить историю того, почему мы существуем. Многие относятся к науке настороженно, хотя причин для страха нет. История и устройство нашей Вселенной достойны того, чтобы их понять: они одновременно удивительны и прекрасны. Научного метода не нужно бояться — его нужно принять. Знания, которые миллионы учёных добыли благодаря ему своим трудом, действительно захватывают дух.

Итак, начнём исследовать историю того, почему мы существуем

Начало

Я всегда был запойным читателем. Родителям приходилось буквально выгонять меня на улицу играть — полная противоположность обычному ребёнку, — а после отбоя я прятался под одеялом с фонариком и книгой. Не помню, какая научная книга была у меня первой, но я постоянно ходил в передвижную библиотеку, приезжавшую в нашу деревню, и брал всё, что мог найти о науке. Больше всего меня увлекала физика — особенно книги, приоткрывавшие тайны Вселенной, хотя динозавры отставали совсем ненамного. Помню, я даже надеялся, что учёные однажды обнаружат динозавров на других планетах.

Но если дома я обожал читать о физике, то в школе её преподавали на редкость скучно. По программе мы, казалось, неделями должны были зубрить разницу между потенциальной и кинетической энергией, но никто не рассказывал нам о действительно захватывающих вещах — например о сверхновых. Мы вычисляли, под каким углом мяч отскочит от стены, но ничего не узнавали о кварках или фотонах. Дома я читал о том, как время замедляется, когда объект приближается к скорости света, а в классе самым интересным опытом со светом было изготовление камеры-обскуры.

Учителя изо всех сил старались оживить занятия, но сражались в заведомо проигрышной битве: тот, кто составлял учебную программу, словно поставил себе целью сделать увлекательнейший предмет скучным. Физика — это наука, объясняющая, почему Вселенная ведёт себя именно так, а не иначе. Она рассказывает, как действуют фундаментальные силы, как связаны между собой энергия и материя — то есть всё, что имеет массу и занимает пространство, — и почему частицы взаимодействуют друг с другом именно таким образом. Сейчас кажется поразительным, что нас, школьников, не ошеломляли

всеми этими головокружительными знаниями. Я оставался в недоумении, но не сдавался. Продолжал дома читать о самых интересных сторонах физики и вскоре понял, что даже неодушевлённый мир способен быть захватывающим — и что при желании интересными могут оказаться даже кинетическая и потенциальная энергия. И всё же тем читателям, которым довелось мучиться с той же школьной программой по физике, что и мне, обещаю: больше об этих разновидностях энергии в этой книге вы не услышите.

Для того чтобы существовали мы с вами, прежде должна была возникнуть сама Вселенная. Но откуда она взялась? Мы привыкли считать само собой разумеющимся, что наша Вселенная обладает именно теми свойствами, которые позволяют существовать жизни. Но было ли предопределено с самого её рождения, что всё сложится именно так? Могла ли возникнуть Вселенная, в которой появление жизни оказалось бы невозможным? Учёные выяснили: если бы некоторые свойства нашей Вселенной отличались хотя бы совсем немного, не существовало бы ни атомов, ни звёзд, ни планет — ни вас, ни меня. Первые этапы нашей истории проведут нас от крошечной точки, наполненной колоссальной энергией и породившей Вселенную, к фундаментальным частицам, первым атомам, а затем и первым звёздам. О самых ранних временах Вселенной нам ещё многое предстоит узнать, но уже сегодня учёные поразительно хорошо понимают частицы, энергию и силы, определяющие её поведение, и то, как всё это заложило основу для появления жизни на Земле. Но прежде чем отправиться в это путешествие, познакомимся с несколькими фактами о нашей Вселенной. Сегодня Вселенная поистине огромна. Никто не знает её точных размеров, но, по некоторым оценкам, её поперечник вполне может превышать семь триллионов световых лет. Лучу света понадобилось бы 7 000 000 000 000 лет, чтобы преодолеть такое расстояние. Один световой год — чуть меньше шести триллионов миль, то есть расстояние, которое свет проходит за год.

Получается, размеры Вселенной могут составлять порядка 42 триллионов триллионов миль. С Земли мы способны увидеть лишь небольшую часть этого пространства — так называемую наблюдаемую Вселенную. Её диаметр составляет «всего» 93 миллиарда световых лет, и при этом она продолжает увеличиваться. Позже в этой главе я объясню почему — и заодно расскажу, почему мы не можем увидеть Вселенную целиком. Расстояния в миллиарды миль плохо укладываются в рамки нашего повседневного опыта. Один из самых длинных беспосадочных авиарейсов в мире соединяет Лондон и австралийский Перт. Полёт длится семнадцать часов, а самолёт преодолевает около девяти тысяч миль. Это всего 0,0000000015 светового года. Свет проделывает тот же путь меньше чем за одну двадцатую секунды. Boeing 787-9 Dreamliner, выполняющий рейс Лондон — Перт, развивает максимальную скорость около 690 миль в час — сушая черепаха по сравнению со светом. Да и по сравнению с самыми быстрыми машинами человечества тоже. Солнечный зонд NASA Parker Solar Probe — самый быстрый объект, созданный человеком. Пролетая вблизи Солнца, он разогнался примерно до 330 000 миль в час, достигнув около 0,05 процента скорости света. Но даже это — лишь одна двухтысячная скорости света. Свет невероятно быстр, а Вселенная невероятно велика.

Чтобы понять, как ведёт себя эта гигантская Вселенная, нам придётся разобраться в поведении крошечных частиц, из которых состоим мы, я и вся материя, а также понять, как эти частицы взаимодействуют между собой. Насколько мы можем судить, их размер составляет примерно одну тысячную триллионной доли миллиметра. Учёные называют такие частицы фундаментальными, потому что разложить их на более мелкие составляющие невозможно. Это строительные кирпичики всего существующего.

Поведение крупных объектов — камней, автомобилей, самолётов, астероидов, Луны и других планет Солнечной системы

— нам хорошо знакомо. Такие объекты называют макроскопическими, потому что по сравнению с фундаментальными частицами они огромны. Всё, с чем мы сталкиваемся в повседневной жизни — другие люди, книги, стакан воды, — относится к макроскопическому миру. Макроскопические объекты движутся во времени и пространстве так же, как мы сами. Они не существуют в виде размытого облака и не исчезают в одном месте, чтобы загадочным образом возникнуть в другом, как способны вести себя некоторые фундаментальные частицы — например электроны в атоме. На микроскопическом же уровне, где взаимодействуют фундаментальные частицы, всё происходит совсем иначе. Точное положение частицы определить трудно, и поэтому её поведение кажется нам глубоко странным. Когда в этой и следующей главах я буду рассказывать о фундаментальных частицах, полезно будет ненадолго отложить привычное недоверие. Реальность в нашем обычном понимании совсем не похожа на реальность на уровне фундаментальных частиц.

До первой половины XX века большинство учёных считало, что Вселенная всегда имела один и тот же размер, никогда не менялась, существовала вечно и будет существовать вечно. Но телескопы становились всё мощнее, и постепенно выяснилось: Вселенная вовсе не статична — она расширяется. А значит, когда-то у неё должно было быть начало, и тогда она была чрезвычайно мала. С момента рождения из крошечной точки невообразимо концентрированной энергии Вселенная выросла и изменилась до неузнаваемости.

Когда-то наша Вселенная была крошечной, а теперь она необъятна. Куда бы мы ни посмотрели с Земли, повсюду видим Вселенную. Её края нам не видно, но посмотреть всё равно есть на что. Представить масштабы доступного нам пространства можно с помощью воображаемого космического путешествия. Представьте, что вы астронавт на корабле, находящемся примерно в четырёхстах километрах над поверхностью Земли — на высоте

орбиты Международной космической станции. Вы смотрите в иллюминатор и видите нашу прекрасную родную планету. А теперь отправимся прочь от Земли. Планета постепенно уменьшается за кормой, и первым крупным объектом на нашем пути становится Луна — она, как и космическая станция, обращается вокруг Земли, только гораздо дальше. Затем появляются другие планеты Солнечной системы. Всего их восемь: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Помимо них есть карликовая планета Плутон и миллионы более мелких каменных тел. Покидая Солнечную систему, мы замечаем, как солнечный свет постепенно тускнеет, а другие звёзды начинают сиять ярче нашего Солнца. Со временем мы пролетаем мимо некоторых из них — и у каждой могут быть собственные планеты и астероиды.

Постепенно звёзд становится меньше, и мы понимаем: наше Солнце, давно затерявшееся в гигантском облаке других светил, — всего лишь одна из по меньшей мере ста миллиардов звёзд, вращающихся вокруг общего центра. Все они принадлежат нашей галактике — Млечному Пути. В наблюдаемой части Вселенной насчитывается около триллиона галактик. Когда мы с помощью телескопов смотрим на галактики за пределами Млечного Пути, обнаруживается нечто любопытное: большинство из них удаляются от нас, причём чем дальше находится галактика, тем быстрее она обычно движется прочь. Если мысленно обратить время вспять — а космологи проделывали это в компьютерных моделях Вселенной, — окажется, что вся материя и энергия, сегодня рассеянные по необъятному космосу, когда-то должны были быть сжаты в единственной точке — сингулярности. Она была меньше самой маленькой фундаментальной частицы, невероятно плотной и горячей. Именно из этой точки возникла Вселенная, в которой по крайней мере однажды появилась разумная жизнь — здесь, на Земле. Физики показали, что ключевую роль в поведении нашей Вселенной — в том числе в её расширении — играют четыре

фундаментальные силы. Они имеют решающее значение для всей нашей истории. Эти силы определяют, как взаимодействуют между собой частицы, атомы и более крупные объекты — планеты, звёзды и галактики. Поскольку без них не существовали бы ни мы с вами, ни даже атомы, из которых мы состоим, прежде чем разбираться в механизме их действия, стоит познакомиться с ними поближе. Можно сказать, это главные герои нашей книги. Все объекты во Вселенной состоят из атомов. В центре каждого атома находится ядро, вокруг которого на различных расстояниях носятся электроны. Ядро, в свою очередь, состоит из более мелких частиц — протонов и нейтронов. В атоме каждого химического элемента число протонов равно числу электронов. Почти все атомы содержат также один или несколько нейтронов; исключение составляет одна разновидность водорода, у которой нейтронов нет. В атоме водорода всегда один протон и один электрон. Однако ядро природного водорода может содержать ноль, один или два нейтрона. Эти разновидности называются протием — без нейтронов, дейтерием — с одним нейтроном и тритием — с двумя. Все три являются изотопами водорода. Протоны и нейтроны, в свою очередь, состоят из кварков. Кварки удерживает вместе сила, называемая сильным ядерным взаимодействием. Эта же сила связывает протоны и нейтроны в атомное ядро. Сильное взаимодействие не позволяет протонам и нейтронам разлететься, а кваркам — отделиться друг от друга. Если бы сильного ядерного взаимодействия не существовало, не было бы атомных ядер. А значит, не было бы и жизни.

Следующая сила — слабое ядерное взаимодействие. Оно также действует внутри атомных ядер и отвечает за радиоактивность некоторых изотопов. Большинство атомных ядер устойчивы: их нейтрон не превращается внезапно в протон и наоборот, создавая атом другого элемента. Но у некоторых изотопов соотношение протонов и нейтронов нестабильно, и тогда протон может превратиться в нейтрон или нейтрон — в протон. При этом

испускается один из видов излучения. Не все радиоактивные элементы распадаются именно таким образом, но те, что распадаются — например тритий, изотоп водорода с двумя нейтронами, превращающийся в гелий, — делают это благодаря слабому ядерному взаимодействию. Может показаться, что слабое ядерное взаимодействие не имеет никакого отношения к нашей повседневной жизни. Но без него была бы невозможна реакция ядерного синтеза, питающая Солнце. Именно благодаря слабому взаимодействию в Солнце из изотопов водорода образуется гелий, а при этом выделяется огромное количество энергии в виде тепла и света. Без слабого ядерного взаимодействия Вселенная была бы тёмной. Нет слабого взаимодействия — нет жизни.

На схемах протоны и нейтроны часто изображают маленькими шариками, сцепленными между собой в атомном ядре. Это вполне полезная аналогия, пусть и не совсем точная. Вокруг ядра носится размытое облако электронов — по своеобразным «орбитам», которые химики называют орбиталями. Удерживает электроны на месте электромагнитная сила. Если бы электромагнетизма не существовало, электроны покинули бы атомные ядра — и сами атомы не смогли бы существовать.

Но роль электромагнетизма этим не исчерпывается. Атомы бывают разных типов, и тип определяется числом протонов, нейтронов и электронов. Число протонов и электронов в нейтральном атоме одинаково, и именно количество протонов определяет химический элемент. Например, у лития три протона и три электрона, а у углерода — по шесть. Во время химической реакции атомы благодаря электромагнитному взаимодействию делятся электронами или обмениваются ими. Так возникают молекулы. Вода — знакомый всем пример соединения, состоящего из молекул. Каждая молекула воды образована двумя атомами водорода и одним атомом кислорода, связанными благодаря совместному использованию электронов посредством электромагнитного взаимодействия. Углекислый газ, метан и

ржавчина — другие примеры веществ, образованных молекулами. Молекулы бывают невероятно разнообразными, но каждая состоит из атомов, а каждый атом — из протонов, нейтронов и электронов. Без электромагнитной силы не было бы ни атомов, ни молекул.

Последняя из четырёх сил — гравитация. Мы редко задумываемся о том, почему можем спокойно ходить по Земле и не улетаем в космос. Именно гравитация удерживает нас на планете. Она притягивает объекты друг к другу, поэтому всё, что обладает массой — включая атомы, — имеет склонность собираться вместе.

Гравитация действует и на малые, и на огромные объекты. Благодаря ей Луна обращается вокруг Земли, Земля — вокруг Солнца, а Солнце — вокруг центра нашей галактики. Земля совершает полный оборот вокруг Солнца за год. Луне требуется около 27 дней, чтобы обойти Землю. А Солнцу вместе со всей Солнечной системой нужно примерно 250 миллионов лет, чтобы совершить один круг вокруг центра Млечного Пути. Мы живём на каменном шаре, вращающемся вокруг звезды, которая сама вращается вокруг центра галактики. И именно гравитация поддерживает этот грандиозный танец. Без неё не было бы ни Солнца, ни Земли, ни Луны — а значит, и жизни.

Все четыре силы имеют непосредственное отношение к существованию жизни, потому что именно они определяют устройство и поведение Вселенной. Поэтому понять их — важнейший шаг к пониманию того, почему существуем мы сами. Мы состоим из частиц, которые соединились в атомы, атомы — в молекулы, а молекулы в конечном счёте образовали вас и меня. Теперь нам предстоит разобраться, как четыре фундаментальные силы взаимодействуют с материей и воздействуют на неё.

Частицы способны соединяться и взаимодействовать множеством способов. Законы этих взаимодействий одинаковы во всей Вселенной, но результат зависит от того, как материя распределена в пространстве. Одна из причин заключается в том,

что разные силы действуют на совершенно разных расстояниях. Сильное ядерное взаимодействие работает на самых малых масштабах, затем идёт слабое; электромагнетизм и гравитация способны действовать на гораздо больших расстояниях.

Сильное и слабое ядерные взаимодействия и электромагнетизм устроены в определённом смысле сходным образом: кварки и электроны постоянно обмениваются так называемыми частицами-переносчиками взаимодействия. Для сильного и слабого ядерных взаимодействий такими переносчиками служат соответственно глюоны и бозоны, а переносчиком электромагнитного взаимодействия является фотон. Учёные предполагают, что гравитация тоже может передаваться посредством особой частицы, но обнаружить её пока не удалось. Гипотетическую частицу назвали гравитоном. Обнаружить гравитоны чрезвычайно трудно: для этого потребовалось бы больше энергии, чем мы способны получить на Земле. По некоторым оценкам, пришлось бы построить ускоритель вроде Большого адронного коллайдера размером со всю Солнечную систему, поместить его рядом с чрезвычайно плотной звездой — и даже тогда удавалось бы зарегистрировать примерно один гравитон раз в десятилетие. Если гравитоны существуют, они умеют отлично прятаться.

К счастью, частицы-переносчики остальных взаимодействий обнаружить гораздо проще, и все они уже наблюдались экспериментально. Каждой такой частице соответствует определённое силовое поле, и у каждого фундаментального взаимодействия имеется собственное поле. Эти силовые поля пронизывают Вселенную повсюду — в любом направлении и в каждой точке, даже в глубоком пространстве между галактиками. Проще всего представить себе такое поле на примере магнита. Положите над магнитом лист бумаги, насыпьте на него железные опилки и слегка постучите по листу. Опилки выстроятся дугами от одного полюса магнита к другому. Перед вами будет видимый след

электромагнитного поля. Остальные силовые поля увидеть не так просто, но они тоже существуют повсюду и постоянно. Каждое силовое поле содержит энергию, и эта энергия непрерывно колеблется, в результате чего частицы-переносчики возникают и исчезают. Они существуют чрезвычайно недолго — лишь крошечную долю секунды, — а затем снова исчезают. Такие частицы иногда называют виртуальными, хотя на самом деле они вполне реальны. Вблизи материи они возникают и исчезают чаще, чем вдали от неё, но даже в областях Вселенной, где поблизости почти нет вещества, энергия всё равно превращается в такие частицы, а затем снова возвращается в прежнее состояние. И хотя виртуальные частицы чрезвычайно малы и, насколько нам известно, не состоят из более мелких компонентов, возможно, на ещё меньших масштабах происходит нечто дополнительное. Некоторые физики поддерживают теорию струн. Согласно ей, в основе всей материи лежат крошечные вибрирующие структуры, похожие на струны. Частота вибрации каждой такой струны определяет, какую частицу мы наблюдаем. На уровне струн само пространство, как предполагается, выглядит совсем не так, как мы его воспринимаем. Нам кажется, что пространство непрерывно и гладко, а не разделено на отдельные порции. Когда мы идём или едем, то не прыгаем из одной точки в соседнюю, а плавно перемещаемся через пространство. Однако на невероятно малом масштабе, где, по предположению учёных, существуют вибрирующие струны, пространство может терять непрерывность и распадаться на мельчайшие объёмы — словно бесконечная стопка микроскопических кубиков. Физики называют этот уровень планковским масштабом. Планковская длина — сторона одного такого воображаемого «кубика» — считается наименьшей возможной длиной. Разделить её ещё раз нельзя. Выражение «половина планковской длины» просто не имеет физического смысла. Возможно, именно на этом уровне вибрируют крошечные струны, и если бы мы могли увидеть пространство в таком

увеличении, оно напоминало бы кипящую пену. Но все эти выводы получены из математических моделей: технологий, позволяющих непосредственно заглянуть на планковский масштаб, у нас пока нет.

Планковский масштаб — далеко не единственная загадка, всё ещё ускользающая от физиков. Наша Вселенная состоит из материи — включая так называемую антиматерию, о которой мы ещё поговорим, — представленной фундаментальными частицами; из энергии в виде тепла и света; из загадочной тёмной энергии, существование которой необходимо для объяснения наблюдений, но природа которой пока остаётся неясной; а также из виртуальных частиц, которые непрерывно возникают и исчезают, позволяя другим частицам взаимодействовать друг с другом. Все эти строительные элементы Вселенной каким-то образом должны быть связаны между собой, но место тёмной энергии в общей картине пока остаётся неясным. Зато физики прекрасно понимают связь между материей и обычной — не тёмной — энергией, например теплом и светом. Её описывает самое знаменитое уравнение в истории науки: $E = mc^2$. Здесь E — энергия, m — масса, а c — скорость света в вакууме, то есть в пространстве, не содержащем вещества. Формула показывает, как связаны материя и энергия. Количество энергии, заключённой в материи, огромно, потому что скорость света в вакууме — колоссальное число: 299 792 458 метров в секунду. А квадрат этого числа — $299\,792\,458 \times 299\,792\,458$ — ещё гораздо больше.

Отсюда следует: если заставить материю высвободить заключённую в ней энергию, как это происходит внутри звёзд или при ядерном взрыве, энергии получится невероятно много. И наоборот, когда материя возникает из энергии, в ней оказывается «заперто» огромное количество этой энергии. При рождении Вселенной 13,77 миллиарда лет назад она представляла собой точку горячей энергии. Затем часть этой энергии превратилась в кварки и электроны, которые, в отличие от виртуальных частиц, не

исчезли сразу же обратно в энергию. Они сохранились — и благодаря этому в конечном счёте смогли появиться мы. Материя словно «закрепилась» в существовании, и учёные до сих пор не до конца понимают почему.

Зато мы знаем, что вскоре фундаментальные частицы начали взаимодействовать. Когда Вселенная остыла примерно до миллиарда градусов Цельсия, кварки стали соединяться, образуя протоны и нейтроны — частицы, из которых состоят атомные ядра. Протоны и нейтроны вместе называют нуклонами. Каждый нуклон состоит из трёх кварков, причём кварки, образующие обычные ядра, бывают двух типов — верхние (*up*) и нижние (*down*). Протон состоит из двух верхних кварков и одного нижнего, а нейтрон — из двух нижних и одного верхнего. Кварки удерживаются в чрезвычайно малом пространстве виртуальными частицами — глюонами. Каждая пара кварков непрерывно обменивается глюонами. Чем дальше кварки пытаются разойтись, тем сильнее становится удерживающее их взаимодействие: между ними возникает всё больше виртуальных частиц, которые стягивают кварки обратно. Каждый отдельный глюон существует лишь ничтожную долю секунды, пока переходит от одного кварка к другому, но этот непрерывный обмен чрезвычайно прочно связывает кварки.

У каждого кварка есть ряд характеристик, которыми физики описывают его свойства. Среди них — цвет, масса, спин и электрический заряд. Верхний кварк имеет положительный электрический заряд $+2/3$, а нижний — отрицательный заряд $-1/3$.

Когда кварки соединяются в протон, два заряда $+2/3$ и один заряд $-1/3$ в сумме дают $+1$. В нейтроне один заряд $+2/3$ и два заряда $-1/3$ в сумме дают ноль. «Цветовой заряд» в некотором смысле похож на электрический, но вместо положительного и отрицательного существует три разновидности — красная, зелёная и синяя. Разумеется, эти цвета не следует понимать буквально: физики используют их лишь как удобные названия трёх типов

цветового заряда. Обмениваясь глюонами, кварки одновременно меняют и свой цветовой заряд. Сильное ядерное взаимодействие не только связывает кварки в нуклоны, но и удерживает протоны и нейтроны вместе внутри атомных ядер. Две частицы с одинаковым электрическим зарядом отталкиваются посредством электромагнитного взаимодействия — примерно так же, как одноимённые полюса магнитов. Поскольку все протоны заряжены положительно, электромагнитная сила стремится растолкнуть их. Но сильное ядерное взаимодействие достаточно мощно, чтобы не дать положительно заряженным протонам разлететься. Оно связывает протоны и нейтроны между собой. Причём здесь роль посредников играют уже не глюоны, а другие виртуальные частицы — мезоны. По причинам, в которые я не стану здесь углубляться, мезоны формально не относят к частицам-переносчикам фундаментальных сил, хотя они играют важнейшую роль в работе сильного взаимодействия. Как и глюоны, мезоны действуют лишь на чрезвычайно малых расстояниях — немного превышающих размер нуклона. Но сила их связи впечатляет: её достаточно, чтобы удерживать вместе несколько взаимно отталкивающихся положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов внутри ядра атома. Слабое ядерное взаимодействие слабее сильного и, как и оно, действует лишь на очень малых расстояниях. Вселенную пронизывает поле слабого взаимодействия, а его переносчиками являются W- и Z-бозоны. На самом деле W-бозоны бывают двух видов, но здесь нам эти подробности не понадобятся. Когда слабое ядерное взаимодействие превращает протон в нейтрон или нейтрон в протон, испускается так называемая бета-частица. Бета-частицы обладают очень высокой энергией, поэтому такое излучение является радиоактивным. Элементы, из которых состоим мы сами — водород, кислород, углерод, азот, кальций, — самопроизвольно не превращаются в другие элементы. Они стабильны. И, пожалуй,

это к лучшему: если бы они постоянно распадались, мы очень быстро развалились бы на части.

Первыми атомными ядрами, возникшими во Вселенной, стали ядра водорода и гелия. Некоторое время они существовали в раскалённой плазме вместе со свободными электронами — частицами с электрическим зарядом -1 . Лишь после того как Вселенная достаточно остыла, смогли образоваться первые полноценные атомы. И с этого момента электромагнетизм начал играть одну из главных ролей в развитии материи. Электромагнитное взаимодействие примерно в сто раз слабее сильного ядерного, но действует на гораздо больших расстояниях, чем обе ядерные силы. Вместе с гравитацией именно электромагнетизм мы чаще всего ощущаем в повседневной жизни. Благодаря ему вещества существуют в твёрдом, жидком или газообразном состоянии, а атомы способны связываться друг с другом, образуя молекулы. Подобно полям сильного и слабого ядерных взаимодействий, которые пронизывают всю Вселенную и передаются соответственно глюонами и W - и Z -бозонами, существует и электромагнитное поле. Частицы, переносящие электромагнитное взаимодействие и позволяющие протонам и электронам взаимодействовать, называются фотонами. Из фотонов состоит и свет. Кварки при взаимодействии обмениваются глюонами, а электроны и протоны — виртуальными фотонами. Эти виртуальные фотоны непрерывно возникают и исчезают, пока протоны в ядре и электроны на окружающих ядро орбиталях взаимодействуют друг с другом. Самая слабая из всех фундаментальных сил — гравитация. Она слабее сильного ядерного взаимодействия примерно в 10^{38} раз. И всё же, когда объекты становятся достаточно крупными, гравитационное притяжение оказывается чрезвычайно мощным. Земля достаточно велика, чтобы не дать нам улететь в космос. В отличие от сильного и слабого ядерных взаимодействий, но подобно электромагнетизму, гравитация способна действовать на

огромных расстояниях. Гравитация и электромагнетизм гораздо заметнее влияют на нашу повседневную жизнь, чем две ядерные силы, потому что сами мы колоссально велики по сравнению с масштабами, на которых действуют ядерные взаимодействия. Верхние и нижние кварки и электроны — далеко не все фундаментальные частицы. До сих пор я говорил лишь об одной из трёх групп таких частиц. Физики называют эти группы поколениями. Я описал первое поколение — именно из его частиц состоит вся наблюдаемая сегодня обычная материя. Правда, рассказывая о первом поколении, я пока не упомянул ещё одну частицу — нейтрино. Нейтрино чрезвычайно многочисленны, но очень редко взаимодействуют с атомными ядрами или электронами. Это, пожалуй, очевидно: обнаружить можно лишь то, что хоть с чем-нибудь взаимодействует, а далеко не все частицы подвержены действию всех четырёх фундаментальных сил.

Нейтрино взаимодействуют только посредством слабого ядерного взаимодействия и гравитации. Сильное взаимодействие и электромагнетизм на них не действуют. Каждую секунду миллионы нейтрино, испущенных Солнцем, проходят сквозь Землю, практически не взаимодействуя с веществом, из которого она состоит. И всё же крошечная доля нейтрино иногда сталкивается с атомными ядрами. Раньше я не говорил о нейтрино потому, что они не являются строительным материалом нашего тела. Но сейчас о них необходимо упомянуть хотя бы для того, чтобы оценить, насколько поразительного понимания Вселенной достигли физики и космологи. Первое поколение фундаментальных частиц включает четыре разновидности: верхние и нижние кварки, электроны и нейтрино — точнее, электронные нейтрино. Более тяжёлые версии этих частиц образуют второе поколение, а ещё более тяжёлые — третье. Например, во второе поколение входят очарованный (*charm*) и странный (*strange*) кварки, мюон вместо электрона и мюонное нейтрино. Слова «очарованный» и «странный» здесь всего лишь

названия: это вовсе не означает, что один кварк особенно обаятелен, а другой ведёт себя подозрительно. Странный кварк тяжелее нижнего кварка — своего аналога из первого поколения. Частицы второго и третьего поколений нестабильны: возникая при высоких энергиях, они очень быстро распадаются, превращаясь в частицы первого поколения.

ТАБЛИЦА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Кварки	u верхний	c очарованный	t истинный	γ фотон	h бозон Хиггса
	d нижний	s странный	b прелестный	g глюон	
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау- нейтрино	Z Z-бозон	
	e электрон	μ мюон	τ тау	W W-бозон	
Лептоны	Три поколения частиц материи			Переносчики взаимодействий	

Четыре частицы в каждом из трёх поколений в сумме дают двенадцать фундаментальных частиц — строительных блоков материи. Я уже упоминал и четыре частицы-переносчика взаимодействий: глюон, фотон и бозоны W и Z, благодаря которым остальные двенадцать частиц могут взаимодействовать друг с

другом. Если пока не учитывать гравитоны — частицы, существование которых предполагается, но которые ещё никто не наблюдал, — получается шестнадцать частиц. Осталась ещё одна: бозон Хиггса. С ним общее число достигает семнадцати. Без бозона Хиггса частицы не имели бы массы, а значит, не существовало бы ни звёзд, ни планет, ни вас, ни меня. История открытия бозона Хиггса показывает, насколько глубоко физики понимают устройство трёх поколений материи и частиц-переносчиков взаимодействий. Стандартная модель — это теория, созданная физиками для описания поведения и взаимодействия этих семнадцати частиц. Полное уравнение Стандартной модели устрашающе сложно математически. Красивым его тоже не назовёшь. Но это грандиозное достижение: модель с удивительной точностью предсказывает, как частицы взаимодействуют посредством электромагнетизма, сильного и слабого ядерных взаимодействий. Несмотря на сложность, Стандартную модель можно условно разделить на четыре части. Первая описывает четыре фундаментальных силы. Вторая — то, как эти силы действуют на фундаментальные частицы трёх поколений материи. Третья объясняет, что именно бозон Хиггса определяет массу каждой фундаментальной частицы. Четвёртая — как он это делает. Проблема состояла в том, что ещё совсем недавно бозон Хиггса никто никогда не видел. А Стандартная модель зависела от его существования. Что, если его вообще нет? Тогда физикам пришлось бы начинать всё заново и строить новую модель, потому что наше понимание Вселенной оказалось бы ошибочным. Обнаружить бозон Хиггса было непросто. Для этого нужно было воссоздать условия, напоминающие самые первые мгновения существования Вселенной, а значит — получить колоссальные энергии. К тому же бозон следовало успеть зафиксировать почти мгновенно после его появления, прежде чем он распадётся на другие частицы. Чтобы найти его, физики построили крупнейшую машину в мире — машину, которую мне посчастливилось увидеть

своими глазами. Моя старшая дочь всегда была страстной читательницей и, как когда-то я, прошла период, когда буквально поглощала книги по физике. Яблоко от яблони. К счастью, школьная программа к её времени сильно изменилась по сравнению с той, по которой учился я. Физика понравилась ей настолько, что она поступила на соответствующую специальность в университет, а затем устроилась в физический стартап в Оксфорде — городе, где мы живём с моей женой Соней. Когда приближалось восемнадцатилетие Софи, я спросил, что она хочет в подарок. Она ответила: съездить на Большой адронный коллайдер — ту самую машину, которую построили для поиска бозона Хиггса.

Одна из радостей университетской жизни — возможность знакомиться с экспертами по самым разным темам. Мне как раз был знаком физик, который делил время между Оксфордом и CERN. Я спросил, когда лучше приехать. Он ответил: когда коллайдер останоят на техническое обслуживание. Я, видимо, выглядел удивлённым, и тогда он объяснил: если приехать именно в этот момент, можно будет спуститься под землю и увидеть самое сердце машины. Мы с Софи отправились в Женеву, и мой друг показал нам одну из частей комплекса — детектор ATLAS. Я полевой биолог и немало времени провожу в самых диких уголках планеты, поэтому привык к тому, что коллеги из других областей иногда завидуют моему месту работы. Сам я почти никогда не жалею, что выбрал именно эту профессию. Но во время визита на БАК я впервые испытал настоящую зависть к физикам. Это одно из величайших достижений науки — и человечества вообще.

В Большом адронном коллайдере пучки протонов, а иногда и других частиц, разгоняют почти до скорости света, а затем сталкивают друг с другом в одной из четырёх точек 27-километрового подземного кольца, составляющего сердце установки. В каждой из этих точек размещён огромный и чрезвычайно сложный детектор, специально предназначенный

для регистрации частиц, возникающих после высокоэнергетических столкновений протонов. Эти частицы живут совсем недолго: они быстро распадаются на другие частицы, выделяя энергию, либо взаимодействуют с протонами, нейтронами и электронами. Детектор ATLAS установлен на одном из участков БАК и был одним из двух детекторов, обнаруживших бозон Хиггса в 2012 году. Его размеры — около 25 на 45 метров, и находится он в подземном зале размером с собор. Он измеряет массы, траектории и время жизни частиц, возникающих при столкновениях протонов.

БАК вместе с четырьмя основными детекторами — не только крупнейшая машина мира, но и одна из самых технологически сложных. Частицы разгоняются и направляются по кольцу сверхмощными охлаждёнными магнитами, а затем сталкиваются друг с другом с поразительной точностью. Большой адронный коллайдер значительно расширил наши знания о физике частиц, но открытие бозона Хиггса остаётся его величайшим триумфом.

Стандартная модель почти столь же впечатляюща, как и сам коллайдер. Это математическое описание того, как кварки, электроны и нейтрино — а также частицы более высоких поколений — взаимодействуют друг с другом через электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия. Она чрезвычайно точно описывает физический мир вокруг нас и предсказала существование частицы, которую никто никогда не видел. Физики пошли её искать — и нашли именно там, где предсказывала модель. Тысячи физиков и инженеров совместно спроектировали и построили крупнейшую машину в мире только ради того, чтобы обнаружить эту частицу. Строительство обошлось примерно в 3,8 миллиарда фунтов стерлингов, эксплуатация стоит около миллиарда фунтов в год, но, на мой взгляд, оно того стоило. Теперь мы гораздо лучше понимаем, как устроена Вселенная. Правда, довольны не все физики. В картине всё ещё чего-то не хватает, и некоторые учёные считают, что Стандартную модель

придётся серьёзно пересмотреть. Новая теория должна будет работать не хуже нынешней — но при этом быть шире и лучше.

Главная проблема Стандартной модели в том, что в неё не входит гравитация. Она объясняет поведение семнадцати частиц так, словно гравитации нет. Одно из четырёх фундаментальных взаимодействий просто отсутствует. Поэтому одна из величайших задач современной физики — связать наше понимание гравитации со Стандартной моделью.

Теория гравитации у физиков есть, и она поразительна не меньше, чем Стандартная модель. Это общая теория относительности, разработанная Альбертом Эйнштейном в начале XX века. Она выросла из более ранней специальной теории относительности, тоже созданной Эйнштейном. Вместе они описывают связь между гравитацией, энергией, пространством, временем и массой, а также показывают, почему скорость света играет ключевую роль во взаимосвязи энергии и массы. Сам Эйнштейн опирался на фундаментальные исследования Исаака Ньютона — ещё одного гиганта науки. Во Вселенной существует абсолютное ограничение скорости — скорость света в вакууме. Как я уже говорил, она составляет 299 792 498 метров в секунду: именно с такой скоростью фотоны движутся через пустое пространство. Если бы вы начали приближаться к скорости света, происходили бы удивительные вещи. Во-первых, время для вас замедлялось бы. Во-вторых, ваша масса росла бы всё сильнее. Объект, обладающий массой, не может достичь скорости света, потому что его масса при этом стала бы бесконечной. Но если представить, что это всё-таки возможно, время для вас остановилось бы. Фотоны движутся со скоростью света именно потому, что не имеют массы. Каждый фотон — это крошечный пакет энергии, несущийся через пространство.

Чтобы понять теорию относительности Эйнштейна, приходится включить воображение и на время забыть о здравом смысле повседневной жизни. Например, мы измеряем, что свет от

Солнца до Земли идёт восемь минут двадцать секунд. Так время воспринимаем мы. Но с точки зрения фотонов, составляющих луч света и движущихся через вакуум, каждый фотон как будто одновременно находится и у Солнца, и у Земли. Для фотона времени не существует — оно остановилось. Эйнштейн очень точно назвал свою теорию: реальность действительно относительна к скорости, с которой вы движетесь.

Поскольку скорость и время связаны, как бы быстро вы ни двигались, включив фонарик, вы всегда измерите одну и ту же скорость удаляющегося от вас света — 299 792 498 метров в секунду. Независимо, стоите вы на месте или несётесь со скоростью всего на один километр в час меньше скорости света: луч фонарика всё равно будет удаляться от вас с той же самой скоростью. То, насколько быстро двигаетесь вы, ничего не меняет. Свет всегда мчится прочь от вас с одинаковой скоростью. Причина в том, что при движении почти со скоростью света течение времени для вас становится совершенно иным, чем для неподвижного наблюдателя. Скорость света остаётся постоянной независимо от вашей собственной скорости.

В повседневной жизни мы ничего подобного не замечаем. Если вы едете на автомобиле со скоростью 95 миль в час, а вас обгоняет машина, движущаяся со скоростью 100 миль в час, кажется, что она удаляется совсем медленно. Если же вы едете со скоростью 100 миль в час, а мимо проносится машина на 200, она явно удаляется гораздо быстрее. На таких небольших по космическим меркам скоростях мы не замечаем, что время тоже течёт немного по-разному. Но разница существует даже здесь — просто она чрезвычайно мала.

Связь между скоростью и временем приводит к странным последствиям. Представьте двух сестёр-близнецов. В двадцать лет одна отправляется в космос со скоростью 99,99 процента от скорости света. Для неё проходит всего один год, и она возвращается на Землю в возрасте двадцати одного года. А её

сестре, оставшейся дома, к этому моменту будет уже девяносто. На Земле мы привыкли считать время неизменным — будто оно всегда тикает с одной скоростью. Но при очень быстром движении это неверно. Время относительно.

В подростковом возрасте меня завораживала мысль о путешествии со скоростью света, хотя я понимал, что это невозможно. Я представлял, как выглядела бы Вселенная из окна корабля, достигшего этой скорости. Если для меня время остановилось, а для всего, что движется медленнее света, продолжает идти, увижу ли я сразу все будущие положения всех объектов во Вселенной? Не превратится ли орбита Земли вокруг Солнца в длинную размазанную линию через пространство? Размышляя так, я допустил логическую ошибку, но она преподала мне важный урок. Я забыл, что пространство и время связаны. По мере приближения к скорости света время замедляется, но пространство при этом сжимается. Значит, Вселенная казалась бы всё меньше и меньше, пока при скорости света не превратилась бы в ослепительно яркую, почти бесконечно малую точку. Этот эпизод научил меня простой вещи: наука движется методом проб и ошибок. Хорошая идея вполне может оказаться неверной. Наука развивается, объясняя закономерности в данных и отбрасывая гипотезы, которые не выдерживают проверки. Я забыл о сжатии пространства и пришёл к ошибочной гипотезе, но понял нечто важное: наука продвигается вперёд по одной опровергнутой гипотезе за раз.

У Эйнштейна всё сошлось. Он показал, что пространство и время изменяются не только при движении, но и под действием гравитации. Общая теория относительности объединяет пространство, время, скорость и гравитацию. Чем сильнее гравитация, тем медленнее течёт время. Этот эффект можно измерить даже на Земле: на вершине горы время идёт чуть быстрее, чем на уровне моря. Разница крошечная, но точно соответствует уравнениям Эйнштейна.

Гравитация не только замедляет время — она искривляет пространство. Если луч света проходит рядом с массивным объектом, его траектория изгибается. Один из самых распространённых способов представить это в двух измерениях — вообразить батут. Пусть поверхность пустого батута совершенно ровная. Если прокатить по ней шарик, он будет двигаться по прямой, пока не упадёт с другого края. Теперь положите в центр тяжёлый груз. Поверхность провиснет. Если шарик движется достаточно быстро, его путь теперь станет изогнутым. Гравитация массивного объекта искривляет пространство примерно так же, как груз деформирует поверхность батута. А если предмет в центре очень тяжёлый, траектория шарика может искривиться настолько, что он начнёт обращаться вокруг него по орбите.

Чем больше масса объекта, тем сильнее его гравитация. Солнце, например, притягивает гораздо сильнее Земли, потому что его масса более чем в 333 тысячи раз больше. Оно сильнее искривляет пространство, и чем ближе к Солнцу, тем медленнее течёт время. Но даже солнечная гравитация меркнет рядом с гравитацией чёрных дыр. Каждую чёрную дыру окружает так называемый горизонт событий — граница, за которой притяжение становится настолько сильным, что оттуда не может вырваться даже свет. Внутри чёрной дыры гравитация буквально загибает пространство само на себя и останавливает время для любого объекта, пересекающего горизонт событий.

Теория относительности Эйнштейна многократно проверялась и неизменно демонстрировала поразительную точность. Она объясняет, как и почему Луна вращается вокруг Земли, Земля — вокруг Солнца и почему мы сами не улетаем в космос. С её помощью определяют возраст Вселенной и объясняют её продолжающееся расширение. Но теория указывает ещё и на существование совершенно особого вида материи. Без неё галактики просто не могли бы существовать. Когда астрономы обнаружили, что галактики вращаются настолько быстро, что

звёздные системы на их окраинах должны были бы вылетать прочь, возникла проблема. Измеренная скорость вращения была слишком высокой: видимой материи не хватало, чтобы своей гравитацией удерживать внешние части галактик.

Космологи решили противоречие, выдвинув гипотезу о существовании частиц, которые не взаимодействуют с обычной материей посредством сильного и слабого ядерных взаимодействий и электромагнетизма. Их назвали **тёмной материей**. Согласно теории, она взаимодействует с остальным миром почти исключительно через гравитацию. Именно поэтому обнаружить её чрезвычайно трудно. До сих пор учёные не смогли непосредственно увидеть частицы тёмной материи — даже с помощью Большого адронного коллайдера. И всё же, если теория Эйнштейна верна, тёмной материи должно быть очень много.

Тёмная материя — не единственная загадочная составляющая Вселенной, существование которой предполагают учёные. Вселенная расширяется, причём расширяется всё быстрее. Физики рассчитали, что одной обычной и тёмной материи недостаточно, чтобы это объяснить. На огромных масштабах что-то словно расталкивает галактики друг от друга. Это неизвестное нечто назвали **тёмной энергией**. Я уже кратко упоминал её выше. Судя по нашим наблюдениям, и тёмной материи, и тёмной энергии во Вселенной чрезвычайно много. По современным оценкам, всего около 5 процентов Вселенной приходится на энергию и материю, которую мы можем непосредственно наблюдать. Примерно 27 процентов — тёмная материя. И ошеломляющие 68 процентов — тёмная энергия. Мы почти ничего не знаем о частицах тёмной материи и происхождении тёмной энергии, но множество измерений указывает на то, что они должны существовать. На первый взгляд мысль о частицах и энергии, которые никто не видел напрямую, может показаться безумной. Но до открытия бозона Хиггса можно было точно так же утверждать, что Стандартная модель неверна, потому что важнейшую

предсказанную ею частицу никто не обнаружил. То, что мы пока не можем напрямую измерить тёмную энергию или увидеть тёмную материю, ещё не означает, что их нет. Кроме того, как вы уже поняли, далеко не все частицы Стандартной модели испытывают воздействие всех фундаментальных сил. Только кварки участвуют и в сильном, и в слабом ядерных взаимодействиях, и в электромагнетизме, и в гравитации. Электроны не участвуют в сильном ядерном взаимодействии, а нейтрино особенно трудно изучать именно потому, что они взаимодействуют с другими частицами почти исключительно через слабое ядерное взаимодействие и гравитацию. Если тёмная материя, как предполагается, не участвует ни в электромагнитном, ни в ядерных взаимодействиях, её частицы чрезвычайно трудно обнаружить напрямую — для этого могут понадобиться энергии намного выше тех, которые способен создать БАК.

Прежде чем вернуться к истории молодой Вселенной, коротко подведём итог. У физиков есть Стандартная модель — теория, великолепно описывающая три фундаментальных взаимодействия. Есть отдельная теория, объясняющая четвёртую силу — гравитацию. Но объединить их в единую «теорию всего» математически чрезвычайно сложно. Стандартная модель перестаёт работать там, где гравитация сильно искривляет пространство и время, и привычные математические методы, благодаря которым модель вообще была создана, не позволяют просто добавить в неё гравитацию. Существуют, конечно, различные кандидаты на объединённую теорию: теория струн, которую я уже упоминал, М-теория, петлевая квантовая гравитация. Но пока мы не умеем проверять их предсказания экспериментально. Поэтому общепринятой великой «теории всего» у нас нет. Такая теория помогла бы глубже исследовать первые мгновения существования Вселенной. Но даже без неё учёные успели узнать о молодой Вселенной поразительно много. Они, например, могут проводить компьютерные симуляции,

меня силу четырёх фундаментальных взаимодействий и наблюдая, образуются ли при этом атомы и звёзды. Выясняется, что далеко не при любых значениях этих сил возможна Вселенная, где способна возникнуть жизнь. Так что нам стоит быть благодарными за то, что силы обладают именно такими величинами. Почему именно такими — мы не знаем. Но я рад, что всё сложилось именно так. Иначе вы сейчас не читали бы эту книгу. Стандартная модель, общая теория относительности, столкновения крошечных частиц внутри самой сложной машины на Земле, компьютерные симуляции и наблюдения за далёкими галактиками позволили учёным по кусочкам восстановить раннюю историю Вселенной. Благодаря этому мы можем пройти путь от энергии к кваркам и электронам, а затем к атомам множества элементов — первым необходимым ступеням в универсальной истории появления вас и меня. Дальше я кратко расскажу, что произошло. Это история того, как Вселенная развивалась от сингулярности до звёзд, которые мы сегодня видим в ночном небе.

До рождения нашей Вселенной, предполагают учёные, не было ничего. Когда я говорю «ничего», вы, возможно, представляете пустое космическое пространство — например между Землёй и Луной или между краем Солнечной системы и Альфой Центавра, ближайшей к нам звёздной системой. Но такое пространство вовсе не пусто. В нём есть энергия, поля взаимодействий, а на планковском масштабе оно, возможно, напоминает пузырящуюся пену. Когда учёные говорят о состоянии до рождения Вселенной, они имеют в виду настоящее ничто: ни энергии, ни силовых полей. И каким-то образом из этого ничто возникла наша Вселенная. Как именно — никто не знает. Теории существуют, но пока невозможно собрать данные, которые позволили бы их проверить. Некоторые математики, например, предполагают, что это «ничто» было нестабильным и коллапсировало, породив сингулярность, из которой возникла ранняя Вселенная. Но честный ответ таков: мы

не знаем, верна ли эта гипотеза. Сингулярность, возникшая 13,77 миллиарда лет назад и давшая начало нашей Вселенной, могла иметь температуру свыше миллиарда миллиардов градусов Цельсия и невероятную плотность: вся масса и энергия современной Вселенной были сосредоточены в одной точке, меньшей, чем самые маленькие частицы, которые мы сегодня способны наблюдать. Четырёх фундаментальных взаимодействий, пронизывающих современную Вселенную, в момент рождения ещё не существовало. Сила — или силы, — действовавшая в самые первые мгновения, могла быть гораздо проще нынешних. Через ничтожнейшую долю секунды после появления сингулярности наступил короткий период, который учёные называют **инфляцией**. Он длился меньше миллиардной доли секунды, но за это время Вселенная расширилась с невероятной скоростью — примерно в 10^{78} раз. И даже после такого бешеного расширения она могла быть размером всего от песчинки до баскетбольного мяча. В оставшуюся часть первой доли секунды появились четыре фундаментальные силы. По мере расширения молодая Вселенная охлаждалась, и одна за другой начали проявляться известные нам сегодня фундаментальные силы. Первой отделилась гравитация, затем сильное ядерное взаимодействие. Космологи до сих пор спорят, отделилось ли сильное взаимодействие от объединённой электрослабой силы непосредственно до или после инфляции. Но как только оно возникло, Вселенная заполнилась раскалённым «супом» из кварков и глюонов. Почти сразу после появления сильного взаимодействия закончилась электрослабая эпоха: единая сила разделилась на электромагнетизм и слабое ядерное взаимодействие, а также появились электроны. Всё происходило с невероятной скоростью. К возрасту всего 0,000001 секунды Вселенная успела остыть настолько, что могли образоваться протоны и нейтроны.

Раскалённая смесь протонов и электронов была непрозрачной. Энергия в форме фотонов не могла свободно двигаться через неё,

как сегодня. Поэтому ранняя Вселенная была тёмной. Космологи изучают Вселенную по разным видам электромагнитного излучения: гамма-лучам, рентгеновскому, ультрафиолетовому и видимому свету, инфракрасному излучению, микроволнам и радиоволнам. Все они распространяются по Вселенной в виде фотонов, которые одновременно ведут себя и как частицы, и как волны — об этом я расскажу в следующей главе. Разные виды электромагнитного излучения различаются длиной волны: у радиоволн она самая большая, у гамма-излучения — самая короткая. Но в ранней Вселенной ни одно из этих излучений не могло свободно распространяться, потому что фотоны постоянно сталкивались с частицами горячего космического супа.

К возрасту примерно 380 тысяч лет Вселенная остыла достаточно, чтобы протоны, нейтроны и электроны смогли объединиться и образовать атомы водорода и гелия. В этот момент Вселенная стала прозрачной, и электромагнитное излучение наконец смогло свободно путешествовать сквозь неё. Самое древнее излучение, которое мы сегодня способны обнаружить на Земле, летит через пространство именно с тех времён — больше 13,7 миллиарда лет. Оно называется **космическим микроволновым фоновым излучением**.

Это излучение окружает нас со всех сторон и выглядит почти одинаково, куда бы мы ни посмотрели — в сторону центра нашей галактики или от него. Математические модели, которые как бы прокручивали историю Вселенной назад к моменту сингулярности, заранее предсказывали существование такого излучения. Его обнаружение стало одним из сильнейших подтверждений того, что Вселенная действительно началась с чрезвычайно горячего и плотного состояния — Большого взрыва.

С 1960-х годов, когда космическое микроволновое излучение было обнаружено, множество проектов занимались его картированием. В 2013 году появилась чрезвычайно подробная карта всего неба. Она показала: излучение почти однородно, но всё

же не абсолютно. В одних участках температура крошечно выше, в других — крошечно ниже. Поскольку это излучение возникло в очень ранней Вселенной, такие температурные пятна отражают малейшие различия в распределении энергии и материи в те далёкие времена. Учёные считают, что именно эти крошечные неоднородности впоследствии стали семенами галактик и всей крупномасштабной структуры Вселенной.

Подробная карта космического микроволнового фона также дала убедительные подтверждения инфляционной эпохи: небольшие колебания температуры объясняются крошечными различиями в распределении материи в самом начале истории Вселенной. Карта позволила космологам вычислить возраст Вселенной с поразительной точностью: примерно **13,772 миллиарда лет**, плюс-минус 59 миллионов.

Вселенная настолько огромна, что свет, который доходит до Земли сегодня, мог лететь к нам миллионы или даже миллиарды лет. Поэтому, глядя на объект в ночном небе, мы видим не то, что происходит с ним сейчас, а то, каким он был в момент, когда испустил дошедшее до нас излучение. Свет от Луны идёт до Земли примерно 1,3 секунды. Свет от Альфы Центавра — чуть больше четырёх лет и трёх месяцев. Если бы сейчас в этой системе произошла катастрофа, мы узнали бы об этом лишь спустя более чем пятьдесят два месяца. Поэтому смотреть в космос — значит буквально смотреть назад во времени. В каком-то смысле астроном похож на геолога, который копает породы и спускается всё глубже в прошлое. Только геолог видит неподвижный снимок, а астроном — своего рода фильм. Если прямо сейчас где-нибудь у звезды в 70 миллионах световых лет от нас инопланетные астрономы направили на Землю невероятно мощный телескоп, они наблюдают тираннозавров, бегущих по меловому ландшафту.

Чем дальше находится объект, тем дольше его излучение идёт до нас. Поэтому, наблюдая объекты на разных расстояниях, учёные буквально собирают историю Вселенной по временным слоям.

Наблюдаемая Вселенная выросла из сравнительно небольшой области, в которой находилось наше нынешнее космическое окружение в тот момент, когда Вселенная стала прозрачной. Космический микроволновой фон — это первый свет той области, из которой впоследствии вырос видимый нам космос. Все галактики, раскинувшиеся сейчас на миллиарды световых лет, когда Вселенной было 380 тысяч лет, были материей, сосредоточенной в сравнительно небольшой области.

Представить это можно с помощью воздушного шарика. Нарисуйте чернильную точку на ещё не надутом шаре. Поверхность шарика — упрощённая двумерная модель Вселенной. Когда Вселенная стала прозрачной и свет смог свободно распространяться, наше космическое окружение было чем-то вроде этой маленькой точки. Теперь начните надувать шарик. Поверхность растягивается, а точка становится всё больше. Надувание шарика имитирует расширение Вселенной. Разросшаяся точка — это то, что мы сегодня называем наблюдаемой Вселенной. Огромная часть поверхности шарика остаётся за пределами точки — аналог ненаблюдаемой Вселенной. Космический микроволновой фон можно представить как свет, который находился внутри первоначальной точки, а галактики — как всю материю, заключённую там же. Космологи знают, что Вселенная продолжает расширяться и скорость этого расширения увеличивается — словно шарик надувают всё быстрее. Аналогия полезная, но не идеальная. Поверхность шара изогнута, а наши наблюдения показывают, что Вселенная в больших масштабах практически плоская. Есть и другие ограничения. Если слишком надуть шарик, он лопнет. Будем надеяться, Вселенную такая участь не ждёт.

К моменту, когда Вселенная стала прозрачной, она уже невероятно расширилась по сравнению с первоначальной сингулярностью и могла иметь около 1,4 миллиона световых лет в поперечнике. Мы не видим края Вселенной потому, что область,

ставшая нашей наблюдаемой Вселенной, в тот момент вовсе не находилась у края. Когда Вселенной было 380 тысяч лет, участок, который мы наблюдаем сегодня, со всех сторон окружали материя и энергия. Мы понятия не имеем, ближе ли находимся к центру Вселенной или к её краю. Возможно, не узнаем никогда.

Когда Вселенная стала прозрачной и в ней появилось много атомов водорода и гелия, гравитация начала творить свою магию. Первые атомы и молекулы постепенно притягивались друг к другу, пока не образовали первые звёзды. Они зажглись примерно через 100 миллионов лет после рождения Вселенной. Эти звёзды были во много раз массивнее Солнца, но жили гораздо меньше. Звёзды светят потому, что гравитация сжимает атомы водорода и гелия, разогревая их до огромных температур. Частицы начинают двигаться с такой энергией, что сталкиваются друг с другом, а ядра оказываются достаточно близко, чтобы сливаться и образовывать ядра более тяжёлых элементов — например азота и кислорода. Яркие массивные звёзды расходуют запасы водорода и гелия быстрее маленьких. Но все достаточно крупные звёзды превращают своё топливо в ядра более тяжёлых элементов: азота, кислорода, углерода, железа. Когда такая звезда приближается к концу жизни и начинает коллапсировать, гравитация становится настолько мощной, что способна сталкивать огромное количество протонов и нейтронов и создавать ядра ещё более тяжёлых элементов — например урана и плутония. Удивительно, что ядра тяжёлых атомов в конечном счёте могут возникнуть из водорода благодаря ядерным взаимодействиям и гравитации. В центре звезды ядра водорода превращаются в ядра гелия, и постепенно формируется гелиевое ядро. Термоядерный синтез начинается потому, что гравитация сжимает вещество и повышает его энергию. Синтез выделяет огромное количество энергии в виде тепла и света, создавая давление, которое не позволяет внешним слоям звезды рухнуть внутрь. Большую часть жизни звезды гравитация, стремящаяся сжать её, и давление от термоядерных

реакций примерно уравнивают друг друга. Но к концу жизни равновесие нарушается. Что произойдёт дальше, зависит от массы звезды. Наше Солнце, например, в следующие пять-шесть миллиардов лет будет постепенно становиться горячее и больше, пока не войдёт в циклы расширения и сжатия. В максимальной фазе оно может разрастись примерно до орбиты Юпитера, а затем снова сжаться до размеров меньше нынешних. Эти пульсации сильно сожмут гелиевое ядро и разогреют его до примерно 100 миллионов градусов Цельсия. Гелий начнёт превращаться в углерод, кислород и другие тяжёлые элементы, выделяя огромное количество энергии и снова раздувая Солнце до гигантских размеров. В конце концов циклы прекратятся, а более тяжёлые элементы, созданные умирающей звездой, вместе с остатками водорода образуют облако пыли. Земля будет поглощена и сожжена во время одной из последних стадий расширения Солнца. Наша планета исчезнет.

Когда звезда массой более чем примерно в восемь раз больше Солнца исчерпывает топливо, гравитация заставляет её катастрофически коллапсировать, и возникает сверхновая — один из самых мощных взрывов во Вселенной. В момент такого взрыва образуются элементы тяжелее железа. Эти элементы, пыль и обломки разлетаются по космосу и могут образовывать туманности, из которых потом рождаются новые поколения звёзд. На Земле и вообще в Солнечной системе тяжёлых элементов много, а значит, наше Солнце не может быть звездой первого поколения. Учёные знают, что к моменту формирования Солнечной системы Вселенной было уже больше девяти с четвертью миллиардов лет. Возможно, Земля сформировалась из вещества звезды второго, третьего или четвёртого поколения — мы точно не знаем. Но знаем другое: тяжёлые элементы, созданные в недрах и при гибели более древних звёзд, были необходимы для появления нашей планеты и жизни на ней.

На этом этапе нашей истории мы прошли путь от сингулярности до нашего уголка Вселенной, где часть водорода и гелия, возникших в раннем космосе, превратилась в более тяжёлые элементы благодаря процессам внутри звёзд. Следующий шаг — понять, как эти тяжёлые элементы соединяются и образуют молекулы вроде воды, углекислого газа и метана, то есть группы атомов разных элементов, связанных электромагнитным взаимодействием.

Итак, в этой главе мы увидели, сколько всего должно было произойти, чтобы появились вы и я. 13,77 миллиарда лет назад должна была возникнуть невероятно горячая и плотная сингулярность с огромным запасом энергии. Вселенная начала расширяться и охлаждаться — и делает это до сих пор. Почти сразу после рождения появились четыре фундаментальные силы, а энергия стала превращаться в материю в виде фундаментальных частиц. Связь между энергией и материей лежит в самой основе устройства Вселенной — и нашего существования. Кварки вскоре образовали протоны и нейтроны, затем ядра лёгких элементов. По мере охлаждения Вселенной ядра соединились с электронами и возникли первые атомы. Гравитация собрала их вместе и зажгла первые звёзды — локальные печи невероятной температуры, где появились тяжёлые элементы. А затем, в нашем уголке космоса, эти элементы стали частью Солнца, планет и в конечном счёте нас.

Жаль, что всему этому меня не учили в школе. Каждый ребёнок должен знать, насколько поразительно хорошо физики понимают, **как и почему возникли атомы периодической таблицы.**

Следующий этап нашей истории — химия. И прежде всего вопрос: **почему происходят химические реакции?** Вы и я — это чрезвычайно сложная химия. Поэтому, если мы хотим понять, почему вообще существуем, нам необходимо разобраться, **как и почему атомы взаимодействуют именно так, как они взаимодействуют.**

Молекулы

В школе мне нравились лишь некоторые разделы химии — те, где дело заканчивалось взрывами. Правда, такие бурные реакции случались нечасто: мои учителя были хорошими химиками и тщательно следили за тем, чтобы нам не давали вещества, способные взорваться при смешивании. Дома у меня тоже был химический набор, но и с его помощью устроить настоящий хаос было непросто. Позже я понял почему: самые взрывоопасные вещества обычно приходится хранить в инертных жидкостях, поэтому в детские химические наборы их не клали, а в школе держали под замком. Такие металлы, как натрий, например, хранят в масле: стоит им соприкоснуться с воздухом, как они тут же начинают реагировать с содержащимся в нём кислородом. Но даже реакции самых нестабильных химических веществ кажутся безобидными по сравнению с гибелью звёзд, о которой шла речь в предыдущей главе, или с последствиями столкновения материи и антиматерии. Большая часть этой главы будет посвящена реакциям, обусловленным электромагнитным взаимодействием, а также тому, как ведут себя электроны, как они располагаются вокруг атомных ядер и образуют различные типы химических связей. Но прежде чем сосредоточиться на электронах, нам нужно ненадолго рассмотреть ещё один вид взаимодействия, потому что он тоже имеет прямое отношение к нашему существованию. Вскоре после рождения Вселенной, когда появились кварки, электроны и нейтрино, возникли и частицы антиматерии. Их называют антикварками и позитронами; антикварки могут соединяться, образуя антипротоны и даже антинейтроны. Некоторые из самых грандиозных взрывов во Вселенной, вероятно, происходили при столкновениях материи с антиматерией: они взаимно уничтожают друг друга, высвобождая колоссальное количество энергии. Например, если отрицательно

заряженный электрон столкнётся со своим антиматериальным двойником — положительно заряженным позитроном, — они исчезнут, породив два высокоэнергетических фотона. Антиматерия во Вселенной встречается редко, потому что вскоре после появления частица антиматерии обычно сталкивается с частицей обычного вещества, после чего обе аннигилируют, превращаясь в энергию. Одна из нерешённых загадок науки заключается в том, почему в ранней Вселенной материя победила антиматерию. Теория говорит, что их должно было возникнуть одинаковое количество и они должны были мгновенно и полностью уничтожить друг друга — что означало бы чрезвычайно преждевременный конец нашей Вселенной.

Очевидно, в теории чего-то не хватает, потому что материи всё-таки оказалось совсем чуть-чуть больше, чем антиматерии, — и именно благодаря этому Вселенная существует в том виде, в каком мы её знаем. Если бы материи и антиматерии возникло поровну, нас бы здесь не было.

Антиматерия образовалась не только в момент рождения Вселенной. Она возникает и сейчас — порой в самых неожиданных местах. Бананы в вашей вазе для фруктов, например, непрерывно испускают позитроны: каждый банан производит примерно один позитрон каждые час и пятнадцать минут. В бананах содержится калий, в том числе редкий изотоп этого металла — калий-40, который очень, очень медленно распадается под действием слабого ядерного взаимодействия, превращаясь в кальций-40. Если бы у вас был один грамм калия-40, то чуть меньше половины его превратилось бы в кальций-40 примерно за миллиард лет. Мы не можем предсказать, когда конкретный атом калия-40 распадётся, но знаем, что в среднем на это требуется 1 290 000 000 лет. Поскольку речь идёт о среднем значении, некоторые атомы калия-40 распадутся гораздо быстрее, тогда как другие способны просуществовать несколько миллиардов лет. Если примерно каждые семьдесят пять минут в одном банане распадается один

атом калия-40, значит, таких атомов там должно быть очень много. Так и есть. Всего в одном грамме калия-40 содержится примерно 15 с двадцатью одним нулём атомов. В среднем банане лишь около 0,015 грамма калия-40, но даже это огромное число атомов. При распаде атома калия-40 испускается бета-частица — в данном случае высокоэнергетический позитрон, который аннигилирует, столкнувшись с электроном. Наше зрение недостаточно чувствительно, чтобы увидеть эту аннигиляцию, но она действительно происходит и сопровождается выделением энергии. Если увеличить масштаб и аннигилировать один грамм вещества с одним граммом антиматерии, выделится примерно столько же энергии, сколько при взрыве атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму. Нам повезло, что антиматерия не образуется в наших вазах с фруктами слишком быстро. Иначе приготовление бананового смузи могло бы закончиться смертельно. В дальнейшей истории о том, почему существуем мы и я, антиматерия почти не сыграет роли. Но всё же стоит быть благодарными за то, что сегодня во Вселенной её так мало. Будь её много, не было бы и нас.

В химических реакциях материя и антиматерия не аннигилируют. Эти реакции определяются не слабым ядерным взаимодействием, а электромагнетизмом. И всё же некоторые химические реакции бывают поразительно бурными. 1-диазидокарбамоил-5-азидотетразол — его иногда называют азидазидом азида — одна из самых нестабильных молекул, известных человечеству. Хранить её почти невозможно: достаточно небольшого изменения давления, воздействия света или крошечного перепада температуры, чтобы она взорвалась. Она настолько нестабильна, что стандартные приборы, которыми измеряют чувствительность химических веществ, для неё непригодны: попытка измерить её свойства заставляет вещество взорваться.

На другом конце спектра находятся молекулы, которые чрезвычайно трудно вовлечь в химическую реакцию. Гелий, например, очень стабилен и почти не взаимодействует с другими веществами. Он состоит из двух протонов, двух нейтронов и двух электронов. Это не значит, что гелий бесполезен — применений у него множество. Он легче воздуха, поэтому наполненные им воздушные шары поднимаются вверх, а ещё забавно вдохнуть немного гелия и услышать, как голос внезапно становится гораздо выше. Но что именно делает одни вещества гораздо более реакционноспособными, чем другие? В предыдущей главе я познакомил вас с четырьмя фундаментальными силами, но основное внимание уделил ядерным взаимодействиям. Я рассказал, как в ходе жизненного цикла звёзд ядра водорода сливались в ядра гелия, а ядра гелия — в ядра более тяжёлых элементов. Затем эти ядра присоединяли электроны, образуя атомы тяжёлых элементов. Следующий важнейший этап нашей истории — появление молекул, когда элементы начали соединяться друг с другом и образовывать огромное разнообразие веществ. Всё это происходит благодаря электромагнитной силе, и теперь настало время вывести её на главную сцену. Именно она управляет всеми химическими реакциями — от простого взаимодействия небольших молекул до механизма действия лекарств, мешающих сложным молекулам выполнять определённые функции внутри наших клеток. Хотя школьная химия никогда особенно меня не увлекала, в моём детстве она играла заметную роль. Дело в том, что мои родители были наркоторговцами. Точнее, они владели сетью аптек в Кембриджшире, отпускали лекарства по рецептам и продавали безрецептурные препараты от лёгких заболеваний, недомоганий и травм. Какое-то время я даже подумывал продолжить семейное дело, но подростком терпеть не мог помогать в аптеках. Такая работа явно была не для меня. Учитывая, что оба моих родителя были фармацевтами, мои школьные оценки по химии, наверное,

приводили их в лёгкий ужас. И всё же, как и с физикой, я читал о химии дома — хотя немного иначе. Я так и не приобрёл хорошего понимания электромагнетизма, зато узнал, как молекулы способны лечить и предотвращать болезни. У родителей была толстая книга с бесконечным перечнем недугов и препаратов, которыми их можно лечить. Читать её было невероятно интересно. Меня поражало, сколько существует способов заболеть — и сколько способов облегчить симптомы с помощью лекарств. Проблема заключалась в том, что при каждом повышении температуры, прыщике или сыпи я тут же ставил себе диагноз, неизменно предполагая худшее. Мои родители, будучи ответственными фармацевтами, обращались с лекарствами очень осторожно, поэтому, за исключением случайной таблетки аспирина, мои просьбы выдать мне средства от цинги, ришты, слоновости или бубонной чумы оставались без ответа.

Лет в десять или одиннадцать я прочитал о болезни, которая по-настоящему меня ужаснула, потому что от неё не существовало лечения и конец был страшным: о бешенстве. Каждое лето мы ездили отдыхать во Францию, и во время пары таких поездок я почти не спал. Мне казалось, что каждая встреченная кошка, собака, корова или овца больна бешенством и только и ждёт случая напасть на меня. Полагаю, из-за моей тревоги мама, папа и сестра Фиона тоже не слишком наслаждались этими путешествиями.

Однажды я даже решил, что мог заразиться бешенством. В конце подросткового возраста, когда я некоторое время жил в Зимбабве, меня действительно укусила собака, и прежний страх ненадолго вернулся. Я пошёл в местную клинику и узнал, что могу пройти вакцинацию, но для этого потребуется семь неприятных уколов в живот, которые делали только в столице — Хараре, а добраться туда из места, где я жил, было непросто. Собака укусила меня потому, что спала, а я, слегка навеселе вываливаясь из бара, случайно наступил на неё. Кроме того, выяснилось, что в этом районе уже много месяцев, а возможно, и лет, не было случаев

бешенства. Я решил, что риск умереть от бешенства невелик, и отказался от прививок. Тем не менее следующие несколько недель я внимательно следил за собой, пытаюсь понять, не начинаю ли сходить с ума и не мучает ли меня необычайная жажда. Позже я подробно прочитал о бешенстве и, узнав о надёжной вакцине, стал обязательно прививаться перед рабочими поездками, во время которых мог столкнуться с дикими животными.

Моя одержимость болезнями, вакцинами и лекарствами помогла мне кое-что понять о том, насколько удивительно могут вести себя некоторые молекулы, и я до сих пор восхищаюсь открытиями химиков. Например, мРНК-вакцины — такие как вакцина Pfizer, разработанная во время пандемии COVID, — основаны на поразительно глубоком понимании химии нашей иммунной системы. Искусственно созданные химические вещества пронизывают нашу жизнь: они лечат болезни, сохраняют пищу, уничтожают вредителей, окрашивают одежду — и всё это работает благодаря электромагнитному взаимодействию. По некоторым оценкам, ежегодно химики во всём мире синтезируют до десяти миллионов новых соединений, и около двух тысяч из них ежегодно разрешаются к коммерческому применению только в США. Элементы могут соединяться бесчисленным количеством способов, образуя практически бесконечное разнообразие веществ. Некоторые полезны нам, другие опасны.

Химическое оружие карбонилхлорид, применявшееся в обеих мировых войнах, относится к самым ядовитым синтетическим веществам. Концентрации всего около 200 частей на миллион в воздухе достаточно, чтобы убить человека. Это ужасно, но всё же не так ужасно, как ботулинический токсин, который естественным образом вырабатывает бактерия *Clostridium botulinum*. Всего один грамм этого вещества способен убить до миллиона человек. При этом крошечные количества ботулинического токсина некоторые люди добровольно вводят себе в организм: это основной действующий компонент ботокса. Химия работает потому, что

атомы разных элементов соединяются, образуя молекулы, а молекулы способны комбинироваться огромным количеством способов. Вы и я состоим из невероятного числа молекул — от таких простых и маленьких, как вода, до чрезвычайно сложных, вроде ДНК, которая в тысячи раз крупнее. Если бы элементы не могли соединяться в молекулы, Вселенная была бы намного менее интересным местом — и нас бы не существовало. Поэтому следующий этап нашей истории — разобраться, почему элементы объединяются в молекулы и почему одни молекулы, например ДНК, чрезвычайно стабильны, а другие, вроде азидоазида азиды, — нет. Понять различия между элементами нам помогает периодическая таблица. Химики организуют элементы в периодическую таблицу. Она начинается в левом верхнем углу с водорода — самого лёгкого элемента, атом которого содержит один протон и один электрон, — а дальше элементы располагаются строка за строкой по мере увеличения атомного номера, вплоть до оганесона, в атомах которого 118 протонов и 118 электронов. Строки и столбцы таблицы группируют элементы в зависимости от того, как устроены их электронные оболочки, о чём я подробнее расскажу ниже. Последний и самый тяжёлый элемент таблицы — оганесон — в природе не встречается: он крайне нестабилен и быстро распадается. Тем не менее химики сумели получить в лаборатории пять, а возможно, и шесть его изотопов. Оганесон — один из двадцати четырёх элементов, созданных человеком. Меня поражает сама мысль, что химики могут производить в лаборатории элементы, которых нет в природе. Интересно, Земля — единственная планета, где когда-либо создавали такие элементы? Или где-нибудь в космосе существуют инопланетяне, которые тоже получили оганесон? Периодическая таблица отделяет металлы — например литий и натрия слева — от неметаллов вроде хлора и кислорода справа. Каждый столбец объединяет элементы со сходными свойствами — например с похожим поведением при взаимодействии с другими элементами.

Металлы стремятся отдавать электроны, когда вступают в реакцию, тогда как неметаллы справа предпочитают принимать их. Элементы ближе к середине таблицы чаще делятся электронами. Сегодня химики хорошо понимают и то, почему элементы ведут себя именно так, и сколько протонов, нейтронов и электронов содержат атомы каждого элемента. Но к этому знанию человечество шло очень долго. На протяжении тысячелетий люди даже не понимали, что именно следует считать элементом. Ответить на вопрос «из чего состоят вещи?» оказалось совсем непросто.

Люди размышляли о первоосновах природы ещё со времён Древней Греции, а вероятно, и раньше. Почти 2500 лет назад Эмпедокл утверждал, что существуют четыре фундаментальных элемента: земля, огонь, воздух и вода. Полвека спустя Демокрит в Древней Греции и Камала в Индии независимо друг от друга предположили, что материю можно разделять до тех пор, пока не останутся неделимые частицы. Но что именно представляют собой эти частицы, было неясно. Греки называли их атомами и понимали, что они слишком малы, чтобы увидеть их глазами. В Средние века химические исследования сместились от поиска элементов к получению полезных веществ — прежде всего к попыткам превращать дешёвые и распространённые металлы вроде железа в редкие и дорогие, например золото. Наблюдения уже показывали, что при соединении определённых веществ можно получать новые соединения, и одной из главных целей алхимии стало превращение одного металла в другой. Алхимия оставалась вполне уважаемой областью знаний даже во времена Исаака Ньютона и входила в число его интересов. Сегодня мы склонны считать алхимию шарлатанством, но она серьёзно занимала одного из величайших мыслителей в истории человечества — одного из двух людей, которым мы обязаны созданием математического анализа, важнейшего диалекта математического языка науки. К XVIII веку учёные и философы постепенно отвернулись от алхимии, и

началась эпоха современной химии. На протяжении 1700-х годов исследователи выделяли и давали названия всё новым элементам и соединениям — как газам, так и металлам. Водород был выделен в 1766 году британским учёным Генри Кавендишем, который назвал его «горючим воздухом». Шведский химик Карл Вильгельм Шееле открыл кислород в 1773 году, а год спустя его независимо открыли и в Англии. Первый учебник химии, систематически описывавший элементы, опубликовал в 1789 году французский химик Антуан Лавуазье. Среди веществ, которые, по его мнению, уже нельзя было разложить на более простые, он перечислил водород, азот, кислород, фосфор, серу, цинк и ртуть. В список попали и некоторые вещества, которые сегодня элементами не считаются, но несмотря на эти ошибки книга Лавуазье стала важнейшим итогом химических знаний и теорий конца XVIII века. В начале XIX столетия новые элементы стали открывать всё быстрее. Английский химик Гемфри Дэви обнаружил натрий, калий, кальций, бор, магний, стронций и барий — главным образом с помощью метода электролиза, при котором электричество используется для разложения соединения на составляющие его элементы.

К концу 1860-х годов, почти через столетие после открытия водорода, человечеству было известно уже шестьдесят шесть элементов, а их атомные массы были приблизительно определены. В 1869 году русский химик Дмитрий Менделеев расположил их в первой версии периодической таблицы. В 1871 году он переработал таблицу, уточнил массы некоторых элементов и предсказал существование ещё трёх — тех, которые сегодня называются скандием, галлием и германием.

После открытия галлия и скандия в конце 1870-х годов и германия в 1886-м периодическая таблица Менделеева получила широкое признание. Химия превратилась в науку, способную делать предсказания, а Менделеев навсегда вошёл в историю как один из величайших химиков. Примерно в то же время, когда

Менделеев создавал периодическую таблицу, начали появляться первые теории о том, каким образом элементы соединяются в химические соединения, и учёные стали исследовать химические связи между атомами. В 1897 году Дж. Дж. Томсон открыл электрон, а польский химик Мария Кюри и новозеландский физик Эрнест Резерфорд совершили важнейшие открытия в области радиоактивности. В первой половине XX века была сформулирована квантовая механика, о которой мы ещё поговорим, а ко второй половине столетия химия превратилась в зрелую науку. Человечество уже достаточно хорошо понимало, как и почему происходят химические реакции, и даже умело предсказывать многие из них.

Развитие химии — великолепный пример того, как работает научный метод, но одновременно оно показывает, что прогресс нередко требует многих поколений. Первые наблюдения сводились к тому, что одни вещества способны вступать в реакции — например, железо и серебро окисляются при контакте с водой и воздухом, — тогда как другие можно разлагать на составляющие части. Постепенно уточнялась гипотеза, что многие вещества состоят из элементов, а экспериментаторы научились выделять многочисленные разновидности этих элементов. Менделеев заметил, что многие элементы ведут себя сходным образом, и нашёл способ объединить их в группы. Такое распределение намекало на существование глубинных закономерностей их взаимодействия, и химики с физиками начали выдвигать гипотезы о том, как эти закономерности могут работать. Некоторые идеи оказались ошибочными — например представление о флогистоне, якобы содержащемся во всех горючих веществах, или «пудинговая» модель атома, согласно которой электроны были вкраплены в мягкое губчатое ядро словно изюм в рождественский пудинг. Другие гипотезы, напротив, получили подтверждение, а эксперименты становились всё изящнее и всё сложнее технически.

Как и в физике, для описания химии, атомов и молекул были разработаны математические уравнения. Электромагнитное взаимодействие удалось понять настолько хорошо, что в Стандартной модели его в конечном счёте связали с сильным и слабым ядерными взаимодействиями. Можно спорить, но физика, вероятно, является самой развитой из наук, а химия следует почти вплотную за ней.

И в физике, и в химии всё ещё остаются открытые вопросы, новые открытия и новые применения обязательно появятся, но, вероятно, крупные прорывы будут происходить медленнее, чем в науках, изучающих жизнь. Мы продолжим находить новые способы использования молекул, создавать новые вещества для решения человеческих проблем, всё тоньше понимать работу электромагнетизма и, будем надеяться, однажды свяжем его с гравитацией в рамках «теории всего». Но это дело будущего. А пока вернёмся к тому, что мы уже знаем, и разберёмся, почему атомы соединяются в молекулы, без которых жизнь невозможна.

Протоны и нейтроны, независимо от того, ядро какого элемента они образуют, состоят из верхних и нижних кварков. Поэтому ядра атомов всех элементов построены из одних и тех же фундаментальных частиц. Протоны всегда несут положительный электрический заряд, а электроны, образующие внешнюю часть атома, — отрицательный. Разность зарядов заставляет протоны и электроны притягиваться друг к другу.

Несмотря на то что каждый элемент состоит из одинаковых типов положительно и отрицательно заряженных частиц, сами элементы очень различаются. Атомы некоторых веществ, например аргона, чрезвычайно трудно заставить соединяться с другими атомами посредством электромагнитной силы. Другие элементы, например кислород, напротив, очень реакционноспособны и легко взаимодействуют с атомами других элементов, образуя всевозможные соединения. Различаются не только химическое поведение атомов, но и физические свойства

самых элементов. Водород и кислород при комнатной температуре — газы, ртуть — жидкость, а литий и железо — твёрдые вещества. Когда водород и кислород вступают в реакцию и образуют воду, два газа превращаются в жидкость. Разумеется, если температура ниже нуля градусов Цельсия, вода становится твёрдым льдом, а выше ста градусов — паром. Причём эти температуры меняются вместе с давлением: именно поэтому на большой высоте, где атмосферное давление ниже, вода закипает при температуре меньше ста градусов.

Вы — чрезвычайно сложная форма химии, и чтобы понять, почему вы вообще появились, необходимо немного разбираться в химических процессах. Каждую секунду в каждой вашей клетке происходят миллионы химических реакций, и для них нужны атомы реакционноспособных элементов. Если бы все элементы были инертными, как гелий или неон, жизнь никогда не смогла бы возникнуть.

Следующий этап нашего путешествия от Большого взрыва к вам — переход от атомов к молекулам. Если что-то в предыдущей главе показалось вам странным — например существование во Вселенной предельной скорости, способность гравитации замедлять время или идея, что на планковском масштабе пространство выглядело бы словно кипящая пена, — приготовьтесь: на квантовом уровне, где атомы обмениваются электронами или делятся ими, странностей меньше не становится. В привычном нам мире предметы не исчезают внезапно в одном месте, чтобы мгновенно появиться в другом. Мой пёс Вуфлер не способен вдруг исчезнуть из спальни и тут же материализоваться в саду — как бы ему этого ни хотелось. Точно так же объект не может находиться сразу в двух местах. Я не могу одновременно сидеть в своём кабинете и быть в пабе, сколько бы ни старался. А вот мир фундаментальных частиц и атомов устроен совсем иначе.

Любое электромагнитное излучение — например видимый свет — распространяется в виде волн. И одновременно это

излучение состоит из частиц, называемых фотонами. Мир очень малого странен потому, что фотоны — как, впрочем, и электроны, отдельные атомы и даже небольшие молекулы — одновременно являются и частицами, и волнами. Идея быть двумя вещами одновременно плохо согласуется с нашим повседневным опытом: мы привыкли считать себя одним объектом — телом. Но, хотите верьте, хотите нет, вы, деревья за городом, автомобили на дороге, планеты и вообще вся Вселенная тоже одновременно являются и твёрдыми объектами, и волнами. Просто волны, связанные с такими крупными телами, в миллиарды раз меньше самих тел и никак не влияют на нашу повседневную жизнь, поэтому мы можем о них забыть.

По-настоящему странно становится тогда, когда волна объекта оказывается крупнее самого объекта. Именно так происходит с крошечными фотонами, электронами и атомами. Объекты, чья волна превышает их собственный размер, проявляют то, что учёные называют квантовым поведением. Один из лучших способов продемонстрировать это явление, называемое также корпускулярно-волновым дуализмом, — провести знаменитый эксперимент. Опыт с двумя щелями проводили бесчисленное количество раз, и результат всегда одинаков: атомы ведут себя так, словно способны одновременно находиться в двух местах.

Для эксперимента понадобится устройство, которое по одному выпускает атомы в сторону экрана, способного регистрировать место их попадания. Источник атомов и экран остаются неподвижными. Между ними помещают пластину с двумя близко расположенными параллельными вертикальными щелями, достаточно широкими, чтобы атом мог через них пройти. Затем по одному выпускают атомы в сторону пластины и смотрят, где они оказываются на экране. Сначала представим, чего мы ожидали бы в классическом мире, в котором живём. Увеличим эксперимент: вместо атомов будем стрелять теннисными мячами через две щели в стене по экрану, покрытому липучкой. Каждый мяч пролетит

либо через левую щель, либо через правую, после чего прилипнет к экрану. В результате на нём появятся две вертикальные полосы из теннисных мячей — напротив двух щелей.

В квантовом мире некоторые выпущенные атомы действительно будут вести себя как уменьшенные теннисные мячи. Они словно вылетят из источника, пройдут через одну из двух щелей и оставят отметку на детекторе. Источник, щель и след окажутся на одной прямой. Но выясняется, что такое поведение — просто удачное совпадение. Большинство атомов ведёт себя вовсе не так. На экране начинают появляться дополнительные вертикальные полосы попаданий. В итоге формируется множество параллельных линий, разделённых областями, куда атомы почти не попадают. Через какую же щель прошёл атом, если отметка на экране не находится на прямой линии ни с одной из щелей? Ответ: через обе. Каждый атом проходит через обе щели одновременно. Для нашего классического мышления это по-настоящему головокружительный вывод: теннисный мяч ведь обязан пройти либо через одну щель, либо через другую.

С каждым атомом — да и вообще с любым объектом — связана волна. Её можно описать математическим выражением, которое называется волновой функцией. Волновая функция положения объекта описывает все возможные места, где объект может находиться, и вероятность обнаружить частицу в каждой части этой волны. У крупных объектов волны чрезвычайно малы, поэтому сам объект практически всегда оказывается в одном определённом месте. У маленьких объектов с относительно большими волнами возможных положений намного больше. Для атома волну можно представить как описание всех возможных будущих вариантов того, где он окажется, если заставить его проявить себя как частицу. Если волновая функция больше самой частицы, объект способен вести себя так, словно находится сразу в нескольких местах. Когда я говорю о «размытом облаке»

электронов вокруг атомного ядра, я фактически описываю их волновую функцию.

В фильме «Люди в чёрном 3» Майкл Стулбарг играет Гриффина — пришельца с планеты Арканан. Представители его вида — многомерные существа, способные одновременно видеть бесконечное множество альтернативных временных линий и возможных будущих. Они не знают наверняка, какое будущее осуществится, но по мере того, как происходят реальные события, одни варианты исчезают, а новые возникают. Гриффин использует эту способность, чтобы направить людей в чёрном к единственному варианту будущего, в котором мир удаётся спасти, и признаётся, что видеть одновременно столько возможностей — довольно тяжёлое бремя. Думаю, так оно и есть. Его способность чем-то напоминает возможность видеть волновые функции окружающего мира. По мере течения времени эти функции меняются, а вместе с ними меняются и возможные будущие: одни становятся более вероятными, другие — менее. Волна частицы устроена немного похожим образом. Только квантовый мир ещё более странен.

У атома, электрона или другой частицы можно измерять разные свойства — например положение и скорость. Каждому свойству соответствует собственная волновая функция, и эти функции связаны между собой. Поэтому чем точнее мы узнаём, где, например, находится частица, тем меньше можем сказать о её скорости. Если вы точно знаете положение частицы, вы ничего не знаете о её скорости. Если точно знаете скорость — не знаете, где она находится. Невозможность одновременно точно знать обе величины называется принципом неопределённости Гейзенберга — в честь немецкого физика, впервые его сформулировавшего. Квантовый мир основан на неопределённостях, которые учёные описывают с помощью вероятностей. Квантовое поведение мельчайших частиц и атомов вероятно, и в конечном счёте всё сводится к тому, что их волновые функции больше самих частиц.

Волновая функция, описывающая возможное положение атома в опыте с двумя щелями, создаёт так называемую интерференционную картину — именно она и приводит к появлению на экране множества вертикальных полос, разделённых участками, куда атомы не попадают. Представить интерференцию проще на примере воды. Вообразите волну, идущую к перегородке с двумя щелями. Она проходит через них, и от каждой щели начинают расходиться полукруглые волны. Волны от двух отверстий сталкиваются друг с другом, создавая чередование гребней и впадин — интерференционную картину. Нечто похожее можно увидеть, когда пересекаются следы двух лодок: вода становится неровной, с чередующимися подъёмами и провалами. То же происходит и с волновой функцией атома. Она тоже образует чередование максимумов и минимумов: максимумы показывают, где частицу обнаружить вероятнее всего, а минимумы — где её появление маловероятно. Вертикальные полосы на экране в опыте с двумя щелями соответствуют максимумам, а промежутки между ними — минимумам. Таким образом, опыт с двумя щелями — очень изящный способ использовать множество атомов, чтобы увидеть, как выглядит волновая функция одного атома.

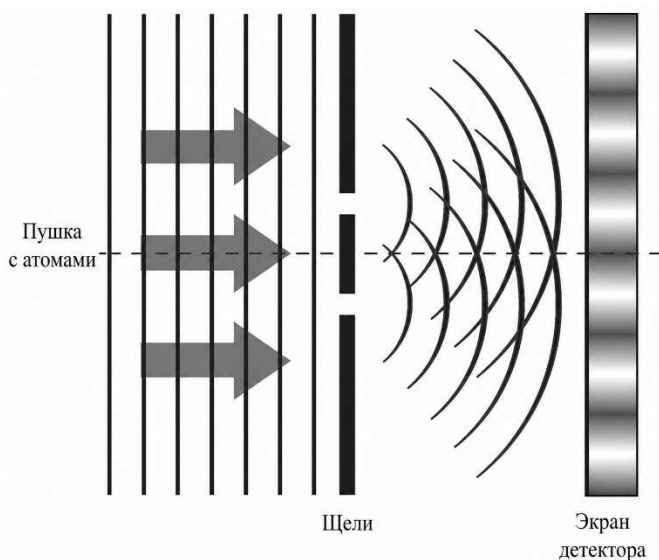
Когда атом вылетает из источника, он ведёт себя как волна, проходящая одновременно через обе щели, после чего на экране-детекторе его заставляют проявиться в определённой точке как частицу. Чтобы эксперимент сработал, щели должны находиться близко друг к другу, а ширина каждой должна быть сопоставима с длиной волны частицы — характеристикой её волновой функции. При соблюдении этих условий эксперимент можно повторять снова и снова, и эффект неизменно будет воспроизводиться. Но возникает вопрос: что заставляет частицу выйти из своего волнового состояния и появиться в одной конкретной точке экрана?

Когда атом в опыте с двумя щелями сталкивается с экраном, говорят, что его волновая функция коллапсирует, и атом обнаруживается в определённом месте. Это немного похоже на то, как если бы вы одновременно вышли из здания через парадную и заднюю двери, а затем волшебным образом оказались в единственном месте на улице. Волновая функция описывает длину волны объекта. Чем крупнее объект, тем меньше его длина волны — и тем определённое его положение. Кстати, крупные объекты теоретически тоже можно заставить вести себя подобно квантовым частицам, если особым образом согласовать волновые функции всех составляющих их атомов. Но для чего-либо крупнее одиночной молекулы это чрезвычайно трудно. Грубая аналогия согласованных волновых функций — ряд метрономов, которые тикают в идеальной синхронности. В большинстве предметов атомы так не синхронизированы: они больше напоминают ряд метрономов, каждый из которых отбивает собственный ритм. Именно так устроены и вы. Длина волны вашего тела составляет примерно одну миллиардную от миллиардной от миллиардной доли сантиметра, потому что волновые функции составляющих вас атомов не синхронизированы. Вы неизмеримо больше этой величины, поэтому ведёте себя как обычный твёрдый объект, а вашей волновой функцией можно пренебречь. Если бы вам удалось синхронизировать волновые функции всех атомов своего тела, вы начали бы вести себя как волна. Вы могли бы проявлять квантовые свойства: например одновременно выходить из здания через несколько дверей, а затем материализоваться на улице. Но согласовать волновые функции атомов своего тела вы не способны, поэтому эксперимент с двумя щелями с вами не получится. Да вы и не пролезли бы сквозь невероятно узкие щели, которые для этого понадобились бы. Это было бы всё равно что протащить верблюда сквозь ушко чрезвычайно маленькой иглы. Эксперимент с двумя щелями работает только с объектами, длина волны которых превышает их собственный размер, — как правило, это частицы и

атомы. Например, длина волны электрона в несколько тысяч раз больше размера самой частицы. Когда атом проходит через щель и попадает на экран-детектор, он образует химические связи с материалом экрана, становясь частью значительно более крупного объекта. И атом, и экран обладают волновыми свойствами, но поскольку волновые функции атомов экрана не согласованы, попавший атом теперь проявляется в одном определённом месте как часть экрана. Если освободить атом от детектора, он снова приобретёт исходные квантовые свойства. По мере того как атомы соединяются в молекулы, а молекулы — в крупные объекты, которые мы можем видеть, длины волн обычно перестают иметь заметное значение для поведения этих объектов, и они начинают вести себя привычно — как вещи классического мира, а не частицы квантовой реальности.

Когда я рассказывал о ранней Вселенной, то упоминал космическое микроволновое фоновое излучение — самое древнее излучение космоса — и существующие в нём флуктуации. Космологи считают, что эти различия восходят к самым первым мгновениям существования Вселенной, когда она была настолько мала, что её волновая функция превышала её собственные размеры. Максимумы и минимумы этой квантовой волновой функции резко усилились во время стремительного расширения ранней Вселенной и привели к неоднородному распределению материи. Со временем различия в плотности вещества породили галактики, содержащие миллиарды звёзд, а между ними остались огромные области почти пустого пространства. Считается, что крупномасштабная структура нашей необъятной Вселенной выросла именно из её квантового поведения в те времена, когда сама Вселенная была невероятно мала.

Эксперимент с двумя щелями



Квантовое поведение атомов чрезвычайно странно, но я пока не объяснил, какое отношение оно имеет к взаимодействию атомов друг с другом. Вспоминая школьные уроки химии, я понял, что ответа на этот вопрос там не получил. Нас этому попросту не учили. Более того, от школьной химии у меня осталось всего три ярких воспоминания. Во-первых, я помню мальчика по имени Гэри, который однажды умудрился наполнить класс едким газом с таким запахом, что все начали кашлять и пришлось эвакуировать весь естественно-научный корпус. Все последующие годы школьной химии Гэри пытался повторить этот подвиг, но безуспешно. Во-вторых, я помню, как сказал своему другу Майку, что если подсоединить горелку Бунзена к водопроводному крану, то из неё ударит мощная струя воды, которая наверняка долетит до учителя, стоявшего примерно в пятнадцати футах от нас. Майк мне не поверил, присоединил горелку к крану, но облить учителя всё-таки не решился. Вместо этого он просто открыл воду, пока горелка лежала на столе.

Струя ударила в потолок, и до конца урока на нас сверху капала вода. В-третьих, нам объясняли, что атом чем-то похож на Солнечную систему: в центре находится ядро, а вокруг него, подобно планетам, вращаются частицы — электроны. Наверное, из уроков стоило запомнить что-нибудь полезнее первых двух историй. Но и третий «факт», которому нас учили, по большей части неверен.

Из аналогии с Солнечной системой верно разве что то, что атом в основном состоит из пустого пространства. На этом сходство почти заканчивается. Самый простой атом — атом водорода — состоит из одного протона и одного электрона. Если увеличить протон до размеров Солнца, то наиболее вероятное минимальное расстояние до электрона оказалось бы примерно в десять раз больше расстояния от Солнца до Плутона. Это очень далеко. Если бы Солнечную систему уменьшили до размеров атома, то даже Меркурий — ближайшая к Солнцу планета — находился бы к ядру ближе, чем любая область, где мы с заметной вероятностью ожидали бы обнаружить электрон.

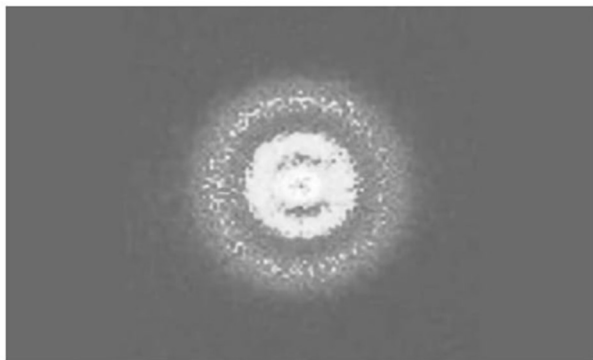
Фраза вроде «наиболее вероятное минимальное положение электрона» звучит странно, особенно если сравнивать электрон с планетой. Гораздо проще было бы сказать: электрон находится в десять раз дальше от ядра, чем Плутон от Солнца. Но, к сожалению, квантовая реальность устроена иначе. Так же как мы не знаем, где именно находится атом между моментом вылета из источника и столкновением с экраном в опыте с двумя щелями, мы не знаем точного положения электрона относительно атомного ядра. Мы можем лишь сказать, где он более или менее вероятно находится. Поэтому приходится говорить языком вероятностей. Именно поэтому нельзя утверждать, что электрон движется по орбите вокруг атомного ядра. Его волновая функция как бы размазана вокруг ядра, и если заставить электрон проявиться, он может оказаться в любой точке внутри этой области. Чтобы описать эту сложность, химики используют слово «орбиталь», а не «орбита».

Электроны образуют орбитали вокруг ядер, и для каждой точки орбитали существует определённая вероятность обнаружить там электрон. Если бы планеты двигались не по орбитам, а существовали в орбиталях, они выглядели бы как туман, размазанный по ночному небу. Где-то туман был бы гуще, где-то реже, и самые густые участки показывали бы места, где планету обнаружить вероятнее всего. Вероятностное описание усложняет картину, но ведь и в повседневной жизни мы постоянно мыслим вероятностями.

В нашей семье никто не следит друг за другом через мобильные приложения, поэтому сейчас, пока я пишу в кабинете, я не могу точно сказать, где находится моя жена Соня или трое моих детей — Софи, Джорджия и Люк. Я могу оценить вероятность того, что Соня сидит у себя в офисе, ходит по магазинам или пьёт кофе с друзьями, но ради сохранения брака не стану перечислять эти вероятности. Люк, скорее всего, в колледже. Но если погода хорошая и у него нет лекций, он может быть либо в скейт-парке, либо где-нибудь фотографировать для своего учебного проекта.

Жизнь электронов, вероятно, куда менее увлекательна, чем жизнь моей семьи, но химики могут точно так же оценивать вероятность обнаружения электрона в различных местах вокруг ядра. Обычный атом водорода состоит из одного протона, образующего ядро, и одного электрона. Волновая функция допускает нахождение электрона практически в любой области вокруг ядра, но показывает, что наиболее вероятно обнаружить его на некотором промежуточном расстоянии — не слишком близко и не слишком далеко. Энергетический уровень электрона определяет его волновую функцию, его орбиталь и, следовательно, наиболее вероятное расстояние до протона. Электроны с большей энергией находятся на более удалённых орбиталях, чем электроны с меньшей энергией.

Изображение атома водорода



Электроны притягиваются к ядру и стремятся занять максимально близкую к нему доступную орбиталь. Для этого они должны обладать как можно меньшей энергией. Если в атоме водорода электрон обладает большой энергией и находится на далёкой орбитали, атом постепенно теряет энергию: электрон исчезает с дальней орбитали и появляется на более близкой. Высвободившуюся энергию уносит фотон. При этом электрон буквально перестаёт находиться на внешней орбитали и возникает на внутренней. У электронов есть свойство, называемое спином, и оно влияет на то, как несколько электронов располагаются в атомах элементов, содержащих больше одного электрона. Спин связан с квантовыми свойствами движения электрона, но его математическое определение довольно сложно. Существует два вида спина — условно «вверх» и «вниз». В качестве грубой аналогии можно представить электрон со спином вверх вращающимся по часовой стрелке, а со спином вниз — против часовой. Но, как и слова *charm* («очарованный») и *colour* («цвет») в квантовой теории, термин «спин» не следует понимать буквально. Электрон на самом деле не крутится, как мяч для крикета. На каждой орбитали может находиться максимум два электрона, причём два электрона с одинаковым спином не могут занимать одну и ту же орбиталь.

Орбитали вокруг атома организованы в структуры, называемые электронными оболочками. Ближайшая к ядру оболочка содержит одну орбиталь, вторая — четыре, третья — девять, четвёртая — шестнадцать, пятая — двадцать пять, шестая — тридцать шесть. Соответственно, первые шесть оболочек могут вместить максимум два, восемь, восемнадцать, тридцать два, пятьдесят и семьдесят два электрона.

У водорода один электрон находится на первой оболочке. У гелия — второго по лёгкости элемента, ядро которого состоит из двух протонов и двух нейтронов, — два электрона на первой оболочке: один со спином вверх, другой со спином вниз. У лития, следующего элемента, ядро состоит из трёх протонов и четырёх нейтронов, поэтому электронов у него три — ведь в нейтральном атоме число протонов и электронов одинаково. Два электрона занимают первую оболочку, а третий — вторую. У оганесона два электрона находятся на первой оболочке, восемь — на второй, восемнадцать — на третьей, тридцать два — на четвёртой, тридцать два — на пятой, восемнадцать — на шестой и восемь — на седьмой. По крайней мере, так предсказывают химики. Ни один атом оганесона пока не существовал достаточно долго, чтобы его электронную конфигурацию удалось определить экспериментально с высокой точностью.

У лёгких элементов внутренние оболочки полностью заполняются прежде, чем электроны переходят на следующую, более удалённую от ядра. У тяжёлых элементов всё сложнее. Например, 118 электронов оганесона распределяются по семи оболочкам, хотя чисто количественно могли бы уместиться и в шести. Причина в том, что удалённые оболочки делятся на подоболочки, и энергия, необходимая электрону для нахождения на различных орбиталях, различается. Иногда электрону энергетически выгоднее оказаться на низкоэнергетической подоболочке более далёкой оболочки, чем на высокоэнергетической подоболочке ближе к ядру. Написав всё это,

я наконец понимаю, почему наша школьная программа предпочла не вдаваться в подробности и ограничилась неточной аналогией с Солнечной системой. Атомы сложны. Но именно эта сложность позволяет химикам предсказывать, как атомы различных элементов будут взаимодействовать друг с другом, а эти реакции имеют фундаментальное значение для нашего существования.

Атом наиболее стабилен, когда обладает минимально возможной энергией. Такое состояние называют основным: каждый электрон занимает самую низкоэнергетическую из доступных ему орбиталей. Если атом получает энергию и один из электронов переходит на более высокую орбиталь, атом постарается как можно быстрее вернуться в основное состояние, избавившись от лишней энергии. В атоме водорода электрон на второй оболочке находится в возбуждённом состоянии и стремится потерять энергию, испустив фотон. После этого электрон исчезает со второй оболочки и появляется на первой.

Длина волны испущенного фотона определяется количеством высвобожденной энергии. Когда электрон атома водорода переходит со второй оболочки на первую, возникает фотон ультрафиолетового диапазона, который человеческий глаз не видит. Если электрон переходит с третьей оболочки на вторую, выделяется меньше энергии, поэтому фотон менее энергичен, имеет большую длину волны и воспринимается нами как красный свет. Даже находясь в основном состоянии, атомы могут оставаться химически активными. Наименее реакционноспособны атомы с полностью заполненными оболочками, подоболочками и орбиталями. Один-единственный электрон на внешней оболочке способен сделать элемент чрезвычайно реакционноспособным. Водород, литий, натрий, калий, рубидий, цезий и франций в основном состоянии имеют по одному электрону на внешней оболочке. В периодической таблице они располагаются слева. Водород при комнатной температуре — газ, а остальные перечисленные элементы — твёрдые вещества и вместе

называются щелочными металлами. Если атом щелочного металла отдаёт единственный электрон внешней оболочки другому атому, он превращается в положительный ион. Это означает, что протонов в его ядре теперь больше, чем электронов на оболочках, поэтому атом приобретает положительный заряд. Положительно заряженный ион называется катионом и притягивается к отрицательным зарядам. Фтор, хлор, бром, йод, астат и теннессин, напротив, имеют на один электрон меньше, чем нужно для полного заполнения внешней оболочки или подоболочки. Их называют галогенами, и в периодической таблице они находятся справа. В отличие от щелочных металлов они не стремятся избавиться от электрона — им, наоборот, выгодно получить ещё один. После этого атом становится отрицательно заряженным ионом — анионом — и притягивается к положительным зарядам. Что произойдёт, если встретятся атом щелочного металла и атом галогена? Металл отдаст электрон галогену, и возникнет химическое соединение. Связь, посредством которой оно образуется, называется ионной — это сильная разновидность электростатической связи. Строго говоря, вещества, образованные исключительно ионными связями, молекулами не являются, хотя в обычной речи этим различием часто пренебрегают. Хлорид натрия — химическое соединение, которое вы гораздо лучше знаете под названием поваренной соли. Хлорид натрия можно получить, смешав натрий и хлор. Атом натрия отдаёт единственный электрон внешней оболочки атому хлора, заполняя его внешнюю оболочку. Натрий становится положительно заряженным, хлор — отрицательно заряженным, и два иона притягиваются друг к другу. Когда множество ионов натрия и хлора соединяются ионными связями, образуются кристаллы соли. Если получать соль в лаборатории из металлического натрия и газообразного хлора, реакции часто требуется небольшая порция энергии для запуска. Но как только она начинается и пары атомов натрия и хлора начинают передавать электроны, реакция сама

выделяет энергию, которую можно увидеть как яркое жёлтое свечение.

Количество энергии, необходимое для запуска химической реакции, называется энергией активации. Ионные связи — лишь один тип химической связи. Другой способ соединения атомов — ковалентная связь, при которой атомы совместно используют электроны. Молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода, связанных ковалентными связями. Благодаря совместному использованию электронов каждый из трёх атомов как бы заполняет свою внешнюю оболочку. Чем больше электронов совместно используют атомы, тем прочнее ковалентная связь. Хороший пример — углерод. Два атома углерода могут соединиться, совместно используя одну, две или три пары электронов. Разорвать связь между двумя атомами углерода, соединёнными тройной связью, гораздо труднее, чем при двойной; двойную связь, в свою очередь, труднее разорвать, чем одинарную. Когда атомы элементов соединяются ковалентными связями, они образуют молекулы. Химики делят ковалентные связи на два типа: полярные и неполярные. Связь между двумя атомами углерода считается неполярной, если электроны распределены между атомами поровну. Волновая функция, описывающая вероятное положение общего электрона, симметрична относительно двух атомов. Если бы заставить электрон проявиться в определённой точке, примерно половину времени он оказывался бы ближе к одному атому, а половину — к другому. Неполярные связи описывают случаи, когда в среднем электрон с большей вероятностью оказывается ближе к одному атому, чем к другому. Вода — один из таких примеров. Каждый общий электрон чаще оказывается ближе к атому кислорода, чем к атому водорода. Из-за этого некоторые участки молекул приобретают частичный положительный или отрицательный заряд. Такие заряженные участки называются диполями, и диполи с противоположными зарядами могут притягиваться друг к другу,

образуя слабые электростатические связи. В молекуле воды кислородный конец обычно представляет собой отрицательно заряженный диполь, потому что кислород сильнее «перетягивает» на себя общие электроны. Водородные атомы, напротив, приобретают частичный положительный заряд. Положительный заряд водорода позволяет ему образовывать слабые связи с отрицательно заряженным кислородом соседней молекулы. Такие связи называются водородными. Хотя водородные связи слабее ионных, среди электростатических взаимодействий они относительно сильны. И для жизни они совершенно необходимы. Если бы химия была устроена иначе, нас с вами просто не существовало бы. Водородные связи — причина того, почему лёд плавает на поверхности воды. В жидкой воде молекулы постоянно движутся. У них достаточно энергии, поэтому водородные связи существуют недолго, а сами молекулы непрерывно сталкиваются.

Когда вода охлаждается и теряет энергию, начинает формироваться решётчатая структура. Атомы водорода одной молекулы воды образуют водородные связи с атомами кислорода соседних молекул, в результате чего возникает двенадцатигранная решётка. Водородные связи удерживают молекулы воды на некотором расстоянии друг от друга, поэтому в твёрдом льду остаётся много пустого пространства. Именно это делает лёд менее плотным, чем жидкая вода. Без водородных связей лёд не плавал бы ни в воде, ни в вашем джин-тонике. Подобное поведение соединений встречается довольно редко. Большинство из нас почти не задумывается о свойствах воды, но на самом деле это удивительно необычное вещество. Последнее свойство атома, влияющее на его химическое поведение, — его размер: от него зависит, насколько легко атом может поделиться электроном, отдать его или принять.

Чем больше протонов и электронов содержит щелочной металл, тем легче он отдаёт внешний электрон. Поэтому калий реакционноспособнее более лёгкого натрия: единственный

электрон внешней оболочки калия удерживается слабее. У галогенов всё наоборот: легче всего принимают электрон самые маленькие атомы. Самый реакционноспособный галоген — фтор. Из-за малого размера его электроны находятся сравнительно близко к ядру, и атом фтора чрезвычайно эффективно захватывает электроны других соединений. Поэтому он реакционноспособнее своего более тяжёлого родственника — хлора. Фтор настолько химически агрессивен, что входит в состав двух самых опасных веществ на Земле.

Самая сильная известная кислота — фторсурьмая. Она представляет собой смесь двух содержащих фтор соединений: пентафторида сурьмы и фтороводорода. Самая сильная кислота, с которой мы можем столкнуться в обычной жизни, — серная, и она сама по себе весьма неприятна: способна вызвать тяжёлые ожоги кожи. Фторсурьмая кислота примерно в десять квадриллионов раз сильнее серной — это единица с шестнадцатью нулями. Она бурно реагирует почти со всем и чрезвычайно сложна в хранении. Для неё нужны сосуды из материалов вроде тефлона, которые она не способна разесть. Ещё одно чрезвычайно реакционноспособное соединение фтора — трифторид хлора. Оно состоит из трёх атомов фтора и одного атома хлора, связанных ковалентными связями. Расположение электронов делает молекулу крайне нестабильной.

Трифторидом хлора можно поджечь асбест — материал, который в середине XX века широко и весьма эффективно использовали именно для защиты от огня. Он способен воспламенить даже золу, оставшуюся после сгорания дерева. Несмотря на чудовищную реакционную способность, небольшие количества трифторида хлора применяются в ракетной технике и компьютерной промышленности. В повседневной среде безопасной считается концентрация порядка 0,1 части на миллион — то есть чрезвычайно разбавленная. Поэтому можно представить себе опасность ситуации, когда в 1950-е годы произвели около

девятисот килограммов чистого трифторида хлора. При перемещении по складу вещество случайно пролило.

Оно прожгло около тридцати сантиметров бетона и девяносто сантиметров гравия, прежде чем все молекулы успели прореагировать и пожар наконец погас.

Чрезвычайно реакционноспособные молекулы редко встречаются в природе, потому что быстро вступают в реакции с другими веществами, превращаясь в более стабильные соединения. Жизнь не использует такие взрывоопасные вещества, как трифторид хлора, 1-диазидокарбамоил-5-азидотетразол или фторсурьмяная кислота. Жизни нужна энергия, и очень активные молекулы легко вступают в реакции с её выделением, но живые организмы нашли гораздо более управляемые способы использовать химию.

Если физика — это способ Вселенной превращать энергию в атомы, то химия — способ космоса превращать элементы в жизнь. При этом жизнь весьма разборчива в выборе элементов. Железо составляет чуть меньше трети массы нашей планеты, но менее 0,01 процента массы вашего тела. Кислород — второй по распространённости элемент Земли, около 30 процентов её массы, но в организме человека его доля ещё выше — примерно 65 процентов. Кремний, магний, сера и никель относятся к наиболее распространённым элементам Земли, однако живые организмы используют их сравнительно мало: каждый составляет лишь доли процента массы нашего тела. Да, мы сделаны из звёздной пыли — но жизнь весьма избирательно выбрала, какие именно её части использовать.

Один из совершенно незаменимых для земной жизни элементов — углерод, и, вероятно, если жизнь существует где-нибудь ещё во Вселенной, он будет важен и там. По массе вы примерно на 18,5 процента состоите из углерода. В атоме углерода шесть протонов, шесть электронов и от двух до шестнадцати нейтронов. Большинство атомов углерода имеют шесть нейтронов

и относятся к изотопу углерод-12. В природе встречаются ещё два изотопа — углерод-13 и углерод-14. Углерод-14 слабо радиоактивен и распадается, превращаясь в азот-14. Именно этим свойством пользуются археологи для определения возраста древних предметов.

Все остальные изотопы углерода получены лишь в лабораториях и нестабильны. В основном состоянии у атома углерода два электрона находятся на внутренней оболочке и четыре — на второй. Поэтому он способен образовывать до четырёх ковалентных связей с другими атомами, делясь электронами. Углерод — сравнительно небольшой атом, поэтому образуемые им ковалентные связи достаточно прочны и позволяют создавать стабильные соединения. Атомы углерода могут соединяться различными способами, порождая вещества с совершенно разными свойствами. Например, при высоком давлении каждый атом углерода образует одинарные связи с четырьмя другими атомами, создавая структуру треугольной пирамиды — тетраэдр. Так возникает алмаз.

При низком давлении и подходящей температуре, напротив, образуется графит. В этом серо-чёрном веществе каждый атом углерода соединён с тремя другими с помощью сложной системы совместного использования электронов.

Так формируются плоские слои связанных атомов углерода. Эти слои лежат один над другим и удерживаются слабыми электростатическими взаимодействиями — примерно как листы в пачке бумаги. Атомы углерода способны соединяться не только друг с другом, но и образовывать ковалентные связи с атомами других элементов, включая некоторые металлы.

В природе углерод особенно часто связывается с азотом, водородом и кислородом. А поскольку он способен образовывать сразу несколько ковалентных связей, именно углерод часто становится основой огромных молекул, играющих ключевую роль в жизни. Нет молекулы, сильнее ассоциирующейся с жизнью, чем

дезоксирибонуклеиновая кислота — ДНК. Одна молекула ДНК может содержать миллиарды атомов. Каждая молекула ДНК несёт часть генетического кода, необходимого для построения организма — будь то бактерия, растение, гриб или животное. Эти молекулы достаточно стабильны. ДНК обычно не вступает в реакции с другими веществами, меняя свою атомную структуру, и это очень хорошо: в противном случае инструкция по сборке вас и меня быстро оказалась бы утрачена. Многие другие молекулы жизни тоже довольно устойчивы. Мы храним энергию в виде молекул жира, которые могут оставаться в клетках до тех пор, пока энергия не понадобится. В нужный момент жиры расщепляются. Белки — рабочие лошади жизни — тоже стабильны и способны многократно помогать проведению других реакций.

Вся химия жизни сводится к управлению реакциями: либо разрушать молекулы, чтобы получать энергию, либо использовать энергию для строительства клеток и таких структур, как кости и мозг. Как и любые химические процессы, реакции, необходимые жизни, требуют определённой энергии активации. Если молекулы легко реагируют друг с другом, энергия активации невелика. Другие реакции — например расщепление воды на водород и кислород — требуют гораздо большей энергии. После начала химической реакции может либо выделять энергию в окружающую среду, либо поглощать её. Реакция, сопровождающаяся выделением тепла и света, называется экзотермической. Реакция, поглощающая тепло, — эндотермической. Когда что-нибудь горит, происходит экзотермическая реакция. Фотосинтез — совокупность химических реакций, с помощью которых растения живут и растут, — пример эндотермического процесса, потому что он использует фотоны, частицы-переносчики энергии, для производства сахаров, необходимых растению.

Жизнь использует и экзотермические, и эндотермические реакции, а чтобы снизить энергию активации многих из них, применяет чрезвычайно изящный приём. Для этого существуют

особые вещества — ферменты. Ферменты почти всегда являются белками: длинными цепочками небольших молекул — аминокислот, — сложенными в крупные трёхмерные структуры.

В любой момент в вашем организме работают триллионы ферментов. Одни соединяют молекулы, строя ваше тело; другие расщепляют вещества пищи, высвобождая энергию, которая позволяет вам заниматься повседневными делами. Ферменты поразительны. Без них жизнь была бы невозможна. Ферменты — большие и сложные молекулы причудливой трёхмерной формы. У них могут быть углубления, каналы и выступы самых необычных очертаний. Небольшая группа аминокислот внутри такой структуры образует так называемый участок связывания — особую область, характерную для конкретного фермента, где и происходит ускоряемая им химическая реакция. Участок связывания позволяет ферменту образовывать электростатические связи с определённым веществом, участвующим в реакции. Катализатором называют любое вещество, способное ускорять химическую реакцию. Делает оно это, облегчая запуск реакции — то есть снижая энергию активации. Ферменты — главные катализаторы, которыми пользуется жизнь, хотя катализаторы важны и в неорганической химии. Молекула, которую фермент расщепляет или преобразует, называется субстратом, и фермент изменяет её форму. Одни ферменты проводят реакцию самостоятельно, другим помогают дополнительные молекулы — кофакторы. Фермент связывается с субстратом, снижает энергию активации, запускает реакцию, а затем высвобождает конечные продукты. Это могут быть строительные материалы для тела, топливо для клеток или молекулы, от которых организму нужно избавиться. Сам фермент химически не изменяется и остаётся цел, благодаря чему может снова и снова — и снова — катализировать ту же реакцию. Субстрат способен присоединиться к активному участку фермента только определённым образом. У некоторых ферментов субстрат идеально входит в этот участок — почти как

элемент трёхмерной головоломки. В других случаях субстрат, фермент или оба одновременно ненадолго слегка меняют форму, чтобы обеспечить плотное соединение. Обычно связывание происходит за счёт водородных или других слабых электростатических связей. Однако некоторые ферменты временно образуют неполярные, а иногда и полярные ковалентные связи. После того как активный участок и субстрат соединяются, запускаются процессы, ведущие к реакции. Некоторые из них связаны с настолько сложной химией, что выходят за рамки этой книги, но другие понять проще. Когда фермент заставляет субстрат принять необычную форму, ковалентные связи между электронами внутри субстрата оказываются под напряжением и их становится легче разорвать — либо при помощи кофактора, либо благодаря другой части белка, способной отдать или отнять протон или электрон. В других случаях фермент просто располагает субстрат таким образом, чтобы другим молекулам было легче правильно с ним совместиться и вступить в реакцию.

Каков бы ни был механизм, итог один: энергия активации снижается, а реакция ускоряется. Иногда ферменты ускоряют реакции в несколько миллионов раз. Очень наглядно это показало исследование одного древнего ископаемого. Шестьдесят восемь миллионов лет назад умерла самка *Tyrannosaurus rex*. Мы не знаем, как именно, но ей выпала невероятно редкая участь — стать окаменелостью. Что ещё удивительнее, сохранились даже некоторые участки её мышц и сухожилий. В 2007 году молекулярный палеонтолог Мэри Швейцер из Университета штата Северная Каролина исследовала эти ткани и обработала небольшую их часть ферментом коллагеназой. Фермент разрушил молекулы коллагена в мягких тканях всего за несколько часов. Коллаген — очень прочный белок, играющий важную роль в построении тела. Он содержится в коже, хрящах, сухожилиях и костях. Без коллагеназы расщепить коллаген трудно. Именно

поэтому хрящи и сухожилия остаются жёсткими и волокнистыми даже после приготовления мяса, а после смерти животного эти ткани разлагаются микроорганизмами особенно медленно. Учитывая известную прочность коллагена, сообщения Швейцера о микроскопических остатках мягких тканей, переживших десятки миллионов лет, вызвали споры сразу после публикации и остаются спорными до сих пор. Некоторым независимым исследователям удалось воспроизвести часть её результатов, другим — нет. Так наука часто и работает. Утверждения, противоречащие сложившимся представлениям, должны пройти множество независимых проверок, прежде чем будут приняты. Далеко не все специалисты по молекулярной биологии и палеонтологии готовы согласиться с выводами Швейцера и её коллег. Но, судя по тому, что я читаю по этой теме, маятник постепенно склоняется в её сторону. Всё больше учёных — и я в их числе — начинают считать эти результаты убедительными. Я решил рассказать здесь об исследовании *T. rex*, хотя его доказательная база слабее, чем у остальной науки, описанной в этой главе. Если эти результаты выдержат проверку временем, они покажут, что фермент способен запустить реакцию в субстрате, который оставался стабильным почти семьдесят миллионов лет. Ещё до работы Швейцера было известно, что коллагеназа ускоряет распад коллагена во много десятков раз. Но данные по *T. rex* позволяют предположить, что её действие может быть ещё сильнее. После того как фермент вроде коллагеназы катализировал реакцию, он должен освободить получившийся продукт. Все временные химические связи между ферментом и продуктами реакции необходимо разорвать. Иногда изменения распределения зарядов в модифицированном субстрате достаточно, чтобы продукты сами отделились и разошлись. В других случаях требуется дополнительный механизм. После реакции фермент может вернуться к исходной форме, которую имел до связывания, и этим помочь вытолкнуть новый

продукт. После этого фермент снова готов провести ту же реакцию с новой молекулой субстрата.

Химические реакции управляются электромагнитным взаимодействием. Если бы электромагнитная сила была заметно сильнее или слабее, электронные оболочки, а также положительные и отрицательные заряды катионов и анионов выглядели бы иначе — и жизнь, возможно, оказалась бы невозможной. Если бы атомы удерживали электроны сильнее или слабее, многие химические реакции вообще не происходили бы или требовали бы гораздо более высоких температур и давлений. Мы обязаны своим существованием химии. А химия работает именно так благодаря свойствам электромагнитной силы. В этой главе я лишь слегка коснулся поверхности химии, но всё же рассказал о поведении атомов, о том, как они делятся электронами и почему происходят химические реакции и образуются молекулы. Все эти процессы фундаментально необходимы для нашего с вами существования. Химия жизни не столь эффектна, как некоторые реакции с чрезвычайно активными и взрывоопасными веществами, которые мы встретили по пути, но она не менее поразительна. Учёные очень глубоко понимают работу всех четырёх фундаментальных сил природы. С большим трудом добытые знания об электромагнитном взаимодействии позволяют им предсказывать результат огромного количества реакций ещё до того, как химические вещества будут смешаны. И всё же остаются области, которые мы понимаем плохо. Химики пока не умеют легко предсказывать многие аспекты органической химии — той самой химии, на которой основана жизнь. Например, мы до конца не понимаем, как внутри живых организмов регулируется огромное количество реакций и почему они не идут непрерывно. Есть и другой вопрос, относящийся уже ко всем четырём фундаментальным силам природы, а не только к электромагнетизму: почему эти силы обладают именно такой величиной? Почему электромагнитное взаимодействие устроено

так, что электронные оболочки располагаются именно на таких расстояниях от ядра, а не ближе или дальше? Было ли неизбежно, что электромагнитная сила окажется именно такой, или это случайная особенность нашей Вселенной? Мы точно знаем одно: электромагнитное взаимодействие определяет всю известную нам химию, а без химии жизнь была бы невозможна. Но для существования жизни мало было того, чтобы «правильной» оказалась только эта сила. Нам понадобилась и гораздо более слабая гравитация — именно она позволила сформироваться нашей Солнечной системе и Земле внутри неё. К роли гравитации в нашем существовании мы теперь и перейдём.

НАШ УГОЛОК ВСЕЛЕННОЙ

Наша Вселенная поистине великолепна, но в ней есть одна вещь, которая ужасно раздражает: она настолько огромна, что шансы исследовать что-либо за пределами ближайших космических окрестностей ничтожно малы. Космический аппарат «Вояджер-1» был запущен в сентябре 1977 года, когда мне было девять лет, и летит уже более сорока пяти лет. Это самый удалённый от Земли объект, созданный человеком: сейчас он находится примерно в 24 миллиардах километров от нас. Лучу света, посланному с Земли, понадобилось бы чуть меньше суток, чтобы достичь «Вояджера-1». Но в масштабах Вселенной 24 миллиарда километров — это совсем рядом. Альфа Центавра, ближайшая к Солнцу звёздная система, находится в 4,37 светового года от нас. «Вояджер-1» летит не к Альфе Центавра, но, если бы летел, при нынешней скорости ему потребовалось бы около 80 тысяч лет, чтобы добраться туда. Наше Солнце — звезда, и вместе с окружающими его планетами оно образует звёздную систему. В нашей звёздной системе — Солнечной — всего одна звезда, Солнце. Во многих других системах звёзд больше одной, и они вращаются друг вокруг друга в сложном космическом танце. Например, система Кастора состоит из шести звёзд. Звёздные системы вроде Солнечной системы или системы Кастора объединяются в галактики. Наша родная галактика — Млечный Путь. В ней не менее 100 миллиардов звёзд, а возможно, и все 400 миллиардов. Каждая звезда, мерцающая на ночном небе и видимая невооружённым глазом, находится внутри нашей галактики. В ясную безлунную ночь невооружённым глазом можно увидеть и ближайшую к нам галактику, но различить в ней отдельные звёзды без мощного телескопа невозможно. По оценкам, в наблюдаемой Вселенной около триллиона галактик, и между ними лежат громадные пространства космической пустоты. Это немыслимое количество звёзд и невероятное количество

космических миров, куда мы не можем ни отправиться, ни даже нормально связаться. Если где-то существуют разумные инопланетяне, им пришлось бы находиться по космическим меркам совсем близко, чтобы узнать о нашем существовании. Около 125 лет назад, в 1897 году, Гульельмо Маркони передал первое радиосообщение: «Вы меня слышите?» Если бы какая-нибудь инопланетная цивилизация в тот момент прислушивалась к радиосигналам, поймала это сообщение и немедленно ответила: «Да, мы вас слышим», то для того, чтобы мы получили ответ примерно сейчас, она должна была бы находиться не дальше чем в 62,5 светового года от Земли. Радиоволны распространяются со скоростью света, поэтому сигнал Маркони достиг бы самых удалённых инопланетян, способных его услышать, примерно в 1959 году, а их ответ как раз сейчас приближался бы к Земле.

В пределах 62,5 светового года от нас находится около 15 тысяч звёзд. И ни от одной из этих систем мы пока не слышали ничего разумного. Даже в самом благоприятном случае разговор с инопланетянами на их родной планете займёт не годы, а поколения. Существует один радиосигнал, который астрономы зафиксировали и который, возможно, исходил от внеземной цивилизации. Его называют сигналом «Wow!». В 1977 году его зарегистрировал радиотелескоп Университета штата Огайо. Астроном Джерри Эйман написал на бумажной распечатке сигнала «Wow!» — «Ого!» — и название прижилось. Сигнал совершенно не похож на первое радиосообщение Маркони. Это была волна такого типа, что ничего подобного с тех пор так и не удалось обнаружить. В 2012 году человечество ответило на сигнал «Wow!», отправив 10 тысяч твитов в сторону созвездия Стрельца, откуда он пришёл. Если сигнал действительно послали инопланетяне, будем надеяться, они не решили, что мы их троллим. Лично я буду сомневаться, что «Wow!» служит доказательством внеземной жизни, пока мы снова не получим такой же или похожий сигнал и не исключим другие возможные объяснения. Огромные

расстояния между звёздными системами расстраивают меня потому, что мне страшно хотелось бы узнать, насколько распространена во Вселенной жизнь — и особенно разумная жизнь. То, что мы пока не встретили инопланетян, вовсе не означает, что их нет. Даже если за всю историю каждой галактики разумная жизнь в среднем возникала бы всего на одной планете, это всё равно означало бы существование примерно триллиона планет с цивилизациями в наблюдаемой Вселенной. И мы могли бы никогда об этом не узнать. Судя по всему, мне не суждено навещать инопланетян на других планетах. К счастью, и на нашей собственной планете есть на что посмотреть. История Земли удивительна, и она создала немало мест поистине захватывающей красоты. Одно из моих любимых мест на Земле — горный массив Бангл-Бангл в Западной Австралии. Я буквально помешался на этом уголке планеты ещё студентом. Это было в конце 1980-х, и мы с друзьями увлечённо смотрели австралийскую мыльную оперу *Соседи*. Одна из героинь, Хелен Дэниелс, время от времени объявляла, что едет рисовать в Бангл-Бангл — вероятно, всякий раз, когда актрисе Энн Хэдди, исполнявшей эту роль, требовался отдых. Я просто не поверил, что место с названием Бангл-Бангл действительно существует, и отправился в библиотеку выяснять. Потратив куда больше времени, чем рассчитывал, — времени, которого у меня и так почти не оставалось из-за приближавшихся экзаменов, — я выяснил, что Бангл-Бангл представляет собой древний горный массив из полосатых куполообразных холмов, похожих на пчелиные ульи, и каньонов, которые миллионы лет вытачивали ветер, вода и песок.

Европейцы впервые увидели эту местность только в 1983 году, когда над ней пролетала съёмочная группа, а через четыре года здесь создали национальный парк. Местный народ гиджа посещал Пурнулулу — так они называют этот горный массив, и именно это название сегодня считается правильным — уже более 20 тысяч лет, а возможно, и гораздо дольше. Мне потребовалось тридцать лет,

чтобы наконец добраться до Пурнулулу. В 2018 году, отмечая пятидесятилетие, я приехал туда с женой Соней и детьми Софи, Джорджией и Люком. Чтобы попасть туда, мы летели из Лондона всё меньшими и меньшими самолётами: сначала в Сингапур, затем в Дарвин, потом в Кунуарру, а последний отрезок преодолели на восьмиместном винтовом самолёте, который высадил нас на песчаной взлётной полосе, торжественно именуемой аэропортом Пурнулулу, неподалёку от гор. Хотя на то, чтобы посетить этот объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, у меня ушло три десятилетия, человек, которому посчастливилось работать в парке, сообщил мне, что я, похоже, стал жертвой австралийской туристической рекламной кампании. После создания национального парка в 1987 году Австралийское туристическое управление захотело привлечь туда посетителей. И хотя мне не удалось независимо подтвердить эту историю, говорят, что упоминания Бангл-Бангл в репликах Хелен Дэниелс специально включили в сериал именно как часть рекламной кампании. Куполообразные холмы Пурнулулу испещрены оранжевыми и чёрными полосами и стоят перед горами, которые сегодня поднимаются всего на 575 метров над окружающей равниной. Эти горы прорезаны каньонами, которые формировались миллионы лет. История массива началась в эпоху, когда господствующими наземными животными были земноводные, задолго до появления млекопитающих. Примерно 350–375 миллионов лет назад на дне реки или озера один за другим накапливались слои осадочных пород. Со временем они спрессовались и превратились в пласты песчаника. Затем движение огромных блоков земной коры — тектонических плит — вызвало геологические процессы, которые подняли песчаник вверх и сформировали грандиозный горный массив. Постепенно его разрушали дожди, ручьи, ветер и перепады температур — так возник Пурнулулу. Оранжево-чёрные полосатые холмы оказались той частью древнего массива, которая сильнее всего подвергалась

воздействию ветров, дующих со стороны нынешней пустыни Симпсон, поэтому именно они разрушены больше всего. Считается, что полосы появились из-за разного содержания глины в осадочных слоях песчаника, из которых сформировались горы. Чем больше глины содержалось в осадке, тем больше воды удерживала порода, а во влажных слоях живут цианобактерии — фотосинтезирующие микроорганизмы. Толщина полос составляет всего несколько миллиметров, поскольку цианобактериям для жизни нужен свет, а он не проникает глубоко в камень. В более сухих слоях породы бактерии жить не могут. Таким образом, полосы отражают чередование влажных и засушливых периодов, происходивших на протяжении примерно 25 миллионов лет почти 400 миллионов лет назад в древнем озере, на дне которого откладывались эти осадки.

Пурнулулу уникален для Земли. Но и сама Земля уникальна. Во всём, что мы до сих пор рассматривали в этой книге, нам почти не приходилось сосредоточиваться на событиях местного масштаба. Гравитация, электромагнетизм, слабое и сильное ядерные взаимодействия работают во всей Вселенной одинаково — или, во всяком случае, физики предполагают, что это так, поскольку все четыре силы возникли, когда Вселенная была ещё совсем крошечной, и с тех пор, как считается, не изменились. Никаких свидетельств того, что они различаются от галактики к галактике, нет. Материя распределена во Вселенной неравномерно из-за квантовых флуктуаций, возникших на самых ранних этапах её существования. Именно эта неравномерность позволила гравитации собирать вещество в звёзды и галактики. Четыре фундаментальных взаимодействия отвечают и за появление нашей планеты, и за Солнечную систему, в которой мы живём. Но чтобы понять, как возник именно наш маленький уголок Вселенной, теперь нужно посмотреть на происходящее гораздо более локально. Когда мы пытаемся понять, как образовались Солнечная система и Земля, становится важным, как именно

распределялось вещество в наших космических окрестностях. Было ли неизбежно, что именно здесь сформируется звезда размером с наше Солнце? Было ли неизбежно, что вокруг неё появятся планеты на тех орбитах, которые мы сегодня наблюдаем на ночном небе? Каждая звезда немного отличается от других. Каждая планетная система и каждая галактика тоже уникальны. Чтобы появились мы с вами, именно в нашем уголке космоса должна была сложиться нужная последовательность событий, благодаря которой образовалась планета, где жизнь смогла возникнуть, эволюционировать и в конце концов породить разумный вид. В этой главе я в основном расскажу о том, что мы знаем о возникновении наших местных условий, и главным действующим лицом здесь станет гравитация. Но прежде нужно заполнить один пробел. Все фундаментальные силы, первые звёзды, тяжёлые элементы и первые молекулы уже существовали, когда Вселенной было всего несколько сотен миллионов лет. Вселенная возникла 13,77 миллиарда лет назад. А наша Солнечная система сформировалась лишь 4,6 миллиарда лет назад. Что же происходило в промежутке — все эти миллиарды лет? Галактики начали формироваться около 13,6 миллиарда лет назад и располагаются по Вселенной группами и скоплениями. Млечный Путь входит как минимум в число пятидесяти четырёх галактик Местной группы. Местная группа, в свою очередь, входит примерно в сотню групп, составляющих сверхскопление Девы. А сверхскопление Девы находится в окрестностях ещё более грандиозного сверхскопления Ланиакея, включающего около 100 тысяч галактик. Самые маленькие из этих галактик содержат всего порядка тысячи звёзд. Самые большие — сто триллионов и больше. Галактики движутся. Все они вращаются вокруг некоторого центра — следствие того, что изначально образовались из огромных облаков водорода, которые гравитация стягивала воедино.

В среднем галактики также удаляются друг от друга по мере расширения Вселенной. Однако внутри скоплений, таких как

Местная группа, отдельные галактики могут двигаться навстречу друг другу. И могут сталкиваться. Астрономы обнаружили в Млечном Пути около 30 тысяч звёзд, орбиты которых направлены противоположно движению большинства звёзд нашей галактики. Учёные пришли к выводу, что эти звёзды когда-то принадлежали другой галактике, которая много эонов назад столкнулась с Млечным Путём. Расчёты траекторий Млечного Пути и галактики Андромеды — нашего близкого соседа, расположенного всего в 2,5 миллиона световых лет от нас, — показывают, что примерно через 4,5 миллиарда лет они столкнутся. Хотя все галактики начали формироваться примерно одновременно, умирают они в разном возрасте. Космический телескоп «Хаббл» — удивительный аппарат на орбите Земли, благодаря которому мы многое узнали о Вселенной, — обнаружил шесть галактик, которые погибли к тому времени, когда самой Вселенной исполнилось всего 3 миллиарда лет. По неизвестным причинам они израсходовали весь водород и больше не могли образовывать новые звёзды. Большинство галактик, напротив, продолжают рождать звёзды и сегодня, хотя с разной скоростью. В некоторых галактиках много тяжёлых элементов вроде железа: значит, там успело смениться много поколений звёзд. В других тяжёлых элементов мало — там идёт лишь первое или второе поколение звездообразования. Даже внутри Млечного Пути одни области богаче металлами и кислородом, чем другие, а это означает, что разные части одной и той же галактики тоже имеют различную историю. Большинство первых звёзд Млечного Пути уже погибло, но новые продолжают рождаться. Некоторые области нашей галактики наполнены пылью и молекулами, оставшимися после смерти прежних звёзд, а также огромными количествами водорода и гелия, возникших ещё в ранней Вселенной и пока не захваченных звёздами. Иногда эти колоссальные облака приводятся в движение взрывом звезды, масса которой в несколько раз превышает массу нашего Солнца. Такие сверхновые — одни из самых мощных событий во

Вселенной. Их взрывы могут заставить облака газа и пыли образовать туманности — места рождения новых звёзд. Туманность Улитка — один из ближайших к Земле подобных объектов; её свет идёт до нас около семи столетий. В таких туманностях гравитация заставляет холодные газ и пыль постепенно собираться вместе. Они нагреваются и в конце концов превращаются в новые звёзды. Такие процессы происходят по всей галактике там, где достаточно водорода. Возникают маленькие, средние и огромные звёзды — многие с планетами, некоторые без них. Если усреднить данные по изученным на сегодняшний день звёздным системам, получится, что на одну звезду приходится от одной до пяти планет. И каждая звёздная система, каждая её планета уникальна.

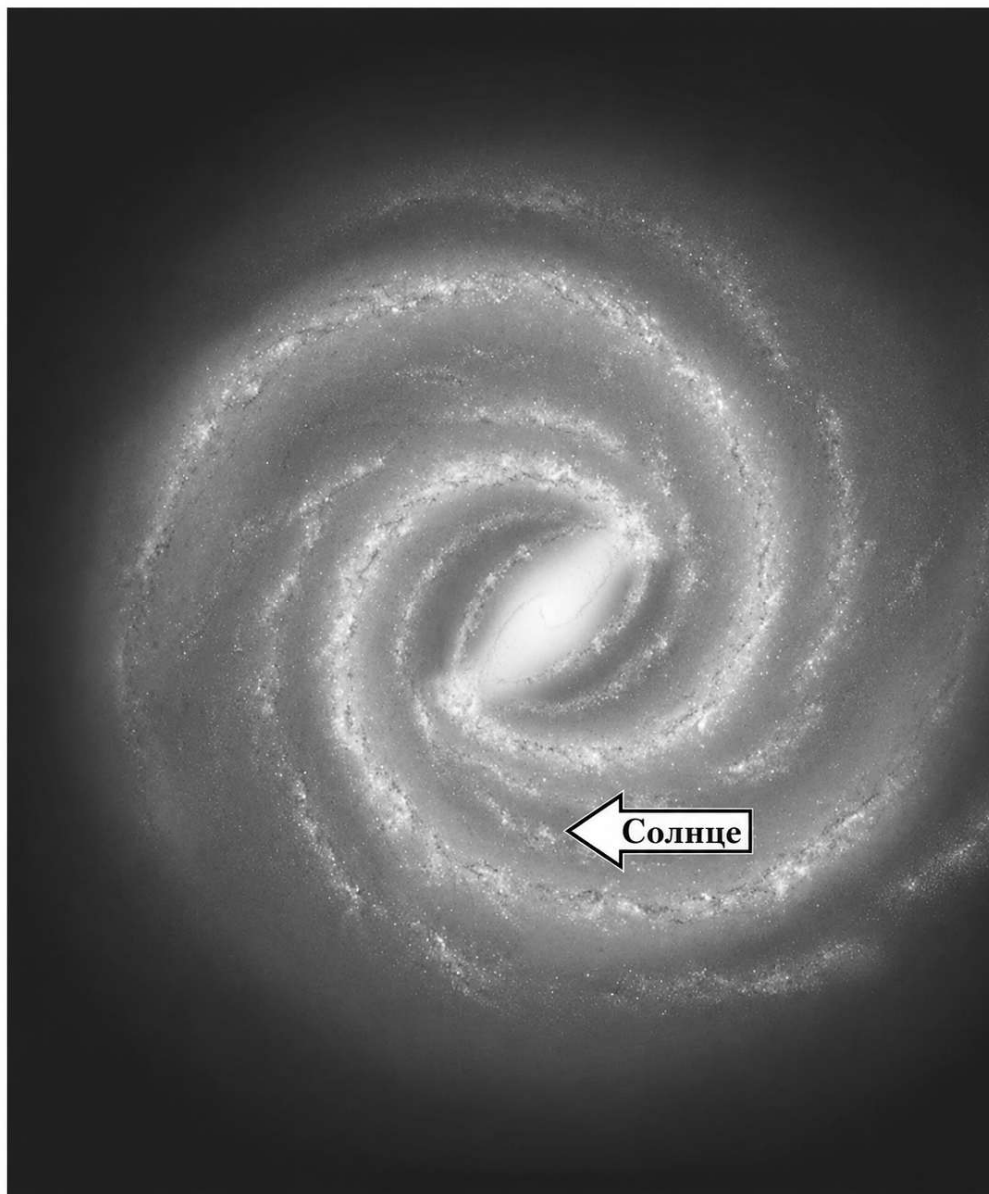
Хотя процесс их формирования определяет прежде всего гравитация, размер и состав конкретной планеты зависят от плотности и состава пыли в туманности, где она родилась, а также от силы гравитационного притяжения звезды в том месте, где планета формировалась.

У каждой звезды и каждой планеты есть своя история. А теперь — история нашей Солнечной системы. Примерно 4,9–5 миллиардов лет назад взрыв сверхновой запустил процесс формирования Солнечной системы. Если туманность, в которой возникло наше Солнце, была похожа на те, что мы наблюдаем сегодня в других частях галактики, то вместе с ним там сформировалось множество других звёзд и планетных систем. Когда молодые звёзды и их системы рождаются в туманностях, вращение Млечного Пути отправляет их в первое путешествие по орбите вокруг центра галактики. А в центре Млечного Пути находится громадная чёрная дыра массой примерно в четыре миллиона Солнц. Мы называем её Стрелец А*. Звёзды и планетные системы нашей галактики вращаются вокруг этой чёрной дыры — по крайней мере до тех пор, пока не окажутся ею поглощены или

не исчерпают водородное топливо и не погаснут. Стрелец А* огромен, но существуют чёрные дыры на порядок крупнее.

В начале 2023 года астрономы оценили, что чёрная дыра TON 618 примерно в десять раз массивнее. Наша Солнечная система находится в 25 640 световых годах от центра галактики. Двести пятьдесят шесть веков назад люди построили одно из первых поселений — хижины из камней и костей мамонта. Свет, покинувший Солнце во времена этих изобретательных предков, только сейчас достигает центра Млечного Пути. Неудивительно, что при таком расстоянии полный оборот Солнечной системы вокруг галактического центра занимает очень долго. Настолько долго, что учёные устали оперировать громадными числами и ввели специальную единицу времени — галактический год. Один галактический год составляет примерно 220–230 миллионов земных лет — точное значение определить трудно. Возраст Земли — около двадцати галактических лет. Первая жизнь появилась примерно 16,9 галактического года назад. А первые люди — приблизительно одну галактическую «пару недель» назад.

Положение Солнца в Млечном Пути



К моменту 4,6 миллиарда лет назад — то есть примерно 20,4 галактического года назад — наше Солнце уже сформировалось: гравитация стянула огромные количества водорода, пока не началась ядерная реакция синтеза. Солнце — безоговорочно крупнейший объект Солнечной системы и содержит около 99 процентов всей её массы. По сравнению с некоторыми объектами, о которых мы говорили в этой главе, например гигантскими чёрными дырами, Солнце крошечно. Но для нас оно колоссально.

Его диаметр в одиннадцать раз превышает диаметр Юпитера — второго по размеру объекта Солнечной системы — и в 109 раз диаметр Земли. Другие звёзды, родившиеся в той же туманности, что и Солнце, отправились по иным орбитам вокруг галактики: одни движутся быстрее, другие медленнее. Ближайшие к нам сегодня звёзды сформировались не в той же туманности, что и Земля. Мы знаем это потому, что их возраст сильно различается. Например, звезда Барнарда, относящаяся ко второй ближайшей к Земле звёздной системе, примерно вдвое старше нашего Солнца. А система Луман 16, следующая по удалённости, напротив, имеет возраст всего 600–800 миллионов лет.

Поскольку разные звёздные системы движутся вокруг галактики с разной скоростью, Альфа Центавра — наш ближайший звёздный сосед сегодня — через миллиард лет, скорее всего, уже не будет ближайшим. Подобно тому как траектории галактик внутри скоплений показывают, что каждая из них совершает собственное путешествие по Вселенной, каждая звёздная система Млечного Пути движется по своей орбите вокруг Стрельца А*. Некоторые орбиты устроены так, что звёзды снова и снова проходят сравнительно близко друг от друга. Примерно раз в галактический год наше Солнце пролетает мимо звёздных систем, с которыми уже встречалось прежде. Некоторые учёные предполагают, что такие сближения способны выталкивать метеороиды и астероиды с орбит во внешних областях Солнечной системы, направляя их ближе к Солнцу — а иногда и на траектории столкновения с Землёй.

Есть данные, указывающие, что частота ударов астероидов и метеоритов действительно растёт и падает с периодичностью, сопоставимой с галактическим годом, хотя согласны с этим далеко не все специалисты. Чтобы собрать достаточно данных и окончательно проверить гипотезу, понадобится очень много времени. В названиях космических камней легко запутаться. Я уже упоминал астероиды, метеороиды, метеоры и метеориты — но чем они отличаются? Астероид — каменный объект диаметром более одного метра, но меньше планеты. Метеороид тоже состоит из камня, однако его диаметр меньше метра. Когда метеороид входит в атмосферу Земли, он сгорает, образуя метеор — то самое явление, которое мы видим на ночном небе как «падающую звезду». Если часть метеора достигает поверхности Земли, её называют метеоритом.

При приближении к планете астероид нередко распадается на метеороиды, и тогда на ночном небе возникает метеорный дождь. Астероид, уничтоживший динозавров, полностью на метеороиды не распался, поэтому в Землю врезалась огромная глыба. Комета, в отличие от астероидов, метеороидов, метеоров и метеоритов, состоит главным образом не из камня, а из льда и пыли. При приближении к Солнцу кометы частично тают, оставляя за собой след из воды и пыли. Солнечный свет отражается от этого тающего вещества, и комета кажется ярким светящимся объектом, пересекающим небо. У нас пока недостаточно данных о других звёздных системах, чтобы понять, насколько типична наша. Возможно, системы вроде Солнечной встречаются на каждом шагу. А возможно, наша возникла благодаря настолько специфическому набору обстоятельств, что ничего подобного больше никогда не повторялось. Исследование экзопланет — планет, обращающихся вокруг других звёзд, — показывает, что сами по себе планеты очень распространены. Планеты размером примерно с Землю, находящиеся от звезды на расстоянии, где вода — ключевое для жизни химическое вещество — может оставаться жидкой,

вероятно, тоже встречаются не так уж редко. Землеподобных планет может существовать множество. Но это ещё не означает, что мы не уникальны. История Земли — важнейшее звено пути от Большого взрыва к нам с вами.

Чтобы изучить её, приходится шаг за шагом восстанавливать прошлое нашей планеты, используя весь арсенал научного метода. И здесь я сделаю небольшое отступление от истории Земли, чтобы рассказать следующую часть истории о том, как я сам стал учёным. Наука, которую мне преподавали в школе, казалась довольно скучной. Когда я поступил в университет в прекрасном кафедральном городе Йорке на севере Англии, положение сначала ненамного улучшилось. Университетскую жизнь я обожал, но на многих лекциях откровенно скучал и продолжал в основном учиться самостоятельно в библиотеке. Мне нравилось читать статьи из научных журналов.

Однажды на втором курсе биологии мы с другом сидели на заднем ряду и мешали лекции. Разговаривали чуть громче, чем следовало, и бросались бумажными шариками в приятелей. После занятия нас попросили остаться, чтобы профессор Джон Лоутон мог нас отчитать. Мне было ужасно стыдно, поэтому позднее в тот же день я пришёл в кабинет профессора Лоутона извиниться. Он спросил, почему я валял дурака. Я объяснил, что лекции кажутся мне слишком простыми, а научные статьи, которые я читаю самостоятельно, — гораздо более тонкими и интересными. Профессор Лоутон сказал, что я прав, но сначала нам всё равно приходится изучать основы, что было вполне справедливо.

Он посоветовал потерпеть: на последнем курсе исследовательские проекты будут гораздо интереснее. Он оказался прав. Но больше в Йорке я его не видел и вскоре совершенно забыл об этом выговоре.

Через год, когда учёба подходила к концу, мне нужно было решать, что делать дальше. Если не считать желания понять, почему я существую, представления о будущем у меня

практически не было. Моя тогдашняя девушка собиралась поступать в докторантуру Имперского колледжа Лондона, и я решил подать документы туда же. Я смутно представлял, что именно предполагает обучение в докторантуре, но очень тщательно подготовил заявление и отправил его. Через несколько недель меня пригласили на собеседование. В письме говорилось, что проводить его будут профессора Мик Кроули и Джон Лоутон. У меня всё внутри оборвалось. Профессор Лоутон меня узнает. Вспомнит, как я мешал на лекции. И на моей мечте об аспирантуре Имперского колледжа можно будет поставить крест. Но всё вышло совершенно иначе. Джон — впоследствии я стал называть его по имени — встретил меня словами: «Снова здравствуйте, Тим», а затем сказал, что нашу прежнюю встречу можно вообще не обсуждать. Собеседование прошло хорошо, и меня приняли. Оказалось, Джон прекрасно помнил наш разговор и был впечатлён моими замечаниями о содержании лекции и тем, сколько я читал самостоятельно. Я не стал бы советовать студентам баловаться на занятиях. Но в том случае это неожиданно принесло дивиденды. Джон и Мик решили, что частью моей докторской работы, связанной со сбором данных для крупного проекта на северо-востоке США, должны также руководить профессора Чарли Кэнэм и Стив Пакала. Тогда я этого не понимал, но Джон, Мик, Чарли и Стив представляли собой практически идеальную команду научных наставников. Не только потому, что каждый был выдающимся учёным, но и потому, что все они совершенно поразному подходили к науке. Джон — универсал: великолепный натуралист с глубоким пониманием того, как устроен живой мир. Когда я слишком увязал в мелочах собственного проекта, он постоянно говорил мне: «Отойди на шаг и посмотри на общую картину». Не думаю, что он мог представить, сколько шагов назад я однажды сделаю, чтобы написать эту книгу. Мик изучает растения и прекрасно владеет статистическими методами анализа биологических данных для проверки гипотез. Кроме того, он

талантливый преподаватель, способный увлечь статистикой даже тех, кто всегда считал себя неспособным к математике. Чарли — лесной эколог, изучающий движение питательных веществ и энергии через пищевые сети. Стив — теоретик, который строит и анализирует модели, пытаясь выявить общие закономерности. От каждого из них мне что-то передалось. В итоге я стал скорее научным универсалом, чем специалистом, отстаивающим какой-то один элемент научного метода. Их наставничество научило меня и тому, что хорошие учёные способны быть творческими, но при этом отбрасывать привлекательные идеи, если те противоречат уже установленным знаниям; менять мнение, когда данные показывают, что любимая гипотеза ошибочна; опираться на доказательства и критиковать конструктивно.

Иногда говорят, что наука продвигается вперёд «по одной смерти за раз», потому что многие учёные отказываются расставаться с глубоко укоренившимися убеждениями даже перед лицом подавляющих доказательств обратного. Мои наставники показали мне, что так бывает не всегда. Мик, например, в среднем отвергал по одной собственной гипотезе в год. После защиты докторской я работал с ним и другими коллегами на удалённом шотландском острове, где жила популяция диких овец. Каждый год перед подсчётом мы заключали пари о том, сколько овец осталось на острове. Я разработал математическую модель, которая довольно неплохо предсказывала результат. Предсказывать будущее было не самой сильной стороной Мика, но он неизменно с улыбкой признавал, что его гипотеза оказалась неверной, и, немного ворча, расплачивался. Он правильно сделал, выбрав науку. Трейдером на Уолл-стрит он, пожалуй, не блистал бы. Чтобы изучать локальную историю Земли — даже маленького её участка, — необходим весь инструментарий научного метода. Вглядываясь в далёкий космос, мы можем буквально смотреть назад во времени и видеть, что происходило в галактиках миллиарды лет назад. Но направить телескоп на древнюю Землю мы не можем. Геологи и

астрономы восстановили историю нашей планеты благодаря изобретательному применению всех составляющих научного метода.

Мне невероятно понравилось изучать эту область, когда я работал над книгой. В процессе восстановления истории Земли геологи спорили буквально обо всём — от возраста нашей планеты до вопроса, действительно ли континенты движутся. Эти споры заставляли собирать новые данные. И сегодня мы располагаем довольно подробной историей Земли. На этом короткое отступление заканчивается. Вернёмся к нашей планете. Планета, на которой мы живём сегодня, с её материками, океанами и невероятным разнообразием жизни, была такой далеко не всегда. В разные периоды прошлого поверхность Земли состояла из расплавленной породы. Иногда планета была покрыта толстым слоем льда. Бывала гораздо жарче, чем сегодня. И гораздо холоднее. На неё обрушивались метеороиды, астероиды и другие космические камни. Она даже столкнулась с планетой примерно размером с Марс. Наша жизнь слишком коротка, чтобы застать хоть сколько-нибудь значительную часть геологической эпохи. Если не считать редких землетрясений и извержений вулканов, геология Земли кажется нам стабильной и спокойной — что может даже утешать на фоне бурной человеческой жизни. Но геологическая устойчивость в масштабе человеческой жизни — иллюзия. Земля динамична и постоянно меняется. Просто скорость этих перемен ничтожна по сравнению с семью десятилетиями средней человеческой жизни. Тем не менее каждый год мой родной Оксфорд примерно на один дюйм удаляется от одного из мест, где я работаю, — Йеллоустонского национального парка.

Атлантический океан расширяется из-за тектоники плит — медленного движения огромных блоков горных пород, образующих поверхность Земли. Точно так же высокие горы Папуа — Новой Гвинеи, где мне хотелось бы работать, с каждым годом

становятся чуть выше. А Тихий океан — меньше. 4,6 миллиарда лет назад водород, другие элементы, лёд и различные молекулы в туманности, где рождалось наше Солнце, начали под действием гравитации сжиматься в огромный диск с молодым Солнцем в центре. Вероятно, диск состоял из колец, чем-то похожих на кольца современного Сатурна. Пыль и лёд внутри этих колец начали соединяться — или, пользуясь космическим термином, аккрецировать — в более крупные тела. Метеороиды размером с гальку сталкивались и слипались, пока не возникли каменные тела размером с небольшие планеты.

Столкновения и гравитация увеличивали размеры и температуру этих тел, и постепенно они объединились в несколько крупных планетезималей, вращавшихся вокруг Солнца. Планетезимали продолжали наращивать вещество из диска и в конце концов превратились в планеты. На расстоянии примерно 150 миллионов километров от Солнца образовалась расплавленная каменная масса — младенец Земля. К 4,543 миллиарда лет назад Земля уже существовала. Но привлекательной недвижимостью она тогда явно не была. Любая жизнь встретила бы на ней очень быструю и крайне неприятную смерть. Похожие процессы происходили и на других расстояниях от Солнца. Ближе всего к звезде образовались четыре каменные планеты: Меркурий, Венера, Земля и Марс.

Дальше расположились четыре гигантские планеты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Все они находятся за так называемой снеговой линией — расстоянием от Солнца, за которым вода превращается в лёд, а газообразные соединения конденсируются в твёрдые частицы, что способствует формированию планет-гигантов. Внутри этой линии аккрецировать могут главным образом более тяжёлые соединения, поэтому там формируются каменные планеты. Именно поэтому планеты, возникшие ближе к Солнцу, содержат большую долю тяжёлых элементов, чем те, что сформировались дальше. Это одна из главных причин, почему

планеты Солнечной системы так сильно отличаются друг от друга. Молодой Земле было около 40 миллионов лет, когда она столкнулась с другой планетой — Тейей.

Столкновение вновь раскалило уже понемногу остывавшую Землю, превратив её поверхность в океан расплавленной породы и выбросив громадное количество пыли и обломков в атмосферу и за её пределы. Часть вещества упала обратно на Землю. Остальное постепенно собралось вместе и образовало Луну. Молодая Луна вращалась значительно ближе к Земле, чем сегодня, — вероятно, всего в 25–30 тысячах километров. Когда появились первые океаны, приливные силы при таком близком расположении Луны должны были быть колоссальными.

Но с каждым оборотом Луна понемногу удалялась. Сегодня расстояние до неё составляет 384 400 километров. В период между 3,9 и 4,5 миллиарда лет назад столкновения небесных тел происходили значительно чаще, чем сегодня. Многие из них представляли собой удары молодых планет о многочисленные космические тела, заполнявшие Солнечную систему. Особенно важны для Земли были столкновения с метеоритами, поскольку именно с ними, по-видимому, на нашу планету попала значительная часть воды будущих океанов. Геологи находят на Земле следы древних ударов — в том числе место столкновения, положившего начало окончанию мелового периода и вымиранию динозавров. Но гораздо больше сведений о частоте древних ударов учёные получают, исследуя поверхности Луны и Марса. Следы столкновений на Земле исчезают намного быстрее, чем на Луне или Марсе. Причина в том, что на Луне и Марсе нет такой тектоники плит, нет поверхностной воды, размывающей камни, нет корней растений и бактерий, которые за тысячелетия постепенно разрушают породы. Кратеры на других небесных телах показывают: по астрономическим меркам столкновения планет, лун, астероидов и метеороидов происходят довольно часто. На Земле эту историю прочесть труднее, потому что её следы

постепенно стираются. Юпитер, пятая и крупнейшая планета Солнечной системы, сформировался примерно одновременно с Землёй. Компьютерные модели молодой Солнечной системы показывают, что вскоре после рождения Юпитер начал двигаться к Солнцу. Он остановился лишь примерно там, где сегодня проходит орбита Марса. От огненной гибели в Солнце его спас Сатурн. Орбиты двух гигантских планет вступили в сложный гравитационный танец, и в результате Юпитер и Сатурн переместились примерно туда, где находятся сегодня. Юпитер расположен примерно в три с половиной раза дальше от Солнца, чем Земля. Сатурн — ещё дальше. Эта гипотеза о многомиллионном путешествии планет в ранней Солнечной системе называется гипотезой Большого галса. Пока Юпитер совершал свой Большой галс к Солнцу и обратно, его гравитация помешала образоваться ещё одной планете. Пояс астероидов, расположенный сегодня между Марсом и Юпитером, вероятно, слипся бы в новую планету, если бы Юпитер не совершил своё путешествие внутрь Солнечной системы и обратно. Поход Юпитера также вытолкнул часть пыли, газа и обломков наружу, а часть вещества поглотил сам газовый гигант. В результате Марс оказался значительно меньше, чем мог бы быть. Без странствий Юпитера Марс мог бы превосходить Землю размерами. Но сегодня он гораздо меньше. В некоторых других звёздных системах астрономы обнаружили огромные каменные планеты, вращающиеся настолько близко к своим звёздам, что рискуют быть ими поглощены.

Возможно, Большой галс Юпитера спас Землю от подобной участи — не позволил ей набрать слишком много вещества и приблизиться к Солнцу. Мы привыкли считать Солнечную систему почти неподвижной. На протяжении человеческой жизни — и даже нескольких миллионов лет — это действительно почти так.

Но на гораздо больших временных масштабах Солнечная система очень динамична, и поведение одной планеты влияет на

остальные. Если бы молодой Юпитер не совершал своих странствий, Земля, возможно, не закрепились бы на орбите в обитаемой зоне — диапазоне расстояний от звезды, где вода может оставаться жидкой, а не превращаться полностью в пар или лёд. Без необычной орбиты молодого Юпитера Земля, возможно, не удержалась бы в обитаемой зоне. И жизнь могла никогда не появиться. Один оборот Земли вокруг Солнца занимает 365,24 дня — земной год. Планеты, расположенные ближе к Солнцу, совершают оборот быстрее. Те, что дальше, — медленнее. Нептуну, самой удалённой планете, требуется почти 165 земных лет. Плутон, который в моём детстве считался планетой, но затем был разжалован до карликовой планеты, поскольку выяснилось, что он не смог очистить окрестности своей орбиты от других объектов, движется ещё медленнее.

Один оборот вокруг Солнца занимает у него 248 земных лет. Дальним планетам приходится не только преодолевать большее расстояние — они ещё и движутся медленнее. Меркурий летит по космосу со скоростью чуть менее 110 тысяч миль в час. Нептун — примерно в девять раз медленнее. Земля для сравнения несётся со скоростью 66 615 миль в час, что составляет около 0,006 скорости света. Расстояние между Землёй и Солнцем — около 93 миллионов миль — учёные определили как одну астрономическую единицу. Ближайший к Солнцу Меркурий обращается на расстоянии 0,387 астрономической единицы.

Нептун — чуть более тридцати астрономических единиц. На Земле есть жизнь. Но существует ли она именно потому, что наша планета находится на идеальном расстоянии от Солнца? Или жизнь могла бы существовать на других планетах и их спутниках? Этот вопрос давно интересует астрономов. Сначала они пытались ответить на него, рассчитывая диапазон расстояний от звезды, где вода способна оставаться жидкой. Первые оценки предполагали, что обитаемая зона довольно узка и Земле невероятно повезло оказаться внутри неё. Позднее её предполагаемые границы

расширились. Отправленные нами аппараты показали, что жидкая вода, вероятно, существует и на Европе — спутнике Юпитера, и на Энцеладе — спутнике Сатурна, расположенном в 9,5 раза дальше от Солнца, чем Земля. Эти открытия усложняют само понятие обитаемой зоны. Оказывается, всё зависит не только от расстояния небесного тела до звезды, но и от его атмосферы, внутренней геологии и гравитационного влияния других объектов. Марс давно считается находящимся в обитаемой зоне, но атмосфера у него очень тонкая, и жидкой воды на поверхности нет. Европа, напротив, покрыта ледяным панцирем толщиной примерно 10–15 миль.

Под ним почти наверняка скрывается океан жидкой воды глубиной от 40 до 100 миль. Он не замерзает благодаря сложному гравитационному взаимодействию Юпитера и двух других его спутников — Ио и Ганимеда. Все три спутника движутся вокруг Юпитера по вытянутым орбитам. Это вызывает приливные деформации, которые разогревают океаны и не дают им замёрзнуть. Кроме того, на Европе может происходить вулканическая геотермальная активность, дополнительно подогревающая воду.

Убедительные свидетельства существования жидкой воды на Европе и Энцеладе заставили учёных предположить, что именно эти миры являются наиболее перспективными местами для поиска жизни за пределами Земли в нашей Солнечной системе. Кто знает? Может быть, в этих океанах действительно плавают инопланетные рыбы. Большинство планет и спутников, находящихся в обитаемой зоне, жизни всё же не поддерживают. На Луне её нет. Даже если когда-то жизнь существовала на Марсе, маловероятно, что она сохранилась до наших дней. Вся земная жизнь нуждается в жидкой воде. Обычно предполагается, что и внеземным организмам — будь то одноклеточные бактерии или многоклеточные зелёные человечки — она тоже потребуется. На уровне моря вода на Земле замерзает при нуле градусов Цельсия и

кипит при ста. Но с высотой эти температуры меняются. На вершине Эвереста вода закипает уже примерно при 68 градусах Цельсия — так что приличную чашку чая там приготовить непросто.

А на дне глубочайших океанских впадин давление настолько велико, что вода может не закипать до 400 градусов Цельсия. При снижении давления понижается и температура замерзания. Поэтому, чтобы определить диапазон температур, при которых вода остаётся жидкой в конкретном месте, нужно знать давление. А на поверхности планеты давление определяется составом её атмосферы. Атмосфера планеты наиболее плотная у поверхности и постепенно разрежается с высотой. Атмосфера Земли делится на пять слоёв. У поверхности до средней высоты около 7,5 мили располагается тропосфера — слой, в котором живём мы. Именно в ней содержится подавляющее большинство — 99 процентов — водяного пара нашей атмосферы. Выше начинается стратосфера, поднимающаяся примерно до 31 мили. В ней находится озоновый слой, защищающий нас от значительной части солнечного излучения, которое способно вызывать солнечные ожоги и ошибки копирования генетического кода, приводящие к раку. Озон — молекула, состоящая из трёх атомов кислорода. Когда в 1990-х из-за человеческого загрязнения в озоновом слое появилась дыра, мы осознали, насколько далеко за пределы поверхности планеты распространяется наше воздействие. За стратосферой следует мезосфера, простирающаяся примерно до 50 миль над уровнем моря. Именно здесь большинство метеороидов, направляющихся к Земле, сгорают, превращаясь в метеоры. В верхних слоях мезосферы температура падает до -85°C .

Следующий слой — термосфера, где находится Международная космическая станция. Она поднимается примерно до 450 миль над Землёй.

Молекул здесь уже очень мало. Самый внешний слой — экзосфера. Она простирается более чем на 6300 миль над нами, и

находящиеся здесь молекулы уже могут окончательно улететь в открытый космос. Большинство спутников вращается вокруг Земли именно в экзосфере. А после её окончания до Луны остаётся ещё примерно 378 тысяч километров. Сегодня тропосфера состоит примерно из 78 процентов азота, 21 процента кислорода и 0,04 процента углекислого газа. Остальное приходится главным образом на водяной пар и аргон. Но на протяжении истории Земли состав тропосферы менялся. Во времена динозавров углекислого газа было примерно в пять раз больше, чем сегодня. Кислорода — около 27 процентов. Азота — примерно 70 процентов. Средняя влажность, вероятно, была примерно вдвое выше современной. Если бы у динозавров имелись потовые железы — а их у них не было, — они ужасно потели бы. Если вернуться ещё дальше в прошлое, нынешних атмосферных слоёв вообще не существовало. У совсем молодой расплавленной Земли атмосферы, вероятно, не было совсем.

Но после столкновения с Тейей, по мере того как планета старела и остывала, появилась атмосфера из метана, сероводорода, угарного и углекислого газа. Последний мог составлять до 10 процентов воздуха. Земля продолжала остывать, на неё часто падали метеориты, а количество воды в атмосфере увеличивалось. Примерно 4 миллиарда лет назад появились первые водоёмы и океаны. Атмосферное давление на поверхности Земли тоже менялось. Модели показывают, что около 4 миллиардов лет назад атмосфера была плотной и тяжёлой — примерно как сегодняшняя атмосфера Венеры. Затем давление в целом стало снижаться, хотя неравномерно. По некоторым оценкам, в день падения астероида, уничтожившего динозавров, атмосфера у поверхности была примерно в четыре раза плотнее нынешней. В то же время анализ крошечных пузырьков газа в породе возрастом 2,7 миллиарда лет указывает, что тогда давление могло составлять лишь половину современного. Неопределённость здесь велика, поэтому к таким оценкам следует относиться осторожно.

Изучать древнюю атмосферу непросто. Но геологи сходятся в том, что примерно 4 миллиарда лет назад температура и давление на Земле уже позволяли существовать жидкой воде. Хотя атмосфера и расстояние до Солнца играют огромную роль в существовании жидкой воды, важны и другие факторы. На Земле ночью холоднее, чем днём, поскольку тёмная сторона планеты остывает без солнечного света. На некоторых других планетах происходит то же самое. На Меркурии дневная температура превышает 450 °C. Ночью она падает до -170 °C.

Одна из причин такого гигантского перепада — продолжительность меркурианских суток. Одни сутки на ближайшей к Солнцу планете длятся 176 земных дней. Ночь продолжительностью почти три месяца вполне позволяет поверхности сильно остыть. На Венере сутки ещё длиннее — 243 земных дня. Но температура поверхности там почти не меняется между днём и ночью и держится около 465 °C. Разница между Меркурием и Венерой объясняется составом атмосферы. Чем больше в ней парниковых газов вроде углекислого газа и метана, тем труднее теплу уходить в космос. У Венеры парниковых газов гораздо больше, чем у Меркурия. У Земли их концентрация значительно ниже, чем у Венеры. Хотя человечество сейчас эту концентрацию изменяет. Если бы Земля вращалась вокруг своей оси значительно медленнее и сутки длились месяцами, дневные и ночные температуры могли бы достигать таких крайностей, что сложная жизнь, возможно, вообще не смогла бы эволюционировать.

Температуры меняются не только в течение суток, но и по сезонам и на гораздо более длинных временных масштабах. Во многих областях Земли лето и зима зависят от того, как конкретная часть планеты ориентирована относительно Солнца. И Северный, и Южный полюса проводят недели во тьме, поскольку остальная часть Земли оказывается между ними и нашей звездой. Причина в том, что Земля вращается вокруг наклонённой оси. Именно этот

наклон создаёт времена года в умеренных и полярных широтах. Орбита Луны устроена так, что мы всегда видим одну и ту же её сторону. Если бы вы жили на обратной стороне Луны, то никогда не увидели бы нашу зелёно-голубую планету. Если бы земная ось была наклонена так, что некоторые районы Земли вообще никогда не видели Солнца, весьма вероятно, что часть планеты оказалась бы непригодной для жизни.

Наклон оси планеты со временем способен меняться. У Земли угол наклона оси — или, строго говоря, её обликвитет — колеблется между 22,1 и 24,5 градуса с периодом примерно 41 тысяча лет. У Марса он меняется куда сильнее — от 15 до 35 градусов. Даже относительно небольшие изменения наклона Земли способны порождать климатические циклы. А более крайние колебания могли бы серьёзно осложнить появление жизни, особенно сложной многоклеточной.

В последние несколько миллионов лет климат Земли проходил через подъёмы и спады примерно с периодом 100 тысяч лет. Наклон оси играет здесь роль, но важны также изменения так называемого эксцентриситета земной орбиты. Когда мы представляем Землю, вращающуюся вокруг Солнца, нам обычно рисуется идеальная окружность. На самом деле это неверно. Все орбиты эллиптические. Просто некоторые эллипсы ближе к кругу, чем другие. И нам повезло: орбита Земли довольно близка к окружности. Степень её отклонения от круга и называется эксцентриситетом. Когда в ходе орбитального движения Земля оказывается дальше от Солнца, на неё поступает меньше света и температура может снижаться.

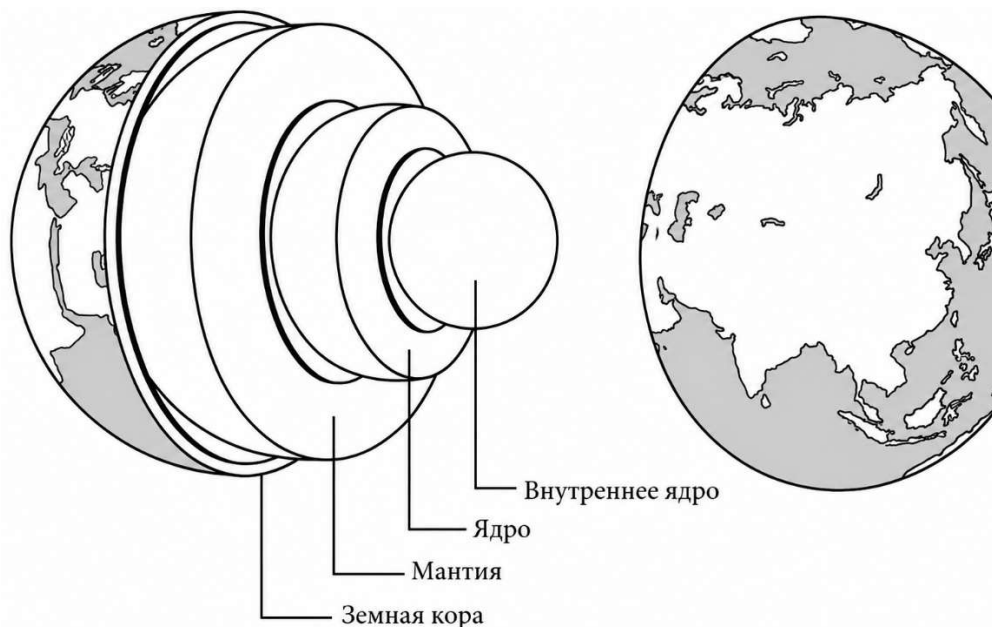
Когда орбита приводит её ближе к Солнцу — становится теплее. Эти долгосрочные колебания температуры не следует путать с ежегодной сменой зимы и лета, знакомой жителям высоких широт. Эксцентриситет земной орбиты со временем меняется. Именно это — одна из главных причин 100-тысячелетних климатических циклов, которые на протяжении последних 2,5 миллиона лет

приводили к ледниковым эпохам. Если бы эксцентриситет нашей планеты менялся сильнее, Земля, возможно, время от времени покидала бы обитаемую зону, что крайне отрицательно сказалось бы на жизни. И всё же вопреки множеству обстоятельств, которые могли этому помешать, наша планета находится в обитаемой зоне вокруг Солнца — не слишком далеко и не слишком близко. Её орбита стабильна и не слишком вытянута. Она вращается вокруг оси с такой скоростью и под таким углом, что на значительной части поверхности вода остаётся жидкой. Даже небольшие изменения этих параметров могли привести к тому, что океаны, реки и озёра никогда бы не появились. Земля могла стать ледяным шаром. Или раскалённой теплицей, где вся вода существовала бы лишь в атмосфере в виде пара. Но процветанию жизни помогли не только атмосфера над нашими головами и положение Земли в Солнечной системе. Огромное значение имеет и твёрдая земля под ногами. Земля имеет примерно шарообразную форму и состоит из нескольких слоёв — чем-то напоминая шотландское яйцо. Если вы никогда не ели шотландское яйцо — попробуйте. Это варёное яйцо, окружённое толстым слоем мясного фарша, покрытого панировочными сухарями, после чего вся эта восхитительная сфера обжаривается во фритюре. Подобно шотландскому яйцу, наша планета состоит из четырёх основных слоёв. В центре — аналог яичного желтка — находится твёрдое внутреннее ядро, состоящее главным образом из железа. Его окружает расплавленное внешнее ядро из железа и других тяжёлых металлов. В моей аналогии оно соответствует яичному белку. Именно внешнее ядро создаёт магнитное поле Земли — ещё одну важнейшую особенность нашей планеты. Вокруг него располагается мантия — аналог мясного слоя шотландского яйца. Мантия представляет собой каменистый слой из силикатов — соединений, содержащих, среди прочего, атомы кремния и кислорода. Поверх мантии лежит кора — самый тонкий слой, своего рода панировочные сухари на шотландском яйце. Сухари

делают поверхность яйца шероховатой, и можно было бы подумать, что земной аналог — горные хребты. Но есть любопытный факт. Если уменьшить Землю до размеров шотландского яйца, на ощупь она окажется гладкой, как бильярдный шар. Даже такие громадные горные системы, как Гималаи и Анды, не нарушили бы гладкости миниатюрной Земли размером с яйцо. Магнитное поле Земли работает как щит, защищающий атмосферу, и сыграло важнейшую роль в сохранении жизни.

Без жидкого металлического внешнего ядра жизнь на Земле, возможно, давно исчезла бы. Чтобы понять почему, вернёмся к Солнцу. Атмосфера есть не только у планет. Она есть и у звёзд, и Солнце не исключение. Самый внешний слой солнечной атмосферы называется короной. По причинам, которые мы понимаем лишь частично, она чрезвычайно горяча — гораздо горячее самой поверхности Солнца — и достигает температуры около миллиона градусов Цельсия. Возможно, одна из причин такой температуры связана с магнитными полями Солнца. При столь высокой температуре электроны отрываются от атомных ядер, образуя плазму из заряженных ионов. Затем солнечное магнитное поле разгоняет эти частицы до огромных скоростей. Так образуется солнечный ветер, который несётся через Солнечную систему со скоростью примерно 200–500 миль в секунду.

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ



Когда заряженные ионы сталкиваются с молекулами газа в атмосфере планеты, они могут выбивать эти молекулы в открытый космос. Марс теряет из-за солнечного ветра гораздо большую долю атмосферы, чем Земля. За последние 4 миллиарда лет солнечный ветер фактически содрал с Марса значительную часть некогда более плотной атмосферы. Сегодня марсианская атмосфера очень разрежена — от неё мало что осталось.

Однако первые полмиллиарда лет жизни Марса солнечный ветер не разрушал его атмосферу столь беспощадно. Тогда у Марса существовало магнитное поле, похожее на нынешнее земное. Магнитное поле способно отклонять солнечный ветер и тем самым защищать атмосферу от потери вещества.

На Земле солнечный ветер проникает главным образом в два верхних слоя атмосферы — термосферу и экзосферу. И иногда это создаёт потрясающие зрелища: северное и южное сияния. Эти великолепные световые явления возникают при столкновениях

разреженных газов верхней атмосферы с протонами, электронами и ядрами гелия, составляющими солнечный ветер. Парадоксальным образом сами сияния — свидетельство того, что магнитное поле Земли уменьшает скорость, с которой атмосфера уносится в космос. Возникает очевидный вопрос. Почему у Земли есть магнитное поле? И почему у Марса оно когда-то было, но так рано исчезло?

В моей аналогии с шотландским яйцом внешнее ядро Земли — это яичный белок. Оно состоит из расплавленного железа, силикатов, сульфидов — соединений серы — и неизвестного количества радиоактивных металлов. Люди, разумеется, никогда не посещали центр Земли, и многого о нём мы всё ещё не знаем. Но движение расплавленного железа во внешнем ядре создаёт то, что учёные называют динамо-механизмом. Именно он отвечает за магнитное поле планеты. Если внешнее ядро когда-нибудь затвердеет или уменьшится, магнитное поле, защищающее атмосферу, исчезнет. И атмосфера постепенно начнёт уходить в космос. Отсюда следующий вопрос: почему внешнее ядро до сих пор остаётся расплавленным?

Часть тепла сохранилась со времени формирования Земли. Аккреция вещества в молодой Солнечной системе и столкновение с Тейей породили огромные количества энергии. Когда внешние слои планеты остыли и затвердели, образовав каменную оболочку, ядро оказалось теплоизолированным и стало отдавать тепло очень медленно. Дополнительное тепло создают гравитация и распад радиоактивных металлов, хотя относительный вклад каждого механизма точно неизвестен. Таким образом, сразу несколько процессов поддерживают внешнее ядро в жидком состоянии. Пока оно остаётся расплавленным, у Земли будет магнитное поле. Внешнее ядро Марса было меньше земного, поэтому остыло и затвердело раньше. Его динамо-механизм просуществовал всего около 500 миллионов лет. После этого атмосфера Марса была обречена постепенно исчезнуть под действием солнечного ветра.

Если жизнь там когда-либо возникла, процветать так, как на Земле, ей уже не было суждено.

Расплавленное ядро делает Землю гигантским магнитом. Как и маленький магнитик на холодильнике, она имеет северный и южный магнитные полюса. Северный магнитный полюс — место, где северные силовые линии магнитного поля входят в планету, — сегодня находится в районе острова Элсмир в Канаде. Южный магнитный полюс располагается у берегов Антарктиды, со стороны Австралии. Полюса медленно блуждают. Около 600 миллионов лет назад они могли находиться ближе к экватору, чем к географическим полюсам. Много раз за историю Земли магнитное поле вообще меняло направление. Магнитный север становился югом. А юг — севером.

Историю таких переворотов можно прочесть в различных горных породах по всему миру. Учёные не обнаружили чёткой периодичности. Иногда перевороты происходят раз в 10 тысяч лет. Иногда между ними проходит 50 миллионов лет. В среднем — примерно один раз в 300 тысяч лет. Последняя смена полярности случилась 773 тысячи лет назад и могла продолжаться около 7 тысяч лет. С тех пор магнитное поле ещё примерно пятнадцать раз приближалось к новому перевороту, но полного переключения не произошло. Во время последнего переворота на Земле существовало несколько видов прямоходящих человекообразных обезьян, в том числе первые представители рода *Ното* — наши родственники, жившие в Европе. Подозреваю, они даже не заметили изменения магнитного поля и почти никак от него не пострадали. Сегодня мы бы заметили. Перемена устроила бы настоящий хаос в работе электронной техники. Магнитное поле Земли не только время от времени меняет полюса, но и колеблется по силе. Иногда оно становится мощнее. Иногда — слабее. Над расплавленным внешним ядром лежит мантия — мясной слой нашего шотландского яйца. Она состоит главным образом из минералов, образующих горные породы, на основе оксида магния

и силикатов. У этих минералов есть названия вроде оливина, граната и пироксена. Хотя мантия твёрдая, на временных масштабах в миллионы лет она движется — чрезвычайно медленно. На мантию приходится почти 85 процентов объёма Земли. Её толщина составляет не менее 1750 миль. Она очень горяча, хотя и холоднее ядра. Самая глубокая часть мантии, рядом с внешним ядром, разогрета до 4000–5000 °С. В верхней части температура значительно ниже — примерно 200–600 °С. Разница температур между верхом и низом мантии порождает движение. Горячие минералы и породы глубоко внутри планеты чрезвычайно медленно поднимаются к поверхности. Более холодное вещество возле поверхности опускается вниз. Одному фрагменту вещества могут потребоваться сотни миллионов лет, чтобы пройти от верхней части мантии до нижней. По сравнению с зонами, в течение которых разворачивается динамика мантии, человеческая жизнь — один миг. И всё же эта медленная конвекция чрезвычайно важна. Она приводит в движение тектонические плиты, а значит, вызывает землетрясения и некоторые типы извержений вулканов. Это самые драматические процессы, которые рождает сама наша планета. Но прежде чем говорить о них, нужно рассмотреть самый внешний слой Земли — панировочные сухари нашего шотландского яйца. Земную кору. Земная кора расколота на пятнадцать тектонических плит — громадных каменных блоков. Семь из них считаются основными, восемь — малыми. Под океанами кора имеет толщину примерно 3 мили. На континентах — в среднем около 20 миль. А под крупными горными системами вроде Гималаев — до 60 миль.

Наш сосед Марс не настолько раздроблен. Тектоники плит там вообще нет. Венера примерно такого же размера, как Земля, и до недавнего времени учёные полагали, что её кора намного толще земной и тоже лишена тектонической активности. Но новые данные аппарата «Магеллан» показали, что средняя толщина венерианской коры сопоставима с земной. Возможно, строение по

типу нашего «шотландского яйца» вообще характерно для каменных планет. А это означает, что однажды Землю может ожидать судьба Марса. По мере остывания нашей планеты кора будет становиться жёстче. Движение тектонических плит в конце концов прекратится. Но в обозримом будущем расколота земная кора останется динамичной. Континенты будут перемещаться. А землетрясения продолжат угрожать многим районам мира. Новая кора непрерывно образуется там, где две тектонические плиты расходятся на глубоководных хребтах. Когда плиты расходятся, из мантии поднимается расплавленная порода — магма. Она остывает и превращается в новую кору. Там, где две плиты сталкиваются, одну из них заталкивает вниз. Она постепенно плавится, входит в состав мантии и начинает долгий путь внутрь Земли. Плита, которая поднимается вверх, образует сушу. Поэтому континентальная кора толще океанической. Континентальная кора постепенно разрушается процессами, которые геологи называют выветриванием и эрозией. Повторяющееся замерзание и оттаивание воды в трещинах способно раскалывать камни. Ветер и дождь за эоны стачивают их. Кислоты, растворённые в воде, тоже участвуют в разрушении. Помогает и сама жизнь. Корни растений, грибы, бактерии и даже некоторые животные постепенно разрушают горные породы. За огромные промежутки времени эрозия способна значительно уменьшить высоту даже крупных горных массивов. Вспомните Пурнулулу, куда я ездил на своё пятидесятилетие. Тектонические плиты постоянно движутся и меняют размер и форму — в зависимости от того, быстрее ли они теряют вещество, уходя в мантию, или приобретают его за счёт образования новой коры. Если бы земная кора была толще, конвекция мантии могла бы оказаться недостаточной, чтобы раскалывать плиты и раздвигать их. И возможно, суши на нашей планете было бы очень мало — или не было бы вообще. Одно из следствий тонкой земной коры состоит в том, что на границах плит, трущихся друг о друга, накапливается напряжение. Когда оно

становится слишком большим, плиты внезапно сдвигаются. Возникает землетрясение. Земля дрожит, пока плиты перемещаются и занимают новое положение. Тектоническая активность была важнейшей частью истории суши и сыграла огромную роль в распространении и разнообразии жизни, в конечном итоге приведшем к нашему появлению. Например, 200–300 миллионов лет назад на Земле существовал единый суперконтинент — Пангея. Тектоника плит расколола его. И постепенно возникли знакомые нам материки. Распад Пангеи разделил популяции животных и растений.

Со временем многие из этих изолированных популяций расходились всё сильнее, превращаясь в совершенно разные виды на разных континентах. В современную эпоху движение тектонических плит может оборачиваться катастрофой для людей. Крупнейшее землетрясение XXI века произошло в Индийском океане 26 декабря 2004 года. Возникшее цунами унесло более 225 тысяч жизней. Пятьдесят четыре миллиона лет назад тектоническая плита, на которой находились территории современных Европы и Северной Америки, раскололась надвое. Почему это произошло, точно неизвестно. Возможно, сыграл роль вес двух континентов, которые гравитация тянула к центру планеты, одновременно с накоплением магмы в слабой области посередине плиты. Раскол древней плиты вызвал грандиозную вулканическую активность. В атмосферу были выброшены огромные массы раскаленной породы, пепла, углекислого газа и соединений серы. К счастью, такие расколы происходят редко. И не всегда сопровождаются гигантскими извержениями. Шестьдесят три миллиона лет назад раскололась другая плита — на части, где сегодня находятся Сейшельские острова и Индия. Но за шесть миллионов лет до этого регион уже пережил интенсивный вулканизм, поэтому большого запаса магмы не накопилось. Гигантского извержения, подобного тому, что произошло девять миллионов лет спустя между будущими Северной Америкой и

Европой, не случилось. Такие сравнения показывают, насколько важна локальная история. Каждое землетрясение уникально. Каждый раскол плиты и каждое вулканическое извержение происходят по-своему. Но в основе лежат одни и те же процессы: движение вещества в мантии, формирование новой коры на дне океанов, затвердевание коры и субдукция — погружение одной плиты под другую при столкновении. Эти процессы взаимодействуют и могут приводить к множеству различных геологических исходов. Специалисты по Земле добились поразительного понимания этих процессов и начинают получать удивительные сведения о других планетах. Но точно предсказывать будущие события пока очень трудно. Мы по-прежнему не умеем надёжно заранее предсказывать землетрясения или извержения вулканов. Когда возникла первая жизнь, земная атмосфера состояла главным образом из газов, выбрасываемых вулканами. В ней было много сероводорода, метана, угарного и углекислого газа. Если бы жизнь так и не появилась, современная атмосфера Земли, возможно, напоминала бы атмосферу Венеры: около 95 процентов углекислого газа и всего несколько процентов азота, кислорода и других веществ. Хотя измерять её тогда было бы некому. Точный состав древней атмосферы неизвестен. Но учёные согласны, что доля углекислого газа и метана со временем значительно уменьшилась, а содержание азота и кислорода возросло. Кислорода начало становиться больше лишь примерно 2–2,5 миллиарда лет назад.

Он выделялся как побочный продукт фотосинтеза у цианобактерий. Но долго не мог заметно накапливаться в атмосфере, поскольку сначала реагировал с другими веществами — например, окислял железо. Азота стало становиться больше примерно 4,4 миллиарда лет назад. Сегодня его так много в атмосфере потому, что он плохо вступает в реакции с другими элементами и неохотно превращается в кристаллы и минералы, образующие почву и горные породы. Поэтому в атмосфере азота

много, а в твёрдом теле планеты сравнительно мало. Кислород, напротив, часто встречается в породах, поскольку легко окисляет многие элементы. Кроме того, он входит в состав воды. Специалисты по атмосфере прогнозируют, что примерно через миллиард лет уровень кислорода в атмосфере Земли катастрофически упадёт. Это приведёт к исчезновению всей многоклеточной жизни.

Причина в том, что концентрация углекислого газа снизится до настолько малого уровня — отчасти потому, что Солнце станет горячее, — что фотосинтез, основной источник атмосферного кислорода, станет невозможен. По мере изменения атмосферы менялась и средняя глобальная температура Земли. В истории планеты было пять длительных периодов сильного похолодания — так называемых эпох «Земли-холодильника». Они продолжались миллионы лет и неоднократно сопровождались массовыми вымираниями.

Однако некоторые из этих холодных эпох одновременно становились периодами эволюционных прорывов. Стертовское оледенение продолжалось почти 60 миллионов лет в эпоху, которую называют «Землёй-снежком», и завершилось около 660 миллионов лет назад. Возможно, именно оно стало одним из катализаторов появления и последующего распространения многоклеточной жизни. В некоторые холодные эпохи ледники наступали и отступали. Но наличие крупных областей льда — постоянная черта Земли в таком состоянии. Мы и сейчас живём в эпоху «Земли-холодильника»: лёд существует на полюсах и в горах. Однако сейчас мы находимся между ледниковыми периодами, поэтому льда меньше, чем было 15 тысяч лет назад и, вероятно, будет через 50 тысяч лет. Произойдёт ли следующее оледенение или Земля вообще выйдет из нынешнего холодного режима, во многом может зависеть от того, сколько углекислого газа и других парниковых газов человечество выбросит в ближайшие десятилетия и столетия. Что именно запускает крупные

ледниковые эпохи, до конца не ясно. Причиной могут быть изменения орбиты Земли. Перемены состава атмосферы. Или даже изменения интенсивности вулканической активности. Но Земля переживала и эпохи изнуряющей жары. Примерно 85 процентов всей своей истории планета находилась в так называемом парниковом состоянии. Сегодня средняя глобальная температура составляет примерно 13,9 °C.

Во время особенно тёплых эпох она достигала 30 °C. Услышав эти цифры, можно спросить: тогда почему вокруг антропогенного изменения климата столько тревоги? Жизнь в целом, безусловно, переживёт даже быстрое повышение температуры на несколько градусов. Но многие отдельные виды — нет. Возможно, выживет и человечество. Но мы несомненно сильно страдаем, поскольку наши цивилизации хрупки и способны разрушаться. Большую часть истории климат менялся сравнительно медленно — в течение сотен тысяч или миллионов лет. Но иногда происходили намного более стремительные перемены, вызванные ударами астероидов или мощнейшими извержениями.

Сибирские траппы — след одного из периодов чудовищной вулканической активности, продолжавшегося около двух миллионов лет примерно 250 миллионов лет назад. Когда вулканы начинают извергаться в подобных масштабах, температура способна меняться весьма быстро. Слово «трапп» — геологический термин, обозначающий определённый тип вулканических пород.

Около трёх миллионов квадратных миль современной Сибири — территория примерно размером с Австралию — покрыты базальтом, возникшим в результате древних извержений. Из-под земной поверхности из-за грандиозного накопления магмы извергались огромные объёмы лавы. Эти извержения не только залили расплавленной породой громадную территорию, но и выбросили в атмосферу гигантские количества углекислого газа, других парниковых газов, пепла и обломков. Поначалу пепел и частицы в атмосфере уменьшили количество солнечного света и

вызвали похолодание. Но после того как пепел осел, углекислый газ остался. Он выводился из атмосферы растениями, осадочными породами и океаном гораздо медленнее и действовал как парниковый газ, разогревая планету. По оценкам, Сибирские траппы выбросили от 12 тысяч до 100 тысяч гигатонн углекислого газа. Одна гигатонна — миллиард тонн. Этот выброс увеличил концентрацию углекислого газа в атмосфере примерно в четыре раза. Этого оказалось достаточно, чтобы поднять температуру пермской атмосферы на 10–15 °С, а тропических океанов — до 40 °С. Извержения Сибирских траппов продолжались около двух миллионов лет, хотя основная активность могла прийтись примерно на четверть этого периода. В результате исчезли четыре из пяти видов, живших в океанах.

На суше навсегда вымерло около 70 процентов видов. Тетраподы — группа животных, к которой относимся и мы, люди, — едва не исчезли полностью. Считается, что они сохранились лишь на небольшом участке древней Пангеи. Вулканизм способен вызывать массовые вымирания, порождённые самой Землёй. Но причина самого знаменитого массового вымирания прилетела из космоса.

Если ясной ночью оказаться вдали от искусственного света и посмотреть на небо, можно увидеть падающие звёзды.

Особенно хорошо они видны в пустынях холодными ночами, когда в атмосфере мало дымки. Впервые я увидел по-настоящему тёмное ночное небо ясной холодной ночью на ферме моего тестя в сельской части Квинсленда. Это было невероятно. Млечный Путь пересекал всё небо. Повсюду сияли бесчисленные звёзды. В бинокль я смог различить другую галактику. Метеоры в верхних слоях атмосферы каждые несколько минут создавали новые падающие звёзды. Я не мог оторваться. Если бы я вырос в таком месте, возможно, стал бы заниматься космосом. Но к тому времени, когда мы с Соней познакомились, я уже был профессором зоологии. Большинство камней, летящих к Земле, малы и сгорают

в атмосфере — превращаясь в те самые метеоры, на которые я смотрю с фермы. Более крупные тела проникают глубже. 30 июня 1908 года в земную атмосферу вошёл камень массой около 100 тысяч килограммов, летевший со скоростью свыше 60 тысяч миль в час.

Так произошло событие, которое специалисты называют Тунгусским. Большая часть тела шириной примерно 50–60 метров сгорела при прохождении атмосферы. Но на высоте около пяти миль над Землёй остаток раскололся на множество фрагментов, вызвав воздушный взрыв метеороида. При столкновении с более плотными слоями атмосферы произошёл мощнейший взрыв. В случае Тунгусского события он повалил около 80 миллионов деревьев в Сибири на площади примерно 2150 квадратных километров. На этот раз человечеству повезло. Если бы взрыв произошёл над густонаселённым районом, могли погибнуть миллионы людей. Некоторые метеороиды не сгорают и долетают до поверхности. Их судьба зависит от размеров, угла входа в атмосферу и состава. В октябре 1992 года метеорит упал в городе Пикскилл, штат Нью-Йорк, и уничтожил автомобиль.

Во время прохождения атмосферы он частично разрушился. Кусок, ударивший Землю, весил 890 граммов. Он путешествовал по Солнечной системе 4,4 миллиарда лет — и завершил путь, врезавшись в багажник двенадцатилетнего Chevrolet Malibu. Действительно, важен путь, а не пункт назначения. Мне так и не удалось выяснить, смогла ли семнадцатилетняя хозяйка автомобиля Мишель Кнапп получить страховое возмещение. Подозреваю, что нет — если судить по моему собственному опыту общения со страховыми компаниями после гораздо более земных происшествий. Но слишком жалеть Мишель не стоит. Согласно Википедии, метеорит она продала за 50 тысяч долларов. Повреждённый автомобиль, который когда-то купила за 300 долларов, — ещё за 25 тысяч. Подозреваю, с тех пор она не раз рассказывала эту историю за ужином. Я бы точно рассказывал. В

нашей галактике, вероятно, существуют сотни миллиардов планет, вращающихся вокруг ста миллиардов или более звёзд.

У нас нет никаких оснований считать Млечный Путь уникальной галактикой в том смысле, что только здесь существуют планеты.

Уже появляются первые осторожные свидетельства планет, вращающихся вокруг звёзд в других галактиках. Если предположить, что планеты есть и там, то в наблюдаемой Вселенной должны существовать сотни триллионов планет. Четыре фундаментальные силы действуют по всему космосу так же, как в наших собственных космических окрестностях. Именно взаимодействие этих сил создало Землю. Но каждая планета имеет собственную уникальную историю. Она определяется локальной плотностью вещества в момент рождения, количеством дополнительного материала, который удалось присоединить по мере роста, особенностями её звезды и расстоянием до неё. При таком огромном числе планет во Вселенной было бы удивительно, если бы среди них не существовало миров, похожих на Землю. Они, конечно, будут немного отличаться. Где-то сутки и годы окажутся чуть короче или длиннее. Планета будет немного тяжелее или легче. Гравитация — чуть сильнее или слабее. Орбита — более или менее вытянутой. Наклон оси — иным. У неё будет собственная история климата и собственные столкновения с метеоритами. Но вполне возможно, что там существуют океаны жидкой воды, извергаются вулканы, есть одна или несколько лун и происходят землетрясения. Мы пока не нашли такую планету, хотя у NASA существует список перспективных кандидатов среди примерно пяти тысяч известных сегодня экзопланет. Но пять тысяч — крошечная, крошечная, крошечная доля всех планет даже одного Млечного Пути. Не говоря уже о наблюдаемой Вселенной.

Учёные, изучающие Землю и космос, восстановили историю нашей планеты, сочетая наблюдения, эксперименты и математическое моделирование и используя достижения химии,

физики и биологии. Они исследуют процессы на других планетах и в других звёздных системах с помощью телескопов. Анализируют метеориты, упавшие на Землю, и метеороиды, которые космические аппараты добыли непосредственно в космосе. Изучают поведение атомов, чтобы определять возраст горных пород. Огромную часть истории Земли удалось восстановить благодаря анализу химического состава различных слоёв пород разного возраста и попыткам понять, в каких условиях они должны были образоваться. Нам всё ещё очень многого предстоит узнать. Но одно известно точно. Примерно 4 миллиарда лет назад в одном или нескольких местах молодой Земли сложились условия, при которых появилась жизнь. Химия стала по-настоящему сложной. И именно к этой следующей части нашей истории мы теперь переходим.

Возникновение жизни

До сих пор эта книга была посвящена главным образом физике, химии и наукам о Земле — всему тому, что произошло и должно было произойти, чтобы появилась планета, на которой могла возникнуть жизнь. Теперь в следующих нескольких главах мы перейдём к наукам о живом: поговорим о том, как появилась жизнь, как она стала разнообразной и как некоторые виды дошли до невероятной сложности. Центральную роль во всей этой истории играет ДНК. Её первое удивительное свойство заключается в том, что она умеет копировать саму себя. Второе, ещё более поразительное, — ДНК способна хранить инструкции по созданию сложных объектов: белков, клеток и целых организмов, которые помогают ей размножаться. Некоторые из этих объектов устроены фантастически сложно, и одни помогают ДНК копироваться успешнее других. Эволюция — это естественный процесс, который отбирает те варианты ДНК, которые лучше всего умеют воспроизводить сами себя. Чтобы появились вы, сначала должна была возникнуть ДНК, а затем эволюция должна была отобрать такие генетические программы, которые в конце концов привели к вам и ко мне. Чтобы понять, почему это произошло, нам нужно разобраться не только в происхождении жизни, но и в том, как работает генетический код и каким образом эволюция «изобрела» многоклеточность, половое размножение, сознание и способность к сотрудничеству. Этой части пути от Большого взрыва до нас и посвящены следующие главы.

Первый шаг — понять, почему вообще возникла жизнь. Это одна из самых трудных задач науки. Сам вопрос, впрочем, сформулировать нетрудно: **как жизнь сумела самостоятельно создать первую инструкцию по собственной сборке?** У каждого живого организма есть такая инструкция — геном, — в которой записано, как построить этот организм. Но как появился самый

первый геном, содержащий инструкции по созданию живого существа? Его никто не проектировал. Он возник в результате взаимодействия молекул где-то на молодой Земле. И все живые организмы, существующие сегодня, происходят от того первого примитивного предка.

Вся жизнь использует вещество под названием дезоксирибонуклеиновая кислота — сокращённо ДНК. Полный набор ДНК отдельного организма называется его геномом, и геном есть у каждого живого существа на Земле — от крошечной бактерии до гигантского синего кита.

Каждый геном содержит инструкции по созданию организма. Ваш геном описывает последовательность шагов, благодаря которым одна-единственная клетка, возникшая при слиянии яйцеклетки вашей матери и сперматозоида вашего отца, превратилась в разумную обезьяну, способную думать, говорить, есть и читать книги. Геном моей собаки Вуфлера, в свою очередь, содержит инструкции, благодаря которым из одной оплодотворённой яйцеклетки развивается животное, которое многие считают очаровательным — несмотря на его страсть гоняться за белками и непреодолимое желание валяться во всём, что отвратительно пахнет. Эти инструкции по самосборке записаны не словами, а генами — участками ДНК, содержащими команды для производства молекул, называемых белками, без которых жизнь невозможна. С биологической точки зрения цель любой жизни, включая вашу, — оставить потомство. Ведь потомки несут ваши гены, а гены помогают им развиваться, желательно во взрослых особей, способных тоже размножаться. Жизнь в конечном счёте занимается тем, что делает копии самой себя.

Каждый геном каждого организма содержит инструкции по производству белков, необходимых самой ДНК для копирования. Но что появилось первым — геном или белки? Биологи сталкиваются здесь с классической задачей «что было раньше — курица или яйцо?», только на уровне молекул. Возникновение

жизни из неживых химических веществ называется **абиогенезом**. Исследования его механизмов чрезвычайно сложны и связаны с запутанными химическими реакциями. Учёные уже многое поняли о том, как и где могли возникнуть ключевые молекулы, необходимые жизни. Но им всё ещё не удалось полностью объяснить, каким образом эти молекулы сами собрались в первый простой одноклеточный организм. Отчасти проблема в том, что даже самый простой современный одноклеточный организм ошеломляюще сложен: он содержит более пятисот генов, производящих сотни различных белков. Эти «простые» живые существа намного сложнее самых сложных машин, созданных человеком, включая Большой адронный коллайдер в CERN. Я не стану подробно описывать химические механизмы, открытые исследователями происхождения жизни. Вместо этого сосредоточусь на том, **что именно должно было произойти, чтобы жизнь появилась**.

Жизнь возникла довольно быстро после образования Земли, а это позволяет предположить: если условия подходящие, появиться ей, возможно, не так уж трудно. Самые древние бесспорные следы жизни обнаружены в горных породах Пилбары на северо-западе Австралии и имеют возраст около 3,4 миллиарда лет. Это окаменевшие строматолиты — слоистые отложения, созданные простыми микроорганизмами, цианобактериями.

Строматолиты существуют и сегодня и, возможно, почти не изменились за последние 3,4 миллиарда лет. Их можно увидеть в заливе Шарк-Бей — всего в нескольких сотнях километров от Пилбары. Я побывал там в 2022 году — для меня это было почти паломничество. Они немного напоминают уменьшенные копии ульевидных холмов Пурнулулу, о которых я рассказывал раньше: обычно имеют куполообразную форму и полосатую структуру. Правда, состоят они главным образом из известняка, а не из песчаника, как Пурнулулу, и вырастают всего примерно до полуметра. Сегодня строматолиты — большая редкость: кроме

Австралии, они встречаются ещё на Багамах. Но когда-то были гораздо распространённые. Цианобактерии, создававшие древние строматолиты, сами произошли от ещё более простых форм жизни. Предполагается, что первые едва различимые следы жизни появились где-то в течение предшествующих пятисот миллионов лет. В породах Квебека и Гренландии обнаружены заманчивые химические признаки такого более раннего существования жизни, хотя учёные спорят о происхождении этих веществ. Точная дата рождения жизни остаётся неизвестной. Но, скорее всего, она возникла, когда Земле было всего несколько сотен миллионов лет. Вы, я, овощи в вашем салате, черви в саду и Вуфлер — все мы потомки тех древнейших форм жизни. Поэтому понять, как возникла жизнь, значит понять важнейшую часть истории того, **как и почему появились мы.**

Все организмы, которые я только что перечислил, — даже овощи из салата — невероятно сложны и состоят из огромного числа клеток. Но и самый простой современный одноклеточный организм устроен чрезвычайно сложно. Самая примитивная бактерия не возникла внезапно из ничего. Она эволюционировала из чего-то ещё более простого. Эти более простые формы давно вымерли, а ископаемых следов почти не оставили. Поэтому выяснить, какими они были, — серьёзнейшая научная задача. Пропасть между смесью органических молекул — предшественников жизни — и даже простейшей бактерией настолько огромна, что восстановить весь путь чрезвычайно трудно. Учёным пока не удалось увидеть, как жизнь возникает в лабораторной колбе из смеси химических веществ. Поэтому в вопросе о её происхождении неизбежно остаётся доля предположений. Но самые ранние формы жизни должны были подчиняться тем же эволюционным законам, которые действуют сегодня. А значит, по наблюдениям за современной жизнью можно восстановить хотя бы часть процессов, необходимых для её возникновения.

Провести чёткую границу между смесью органических молекул, из которой возникла жизнь, и первым живым существом непросто. Между неживой химией и нами с вами лежит непрерывная шкала, и решение, где именно на ней начинается «живое», в известной степени субъективно. Учёные давно спорят, где провести эту границу, потому что говорить о жизни невозможно, не дав ей определения. Моё определение, признаться, звучит недостаточно романтично для такой прекрасной вещи, как жизнь: **это система естественно возникших, способных к воспроизведению и регулируемых химических реакций, заключённых внутри мембраны и поддерживаемых внешним источником энергии.**

Попробуйте вставить это в песню. Немного разберём определение. «Естественно возникших» означает, что жизнь появилась из более простых химических реакций, а не была кем-то спроектирована, создана или запущена высшим существом. «Способных к воспроизведению» означает производство потомства. Все живые организмы стремятся делать копии себя — либо клонированием, либо половым размножением. Клон генетически идентичен родителю, а при половом размножении потомок получает половину ДНК от каждого из двух родителей. С точки зрения биологии и эволюции успех измеряется числом потомков, которых вы оставили после себя, потому что каждый из них несёт копии части вашей ДНК. С исторической точки зрения папа Иннокентий III и Чингисхан были влиятельными правителями своего времени. Но их биологическое наследие оказалось совершенно разным. Иннокентий III не оставил детей и потомков, в отличие от некоторых других пап, например Сергия III и Александра VI, у которых дети были даже во время понтификата. А вот примерно один из каждых двухсот современных мужчин, по некоторым оценкам, является потомком Чингисхана. Женских потомков у него тоже огромное количество, но из-за особенностей нашей генетики их труднее подсчитать. Никто точно не знает,

сколько детей было у Чингисхана. Официально признаны девять, но некоторые оценки говорят даже о тысяче. Вернёмся к определению жизни. Следующая его часть — «регулируемая химическая реакция». Это реакция, которую можно ускорить, замедлить или остановить. В каждый момент внутри вашего тела происходят миллионы и миллионы химических реакций. Если вы здоровы и у вас нет опухолей, каждая из них находится под контролем и протекает в определённых пределах. Эволюция создала способы замедлять или прекращать реакции, если какого-то вещества уже достаточно, и запускать или ускорять другие, если нужных молекул становится меньше, чем требуется организму. Эти реакции питаются «внешней энергией» — светом, химически активными веществами или пищей. Большинство из них происходят либо внутри клеток, либо на внешней мембране клеток — основных строительных единиц всей жизни. Каждая клетка — принадлежит ли она бактерии или многоклеточному организму вроде вас — сложна. Внутри неё непрерывно идут бесчисленные химические процессы: считывается генетический код, синтезируются белки и другие крупные молекулы. Даже у простейшей свободноживущей бактерии эти процессы управляются сотнями генов. Существуют паразитические бактерии с меньшим количеством генов, но лишь потому, что значительную часть тяжёлой работы за них выполняют клетки хозяина, которого они заражают.

В этой и следующей главах я расскажу, как жизнь появилась и распространилась по всей планете. Но прежде чем обсуждать её происхождение, полезно почувствовать, насколько сложны ключевые элементы даже простейшей современной жизни. Тогда станет понятнее, насколько грандиозна задача учёных, пытающихся объяснить, как всё это вообще возникло.

ДНК имеет фундаментальное значение для жизни. Молекула ДНК представляет собой длинную цепь, построенную из четырёх типов более мелких молекулярных блоков — нуклеотидов. Каждый

нуклеотид, в свою очередь, состоит из азотистого основания, фосфатной группы и молекулы сахара. Фосфатная группа включает три атома кислорода и один атом фосфора. Сахар называется дезоксирибозой и состоит из углерода, водорода и кислорода. Четыре азотистых основания ДНК — аденин, гуанин, цитозин и тимин. В каждом нуклеотиде одно из этих оснований соединяется с сахаром. Сами основания состоят всего из нескольких атомов углерода, азота, водорода и, за исключением аденина, кислорода. Таким образом, при всей огромной сложности ДНК построена из самых обычных атомов, просто соединённых в особой последовательности. ДНК химически довольно стабильна и малоактивна. Её важность вовсе не в том, что она участвует в химических реакциях, — почти не участвует. Главное в другом: в ней записан генетический код, инструкция по самосборке организма. Именно структура ДНК лежит в основе жизни.

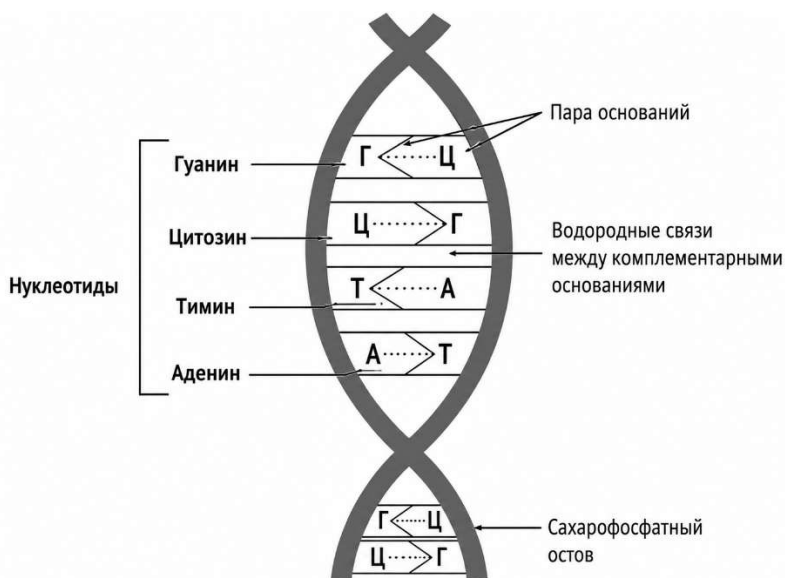
Когда учёные говорят о генетической последовательности, они имеют в виду порядок оснований вдоль цепочки ДНК. В одной цепи основания могут идти практически в любой последовательности. Биологи обычно обозначают каждое основание первой буквой его названия. Поэтому генетическая последовательность может выглядеть, например, так: **AGCGTGGCCAGTC...** и продолжаться дальше, дальше и дальше. Но когда две цепочки ДНК соединяются в знаменитую двойную спираль, появляется жёсткое правило: цитозин всегда связывается с гуанином, а аденин — с тимином. Двойная спираль удерживается водородными связями между этими парами оснований. Если мысленно раскрутить спираль, молекула ДНК будет похожа на чрезвычайно длинную лестницу. Боковые стороны лестницы образованы дезоксирибозой и фосфатами, а поперечные перекладины — парами азотистых оснований. Закрутите лестницу — и получите двойную спираль.

Некоторые участки ДНК содержат инструкции по производству белков — веществ, фундаментально важных для жизни. Каждый

такой участок называется геном. Ваш геном содержит около трёх миллиардов азотистых оснований. Значительная часть из них организована примерно в двадцать тысяч генов.

Ваш геном — это инструкция по вашей собственной сборке: код производства белков, который определил, как вы развились из оплодотворённой яйцеклетки в того человека, которым стали, и как ваше тело функционирует каждый день.

СТРУКТУРА ДНК



Белки — трёхмерные молекулы, образующиеся при сворачивании длинных цепочек более мелких молекул — аминокислот. Ген задаёт последовательность аминокислот, которые нужно соединить, чтобы получить определённый белок. Жизнь использует двадцать основных аминокислот для построения белков, хотя в природе существует гораздо больше их разновидностей. Цепочка начинается с соединения двух аминокислот, после чего к одному концу последовательно добавляются новые. Генетический код указывает, какую именно аминокислоту нужно добавить на

каждом шаге. Каждой аминокислоте соответствует комбинация из трёх оснований ДНК. Например, гистидин кодируется определённой тройкой нуклеотидов, а лейцин может кодироваться несколькими различными комбинациями.

Как и ДНК, белки обычно достаточно стабильны, и большинство из них не отличается высокой химической активностью. Вспомните коллаген тираннозавра, о котором я рассказывал раньше: он смог сохраниться около 66 миллионов лет, прежде чем его расщепил фермент коллагеназа. Некоторые белки являются ферментами — веществами, ускоряющими химические реакции. Коллагеназа как раз такой фермент. Она связывается с молекулой коллагена и облегчает её распад. При этом сама коллагеназа химически не расходуется. Всё зависит от её структуры. Структура белка позволяет молекулам коллагена легче вступить в реакцию и распасться на более мелкие части.

Белки, создаваемые генами, часто затем объединяются в ещё более сложные структуры. Например, у человека в создании коллагена участвуют сорок три гена. Ранее я сильно упростил разговор о коллагене: на самом деле в вашем организме существует двадцать восемь его разновидностей. Все они участвуют в построении тела, и все создаются из более простых белков, которые производят эти сорок три гена. Гены кодируют отдельные элементы, а затем они объединяются в сложные молекулы коллагена. То есть принцип «один ген — один белок» слишком прост. Ваш геном — и то, как построено ваше тело, — устроены значительно сложнее.

Не вся ДНК кодирует белки. Некоторые её участки работают как переключатели: включают и выключают гены и тем самым регулируют количество определённого белка. Когда биологи говорят, что ген «экспрессируется», это означает, что его информация считывается и по ней создаётся цепочка аминокислот для будущего белка. Генетические переключатели сообщают клеточным механизмам, когда включить определённый ген, а

когда выключить. В каждой клетке вашего организма какие-то гены постоянно работают, а какие-то молчат. И со временем их набор меняется.

Существуют и системы обратной связи: если определённого белка в клетке становится слишком много, это может запустить сигнал, который выключит ген, производящий этот белок. За исключением зрелых эритроцитов — необычных клеток, у которых отсутствует ядро, где хранится ДНК, — практически каждая клетка вашего тела содержит одну и ту же ДНК. Но используют они её совершенно по-разному. Различия между клетками связаны не столько с тем, какие гены у них есть, сколько с тем, **какие из этих генов включены**. Около 220 типов клеток вашего организма отличаются друг от друга потому, что в разные моменты их развития включались и выключались разные наборы генов.

Чтобы клетка кожи выполняла свою работу, у неё включён один набор генов. В клетках мозга — другой. Некоторые ваши генетические переключатели отличаются от моих. Отличаются у нас и последовательности некоторых генов. Из-за этого одни и те же белки могут производиться или работать у нас немного по-разному. Именно поэтому, хотя мы оба люди, мы не идентичны. Различия в ДНК могут определять цвет глаз и волос, рост, склонность к аллергии, сопротивляемость одним заболеваниям и уязвимость перед другими. В среднем 99,9 процента последовательности моего генома совпадает с вашей. Отличается примерно одна десятая процента.

Если же сравнить мою ДНК с ДНК Вуффлера, совпадение составит около 85 процентов. Ваш геном уникален. Ни один другой человек — живой или умерший — не имеет в точности такой же генетической последовательности. Если, конечно, у вас нет однойяцевоего близнеца. Именно уникальность генетической последовательности делает вас отличным от всех остальных. Часть этих различий возникла благодаря мутациям — ошибкам при копировании ДНК. Некоторые мутации помогают своим

носителям немного лучше выживать и размножаться. Другие почти ни на что не влияют. А третьи вызывают генетические заболевания — например некоторые формы карликовости или глазного альбинизма. Последним заболеванием страдаю и я. Это означает, что некоторые клетки на задней поверхности моих глаз не производят нормального количества пигмента. На первый взгляд звучит не слишком серьёзно. Но из-за этого я вижу примерно в четыре раза хуже человека с идеальным зрением.

Мутация пришла по материнской линии и гораздо чаще проявляется у мужчин, чем у женщин. Половину ДНК вы получили от матери, половину — от отца. Может показаться, что одна цепь вашей двойной спирали пришла от одного родителя, а вторая — от другого. Но всё устроено иначе. Ваша ДНК организована в двадцать три пары хромосом — всего сорок шесть двойных цепей ДНК. Учёные проявили поразительную фантазию и назвали их: хромосома 1, хромосома 2, хромосома 3 и так далее. У вас две хромосомы № 1, две № 2 и т. д. В каждой паре одна копия пришла от матери, другая — от отца. Пока оставим в стороне двадцать третью пару — половые хромосомы.

Каждая хромосома, которую вы получаете от родителя, сама по себе уникальна: она представляет собой смесь двух хромосом этого родителя.

Когда ваша мать производила яйцеклетку, из которой впоследствии появились вы, а отец — сперматозоид, который эту яйцеклетку оплодотворил, происходил процесс под названием мейоз. И в результате появлялись совершенно новые версии хромосом — такие, которых раньше никогда не существовало. Например, уникальная хромосома № 1 в яйцеклетке матери была создана из фрагментов обеих её хромосом № 1. То же произошло с хромосомой № 1 в сперматозоиде вашего отца. Так происходит практически с каждой хромосомой. Представьте две версии вашей хромосомы № 12 как красную и синюю нити. Положите их рядом, разрежьте обе ножницами, затем соедините верхнюю половину

красной с нижней половиной синей. Получится новая нить — новая версия хромосомы № 12. На самом деле таких разрезов может быть несколько. Каждое подобное обменивание участками называется хромосомным кроссинговером, или рекомбинацией. В среднем при образовании яйцеклетки или сперматозоида на одну хромосому приходится от одного до четырёх таких обменов, хотя у разных хромосом частота различается. Y-хромосома — особый случай. Именно поэтому потомков Чингисхана по мужской линии подсчитать легче, чем по женской. Y-хромосома почти не подвергается рекомбинации. Двадцать третья пара — это половые хромосомы. У млекопитающих они называются X и Y. У женщины две X-хромосомы. У мужчины — одна X и одна Y. То есть XX — женщина, XY — мужчина. X и Y сильно различаются по длине: Y значительно меньше X, поэтому они почти не могут нормально обмениваться участками друг с другом. X-хромосома, которую вы получили от матери, представляет собой смесь её двух X-хромосом. Но у отца только одна X. Поэтому, если вы женщина, отцовская X-хромосома передалась вам практически без изменений. Если вы мужчина, X от отца вы вообще не получили — вам досталась его Y-хромосома. Она тоже практически не смешивалась с другой. Ни у одного человека нет двух Y-хромосом, поэтому одна Y почти никогда не рекомбинирует с другой. Очень редко Y-хромосома может обмениваться участком ДНК с X или даже с другой хромосомой — но это уже ошибка копирования. Иногда такие редкие события способны стать началом долгого эволюционного пути к появлению нового вида. Но это тема для другой книги. Все предыдущие абзацы показывают: инструкция по сборке, которую представляет собой ваш генетический код, чудовищно сложна.

Позже, когда мы поговорим о происхождении пола, станет понятно, почему она устроена именно так. Пока достаточно осознать: ДНК — огромная молекула, а способ её наследования, смешивания и передачи от родителей детям весьма сложен. Когда

вы умрёте, вас как личности больше не будет. Но если у вас есть дети, часть ваших генов продолжит жить. Гены копируются и переходят из поколения в поколение. Особи умирают. Биологи проводят важное различие между репродуктивными клетками, способными объединяться и создавать первое звено следующего поколения, и всеми остальными клетками, задача которых — просто поддерживать организм достаточно долго, чтобы он успел размножиться. Репродуктивные клетки образуют **зародышевую линию**. Остальное тело называют **одноразовой сомой**. И вот что действительно поразительно: насколько невероятно сложной стала эта «одноразовая сома» у животных вроде нас. Эволюция создала генетические программы, способные собрать организмы с руками, ногами, глазами, мозгом, кожей, зубами, ногтями, миндалинами — и сознанием. Все эти признаки в конечном счёте повышают шансы того, что генетические инструкции, отвечающие за их создание, перейдут в следующее поколение. ДНК — поистине удивительная молекула. Она копирует себя, но делает это, создавая инструкции по сборке настолько разных существ, как кошки, капуста, тараканы и хламидии. Даже у одноклеточных бактерий процесс копирования ДНК сложен. Для бактериальной репликации необходимы как минимум девять ключевых ферментов и множество вспомогательных. Опустим детали. У большинства бактерий молекула двойной спирали ДНК замкнута в кольцо. Перед делением бактерии одно кольцо должно превратиться в два. Сначала специальные ферменты разъединяют двойную спираль в одной точке. Другие ферменты постепенно «расстёгивают молнию» дальше. Место, где две цепи расходятся, называется репликационной вилкой. К каждой из разделённых цепочек затем прикрепляются новые белки. На одной цепи ферменты движутся сразу следом за вилкой, считывая основания и непрерывно строя зеркальную копию. На второй цепи всё сложнее. Фермент, синтезирующий копию ДНК, умеет двигаться только в одном направлении — а здесь это направление противоположно

движению вилки. Поэтому новая цепь создаётся небольшими кусками — фрагментами Оказаки, которые затем другие белки соединяют в непрерывную цепь. Даже копирование ДНК у «простых» организмов — и слово «простых» здесь я произношу с некоторой иронией — представляет собой невероятно сложный процесс.

Он не мог просто появиться сразу в готовом виде. Но репликация — далеко не единственная сложность жизни. Производство белков по коду ДНК устроено ещё запутаннее и требует ещё одной важнейшей молекулы — РНК, рибонуклеиновой кислоты. Я не стану подробно рассказывать о РНК, но познакомить вас с ней нужно, потому что она могла сыграть ключевую роль в возникновении жизни. РНК обычно одноцепочечна. Её основа состоит из чередующихся молекул рибозы и фосфата. Вместо тимина используется другое основание — урацил. Рибоза отличается от дезоксирибозы всего одним дополнительным атомом кислорода. Урацил проще тимина. В этом смысле РНК — близкая родственница ДНК.

Метаболизм тоже дьявольски сложен и не мог возникнуть за один шаг. Наш организм получает энергию из пищи — например из сахаров вроде глюкозы — и использует её для создания так называемого протонного градиента: с одной стороны мембраны концентрируется больше протонов, чем с другой. Протоны — те самые частицы, из которых состоят атомные ядра. Затем этот градиент используется для создания вещества под названием АТФ — аденозинтрифосфат — из АДФ и фосфата. АТФ чрезвычайно важен, потому что это **универсальное топливо жизни**. У животных, включая вас и меня, протонный градиент создаётся внутри митохондрий — структур, находящихся почти во всех клетках.

Митохондрии окружены двойной мембраной. Протоны перемещаются в пространство между двумя слоями — межмембранное пространство. Именно там создаются условия для

производства АТФ. Если бы протоны могли свободно проходить через мембрану, они быстро распределились бы равномерно с обеих сторон. Но этого не происходит. Клетка специально перекачивает их из области низкой концентрации в область высокой. Для этого электроны последовательно проходят через цепочку молекул — так называемую электрон-транспортную цепь. Переходя от одной молекулы к другой, электроны меняют их электрический заряд, а это заставляет протоны перемещаться через мембрану. Жизнь буквально работает на электромагнитной силе. В конце процесса два электрона помогают перекачать через мембрану около десяти протонов, а затем вместе с кислородом и четырьмя другими протонами образуют две молекулы воды. Позже вы выведете эту воду из организма с мочой или потом. Затем клетка использует протонный градиент для создания АТФ. Положительно заряженные протоны в межмембранном пространстве притягиваются к отрицательно заряженной части белка под названием АТФ-синтаза, встроенного во внутреннюю мембрану митохондрии.

Протоны проходят через канал внутри этого белка и вращают его часть, похожую на крошечное молекулярное водяное колесо. Это вращение позволяет соединять АДФ с фосфатом и создавать АТФ. Десять протонов, перекачанных через мембрану, дают примерно две с половиной молекулы АТФ. АТФ затем используется для производства новых белков и создания градиентов других веществ, например ионов натрия и калия. Снова оказывается, что для жизни критически важна **структура белка** — в данном случае АТФ-синтазы. Это крошечное вращающееся «водяное колесо» лежит в основе производства АТФ — молекулы, питающей всю жизнь. Жизнь строит устойчивые молекулярные машины, которые делают возможными химические реакции и метаболизм, а те, в свою очередь, обеспечивают копирование ДНК. Но сама ДНК устроена так, что содержит инструкции по строительству этих же молекулярных машин. Иначе говоря, ваш организм ведёт

метаболизм, чтобы производить белки, а конечная цель всей системы — создать хромосомы, которые можно передать следующему поколению. Жизни понадобилось около четырёх миллиардов лет, чтобы прийти к вам и ко мне. И всё это время самые сложные формы становились всё сложнее. Молекулярные структуры становились разнообразнее, клетки — организованнее, а затем клетки научились работать сообща, создавая кости, почки, стволы деревьев и тела грибов. Жизнь создаёт структуры — от белков до мозга, — достаточно прочные, чтобы они прослужили целую жизнь. Для сложных организмов понадобились более крупные и сложные геномы. Инструкции по самосборке обзавелись новыми генами и новыми переключателями, а тела — новыми типами клеток. Меня восхищает сама мысль: эволюция создала инструкцию по самосборке, которая в итоге сумела собрать разумные организмы, способные понять, что такое инструкции по самосборке и как они возникли. Это знание не вызывает серьёзных споров в научном сообществе. Мы получили его благодаря научному методу. Когда я кратко пересказываю современное состояние науки, как делаю на протяжении всей книги, я неизбежно умалчиваю о колоссальном труде, стоящем за каждым открытием. Тысячи учёных проводили наблюдения, формулировали гипотезы, ставили эксперименты, анализировали данные и повторяли эксперименты коллег, чтобы убедиться в воспроизводимости результатов. Наука требует времени. Получение нового знания часто тяжело, нервно и мучительно.

Учёные такие же люди, как все остальные, и научная работа способна раздражать и разочаровывать не меньше любой другой человеческой деятельности.

Но один из важнейших элементов науки — рассказывать другим, что вы сделали, что обнаружили и как ваши результаты меняют наше понимание мира. Прежде чем вернуться к вопросу о том, как жизнь зародилась и начала путь к сложным организмам вроде нас, я коротко расскажу, как учёные сообщают о своей работе

и как возникает научный консенсус. Это поможет понять, почему вся невероятная сложность, о которой я только что говорил, считается установленным научным знанием. Быть учёным — значит уметь ясно рассказывать о своей работе. Как практикующий исследователь я должен убеждать коллег, что мои новые результаты надёжны. Учёные используют научный метод, чтобы проверить гипотезу, а затем рассказывают другим учёным о результатах — через научные статьи, которые пишутся по очень строгим правилам. Если вас когда-нибудь мучает бессонница, зайдите в Google Scholar, введите пару научных терминов и начните читать найденные статьи. Очень скоро вы встретите что-нибудь вроде: «Мы выводим уравнение, позволяющее точно разложить изменение среднего значения фенотипического признака на вклад колебаний демографической структуры, возраст-специфического отбора по выживаемости, отбора по фертильности, фенотипической пластичности и различий между значениями признаков у потомства и родителей. Приспособленность рассматривается как сумма компонентов, а не как скалярная величина; возрастная структура учитывается посредством коротких временных интервалов, подходящих для описания фенотипических изменений у видов с перекрывающимися поколениями».

И это, между прочим, из одной из моих **более доступных** статей. Неудивительно, что многих людей наука отпугивает. Когда исследование закончено, статью отправляют в научный журнал. Сначала её читает редактор. Если работа соответствует тематике журнала, её направляют на рецензирование.

Обычно от одного до нескольких экспертов тщательно изучают статью и отправляют редактору свои замечания.

Рецензенты оценивают новизну исследования, ищут ошибки в сборе данных, дизайне эксперимента, статистическом анализе или моделировании, указывают на пропущенные работы и отмечают непонятные места. В идеале цель рецензента — помочь сделать

науку лучше. Хотя иногда некоторые заходят дальше и используют рецензию, чтобы унижить автора, разрушить его уверенность в себе и, если получится, карьеру.

К счастью, большинство ведёт себя профессионально.

Но за пятнадцать лет работы редактором двух ведущих журналов своей области я видел примерно дюжину рецензий настолько агрессивных и неоправданно враждебных, что просто отменял их и удалял авторов из списка возможных рецензентов. Поскольку рецензирование обычно бесплатно, наказание невелико. Поэтому я утешал себя мыслью, что злость, которую такой рецензент испытает, увидев статью всё-таки опубликованной, станет хотя бы небольшой платой за его непрофессионализм. После публикации другие учёные начинают независимо проверять результат — особенно если он неожиданен или бросает вызов общепринятым представлениям. Если результат удаётся воспроизводить снова и снова, вес доказательств растёт, и со временем вывод принимается научным сообществом. Теория эволюции Дарвина после публикации вызвала множество споров, несмотря на то что сам Дарвин собрал огромное количество доказательств. За 165 лет после выхода *«Происхождения видов»* биологи научились измерять эволюцию, строить модели, предсказывающие её ход, и исследовать её в лабораториях и природе. Они накопили колоссальный массив доказательств естественного отбора. Эволюция столь же реальна, как гравитация и электромагнетизм. Учёные много раз пытались опровергать или пересматривать теорию, но она выдержала проверки так же успешно, как общая теория относительности Эйнштейна.

Наука продвигается благодаря тому, что постоянно **оспаривает и перепроверяет** собственные идеи. Эти два принципа прекрасно работают вместе. Неверные гипотезы постепенно отсеиваются, а верные получают всё больше подтверждений — пока, как гравитация и эволюция, не становятся фактами. Научный стиль обычно сух, точен и стандартизирован.

Некоторые рецензенты ведут себя как настоящая полиция юмора и вырезают из статьи всё, что способно вызвать улыбку. У меня однажды даже отредактировали раздел благодарностей и удалили фразу, где я благодарил коллег за «неинформированные споры».

Я пытался пошутить, но благодарность была искренней: часы разговоров с коллегами из других областей помогли мне понять, какие части исследования особенно трудно воспринимает неспециалист. И всё же иногда авторам удаётся провести шутку мимо суровых редакторов. Один из моих любимых примеров — статья 1974 года в *Journal of Applied Behavior Analysis*. Деннис Аппер опубликовал работу под названием «Неудачная попытка самолечения случая писательского блока». Вся статья состояла из одной пустой страницы. В примечании рецензента А говорилось: «Я чрезвычайно внимательно изучил эту рукопись при помощи лимонного сока и рентгеновских лучей и не обнаружил ни одного недостатка ни в дизайне исследования, ни в стиле изложения. Рекомендую опубликовать без исправлений. Несомненно, это самая краткая рукопись, которую я когда-либо видел, и при этом она содержит достаточно подробностей, чтобы другие исследователи могли воспроизвести неудачу доктора Аппера». Статьи превратились в своего рода валюту науки. В последние десятилетия всё чаще повторяют принцип **«публикуйся или исчезни»**. На некоторые университетские вакансии приходят сотни заявок, и у членов комиссий просто нет времени читать все работы кандидатов. Поэтому они смотрят прежде всего на количество и список публикаций.

В результате молодые исследователи, стремящиеся получить постоянную университетскую должность, стараются публиковаться как можно быстрее и больше. Многие мои аспиранты спрашивали: сколько статей нужно опубликовать, чтобы получить академическую работу?

В Великобритании ситуацию усиливает и государственная система финансирования университетов, которая отчасти

оценивает факультеты по количеству и качеству публикаций. Логика понятна: налогоплательщики справедливо хотят знать, куда уходят их деньги, и государству нужен простой показатель. Статьи стали таким показателем. Но есть проблема. Хорошая наука часто требует времени. А значит, множество современных статей на самом деле говорят совсем немного. Кроме того, ведущие журналы любят публиковать эффектные новые открытия и гораздо меньше заинтересованы в работах, которые просто повторяют и проверяют уже опубликованные результаты. Из-за этого научный метод, по крайней мере в моей области в Великобритании, используется не так эффективно, как мог бы.

Нужно выделять больше денег на воспроизведение результатов, а лучшие журналы должны охотнее публиковать такие исследования. Система, основанная на статьях, в целом разумна, но она привела к ещё одному странному результату: книги почти не учитываются ни при государственной оценке университетов, ни при академическом найме. В результате во многих научных факультетах искусство писать книги почти исчезло. Мне невероятно повезло работать в университете, где не настолько помешаны на количестве публикаций. Мой руководитель оценивает мою работу раз в пять лет, и от меня ждут нескольких действительно хороших исследований, а не огромной пачки слабых статей. Кроме того, меня поощряют заниматься популяризацией науки. Именно благодаря такому отношению у меня появилась возможность написать эту книгу.

После моей встречи с малярией целью жизни для меня стало понять, почему я существую. Но превратить всё, что я узнал, в популярную книгу я решил только после переезда в Оксфорд в 2013 году. Я понимал, что мне понадобится как минимум год относительно спокойной жизни, чтобы по-настоящему продвинуться в написании. Мы с Соней планировали академический отпуск на 2020 год. Но вмешалась пандемия, и пришлось отложить его. Наконец в сентябре 2021 года мы

отправились в Университет Квинсленда в Брисбене, и я начал писать. Начал я, надо сказать, совершенно наоборот. Я понятия не имел, что будет с книгой, и первоначально писал её только для своих детей. Но когда показал первые главы двум младшим — Люку и Джорджии, — они честно сказали: книга не для них и читать её они не станут. Признаюсь, я немного пал духом. Зато коллеги и друзья в Брисбене отреагировали куда теплее. Им понравилась идея, и они сказали, что с удовольствием прочли бы такую книгу.

Я продолжил. Когда первый черновик почти закончился, начал думать, что книгу, возможно, удастся издать. Разобравшись в вопросе, я понял, что у меня три варианта. Можно издать книгу самому. Но тогда пришлось бы заниматься рекламой самостоятельно, а продажи, скорее всего, составили бы десятки или в лучшем случае сотни экземпляров. Второй вариант — обратиться в академическое издательство и писать для учёных. Это стало запасным планом. Правда, тогда пришлось бы вырезать личные истории, юмор и вообще любые попытки писать красиво. Зато университетское издательство напечатало бы книгу и распространяло среди академической аудитории. Третий путь — найти литературного агента, который попыбует заинтересовать издательство научно-популярной литературы.

Тогда книгу могло бы прочитать намного больше людей. Знающие люди предупреждали, что это непросто: многим профессорам так и не удаётся найти агента. Но поскольку я изначально писал книгу для своих образованных, но не академических взрослых детей, решил рискнуть. Два первых агента вообще не ответили. Третий ответил. Мы встретились, она взяла меня в своё литературное агентство, и я был на седьмом небе. Она объяснила, что наличие полного черновика — редкость, но всё равно потребуется подготовить специальное предложение для издательства. Я написал его.

И редактор Penguin Michael Joseph согласился издать книгу. Я прекрасно знал, что произойдёт дальше. То же происходило на

каждом важном этапе моей карьеры. В ту ночь я не спал. Мне казалось, что я мошенник и этого со мной происходить не должно. Мой агент и издатель совершили чудовищную ошибку. Я совершенно не соответствовал задаче.

То же чувство я испытывал, когда получил стипендию в аспирантуре, первую университетскую должность, первый исследовательский грант, звание профессора, приглашение в Оксфорд и даже когда коллеги выбрали меня руководителем факультета. Но я уже знал, что делать. Взял Вуфлера и отправился на долгую прогулку. А затем постарался рассуждать логически. Мой агент и редактор прекрасно знают своё дело. Они работали с замечательными авторами и находятся на вершине профессии. Они поверили в меня. Значит, несмотря на сомнения, я обязан написать лучшую книгу, на какую способен, потому что и они работают ради той же цели: сделать её информативной и приятной для чтения. Продолжать считать себя самозванцем означало бы проявить неуважение к их профессионализму. И ещё я решил получать удовольствие. Я ведь тоже считаю, что живу только один раз. Так почему бы не сделать этот опыт весёлым? Теперь мне нравится невзначай вставлять в разговор фразу: «Мой литературный агент...» или «Мой редактор...» — и наблюдать за недоверчивыми лицами коллег. А после того как редактор сказал, что мой пёс скоро станет знаменитым, я придумал собственный критерий успеха книги: сколько домашних животных по имени Вуфлер я встречу в будущем. Полагаю, это будут собаки. Потому что какой идиот назовёт кота Вуфлером? Впрочем, если уж на то пошло, Вуфлер — довольно глупое имя и для собаки. Хотя после этого вы, возможно, решили, что человек, назвавший собаку Вуфлером, не слишком умён, сам я — как и вы — невероятно сложное существо.

Точнее, невероятно сложна химия, которая поддерживает во мне жизнь. До небольшого отступления о научных публикациях вы уже успели увидеть, насколько мы сложны, и наверняка теперь

задаётесь вопросом: **как же жизнь сумела собрать первую инструкцию по собственной сборке?** Точного ответа мы пока не знаем. Но идеи есть, доказательств становится всё больше, и я подозреваю, что не пройдёт слишком много времени, прежде чем учёные создадут простую форму жизни в лаборатории из смеси более простых молекул. Одна из главных задач — выяснить, какие именно молекулы находились на молодой Земле и какие условия позволили им собраться в первый живой организм. Я буду исходить из предположения, что жизнь возникла на Земле, а не прилетела из космоса. Даже сторонники внеземного происхождения жизни обычно считают, что возникла она всё равно на какой-то планете или астероиде, а не прямо в пустом космическом пространстве. Существует гипотеза под названием **панспермия**, согласно которой жизнь возникла на другой планете, а затем попала на Землю. Но панспермия не решает главного вопроса — она просто переносит его в другое место. Нужно всё равно объяснить, как жизнь появилась там. А затем ещё и понять, как она пережила путешествие между планетами. Из-за этой дополнительной сложности и недостатка знаний о химии других миров панспермией активно занимается сравнительно небольшое число исследователей. Поэтому дальше я буду исходить из того, что жизнь возникла на Земле. При этом многие органические вещества действительно образуются в космосе — например в туманностях. Их находили в метеоритах и метеороидах, а современные телескопы обнаруживали их химические следы на других планетах и в других звёздных системах. Но это пока только органические молекулы, а не самовоспроизводящаяся жизнь. Скорее всего, жизнь действительно возникла здесь, на Земле, но часть необходимого сырья получила из космоса. Формирование Земли и её выход на устойчивую орбиту в зоне обитаемости примерно в 150 миллионах километров от Солнца создали необходимые условия для появления жизни. Если спросить вас, что нужно для жизни, вы наверняка первым делом назовёте кислород.

Без него вы умрёте. Но ранней жизни кислород был совершенно не нужен. Более того, скорее всего, он был для неё ядовит. Атмосфера Земли в эпоху появления первых организмов радикально отличалась от воздуха, которым мы дышим сейчас. Первая плотная атмосфера возникла после столкновения Земли с Тейей и, вероятно, состояла главным образом из азота, углекислого газа, водяного пара и диоксида серы.

Кислорода почти не было. Молодая Земля была очень горячей, а атмосфера содержала огромное количество парниковых газов. Поэтому поверхности понадобилось время, чтобы остыть до температуры, при которой вода могла существовать в жидком состоянии. А жидкая вода была первым важнейшим условием жизни. Примерно 3,9 миллиарда лет назад Земля наконец достаточно остыла. После появления жидкой воды жизнь, по-видимому, возникла сравнительно быстро. Это означает, что первые организмы жили в мире значительно жарче современного.

Средняя температура планеты могла приближаться к температуре кипения воды, тогда как сегодня она составляет всего около 13,9 °С. Вторым ключевым условием была доступность углеродсодержащих органических молекул. Когда Земля формировалась из звёздной пыли, некоторые вещества, необходимые будущей жизни, уже присутствовали. Но столкновение, создавшее Луну, выделило колоссальное количество энергии и превратило поверхность молодой Земли в океан расплавленной породы. Такой ад уничтожил бы даже самые устойчивые органические соединения. Следовательно, необходимые жизни молекулы либо образовались на Земле уже после столкновения с Тейей, либо возникли в космосе и позже были доставлены сюда метеороидами, астероидами и космической пылью.

Убедительные свидетельства образования сложных органических веществ в космосе мы получили благодаря метеоритам. Самый знаменитый упал в конце сентября 1969 года

возле города Мерчисон в австралийском штате Виктория. Падение наблюдали люди, поэтому обломки быстро собрали, прежде чем они успели сильно загрязниться земными веществами. В метеорите Мерчисон обнаружили около семидесяти различных аминокислот — при том что жизнь использует всего двадцать, — а всего идентифицировано уже около четырнадцати тысяч различных молекулярных соединений. Исследовали и метеориты Мюррей и Тагиш-Лейк. Во всех трёх нашли азотистые основания. А в 2019 году в метеоритах обнаружили даже сахара, включая рибозу. Космические камни могут быть невероятно богаты органическими соединениями. Некоторые учёные предполагают, что метеорит Мерчисон может содержать миллионы различных органических молекул. И он очень древний — намного древнее Земли. Возраст отдельных частиц карбида кремния внутри него достигает примерно семи миллиардов лет.

Это означает, что сложные органические соединения, включая компоненты, из которых жизнь строит ДНК, РНК и белки, сравнительно легко образуются в космосе и могут попадать на Землю с пылью и метеоритами. Ещё один жизненно важный элемент — фосфор. Он входит и в ДНК, и в РНК. Фосфор сам по себе широко распространён, но на молодой Земле значительная его часть была заперта в минералах и почти недоступна будущей жизни. Нужны были соединения фосфора, которые можно было легче использовать. Часть могла прибыть с метеоритами вместе с водой и органическими веществами. Но свою роль, возможно, сыграли и молнии. В атмосфере молодой Земли грозы были частыми, а лабораторные эксперименты показывают, что удары молнии способны высвобождать фосфор из минералов и превращать его в более доступные соединения. Я подозреваю, что помогли и метеориты, и молнии.

Так или иначе, фосфор на ранней Земле существовал в формах, пригодных для использования жизнью. В ваших клетках содержится огромное количество сложных органических молекул,

включающих фосфор, углерод, кислород и азот. Химия внутри современного живого организма — вас, меня, дождевого червя или даже бактерии — радикально отличается от химии неживой окружающей среды. Внутри каждой клетки непрерывно создаются крупные сложные молекулы, например белки. А на полу или на столе химия гораздо проще. Вне организма сложные органические реакции происходят несравнимо реже. Учёные говорят, что внешняя неживая среда находится в состоянии химического равновесия.

Клетки живого организма, пока он жив, находятся в достаточно устойчивом состоянии — но оно сильно отличается от равновесия окружающей среды. Разницу между внутренней химией клетки и внешним миром можно представить как расстояние. Чем сильнее отличается состав и поведение химических веществ внутри клетки от среды вокруг, тем больше это «расстояние». У современных клеток оно огромное. А у самых первых предшественников жизни было значительно меньше. Физически и химически невозможно мгновенно создать клетку, настолько отличающуюся от окружающей среды, как ваши нынешние клетки отличаются от неживого мира. Следовательно, ранняя жизнь должна была возникнуть в среде, уже богатой нужными веществами. Со временем она становилась всё эффективнее, лучше захватывала и использовала ресурсы, а разница между химией внутри и снаружи клетки увеличивалась. По мере развития жизни это расстояние становилось всё больше.

Следующий вопрос — как органические молекулы, вода и соединения фосфора смогли накопиться в достаточной концентрации, чтобы возникла примитивная клетка? Существует несколько конкурирующих гипотез. В двух наиболее популярных центральную роль играют вулканы. Согласно одной версии, жизнь могла возникнуть возле гидротермальных источников на дне океана. Там органические соединения концентрировались в крошечных порах вулканических пород. Согласно другой версии,

всё произошло в пресноводных гидротермальных районах вроде современных Йеллоустона, Исландии или Японии.

Дождь приносил органические вещества, вода испарялась, а циклы намокания и высыхания или мощные приливы, создаваемые Луной, концентрировали вещества в небольших лужах. Пока учёным не удалось окончательно исключить ни пресноводный, ни морской сценарий. Возможно, по мере развития органической химии станет ясно, что жизнь могла возникнуть только в одном типе среды. Но где бы это ни произошло, следующим шагом должна была стать особая сложная реакция — **автокаталитическая**. Автокаталитическая реакция включает нечто вроде самокопирования. Представим простейший пример. Положим в колбу равные количества двух веществ — назовём их А и В. После реакции обнаружим, что осталось только В. В в данном случае — автокатализатор. Одна молекула В способна превратить одну молекулу А в новую молекулу В. Катализатор — это вещество, облегчающее реакцию. А приставка «авто-» означает, что В при наличии подходящего сырья — в данном случае А — создаёт копии самого себя. Начинаем с одной А и одной В. Получаем две В.

Возможно, ещё образуется какой-нибудь отход. Реакция может выделять тепло или, наоборот, требовать энергии. Это зависит от химических свойств А и В. Жизнь — чрезвычайно сложная форма автокаталитической реакции. Можно заменить А на добычу, а В — на хищника. Лев съедает зебру и использует энергию её мяса и костей, чтобы произвести львят. Львы будут делать это до тех пор, пока зебр или другой добычи не станет мало. Я далеко не первый, кто заметил сходство. Уравнения, которыми химики описывают некоторые автокаталитические реакции, практически совпадают с уравнениями, которыми экологи описывают отношения хищников и жертв. Мы не знаем, какой именно автокаталитический процесс запустил жизнь.

Возможно, он состоял из нескольких химических стадий и позволял молекулам азотистых оснований и аминокислот

создавать копии себя — примерно как сегодня делают ДНК и РНК, только проще.

Некоторые учёные считают, что РНК возникла раньше ДНК и именно она участвовала в раннем автокаталитическом процессе. Эта идея называется **гипотезой мира РНК**. Она привлекательна потому, что РНК, как и ДНК, хранит информацию, но при этом химически активнее и способна выступать катализатором. ДНК, напротив, стабильна и почти не реагирует. Проблема гипотезы мира РНК в том, что отдельные молекулы РНК не слишком устойчивы, а ошибок при копировании могло быть настолько много, что система не могла бы долго существовать. Как бы ни выглядела первая автокаталитическая реакция, у неё должны были быть три свойства. Во-первых, некоторые вещества должны были накапливаться локально в больших количествах. Во-вторых, хотя бы одно из них должно было существовать в разных вариантах — то есть копирование иногда происходило с ошибками. В-третьих, разные варианты должны были конкурировать, и более успешный вытеснял остальные. Любое вещество, способное копировать само себя, может распространяться очень быстро. При автокатализе число молекул удваивается снова и снова, пока хватает ресурсов. Одна превращается в две. Две — в четыре. Четыре — в восемь. Силу такого экспоненциального роста трудно почувствовать интуитивно, но её прекрасно иллюстрирует старая индийская притча. Жил когда-то богатый царь, который прекрасно играл в шахматы и любил сражаться с незнакомцами во время путешествий. Однажды он встретил мудреца, всю жизнь игравшего в шахматы. Царь предложил сыграть и пообещал награду. Мудрец сказал: если я выиграю, положите одно зёрнышко риса на первую клетку шахматной доски, два — на вторую, четыре — на третью и дальше каждый раз удваивайте количество до последней, шестьдесят четвёртой клетки. Царь согласился. И проиграл. Когда пришло время расплачиваться, он быстро понял, какую глупость совершил. Уже к двадцать первой клетке мудрец

получил больше миллиона зёрен риса. А чтобы заполнить шестьдесят четвёртую, потребовалось бы свыше двухсот миллиардов тонн риса — достаточно, чтобы покрыть всю Индию метровым слоем. Зачем мудрецу столько риса, притча не объясняет. Но она прекрасно показывает силу экспоненциального роста. Всего за десять циклов автокаталитической реакции одна молекула может дать 512 копий. К двадцатому циклу их будет уже больше миллиона. Но бесконечно такой рост продолжаться не может.

Он остановится, как только закончится один из необходимых ресурсов. В химической автокаталитической реакции рано или поздно исчерпается ключевое вещество. Первая автокаталитическая реакция на Земле, предшествовавшая жизни, сама ещё не была живой. Чтобы стать жизнью, система должна была усложниться — обзавестись мембраной и другими компонентами. А для этого необходимо было **неидеальное копирование**. Ключевые молекулы не всегда воспроизводились точно. Иногда новая молекула немного отличалась от родительской. Некоторые из этих вариантов могли оказаться более эффективными автокатализаторами. Например, быстрее захватывать необходимые вещества.

Или научиться использовать новый источник энергии. Или расходовать энергию экономнее. Любой новый вариант, превосходивший своего предка, распространялся быстрее, вытеснял его и в конце концов мог полностью заменить. Появление новых вариантов благодаря ошибкам копирования плюс борьба за ресурсы — это и есть основа эволюции. Эволюция действует не только на живые организмы, но и на самокопирующиеся химические системы. И на вирусы. Большинство учёных не считают вирусы живыми, но они умеют проникать в живые клетки и использовать их для создания собственных копий. Во время пандемии COVID-19 все мы наглядно познакомились и с ошибками копирования, и с

экспоненциальным ростом, и с конкуренцией. Вирус SARS-CoV-2, вызывающий COVID, возник в животном мире и, вероятнее всего, имел предка среди вирусов летучих мышей. Первый широко обсуждавшийся вариант в Китае называли L-линией, затем возникали другие варианты. Мутация происходит, когда генетический код копируется с ошибкой, и геном новой вирусной частицы немного отличается от исходной.

Поначалу большинство людей почти не обращало внимания на эти изменения. Но в сентябре 2020 года мир услышал о варианте Alpha, возникшем в Великобритании и быстро распространившемся по планете. Затем появились Beta и Gamma в Южной Африке и Бразилии. В 2021 году в Индии возник Delta, который распространился по всему миру и вытеснил многие другие варианты. А затем Delta уступил место вариантам Omicron. Вирусы представляют собой генетический код, заключённый в белковую оболочку. У SARS-CoV-2 генетическая информация записана в РНК, а оболочка содержит знаменитый шиповидный белок — ключевой элемент проникновения в наши клетки. Когда вирусная частица проникает через клеточную мембрану, её РНК захватывает клеточные механизмы и заставляет их производить новые вирусы. Во время копирования вирус обычно вредит клетке-хозяину, вызывает болезнь, а иногда убивает весь организм.

Люди стали для SARS-CoV-2 ресурсом — хозяевами. Каждый новый вариант возникал из предыдущего благодаря ошибкам копирования. Иногда мутация меняла шиповидный белок так, что вирусу становилось легче заражать новые клетки. Другие мутации, наоборот, делали вирус неработоспособным. Такие варианты быстро исчезали, и мы о них никогда не слышали. Каждая успешная линия в итоге вытеснялась другой, которая заражала людей ещё эффективнее. Люди были ресурсом, за который конкурировали варианты вируса. Omicron оказался особенно хорош в передаче от человека к человеку и создании собственных копий. Alpha, Beta, Delta и Omicron росли экспоненциально, но

Omicron делал это быстрее остальных, потому что лучше заражал людей. Он быстрее захватывал свой ресурс — нас. То же самое происходило и с древними автокаталитическими молекулами молодой Земли. Те разновидности, которые лучше использовали доступные вещества для копирования, вытесняли менее эффективные. Конкуренция плюс достаточно точное, но иногда ошибочное копирование означает, что в долгосрочной перспективе побеждает самый эффективный вариант. Большинство экспериментов с автокаталитическими реакциями изучают сравнительно простые системы из нескольких химических веществ. Но те реакции, из которых возникла жизнь, вероятно, были намного сложнее. Я представляю себе густой химический «суп» из множества разных органических молекул, сконцентрированных либо в морской, либо в пресноводной среде. В нём существовали целые сети химических реакций. Внутри этой сети могла быть ключевая автокаталитическая реакция из нескольких веществ. Её можно сравнить с зародышевой линией современной жизни — той частью, которая непосредственно копируется. А другие вещества, создаваемые побочными реакциями, могли помогать основной системе и играть роль, напоминающую «одноразовую сому». Если это предположение верно, разделение между зародышевой линией и вспомогательным «телом» могло существовать ещё до появления настоящей жизни. Но чтобы такая химическая сеть стала живой, её нужно было заключить в мембрану. Откуда взялись мембраны? Мембраны современных клеток состоят из молекул, называемых липидами, а липиды частично построены из жирных кислот. И вас, наверное, уже не удивит, что жирные кислоты находили в метеоритах — в том числе в том самом Мерчисонском метеорите.

Как и многие другие ключевые компоненты жизни, эти молекулы образуются не только на Земле. Молекулы жирных кислот представляют собой длинные цепочки атомов углерода, водорода и кислорода. В клеточной мембране две жирные кислоты

соединяются с молекулой глицерина и фосфатной группой. Получившаяся молекула называется фосфолипидом и немного напоминает головастика с двумя хвостами. «Голова» — фосфатная группа.

«Хвосты» — жирные кислоты. Если поместить фосфолипиды в воду, они совершенно самостоятельно выстраиваются в два слоя — липидный бислой. Головки оказываются снаружи, обращёнными к воде, а хвосты — внутри, друг напротив друга. Это происходит потому, что фосфолипиды не растворяются в воде равномерно. Разные части молекулы обладают разными электрическими свойствами.

Фосфатные головки притягиваются к частично отрицательно заряженным областям воды. А хвосты жирных кислот — гидрофобны, то есть стараются избегать воды. Эти свойства, порождённые электромагнитным взаимодействием, заставляют фосфолипиды быстро самоорганизовываться в бислой. Создать такую мембрану удивительно легко. Стоит поместить фосфолипиды в воду — и они сами образуют структуру, лежащую в основе всех клеточных мембран. Как только бислой образовался, он становится барьером для ионов, белков и других молекул. Представьте забор вокруг поля: овцы остаются внутри, дикие животные — снаружи. Одна из проблем ранней жизни состояла в том, как переносить вещества через такой барьер. Некоторые исследователи считают, что первые мембраны были сравнительно «дырявыми». Современная жизнь решила проблему с помощью специальных белков, встроенных в мембрану. Они работают как ворота в нашем заборе. Мы пока не знаем точно, как автокаталитические реакции оказались заключены внутри первых клеток и как эти клетки впервые научились делиться. Но необходимые молекулы на молодой Земле были в изобилии. Автокаталитические реакции, однажды возникнув, могли быстро распространяться. Мембраны формируются легко, а значит, ключевой компонент будущей клетки тоже был доступен.

Остаётся ещё один вопрос. Откуда бралась энергия для всех этих реакций? И как ранняя жизнь научилась её использовать? Вот здесь на первый план снова выходят вулканы. Возможно, именно вулканическая активность обеспечила энергией первые формы метаболизма. Современная жизнь получает энергию либо от света, либо от химически активных веществ вроде сероводорода, либо — как животные — поедая другую жизнь.

Химические реакции метаболизма различаются, но итог один и тот же: производство АТФ.

АТФ — топливо жизни. Это достаточно стабильная молекула, которая при необходимости легко отдаёт энергию. И при этом не взрывается. Для обеспечения зародышевых клеток и «одноразовой сомы» это гораздо удобнее, чем какое-нибудь азидоазид-азид. Жизни нужна энергия, и при её использовании часть энергии рассеивается в виде тепла. Именно поэтому вы тёплые. Поддержание жизни требует постоянных энергетических затрат. Света на Земле — особенно вблизи звёзд — очень много. Цианобактерии, создавшие первые строматолиты, уже использовали свет.

Но учёные считают, что самые первые организмы получали энергию иначе — с помощью **хемосинтеза**. Они использовали химически активные вещества, огромным источником которых могли быть вулканические гидротермальные системы в океане или на суше. Вулканы выбрасывают множество соединений, охотно отдающих, принимающих или обменивающих электроны. В Йеллоустоне, например, бактерии в богатых серой горячих источниках используют водород, сероводород и углекислый газ. Это вполне правдоподобный набор веществ, способных питать метаболизм первых клеток.

Использование химически активных веществ для получения энергии называется хемосинтезом. Современные бактерии используют разные химические источники, но результат обычно один: создание сахара из вещества, содержащего углерод,

например углекислого газа или метана. Одни бактерии получают энергию из водорода. Другие — из аммиака. Третьи — из сероводорода. Организмы, которым нужен кислород, используют другой тип метаболизма — цикл Кребса, или цикл лимонной кислоты, который вы, возможно, помните из школы. Он сложнее большинства форм хемосинтеза, но отдельные ключевые этапы цикла Кребса могут самопроизвольно возникать при подходящем наборе веществ.

Как и клеточные мембраны, определённые формы метаболизма естественно возникают при правильных условиях. В следующей главе мы познакомимся с древним примитивным организмом по имени **LUCA** — последним универсальным общим предком всей современной жизни. Он давно исчез, но учёные попытались восстановить часть его генетического кода. И эта реконструкция указывает на гены, связанные с хемосинтезом — использованием сероводорода и других активных веществ. Я не знаю, использовала ли АТФ самая первая клетка. Но **LUCA**, вероятно, уже использовал.

Это означает, что универсальное топливо современной жизни могло появиться чрезвычайно рано. Сам АТФ в метеоритах пока не находили, но обнаруживали его строительные блоки — аденин и фосфатные компоненты.

Как и другие молекулы жизни, отдельные части АТФ могут образовываться в космосе и попадать на Землю. Есть также убедительные аргументы в пользу того, что протонные насосы играли важную роль практически с самых ранних этапов жизни. Так что АТФ вполне мог войти в употребление намного раньше, чем мы привыкли думать. Точные обстоятельства появления жизни всё ещё неизвестны. Но прогресс огромен. Мы понимаем, **почему** жизнь могла появиться. Как и любая химическая реакция, она возникла потому, что при данном сочетании энергии и веществ такой путь оказался энергетически выгодным. При правильном наборе молекул и источников энергии жизнь может

оказаться естественным результатом. Мы также примерно понимаем, какие этапы были необходимы.

Автокаталитические реакции, питаемые химической энергией — например сероводородом, — должны были оказаться заключены внутри мембраны. Это произошло в растворе, богатом органическими веществами, часть которых была создана на Земле, а часть доставлена из космоса. По мере развития ранней жизни и накопления ошибок копирования химия внутри мембраны становилась всё сложнее и всё сильнее отличалась от внешней среды. Мы понимаем и причину быстрого распространения жизни: экспоненциальный рост самокопирующихся молекул — чрезвычайно мощная сила. Конкуренция увеличивала сложность, пока не появились первые протоклетки. Но подробной последовательности шагов мы пока не знаем. Со временем закрепились ДНК и генетический код, которыми пользуется современная жизнь. После этого жизнь уже не останавливалась. Между простой лабораторной химией и даже самой простой современной клеткой лежит огромная пропасть. Но у нас уже есть карта пути. Мы знаем, что необходимые молекулы присутствовали на молодой Земле. Мы пока не знаем точной рецептуры: какие вещества, в каких концентрациях, насколько разными могли быть смеси и сколько времени требовалось. Поэтому происхождение жизни всё ещё окутано тайной. Но завеса постепенно приподнимается. Я подозреваю, что в ближайшие десять-двадцать лет наше понимание значительно продвинется и, возможно, происхождение жизни даже удастся воспроизвести в лаборатории. После долгого чтения литературы по этой теме я склоняюсь к следующей картине.

В пресноводных гидротермальных районах могли возникнуть небольшие водоёмы, богатые аминокислотами, фосфатами, липидами, азотистыми основаниями и другими важными компонентами жизни. Хотя полностью исключить океанический сценарий я не могу. Высокая температура воды и постоянный

приток веществ от вулканической активности могли способствовать появлению устойчивых сложных органических соединений — ДНК, РНК, фосфолипидов, белков и АТФ. Эти крупные молекулы возникали потому, что при данных условиях именно они были энергетически выгодным, стабильным состоянием системы. Структура некоторых молекул облегчала метаболизм и репликацию. Жизнь буквально **собрала сама себя**. Её способность к автокатализу и сложная структура выросли из насыщенного химического супа, состоявшего из органических соединений, которые сами возникли из более простых веществ — либо созданных на Земле, либо принесённых метеоритами. Проблема проверки этой гипотезы в том, что мы слишком мало знаем о точных условиях, в которых возникла жизнь. Если просто случайным образом смешивать вещества и помещать их в условия ранней Земли, возможно, придётся ждать миллионы лет, прежде чем в пробирке появится жизнь. На Земле жизнь возникла «быстро» только по меркам её истории длиной 4,5 миллиарда лет. В реальности процесс мог занять миллионы или даже сотни миллионов лет. К счастью, химики умеют значительно больше, чем просто случайно смешивать вещества. Изучая метеориты и метеороиды, они всё точнее определяют, какие строительные блоки были доступны ранней жизни. Компьютерные модели химического поведения молекул, основанные на нашем понимании электромагнитного взаимодействия, становятся всё важнее. И мне кажется, что вопрос происхождения жизни вполне может оказаться задачей, с которой справятся новые алгоритмы искусственного интеллекта. ИИ уже помог понять, как цепочки аминокислот складываются в белки — задачу, долго считавшуюся почти неразрешимой для человека. Искусственный интеллект способен чрезвычайно эффективно исследовать сложную химию. Ирония, конечно, очевидна: **неживой искусственный интеллект может помочь нам создать живое**. Вот уж заголовки газет будут впечатляющими. После того как эволюция сформировала ДНК и

современный генетический код, жизнь действительно набрала ход. Она существует на Земле почти четыре миллиарда лет и пережила всё, что Вселенная успела на неё обрушить: солнечные вспышки, падения метеоритов, ледниковые эпохи. Она не просто выжила. Она расцвела.

Сегодня жизнь заполняет почти каждый уголок нашей планеты — от дна глубочайших океанских впадин до воздуха над высочайшими горами. Следующая часть нашей истории — о том, как жизнь распространилась по планете, как усложнялась и как преодолела несколько по-настоящему грандиозных препятствий.

Жизнь побеждает всё

В предыдущей главе я рассказал, как и почему конкуренция между автокаталитическими молекулами должна была привести к эволюции самовоспроизводящихся химических систем в тех средах, где зародилась первая жизнь. Сомневаюсь, что это описание особенно возмутило кого-нибудь из читателей. Но когда речь заходит об эволюции более сложных форм жизни — и особенно человека, — некоторые начинают оспаривать её решающую роль в нашем появлении. Между тем эволюционные процессы, породившие первый живой организм, — те же самые процессы, которые почти четыре миллиарда лет спустя породили людей. Эволюция столь же реальна, как гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия, и без неё нас не существовало бы. Биологи понимают эволюцию примерно настолько же хорошо, насколько физики понимают сильное и слабое взаимодействия, а химики — электромагнетизм. Мы знаем, как и почему возникают новые виды. Эволюционные биологи вроде меня дают эволюции вполне определённое определение и умеют её измерять. Мы понимаем, откуда берутся генетические различия и как естественный отбор действует на это разнообразие, создавая новые формы жизни. Мы знаем, как изменения окружающей среды вызывают эволюционные изменения, а в некоторых случаях биологи способны даже предсказать, как естественный отбор изменит животных и растения. Если вы принимаете науку как способ выяснять, как и почему Вселенная устроена именно так, то должны принять и то, что эволюция столь же реальна, как четыре фундаментальные физические силы, о которых мы говорили раньше. Есть две причины, по которым эволюция может казаться трудной темой. Во-первых, некоторые отвергают её потому, что им трудно принять мысль: человек произошёл от более простых форм жизни

— сначала от одноклеточных организмов, а гораздо позднее имел общих предков с шимпанзе. Но сравнение геномов столь разных организмов, как болезнетворные бактерии, бананы, асцидии, черви, плодовые мушки, собаки, гориллы и мы сами, даёт подавляющее количество доказательств того, что все формы жизни на Земле родственны друг другу. Чтобы породить это поразительное биологическое разнообразие, эволюции понадобились миллиарды лет. За это время она «изобрела» смерть и секс, крошечные клеточные структуры — митохондрии и хлоропласты, тысячи новых типов молекул, включая углеводы, белки и липиды, множество разновидностей клеток и многоклеточные организмы — от серебристой берёзы до Вуффлера и вас. Эта глава посвящена тому, что должно было произойти, чтобы животные, растения и грибы стали сложными. Считается, что сегодня на Земле живёт около 8,7 миллиона видов растений и животных, неизвестное число видов грибов и сотни миллионов видов одноклеточных микробов. Эволюция придумала бесчисленное множество способов зарабатывать себе на жизнь. С некоторыми из них мы познакомимся, размышляя о том, как появились первые млекопитающие.

Вторая причина сложности эволюции заключается в том, что сама идея действительно не так проста. Некоторым читателям понять её будет труднее, чем работу четырёх фундаментальных сил. Эволюция сложна потому, что в ней одновременно происходит несколько процессов. Каждый из них по отдельности понять нетрудно, но вместе они образуют довольно запутанную картину. Попытаюсь кратко её изложить.

Всем организмам для жизни нужны ресурсы — пища, вода, убежище, — а видам, размножающимся половым путём, включая человека, нужен ещё и партнёр. Но окружающая среда полна препятствий: хищников, болезней, многочисленных конкурентов — всего того, что затрудняет добычу ресурсов и поиск партнёра. Особи, которым лучше удаётся находить, получать и использовать

ресурсы и одновременно избегать угроз, обычно обладают определёнными свойствами — например умеют отпугивать тех, кто хочет их съесть, или способны эффективно отвечать иммунной реакцией на инфекцию. Эти свойства хотя бы отчасти определяются генами — кодом ДНК. Те, кто успешнее добывает ресурсы и избегает опасностей, обычно оставляют больше потомков. Значит, их гены оказываются представлены в следующем поколении чаще, чем гены менее успешных особей. И эти гены с большой вероятностью обеспечат потомкам те же полезные свойства, которые помогли их родителям добиться успеха.

Эволюция происходит тогда, когда гены, определяющие признаки, помогающие добывать ресурсы и избегать угроз, становятся всё более распространёнными в популяции. На коротком отрезке в несколько поколений изменения обычно невелики. Но за сотни тысяч или миллионы поколений популяции способны существенно разойтись генетически, и возникают новые виды. Таким образом, эволюция определяется тем, какие особи лучше выживают и размножаются. На протяжении нескольких поколений её обычно измеряют, наблюдая, как со временем меняется популяция, или сравнивая генетические различия между отдельными популяциями одного вида. На больших временных масштабах сравнивают генетические различия уже между представителями разных видов. А видов для сравнения — огромное множество.

Когда мои дети были маленькими и я спрашивал, какой вид им нравится больше всего, они отвечали: лев, дельфин или собака. Мне так и не удалось убедить их в достоинствах *Candidatus Prometheoarchaeum syntrophicum*, штамма MK-D1 — одноклеточного организма, обитающего в океанских глубинах. Каждая новая клетка MK-D1 начинает жизнь в виде небольшого комочка, а затем отращивает похожие на щупальца выросты. Эти тонкие отростки разыскивают бактерии, которые получают энергию из молекул

водорода. Найдя их, МК-D1 использует продукты их жизнедеятельности как источник энергии для собственного метаболизма. Иными словами, МК-D1 питается отходами бактерий, которым для жизни не нужен кислород — газ, который мы привыкли считать практически синонимом жизни. Штамм МК-D1 относится к форме жизни, с которой вы, возможно, никогда не сталкивались. Биологи делят всю жизнь на Земле на три домена: бактерии, археи и эукариоты. Бактерии и археи всегда одноклеточные, и клетки у них сравнительно просты. Эукариоты устроены сложнее: их клетки разделены внутренними мембранами на специализированные области. Некоторые эукариоты, например дрожжи, тоже одноклеточные, но к эукариотам относятся и многоклеточные организмы — водоросли, грибы, деревья и животные. Каждый из трёх доменов, в свою очередь, делится на всё более мелкие иерархические категории: царства, типы, классы, отряды, семейства, роды и виды. В английском я запомнил эту последовательность с помощью мнемонической фразы *Do Keep Pigs Clean Or Farm Gets Smelly*, где буква D означает *domain* — домен. Наша полная классификация снизу вверх выглядит так: вид *Homo sapiens*, род *Homo*, семейство гоминид, отряд приматов, класс млекопитающих, тип хордовых, царство животных и, наконец, домен эукариот. А микроб *Escherichia coli*, который иногда заставляет нас болеть, относится к роду *Escherichia*, семейству Enterobacteriaceae, отряду Enterobacterales, классу Gammaproteobacteria, типу Pseudomonadota и домену бактерий. Полную классификацию МК-D1 я вам пожалуй; достаточно сказать, что он принадлежит к археям — одноклеточным организмам, которых когда-то считали бактериями, но затем выяснилось, что они устроены иначе и в некоторых отношениях даже ближе к животным, растениям и грибам. Виды одного рода близко родственны друг другу и обычно имели общего предка всего несколько миллионов лет назад. Люди и шимпанзе сегодня относятся к разным родам, хотя, строго

говоря, могли бы находиться и в одном: наш общий предок жил примерно 6–10 миллионов лет назад. Чем выше мы поднимаемся по классификационной лестнице — от рода к семейству, отряду, классу, типу, царству и домену, — тем дальше от нас оказываются родственные связи. МК-D1 и человек принадлежат даже к разным доменам, а наш общий предок жил более трёх миллиардов лет назад.

Мне нравится штамм МК-D1 не только из-за необычного образа жизни, но и потому, что живёт он невероятно медленно. Одной клетке требуется почти месяц, чтобы вырасти и разделить надвое. Месяц может показаться не таким уж долгим сроком, но для одноклеточного организма это вечность. *E. coli*, например, делится каждые двадцать минут. За то время, пока одна клетка МК-D1 превратится в две, одна клетка *E. coli*, если бы пищи было бесконечно много, могла бы дать колонию из 2^{2190} бактерий — число настолько чудовищно огромное, что мой компьютер, пытаясь его вычислить, просто выдаёт «бесконечность». Ещё одна наглядная демонстрация силы экспоненциального роста. Штамм МК-D1 и с биологической точки зрения гораздо интереснее льва, дельфина или собаки. У него обнаружены гены, которые до его открытия считались свойственными только эукариотам. Это заставило учёных предположить, что МК-D1 способен пролить свет на то, как сложные эукариотические клетки — вроде тех, из которых состоим мы с вами, — возникли из гораздо более простых клеток архей. Например, одноклеточные эукариоты способны к эндоцитозу — трюку, недоступному бактериям. При эндоцитозе клетка окружает небольшой объект — частицу, вирус, а иногда и другую клетку — и втягивает его через собственную мембрану внутрь. Так клетка может получать питательные вещества. Мембрана изгибается, образует вокруг объекта пузырьрёк, а затем этот пузырьрёк отшнуровывается и оказывается внутри клетки. В клеточном масштабе это примерно то же самое, что для вас проглотить кусок пищи. МК-D1 производит белок актин,

необходимый для эндоцитоза. Актин есть у всех эукариот и отсутствует у бактерий. Поэтому МК-D1 даёт нам ключи к пониманию общего предка архей и эукариот и того грандиозного скачка сложности, который когда-то совершила жизнь. Возможно, он поможет понять и происхождение самого эндоцитоза. Правда, добыть эти знания оказалось непросто: МК-D1 невероятно трудно поддерживать живым вне его естественной океанской среды. Лишь совсем недавно группе японских биологов удалось создать устойчивую лабораторную культуру. Львов, собак и дельфинов содержать в неволе куда проще, но ни один из них вообще не мог бы появиться, если бы существа, похожие на МК-D1, когда-то не приобрели гены, производящие актин — белок, фундаментальный для всей сложной жизни.

Штамм МК-D1, *E. coli* и вы используете один и тот же генетический код. Все мы строим белки из двадцати аминокислот, и эти аминокислоты кодируются одинаковыми тройками нуклеотидных оснований. Комбинация тимин—тимин—тимин кодирует аминокислоту фенилаланин не только у этих трёх организмов, но вообще у всех видов земной жизни. Генетический код универсален. Хотя все виды используют один код, последовательности генов у них различаются, поэтому они способны производить разные белки. Сравнивая сходство генетических последовательностей разных организмов, биологи выясняют степень их родства. Поскольку общий предок человека и шимпанзе жил всего несколько миллионов лет назад, наши генетические последовательности намного ближе друг к другу, чем последовательности человека и МК-D1.

Самая ранняя жизнь, вероятно, ещё не пользовалась современным генетическим кодом, но перешла к нему довольно быстро. Точно восстановить события четырёхмиллиардной давности непросто, однако, вероятно, тот код, которым пользуемся мы сегодня, сформировался всего через несколько миллионов — возможно, десятков миллионов — лет после появления жизни на

Земле. Мы не знаем точно, когда возник этот код, зато у нас есть название для организма, впервые его использовавшего: LUCA — *Last Universal Common Ancestor*, последний универсальный общий предок. Этот термин учёные используют с 1990-х годов. Вы, я, деревья за окном, птицы на их ветвях, бактерии в кишечнике этих птиц, беспозвоночные паразиты и микроскопические грибы, вызывающие у них болезни, — все мы потомки LUCA. От LUCA идёт непрерывная линия происхождения к вам, к МК-D1 и к *E. coli*. Возможно, вам приятно думать, что вы — прямой потомок LUCA, но тем же правом может похвастаться любой живой организм на Земле: каждый таракан, Вуфлер и вы. Потомков у LUCA невероятно много — и они невероятно разнообразны. В этой главе я хочу разобраться, как и почему появились такие сложные животные, как человек. Почему мы настолько отличаемся от собак, *E. coli* и МК-D1? Что должно было произойти за примерно четыре миллиарда лет после возникновения генетического кода, чтобы появились наши генетические «инструкции по самосборке»? Именно эволюция формировала земную жизнь. Чтобы понять её, нам придётся обратиться к ДНК, фенотипическим признакам, естественному и половому отбору — терминам, которые я объясню на следующих страницах.

Древо жизни начинается с LUCA и показывает, как из существующих видов возникали новые. Оно далеко не полное: в нём множество пробелов, особенно чем глубже мы заглядываем в прошлое, потому что виды далёких эпох давно вымерли, а о многих из них не осталось ни одного найденного ископаемого остатка. Но даже неполное древо жизни ясно показывает, насколько разной оказалась судьба вымерших видов. Некоторые дали начало множеству потомков, которые существуют до сих пор. Другие исчезли, не оставив ни одного.

Anchiornis huxleyi был одним из первых птицеподобных динозавров и появился примерно 160 миллионов лет назад. Сам он давно вымер, но считается, что все десять тысяч с лишним

современных видов птиц происходят от его родственников по этой ветви. *Tyrannosaurus rex* находится на противоположном конце спектра: его линия не оставила ныне живущих потомков и исчезла после падения астероида, завершившего меловой период 66 миллионов лет назад.

Почти всю свою линию происхождения от LUCA — и большую часть последовательностей ДНК — мы разделяем с шимпанзе и бонобо. Общий предок людей и этих двух человекообразных обезьян жил ещё 6–10 миллионов лет назад. Если принять, что LUCA существовал примерно 3,9 миллиарда лет назад, то в течение 99,8 процента времени существования генетического кода линии происхождения человека, шимпанзе и бонобо были одной и той же линией. Примерно 90 процентов этих 3,9 миллиарда лет мы имели общих предков с рыбами. Около 75 процентов времени наша линия была общей с бананами, рисом и тюльпанами. А на протяжении примерно 15–20 процентов этого времени — даже с бактериями вроде *E. coli*. Чем глубже в прошлое приходится уходить, чтобы найти общего предка двух видов, тем меньше сходства между их генетическими последовательностями. Поэтому наша ДНК гораздо больше похожа на ДНК рыб, чем на ДНК растений. Древо жизни показывает: жизнь невероятно долго разветвлялась, множилась и становилась разнообразнее. Вашими предками были не только человекообразные обезьяны, но и рыбы, существа, напоминавшие медуз, археи вроде МК-D1 и бактерии. Древо жизни, восстановленное биологами, поражает воображение. Я могу часами рассматривать виды, о существовании которых прежде даже не подозревал и многие из которых толком никто не изучал.

Если двигаться вперёд во времени от LUCA, сначала мы встречаем бактерии. Затем от них отделилась новая ветвь — археи, от которой в свою очередь ответвились эукариоты. А дальше начинается бесконечное разветвление: дрожжи, растения, животные — пока в самом конце одной из веточек не появляется

Homo sapiens. На соседних концах ветвей сидят шимпанзе и бонобо.

Вряд ли биологи когда-нибудь обнаружат совершенно новый домен жизни, поэтому, вероятно, три великие группы сохранятся. Но внутри каждого домена учёные непрерывно открывают новые — как современные, так и вымершие — виды и будут продолжать делать это по мере того, как мы описываем всё больше потрясающего разнообразия жизни. На момент написания этой книги древо жизни включало более 2,2 миллиона видов, причём подавляющее большинство этих организмов состоит всего из одной клетки. Сколько видов ещё предстоит открыть, мы не знаем, но каждый новый вид обязательно найдёт своё место на древе.

Каждый современный вид отличается от других не только последовательностью ДНК, но и тем, что он способен делать.

МК-D1 может жить на отходах бактерий, питающихся водородом, а я — нет. Зато я кое-как могу пробежать милью, тогда как МК-D1 не может. Моё тело устроено совершенно иначе, чем тело Вуфлера или птицы, которая поёт на серебристой берёзе за окном, и эта форма тела определяет наши способности. Я могу разговаривать, залезать на дерево и очищать банан. Вуфлер, несмотря на мои попытки ему помешать, прекрасно умеет догонять голубей и белок и расправляться с ними с мастерством, которого мне не достичь. Но ни Вуфлер, ни я не способны высасывать нектар из цветов и каждый год пролетать три тысячи миль от Аляски до Мексики и обратно — подвиг, который крошечный рыжий колибри массой всего 3,5 грамма совершает ежегодно на протяжении своей трёх-пятiletней жизни. Каждый вид уникален и приспособлен к определённому образу жизни.

Вуфлер способен эффективно охотиться на мелкую добычу, я — чистить бананы и поддерживать разговор, а рыжий колибри — пересекать по воздуху Североамериканский континент, потому что у каждого из нас есть свойства, позволяющие это делать. У меня ловкие руки, гортань, позволяющая говорить, и большой

мозг. У Вуффлера острые зубы, отличное зрение и сильнейший охотничий инстинкт. У колибри длинный клюв, позволяющий доставать высокоэнергетический нектар из глубины цветка, и крылья, с помощью которых он может зависать в воздухе и совершать дальние перелёты. Каждый вид обладает набором признаков, позволяющих выполнять определённые задачи: добывать пищу, выживать и размножаться. Биологи называют эти свойства фенотипическими признаками — то есть любыми измеримыми характеристиками организма. Фенотипическим признаком может быть всё: от конкретной молекулы, которую производит организм, до массы тела или черты характера.

Фенотипические признаки различаются между видами. Собаки выглядят не так, как люди, потому что набор признаков у них другой. Но и представители одного вида могут иметь разные значения одного и того же признака. Вы можете быть выше меня, более застенчивым или иметь другой цвет глаз. Различия между видами и между отдельными представителями одного вида в конечном счёте возникают из-за генетических различий. Если у нас разные группы крови, значит, у нас разные варианты — аллели — одного или нескольких генов. Когда особи с разными фенотипическими признаками имеют неодинаковые шансы выжить и размножиться — например потому, что по-разному эффективно находят, добывают и используют пищу, — начинает действовать естественный или половой отбор.

В результате в разных поколениях меняется частота определённых аллелей. Такое генетическое изменение от поколения к поколению и есть эволюция. Последовательность ДНК организма содержит код для производства белков, которые определяют развитие организма и проявление его фенотипических признаков. Фенотипические признаки важны потому, что определяют, на что способна конкретная особь данного вида, а последовательность ДНК определяет, какие именно признаки у неё сформируются. Изучение фенотипических

признаков занимало значительную часть моей научной карьеры после защиты докторской диссертации. Моя диссертация в Имперском колледже Лондона была посвящена тому, как животные влияют на распределение деревьев, разнося и поедая семена и проростки. Поэтому может показаться неожиданным, что с возрастом я сменил направление и стал заниматься фенотипическими признаками и эволюцией. Я рад, что сделал это, хотя мой путь к этой теме трудно назвать тщательно спланированным.

Таксономия Вуфлера

Таксономия Вуфлера

ДОМЕН	Эукариоты
ЦАРСТВО	Животные
ТИП	Хордовые
КЛАСС	Млекопитающие
ОТРЯД	Хищные
СЕМЕЙСТВО	Псовые
РОД	<i>Собака</i>
ВИД	<i>Собака домашняя</i>



Когда моя работа над диссертацией подходила к концу, меня внезапно осенило: скоро придётся искать работу. Я знал, что люблю науку и хочу понять, почему существую, но понятия не имел, как лучше всего к этому подступиться. Стать университетским учёным и исследовать маленький кусочек большой проблемы, параллельно читая обо всём остальном? Или найти другую работу, которая даст достаточно свободы, чтобы самостоятельно изучать нужные мне темы? Я не знал. Первой вакансией, на которую я подал документы, стала должность

постдока в Институте зоологии — исследовательском подразделении Лондонского зоопарка. Постдокторантура — следующая ступень академической карьеры после получения PhD. Постдоки обычно работают по контрактам сроком от одного до пяти лет и занимаются конкретной научной задачей, описанной в проекте.

Такие позиции чаще всего открывает преподаватель или исследователь университета, которому удалось получить финансирование — государственный грант или деньги благотворительного фонда — после крайне конкурентного рецензирования. Параллельно я запросил анкеты ещё для двух профессий: хотел стать телеведущим прогноза погоды на BBC и попасть на ускоренную программу государственной службы, где выпускников университетов готовят к работе научными советниками в министерствах. Из описания вакансии телеведущего выяснилось, что мне пришлось бы интересоваться погодой гораздо сильнее, чем я интересовался на самом деле. А процедура поступления на государственную службу была настолько длинной и унылой, что я так и не смог заставить себя начать заполнять бумаги.

Так что в итоге единственной работой, на которую я действительно подал заявку, оказался постдок в Институте зоологии. Я был потрясён, когда меня взяли, потому что собеседование прошло катастрофически. Узнав, что меня пригласили на интервью, две мои соседки по дому — Ана и Джейн — настояли, чтобы мы купили мне новый костюм. Решение было разумным: старая одежда мне уже не подходила. В то время я не отличался большими бытовыми талантами и, запуская стиральную машину, просто поворачивал ручку на первый попавшийся режим. Как выяснилось, это была кипячёная стирка. Об ошибке я узнал лишь тогда, когда Ана однажды спросила, кто, ради всего святого, кипятит одежду. Тут-то я наконец понял, почему все мои вещи стали такими тесными. Под бдительным модным надзором Аны и

Джейн я приобрёл элегантный костюм, рубашку с воротником и галстук и на следующее утро отправился на собеседование. Мне нужно было в час пик добраться из Саннингдейла в Беркшире до северного Лондона, поэтому почти всю дорогу пришлось ехать стоя. Когда поезд остановился в Туикенеме, стоявший рядом мужчина умудрился вылить большую часть своего кофе мне на рубашку и галстук. Начало было не слишком удачным.

Вскоре я понял, что запланировал маршрут слишком впритык, а задержка метро вынудила меня пробежать почти милю от станции Камден до Института зоологии — и всё это в одно из самых жарких утр года. На собеседование я явился насквозь мокрым от пота, в пятнах кофе и пахнувший чем-то средним между Starbucks и спортзалом. Мои интервьюеры, Стив Элбон и Джозефина Пембертон, дали мне несколько минут отдышаться и пригласили внутрь. Я был совершенно выбит из колеи и продолжал обильно потеть — настолько, что после первых двух вопросов один из них даже предложил мне полотенце, чтобы вытереть стекающий со лба пот. И всё же, судя по всему, я каким-то образом произвёл впечатление: уже на следующий день мне предложили работу.

Я получил трёхлетнюю должность в Институте зоологии и должен был изучать генетику и экологию благородных оленей на острове Рам во Внутренних Гебридах и диких овец на острове Хирта архипелага Сент-Килда — одном из самых удалённых уголков Великобритании. Тогда я ещё не знал, что буду работать с этими двумя исследовательскими системами следующие восемнадцать лет. Я подружился со Стивом, Джозефиной и многими другими участниками проекта и отошёл от этих исследований лишь тогда, когда научные разногласия относительно подходов начали угрожать нашим дружеским отношениям.

Рад сказать, что друзьями мы остались. А переход к другим системам — волкам Йеллоустона, гуппи в пресноводных ручьях Тринидада и маленьким зелёным птицам белоглазкам, живущим

на островах у Австралии, которыми моя жена Соня занимается уже более двадцати пяти лет, — оказался великолепным решением. За годы работы с оленями на Раме и соайскими овцами на Хирте я научился хорошо работать с данными типа «меченый — повторно обнаруженный», чем занимаюсь до сих пор. Чтобы получить такие данные, диких животных гуманно отлавливают — часто вскоре после рождения — и снабжают индивидуальной меткой. У овец это номерная ушная бирка, у оленей — расширяющийся ошейник с уникальным узором, у волков — ошейник, передающий особый радиосигнал, позволяющий определять местонахождение животного, а у гуппи — крошечная татуировка. После маркировки животное выпускают там же, где поймали, а затем каждый раз при повторной встрече или поимке записывают его местоположение. Одновременно собирают и множество других данных: берут кровь, чтобы восстановить родословные, измеряют размеры тела, положение в иерархии, наличие паразитов, состояние зубов и массу других фенотипических признаков.

Всё это позволяет изучать чрезвычайно разные вопросы — от влияния изменения климата на популяции диких животных до причин возникновения тех или иных фенотипических признаков. Работая с гуппи, волками и белоглазками, я быстро понял, почему так доволен сменой направления. Мои представления о природе были чрезвычайно искажены тем, что я слишком долго смотрел на мир глазами специалиста по овцам и оленям. Начав сотрудничать с людьми, которые посвятили жизнь созданию бесценных долгосрочных исследований других видов, я по-настоящему осознал: каждый отдельный организм каждого вида уникален — не только генетически, но и тем, как проживает свою жизнь. Если бы я так и остался специалистом только по овцам и оленям, никогда не понял бы природу настолько глубоко, насколько понимаю её сейчас. Эти исследования дали мне великолепную школу, и я всегда буду благодарен за возможность столько лет заниматься ими. Но

именно гуппи, волки и белоглазки позволили мне по-настоящему расцвести как исследователю.

Часы разговоров с коллегами в Йеллоустонском национальном парке, беседы с Соней во время прогулок с Вуфлером по Оксфорду и окрестностям или поездок в Австралию помогли мне вырваться из узких рамок специалиста по травоядным. Работая с этими совершенно разными видами, я начал понимать: особи в каждой популяции умирают по совершенно разным причинам — и причины эти имеют значение. Волки чаще погибали в драках с другими волками или от болезней. Гуппи, живущие рядом с хищниками, рано или поздно оказывались в пасти хищной рыбы — например бычка, — тогда как гуппи в местах без хищников чаще умирали от нехватки пищи. Белоглазки Сони погибали во время суровых зимних бурь, от вспышек болезней, иногда в драках с другими птицами или по неизвестным причинам в старости. Не менее важными, чем причины смерти, были обстоятельства, мешавшие некоторым особям размножаться. Иногда животное не успевало накопить достаточно жира для производства потомства. Иногда не находило партнёра или территории для размножения. А у волков доминирующие особи порой убивают детёнышей подчинённых. В каждой популяции главные причины смерти и репродуктивных неудач благоприятствовали тем фенотипическим признакам, которые снижали соответствующие риски. Поняв, что именно убивает животных или мешает им размножаться и как различные признаки меняют эти риски, я смог находить общие закономерности даже между совершенно непохожими системами — связывая экологию и эволюцию. Естественный отбор в значительной степени сводится к тому, какие фенотипические признаки помогают особям избежать смерти. Половой отбор — к тому, какие признаки снижают вероятность остаться без потомства. Особи с такими последовательностями ДНК — генами, — которые обеспечивают развитие фенотипических признаков,

уменьшающих риск гибели или репродуктивной неудачи, оставляют больше потомков.

Больше потомков означает больше копий генов, кодирующих эти полезные признаки. Поэтому частота таких генов в популяции растёт от поколения к поколению. Именно так эволюция идёт непрерывно со времён появления первого организма. За 3,9 миллиарда лет линии происхождения от LUCA к нам наши предки сталкивались с бесчисленным количеством угроз, способных убить их или лишить возможности передать гены следующему поколению. И всё же каждый наш предок прожил достаточно долго, чтобы оставить потомство. И в конце концов эволюция привела к появлению нас. То же самое верно для каждого представителя каждого вида, живущего сегодня. Чтобы достичь этого невероятного результата, предкам пришлось преодолеть бесчисленные трудности, а эволюция вырабатывала всё новые хитроумные решения, уменьшая множество рисков.

По мере того как древо жизни разрасталось и жизнь становилась разнообразнее, эволюция формировала бесконечное множество новых фенотипических признаков, помогающих видам справляться с причинами смерти и репродуктивных неудач, которые подбрасывал им мир.

Эти признаки закодированы в ДНК, и изучение самой важной кислоты жизни помогло биологам восстановить не только древо жизни, но и значительную часть её истории. У многих генов обе копии-аллели одинаковы у всех представителей популяции, но у некоторых генов это не так.

Например, аллели генов, контролирующих формирование наших двух рук и двух ног, практически одинаковы, тогда как аллели, влияющие на цвет волос, могут различаться. Именно гены, существующие в нескольких вариантах, делают нас непохожими друг на друга. Чем ближе вы родственны человеку, тем больше сходства между вашими геномами. Чем дальше друг от друга находятся два вида на древе жизни, тем сильнее различаются их

геномы. За время, прошедшее с момента существования общего предка, геномы постепенно расходятся. Но не все участки ДНК меняются с одинаковой скоростью. Некоторые гены за миллиарды лет изменились совсем мало. Например, гены, участвующие в переводе генетического кода в белки, называют высококонсервативными: за последние четыре миллиарда лет они почти не изменились.

Другие гены могут заметно различаться даже у близкородственных видов. Например, гетерохроматин играет важную роль в выключении других генов и заметно различается даже у очень близких видов плодовых мушек.

Новые аллели и новые гены, способные производить новые белки, возникают благодаря мутациям генетического кода. Мутации появляются из-за ошибок при копировании ДНК во время деления клеток. По сути, мутация — это ошибка копирования. Именно так, например, вирус SARS-CoV-2 мутировал, порождая новые штаммы. Мутации, судя по всему, возникают случайно, и многие из них влияют на развитие организма. Иногда последствия относительно невелики — например моё плохое зрение связано с тем, что сетчатка глаза развилась не совсем правильно. Другие мутации способны привести к слепоте, глухоте, преждевременному старению, ранней смерти, хронической боли, синдрому Дауна и некоторым расстройствам личности. Вредные мутации нарушают нормальное развитие. Но небольшая доля мутаций оказывается полезной. Они создают фенотипические признаки, позволяющие особям лучше избегать смерти или репродуктивной неудачи. Именно такие полезные мутации позволили жизни процветать, на некоторых ветвях древа усложняться и в конце концов завоевать планету. Без них мы никогда не смогли бы эволюционировать из LUCA. Но за успех жизни приходится платить вредными мутациями.

Цена нашего существования — бесчисленные преждевременные смерти, страдания и неудавшиеся жизни

организмов, чьи «инструкции по самосборке» содержали ошибки и потому не позволили им оставить потомство.

Мутация и отбор движут эволюцию, но поскольку мутация способна возникнуть где угодно в геноме, некоторые особи проигрывают в лотерее развития, а немногие — выигрывают. Самая простая мутация происходит тогда, когда цитозин, тимин, аденин или гуанин копируется неправильно. Именно такая мутация у одного из моих предков отвечает за моё плохое зрение — позже я ещё вернусь к этому. Представьте, например, что в некоторой точке 14-й хромосомы цитозин случайно копируется как аденин. Возникает новый аллель, который может изменить всего одну аминокислоту в кодируемой геном цепочке. Из-за этого белок приобретёт немного иную форму. А изменившаяся структура белка может слегка повлиять на развитие фенотипического признака — например замедлив химическую реакцию по сравнению с вариантом белка без мутации.

Если новый признак даёт его носителю преимущество в выживании или размножении, мутировавший аллель начнёт распространяться в популяции. Но большинство мутаций вредны и довольно быстро исчезают. Точечная замена одного нуклеотида другим — лишь один тип мутации. Существуют и гораздо более масштабные изменения. Особенно интересны случаи, когда так называемая «мусорная ДНК», прежде не кодирующая белок, внезапно начинает это делать. Чтобы участок ДНК начал производить цепочку аминокислот, клеточная система чтения генетического кода должна встретить стартовый кодон — сигнал начала синтеза белка. Есть несколько троек нуклеотидов, способных выполнять эту функцию, но один из самых распространённых стартовых кодонов — ATG. Есть и стоп-кодоны, приказывающие машине синтеза остановиться. Иногда точечная мутация случайно создаёт новый стартовый кодон в участке «мусорной» ДНК, который прежде не использовался для производства белков. Тогда может возникнуть совершенно новый

белок. Обычно пользы от него никакой, но в редких случаях он находит себе функцию.

Такие мутации редки, зато способны породить совершенно новые фенотипические признаки, которых жизнь прежде никогда не знала. Мы привыкли считать вирусы сплошной неприятностью, но иногда они становятся источником новых полезных генов. Вирусы — например коронавирусы, вызывающие COVID, а также вирусы кори или бешенства — не способны размножаться самостоятельно. Им нужна клеточная машина хозяина, поэтому они заражают нас. Оказавшись внутри клетки, вирус захватывает её механизмы и заставляет создавать копии своего генетического кода и белков оболочки, из которых затем самособираются новые вирусные частицы.

Большинство заражённых вирусами клеток погибает, но не всегда. Иногда генетический код вируса навсегда встраивается в ДНК заражённой клетки. Если это происходит в клетках зародышевой линии, из которых образуются сперматозоиды или яйцеклетки, новый ген способен передаться потомству. После этого он может использоваться для производства белков и новых фенотипических признаков. В большинстве случаев такие белки не дают никакой пользы. Но иногда дают.

Известно, например, что вирусные гены, присвоенные организмом хозяина, сыграли важную роль в эволюции плаценты у первых млекопитающих. Существуют и другие виды генетических мутаций — делеции, вставки, инверсии. Участок ДНК может скопироваться из одной части генома и встроиться в другую. Последовательность способна перевернуться и появиться в обратном порядке. Иногда две хромосомы соединяются в одну более крупную, а иногда одна разделяется надвое. Порой дублируется весь геном, и число генов удваивается. Недавние исследования даже обнаружили случаи, когда гены перескакивали от паразитов к хозяевам.

ДНК — не статичный архив. Она постоянно меняется. История мутаций на наших эволюционных ветвях привела к тому, что у разных видов разные гены, разные аллели одних и тех же генов и даже совершенно разные размеры генома. У японского горного растения *Paris japonica* геном содержит 149 миллиардов нуклеотидных оснований. Человеческий геном примерно в пятьдесят раз меньше — жалкие три миллиарда. Но по сравнению с бактерией *Nasuia deltocephalinicola*, живущей внутри насекомых, и это огромная величина: её геном состоит всего из 112 000 оснований — почти на шесть порядков меньше, чем у *P. japonica*. Некоторым видам, по-видимому, для жизни требуется гораздо больше ДНК, чем другим. Причём размер генома, как ни странно, необязательно соответствует количеству генов. У растения *Arabidopsis thaliana* 27 416 генов упакованы в геном из 135 миллионов оснований.

У ели обыкновенной примерно столько же генов, но геном содержит около 19 миллиардов оснований. Различается и способ упаковки ДНК. Бабочка голубянка атласская — животное с одним из самых больших чисел хромосом: 450, объединённых в 225 пар. У самок муравья *Myrmecia pilosula*, напротив, всего одна пара хромосом. Самцы этого вида, как и самцы всех муравьёв, имеют лишь одну копию каждой хромосомы, а не две. Биологи называют их гаплоидными, а не диплоидными, потому что их хромосомы не образуют пар. У некоторых растений всё ещё необычнее: они имеют по три и более копии каждой хромосомы.

У папоротника уховника может быть до десяти копий, а даже самый обычный банан — триплоиден: каждая его хромосома представлена тремя копиями. Размер генома, количество хромосом и число их копий — тоже фенотипические признаки и способны эволюционировать, как любые другие.

Сравнивая геномы видов, биологи могут восстановить степень их родства. Но после смерти организма ДНК обычно довольно быстро разрушается — за исключением крайне редких условий. В

фильме «Парк юрского периода» ДНК динозавров извлекают из насекомых, заключённых в янтаре. Но даже внутри окаменевшей древесной смолы ДНК не способна сохраниться 66 миллионов лет — столько, сколько потребовалось бы, чтобы дожить от астероидной катастрофы конца мелового периода до наших дней. Самая древняя ДНК, найденная на сегодняшний день, была обнаружена под ледяным щитом Гренландии и имеет возраст около двух миллионов лет. Поскольку после смерти ДНК в большинстве случаев быстро распадается, мы можем лишь строить гипотезы о размере, структуре и составе генома *T. rex*, первых млекопитающих или общего предка человека и МК-D1, жившего миллиарды лет назад. Иногда можно с большой уверенностью утверждать, что у вымершего вида был определённый ген, если этот ген присутствует у всех современных потомков общего с ним предка.

Но далеко с помощью такого метода не уйдёшь. ДНК позволила биологам с невероятной подробностью восстановить древо жизни, но гораздо хуже помогает понять, как именно выглядели вымершие виды. Даже если мы знаем, что у исчезнувшего организма был определённый ген, это вовсе не означает, что мы точно понимаем, как этот ген влиял на его развитие и фенотип. Один и тот же ген часто приспосабливается для совершенно разных целей. Например, белок GroEL встречается у множества бактерий и играет ключевую роль в правильном сворачивании цепочек аминокислот в белки.

Но тот же самый белок, произведённый тем же геном, муравьиные львы используют как яд против насекомых. Личинки некоторых сетчатокрылых называют муравьиными львами. Они выкапывают в песке конические ямки и частично зарываются на дне. Ничего не подозревающее насекомое — чаще муравей, иногда жук — оступается на краю ловушки и скатывается вниз. Там муравьиный лев впрыскивает в добычу парализующий яд, высасывает внутренности и выбрасывает несъедобный хитиновый

скелет. Яд производят бактерии, живущие в слюнных железах муравьиного льва. И это тот самый белок, который сами бактерии используют для правильного сворачивания других белков. Многие — возможно, большинство — генов создают белки, выполняющие сразу несколько функций.

Поэтому определить, как именно вымерший вид использовал конкретный ген и какие признаки тот помогал формировать, бывает чрезвычайно трудно. Разные виды также включают одни и те же гены на разное время в ходе развития. У рыб с относительно крупными плавниками некоторые гены остаются активными дольше, пока плавники растут, чем у видов с более мелкими плавниками. Многие различия в форме тела и размерах органов у мышей, обезьян, людей и других млекопитающих возникают не потому, что используются разные гены, а потому, что одни и те же гены включаются и выключаются на разных этапах развития. Поэтому наличие у вымершего организма гена, связанного с развитием мозга, ещё мало говорит о том, насколько большим был его мозг.

Чтобы увидеть форму жизни прошлого, приходится обращаться к ископаемым. Окаменелости известны людям по меньшей мере две с половиной тысячи лет. Древние греки понимали, что окаменевшие раковины когда-то принадлежали живым моллюскам. Когда Ксенофан Колофонский находил такие окаменелости, он совершенно правильно заключал, что земля, где они лежат, когда-то находилась под морем. Многие культуры — от Китая до Ближнего Востока — знали об ископаемых и понимали, что перед ними останки давно умерших организмов. Но лишь в 1840-х годах, когда Ричард Оуэн, основатель лондонского Музея естественной истории, придумал слово «динозавр», интерес к ископаемым стал массовым. Оглядываясь назад, очевидно, что люди тысячелетиями натыкались на кости динозавров, но приписывали их мифическим чудовищам — например великанам. Прорыв Оуэна состоял в том, что он изучил кости трёх разных

видов и понял: все они принадлежат вымершей группе рептилий, представители которой могли достигать гигантских размеров. Слово «динозавр» буквально означает «ужасный ящер».

Когда публика осознала, что по Земле действительно когда-то ходили чудовищные существа, началось наше увлечение динозаврами. Окаменелости динозавров встречаются сравнительно часто, хотя подавляющее большинство их тел просто сгнило, не оставив никаких следов. Их ископаемых много потому, что динозавры были невероятно успешной группой: они населяли планету около 165 миллионов лет, и численность некоторых видов была огромной. У крупных динозавров были большие кости и зубы, а именно твёрдые части животных и растений имеют наибольшие шансы окаменеть. Одиночные клетки и мягкие ткани — мышцы, мозг, цветы — сохраняются намного реже. И всё же иногда сохраняются даже они.

Несмотря на это, за последние четыре миллиарда лет на нашей планете существовало невероятное количество жизни, о которой мы почти ничего не знаем, хотя палеонтологи научились довольно хорошо предсказывать, где следует искать ископаемые определённых геологических эпох. Не всегда легко определить, принадлежали ли найденные кости взрослой особи маленького вида или детёнышу более крупного. По мере взросления форма тела способна радикально меняться, и если сохранилось лишь несколько костей или зубов, интерпретировать их трудно. Молодые и взрослые особи одного вида могут разительно отличаться и размерами, и внешностью. Птенцы эму вылупляются высотой около пяти дюймов — примерно как самая маленькая нелетающая птица в мире, — пушистые и невероятно милые.

А вырастают они до пяти футов семи дюймов, превращаясь в настоящих чудовищ, почти не похожих на своих детёнышей. Несколько лет назад, когда мы гостили на ферме моего тестя в Квинсленде, нам принесли однодневного птенца эму, потерявшего отца. Эму — как и другие бескилевые птицы вроде страусов —

необычны тем, что именно отец полностью заботится о потомстве. Птенцы большинства птиц выглядят не так привлекательно, как взрослые, потому что рождаются почти без перьев.

Но у эму, кур и уток молодняк уже покрыт пухом, и принесённый нам птенец был невероятно мил. И если бы мы не стали за ним ухаживать, он бы погиб. Сначала я называл эму Эммой, но потом задумался: а вдруг это самец? — и решил, что нужно имя, подходящее для обоих полов. Так появилась Эмма-Стив. Она — или он — запечатлел моего тестя как родителя, а тесть привязался к птенцу и вырастил его на ферме. Несколько месяцев птица была любимым питомцем. Оказалось, что она готова есть практически всё — включая ключи от трактора, — но особенно любила стейк. Обычные эму питаются куда менее белковой пищей, но поскольку на ферме держали скот, недостатка в стейках не было.

Примерно к году Эмма-Стив превратился в раздражительного «подростка» и вырос до шести футов — крупнейший эму, которого мы когда-либо видели. Если бы мы не знали, во что превращаются птенцы эму, нас ждал бы неприятный сюрприз. Выяснилось, что Эмма-Стив всё-таки самец. Из невероятно милого птенца он превратился в агрессивного зверя с неудержимым желанием занять вершину иерархии. После того как Эмма-Стив загнал мою дочь Софи в дом, напал на тестя и вообще стал отпугивать всех посетителей, мы решили: пора что-то делать. С ним провели то, что биологи называют «мягким выпуском»: просто оставили ворота открытыми, а когда он вышел, закрыли их.

Но мы регулярно встречали его поблизости. Большие размеры эму явно не мешали. А однажды мы с восторгом увидели его вместе с выводком из восьми птенцов. Мой тесть выращивал на ферме самых разных осиротевших животных — от валлаби до брошенных щенков.

Но поклялся больше никогда не растить эму. Первоначальная милота Эммы-Стива нас обманула. Хотя мы прекрасно знали, каким чудовищем может стать птенец, желание спасти его жизнь

заставило нас как будто забыть об этом. Молодые и взрослые особи одного вида могут разительно отличаться.

Но несмотря на сложности, которые развитие организма создаёт для палеонтологов, тщательное изучение ископаемых в сочетании с достижениями генетиков позволило нам довольно хорошо восстановить историю жизни на Земле. LUCA был простым одноклеточным организмом, использовавшим тот же генетический код, что и мы, но во всём остальном совершенно на нас не похожим. Попытки реконструировать его геном показывают, что энергию для метаболизма он, вероятно, получал из сероводорода, выбрасываемого вулканами, а не из растений, грибов и животных. Кислород убил бы LUCA. Мы, напротив, без кислорода умираем. Его геном был крошечным по сравнению с нашим. Секс был ему совершенно чужд, тогда как нам для размножения он необходим. Чтобы из LUCA в конечном счёте возникли вы и я, за почти четыре миллиарда лет должны были произойти бесчисленные мутации, некоторые из которых создали новые фенотипические признаки, помогавшие нашим предкам выживать и размножаться. Восстановление древа жизни по ДНК и ископаемым, а также знание ключевых событий истории Земли — падений астероидов, эпох гигантской вулканической активности — позволили биологам понять, какие этапы потребовались, чтобы от LUCA прийти к человеку. Узнать предстоит ещё очень многое. Но знаем мы уже немало. Мутации изменяли развитие организмов, а естественный и половой отбор действовали на возникавшие фенотипические признаки.

Так появились мы. Молекулярные механизмы нередко чрезвычайно сложны и выходят за рамки этой книги, но несколько важнейших эволюционных новшеств на пути от LUCA к человеку стоит рассмотреть. По мере того как жизнь укреплялась на нашей планете, она училась использовать всё более разнообразные источники энергии вместо сероводорода, которым, вероятно, довольствовался LUCA. Не позднее 2,7 миллиарда лет назад — а

возможно, уже 3,5 миллиарда лет назад — жизнь научилась получать энергию из света.

Первыми это освоили цианобактерии — те самые бактерии, которые образуют строматолиты в Шарк-Бей на западе Австралии и на Багамах. Они используют фотосинтез — процесс, на который сегодня опираются все растения, водоросли и множество бактерий. При фотосинтезе энергия фотонов используется для расщепления молекул углекислого газа и воды. Высвободившиеся атомы углерода и водорода затем идут на строительство аминокислот, необходимых для производства белков.

Побочным продуктом этого процесса становится кислород. Одна цианобактерия выделяет его совсем немного, но миллиарды бактерий, работавшие миллионы лет, постепенно насытили им окружающую среду. Сначала весь кислород тут же реагировал с веществами земной коры и атмосферы. Но в конце концов всё, что могло окислиться, окислилось. И тогда свободный кислород начал накапливаться в атмосфере.

Примерно 2,33 миллиарда лет назад в земной атмосфере появился не связанный химически кислород. В течение следующих миллионов лет его доля постепенно выросла до 3–4 процентов. Это всё ещё намного меньше современных 21 процента. Цианобактерии стали первыми глобальными загрязнителями планеты. Хотя впоследствии жизнь научилась блестяще использовать произведённый ими кислород, для большинства древних организмов он был ядом. Кислород цианобактерий убил миллиарды бактерий. Но то, что для одного вида яд, для другого может стать пищей.

Жизнь нашла способ использовать кислород. Бесчисленные крошечные порции кислорода, выпущенные цианобактериями миллиарды лет назад, проложили дорогу к появлению нас с вами. Великое кислородное событие, во время которого доля кислорода в атмосфере выросла до 3–4 процентов, было необходимым условием нашей эволюции. Но оно вовсе не гарантировало, что мы

появимся. Рост количества кислорода позволил возникнуть новому типу обмена веществ. Организмы приспособились использовать высокую реакционную способность кислорода, чтобы извлекать энергию из глюкозы — сахара, которым пользуется огромное множество форм жизни.

Как эволюция показывала снова и снова: стоит новому ресурсу стать достаточно распространённым, и жизнь найдёт способ его использовать. Когда организмы научились расщеплять глюкозу с помощью кислорода, мир изменился до неузнаваемости. Возникли новые образы жизни и возможность строить организм из множества клеток. Все современные животные получают энергию из глюкозы, извлекая её при расщеплении крупных молекул — углеводов. Жизнь использует углеводы как запас энергии и как сырьё для строительства других крупных молекул. Углеводы содержатся в каждой клетке. Поэтому способность использовать глюкозу для метаболизма и копирования ДНК открыла перед жизнью совершенно новые возможности: можно было питаться живыми или недавно умершими организмами.

Сначала одноклеточные существа начали поедать друг друга — в том числе через эндоцитоз. Позже из этого выросли хищничество, растительность, паразитизм и падальничество. Таким образом, кислород оказался обоюдоострым мечом. Он не только отравил множество бактерий, но и возвестил наступление более опасного мира. Появился новый способ умереть: быть съеденным другим организмом.

По мере повышения уровня кислорода клетки могли становиться крупнее, потому что кислород теперь проникал глубже внутрь. Большим клеткам для эффективной работы требовалась куда более сложная внутренняя организация, чем бактериям и археям. Возникли внутренние мембраны, направлявшие химические вещества из одной области клетки в другую. Первые эукариотические клетки могли быть в тысячи раз крупнее бактерий. Эволюция эукариот сегодня остаётся одной из

самых активно изучаемых областей биологии, и существует множество гипотез о происхождении их внутренних структур. Мы всё ещё не знаем точно, как археи превратились в эукариот. Но одно важнейшее событие заслуживает особого внимания. Вскоре после появления эукариот примерно полтора миллиарда лет назад произошла неудачная попытка хищничества. Одна ранняя эукариотическая клетка попыталась съесть бактерию. Но бактерия выжила. Более того, она поселилась внутри клетки и продолжила там делиться. Со временем между хозяином и бактерией возник чрезвычайно эффективный симбиоз. Эукариотическая клетка обеспечивала бактерии безопасностью и глюкозой. А бактерия взяла на себя энергетический обмен клетки. Она производила аденозинтрифосфат — АТФ, конечный продукт метаболизма и универсальное топливо для химических механизмов всех клеток. Потомки тех бактерий сегодня живут во всех эукариотических клетках. Мы называем их митохондриями. Это органеллы с собственной мембраной и собственной ДНК. Митохондрии уже не способны жить вне эукариотической клетки, а эукариотическая клетка не способна жить без них. Когда наши митохондрии перестают работать, мы умираем. Обычно раньше нас убивает что-то другое, но одна из важнейших причин старения состоит в том, что митохондрии постепенно изнашиваются. Иногда в их ДНК возникает мутация, из-за которой они начинают работать неправильно. Обычно это приводит к ранней смерти. Митохондрии есть у всех эукариот — в том числе у растений и грибов. А растительные клетки содержат ещё одного потомка древнего симбиотического прокариота — хлоропласт. Именно в хлоропластах происходит фотосинтез: энергия света используется для производства глюкозы, питающей метаболизм растения. Вся сложная жизнь на Земле обязана своим существованием древнему взаимовыгодному союзу бактерий и первых эукариотических клеток, родственных МК-D1. Некоторые эукариоты, в том числе человек, размножаются половым путём. Секс появился довольно

рано — ещё среди одноклеточных эукариот, напоминавших современных дрожжей. Но далеко не все эукариоты используют половое размножение. У некоторых видов самки производят собственные генетические клоны, фактически делая самцов ненужными. И здесь возникает парадокс. Каждый раз, когда клональная самка делится, она создаёт точную генетическую копию себя. Причём каждая дочь тоже способна производить собственных клонов.

У самки, размножающейся половым путём, в среднем лишь половина потомков будет самками и сможет самостоятельно производить новое поколение.

Вторая половина — самцы, которые потомков не рожают. Кроме того, каждый ребёнок такой самки получает лишь 50 процентов её генома — по одной хромосоме из каждой пары. При прочих равных гены бесполого клонирующегося варианта должны распространяться в популяции вдвое быстрее генов полового размножения. Бесполое размножение должно было вытеснить половое. Секс — эволюционно дорогое удовольствие. Значит, если он сохранился, у него должны быть серьёзные преимущества. Биологи обнаружили несколько таких преимуществ. Например, половое размножение позволяет гораздо быстрее перестраивать сочетания генов в геноме и тем самым помогает популяциям оперативно приспосабливаться к постоянно эволюционирующим вирусам и бактериям.

Кроме того, секс помогает избавляться от вредных мутаций. По-видимому, в ранней истории эукариот эти преимущества перевесили издержки. Половое размножение распространено не повсюду, но именно так размножается большинство животных и растений. Возникнув у одноклеточных эукариот, секс затем был унаследован более сложными организмами после появления многоклеточности. Где-то между 600 миллионами и 1,6 миллиарда лет назад возникла многоклеточная жизнь. Большинство форм

жизни, включая всех бактерий и архей, состоит из одной клетки, способной жить и размножаться самостоятельно.

Многоклеточные организмы — грибы, растения и животные — состоят из множества клеток, работающих сообща, причём ни одна из этих клеток уже не способна полноценно существовать в одиночку. В таком организме каждая клетка содержит один и тот же геном, но по мере развития клетки превращаются в разные типы, выполняющие различные задачи. Ваши клетки кожи не похожи на нервные клетки, а нервные — на мышечные. И всё же во всех них одна и та же последовательность ДНК, упакованная внутри мембранной структуры, называемой клеточным ядром. Появление многоклеточности требовало решения двух проблем. Во-первых, организм из множества клеток должен был каким-то образом развиваться из одной исходной клетки. Во-вторых, достигнув зрелости, он должен был производить новые одиночные клетки, из которых могли бы возникнуть новые организмы. При половом размножении такой исходной клеткой становится оплодотворённая яйцеклетка. Большинство животных производит сперматозоиды и яйцеклетки, содержащие по одной копии каждой хромосомы — то есть гаплоидные клетки. Во время зачатия яйцеклетка и сперматозоид сливаются, образуя новую диплоидную клетку. Она делится на две. Две — на четыре. Процесс повторяется, пока не формируется шар примерно из шестидесяти четырёх клеток — бластула.

Затем клетки бластулы начинают специализироваться. Первое крупное разделение — на клетки будущей плаценты и клетки будущего эмбриона.

Судьбу клетки определяет концентрация химических веществ, выделяемых её соседями. У клеток на поверхности соседей меньше, поэтому концентрация некоторых сигналов ниже. Из-за этого одни гены включаются, а другие остаются выключенными. Глубже внутри клеточного шара концентрация тех же веществ выше, поэтому включается другой набор генов — и клетка

развивается по другому пути. После первой специализации два типа клеток начинают производить собственные химические сигналы. Эти молекулы выходят из клеток и создают градиенты концентрации: ближе к источнику их больше, дальше — меньше. Сочетания множества таких химических градиентов внутри развивающегося организма сообщают каждой клетке, какие гены включить, а какие выключить. Так постепенно появляется всё больше типов клеток. На протяжении развития именно эти химические сигналы заставляют клетки с одним и тем же геномом превращаться в мышцы, почки, глаза, уши, сердце, ногти и всё остальное, из чего вы состоите.

Насколько важны концентрации химических сигналов, хорошо видно из экспериментов, в которых биологи меняли их у плодовых мушек и других лабораторных животных, включая и выключая определённые гены в разные моменты развития. Результатом становились чудовищно деформированные мухи. Вы состоите примерно из 30 триллионов клеток, которые можно разделить примерно на 220 основных типов. Но внутри каждого типа есть дополнительное разнообразие, поэтому некоторые учёные считают, что классифицировать клетки нужно гораздо подробнее. В ходе развития эти клетки самоорганизуются в ткани и органы. Один и тот же геном создаёт совершенно разные клетки благодаря тому, что в разных местах и в разное время включает одни гены и выключает другие. Включите один набор генов — и получите колбочку сетчатки, необходимую для зрения. Включите другой — и возникнет жировая клетка для хранения энергии.

Ваш геном — инструкция по сборке. Он содержит указания, когда во время развития включать и выключать определённые гены, создавая градиенты молекул, которые, в свою очередь, приказывают другим клеткам включать или выключать уже другие гены. Животные — чемпионы по дифференцировке клеток. Но растения, грибы и некоторые водоросли, например морские, тоже это умеют.

Просто у них из одной и той же ДНК возникает намного меньше типов клеток и органов, чем у животных. Построение древа жизни показало: многоклеточность у эукариот возникала независимо не менее десяти раз. Но как это произошло?

На протяжении миллиардов лет, пока вся жизнь оставалась одноклеточной, мутации и отбор создавали всё больше полезных генов. Бактерии выработали несколько хитроумных способов обмениваться ДНК, и некоторые одноклеточные виды в результате освоили сразу множество образов жизни. В зависимости от условий окружающей среды они включали разные гены. Если вокруг был кислород, можно было использовать глюкозу как источник энергии. Если кислорода не было — переключиться на другой источник углерода.

Способность включать разные гены в разных условиях, без сомнения, подготовила почву для многоклеточности. Но это был лишь один из множества необходимых шагов. Главной проблемой первых многоклеточных организмов было заставить клетки держаться вместе. Самый вероятный сценарий: после деления клетки просто не расходились полностью, и постепенно формировался шар генетически идентичных клеток. Но есть и другие варианты. Согласно одной гипотезе, клетки разных генетических линий сначала начали сотрудничать, а затем каким-то пока неизвестным способом объединили свою ДНК в единый геном. Мы и сегодня наблюдаем, как генетически разные клетки некоторых простых организмов собираются вместе, поэтому часть этой идеи имеет основания. Но пока не будет зафиксировано реальное слияние геномов, этот путь останется лишь гипотезой. Третья идея состоит в том, что одна клетка сначала образовала множество ядер, каждое с копией генома, а затем мембраны разделили ядра и окружающие органеллы, создав группу клеток. Такое поведение встречается у некоторых современных видов, хотя довольно редко. Ископаемая летопись не сохраняет процессы вроде тех, которые породили многоклеточность, поэтому,

возможно, мы никогда не узнаем наверняка, каким именно способом она возникла.

Но поскольку многоклеточность независимо появлялась как минимум десять раз, вполне возможно, что эволюция воспользовалась всеми тремя путями. Первые многоклеточные животные, вероятно, представляли собой простые шарики клеток, почти не отличавшихся друг от друга. И всё же естественный отбор благоприятствовал даже таким простым образованиям. Возможно, первые многоклеточные организмы могли поедать одноклеточных конкурентов. Возможно, крупный размер защищал их от больших одноклеточных хищников. А возможно, они получили преимущества в движении. У фотосинтезирующих видов многоклеточная форма могла позволять лучше конкурировать за свет — например разрастаться поверх одноклеточных соседей. Были и издержки.

Питательные вещества вроде сахаров и кислорода приходилось доставлять клеткам в глубине организма. Но преимущества перевесили. Многоклеточность закрепилась. У неё, однако, есть серьёзная цена. Например, многоклеточный организм вынужден откладывать размножение, пока растёт и развивается.

Одноклеточные существа могут делать копии себя гораздо быстрее. При прочих равных они должны были бы вытеснить более сложных конкурентов. Кроме того, многоклеточные организмы неизбежно умирают. С точки зрения эволюции это не обязательно «стоимость», но для нас — не самое приятное свойство сложного тела, разделённого на зародышевую линию и одноразовую сому. Если зародышевая линия выполнила задачу успешно, она будет продолжена в потомстве.

А всё ваше тело — руки, мозг, глаза, пальцы ног — одноразовая сома, существующая с эволюционной точки зрения лишь затем, чтобы максимально увеличить вероятность того, что вы произведёте потомство, каждый представитель которого получит половину ваших генов. У животных, растений и грибов выгоды

многоклеточности, очевидно, перевесили издержки. У других эукариот — например дрожжей и амёб — этого не произошло. Большая часть жизни на Земле по-прежнему одноклеточная. Это невероятно успешный образ жизни, существующий на миллиарды лет дольше многоклеточного. Мы склонны считать сложную многоклеточную жизнь эволюционно «выше». Но это неверно. Это лишь один из способов передавать гены от поколения к поколению.

Но как простой шар клеток превратился в сложных животных вроде вас и меня? Окаменелости показывают, что в одной из многоклеточных линий простые клеточные шарики превратились в крошечных чашеобразных животных. Возможно, такая «чаша» была примитивной ловушкой для одноклеточных организмов, которых затем расщепляли выделяемые животным химические вещества. У предков растений возникли другие формы — разветвлённые структуры, максимально увеличивавшие площадь, получающую свет для фотосинтеза.

Многоклеточная жизнь начала разнообразиться точно так же, как когда-то одноклеточная, используя любые доступные ресурсы. На линии от LUCA к нам был сделан ещё один решающий шаг. В течение следующих полумиллиарда лет появлялись всё более сложные виды. Чуть более пятисот миллионов лет назад произошёл впечатляющий взрыв разнообразия сложной животной жизни, продолжавшийся примерно 13–25 миллионов лет. Мы называем его кембрийским взрывом — по кембрийскому периоду, начавшемуся 539 миллионов лет назад и продолжавшемуся более 53 миллионов лет. Именно тогда в ископаемой летописи впервые появляются наши предки — а также предки вообще всех позвоночных животных. Современная визуализация шестнадцати окаменелостей вида *Pikaia gracilens* показала, что у него была нервная хорда, которая в последующие миллионы лет эволюционировала в позвоночник всех позвоночных. Как и многие наши далёкие родственники, *Pikaia gracilens* вряд ли стала

бы вдохновляющим собеседником за ужином, хотя внешностью наверняка привлекла бы внимание.

Длиной она была около пяти сантиметров и напоминала примитивного угря с щупальцами на голове. Сегодня существует родственная группа животных — ланцетники, внешне похожие на *Pikaia*.

Они живут на мелководье от тропиков до Скандинавии и питаются, фильтруя из воды бактерии, водоросли и мелких животных. *Pikaia gracilens* освоила этот образ жизни более полумиллиарда лет назад — и он существует до сих пор. Во время кембрийского взрыва в ископаемой летописи впервые появляются не только наши предки. Некоторые формы той эпохи впоследствии дали начало мидиям, губкам, осьминогам и омарам. Эволюция уже освоила многоклеточность, специализацию клеток и использование химических градиентов. В кембрии она породила не только предков всех современных животных, но и экспериментировала с формами тела, которые впоследствии не прошли эволюционный фильтр. Особенно жаль, что до наших дней не дожил *Tamisiocaris borealis* — животное длиной почти метр. Он был близким родственником грозного хищника *Anomalocaris*, предка современных креветок и крабов, но сам *Tamisiocaris* был гораздо менее страшным существом. Он вполне органично смотрелся бы в морях Пандоры из фильма Джеймса Кэмерона «Аватар: Путь воды».

Питался он бактериями и водорослями, вылавливая их тонкими щетинками на передних конечностях — руках, ногах или как там их правильнее назвать. Если бы он существовал сегодня, стал бы великолепным обитателем большого океанариума. Кембрийский взрыв — ещё и время, когда у животных появилась голова современного типа. К тому моменту эволюция уже создала клетки, а затем и органы, способные воспринимать свет, электрические поля, прикосновения, звуковые волны и, вероятно, вкус и запах. Рядом с этими первыми органами чувств возникли

примитивные мозги. Во время кембрийского взрыва глаза, уши и носы постепенно сосредоточились на одном конце тела — там, где сформировалась голова с мозгом внутри. Хотя среди кембрийских животных встречались странные существа вроде *T. borealis*, многие формы уже не выглядели бы совершенно чужими в современном море.

Именно тогда впервые возникло множество черт, свойственных сегодняшним животным. Но должно было пройти ещё почти полмиллиарда лет, прежде чем представитель одного из потомков *Pikaia gracilens* посмотрит на её окаменелость с изумлением. К концу кембрийского взрыва, когда животные стремительно разнообразились в океанах и прокладывали путь будущим позвоночным, растения начали осваивать сушу. Самые ранние свидетельства говорят, что первые виды буквально «пустили корни» на суше около полумиллиарда лет назад. Бактерии к тому времени уже сотни миллионов лет процветали в пресноводных озёрах и мелководных морях.

После появления одноклеточных водорослей они тоже освоили эти среды. Но многоклеточные наземные растения возникли позднее. Сначала их корни, вероятно, оставались в донных отложениях озёр, а над водой постепенно развивались структуры, позволявшие тянуться к свету — примерно как у современных мангров.

Затем растения приспособились к сезонно пересыхающим озёрам и наконец колонизировали территории, затоплявшиеся всё реже. Вслед за растениями возникли богатые органикой почвы. Примерно 400 миллионов лет назад земля и грязь стали обычной частью пейзажа. Насекомые появились чуть меньше пятисот миллионов лет назад — вскоре после первых наземных растений — и стали первыми наземными животными. Самые ранние насекомые напоминали современных чешуйниц и ещё не умели летать. Первые ископаемые летающих насекомых имеют возраст около 400 миллионов лет. Полёт возник как средство расселяться

по новым территориям и спастись от хищников-позвоночных, которые к тому времени уже закрепились на суше, покинув океаны примерно 450 миллионов лет назад. Растения и насекомые представляли собой слишком привлекательный ресурс, чтобы им не воспользоваться. У некоторых рыб к тому времени уже возникли примитивные лёгкие, позволявшие заглатывать воздух и дополнять кислород, получаемый из бедной кислородом воды. Такие рыбы, вероятно, использовали сушу как убежище от хищников или преодолевали короткие расстояния между временными озёрами и солёными лужами среди скал. Некоторые современные рыбы делают это и сегодня.

Киллифиш Хартса выпрыгивает из воды, спасаясь от хищников, и способен перемещаться по лесной подстилке от одного ручья к другому в тропической Южной Америке. Подобные фенотипические признаки дали нашим далёким рыбьим предкам фору в освоении суши. Со временем плавники превратились в конечности, а жабры были полностью утрачены. По мере того как растения процветали на суше, конкуренция за свет становилась всё острее, и высокий рост давал преимущество. Чтобы подниматься далеко над землёй и противостоять гравитации, растения создали жёсткое вещество — лигнин. Лигнин очень прочен. Сегодня, когда растение умирает или дерево падает в лесу, бактерии и грибы разлагают лигнин и другие ткани, хотя это может занять годы. К 300 миллионам лет назад растения использовали лигнин с огромным успехом, и сушу покрывали гигантские леса. Климат был тёплым и влажным, кислорода в атмосфере было больше, чем сегодня, а между деревьями летали стрекозы и другие насекомые длиной до метра. Земля под лесом часто превращалась в болото. И когда растения умирали, бактерии и грибы не разлагали их. Некоторые исследователи считали, что тогда микробы ещё не успели выработать ферменты, способные разрушать лигнин, хотя эта гипотеза спорна.

Но даже если необходимые ферменты уже существовали, в насыщенной водой среде болотистого лесного дна микроорганизмы не могли эффективно ими пользоваться. Мёртвые растения накапливались. Сверху ложились новые слои растительности, затем песок и почва. За миллионы лет спрессованная органика превращалась в уголь. Мы питаем электростанции, автомобили и самолёты, сжигая останки древних организмов, которые тогдашняя жизнь так и не научилась использовать. Животные до сих пор не умеют переваривать лигнин. Зато человек научился использовать уголь — и нефть, образовавшуюся из древних водорослей и бактерий мелководных морей.

И тем самым мы меняем планету. Содержание углекислого газа в атмосфере выросло до уровня, которого Земля не видела миллионы лет. А энергию давно погибших деревьев мы используем, чтобы питать машины, которые рубят живые. Наша зависимость от угля и нефти меняет мир и вносит вклад в огромное число вымираний, произошедших за последние триста лет. Но без угля и нефти, образовавшихся в каменноугольном периоде, современной цивилизации тоже не существовало бы.

Мы не накопили бы нынешнего объёма знаний о Вселенной. Не изобрели бы компьютеры, автомобили и электрические духовки. Уголь и нефть — одновременно благословение и проклятие. Массовое вымирание, которое сегодня вызывает человечество, называют шестым великим вымиранием в истории Земли, хотя подобных событий, возможно, было больше. Самое знаменитое произошло 66 миллионов лет назад, когда падение астероида уничтожило динозавров. Но известны и другие массовые вымирания — примерно 440, 360, 250 и 210 миллионов лет назад. Учёные читают следы этих катастроф в ископаемой летописи. Каждый раз погибала значительная доля земной жизни. Самое масштабное известное вымирание произошло около 250

миллионов лет назад и завершило пермский геологический период. Его называют Великим вымиранием.

Исчезло более 80 процентов морских видов и около 70 процентов наземных позвоночных. Причиной стало огромное количество углекислого газа, выброшенного при формировании Сибирских траппов, о которых мы уже говорили. Массовые вымирания часто уничтожают господствующие группы организмов и освобождают пространство для новых. Великое вымирание не стало исключением. К концу пермского периода наши предки — группа животных, называемых синапсидами, — доминировали на планете. Предки динозавров, завропсиды, были мельче и встречались реже. Великое вымирание уничтожило множество синапсидов, хотя не всех. Среди погибших был двухтонный растительноядный *Tapinocephalus* — крупнейшее животное своего времени.

Исчезли и многие завропсиды. Но уцелевшие завропсиды получили преимущество в новом мире.

В следующие 185 миллионов лет их потомки — динозавры — господствовали на планете, вытеснив наших синапсидных предков на обочину. До Великого вымирания синапсиды доминировали на Земле более ста миллионов лет. И, как всякая жизнь, сами когда-то произошли от других предков. Предыдущее массовое вымирание, случившееся примерно на 110 миллионов лет раньше, открыло дорогу другой группе позвоночных — амниотам. Амниоты произошли от рыб и земноводных, а первые из них появились около 330 миллионов лет назад. Их главным преимуществом была меньшая зависимость от воды, что помогало выживать в тёплом и сухом климате. Название связано с амнионом — оболочкой, окружающей эмбрион и защищающей его от высыхания. Рептилии, птицы и млекопитающие — все амниоты, хотя одни откладывают яйца, а другие рожают живых детёнышей. Через несколько миллионов лет после появления первых амниот их ветвь разделилась.

Одна линия дала синапсидов, из которых позднее возникли млекопитающие. Некоторые другие синапсиды вымерли. А другая линия — завропсиды — дала предков динозавров, рептилий и птиц. Некоторые вымершие синапсиды немного напоминали современных хищных млекопитающих и имели немало знакомых нам черт. Они были теплокровными и обладали примитивными молочными железами для кормления потомства, хотя сами ещё откладывали яйца. В их челюстях уже были коренные зубы, клыки и резцы. А некоторые виды, судя по всему, имели шерсть. Крупные синапсиды вроде *Tapinosephalus* исчезли после Великого вымирания. Но несколько мелких видов уцелело. И примерно 160 миллионов лет назад они дали первых настоящих млекопитающих. Однако эти млекопитающие не смогли сразу превратиться в современных носорогов, бегемотов или людей.

Уцелевшие завропсиды по причинам, которых мы до конца не понимаем, после Великого вымирания получили огромную фору и стали господствующей группой. Динозавры, произошедшие от этих завропсидов, появились примерно 240 миллионов лет назад. Как и их знаменитый потомок *T. rex*, первые динозавры ходили вертикально на двух задних ногах. Они быстро захватили господствующее положение и удерживали его до 66 миллионов лет назад. Многие динозавры были успешными крупными животными, и именно их успех долго не позволял млекопитающим достичь размеров, которые они имеют сегодня. Млекопитающие не могли эффективно конкурировать с тираннозаврами, завроподами, трицератопсами и другими гигантами. Любопытно, что очень маленьких динозавров тоже почти не было.

Возможно, мелкие млекопитающие не позволяли динозаврам уменьшаться, а крупные динозавры не позволяли млекопитающим увеличиваться. Если вы позвоночное животное, способов добывать пищу у вас не так уж много.

Нужно питаться другими формами жизни. Можно есть растения, семена и плоды. Можно охотиться на других животных или есть уже погибших. А вампировые летучие мыши и иногда вампировый земляной выюрок Галапагосских островов питаются кровью живых животных. Ни одно позвоночное не умеет жить исключительно за счёт разлагающихся растительных остатков — это называется детритофагией. Но многие позвоночные всеядны. Бурый медведь, например, ест плоды, растения, насекомых, рыбу и мясо. Какой бы ни была любимая пища вида, эволюция создала огромное разнообразие способов её обнаружить, добыть и использовать. Первый шаг — найти еду. Для этого у животных существуют органы чувств. Мы хорошо знакомы со зрением, обонянием и осязанием. Есть и более необычные системы — например эхолокация у некоторых летучих мышей. Каждое чувство требует специализированного органа — глаз для зрения, ушей для слуха, носа для обоняния — и участка мозга, способного интерпретировать поступающую информацию. Одни виды пищи найти легче, чем другие. Бизону гораздо проще найти траву, чем дятлу — насекомое внутри коры. Когда ресурс трудно обнаружить, эволюция доводит органы чувств и соответствующие области мозга до невероятной чувствительности. Слон, например, способен почувствовать воду на расстоянии до двенадцати миль. Гепард может заметить потенциальную добычу примерно за три мили. Для эхолокации мало просто хорошо слышать. Летучая мышь должна ещё издавать звуковые волны, которые отражаются от предметов и возвращаются обратно. Мозг по отражённому звуку строит своеобразную карту окружающего мира, позволяющую обнаруживать насекомых. Производить звук специально для поиска пищи — довольно редкий приём, но не уникальный. Ай-ай, или мадагаскарская руконожка, — примат, живущий только на Мадагаскаре. Он питается личинками насекомых, которых извлекает из древесных стволов. Ай-ай постукивает специально приспособленным пальцем по коре и огромными ушами

вслушивается в звук, пока не обнаружит скрытую внутри полость с аппетитной добычей. Обнаружить пищу — только половина дела. Её ещё нужно получить. Некоторым травоядным легко: бизону достаточно опустить голову и начать щипать траву. Волку приходится догонять и убивать добычу. Орангутану — найти плодоносящее дерево, сорвать плод, а иногда ещё и очистить его. Охота опасна. Буйволы и жирафы порой убивают львов, а бизоны смертельно ранят волков. Поэтому у всех животных существуют приспособления для добывания пищи. Обнаружив полость внутри дерева, ай-ай прогрызает отверстие направленными вперёд резцами, а затем вытаскивает личинку невероятно удлинённым средним пальцем. И необычный угол резцов, и столь длинный один-единственный палец — уникальны для ай-ай и больше нигде в животном мире не встречаются.

Эти фенотипические признаки возникли именно потому, что позволяли предкам руконожки эффективнее добывать пищу, избегать смерти и оставлять потомство. А гены, отвечавшие за эти признаки, распространялись в популяции. Даже если добыть пищу относительно легко, делать это нужно так, чтобы самому не стать чьей-нибудь пищей. Антилопа на африканской равнине должна следить за гепардами, львами и гиеновидными собаками. Мышь, разыскивающая семена, плоды и насекомых в лесной подстилке, должна одновременно избегать змей. Скорость вилорога, достигающая около 100 км/ч, меняющая цвет кожа хамелеона и устойчивость ежа к змеиному яду — всё это приспособления, снижающие риск погибнуть во время поиска пищи. Эволюция проявила потрясающую изобретательность. Гонка вооружений между хищником и добычей породила великолепный камуфляж, головокружительные скорости и органы чувств, способные улавливать ничтожнейшие запахи. После того как пища добыта, её нужно ещё переварить и использовать. И здесь травоядным вроде бизона становится труднее. Бизон должен жевать жвачку. Сначала он проглатывает растительность, затем отрыгивает её и

пережёвывает снова. Во время повторного жевания выделяется щелочная слюна, нейтрализующая кислоту в первом отделе желудка — рубце. Затем пища проглатывается второй раз и становится доступнее для ферментов и бактерий кишечника. Бизон может проводить за пережёвыванием жвачки до восьми часов в сутки. Энергию из травы приходится добывать тяжёлым трудом. Коалам, пожалуй, ещё сложнее. Они питаются листьями эвкалипта, наполненными защитными химическими веществами, предназначенными отпугивать насекомых. Из-за этого листья чрезвычайно трудно переваривать. У коалы кишечник длиннее, чем у других животных сопоставимого размера. Чем дольше пережёванные листья проходят от одного его конца до другого, тем больше времени остаётся на их переваривание и извлечение питательных веществ. Но даже с таким приспособлением коала спит до двадцати часов в сутки — практически всё это время просто переваривая пищу. После переваривания пищи полученную энергию нужно распределить между множеством задач. Часть уйдёт на размножение. Часть — на борьбу с болезнями. Часть — на поиск следующей еды. Часть — просто на поддержание обмена веществ. Одни животные расходуют энергию экономно и живут долго. Другие тратят её быстрее и нередко следуют стратегии «живи быстро — умри молодым». Гуппи, которых я изучаю на Тринидаде, живут вместе с хищниками в ручьях и реках на равнинах у подножия гор Северного хребта. Гуппи в таких ручьях почти неизбежно рано или поздно будут съедены. Живут они недолго.

Зато хищники удерживают численность популяции низкой, поэтому качественной пищи — питательных речных беспозвоночных — хватает с избытком. Гуппи отлично приспособлены к такой среде. Они рано достигают половой зрелости. Производят много мелких детёнышей. Обладают высоким уровнем обмена веществ и быстро плавают. Постоянно следят за хищниками. Их рот хорошо приспособлен для

высасывания добычи из воды, а сравнительно короткий кишечник позволяет эффективно переваривать питательную пищу. Но если подняться по ручью выше в горы, вскоре встретится водопад. Хищные рыбы выше таких водопадов не встречаются. А гуппи иногда встречаются — но они уже отличаются от родственников внизу.

Поскольку хищников нет, численность гуппи возрастает до тех пор, пока еды не начинает не хватать. Вместо того чтобы погибать в пасти хищника, эти гуппи умирают от голода. Высокая плотность населения означает дефицит качественной пищи, и рыбам приходится включать в рацион водоросли и бактерии. Среда без хищников, но с нехваткой пищи отбирает совершенно иные фенотипические признаки, чем ручьи с обилием пищи и высокой смертностью от хищников. У гуппи изменяется форма челюстей, чтобы лучше соскребать водоросли и бактерии с камней. Метаболизм становится медленнее, чтобы экономнее расходовать энергию. Кишечник удлиняется, позволяя извлекать больше питательных веществ из бедной пищи. Поскольку убегать от хищников больше не нужно, максимальная скорость плавания снижается. Они медленнее растут, позднее и при большем размере достигают половой зрелости, производят меньше, но более крупных детёнышей и живут дольше. При отсутствии хищников самцы становятся ярче и активнее соперничают за самок. Меняется множество фенотипических признаков. Рыбы всё ещё совершенно очевидно остаются гуппи, но популяции из ручьёв с хищниками и без хищников заметно различаются. Эти изменения происходят потому, что во время развития в разное время включаются и выключаются разные гены.

Естественный и половой отбор формируют гуппи так, чтобы они могли процветать в средах с совершенно разными причинами смерти и репродуктивных неудач. Отбор благоприятствует тем сочетаниям признаков, которые помогают рыбам не умереть слишком рано и успеть размножиться. По мере эволюции этих

признаков разные аллели на разных хромосомах получают преимущество, и популяции гуппи выше и ниже водопадов постепенно расходятся генетически. Когда-нибудь, возможно, на древе жизни возникнет новая ветвь. Гуппи — маленькая модель того, как эволюция формировала жизнь на протяжении последних четырёх миллиардов лет.

В этой главе я объяснил, как конкуренция за ресурсы приводит в движение эволюцию и как на нашей ветви древа жизни она породила сложные многоклеточные организмы, размножающиеся половым путём. Я также в самых общих чертах рассказал, как возникала и менялась животная жизнь, пока млекопитающие наконец не унаследовали Землю. По дороге мы увидели, насколько мощна эволюция: она создала МК-D1, *E. coli*, руконожек ай-ай, гуппи, волков — и вас с вами и меня. Каждый вид — история успеха. Он существует в мире, где смерть или невозможность размножиться всегда где-то рядом. Предки каждого живого организма переживали нехватку пищи, ландшафты, кишевшие хищниками, холода и жару. Жили в воде и на суше. Переживали извержения вулканов и падения метеоритов. Они находили множество способов процветать. Одни — в виде удивительных одиночных клеток. Другие — в виде сложных животных, состоящих из триллионов клеток. У сложных животных вроде нас развились тонкие органы чувств для поиска пищи, способности эффективно её добывать и использовать и фенотипические признаки, позволяющие размножаться половым путём. Чтобы возникли млекопитающие, должны были появиться многоклеточность, секс и множество других свойств, о которых я даже не упоминал. Все эти характеристики возникали как ответы на условия, с которыми сталкивались древние виды нашей ветви древа жизни. Современные млекопитающие — результат миллиардов лет эволюции и конкуренции за ресурсы в холодных и жарких, влажных и сухих средах, там, где борьба порой была чрезвычайно жестокой, а порой немного спокойнее. Иногда ход истории

определяли вулканы, землетрясения, астероиды и метеориты. Иногда — хищники, болезни и нехватка пищи. Шестьдесят шесть миллионов лет назад млекопитающие стали господствующей группой наземных животных. Они распространились по планете и начали стремительно разнообразиться. Следующий этап нашего путешествия — понять, как из млекопитающих появились люди. Но прежде чем перейти к этому, нам нужно поговорить ещё об одном важнейшем фенотипическом признаке, которого я пока почти не касался: **сознании**. Именно ему посвящена следующая глава.

СОЗНАНИЕ

Если бы вам довелось встретить разумного инопланетянина, он, возможно, спросил бы вас, каково это — быть человеком. Мне кажется, такой вопрос гораздо вероятнее, чем обследование всевозможных отверстий тела, о котором рассказывают многие люди, утверждающие, будто их похищали маленькие зелёные человечки. В самом деле, если бы вы впервые встретили разумный вид с другой планеты, неужели первым делом стали бы совать палец во все имеющиеся у него отверстия? Скорее всего, нет. Но что вы ответили бы на вопрос, каково это — быть человеком? Возможно, рассказали бы о своём теле, в котором обитает разум, — той части вас, которая рассуждает и думает. Возможно, сказали бы, что именно разум делает вас вами. И это был бы вполне естественный ответ: наш разум кажется нам чем-то особенным и неповторимым, а некоторым — даже слишком ценным, чтобы исчезнуть вместе с телом, поэтому они верят, что после смерти разум продолжает существовать. Наблюдения заставляют нас признать, что после смерти тело перестаёт функционировать и разлагается, но гораздо труднее смириться с тем, что вместе с ним умирает и разум. Мы можем сопротивляться неизбежным разрушительным последствиям старения — правильно питаться, ежедневно заниматься спортом, отказываться от удовольствий, которые врачи считают вредными, — но мысль о том, что наш разум тоже однажды износится и исчезнет, порой кажется почти невыносимой. Болезнь Альцгеймера и деменция показывают, что разум действительно способен разрушаться, как и остальная наша «одноразовая сома», но даже это не мешает многим верить, что после смерти он продолжит жить. Разум кажется нам чем-то особым и немного отдельным от тела.

Одна из причин, почему разум представляется чем-то особенным, заключается в том, что мы не можем указать его

местонахождение так же, как сердце или селезёнку. В отличие от почки, печени или лёгкого, в организме нет отдельного органа под названием «разум», который можно было бы извлечь и изучить. Не существует операции по пересадке разума, и хотя писатели-фантасты любят описывать будущее, в котором сознание можно скачать на флешку, а затем загрузить в компьютер, в ближайшее время ничего подобного не произойдёт. Раз мы не можем найти разум, как он может разлагаться вместе с мозгом, кожей и мышцами? Как бы тщательно мы ни исследовали человеческое тело после смерти, разум там не обнаруживается — может быть, он действительно куда-то уходит? Лично я так не думаю. Мой разум находится в моём мозге — органе, или, точнее, совокупности органов, заключённых в черепе, — и после моей смерти он перестанет существовать. Мозг, а следовательно, и разум — часть моей «одноразовой сомы», и никакой загробной жизни ни для того, ни для другого не будет. Я умру — и свет погаснет.

Конечно, мысль эта меня печалит, но она приводит к другому вопросу: зачем вообще у нас есть разум? Почему мы осознаём собственные мысли и само своё существование? Может быть, это всего лишь способ Вселенной любоваться собственным великолепием? Или просто случайность природы? Можно ли изучать эволюцию разума так же, как эволюцию любого другого признака организма?

Так называемая «трудная проблема сознания» — термин, предложенный Дэвидом Чалмерсом в 1995 году, — касается вопроса, почему мы вообще что-либо переживаем. На протяжении последних десятилетий она занимала центральное место в исследованиях сознания. Название слегка ироничное, потому что в изучении мозга и сознания вообще нет ничего лёгкого. Но именно эта проблема считалась особенно трудной. Если сформулировать её иначе: разве не мог бы существовать лишённый сознания «зомби», который вёл бы себя совершенно как мы — делал всё то же самое, но при этом ничего не переживал?

Трудная проблема трудна именно потому, что предполагает следующее: даже если однажды мы полностью поймём, как работает человеческий мозг, и сумеем построить его точнейшую компьютерную модель, вопрос о том, почему мы вообще ощущаем жизнь, всё равно останется без ответа.

То, каково это — быть человеком, чрезвычайно важно, а возможно, это вообще самая важная сторона нашего существования. Поэтому неудивительно, что исследователи стремятся понять, почему человеческая жизнь ощущается именно так. Следующий очевидный вопрос: а каково это — быть летучей мышью, кошкой или крысой? Мы знаем, что ключ к ответу скрыт в строении мозга каждого вида, и знаем, что именно сознание создаёт у нас ощущение собственного «я». Изучение работы человеческого мозга и его отличий от мозга других животных позволило учёным начать понимать природу сознания и то, почему у нас есть разум.

Одна из самых влиятельных работ о сознании принадлежит философу Томасу Нагелю и носит замечательное название: «Каково быть летучей мышью?». В начале статьи Нагель предполагает, что большинство животных обладают хотя бы некоторой степенью сознания. Он утверждает, что сознание невозможно полностью объяснить, разложив его на физические процессы — например, взаимодействие клеток мозга или работу генов, — и приходит к выводу, что мы никогда не узнаем, каково на самом деле быть летучей мышью. Но раз летучие мыши обладают сознанием, значит, им определённым образом «быть».

Статья была опубликована в 1974 году, и с тех пор мы узнали очень многое. Сегодня психологи достаточно уверены, что летучие мыши действительно обладают некоторой формой сознания, а работа их мозга уже довольно хорошо изучена. Но мы по-прежнему не знаем, что они ощущают. Вероятно, в их жизни бывают подъёмы и спады, хорошие и плохие моменты, удовольствие и боль. Сомневаюсь, что они испытывают тревогу по

поводу судьбы съедаемых ими насекомых, размышляя о преимуществах и недостатках вегетарианства — если, конечно, речь не идёт о плодоядных или вампировых летучих мышах. Скорее всего, они не осознают, что их ждёт смерть, но стараются избегать хищников. Они до некоторой степени общаются друг с другом, хотя вряд ли читают друг другу лекции о великих достижениях летучих мышей прошлого.

Понять сознание — одна из самых трудных задач науки. Проводить эксперименты с сознанием сложно, и большинство исследований пока мало проясняют ту самую трудную проблему. Тем не менее существует множество взглядов на то, почему сознание вообще возникло, причём часто их обсуждают философы, а не исследователи, проводящие эксперименты. Читая эту литературу, я вынужден был пользоваться собственным разумом, чтобы попытаться понять, зачем этот разум существует, и постоянно отделять доказательства от предположений. Я пришёл к выводу, что большинство животных обладает определённой степенью сознания. Муха или креветка не переживает мир с такой же сложностью, как мы с вами, но у неё всё же есть переживания, а значит, есть и какая-то форма сознания. Она может сильно отличаться от нашей. Осьминоги, например, в некотором смысле «видят» мир кожей: многие виды способны менять окраску и рисунок тела в зависимости от освещения, цвета и фактуры окружающей поверхности. Понять, как именно выглядит сознание других видов, чрезвычайно трудно, а возможно, и невозможно, и генетика здесь мало помогает. Нет никаких данных о существовании одного-единственного гена, который «включал» или «выключал» сознание у осьминогов, креветок, мух или людей.

Несмотря на любовь фильмов ужасов к безмозглым кровожадным зомби, никогда не наблюдалось мутанта, который жил бы точно так же, как мы с вами, но ничего при этом не переживал. У сознания нет одной простой причины, хотя

лекарствами мы действительно умеем временно его выключать и включать.

Меня не убеждает идея, что «трудная проблема» действительно является отдельной проблемой, хотя некоторые исследователи сочтут это спорным. Сознание неизбежно возникает из работы мозга. Мне трудно представить мозг, который получает и обрабатывает сигналы от глаз, ушей, носа и кожи, объединяет их с воспоминаниями и решает, как действовать, — но при этом вообще ничего не переживает. Раз мы сознательны и при этом так и не нашли отдельной сущности, которая «делает» нас сознательными, логично заключить, что сознание возникает из самого способа работы мозга. Конечно, некоторые действия мы совершаем подсознательно, но это не означает, что абсолютно всё можно делать, ничего не осознавая. Исходная предпосылка трудной проблемы — будто вся наша деятельность теоретически могла бы происходить подсознательно, — ошибочна. Зомби, которые ведут себя совершенно как сознательные люди, не существуют потому, что существовать не могут. Всё больше психологов приходит к выводу, что сознательный разум — неизбежное следствие сложного мозга и что, поняв работу мозга, мы, возможно, поймём и природу сознания. Наука уже добилась огромного прогресса в понимании нашего разума, и многое стало ясно именно благодаря изучению мозга. Возможно, со временем появятся доказательства того, что способность двигаться в ответ на воспринимаемое событие внешнего мира сама по себе требует переживания и что именно из этого выросло сознание. Пока наука до такой точки не дошла. Подозреваю, мы не найдём не только людей-зомби, но и кур-зомби, креветок-зомби или собак-зомби. Правда, существует немало публикаций о «насекомых-зомби», но речь там идёт о животных, мозг которых заражён грибом *Ophiocordyceps unilateralis* — тем самым патогеном, который в вымышленном сериале *Одни из нас* превратил людей в зомби. В реальной жизни грибок поражает муравьёв, мух и пауков и перед смертью изменяет их поведение

так, что заражённые животные отправляются в место, откуда гриб сможет с наибольшей вероятностью заразить новых хозяев. Меняет ли инфекция при этом сознание насекомого — если оно вообще у него есть, — неизвестно. Сознание, вероятно, является закономерной особенностью мозга некоторых животных, включая нас, и возникает благодаря тому, как этот мозг работает. Насколько сознателен организм, судя по всему, зависит от сложности определённых областей мозга. Нам ещё очень многое предстоит узнать о сознании на той ветви древа жизни, к которой принадлежат животные. Вопрос Нагеля «Каково быть летучей мышью?» заставил меня задуматься: а каково быть мной? На удивление, ответить оказалось трудно — отчасти потому, что мне не с чем сравнивать. Я знаю только, каково быть мной нынешним и мной более молодым. Но в целом, пожалуй, быть мной неплохо. Все чувства, которыми я воспринимаю мир, — зрение, слух, осязание, вкус и обоняние — работают.

Зрение у меня никогда не было особенно хорошим, а с возрастом пришлось купить очки для чтения, но это не помешало увидеть множество удивительных вещей. Слух тоже уже не тот, что прежде. И всё же в целом я по-прежнему способен воспринимать мир и получаю удовольствие от природы, музыки, общения с людьми, хорошей еды и напитков. Органы, с помощью которых я ощущаю мир, пока функционируют. Память — ещё одна важнейшая составляющая сознания — тоже работает вполне прилично. Я хорошо запоминаю факты, особенно связанные с биологией, и, предаваясь воспоминаниям с друзьями и родственниками, могу вспоминать прошлые события не хуже их, хотя иногда с удовольствием забыл бы некоторые глупости, которые совершил. С лицами у меня хуже. Так было всегда. Раньше, когда на улице ко мне подходил знакомый, здоровался и мы несколько минут разговаривали, Соня потом спрашивала, почему я её не представил.

Ответ всегда был один и тот же: я понятия не имел, с кем разговаривал. Теперь она уже не спрашивает, а просто констатирует, что я снова понятия не имел, кто это был. Со знаменитостями то же самое. К ужасу моих детей, я даже не понял, что оказался на одном приёме с певицей Кэти Перри, пока кто-то не объяснил мне, кто она. С другой стороны, она тоже не знала, что находится на одном приёме со мной. Способность решать, как поступить в той или иной ситуации, тоже относится к сознанию, поэтому, размышляя о том, каково быть мной, я задумался и о том, как принимаю решения. Я умею принимать решения быстро и уверенно — даже когда они впоследствии оказываются плохими. Я стараюсь основывать их на доступной информации, а после принятия не переживаю из-за того, что решение могло быть несовершенным. Если позже понимаю, что можно было выбрать лучше, стараюсь извлечь урок: анализирую, где именно ошибся, но не мучаю себя тревогой. Я редко паникую и вообще нечасто испытываю сильный стресс из-за обстоятельств. В молодости, вскоре после истории с малярией, я довольно сильно тревожился из-за собственной смертности. Но потом понял, что беспокоиться об этом бессмысленно. Я выработал для себя простую систему: делю ситуации на те, которые могу контролировать — собственные решения; те, на которые могу попытаться повлиять — решения других людей; и те, на которые не могу повлиять вообще.

Из-за последних двух я стараюсь не переживать — какой в этом смысл? А первая категория находится под моим контролем. Зато я внимательно думаю о том, как можно повлиять на решения других людей: чего они хотят от ситуации, где наши интересы совпадают, какие у меня есть рычаги влияния и что может показаться им привлекательным. Это часть человеческой природы. Все мы так или иначе этим занимаемся. Помимо попыток понять, каково быть мной, я немало размышлял о том, каково быть Вуфлером.

Очевидно, это совсем другое. Он прекрасно оснащён для восприятия мира: у него отличные зрение, слух и обоняние. У него

активная память, особенно на места, где раньше удавалось охотиться на белок и кроликов. Он также помнит других собак и людей, причём некоторые воспоминания сохраняются надолго. Его решения часто не вызывают у меня восторга, но я всё же не думаю, что все его поступки определяются чистым инстинктом. Если в комнате кто-то есть, Вуфлер не возьмёт еду с тарелки. Но стоит человеку выйти — возьмёт. У него недостаточно способностей, чтобы понять: методом исключения мы прекрасно догадаемся, кто украл манчего. Ему также запрещено залезать на нашу кровать. Когда мы дома, он этого не делает. Но стоит нам уйти, как он устраивает себе гнездо среди подушек, а когда мы возвращаемся, слышим глухой стук — это Вуфлер спрыгивает вниз. Иногда пёс смотрит на меня, словно пытается оценить мою реакцию, прежде чем решить, стоит ли делать что-нибудь, за что он точно получит выговор.

Обычно речь идёт о попытке сцепиться с другой собакой — как правило, достаточно крупной, чтобы она могла его хорошенько потрепать, — или о желании поваляться в лисьих экскрементах. Иногда он проходит мимо. Но чаще, кажется, решает, что удовольствие стоит будущих неприятностей. Конечно, я очеловечиваю поведение Вуфлера. Но если бы мы умели точно измерять сознание, уверен, оказалось бы, что оно у него есть. Как выяснилось, в некотором смысле сознание действительно можно измерять. Врачи делают это при помощи сканирования мозга, фиксируя характер электрической активности. Сканеры способны регистрировать электрические поля, создаваемые большими группами клеток в различных областях мозга. Учёные разработали способы описывать эти картины активности по шкале — от совершенно случайной до высокоорганизованной и полностью предсказуемой. Электрическая активность бодрствующего, сознательного мозга человека, занятого повседневными задачами, находится между этими крайностями. Если бы вы просканировали мой мозг, пока я пишу этот абзац, то увидели бы электрические

волны, возникающие в одной области, переходящие в другие и затем затухающие.

Активность моего мозга не случайна — клетки не включаются и выключаются совершенно хаотично. Но она и не полностью предсказуема. Нельзя уверенно сказать, какие именно клетки активируются следующими просто потому, что сейчас работают соседние. Сигналы распространяются внутри определённой области, затем движутся волной дальше, но не всегда тем способом, который мы способны точно предсказать. Волны бодрствующего мозга нормального человека организованы — но не жёстко. Электрическая активность мозга меняется в зависимости от того, чем мы заняты. Когда вы только начинаете засыпать, уровень сознания меняется, а мозговые волны становятся более предсказуемыми и локальными.

При глубоком сне они ещё сильнее замедляются. Позже, когда начинается фаза быстрого движения глаз — REM-сон, — снова ускоряются. Психоактивные вещества вроде ЛСД тоже меняют состояние сознания: электрические рисунки мозга становятся более случайными. При анестезии хаотичность ещё выше, чем под действием психodelиков, а сознание исчезает полностью. Анестезия совершенно не похожа на сон. Проснувшись после обычного сна, вы понимаете, что прошло какое-то время. При анестезии момент, когда вы «отключились», и момент пробуждения субъективно почти сливаются. В промежутке электрическая активность мозга значительную часть времени дезорганизована и хаотична. Это напоминает кому, вызванную тяжёлой травмой. Один из моих детей пережил подобное в двадцать лет. Она заболела бактериальной пневмонией, после чего развился сепсис. Её ввели в медикаментозную кому на две с половиной недели, пока замечательные сотрудники британской Национальной службы здравоохранения боролись за её жизнь. Нас заранее предупредили: когда её выведут из комы, она совершенно не будет понимать, сколько времени находилась без сознания.

Врачи оказались правы. Она не могла поверить, что была в коме так долго, и весь этот опыт сильно её потряс. К счастью, она полностью восстановилась. Ей было почти столько же лет, сколько мне во время малярии. Но мне повезло потерять лишь несколько минут жизни, тогда как у моей дочери отсутствуют воспоминания о семнадцати днях. Если бы во время комы мы постоянно отслеживали её мозговые волны, они выглядели бы хаотичными. Уровень сознания меняется в зависимости от множества факторов и даже от того, чем именно мы заняты. Каждому состоянию соответствует свой рисунок активности. Сознательное мышление имеет один рисунок, подсознательные процессы — другой. Описание этих различных типов мозговых волн сегодня является активно развивающейся областью исследований. Одна из причин, по которой психологи считают некоторые виды животных сознательными, заключается в том, что их мозговые волны тоже находятся где-то между полным хаосом и полной упорядоченностью. Например, в 2023 году международная группа исследователей описала эксперимент, в котором крошечные импланты использовались для наблюдения за мозговыми волнами трёх свободно живущих осьминогов. При обучении новым задачам регистрировались паттерны, удивительно похожие на те, что наблюдаются у млекопитающих, включая людей. При других формах поведения возникали рисунки активности, которых до этого не видели ни у одного другого животного. Подобные исследования самых разных видов показывают, что некоторые типы мозговых волн могут быть весьма схожи даже у очень далёких родственников. Некоторые нейробиологи заходят настолько далеко, что заявляют: сознание и есть электрическая активность мозга.

Большинство специалистов всё же так не считает.

Электрическая активность, безусловно, остаётся лучшим имеющимся способом оценить, насколько сознателен человек или другое существо. Но сама по себе она не объясняет сознание.

Электрический рисунок возникает из того, как работает мозг, а биологи, нейробиологи и психологи сейчас быстро раскрывают механизмы этой работы. Некоторые нейробиологи утверждают, что характер мозговых волн у других видов — в том числе комнатных мух и креветок — говорит о том, что определённая степень сознания широко распространена среди животных. Но мы по-прежнему не знаем, каково это — быть мухой, Вуфлером или летучей мышью. Та часть вашего мозга, где возникает сознание, находится внутри тёмной коробки — черепа. Сам мозг не видит света, не улавливает запахов, звуков, прикосновений или вкуса. Он превращает электрические сигналы от клеток органов чувств в переживания. Мозг получает от глаз, ушей, носа, рта, кожи, мышц и других органов химические или электрические сигналы, интерпретирует их, а затем отправляет обратно мышцам и органам собственные химические или электрические команды.

Часть этих команд формируется подсознательно. Другие появляются после принятия сознательного решения. Иногда всё происходит с поразительной быстротой. Но некоторые решения способны занимать целую вечность. Соня, например, может несколько минут выбирать между шоколадной конфетой с лесным орехом и апельсиновой начинкой из коробки Quality Street. Как правило, какой бы вариант она ни выбрала, он оказывается «не тем»: она отдаёт мне наполовину съеденную конфету и гораздо быстрее принимает второе решение — съесть другой сорт, чтобы исправить первоначальную ошибку. Ваши органы чувств содержат клетки, способные улавливать различные особенности внешней среды. Сетчатка — орган на задней стенке глаза — содержит почти 97 миллионов клеток, способных воспринимать свет различного цвета и интенсивности. Когда фотон попадает в определённые белки этих клеток, возникает электрический заряд — информация, которую затем использует мозг.

Точно так же клетки в носу содержат белки, способные связываться с различными молекулами и тем самым распознавать

запах. Когда вы печёте хлеб, дрожжи в тесте производят химические вещества — этиловые эфиры. Некоторые клетки носа имеют белки, способные связывать эти эфиры. Когда это происходит, по обонятельному нерву в мозг отправляется электрический сигнал. После этого вы решаете, что делать.

В моём случае решение обычно одно: открыть холодильник и поискать масло. Остальные органы чувств работают похожим образом, только вместо света или пахучих молекул регистрируют звук, прикосновение или фактуру поверхности и тоже отправляют электрические сигналы в мозг.

Мозг берёт все эти сигналы и внутри вашего черепа строит модель окружающего мира. Вы можете почувствовать запах свежее испечённой булочки, обнаружить её глазами на кухне и прикосновением определить, что она ещё тёплая. Мозг создаёт переживание «я нашёл свежую тёплую булочку», после чего вы решаете, что делать дальше. Модель мира, которую строит наш мозг, может быть точной — а может и не быть. Но она достаточно хороша, чтобы мы могли выживать и, если повезёт, процветать. У разных людей эти модели немного различаются. Например, то, как я переживаю зелёный, жёлтый или красный цвет, вполне может отличаться от того, как переживаете их вы — снова возвращаемся к трудной проблеме сознания.

Но это не имеет большого значения, если мы оба способны согласиться, что конкретный предмет имеет определённый цвет. Важно, чтобы модель внешнего мира содержала достаточно информации для разумных действий. У большинства животных такие действия связаны с поиском, получением и использованием ресурсов — пищи, воды, территории или партнёра — при одновременном избегании того, что может их убить. У людей всё выходит далеко за эти рамки. Мы можем разгадывать кроссворд, гулять с собакой или выбирать цвет для спальни. Создать модель мира и решить, как на неё реагировать, — невероятно сложная

задача. Человеческий мозг — самый сложный объект в известной нам Вселенной. Он удивителен. Берегите его.

Мозг — командный центр тела, и его главная задача — сохранять вам жизнь. Многое он делает без нашего ведома. Регулирует температуру тела. Управляет частотой сердечных сокращений. Контролирует множество инстинктивных форм поведения. Всё это происходит подсознательно, хотя при некоторой концентрации мы способны сознательно влиять на отдельные процессы, например на частоту сердцебиения. Кроме того, мозг хранит воспоминания. А они играют важнейшую роль в том, как мы принимаем решения. Человеческий мозг состоит из множества отдельных областей, но в самом грубом приближении его можно разделить на три крупные части: ствол мозга, мозжечок и большие полушария. Ствол мозга — эволюционно самая древняя часть. Он регулирует большинство подсознательных процессов, необходимых для выживания. Заставляет сердце биться. Лёгкие — дышать. Поддерживает работу многих других органов. Он находится у основания черепа, возле верхней части спинного мозга. Вторая крупная область располагается ближе к затылку и называется мозжечком. Это командный центр движения, позволяющий нам произвольно управлять мышцами. Пока я печатаю этот абзац, именно мозжечок направляет пальцы к нужным клавишам и определяет, когда на них нажимать. Мозжечок отвечает за точную координацию движений. Если его повредить, печатать я стал бы куда менее уверенно. Но этим его функции не ограничиваются.

Вместе с другой областью — миндалевидным телом, находящимся в больших полушариях, — мозжечок участвует в регулировании реакции на страх и удовольствие.

Третья область — большие полушария — самая крупная. Она отвечает за восприятие запахов, речь, мышление, эмоции и обучение. У человека крупнейшая часть больших полушарий — неокортекс, или новая кора. Только он занимает более половины

объёма мозга. Именно неокортекс обеспечивает наш высокий интеллект и, вероятно, повышенную степень сознания. Каждую из этих областей можно разделить ещё на множество частей, обычно по выполняемым функциям, и каждая имеет собственное название. Чтобы запомнить все эти названия, функции и связи с органами чувств и другими частями мозга, нужна действительно хорошая память.

То, как мозг обрабатывает и объединяет сигналы, создавая модель мира, невероятно сложно и увлекательно, но подробности выходят за рамки этой книги. Главное для работы мозга — сеть связей между нервными клетками, нейронами. Хотя в разных областях эти сети устроены немного по-разному, общие принципы работы у них сходны. В вашем мозге от 80 до 100 миллиардов нейронов. Кроме них, там находится не меньшее — а возможно, и во много раз большее — количество глиальных клеток, которые обслуживают нейроны. В XIX веке учёные полагали, что без этих клеток нервная система буквально рассыпалась бы, поэтому назвали их от греческого слова *glia* — «клей». Но на самом деле они работают вовсе не как клей. Скорее глиальные клетки относятся к нейронам так же, как команда механиков к гоночным автомобилям: следят, чтобы те оставались в рабочем состоянии. Соотношение глиальных клеток и нейронов различается в разных участках мозга, а оценки их общего числа сильно варьируются.

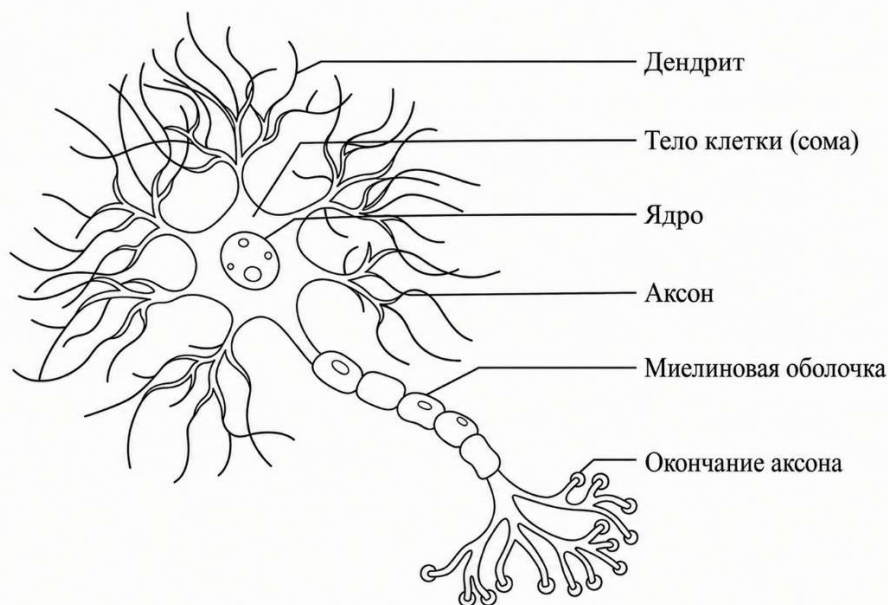
Пересчитывать клетки человеческого мозга по одной было бы невероятно трудоёмким и не особенно захватывающим занятием, поэтому мы пользуемся приближёнными оценками, полученными путём подсчёта клеток в небольших образцах и последующего масштабирования. Каково бы ни было точное число, глиальные клетки жизненно необходимы для работы мозга. Но, насколько известно, они не играют решающей роли в понимании сознания, поэтому дальше я на них останавливаться не буду. Существует много типов нейронов, но у всех есть одни и те же основные составляющие. Эти клетки эволюционировали так, чтобы

образовывать огромные взаимосвязанные сети. Отдельный нейрон имеет центральную часть — тело клетки, или сому, где находится ядро и другие органеллы. Биологическая терминология иногда способна раздражать. Слово «сома» означает «тело» и происходит от греческого *sōma*. Когда мы говорим об «одноразовой соме», имеется в виду всё наше тело. А «сома нейрона» — всего лишь основная часть одной клетки.

От одного конца сомы обычно отходит длинная тонкая трубка — аксон. Он покрыт особым белковым слоем, миелиновой оболочкой, благодаря которой электрические сигналы распространяются очень быстро. С другого конца, обычно ближе к соме, разветвляется сложная сеть отростков — дендритов. Они немного напоминают ветви дерева: концов значительно больше, чем исходящих из сомы основных ветвей. Дендриты покрыты синапсами. На одном нейроне их могут быть тысячи. Синапс — это способ связи нейронов между собой, своего рода мост между клетками. Обычно он соединяет два нейрона, но может связывать нейрон и с другой клеткой — например, светочувствительной клеткой сетчатки. Аксон тоже разветвляется. На конце каждой ветви находится аксонное окончание. Через синапсы эти окончания связываются с дендритами других нейронов. Один нейрон может соединяться с тысячами других. Дендрит одной клетки образует синапс с аксонным окончанием другой. Благодаря огромному количеству синапсов нейроны создают колоссальную взаимосвязанную сеть. По оценкам, в вашем мозге около 600 триллионов синапсов. Эта сеть лежит в основе всего, что вы делаете. И сознания тоже. В последние годы идея сетей стала привычной благодаря таким платформам, как Facebook и X. Каждый пользователь социальной сети формирует связи с друзьями, знакомыми или просто интересующими его людьми. Каждый из них, в свою очередь, связан с собственным кругом людей. На языке науки каждый человек здесь — узел, а каждая связь — ребро. В нейронной сети мозга каждый нейрон — узел.

Каждый синапс — ребро. Социальные сети охватывают всю планету. Существует известное утверждение, что в сети всего человечества любые два случайно выбранных человека разделены не более чем шестью рукопожатиями. Иными словами, между мной и вами может оказаться цепочка всего из пяти знакомых. Я знаю первого. Вы знаете последнего. А остальные соединяют нас. Разумеется, есть редкие исключения — например, изолированные племена на некоторых Андаманских островах. Но для читателей этой книги правило шести рукопожатий, вероятно, работает. Нейронная сеть мозга связана ещё теснее. По оценкам, между любыми двумя нейронами — всего три-четыре «шага». Это даёт представление о невероятной связности мозга. И сеть эта громадна: нейронов в вашем мозге примерно в пятнадцать раз больше, чем людей на Земле.

СТРОЕНИЕ НЕЙРОНА



Аналогия с социальной сетью помогает немного понять работу мозга. Представьте, что существуют шесть аккаунтов в Instagram, посвящённых исключительно тому, что на мне надето и чем я занимаюсь. Первый ежедневно сообщает о моей обуви. Второй — о брюках. Третий — о рубашке. Четвёртый — о том, где я нахожусь. Пятый — что делаю. Шестой — что говорю. Аккаунты настолько невероятно скучны, что человек, следящий сразу за всеми шестью, рискует потерять сознание от тоски. Но допустим, каждый из троих моих детей подписан на два. Люк фанатично следит за обувью и брюками. Джорджия — за рубашкой и местонахождением. Софи — за тем, что я делаю и говорю. Поскольку сам я не слишком хорошо умею держать Соню в курсе происходящего, она подписана на всех троих детей. В редкие дни, когда я надеваю особенно яркую рубашку, новые эффектные ковбойские сапоги, делаю что-нибудь интересное или говорю что-то заслуживающее внимания, Софи, Люк и Джорджия делятся моими публикациями, и Соня их видит.

Таким образом через простую сеть к Соне стекается полезная информация. После этого она может решить, как поступить — например, сообщить, что рубашка совершенно не сочетается с сапогами. Информация движется через громадную нейронную сеть мозга примерно похожим образом. Чтобы понять как, нужно разобраться в работе отдельного нейрона.

Каждый нейрон получает входные сигналы через синапсы. Затем электрические импульсы распространяются по дендритам к телу клетки. В зависимости от того, сколько синапсов активировалось и сколько сигналов пришло от дендритов, сома может отправить собственный электрический импульс по аксону. Когда этот импульс — нейробиологи называют его потенциалом действия — достигает окончаний аксона, в большинстве нейронов происходит выделение химических веществ, называемых нейромедиаторами. Эти молекулы связываются с рецепторами дендритов клетки по другую сторону синапса. Если там находится другой нейрон, нейромедиатор может вызвать новый электрический сигнал, который пойдёт по дендриту к его соме. Если это мышечная клетка — она может сократиться или расслабиться. Иногда через синапс передаются не нейромедиаторы, а непосредственно электрически заряженные ионы. Но итог один: одна клетка передаёт сигнал другой. Электрические синапсы работают быстрее химических, потому что электрический ток распространяется быстрее молекул нейромедиаторов. Однако набор передаваемой информации у них беднее — по существу это «да» или «нет».

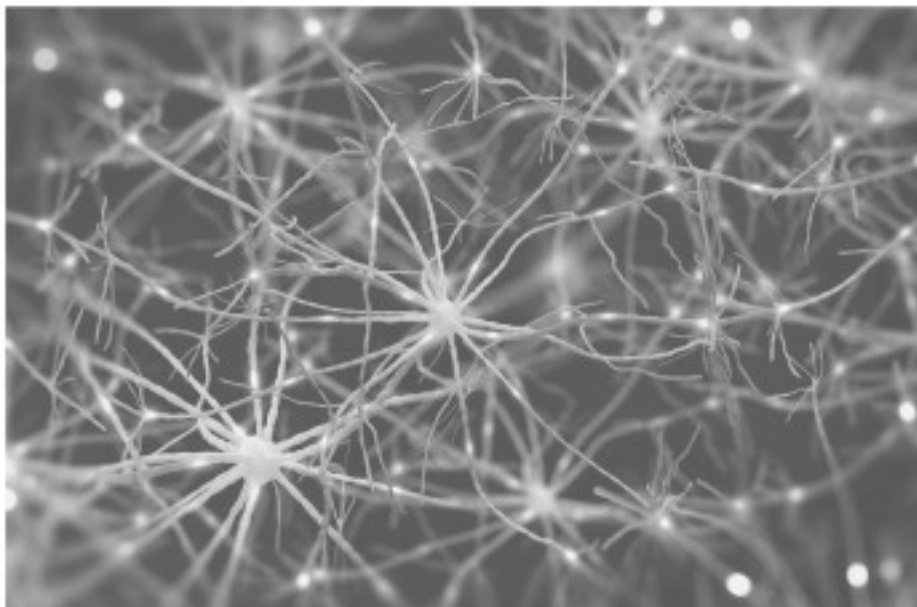
Химический нейромедиатор способен передавать множество оттенков «может быть». Каждая светочувствительная клетка глаза соединяется с несколькими нейронами, называемыми ганглиозными клетками сетчатки. Каждый такой нейрон связан примерно с сотней светочувствительных клеток, но конфигурация этих связей различается. Одни нейроны получают информацию от клеток, разбросанных по всей сетчатке. Другие — только от

небольшого участка. Третьи связаны с целыми рядами или столбцами светочувствительных клеток. Ганглиозные клетки образуют синапсы с множеством других нейронов. Те получают информацию о рисунках света, яркости, цвете, границах и формах объектов. Эти нейроны, в свою очередь, соединены со следующими. С каждым уровнем картина того, на что вы смотрите, становится всё конкретнее. В конце концов где-то глубоко в сети активируются нейроны, позволяющие вам понять: это человек; животное; дерево; озеро; или что-то ещё. В одном исследовании учёные даже обнаружили у испытуемого нейрон, который активировался каждый раз, когда человек видел фотографию Дженнифер Энистон. Если вы знаете, как выглядит актриса, у вас тоже существуют подобные нейроны. Возможно, даже несколько «нейронов Дженнифер Энистон».

И несколько нейронов, способных активироваться при виде любого другого хорошо знакомого объекта. Нейронные сети мозга объединяют информацию, и каждый следующий уровень создаёт всё более детализированную картину переживаемого. Кроме того, информация соединяется между различными чувствами.

Есть связи между сетями, которые определяют, чего вы касаетесь, что нюхаете, на что смотрите и что слышите. Одновременно мозг отбрасывает лишнее. Нейрон отправляет электрический сигнал по аксону дальше лишь в том случае, если активировалось достаточное количество синапсов. Это означает: если данных в пользу того, что перед вами фотография Дженнифер Энистон, слишком мало, ваши «нейроны Дженнифер Энистон» не сработают.

СЕТЬ НЕЙРОНОВ



Функции нейронов в мозге сильно перекрываются. Несколько нейронов в области, называемой гиппокампом, могут активироваться, если вы видите фотографию Дженнифер Энистон. Одновременно могут включаться и другие клетки, каким-то образом связанные с ней. Например, нейрон, связанный с Кортни Кокс, которая вместе с Энистон снималась в сериале *Друзья*. Это позволяет предположить, что некоторые нейроны кодируют уже не конкретную актрису, а более абстрактное понятие — например, сам сериал *Друзья*. Но что происходит, если одновременно активируются нейроны, кодирующие разную информацию? Этот вопрос подробно исследовали в другой части мозга — неокортексе. Большая часть тяжёлой работы по распознаванию закономерностей происходит именно там. Неокортекс сложно складчат и обычно имеет толщину всего 2–3 миллиметра. Если

после смерти человека снять его и расправить, он покроет квадрат со стороной примерно 45 сантиметров.

Используя мощнейшие современные микроскопы и точные измерения, исследователи подсчитали, что в объёме неокортекса размером примерно с рисовое зёрнышко находится около 100 тысяч нейронов, связанных примерно полумиллиардом синапсов. Эти нейроны организованы в один-два миллиона столбиков, называемых кортикальными колонками.

У человека каждая такая колонка содержит немного больше ста нейронов, организованных в шесть слоёв. Большинство нейронов неокортекса ориентировано в плоскости от черепа к центру мозга. Другие проходят поперёк этой плоскости. Они переносят информацию между различными участками неокортекса. Каким-то образом вертикально ориентированные нейроны достигают своего рода консенсуса относительно того, что именно вы воспринимаете. Например, если вы смотрите на фотографию Дженнифер Энистон и активировались двадцать «нейронов Энистон», но всего три «нейрона Кортни Кокс», мозг решит, что перед вами Энистон. Мы пока не до конца понимаем, как именно достигается такой консенсус.

Но нейронаука развивается настолько быстро, что, вероятно, ждать полного объяснения осталось недолго. Ещё одна активно исследуемая область — формирование воспоминаний. Чтобы узнать то, на что вы смотрите, вы должны были раньше видеть нечто похожее. Мы не рождаемся со знанием того, как выглядит, пахнет или ощущается любой объект. Мы этому учимся. И учимся через опыт. Большинство из нас никогда лично не встречало Дженнифер Энистон. Мы узнали её лицо благодаря фильмам и сериалам. Лица друзей, знакомых и коллег мы запоминаем, встречаясь и разговаривая с ними. При этом формируются синапсы, благодаря которым впоследствии мы их узнаём. Учёные пока не разобрались во всех деталях того, как создаются и

сохраняются новые воспоминания и как исчезают старые. Но ясно одно: значительная часть этой работы происходит во сне.

Хорошо выспаться действительно помогает памяти. До сих пор я рассказывал о том, как мозг распознаёт отдельные изображения или запахи. Но реальный мир динамичен. Кино — это не один кадр. Запах может усиливаться или ослабевать. Я объяснил, как мозг может узнать Дженнифер Энистон на фотографии, но не то, как он понимает, что она делает в фильме *Марли и я*. Мозг прекрасно справляется со статичными образами. Но умеет гораздо больше. Чтобы выживать в реальном мире, нам недостаточно серии неподвижных фотографий. Модель, создаваемая мозгом, должна постоянно меняться. Она больше похожа на видеоигру, чем на открытку. И главное — она должна предсказывать будущее. Чтобы построить динамическую модель мира, мозгу нужно отслеживать движущиеся объекты — визуально, на слух, через прикосновение или запах — и предсказывать, где они окажутся дальше.

В каком-то смысле это напоминает систему следящего автофокуса современной камеры, способную удерживать движущийся объект в фокусе.

Но мозг может одновременно следить за множеством объектов, рассчитывать расстояния между ними и даже предсказывать последствия их вращения в трёх измерениях. То, как неокортекс строит динамическую модель мира у нас в голове, описывает так называемая теория систем отсчёта. Система отсчёта — способ использовать координаты для описания положения и движения объектов. Проще всего понять её на примере зрения, хотя тот же принцип применим к слуху, прикосновению, языку и даже сложному мышлению. Системы отсчёта описывают исходную точку, ориентацию объектов, расстояния между ними и скорость изменения этих параметров. Начало координат — центральная точка. Для мозга это вы, наблюдатель. Ориентация показывает, как объекты повернуты относительно друг друга. Представьте, что вы стоите перед циферблатом часов. В полдень часовая стрелка

направлена вертикально вверх. На шести часах — вертикально вниз. На девяти — горизонтально влево. На трёх — вправо. Если повернуть сам циферблат в любую сторону, ориентация изменится. Мозг великолепно отслеживает подобные изменения. Расстояние позволяет понять, насколько два объекта близки друг к другу. Обычно мы думаем о расстоянии между наблюдателем и объектом.

Но система отсчёта позволяет рассчитывать расстояние и ориентацию между любыми двумя объектами, даже если ни один не является вами. Вы способны понять, что два автомобиля движутся к столкновению, и примерно предсказать момент удара, потому что мозг постоянно отслеживает положение обеих машин, расстояние между ними и направление движения. Система отсчёта описывает, как объекты перемещаются относительно друг друга и относительно вас. Мозг следит за изменением их положения и ориентации во времени.

Неокортекс удивителен тем, что способен одновременно строить системы отсчёта для множества объектов, попадающих в поле наших чувств. Для этого активируются огромные количества синапсов, реагирующих на определённые паттерны. Кроме того, мозг использует так называемые решётчатые клетки и клетки места, чтобы строить карту окружающего пространства. Наш мозг объединяет всё это в единую модель мира и прогнозирует, что случится дальше. После того как такая модель создана, мозг постоянно предсказывает следующее мгновение: куда должен переместиться каждый объект. Если новая информация органов чувств совпадает с прогнозом, сигналы не распространяются глубоко по сети.

Они быстро затухают. Мы их практически не замечаем. Если же наблюдение расходится с прогнозом, модель приходится обновлять. Тогда мозг привлекает информацию от нейронов и кортикальных колонок, которые, возможно, давно не участвовали в текущем представлении мира. Способ сравнения прогнозов с

реальностью весьма изыщен. Чтобы нейрон сработал и отправил сигнал по аксону дальше, должны активироваться сразу несколько синапсов, а соседние нейроны кортикальной колонки должны находиться в подходящем состоянии.

Сома нейрона должна получить достаточно электрических сигналов, чтобы преодолеть определённый порог. Если порог не достигнут, нейрон на короткое время оказывается в возбуждённом состоянии и готов сработать от дополнительного толчка. Соседние клетки способны заметить это состояние, и тогда их собственная активность может подавляться. Нейробиологи называют это латеральным торможением. В результате несколько нейронов кортикальной колонки одновременно посылают сигналы по мозгу только тогда, когда множество синапсов активируется одновременно. Такое может произойти, если внутренняя модель и новое наблюдение расходятся — то есть если наша модель мира оказалась неточной. Когда модель уже работает, мозгу нередко нужно направить тело на ответное действие — чтобы избежать опасности или получить необходимый ресурс. Некоторые реакции полностью инстинктивны. Определённое событие всегда вызывает одинаковое действие. Например, почувствовав конкретный неприятный запах, вы автоматически отходите.

В других случаях решение зависит от прошлого опыта. Область мозга, объединяющая воспоминания с текущей моделью мира, называется гиппокампом. Как и множество других научных терминов, название происходит из греческого. Если немного прищуриться, глядя на схему мозга, гиппокамп действительно напоминает морского конька — в честь которого и получил имя. Нейроны памяти могут участвовать и в запуске внутренних симуляций, а эти сети соединены с теми, которые помогают нам выбрать дальнейшее поведение.

Как и во многих областях нейронауки, детали пока до конца не ясны. Но сети памяти и моделирования вместе позволяют принять решение. После чего мозг отправляет мышцам сигналы — как

двигаться или что сказать. Исследователи сознания делят путь от первого восприятия события внешнего мира до реакции на несколько этапов: восприятие, внимание, оценка, интеграция, принятие решения, действие. От момента, когда вы видите летящий в вашу сторону мяч, до движения рук, ловящих его, проходит совсем немного времени. Человеческий мозг необычайно сложен. Но одновременно поразительно эффективен. Однако принимает ли он хорошие решения?

И как это проверить? Существует целая область науки, изучающая принятие решений. Учёные исследуют не только людей, но и животных и даже искусственный интеллект. Некоторые полученные результаты могут вас удивить. Возьмём, например, «задачу о браке»: какая стратегия лучше всего помогает выбрать человека для супружества? Эту задачу исследовали с помощью компьютерного моделирования. Но, как часто бывает, чтобы компьютер смог её решить, реальность пришлось сильно упростить.

Предполагается, что человек в поиске партнёра встречается с кандидатами по очереди и случайным образом, не встречаясь одновременно с двумя. Всех кандидатов можно строго ранжировать. Ничьих нет. То есть два человека не могут одновременно занимать второе место. Но ищущий партнёра заранее этого рейтинга не знает. Кроме того, решение необратимо. Если кандидат отвергнут, он настолько оскорблён, что никогда не согласится дать второй шанс. И наконец, предполагается, что любое предложение руки и сердца будет принято. При таких правилах возникает вопрос: когда следует перестать искать и выбрать понравившегося человека? Стоит ли жениться на первом, кто вам подходит? Или продолжить поиски на случай, если впереди встретится кто-то ещё лучше? Какая стратегия даёт максимальный шанс выбрать кандидата номер один? Ответ оказывается довольно сложным. Он зависит от общего числа потенциальных партнёров — а в реальной жизни его, разумеется,

никто заранее не знает. Кроме того, решение формулируется вероятно. Это не правило вроде «всегда выбирайте третьего человека, с которым встретились». Вероятность выбрать лучшего кандидата зависит от того, сколько потенциальных партнёров всего и скольких вы уже отвергли. Например, если возможных партнёров шесть и вы женитесь на третьем встреченном вами человеке, вероятность того, что именно он лучший вариант, составляет 42,8 процента. Существуют истории — возможно, выдуманные — о специалистах по теории решений, которые действительно использовали подобные алгоритмы при выборе спутника жизни. Я Соню замуж звал не так. И она уверяет, что решение согласиться тоже принимала не по алгоритму. Мы поженились потому, что делаем друг друга счастливыми. При применении теории решений к животным задают, например, такой вопрос: когда животному следует уйти из одного места и перейти в другое? Предполагается, что оно пытается максимизировать нечто конкретное — скажем, количество пищи. Если выгода от пребывания на прежнем участке становится ниже выгоды от расхода энергии на переход в новое место, животному следует уйти.

Задачу можно усложнить: учитывать социальные группы, различия в информации о доступности пищи в других местах, риск быть съеденным. Применение теории решений к поведению животных принесло интересные результаты.

Иногда животные действительно довольно близко следуют оптимальной стратегии. Но понять, что именно мотивирует животное, не всегда просто. Жизнь животного не сводится к бесконечному поиску еды. Его могут интересовать партнёры, вода, укрытие, тепло, безопасность и даже информация об окружающей среде — например, местонахождение конкурентов. Причём мотивации меняются с возрастом, сезоном и погодой. Несмотря на всю эту сложность, многие решения животных оказываются удивительно хорошими. Люди тоже животные. Поэтому

неудивительно, что теория решений широко применяется для объяснения и прогнозирования нашего поведения. Одно из отличий человека от большинства животных — способность размышлять о далёком будущем. Планируя его, мы стараемся принимать решения, которые, как нам кажется, сделают нас максимально счастливыми. Не означает ли это, что наш мозг пытается максимизировать счастье? Счастье — цель довольно ускользающая. Люди различаются по уровню счастья. Около трети этих различий, вероятно, объясняется генетикой. Некоторые действительно рождаются несколько более счастливыми, чем другие. Но примерно две трети различий связаны с обстоятельствами и образом жизни. Финансовая устойчивость помогает быть счастливее.

Люди, живущие в бедности, в среднем менее счастливы, чем те, кто не беден. Но сверхбогатство счастья тоже не гарантирует. Опросы людей из списков богатейших показывают: они лишь немного чаще довольны жизнью, чем те, кто в такие списки не входит. Проблема денег в том, что чем больше люди зарабатывают, тем больше склонны тратить. Поэтому повышение зарплаты часто приносит лишь кратковременный всплеск счастья. Дополнительные средства быстро уходят на более красивую одежду, лучшую еду или экзотические отпуска. А затем появляется тревога: получится ли поддерживать новый, более дорогой образ жизни? Выигрыш в лотерею, прибавка к зарплате или неожиданное наследство от дальнего родственника действительно повышают счастье. Но ненадолго. Счастье гораздо сложнее денег. У каждого человека, похоже, существует некий базовый уровень счастья, к которому он обычно возвращается. Подъёмы и спады — если не считать клинической депрессии — чаще всего временны. Психологи придумали прекрасное название нашей склонности возвращаться к исходному уровню:

«гедонистическая беговая дорожка». Люди постоянно сравнивают себя с друзьями и коллегами. Иногда сравнение становится навязчивым.

И тогда обычно снижает счастье. Одна из причин, почему социальные сети могут вредить некоторым людям, заключается именно в постоянном потоке чужих «успехов» в Facebook, Instagram или X. Он заставляет чувствовать себя недостаточно успешным. Несколько лет назад я удалил аккаунты в Facebook и Twitter. Первые пару дней ощущал что-то вроде ломки. Но затем совершенно по ним не скучал. Вероятно, ради рекламы этой книги мне всё же придётся снова завести социальные сети. Одна мысль об этом не вызывает радости — даже если дополнительный доход купит мне пару недель счастья.

Сравнение себя с друзьями может снижать счастье. Но сами крепкие дружеские связи, напротив, очень полезны. Человек — социальный вид. Прочные отношения важны для благополучия. Начинается всё дома. Люди, для которых партнёр одновременно является лучшим другом, обычно особенно счастливы. Я это хорошо понимаю. Соня — мой лучший друг. И это действительно делает меня счастливым. Когда она уезжает, мне её не хватает, и без неё в Оксфорде я чувствую себя менее счастливым. Но важны и другие друзья. Похоже, абсолютное количество друзей особой роли не играет. Гораздо важнее качество нескольких отношений. Один-два действительно близких друга способны принести больше счастья, чем десятки приятелей.

Друзья важны. А сравнение себя с ними — нет. На этих наблюдениях основана одна стратегия, действительно способная повысить уровень счастья: дневник благодарности. Записывая то, за что вы благодарны, можно уменьшить негативные эмоции, возникающие из-за ощущения, будто вы уступаете друзьям или коллегам. Положительные мысли действительно повышают счастье. Но и здесь не следует перебарщивать. Если обращаться к дневнику благодарности чаще двух-трёх раз в неделю, можно

начать переживать, что вам не хватает вещей, за которые стоит быть благодарным. Ещё один фактор, действительно связанный со счастьем, — ощущение осмысленности работы. Чем меньше работа кажется повинностью, тем счастливее человек.

Я хорошо это знаю по неожиданным событиям, произошедшим после моего переезда в Оксфорд в 2013 году. К моему удивлению, они сделали меня счастливее. В контракте с Оксфордом было указано: если университет попросит, я должен буду стать заведующим кафедрой. Во время переговоров меня уверяли, что это случится ещё очень нескоро. Но уже к 2016 году моё имя начали обсуждать среди возможных кандидатов на должность следующего главы кафедры зоологии. Другим кандидатом был Бен Шелдон — мой хороший друг и коллега.

Ни он, ни я работу не хотели. Но кто-то из нас должен был её получить. Решение принимал факультет. Мы с Беном развернули настоящую предвыборную кампанию — с единственной целью проиграть выборы.

Стратегия Бена заключалась в том, чтобы не делать ничего. Я, напротив, активно агитировал за него.

И был искренне счастлив, когда его назначили заведующим, а меня — заместителем. Я понимал, что следующим под огонь попаду я. Но думал, что у меня впереди ещё пять лет, чтобы написать эту книгу. Так мне казалось. Через пять месяцев здание, в котором размещались и наша кафедра зоологии, и кафедра экспериментальной психологии, закрыли за сутки. Причиной стало превышение установленного санитарными нормами уровня асбеста в воздухе. Реальный риск для людей был невелик. Но для обеих кафедр и университета закрытие стало кризисом. Здание Тинбергена было крупнейшим учебно-исследовательским корпусом Оксфорда. Им регулярно пользовались около 1650 человек. Его внезапное закрытие создало гигантскую проблему.

Мы с Беном очень быстро поняли: разгрести последствия придётся месяцами, если не годами. Университет начал проводить

регулярные кризисные совещания. Их возглавлял руководитель университетской администрации, присутствовали около двадцати человек — в основном высокопоставленные администраторы. Мне быстро стало ясно: университет хочет как можно безболезненнее решить проблему двух кафедр, оставшихся без дома, и желательно не потратить при этом состояние. Временное размещение сотрудников, скорее всего, удастся найти довольно быстро. Гораздо труднее будет решить вопрос надолго — подходящих свободных зданий просто не существовало. Для кафедры это одновременно было огромной угрозой и огромной возможностью.

Бен попросил меня разработать стратегию: избежать угроз и использовать шанс. Мне понравился вызов. Я никогда не мечтал поставить научные исследования на паузу. Но неожиданно обнаружил, что стратегическая работа приносит удовлетворение. Я чувствовал, что действительно чего-то достигаю. При участии множества коллег я разработал концепцию будущего биологии в Оксфорде и финансовое обоснование проекта. План включал запуск нового интересного курса бакалавриата, который мы уже начали готовить, объединение кафедр зоологии и ботаники в новую кафедру биологии, увеличение её примерно на 25 процентов и строительство нового здания, где разместились бы кафедра биологии и кафедра экспериментальной психологии.

Ни Бен, ни я никогда специально не учились подобной работе. Большую часть решений мы придумывали на ходу. Но нам удалось убедить нескольких ключевых людей, и они предложили развивать идею дальше. Я понял: чтобы воплотить проект, его нужно провести через университетские комитеты, принимающие решения.

А для этого мне пришлось баллотироваться в управляющий совет университета. Я победил на выборах и стал членом Совета Оксфордского университета — аналога совета попечителей. Университет одобрил нашу концепцию и согласился построить новое здание. Мы запустили новый курс. Объединение кафедр

назначили на 1 августа 2022 года. Кафедра выросла. Но членство в Совете имело цену, которой я не ожидал. Меня попросили войти ещё в несколько комитетов и некоторые возглавить. На исследования времени почти не осталось. И всё же я чувствовал, что работа имеет смысл. Я был невероятно занят. Но, к собственному удивлению, счастлив. Очень помогала и постоянная поддержка Сони. Бен тоже оказался перегружен административной работой, связанной с реализацией нашей концепции. У нас разные сильные стороны. Когда началось подробное проектирование нового здания, Бен взял на себя контроль за тем, чтобы оно соответствовало потребностям кафедры. Я отступил от работы по привлечению средств и стал вторым, совместным руководителем кафедры. Мы делили обязанности. Позднее Бен полностью отошёл от руководства, и бразды правления перешли ко мне. Я руководил кафедрой во время пандемии, ежедневно проводя часы в Microsoft Teams. Но к началу 2021 года пришло время выбирать нового заведующего. К моему лестному, но одновременно досадному удивлению, факультет проголосовал за то, чтобы я оставался на посту до переезда в новое здание. Проблема состояла в том, что работа уже перестала мне нравиться. Мы реализовали задуманную концепцию, и это давало чувство смысла. А ежедневное управление кафедрой — нет. Кто-то должен заниматься этой работой. Но лично я не находил в ней удовлетворения. И всё же согласился остаться при одном условии: мне дадут год творческого отпуска в Австралии. Мне нужно было оживить собственные исследования. И наконец написать эту книгу. Счастье — странная вещь. Иногда оно ускользает, хотя мы постоянно принимаем решения именно в надежде его максимизировать. Один из недостатков столь высокого уровня сознания, каким обладаем мы, заключается в том, что мы прекрасно понимаем: мы ищем счастье. Но часто выбираем неправильные цели. Мы стремимся не отставать от соседей. Накопить огромное богатство. Хотя всё это

вовсе не обязательно сделает нас счастливыми. Возможно, сознание не всегда такое чудесное приобретение, каким кажется. Растения и грибы сознанием не обладают. У них нет мозга или какого-либо аналогичного органа, способного переживать окружающий мир. Они не создают даже примитивных мозговых волн. Однако, не будучи разумными существами, они способны реагировать на сигналы среды. Растения тянутся к свету. Корни растут вниз. Но здесь не требуется никакого решения.

Развитие определённой части растения или гриба просто направляется в сторону сигнала — света, гравитации или воды, — который улавливают простые чувствительные клетки. Эти клетки не передают информацию нейронам мозга для интерпретации. Одноклеточные организмы тоже не способны к сознанию. Но и они реагируют на окружающую среду. Используют специальные органеллы — реснички, чтобы двигаться к полезным химическим сигналам или прочь от вредных. Они способны регистрировать химические вещества вокруг себя. Когда молекулы сигнала связываются с белками на поверхности клетки, организм меняет направление движения. Мозг — изобретение животных. Но и не у всех животных он есть. У взрослых губок нет ни мозга, ни нервной системы. Зато личинки некоторых видов губок имеют простой мозг. Он нужен им, чтобы двигаться и искать место для поселения. Когда личинка находит подходящий участок «недвижимости», закрепляется там и начинает превращаться во взрослую губку. А в процессе развития переваривает собственный мозг. Он ей больше не нужен. Некоторые другие малоподвижные животные — например, мидии и устрицы — тоже обходятся без мозга. А те немногие животные, которые почти не двигаются, но всё же обладают мозгом, обычно имеют очень простой. Похоже, именно способность к активному движению стала главной эволюционной причиной появления мозга. Почему движение многоклеточных животных могло подтолкнуть эволюцию мозга? Появление мышц дало возможность двигаться — то есть хотя бы временно

сопротивляться гравитации и электромагнитному взаимодействию. Камень не способен противостоять этим силам. Взрослая губка тоже. Но каждый раз, когда вы идёте, вы расходуете энергию, чтобы противостоять гравитации: поднимаете стопу и переставляете её на новое место. Одновременно двигаетесь через воздух, преодолевая сопротивление, которое в конечном счёте тоже определяется электромагнитными силами. Способность двигаться создаёт возможность выбора: пойти туда? или остаться здесь? С появлением движения появляется возможность свободы воли и сознания — хотя не обязательно само сознание. У сложных подвижных животных есть выбор. Эволюция создала сложный мозг — и, вероятно, сознание, — чтобы помогать им делать этот выбор как можно успешнее. Плавающие бактерии и археи тоже умеют двигаться и, следуя этой логике, могли бы обладать какой-то «свободой воли». Но внутри отдельной клетки так и не возникла органелла, играющая роль мозга и позволяющая по-настоящему принимать решения. Движение позволяет животному уходить из опасной среды. Но для этого необходимо распознать опасность.

Даже довольно простые животные, похоже, способны ощущать нечто вроде удовольствия и боли. Домашние мухи меняют поведение после травмы, хотя неизвестно, ощущают ли они боль так же, как мы.

Тем не менее, если у животного есть нервная система, передающая сигналы от органов чувств в мозг и затем от мозга к мышцам, и животное реагирует на эти сигналы, это позволяет предположить, что чувство боли возникло примерно тогда же, когда на древе жизни появились первые подвижные животные. Первые зачатки свободы воли, вероятно, возникли вместе со способностью целенаправленно двигаться. Боль — чрезвычайно эффективный способ заставить животное действовать. И действовать быстро. У людей существует ужасное, но, к счастью, очень редкое состояние — врождённая нечувствительность к боли. Люди с этим заболеванием боли не ощущают.

Причина — генетические мутации, нарушающие передачу сигналов между некоторыми типами нейронов за счёт влияния на движение ионов через клеточные мембраны в области синапсов. В результате сигналы не могут нормально распространяться по нейронной сети организма. Состояние чрезвычайно опасно. Такие люди постоянно травмируют себя, потому что не реагируют на повреждающие воздействия, и нередко погибают молодыми из-за несчастных случаев. Способность чувствовать боль — чрезвычайно важная часть животной жизни. Именно поэтому её имеют плодовые мушки, креветки, рыбы и змеи, даже если их боль ощущается не совсем так, как наша. Одна из ключевых задач науки о сознании — понять, что именно переживают разные животные. Насколько широко распространено сознание? И насколько его степень различается между видами?

За последние десятилетия всё больше учёных пришло к выводу, что даже довольно простые животные, включая беспозвоночных — креветок, омаров и осьминогов, — способны чувствовать боль и, вероятно, другие состояния, похожие на удовольствие. Это не означает, что все они переживают боль и удовольствие одинаково. Мы по-прежнему не знаем, что именно означает боль для краба или миноги. Как не знаем и того, каково быть летучей мышью, крысой или кошкой. Но сама способность чувствовать боль очень древняя. Возможно, это была первая эмоция в истории животных. А более высокие формы сознания — возможно, даже сложное мышление — позднее выросли из способности первых животных чувствовать боль. Если любое живое существо, независимо от вида, испытывает боль, ощущение это неприятно. А значит, нам действительно необходимо переосмыслить то, как мы обращаемся с такими животными, как раки, омары, осьминоги, куры, свиньи и коровы.

Учёные сравнивают строение мозга животных по всему древу жизни. Это помогло понять, как эволюционировал мозг и, в несколько меньшей степени, сознание.

Самые простые мозги состоят всего из небольшого числа нейронов, причём все они выглядят примерно одинаково. Более сложные, включая человеческий, состоят из множества различных типов нейронов, соединённых в самых разных конфигурациях. Нейроны разных участков мозга отличаются по форме и количеству синапсов, хотя основные структуры — аксон, дендриты и прочее — у всех одинаковы. Мозг эволюционировал и усложнялся за счёт увеличения числа нейронов, разнообразия их форм и новых вариантов соединения.

Если двигаться по древу жизни от первых животных к нам с вами, видно: мозг становится всё сложнее, а новые области словно надстраиваются поверх старых. Эволюция в основном именно добавляла новые секции. В этом смысле она похожа на строителя, который пристраивает к дому новые комнаты всякий раз, когда новая функция повышает шансы на выживание и размножение. У млекопитающих появился неокортекс — область, отсутствующая у других животных. А у человека неокортекс разросся до крайности. Во время развития мы создаём в нём огромное количество нейронов — значительно больше, чем большинство других млекопитающих. Вуфлер, напротив, получил в ходе эволюции длинную морду с огромным количеством клеток, распознающих запахи, и сравнительно большую часть мозга, позволяющую интерпретировать запахи намного лучше, чем умеем мы. Он способен буквально «читать» недавнюю историю участка земли по запаху. И это помогает находить добычу. Но эволюция умеет не только увеличивать области мозга. Она может их и уменьшать. Некоторые наши предки обладали лучшими зрением, слухом и обонянием. Но они не умели разгадывать кроссворды или sudoku и не могли овладеть огнём. На нашей ветви древа жизни общий размер мозга увеличивался, но относительный размер различных областей за сотни миллионов лет неоднократно менялся. Сегодня большой неокортекс приносит нам очевидную пользу. Но кто знает, что будет дальше? Если искусственный интеллект станет всё

более похожим на человеческий, возможно, такой орган когда-нибудь перестанет быть нам особенно нужен. Может быть, наши потомки снова поселятся на деревьях и утратят способность говорить, пока искусственный интеллект будет выполнять всю сложную работу. Предсказывать будущее — не задача этой книги. Но прошлое мы понимать можем. Мы дошли до момента истории, когда уже существуют млекопитающие и животные обладают сознанием. Однако я пока не рассказал, как именно люди стали господствующим видом на планете. Об этом — следующая глава.

Почему существуют люди?

Люди

На этом этапе нашего путешествия уже появились млекопитающие, а вместе с ними — мозг, который дал им определённую степень осознанности. Этот мозг состоит из нейронов, соединённых в огромные сети, благодаря которым по крайней мере один вид млекопитающих — мы — способен понимать окружающий мир, запоминать информацию о нём и размышлять. Теперь всё готово к тому, чтобы рассмотреть, как появились люди и как им удалось покорить планету. Мы, безусловно, важный вид, но всё же всего лишь один из многих сотен миллионов видов, когда-либо населявших Землю. Время от времени на Земле возникает вид — или группа видов, — способный изменить всю планету. Люди принадлежат к таким видам, но мы далеко не первые и, скорее всего, не последние. Миллиарды лет назад цианобактерии преобразили Землю, насытив атмосферу кислородом. Первые эукариоты открыли эпоху сложных организмов. Первый хищник создал совершенно новый образ жизни, а появление наземных растений позволило жизни заселить континенты. Люди — лишь очередной вид в длинном списке тех, кто менял планету. Мы необычны тем, что сделали это чрезвычайно быстро, но мы такой же продукт природы, как и все остальные. Эволюционный биолог Оливия Джадсон красиво описывает эпохи жизни через способы получения энергии: «геохимическая энергия, солнечный свет, кислород, плоть и огонь». Люди стали одним из первых — хотя, вероятно, не самым первым — видом, научившимся использовать огонь как источник энергии. В этой главе я сосредоточусь именно на людях, потому что вся книга посвящена вопросу о том, почему существуем вы и я. У нас действительно есть необычные свойства, но они вовсе не означают, что мы каким-то образом отделены от природы или стоим над ней. Это не так. Следующий этап пути от Большого

взрыва к нам — понять, как возник современный человек, сумевший изменить весь мир. Вы уже знаете, как работает эволюция, поэтому теперь посмотрим, как именно она сформировала нас. Млекопитающим пришлось пройти путь от маленьких одиночных зверьков к приматам, а затем — к людям. Для этого должны были появиться несколько важнейших признаков и способность создавать всё более сложные технологии. Именно об этом и пойдёт речь в главе. Но сначала посмотрим на конечный результат — на современного человека.

Есть одна вещь, которую наш вид делает совершенно уникальным образом: мы создаём такие системы, которые способны сделать нашу повседневную жизнь невероятно сложной, — то есть бюрократию. Можно было бы подумать, что университет, полный якобы умных людей, должен работать гладко. Ничего подобного. Оксфордскому университету, где я работаю, больше восьмисот лет, и за это время он накопил столько административных правил, что ими можно довести до безумия даже профессионального бюрократа. В октябре прошлого года во время переезда кабинета у моей коллеги исчез компьютер. Его так и не нашли, и, вполне естественно, ей срочно понадобился новый. Ей разрешили купить компьютер, но только у определённой компании. У компании нужной модели не было и никто не знал, когда она появится; ждать, вероятно, пришлось бы несколько месяцев. При этом местная фирма могла доставить тот же компьютер по той же цене за сутки. Но купить его там моей коллеге запретили, потому что компания не была «утверждённым поставщиком». Процесс включения нового поставщика в список может занять несколько месяцев, результат при этом не гарантирован и, насколько я могу судить, определяется почти случайным образом.

Не менее поразительно и то, что любое моё требование о возмещении расходов должны одобрить шесть разных человек. Понятия не имею, зачем нужен такой уровень контроля, но меня

бы совершенно не удивило, если бы выяснилось, что правило восходит к решению Ральфа Мейдстонского, занимавшего должность канцлера в 1231 году.

Формальным главой Оксфордского университета является канцлер, хотя сегодня его роль в основном почётная и церемониальная. Повседневной работой руководит вице-канцлер. Она председательствует в частично выборном совете попечителей, который рассматривает и утверждает или отклоняет программы реформ. Вице-канцлеру подчиняются несколько проректоров, отвечающих за исследования, образование, персонал, здания и финансы. Научная и преподавательская деятельность ведётся в факультетах и департаментах, объединяющих специалистов по истории, биологии, экономике и другим областям. Внутри них профессора разных рангов читают курсы и занимаются исследованиями, а руководители подразделений — такие, как я, — отвечают за бюджеты, качество преподавания, охрану труда и множество других административных вопросов.

Подразделения объединены в четыре крупных блока: гуманитарные науки, общественные науки, медицинские науки, а также математические, физические и науки о жизни. На этом уровне определяется стратегия и распределяются бюджеты. Кроме того, в Оксфорде существуют тридцать девять независимых колледжей, некоторые из которых невероятно древние и богатые. Именно они принимают студентов, а многие преподаватели университета одновременно заключают второй контракт с колледжем и проводят там индивидуальные занятия. Сотрудники университета могут входить в Конгрегацию — высший орган управления. Конгрегация способна отменять решения попечителей, вице-канцлера и проректоров, хотя происходит это редко. Другого университета, устроенного как Оксфорд, не существует. И хотя за восемь веков здесь работало множество выдающихся умов, я уверен: ни один из них не предложил бы сознательно создать ту систему управления, которая существует

сегодня. Меня давно занимает вопрос: как эволюция смогла превратить маленькое одиночное млекопитающее с небольшим мозгом в разумное, глубоко осознающее себя существо, способное работать в чрезвычайно сложных организациях и жить в обществах, устройство которых настолько запутанно, что мы сами до конца его не понимаем?

Люди — единственный вид, создавший государства и организации вроде Оксфордского университета. Это стало возможным благодаря способности мыслить абстрактно и передавать сложные идеи с помощью языка, а также потому, что большинство людей в целом соглашается жить по законам страны, в которой находится, какими бы странными эти законы порой ни казались. В этой главе я постараюсь понять, как возникла столь удивительная социальная и организационная сложность.

Первые гоминины — представители той же эволюционной ветви, что и мы, — появились примерно 6,5 миллиона лет назад. Первые города возникли около 9500 лет назад. Именно на период между этими двумя датами я и сосредоточусь. После появления городов, искусства и письменности начинается уже собственно история — в буквальном смысле слова. Об этом написано огромное количество прекрасных книг, поэтому я не стану пересказывать последние девять тысяч лет человеческой истории. Меня интересует путь от первого гоминина до первого города. Ключевую роль в восстановлении этого пути играет наука — особенно методы определения возраста костей, зубов и артефактов. Палеонтологи и археологи собрали картину прошлого по ископаемым остаткам, предметам и генетическим данным. Новая находка всегда может заставить нас кое-что пересмотреть, но сегодня у нас уже есть довольно убедительная история превращения примата, питающегося фруктами, в обезьяну космической эпохи.

Чтобы люди смогли создавать сложные организации, города и государства, должны были эволюционировать несколько важнейших признаков. Один из них — язык. Если бы мы не умели

объяснять сложные идеи, рассказывать, зачем совершаем те или иные действия, а также понимать и выражать мотивы других, сложные общества просто не могли бы возникнуть. Вуфлер не способен узнать, чем занимался его заклятый враг — соседский пёс, — поговорив с ним. А я могу выяснить это, поговорив с владельцем Бильбо.

Для существования общества нужна и способность терпеть рядом с собой других людей, в том числе тех, с кем мы не состоим в родстве. С этим связана способность создавать и принимать иерархии. Если бы каждый стремился быть главным, устойчивые социальные структуры не могли бы ни появиться, ни долго существовать.

Мы умеем также распределять специализированные обязанности между членами группы — в животном мире это редкость. Не всем нужно охотиться на крупную дичь, строить жилища, собирать растения или готовить еду. Каждому из нас необязательно уметь делать всё. Мы можем сосредоточиться на своей специализации и позволить другим заниматься своей. Некоторая взаимозаменяемость, конечно, полезна: если в группе есть двое-трое людей, способных охотиться или готовить, кто-то сможет заменить заболевшего или раненого.

Ещё одна важная особенность человека — способность принимать решения сегодня ради награды, которую мы получим лишь в будущем. Мы, например, покупаем акции, рассчитывая на прибыль через годы. Но все эти признаки вовсе не приводят к появлению одинаковых обществ, организаций или цивилизаций. Люди чрезвычайно гибки. Даже небольшие группы, выполняющие одинаковую работу, могут создавать совершенно разные социальные структуры. Например, исследовательская группа, с которой я работал над овцами и оленями, была довольно иерархичной. Участники имели твёрдые взгляды на то, какую науку следует делать, и редко меняли мнение. Группа, занимавшаяся гуппи, была гораздо менее иерархичной, более

гибкой и открытой новым идеям. А мир исследователей волков оказался гораздо более политизированным — отчасти потому, что присутствие волков в Монтане, Айдахо и Вайоминге вызывает споры. Команда открыта новым идеям, но всегда приходится учитывать возможные политические последствия. Все три группы — овечья, рыбья и волчья — работали успешно. Очевидно, единственно правильного способа организовать научное сотрудничество не существует. Кто знает, может быть, разные культуры возникли потому, что мы сами начинаем напоминать животных, которых изучаем? Овцы и олени создают строгие социальные иерархии и бывают упрямыми. Гуппи менее организованы социально, зато чрезвычайно гибки. Волки очень социальны и постоянно балансируют между отношениями внутри стаи и между стаями. Уверен, что и я сам менялся, переходя от одной исследовательской системы к другой.

Различаются не только научные коллективы. Государства тоже строятся по-разному. В одних странах социальная, политическая и экономическая система более открыта, в других — более диктаторская. Одни общества живут под сильным влиянием религиозных доктрин, другие разделены по конфессиональному признаку. Существует множество способов организовать общество — и множество способов добиться его успеха. Вся эта гибкость проистекает из нашего интеллекта, социальной природы и способности мыслить абстрактно.

Определить, когда именно в ходе человеческой эволюции появились такие качества, непросто. Способность принимать решения не оставляет ископаемых следов. Даже анатомические данные бывает сложно интерпретировать. Например, наличие строения голосового аппарата, позволяющего издавать определённые звуки, ещё не доказывает существование языка. Многие птицы великолепно имитируют звуки, а некоторые способны почти идеально повторять слова и целые фразы. Но это не то же самое, что полноценная человеческая речь. По

ископаемым остаткам известно, что возможные предки человека имели анатомическую способность издавать широкий диапазон звуков по меньшей мере 25 миллионов лет назад. Однако сложный язык, по мнению большинства исследователей, появился менее двух миллионов лет назад. Отсюда возникает следующий вопрос: насколько сложный язык вообще нужен для сложного общества? Обязательны ли прошедшее, настоящее и будущее времена? А условные конструкции? По-видимому, нет: существуют современные языки, в которых нет некоторых привычных нам времён. Интересно, переведут ли когда-нибудь эту книгу на один из таких языков? Нужен ли человеку словарь из десяти слов, сотни, тысячи или десяти тысяч? Наверное, меньше, чем мы используем сегодня. Средний англоговорящий знает около сорока тысяч слов, но активно пользуется примерно половиной. Интересно, был ли словарь жителей первых городов 9500 лет назад таким же богатым? Несмотря на все сложности, палеонтологи и антропологи сумели выделить ряд важных событий и по некоторым вопросам пришли к согласию. Первые наскальные рисунки, определённые виды орудий, украшения, намеренные погребения и использование огня многое говорят о возможностях наших предков. Другие данные допускают разные толкования. *Homo erectus* был чрезвычайно успешным видом и расселился из Африки по Европе и Азии. Его популяции появились на островах Флорес и Ява в Индонезии, куда можно было попасть только через море. Некоторые учёные считают это доказательством мореплавания, а значит, и существования языка, необходимого для координации действий. Другие полагают, что люди оказались на островах случайно — например, их унесло в море на плотках из растительности после древних цунами.

Во втором случае *Homo erectus* выглядел бы анатомически почти как человек, но ещё не обладал бы тем, что мы называем человечностью. Пока новых свидетельств нет, окончательно разрешить спор невозможно. У меня есть собственное мнение, и

позже я его выскажу. При этом все согласны, что некоторые останки с острова Флорес принадлежали людям буквально «хоббитского» роста. Многие крупные млекопитающие — слоны, олени, носороги, бегемоты — на островах со временем уменьшаются в размерах. Возможно, то же произошло и с *Homo erectus*. Но и здесь палеонтологи спорят: некоторые считают, что маленький рост объяснялся близкородственным скрещиванием и нарушениями развития, а не эволюцией. Даже эволюционные биологи не имеют единого мнения, почему крупные виды на океанических островах часто мельчают. Возможно, свою роль играют отсутствие крупных хищников и конкурентов или более мягкий климат.

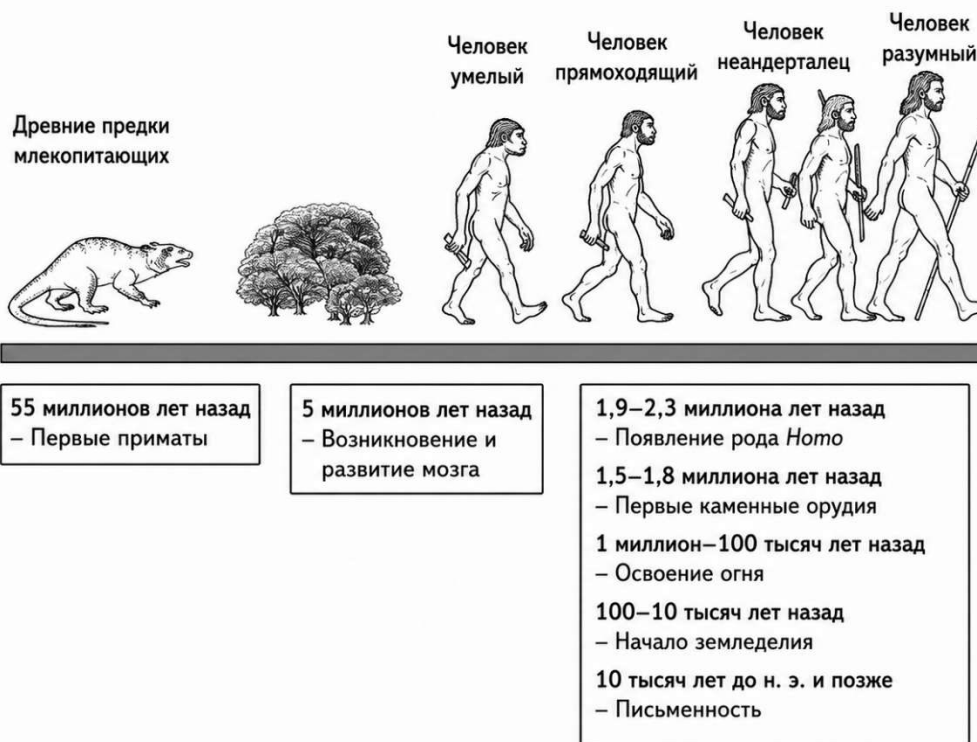
Рассказывать историю того, как люди приобрели свойства, позволившие им создать сложные общества, трудно ещё и потому, что эта область постоянно меняется. Каждая новая находка способна заставить нас пересмотреть существенную часть хронологии. Недавно Дэвид Гребер и Дэвид Венгроу опубликовали чрезвычайно хорошо исследованную книгу «*На заре всего. Новая история человечества*», которая серьёзно пересматривает прежние представления о происхождении общества. Книгу приняли далеко не все — как в популярной прессе, так и среди археологов и антропологов, — но попытки переписать историю почти никогда не встречают всеобщего одобрения. Лично меня их аргументы убедили. Дискуссия вокруг книги возникла потому, что данных о далёком прошлом очень мало. Пытаться по ним восстановить историю — всё равно что описывать картину на пазле, имея лишь несколько деталей.

То, что я расскажу дальше, — моя интерпретация современных данных. Я считаю, что *Homo erectus*, один из наших сравнительно недавних предков, был разумным, но всё же менее умным, чем мы. А неандертальцы и первые *Homo sapiens*, на мой взгляд, обладали когнитивными способностями, очень близкими к нашим. Они вовсе не были тупыми пещерными людьми, какими их часто

показывают в популярных книгах и документальных фильмах. Цивилизации появились не сразу не потому, что древним людям не хватало ума. Просто для этого сначала требовались определённые технологии, а потребность в них возникла только в определённых исторических условиях. Раньше изобретать их просто не было необходимости. Эти поворотные моменты определялись наличием пищи, климатом и конкуренцией между группами охотников-собирателей. История сложных обществ — это во многом история того, как созданные нашими предками технологии заставляли их менять собственное поведение. **Мы — продукт своих технологий. И, скорее всего, останемся им в будущем.**

Современный человек принадлежит к приматам — большой группе млекопитающих, куда входят лемуры Мадагаскара, обезьяны и человекообразные обезьяны. У всех этих животных глаза направлены вперёд, а большинство прекрасно передвигается по деревьям. Кисти приматов анатомически похожи на стопы и отличаются высокой подвижностью. Первоначально они возникли для лазания по ветвям, захвата фруктов и листьев и ловли насекомых. Но именно ловкость рук впоследствии позволила нашим предкам создавать технологии, о которых пойдёт речь дальше. Надёжные ископаемые данные показывают, что первые приматы жили в лесах около 55 миллионов лет назад. Некоторые палеонтологи, опираясь на менее убедительные находки, считают, что их происхождение может уходить ещё в меловой период — эпоху, начавшуюся 145 миллионов лет назад и завершившуюся 66 миллионов лет назад падением астероида Чиксулуб, уничтожившего динозавров.

Хронология человеческой истории



Наши ближайшие ныне живущие родственники — шимпанзе и близкие им бонобо. Последний общий предок человека и шимпанзе жил примерно 5–10 миллионов лет назад и, возможно, существовал ещё 4,2 миллиона лет назад.

Ископаемых останков, которые все учёные согласились бы признать этим общим предком, пока не найдено. Одни палеонтологи считают наиболее вероятным кандидатом европейский род *Graecopithecus*, другие — африканский вид *Sahelanthropus tchadensis*. Споры будут продолжаться, пока не появятся новые находки. Ясно одно: наши предки постепенно стали меньше времени проводить на деревьях и больше — на земле. Возможно, их образ жизни напоминал современных

павианов. Причиной могло стать сокращение лесов в некоторых частях Африки: климат менялся, леса превращались в саванны, и между деревьями приходилось всё чаще передвигаться по земле. Одновременно менялся рацион — становился разнообразнее. Наземный образ жизни благоприятствовал прямохождению, а оно освобождало ловкие руки для других задач. Все эти изменения происходили постепенно. Постепенно формируется консенсус, что *Australopithecus anamensis* — первый представитель нашей ветви эволюционного дерева, уже не принадлежащий ветви шимпанзе. Он жил на территории современной Кении и Эфиопии от 4,2 до 3,8 миллиона лет назад — к тому времени человеческая и шимпанзе линии уже разошлись. Самцы *Australopithecus anamensis* достигали примерно полутора метров роста, самки были примерно на двадцать сантиметров ниже. Многочисленные находки показывают, что они ходили прямо, примерно как мы, но длинные руки всё ещё позволяли им прекрасно лазать по деревьям. Они жили в лесистой местности и питались преимущественно фруктами и растительностью, хотя, вероятно, дополняли рацион насекомыми, мелкими млекопитающими и птицами, которых могли поймать или подобрать. Жили они небольшими семейными группами и были довольно социальными, но никаких убедительных свидетельств использования орудий или существования культуры нет. Некоторые учёные предполагают, что они могли пользоваться веточками и палками при добывании пищи, как современные шимпанзе. Размер черепа показывает, что австралопитеки, включая *A. anamensis*, были менее разумны, чем их потомки, но, возможно, не уступали современным человекообразным обезьянам: орангутанам Борнео и Суматры, восточным и западным гориллам, шимпанзе и бонобо. Кроме *A. anamensis*, обнаружено несколько других видов австралопитеков, некоторые известны буквально по одному экземпляру. Но находки показывают, что их образ жизни оказался успешным: потомки расселились по Центральной, Восточной и Южной Африке.

Самый знаменитый экземпляр найден в Эфиопии — почти полный скелет самки *Australopithecus afarensis*, известной как Люси. Во время экспедиции исследователи постоянно слушали песню Beatles *Lucy in the Sky with Diamonds*, благодаря чему давно умершая представительница древнего вида получила современное имя. Люси жила 3,2 миллиона лет назад — примерно в период расцвета австралопитеков: почти через миллион лет после появления рода и за 1,8 миллиона лет до его исчезновения. Почему они вымерли, мы не знаем. Возможно, сыграли роль изменения климата или конкуренция с новым видом, который сам произошёл от одного из австралопитеков.

Когда эволюция находит удачный новый образ жизни, форму тела или поведение, число обладателей таких признаков возрастает, а ареал вида расширяется. Потомки расселяются всё дальше от родителей. Но мир неоднороден. Популяции оказываются в разных условиях, и со временем начинают расходиться, приспосабливаясь каждая к собственной среде — особенно если между ними почти нет скрещивания. Так работает эволюция: популяции в разных местах адаптируются по-разному. Австралопитеки расселились по большей части Африки и приспосабливались то к более лесным, то к более открытым саванным ландшафтам. Менялись форма тела, питание, поведение. Со временем возникали отдельные виды. Получилась настоящая мозаика австралопитеков. И где-то среди них появился вид, которому особенно хорошо подходила более сухая, прохладная и менее лесистая среда. Вероятно, среди остальных он выглядел несколько странным — словно необычный кузен в семье похожих друг на друга родственников, живущий на окраинах, которых остальные избегают. Мы уже видели, что особенности земной орбиты, движение тектонических плит и вулканическая активность способны менять климат. Земля может казаться неизменной веками и тысячелетиями, но на больших масштабах времени перемены неизбежны.

По мере похолодания Африки лучшие места обитания австралопитеков начали исчезать. Одни виды вымерли. Но потеря одного вида может стать шансом для другого. Расширение саванн оказалось выгодно тому самому «странному кузену». В ископаемой летописи мы видим постепенное исчезновение австралопитеков и появление первых представителей рода *Номо* — группы близкородственных видов, к которой относимся и мы. Если бы ископаемая летопись была полнее, возможно, удалось бы напрямую связать первый вид *Номо* с тем необычным австралопитеком. Пока этого сделать нельзя.

Но мы знаем, что примерно 2,3 миллиона лет назад появляется новый вид — *Номо habilis*, что на латыни означает «человек умелый». Через девятьсот тысяч лет австралопитеки исчезают из ископаемой летописи, и виды *Номо*, произошедшие от них, становятся доминирующими человекообразными обезьянами на планете. Из-за постепенного характера эволюции некоторые исследователи пытались относить *Номо habilis* к австралопитекам, но сегодня его обычно считают первым представителем рода *Номо*. *Номо habilis* стал есть больше мяса, проводить больше времени на земле и меньше на деревьях, лучше приспособился к саваннам и начал активно использовать каменные орудия. Самые первые инструменты были очень просты: камни ударяли друг о друга, откалывая острые куски, которыми затем разделявали туши животных. Первые широко применяемые технологии человека — ручные рубила из оббитого камня. Именно с них началась линия технологического развития, которая через 2,3 миллиона лет приведёт к Большому адронному коллайдеру — машине, способной исследовать фундаментальные частицы материи. Считается, что *Номо habilis* жил более крупными группами, чем его предки, — возможно, до восьмидесяти человек. Это могло стимулировать рост интеллекта. Учёные обнаружили сильную связь между размером неокортекса и размером социальной группы у вида. Чем больше людей вокруг, тем больше

вычислительных ресурсов мозга нужно для постоянного управления сложными отношениями. Размер нашего неокортекса предсказывает, что человек способен поддерживать социальную сеть примерно из 150 человек. Это так называемое число Данбара, названное в честь британского антрополога Робина Данбара. Если *Homo habilis* действительно жил группами по восемьдесят особей, то ранние представители рода *Homo* уже становились достаточно умными. Тем не менее *Homo habilis*, хотя и был гораздо больше похож на человека, чем австралопитеки, во многом от нас отличался. Самцы были значительно крупнее самок, сообща защищали группу от хищников и отбирали у них добычу. Хотя мяса в рационе стало больше, анализ ископаемых зубов показывает, что фрукты и растения по-прежнему оставались важнейшей частью питания. Образ жизни *Homo habilis* иногда сравнивают с современными павианами и саванными шимпанзе. У всех этих видов самцы значительно крупнее самок, а один или несколько доминирующих самцов получают большую часть спариваний.

Виды, где несколько самцов монополизируют большинство самок, называются полигинными. Обычно самцы там почти не участвуют в воспитании потомства. Часто предполагается, что *Homo habilis* тоже был полигинным, но это весьма спекулятивно: распределение репродуктивного успеха между особями невозможно увидеть в ископаемой летописи. Возможно, самки совместно растили детей. Есть и данные, что детство у *Homo habilis* было короче нашего: дети быстрее становились самостоятельными. Как бы ни выглядела их семейная жизнь, вид оказался успешным. Как до него австралопитеки, *Homo habilis* или похожие формы распространились по Африке, осваивая саванны по мере исчезновения лесов. И, как их предки, разные популяции приспосабливались к местным условиям. На некоторых черепках обнаружена область, соответствующая зоне Брока — участку мозга, важному для речи. Некоторые исследователи считают это возможным свидетельством того, что отдельные популяции *Homo*

habilis уже обладали примитивной речью. Доказать это окончательно будет чрезвычайно трудно. Маловероятно, что *Homo habilis* обладал всеми качествами, необходимыми для создания государств и сложных организаций. Но некоторые уже были. Эти люди могли жить большими группами и сотрудничать друг с другом значительно сложнее, чем их предки. Возможно, обладали простейшей речью и создавали инструменты. Возможно, именно здесь появились первые проблески абстрактного мышления. Но орудия всё ещё оставались примитивными. Нет свидетельств искусства, использования огня или погребения умерших. Их потомки всё это освоят. Следующий герой нашей истории — невероятно успешный предок человека, *Homo erectus*, «человек прямоходящий». Если бы вы увидели *Homo erectus* издалека, вполне могли бы принять его за современного человека. Анатомически он был на нас похож. *Homo erectus* был крупнее *Homo habilis*: рост составлял примерно от 145 до 185 сантиметров, масса — до 70 килограммов. Мозг тоже увеличился, хотя всё ещё уступал нашему. Средний объём современного человеческого мозга — около 1350 кубических сантиметров, у *Homo erectus* — чуть меньше тысячи. Этот следующий этап пути к нам появляется в ископаемой летописи около двух миллионов лет назад — примерно за четыреста тысяч лет до исчезновения последних *Homo habilis*. *Homo erectus* отличался ещё одним важным свойством: он стал высшим хищником — как мы сегодня, находился на вершине пищевой цепи.

Представители рода *Homo* уже не ограничивались тем, что отбирали мясо у других хищников. Теперь они сами охотились.

Группы *Homo erectus* убивали животных размером с диких быков и слонов, а также более мелкую добычу, хотя дополняли рацион фруктами и растениями. Австралопитеки и *Homo habilis* успешно освоили множество ландшафтов Африки к югу от современного Сахара — самой пустыни тогда ещё не существовало, она сформировалась лишь около 11 тысяч лет назад. Но за

пределами Африки их останков не найдено. А вот окаменелости *Homo erectus* обнаружены по всей Азии и Европе. Насколько «человечным» был *Homo erectus*, сказать трудно. Разные популяции отличались анатомически, и от них возникло множество других видов *Homo*.

Как когда-то у австралопитеков, популяции приспосабливались к разным условиям. Есть сильные аргументы в пользу того, что *Homo erectus* заселил остров Флорес и впоследствии превратился там в миниатюрного *Homo floresiensis* — «человека-хоббита». Флорес всегда был островом. Чтобы попасть туда, нужно пересечь океан. Произошло ли это случайно — например, несколько особей пережили путешествие, держась за брёвна и сплетения растительности, — или они специально построили лодки, остаётся предметом спора. Ответ важен. Если *Homo erectus* умел плавать по морю, значит, представители вида должны были обладать достаточно сложной коммуникацией, чтобы, например, объяснять, когда и куда грести для сохранения курса. К сожалению, вероятность того, что лодка сможет пролежать в водах Флореса сотни тысяч лет, почти нулевая. Поэтому мы, возможно, никогда не узнаем, случайно или сознательно *Homo erectus* добрался до острова. Использование орудий было повсеместным среди популяций *Homo erectus*.

Их инструменты уже превосходили по сложности орудия *Homo habilis*: края обрабатывались с нескольких сторон, камню придавали острые наконечники. Ручные рубила разного размера использовали для разделки мяса, обработки дерева и растений. Создание таких инструментов стало важнейшим технологическим шагом от первых приматов к нам. *Homo erectus* существовал почти два миллиона лет. Последние представители исчезли из ископаемой летописи на острове Ява примерно 110 тысяч лет назад.

За это огромное время вид продолжал эволюционировать.

В одних популяциях появилось примитивное искусство — люди наносили узоры на раковины. В других освоили огонь. Где-то начали строить укрытия. С учётом этого вполне возможно, что отдельные популяции *Homo erectus* действительно строили морские суда. На протяжении почти двух миллионов лет мозг *Homo erectus* продолжал меняться, вероятно увеличивался неокортекс, а когнитивные способности становились всё ближе к человеческим. Возникали и другие человеческие черты, включая моногамию. Биологи способны приблизительно определить систему размножения вымершего млекопитающего по разнице в размерах самцов и самок. У полигинных видов, например благородного оленя, доминирующий самец побеждает соперников, спаривается со многими самками и затем почти не участвует в выращивании молодняка. У таких животных самцы обычно намного крупнее самок. У моногамных видов, где самец и самка образуют более длительные пары и вместе заботятся о потомстве, размеры полов гораздо ближе. У *Homo erectus* самцы и самки имели сходный рост. Это позволяет предположить, что вид был моногамным и оба родителя участвовали в выращивании детей. Если это так, его семейная система уже заметно отличалась от *Homo habilis*. Правда, у некоторых популяций мозг младенцев после рождения развивался не так долго, как у нас, а значит, детство могло быть короче и требовать меньшего объёма родительской заботы. Но если *Homo erectus* действительно был моногамным, вероятно, оба родителя всё же ухаживали за потомством, как происходит у большинства современных моногамных млекопитающих. *Homo erectus* жил группами, хотя их точный размер нам неизвестен. На одном участке в Кении обнаружено около ста ископаемых следов. Примерно 1,5 миллиона лет назад там прошла группа из двадцати человек. Всего известно четыре участка с такими следами, и один набор принадлежал группе взрослых мужчин. Куда они шли? На совместную охоту? Некоторые учёные считают именно так и видят здесь признак того, что разные группы внутри сообщества уже

выполняли специализированные задачи. Возможно, *Homo erectus* стал первым гоминином, у которого отдельные люди или группы регулярно специализировались не только на защите от хищников. Как мы видели на примере австралопитеков и *Homo habilis*, успех приводит к разнообразию. Так произошло и с *Homo erectus*. От него возникло множество потомков, включая *Homo floresiensis*, неандертальцев, денисовцев и *Homo sapiens*.

Homo erectus расселился по Африке, Европе и Азии, а эволюция формировала каждую популяцию под местные условия. Неандертальцы приспособились к лесным и зачастую холодным условиям Европы. Денисовцы жили в Азии. Современные люди возникли в Африке. О денисовцах известно мало — слишком мало останков. Но неандертальцы и современные люди во многом были похожи. Оба создавали искусство, обладали языком, строили сложные общества и хоронили умерших. Оба вида подняли когнитивные возможности *Homo erectus* на новый уровень. Здесь я сознательно упростил картину.

Есть линия происхождения от *Australopithecus anamensis* через *Homo habilis* и *Homo erectus* к *Homo sapiens*, но существовало огромное количество боковых ветвей. Популяции расходились, а затем могли снова встретиться и успешно скрещиваться. Мы точно знаем, что это произошло между современными людьми и неандертальцами после выхода *Homo sapiens* из Африки. Эволюция редко выглядит как аккуратное прямое дерево. Популяции могут расходиться, затем вновь смешиваться. Представители разных групп могут спариваться, а если их потомки начинают чаще выбирать друг друга, со временем может возникнуть новый вид. Так происходило и с австралопитеками, и с популяциями *Homo erectus*. Поэтому наш собственный геном — смесь генов, эволюционировавших в разных местах. Ископаемая летопись прекрасно это показывает: по всему миру найдено множество форм гоминин. Палеонтологи описали виды и подвиды *Homo rudolfensis*, *H. ergaster*, *H. georgicus*, *H. antecessor*, *H. cepranensis*, *H.*

rhodesiensis, *H. neanderthalensis*, *H. floresiensis* и *H. heidelbergensis*. Учёные всё ещё спорят, какие из них считать отдельными видами, какие подвидами, а какие просто обособившимися популяциями. Я склонен считать многие из них подвидами. Но независимо от классификации огромное разнообразие показывает, насколько невероятно успешно *Homo erectus* приспосабливался к новым условиям.

Особенно любопытен *Homo naledi*, живший в Южной Африке примерно 335–235 тысяч лет назад. Возраст останков пятнадцати особей удивительно недавний, учитывая их анатомию. Рост составлял в среднем около 140 сантиметров, масса — около 40 килограммов. Мозг был сравнительно небольшим, но форма черепа указывает на вполне современное строение мозга. Все кости нашли в одном месте — в пещерной системе Райзинг-Стар в провинции Гаутенг. Самое удивительное: в той камере, где лежали останки *Homo naledi*, не оказалось костей других животных.

Добраться туда четверть миллиона лет назад было непросто. Кости не были занесены водой. Возможно, тела умерших сознательно помещали в пещеру, а значит, это могло быть намеренное погребение. *Homo naledi* сочетает признаки австралопитеков и *Homo erectus*, хотя жил одновременно с современным человеком. Как именно этот необычный вид связан с другими ранними гомининами, ещё предстоит выяснить. Но очевидно: в Африке одновременно существовало множество разных форм. Когда рядом живут несколько близкородственных видов или подвидов, биологи называют это эволюционной радиацией. Гоминины, по-видимому, довольно легко приспосабливались к разным условиям как внутри Африки, так и за её пределами. Особенно гибкими оказались *Homo habilis* и *Homo erectus*. За примерно четыре миллиона лет такой адаптации наши предки приобрели многие ключевые свойства, которые сегодня делают нас людьми и позволяют жить в сложных обществах. Эта краткая история описывает, как развивались ранние гоминины, но

ещё не объясняет, **почему** возникли признаки, приведшие к нам. Вероятно, полной уверенности у нас никогда не будет. Но, как уже говорилось, по мере высыхания климата и сокращения лесов некоторые австралопитеки стали проводить всё больше времени на земле. От наземных хищников они поначалу спасались на деревьях, но часть популяций всё чаще оказывалась в открытых саваннах. Успешные линии выработали стратегии защиты от крупных кошек, медведей и волков. Возможно, они бросали камни, размахивали палками и действовали сообща, чтобы отпугивать или даже убивать хищников. Преимущество могли получить более крупные и сильные особи. А когда навыки защиты улучшились, неожиданно возник ещё один бонус: стало возможным отбирать добычу у других хищников, а со временем и самим охотиться. Этому помогли более совершенные орудия и совместная охота. Группы, которые лучше сотрудничали и делали более эффективные инструменты, получали преимущество над менее организованными соседями. Огонь и строительство убежищ ещё больше повышали шансы на выживание. Все эти новшества требовали более крупного мозга. И в эволюции гоминин общий тренд действительно шёл в сторону увеличения мозга — за отдельными исключениями вроде *Homo naledi*. Большой мозг даёт множество преимуществ: лучшую коммуникацию, способность решать сложные задачи и мыслить абстрактно. Но он невероятно дорог. У среднего человека мозг составляет всего около 2 процентов массы тела, но потребляет примерно 20 процентов всей энергии.

Кроме того, большой мозг делает роды значительно труднее. И всё же для наших предков преимущества явно перевешивали цену. По меньшей мере две линии гоминин — неандертальцы и современные люди — независимо развили крупный мозг. Оба вида освоили огонь, готовили пищу, носили одежду, обладали языком, создавали искусство и украшения, делали музыкальные инструменты, использовали лекарственные растения и заботились

о больных и раненых. Неандертальцы жили в лесных районах Евразии примерно от 430 до 40 тысяч лет назад и прекрасно приспособились к холодным зимам. Они были коренастее современных людей. Это помогало сохранять тепло, а возможно, и быстро ускоряться во время охоты. Они находились на вершине пищевой цепи и успешно охотились на мамонтов, бизонов и других крупных травоядных, но ели также мелких животных, растения, фрукты и орехи. У некоторых неандертальцев мозг был больше, чем у современного человека. Возможно, первые люди вообще были несколько мозговитее нас. Либо мы немного поглупели, либо наши мозги просто стали работать эффективнее. Неандертальцев традиционно изображают примитивными, грубыми пещерными людьми, которых легко перехитрили наши предки. Но тщательное изучение их стоянок рисует совсем другую картину. Орудия, украшения из раковин, флейты, следы костров в пещерах и сама анатомия показывают: разумные человекообразные обезьяны возникали на Земле более одного раза. Неандертальцы жили при низкой плотности населения, и общая численность их вида, возможно, никогда не превышала нескольких десятков тысяч человек. Но для высших хищников это нормально. Мясо было важной частью их рациона, а численность добычи могла ограничивать численность самих неандертальцев — плотность хищников обычно ниже, чем травоядных. Несмотря на редкость встреч, разные группы иногда контактировали и, вероятно, обменивались предметами, пищей, технологиями и идеями. Искусство, украшения и музыка свидетельствуют о символическом мышлении — способности использовать слова и изображения для обозначения объектов и событий, которых в данный момент перед глазами нет. Неандертальцы не были глупыми. Они не только мыслили абстрактно, но и изменяли окружающую среду. Возможно, даже создавали своего рода сады. На участке возле Лейпцига в Германии археологи обнаружили более двадцати гектаров земли, которые неандертальцы

поддерживали открытыми на протяжении двух тысяч лет примерно 125 тысяч лет назад.

Неясно, расчистили они этот участок сами или воспользовались естественным открытым пространством, но растительность показывает, что там долго сохранялись виды, характерные именно для открытых мест. Вокруг всё было покрыто лесом. Если бы неандертальцы не вмешивались, территория заросла бы за несколько десятилетий. Почему они поддерживали её открытой, неизвестно, но если это продолжалось двадцать столетий, причина явно была для них важной. Неандертальцы создали и древнейшие известные наскальные рисунки — примерно на двадцать тысяч лет раньше *Homo sapiens*. Эти изображения возрастом около 65 тысяч лет обнаружены возле Сантандера на севере Испании. Там есть красные и чёрные отпечатки рук, трафареты ладоней, изображения животных и различные линии и формы, смысл которых понять труднее. Для сравнения, самое древнее известное искусство *Homo sapiens* — изображение свиньи в натуральную величину, созданное в Индонезии около 45 тысяч лет назад. На протяжении всей истории человечества мы любили считать себя центром мира и вершиной развития. Когда-то люди полагали, что Земля находится в центре Вселенной и всё вращается вокруг неё. Оказалось — нет. Тогда центром сделали Солнце. И снова ошиблись. Сегодня мы знаем, что живём на планете, вращающейся вокруг совершенно обычной звезды на окраине вполне обычной галактики, в которой может быть до триллиона планет. И всё же мы продолжаем считать себя вершиной эволюции, полагая, что никакой другой вид не развил настоящий язык или разум — ни на Земле, а возможно, и нигде во Вселенной. Но и этот бастион нашей исключительности рушится. На нашей планете независимо существовали по меньшей мере две формы разумных человекообразных обезьян, пусть и имевшие общего предка в лице *Homo erectus*. Если неандертальцы были столь умны, почему они исчезли? Их вымирание произошло

вскоре после заселения Европы *Homo sapiens*, поэтому подозрение естественным образом падает на нас. Но, как часто бывает, реальность сложнее. Первые *Homo sapiens* покинули Африку примерно 177–210 тысяч лет назад. Останки этого периода найдены в Греции и Израиле. Но в Европе эти первые переселенцы не закрепились и со временем исчезли — возможно, потому что не смогли конкурировать с местными неандертальцами. Вторая, более успешная волна выхода из Африки произошла примерно 60–70 тысяч лет назад. Люди прошли через территорию современного Ближнего Востока и вдоль побережья Азии достигли Океании. Двигались они быстро. В Австралию современные люди попали как минимум 40 тысяч лет назад, а возможно, и 60 тысяч.

Но Европу *Homo sapiens* успешно заселил только около 40 тысяч лет назад. Не знали ли люди о её существовании? Не понравился климат? Или попытки проникнуть туда между 40 и 60 тысячами лет назад закончились неудачей? Ископаемая летопись не даёт прямого ответа. Я подозреваю, что раннему человеку мешали сами неандертальцы, лучше приспособленные к европейским условиям. Первые *Homo sapiens*, пытавшиеся заселить Европу, вероятно, сталкивались с серьёзной конкуренцией. Но затем произошло изменение. Этим изменением оказался климат. *Homo sapiens* был хорошо приспособлен к более жарким, иногда засушливым условиям Африки. Неандертальцы специализировались на лесах умеренной Европы. Мы были разумной тропической обезьяной. Они — разумным родственником из умеренного пояса. Между 45 и 40 тысячами лет назад Европа стала суше. Среда изменилась — и баланс сместился в пользу людей. По мере продвижения *Homo sapiens* неандертальцы исчезали. Точная причина вымирания неизвестна. Возможные факторы — болезни, конкуренция, сокращение крупной добычи и близкородственное скрещивание. Последний неандерталец умер около сорока тысяч лет назад. Но их гены живут до сих пор. Когда наши предки расселялись по Европе, они скрещивались с неандертальцами. Некоторые из полученных

генов, вероятно, оказались полезны, раз сохранились до наших дней. Сам факт такого скрещивания означает, что представители двух групп воспринимали друг друга как потенциальных партнёров. Были ли отношения добровольными или насильственными, образовывались ли постоянные пары — мы не знаем. Языки, скорее всего, различались, потому что популяции были разделены тысячи лет. Но обе группы умели учиться языкам, поэтому вполне возможно, что они могли совместно воспитывать детей. Если когда-нибудь не найдём останки такой смешанной семьи, точного ответа не будет. Но ясно одно: дети от союзов неандертальцев и *Homo sapiens* сами оставляли потомство. Иначе сегодня у нас не было бы неандертальских генов. Компания 23andMe сообщает, что у меня неандертальской ДНК больше, чем у 80 процентов её клиентов. Мне очень интересно, каким бы я был без этих генов. Современные люди скрещивались с другими гомининами не только в Европе. Продвигаясь по Азии, наши предки вступали в контакты с денисовцами. Гены этого загадочного населения сегодня есть у нескольких народов Азии и Океании.

Ископаемых останков денисовцев очень мало. Почти всё, что мы знаем, получено из генетических исследований. Найденные кости показывают, что они были похожи на неандертальцев, хотя отличались строением зубов и, вероятно, другими анатомическими особенностями. После успешного выхода из Африки и заселения Азии, Океании и Европы люди примерно 26 тысяч лет назад пересекли сухопутный мост между современной Россией и Аляской и распространились по Америке.

К четырём тысячам лет назад люди уже поселились в Полинезии. Кроме Антарктиды, человек освоил практически всю сушу — от тропиков до Арктики. Но что было бы, если бы много тысяч лет назад климат изменился в противоположную сторону? Возможно, неандертальцы распространились бы в Африку и вытеснили *Homo sapiens*? Мы никогда не узнаем. Но в какой-нибудь

альтернативной Вселенной, возможно, именно людей изображают тупыми пещерными существами, а неандертальцы запускают ракеты в космос. Однако история пошла иначе. Эта книга — о людях. Итак, теперь мы остались единственными гомининами на Земле. И начали строить цивилизации. Когда *Homo sapiens* покинул Африку, интеллектуальные способности этих людей уже были сопоставимы с нашими. Путь от умной прямоходящей обезьяны с простыми инструментами до современного мира оказался долгим.

Как это произошло? Первые сооружения на месте Чатал-Хююка появились около 9500 лет назад на территории современной Анатолии в южной Турции. К девяти тысячам лет назад это уже был первый крупный город. Он просуществовал почти полторы тысячи лет, а в период расцвета там жило около десяти тысяч человек. За более чем тридцать тысяч лет между выходом наших предков из Африки и Чатал-Хююком должно было произойти очень многое. С этого момента история переходит от биологической эволюции к развитию технологий. Уже сорок тысяч лет назад наши предки обладали примерно теми же когнитивными способностями, что и мы. Чего у них не было — так это технологий. Теперь начинается путь от каменного рубила к смартфону. И главную роль в нём сыграли наши ловкие руки и большой мозг. После выхода из Африки наши предки-охотники-собиратели заселили множество сред и питались самыми разными животными — от слонов и морских слонов до ныне исчезнувшей эпиорнисовой птицы Мадагаскара.

Возникали многочисленные культуры охотников-собирателей.

Современные традиционные общества позволяют предположить, что во многих из них ресурсы и имущество распределялись довольно равномерно, а мужчины и женщины могли обладать сопоставимыми правами. Со временем появлялись новые технологии, позволявшие эффективнее добывать ресурсы. Успешные изобретения распространялись по древнему миру: одна группа копировала их у другой. Желание не отставать от соседей —

вовсе не современная слабость. Сегодня слово «технология» обычно ассоциируется с электроникой. Посудомоечные машины, умные холодильники и компьютеры за последние десятилетия действительно сильно изменили западные общества. Но это далеко не первый случай, когда технологии меняли человеческую жизнь. Наши предки получили огромное преимущество благодаря улучшению каменных, деревянных, костяных и металлических орудий, изобретению веревок и канатов, керамики, контролю огня, строительству жилищ и приготовлению пищи. Сегодня мы воспринимаем всё это как должное. Но каждое открытие требовало внимательных наблюдений, абстрактного мышления и множества проб и ошибок. Представьте, что вы принадлежите к первой группе людей, научившейся разжигать огонь. Соседи смотрели бы на вас с благоговением. Если, конечно, ваши эксперименты не закончились тяжёлыми ожогами. Рыболовство — ещё один пример важной технологии. Анализ костей человека, жившего в Восточной Азии 40 тысяч лет назад, показал, что он регулярно ел пресноводную рыбу. Как именно её ловили, неизвестно. Современные охотники-собиратели Андаманских и Никобарских островов прекрасно ловят рыбу копьями и луками со стрелами. Обе технологии существуют очень давно, поэтому вполне вероятно, что ими пользовались и наши предки. Самые древние деревянные копья датируются примерно 400 тысячами лет назад и были изготовлены либо ранними неандертальцами, либо их предками *Homo erectus*. Это древнейшие известные деревянные орудия. Найденные копья использовали для охоты на крупных животных вроде лошадей, но тот же принцип легко применить и к рыбе. Первые убедительные свидетельства использования лука и стрел моложе — примерно 60–72 тысячи лет. Они найдены в пещере Сибуду в Южной Африке. Технология быстро распространилась. Люди, вышедшие из Африки, уже несли с собой луки. Мы знаем это благодаря наконечникам стрел, найденным в пещере Фа-Хиен на Шри-Ланке рядом с останками *Homo sapiens*. Лук позволял ранить

и убивать животных с большего расстояния, чем копьё, а значит, снижал риск.

Когда именно стрелами впервые начали ловить рыбу, неизвестно, но после появления технологии это, вероятно, произошло быстро. Дальше следовали новые рыболовные изобретения.

Самые ранние данные об использовании яда на наконечниках стрел относятся примерно к 24 тысячам лет назад. Возможно, яд использовали и для оглушения или убийства рыбы, хотя доказать это почти невозможно. Самая древняя сохранившаяся рыболовная сеть возрастом около 8300 лет была изготовлена из ивы и найдена в Финляндии в 1913 году. Однако каменные грузила для сетей из Кореи позволяют предположить, что сети использовали уже 27 тысяч лет назад. Интересно, что гарпуны — копья с зазубренными костяными наконечниками — появляются в известной нам летописи намного позднее: изображения таких орудий во французских пещерах имеют возраст чуть больше шести тысяч лет.

Затем гарпуны быстро распространились и использовались для охоты на тюленей, других морских млекопитающих и рыбу. Точные даты всех этих изобретений, скорее всего, будут меняться по мере новых находок. Мы постоянно удивляемся тому, насколько древними оказываются сложные технологии. Но, возможно, удивляться не стоит. Наши предки были так же умны, как мы, а возможно, и умнее. Хронология появления керамики, разнообразных каменных, деревянных и костяных инструментов и использования огня рассказывает одну и ту же историю. *Homo sapiens*, неандертальцы и, возможно, другие потомки *Homo erectus*, включая денисовцев, были умными и изобретательными. Именно это позволило им освоить среду от Арктики до тропиков, от пустынь до лесов, от низких океанических островов до Тибетского плато — сурового высокогорья, находящегося в нескольких днях пути от моря.

В разных условиях наши предки всё лучше добывали ресурсы — как благодаря совершенствованию охоты, так и расширяя набор употребляемых продуктов. Многие доисторические культуры научились перемалывать, вымачивать, ферментировать и варить трудно перевариваемую пищу, чтобы удалять вредные вещества. Хороший пример — мука из желудей. Жёлуди питательны, содержат много масел и крахмала, но горьки и плохо перевариваются из-за дубильных веществ — танинов.

Если удалить танины, жёлуди становятся вкуснее и полезнее. Но сделать это не так просто. Для удаления танинов жёлуди нужно измельчить и вымачивать.

Современные сайты с рецептами в стиле «охотников-собирателей» советуют перемолоть жёлуди, а затем вымачивать их до недели, ежедневно меняя воду. Лучше предварительно высушить жёлуди и снять скорлупу и кожицу. Варка ускоряет процесс. Полученная мука вкусна и питательна, поэтому охотники-собиратели широко использовали её там, где росли дубы. Люди делают муку из желудей, орехов и семян более тридцати тысяч лет. А самый древний найденный хлеб пока имеет возраст лишь около десяти тысяч лет.

Измельчение пищи не только удаляло танины, но и берегло зубы. У человека довольно слабый укус, а постоянное жевание твёрдой пищи повреждает зубы. В мире без стоматологов кариес и потеря зубов могли стать серьёзной проблемой, резко ограничивая питание. Поэтому перемалывание семян, орехов и даже костей животных было важным изобретением. Группы, освоившие его, получали преимущество. Технология распространялась. А популяции, которые её использовали, в среднем оставляли больше потомков.

У любой популяции есть уровень воспроизводства — среднее число детей, которое необходимо оставить каждой особи, чтобы численность населения не уменьшалась. Если у вас с партнёром двое детей и оба доживают до взрослого возраста, вы в буквальном

смысле заменили себя. Если каждый из них тоже создаёт семью и имеет по двое выживших детей, численность поколения останется примерно стабильной. Но далеко не каждый ребёнок доживает до взрослого возраста. Поэтому даже в современных обществах с хорошей медициной коэффициент воспроизводства немного превышает два ребёнка на женщину. Там, где детская смертность выше, требуется больше рождений. Для охотников-собирателей, возможно, нужно было четыре-шесть детей на женщину. Но реальные показатели были ещё выше, потому что численность охотников-собирателей росла, и они расселились по всей планете. Если популяция долго остаётся примерно одной численности, значит, что-то ограничивает её рост.

У диких животных такими факторами часто становятся хищники, недостаток пищи, болезни, нехватка мест для размножения или даже трудности с поиском партнёра. В начале истории *Homo sapiens*, возможно, около 70 тысяч лет существовал в сравнительно небольшой зелёной области на территории нынешней Ботсваны, возле современного озера Макгадикгади. Популяция могла оставаться стабильной тысячелетиями и начать расширяться только после климатических изменений. Не все учёные принимают такую интерпретацию, но вряд ли удивительно, если в разные периоды рост наших предков действительно ограничивали хищники, пища или болезни.

Технологический прогресс позволил людям размножаться быстрее необходимого для простого воспроизводства. Улучшение способов добычи пищи и снижение смертности от хищников приводили к росту местных групп.

Чем больше становилось людей, тем меньше пищи оставалось на той же территории. Жизнь усложнялась. Часть людей уходила искать новые земли. Именно так человечество постепенно расселилось почти по всему миру. Каждое новое изобретение позволяло добывать больше пищи и выращивать больше детей. Но больше людей означало больше ртов. Ресурсы снова сокращались.

Если новой технологии ещё не было, приходилось сниматься с места и искать новые пастбища. Люди — гетеротрофы. Это означает, что энергию мы получаем, поедая другие живые организмы. Успех одного гетеротрофа всегда оплачивается кем-то другим. Травоядные едят траву.

Другие растительноядные — деревья и кустарники. Хищники — животных. Мы ничем принципиально не отличаемся. Именно поэтому человечество так сильно воздействует на природные экосистемы. Может показаться, что это недавняя проблема. Но нет. Мы меняли природу с самых ранних времён и, вероятно, будем менять её и дальше. Люди плохо уживаются с крупными животными — если только не одомашнили их. По всему миру мы преследуем волков, львов и медведей. Носорогов и слонов доводим до грани исчезновения.

Не щадим даже китов, тюленей и больших акул, которые практически не представляют для нас опасности. Иногда мы убиваем их из страха. Иногда ради еды. Иногда превращаем части тела в украшения. Иногда потому, что верим в нелепую идею: будто свойства какого-нибудь органа животного каким-то образом перейдут к нам. Наше современное отношение к крупным животным — вовсе не новое явление. Осваивая новые земли, древние люди регулярно доводили крупные виды до вымирания. Некоторые исследователи не хотят возлагать всю вину на человека, потому что исчезновение животных часто совпадало и с климатическими изменениями. Но есть две проблемы. Во-первых, именно изменение климата нередко позволяло людям проникать в новые регионы. Во-вторых, многие вымершие виды уже переживали более ранние климатические колебания. Мы никогда особенно хорошо не умели жить бок о бок с крупными животными. Вероятно, так будет и впредь. Есть и другое свидетельство нашего влияния — распределение размеров животных на континентах до и после появления людей.

Анализ фауны 125 тысяч лет назад показывает, что уже самые ранние *Homo sapiens* начали избавлять ландшафты от крупных животных. Средний размер животных связан с площадью материка: на больших континентах обычно больше крупной фауны. Африка — один из крупнейших материков, поэтому там должно было быть особенно много гигантов. Но уже 125 тысяч лет назад, когда *Homo sapiens* сформировался как вид, крупных животных оказалось меньше ожидаемого. Большая часть гигантов уже исчезла. По мере расселения человека уничтожение продолжалось. Эпиорнис на Мадагаскаре, гигантский наземный ленивец Южной Америки, сумчатый лев Австралии, огромные пещерные медведи Северной Евразии, шерстистые мамонты — все они исчезли. Их гибель стала частью успеха наших предков. Но в конце концов новых земель для расселения не осталось. Чтобы население продолжало расти, понадобились новые технологии. Когда местные группы охотников-собирателей увеличивались, они чаще сталкивались с соседями. Так появлялось больше возможностей и для торговли, и для войны. В некоторых регионах группы из разных ландшафтов начали регулярно встречаться в определённые сезоны — обмениваться товарами, а возможно, и искать партнёров. Появились первые сооружения и земляные насыпи. Например, Лепенски-Вир в Сербии использовался охотниками-собираателями как сезонное место встреч. Следующим шагом стало постоянное проживание на одном месте. А вслед за этим почти сразу пришла ещё одна ключевая технология — **земледелие**. Самые древние следы земледелия обнаружены у Галилейского моря и датируются примерно 23 тысячами лет назад. Люди культуры Охало II выращивали съедобные злаки в небольшом масштабе. Но до широкого распространения земледелия в этом регионе прошло ещё примерно 11,5 тысячи лет. К тому времени люди выращивали чечевицу, горох, нут, пшеницу, рожь и ячмень. Климатические изменения, наряду с охотой, вероятно, сокращали численность животных. Менялось и

распределение плодовых и ореховых деревьев. В какой-то момент земледелие могло стать уже не удобством, а необходимостью. Хотя земледельческие технологии распространялись от народа к народу, независимо они были изобретены не менее одиннадцати раз в разных частях света. В Китае одомашнили рис. В бассейне Амазонки — маниок. В Андах — фасоль и тыкву. Выращивали не только растения. Свиной одомашнили около 11 тысяч лет назад, вскоре за ними — овец и крупный рогатый скот.

Кур стали разводить примерно 3500 лет назад в Юго-Восточной Азии, хотя некоторые исследователи считают, что это могло произойти на 4500 лет раньше. Других животных приручили ради транспорта и тяжёлой работы. Лошадей одомашнили в степях Центральной Азии около 5500 лет назад. Собак приручали как минимум дважды, возможно ещё 35 тысяч лет назад, хотя с такой ранней датой согласны не все. Рыбоводству около трёх тысяч лет — оно возникло в Китае. Всё это показывает: наши предки давно понимали, что растения и животных можно выращивать и разводить в качестве источника пищи. Но земледелие требовало много времени и тяжёлого труда и плохо сочеталось с кочевым образом жизни охотников-собирателей. Кроме того, для посева нужен избыток семян. Если еды мало, разумнее съесть семена, чем бросать их в землю. Поэтому раннее земледелие, возможно, было не постоянным образом жизни, а запасным планом на случай голода. На это указывают примеры, когда семена просто высевали на плодородном иле после спада паводка. Не нужно было расчищать землю. Посевы оставляли без постоянного ухода и возвращались позже. По мере накопления технологий люди всё лучше охотились, ловили рыбу, выращивали растения, удаляли из пищи вредные вещества, строили жилища, делали одежду, ухаживали за домашними животными, лечили больных и производили керамику, украшения и другие вещи. Население росло. Но росло и число навыков, которыми один человек уже не мог овладеть полностью. Невозможно было одновременно владеть

всеми технологиями и носить с собой все необходимые инструменты. Появились специалисты. Особенно там, где их труд создавал излишки пищи. Возникла торговля. Люди становились менее кочевыми — в том числе потому, что специалистам было выгодно жить там, где их легко найти. Около десяти тысяч лет назад, в начале неолита, появились первые деревни. По мере роста населения и специализации люди всё чаще оставались на одном месте. Когда охота стала менее надёжной из-за сокращения животных и изменений климата, сельское хозяйство приобретало всё большее значение. Оно ещё сильнее привязывало людей к определённой территории. Деревни и поселения росли. Археологи считают, что первое крупное городское поселение — Чатал-Хююк — было достаточно эгалитарным. Город делился оврагом на две части, возможно, там жили два или несколько разных народов, решивших стать соседями.

Антропологи предполагают, что Чатал-Хююк находился на границе трёх разных экосистем, населённых охотниками-собираателями, использовавшими разные ресурсы.

Возможно, первоначально это было место встреч и обмена между группами. Со временем торговля и специализация стали важнее, и люди начали селиться здесь постоянно. Город состоял из частных домов по три-четыре комнаты. Вход находился в крыше и одновременно служил дымоходом для кухонного очага. Похоже, значительная часть повседневной жизни проходила на крышах. Там изготавливали предметы, украшения и статуэтки, которые явно указывают на религиозные представления. Общественных зданий и храмов в Чатал-Хююке не найдено. Все дома устроены примерно одинаково. Именно поэтому археологи считают общество относительно равноправным. Значительную часть питания всё ещё составляла добытая охотой и собирательством пища. То есть Чатал-Хююк был в каком-то смысле огромным обществом охотников-собираателей. Это ещё раз показывает: переход к земледелию вовсе не обязательно был прямой причиной

появления первых постоянных городов. Хотя в некоторых ранних поселениях общество оставалось эгалитарным, многие более поздние города становились иерархичными. Их часто строили на возвышенностях, в изгибах рек или в местах, куда можно было попасть только с одной стороны.

Так их легче защищать. Нападения соседей и кочевых народов были реальной угрозой, и безопасность играла важную роль при выборе места для поселения. Яркие свидетельства иерархических обществ появляются в ранних городах Месопотамии. В центре стояли огромные, богато украшенные и внушительные храмы. Очевидно, организованная религия играла важнейшую роль. Более ранние верования часто были анимистическими и основывались на представлении о духах природы.

Широко существовала вера в загробную жизнь. Считалось, что предки могут возвращаться в виде животных или духов. Умершим помогали отправиться в иной мир: их хоронили и иногда клали рядом вещи, которые могли понадобиться в пути. Шаманы и другие религиозные фигуры пользовались уважением, поскольку считалось, что они способны общаться с духами. Но долгое время они не накапливали огромных богатств и не использовали священный статус для построения жёстких иерархий. С появлением деревень, городов и храмов всё изменилось. Религиозные системы становились более организованными. Распространялась идея, что судьба человека после смерти зависит от его поведения при жизни. Возникли религиозные элиты.

В ранних месопотамских городах во главе стоял царь, окружённый правящей верхушкой и обладавший религиозным статусом. Некоторые правители создавали героические рассказы о собственных подвигах и превращались в царей-богов. Религиозная иерархия сочеталась с тем, что одни технические специалисты считались более ценными, чем другие. Так возникало управление сверху вниз. Устанавливались правила допустимого поведения и наказания за нарушение порядка. Горожане должны были

подчиняться — в обмен на обещание спасения в загробной жизни и безопасности в этой. Большинство соглашалось, пока жизнь оставалась терпимой. Но если правящая элита становилась слишком жестокой или условия жизни ухудшались, потому что царь якобы перестал умиловить богов, власть могли свергнуть. Для безопасности требовалась вооружённая сила, которая в мирное время одновременно поддерживала порядок. Тем, кто был недоволен, оставалось уйти. Если же кто-то слишком громко выступал против элиты, его могли изгнать, посадить в тюрьму, обратить в рабство или убить. Поддержание иерархии всегда требует денег. В обмен на налоги элита строила и содержала храмы, общественные здания и инфраструктуру.

Если налоги казались слишком высокими по сравнению с получаемыми благами, возникали недовольство и неповиновение. Но многие монархи и вожди всё же сумели накопить огромные состояния. Во многом эта структура общества сохранилась до наших дней. Похоже, она достаточно устойчива.

Развитие технологий позволило городам и населению продолжать расти почти экспоненциально. Сегодня на планете около восьми миллиардов человек, а в некоторых мегаполисах живёт более двадцати миллионов. Разрушение природной среды, начатое первыми людьми, тоже продолжилось. Сегодня мы уже меняем глобальные циклы углерода и азота и химический состав атмосферы. Например, до середины XX века доступность азота в формах, пригодных для растений, ограничивала продуктивность большинства экосистем. Всё изменилось после того, как Фриц Габер и Карл Бош разработали промышленный процесс производства азотных удобрений. Сегодня на сельскохозяйственные земли ежегодно вносятся сотни миллионов тонн таких удобрений. Дожди смывают часть азота в реки, озёра и океаны. В результате человечество меняет экосистемы не только на суше, но и в пресной и морской воде. Похожая история происходит с углекислым газом. Во времена первых цивилизаций

Месопотамии его концентрация в атмосфере составляла около 260 частей на миллион. Сегодня — больше 400.

Наша любовь к сжиганию ископаемого топлива меняет атмосферу, а вместе с ней и климат. Некоторые относятся к нашему влиянию на окружающую среду довольно беспечно, потому что нынешняя цивилизация кажется устойчивой. Но люди и раньше совершали такую ошибку.

В своей прекрасной книге *The Earth Transformed: An Untold History* Питер Франкопан показывает, как изменения климата и других природных условий неоднократно совпадали с подъёмом и падением цивилизаций. Для разрушения иллюзии стабильности нужно совсем немного. Когда рушатся цепочки снабжения, необходимые для существования большого населения, люди начинают бороться за выживание, а ключевые структуры общества распадаются. Древние цивилизации иногда исчезали чрезвычайно быстро — зачастую с огромными человеческими потерями. Многие существовали веками, а затем рухнули почти без следа. Если история чему-то и учит, так это ценить периоды экологической стабильности. Они чрезвычайно благоприятны для человечества. Изменять климат и работу глобальных экосистем мы можем только на свой страх и риск. Люди, жившие в первых городах, анатомически ничем не отличались от нас и обладали теми же интеллектуальными возможностями.

История человеческих цивилизаций невероятно интересна. Наука помогла восстановить её благодаря неразрушающему сканированию древних памятников и артефактов, радиоуглеродному датированию и множеству других методов. Но подробности жизни отдельных цивилизаций не являются центральными для главного вопроса этой книги — почему мы существуем. Разные цивилизации открывали разные истины о Вселенной по мере появления новых технологий, в основном методом проб и ошибок. Необязательно было существовать именно Греции или Риму, чтобы появились вы и я. Хотя эти

империи действительно продемонстрировали новые способы организации общества. Цивилизации приходили и уходили. Главное свойство человека состоит в том, что мы вообще способны их создавать. Для появления науки цивилизации были необходимы. Без них мы не смогли бы восстановить историю собственного существования. Но подробный рассказ о взлётах и падениях государств уже много раз написан другими авторами, поэтому здесь я коснусь его лишь кратко.

Среди исчезнувших цивилизаций — микенцы, хетты, Западная Римская империя, майя, империи Маурьев и Гуптов в Индии, Ангкор в Камбодже, династии Хань и Тан в Китае. Их крах часто начинался с изменений климата и нехватки ресурсов, которые вели к беспорядкам и войнам.

Нередко население оказывалось застигнуто врасплох. Общества — и сложные организации внутри них — хрупки. Сочетание чрезмерно авторитарного правителя и природной катастрофы способно разрушить империю. Но бывало и наоборот: более чуткие лидеры объединяли людей и помогали пережить трудные времена. Почему одни руководители действуют одним образом, а другие — совсем иначе? Почему люди вообще так отличаются друг от друга? Этому посвящена следующая глава.

Почему мы именно такие, какие есть?

Вы и я

До сих пор я рассказывал историю того, как возникли Вселенная, Млечный Путь, наша Солнечная система и Земля. Мы прошли через физику, химию и биологию, увидели зарождение и распространение жизни, эволюцию сознания и появление человечества. Позади 13,77 миллиарда лет истории, и теперь мы приближаемся к современности — и к завершению этого удивительного путешествия. После этого я смогу ответить на вопрос, который поставил в самом начале: были ли мы неизбежны уже в момент рождения Вселенной или же нам с вами просто невероятно повезло? По мере развития этой истории её масштаб становился всё более локальным: мы начали с истории всей Вселенной, а затем дошли до первых цивилизаций в одном маленьком уголке нашей планеты. Последний шаг будет ещё более личным: нам предстоит разобраться, почему вы и я именно такие, какие мы есть.

На этом участке пути передо мной стоят две трудности. Во-первых, я вас не знаю. Одна из причин, почему я время от времени рассказывал о собственной жизни, состояла в том, чтобы вы получили некоторое представление о том, что я за человек. Я говорю о себе, потому что не могу ответить, почему именно вы низкого или высокого роста, оптимист или пессимист, застенчивый или общительный человек, почему вы боитесь плавать с маской, но готовы выпрыгнуть из самолёта, почему остались одиноки или уже вступили в пятый брак. Во-вторых, чрезвычайно трудно установить причину конкретной черты у одного отдельного человека. На уровне личности наука нередко затрудняется объяснить, почему именно вы тревожны или спокойны. Чтобы ответить на подобные вопросы, нужно детально понимать генетические механизмы и процессы развития, благодаря которым человек становится интровертом или

экстравертом, застенчивым или напористым, а до полного понимания этих механизмов нам пока далеко. И всё же прогресс есть. Учёные знают, что наш характер формируют три силы: гены, жизненный опыт и случайность. Именно им посвящена эта глава.

Поскольку я не знаю вас лично, на протяжении книги я ставил под увеличительное стекло самого себя — а иногда и мою жену Соню. Прежде чем перейти непосредственно к теме главы, кратко напомним основные этапы собственной жизни. У меня было счастливое детство и поддерживающие родители, хотя школу я особенно не любил. Зато дома было много книг, способных удовлетворить моё любопытство, поэтому немалую часть знаний я получал самостоятельно. Период, проведённый в Африке в молодости, изменил направление моей жизни и породил желание понять, почему я вообще существую. Не имея ясного представления, чем заниматься, я защитил докторскую диссертацию и пошёл по академической стезе; я до сих пор изучаю экологию и эволюцию животных. Работа учёного предполагает публикацию научных статей, хотя с 2017 по 2024 год я занимал руководящие должности в Оксфордском университете, пожертвовав частью собственных исследований ради того, чтобы создать прочное наследие для нынешнего и будущих поколений оксфордских биологов. Соня, мои дети и Вуфлер бесконечно дороги мне и постоянно приносят радость. Это моя первая книга, и, закончив черновик, я почти не представлял, что делать дальше. Но мне повезло найти прекрасного литературного агента и издателя — именно поэтому сейчас вы держите эту книгу в руках. Теперь, надеюсь, становится понятно, зачем я рассказывал о своей личной истории: она позволяет увидеть, как опыт, гены и случайность влияют на каждого из нас.

У любого человека можно измерить множество характеристик: рост во взрослом возрасте, массу при рождении, степень экстраверсии, уровень тревожности, скорость бега в двадцать лет, интеллект и многое другое. Вы могли родиться с весом шесть

фунтов пять унций, а в двадцать лет развивать скорость 15,6 мили в час — всё это значения фенотипических признаков. У представителей одной популяции значения любого такого признака различаются. Скорее всего, в двадцать лет вы бегали быстрее меня, но, возможно, вы ниже ростом. В этом я могу быть достаточно уверен, потому что мои беговые способности ниже среднего, зато рост выше среднемирового: я пять футов одиннадцать дюймов, тогда как средний рост мужчин в мире составляет примерно от пяти футов семи до пяти футов девяти дюймов.

Если нанести на график значения таких признаков, как скорость бега в определённом возрасте, сила иммунного ответа на инфекцию или уровень тревожности, а затем показать, насколько часто каждое значение встречается в популяции, нередко получится колоколообразная кривая. Такое распределение называют нормальным или гауссовым — в честь математика Карла Фридриха Гаусса, впервые подробно его описавшего. Колокол возникает потому, что людей с чрезвычайно низкими или чрезвычайно высокими значениями признака немного, а большинство располагается где-то посередине. Если по горизонтальной оси отложить скорость бега, поместив быстрых бегунов слева, а медленных справа, Усэйн Болт окажется далеко в левом хвосте кривой, поскольку в молодости он бегал исключительно быстро. Я окажусь значительно правее, уже за вершиной колокола. Самая высокая точка соответствует среднему значению, а ширина распределения отражает дисперсию — показатель того, насколько сильно представители популяции отличаются друг от друга. После этого учёные пытаются определить, какие факторы объясняют часть различий между людьми. В случае фенотипических признаков эти факторы обычно делят на три группы: различия в генах — природа; различия в окружающей среде — воспитание и жизненный опыт; и так называемый шум развития — непредсказуемая составляющая,

которую пока приходится связывать со случайностью. Именно статистический подход позволяет науке делать утверждения вроде «курение сокращает жизнь». Доказательства здесь неопровержимы: в среднем люди, курящие всю жизнь, живут меньше тех, кто никогда не курил. Но это не означает, что каждый, кто выкуривает по пачке сигарет в день, обязательно умрёт рано. Средний курильщик умирает раньше среднего некурящего, однако невозможно точно предсказать возраст смерти конкретного человека — независимо от того, курит он или нет. Некоторые курильщики доживают до глубокой старости, избежав болезней, которые убивают многих других курящих. А некоторые некурящие умирают молодыми от рака лёгких, хотя никогда не затягивались ни сигаретой, ни сигарой, ни трубкой. Учёные способны уверенно говорить о том, что происходит в среднем с группой людей, но не могут с полной определённости предсказать судьбу отдельного человека. То же относится и к психологии. Можно сказать, что травматические события в раннем возрасте в среднем повышают вероятность того, что взрослый станет более замкнутым, но нельзя утверждать, что любой ребёнок, переживший травму, обязательно станет интровертом. Просто вероятность выше. Поэтому практически невозможно с абсолютной уверенностью сказать, что конкретная особенность конкретного человека возникла из-за воспитания, генов или случая. Мы не можем окончательно объяснить, почему каждый из нас именно такой, какой он есть, однако можем определить вероятные причины и оценить вклад генетики и окружающей среды.

О генах я уже рассказывал, но стоит вкратце напомнить, как они работают. Ген представляет собой длинную последовательность молекул — нуклеотидных оснований четырёх типов: А, Т, С и G. Читать генетический код вслух быстро стало бы невыносимо скучно, поскольку это бесконечная череда всего четырёх букв. Основания читаются тройками, и каждая тройка приказывает молекулярным механизмам клетки взять

определённую аминокислоту — молекулу, состоящую главным образом из углерода, кислорода и азота и устроенную таким образом, чтобы соединяться с другими аминокислотами в цепочки.

Предположим, первые три основания в гене — CCC. Эта тройка сообщает клетке, что нужно взять аминокислоту пролин. Следующая тройка — GCA — кодирует аланин. Клеточная машина выбирает молекулу аланина и присоединяет её к пролину. Так продолжается, пока не встретится стоп-сигнал — например TGA, TAA или TAG, — сообщающий, что белок закончен. Сам процесс перевода генетического кода в белок включает множество этапов и молекул, которые я здесь описывать не буду. Получившаяся цепочка аминокислот сворачивается в определённую трёхмерную форму и становится белком. Белки управляют нашим обменом веществ и используются для строительства тела.

Даже замена всего одной аминокислоты способна изменить работу белка. Если последовательность оснований гена изменится хотя бы немного, может поменяться аминокислотная последовательность, а вместе с ней — эффективность белка. Например, если триплет CCC превратится в CAC, вместо пролина в цепь будет встроен гистидин, и белок может сложиться уже не так, как должен. Мутация, меняющая последовательность аминокислот, способна полностью выключить белок, замедлить его функцию или — гораздо реже — сделать его работу даже эффективнее. Такое изменение последовательности нуклеотидов и называется генетической мутацией. У каждого из нас есть собственный набор мутаций — варианты человеческого генетического кода, — и они могут вносить вклад в различия между нами: в общительность, массу при рождении, рост во взрослом возрасте или способность быстро пробежать сто метров в двадцать лет.

Об одной своей мутации я знаю точно, потому что она мешает нормальной работе определённого белка. У меня есть мутация в

гене GPR143, который производит белок с эффектным названием «G-белок-связанный рецептор 143». Он состоит из 404 аминокислот, и у меня по меньшей мере одна из них отличается от положенной из-за мутации. Я не знаю точного изменения последовательности аминокислот, вызванного моей мутацией, но белок работает неправильно. В базе данных человеческих генов GPR143 описывается примерно так: он кодирует белок, связывающийся с гетеротримерными G-белками и направляемый в меланосомы пигментных клеток; считается, что он участвует во внутриклеточной передаче сигналов. Мутации этого гена вызывают глазной альбинизм первого типа, также называемый глазным альбинизмом Неттлшипа—Фоллса, — тяжёлое нарушение зрения.

Если перевести всё это на человеческий язык, нормальный белок помогает добавить пигмент небольшой группе клеток в задней части глаза — в области, называемой центральной ямкой сетчатки. У меня эта область лишена нормальной пигментации, из-за чего развивается глазной альбинизм. Казалось бы, всего несколько непигментированных клеток — разве это серьёзно? Но именно поэтому мои глаза постоянно совершают произвольные движения, и именно это является причиной плохого зрения. Пигмент в центральной ямке помогает большинству людей стабилизировать изображение, а у меня эта система работает хуже. Из-за мутации моё зрение составляет примерно 25 процентов от нормального, и на стандартной таблице у окулиста я могу прочитать только третью строку. Мои глаза дрожали всю жизнь и будут дрожать всегда. Особых бед это мне не принесло, кроме одной: зрение недостаточно хорошее, чтобы безопасно водить машину. Поэтому мне приходится жить в пределах пешей или велосипедной доступности от работы, а если Соня везёт нас на вечеринку, я неизменно оказываюсь «назначенным выпивающим».

Моя мутация означает, что в генетическом коде есть ошибка. Ваш генетический код — это инструкция по сборке вас самих, а человеческий геном — общий набор инструкций по сборке человека. В моём руководстве по сборке глаза есть опечатка. Почти всё написано правильно, но отсутствует пункт: «Теперь добавьте цвет этим клеткам». В копии гена GPR143 у меня ошибка, и из-за неё глаза развились не совсем так, как должны были. Чтобы понять смысл этого, приходится обратиться к биологии развития — науке о том, как мы растём и как формируются органы: сердце, почки, глаза и всё остальное.

Сложный многоклеточный организм вроде нас с вами начинается с одной клетки, которая делится. Деления продолжаются, пока не возникает небольшой шар из нескольких десятков почти одинаковых клеток. Затем разные клетки начинают развиваться по-разному. Наружные в дальнейшем дадут начало коже, внутренние — органам. Откуда клетки «знают», во что им превращаться? Ответ — химические сигналы. Концентрации различных веществ определяют, когда включать и выключать конкретные гены, а это, в свою очередь, задаёт судьбу клетки: станет ли она мышечной, нервной, нейроном мозга или клеткой крови.

По мере дальнейшего развития клетки начинают перемещаться внутри эмбриона и занимать определённые позиции. В мозге, например, отросток нейрона направляется к месту назначения с помощью структур, называемых конусами роста. Их можно представить как молекулярные тракторы, которые движутся вдоль градиентов определённых химических веществ в развивающемся мозге. Эти молекулы служат дорожными указателями: «прямо», «немного вправо», «немного влево», «стоп».

Когда мы достигаем зрелости, наше тело состоит более чем из 30 триллионов клеток. Многие из них добрались до окончательного положения, следуя химическим градиентам. Эти

химические вещества производятся генами или реакциями с участием белков, кодируемых генами. Но ваш геном не содержит готовой карты, на которой заранее указано место каждой клетки и все связи между ними. Вместо этого там записан набор инструкций: когда в определённом типе клетки производить конкретный белок, когда увеличить его производство, когда уменьшить и когда полностью остановить. Такие команды создают химические градиенты в развивающемся теле, и благодаря им организм буквально строит сам себя. Геном скорее говорит: «включить этот ген, если концентрация такого-то вещества ниже определённого уровня; в противном случае выключить». Развитие настолько сложно, что большинство фенотипических признаков определяется не одним геном. Ваш взрослый рост зависит от того, как долго и с какой скоростью росли кости. У высоких людей кости стали длиннее, потому что костные клетки либо делились быстрее, либо продолжали делиться дольше. А рост кости — сложнейший процесс. Разные гены управляют скоростью роста, направлением, формой и продолжительностью развития. Поэтому рост определяется не одним геном, а множеством. Существует множество генетических способов быть высоким или низким, худым или полным, весёлым или серьёзным.

Когда учёные только открыли гены, они ещё не понимали всей сложности развития. На ранних этапах генетической революции, когда появилась возможность читать последовательности ДНК, некоторые биологи полагали, что почти для каждого фенотипического признака удастся найти отдельный ген: ген интеллекта, ген продолжительности жизни, ген таланта к крикету. Некоторые мечтали с помощью генной инженерии сделать людей умнее, долгоживущими или превратить в прекрасных бэтсменов в крикете либо бейсболистов. Если бы гены действительно работали настолько просто, потенциальная польза была бы огромна: можно было бы лечить массу болезней, а какого-нибудь кровожадного психопата, возможно, превратить генной терапией в совершенно

порядочного человека. Но всё оказалось не так. Чем больше мы узнавали о работе генов и развитии организма, тем яснее становилось: геном — это не чертёж готового человека, а инструкция по его сборке из одной оплодотворённой клетки. Никакого крошечного «генетического человечка», заранее определяющего вашу точную судьбу от зачатия до взрослого состояния, не существует. Большинство признаков контролируется множеством генов. Моё заболевание — глазной альбинизм — в этом смысле необычно, потому что крайнюю степень нарушения зрения у меня действительно можно в значительной мере связать с одним геном. Именно поэтому заболевание потенциально подходит для генной терапии. И всё же даже моя мутация не действует в полном одиночестве: все мужчины с этим вариантом гена имеют плохое зрение, но степень нарушения у каждого своя. В моей большой семье есть немало носителей мутации GPR143 и несколько мужчин, которые из-за неё плохо видят. Зрение у всех нас хуже среднего, но одни видят лучше других. Мутация означает, что у всех нарушена пигментация центральной ямки сетчатки, однако влияние этой особенности смягчается или усиливается другими генами, участвующими в развитии глаза. Они определяют, какие клетки образуются и где именно располагаются. Ни один ген не действует независимо при строительстве тела или формировании такого признака, как рост. Поэтому установить точное влияние отдельного гена на значение конкретного признака обычно чрезвычайно трудно. О связи GPR143 со зрением мы знаем потому, что у всех мужчин с этой мутацией показатели зрения находятся далеко от среднего значения на колоколообразной кривой, а генетики выяснили функцию белка, который кодирует этот ген. Кроме того, биологи достаточно хорошо понимают устройство глаза и показали, насколько важна пигментация центральной ямки для нормального зрения.

Инструкция по сборке человеческого тела настолько сложна, включает такое множество стадий и химических

градиентов, что, пожалуй, неудивительно: если один и тот же код запускать несколько раз, результат не будет совершенно одинаковым. Молекулы внутри и между клетками постоянно сталкиваются и движутся, вызывая небольшие, непредсказуемые колебания концентраций. Поэтому даже несколько организмов с абсолютно одинаковым геномом могут получить слегка различающиеся значения фенотипических признаков. Биологи называют такие непредсказуемые влияния шумом развития и придумали ряд изящных способов измерить роль случайности. Например, можно сравнивать парные органы одного человека — почки, ступни или глаза. У многих из нас один глаз видит лучше другого; у меня левый немного менее плох, чем правый. Оба глаза развивались по одному и тому же генетическому коду и проходили одинаковые стадии, поэтому различия между ними объясняются событиями, которые мы не умеем предсказывать и которые выглядят случайными. Аналогичным образом можно сравнивать фенотипические различия у генетически идентичных близнецов.

Однояйцевые близнецы имеют одинаковые геномы и зачастую очень похожи внешне, но различия между ними всё равно существуют — и родители обычно замечают их мгновенно. Эти различия возникают из-за шума развития: небольших отклонений химических градиентов, которые формировались у каждого близнеца во время роста. Поэтому, если бы удалось создать сто ваших генетически идентичных клонов, они не были бы идеальными копиями. Каждый развивался бы немного иначе: чуть отличался бы рост, форма лица, структура мозга.

Некоторые признаки, похоже, особенно чувствительны к шуму развития. Некоторые психологи даже предполагают, что определённые стороны личности могут зависеть от него довольно сильно. Сто одинаковых ваших клонов могли бы иметь разную степень экстраверсии: один-два были бы очень общительными, один-два — застенчивыми, остальные находились бы между этими крайностями, образуя всё ту же колоколообразную кривую. Итак,

мы уже увидели две силы, способные сделать нас такими, какие мы есть: генетические различия и случайность. Но существует и третья — окружающая среда. Слово «среда» охватывает почти всё. Это страна, в которой вы родились; месяц и год рождения; культура, окружавшая вас в детстве; высота над уровнем моря, на которой вы росли; социально-экономическое положение семьи; количество и состав пищи; люди вокруг вас; события, которые вы пережили. Решить, какие аспекты среды измерять и какие включать в научный анализ, невероятно сложно.

В большинстве исследований среду описывают довольно грубо: социальный класс, религия семьи, число братьев и сестёр, место среди детей — старший, младший или средний, — питание в детстве, поколение или социальная группа, среди которой вы росли. Затем значения фенотипических признаков сопоставляют с этими характеристиками. Например, во многих исследованиях обнаруживается связь между порядком рождения и особенностями личности. В таком случае уровень тревожности можно считать фенотипическим признаком, а порядок рождения — характеристикой среды детства, поскольку он связан с количеством родительского внимания. Первенцы в среднем оказываются более добросовестными и осторожными. Младшие — более весёлыми, склонными привлекать внимание и иногда более манипулятивными. Средние дети чаще бывают бунтарями и имеют широкий круг друзей. Предполагается, что старший ребёнок получает особенно много внимания родителей, потому что какое-то время он единственный. Следующим детям внимания достаётся немного меньше, а младшему приходится особенно активно конкурировать с братьями и сёстрами, которые всё ещё нуждаются в заботе. Эти эффекты, вероятно, существуют, но преувеличивать их не стоит. Есть бунтующие и манипулятивные первенцы, и есть осторожные и добросовестные младшие дети. Порядок рождения означает лишь немного более высокую вероятность определённой черты, а не неизбежность. Он

объясняет лишь малую долю различий между людьми. То, что одна характеристика среды — например количество родительского внимания — объясняет только часть различий в тревожности, не означает, что среда неважна. Это означает лишь, что ни один отдельный фактор среды не объясняет многого сам по себе. Если исследователи включают сразу множество параметров — порядок рождения, тип школы, количество зарубежных поездок с родителями, возраст родителей и так далее, — суммарный вклад среды становится значительно заметнее. Среда дьявольски сложна, её трудно измерить, но для многих фенотипических признаков она играет ключевую роль. Сам генетический код длинен и сложен. Развитие многоступенчато. Среда — запутанная сеть бесчисленных факторов. Но и этого мало: иногда влияние среды на фенотип зависит от конкретного генотипа. Биологи называют это взаимодействием генов и среды.

Возьмём курение. Табачный дым — часть среды, воздействующей на лёгкие. В среднем курильщики живут меньше некурящих, в том числе потому, что у них выше риск нескольких видов рака — не только лёгких, но и, например, мочевого пузыря. У курильщика риск рака мочевого пузыря по меньшей мере втрое выше, чем у некурящего. Однако этот риск неодинаков у всех курильщиков: он зависит от вариантов гена NAT2. Люди с определёнными мутациями этого гена имеют примерно втрое больший риск рака мочевого пузыря, чем курильщики с обычным вариантом. Генетический код NAT2 влияет на вероятность того, что ядовитые вещества табачного дыма вызовут мутацию в клетке мочевого пузыря и сделают её злокачественной. Иными словами, генетика взаимодействует со средой и меняет вероятность развития болезни. До сих пор я в основном говорил о физических признаках — зрении или скорости бега. Но у нас есть и личностные свойства. Когда мы описываем себя, то часто говорим, легко ли раздражаемся, умеем ли расслабляться, боимся ли пауков. Всё это тоже фенотипические признаки, и на них тоже влияют гены, среда

и случайность. Нас удивляет, почему один брат застенчив, а другой общителен, почему мы тревожны, а наш партнёр — нет. Ответ вновь заключается в природе, воспитании и случайности, причём «воспитание» — это фактически совокупность пережитых сред. Несмотря на невероятную сложность личности, психологам удалось добиться заметного прогресса. Личностные особенности рождаются из структуры мозга и того, как его клетки соединяются друг с другом через синапсы. Когда я рассказывал о сознании, мы уже говорили о синапсах. Мозг содержит от 80 до 100 миллиардов нейронов и до 600 триллионов синаптических связей между ними. Именно эти связи определяют, как мы воспринимаем мир, что запоминаем, как думаем и почему обладаем тем или иным характером. Психологи пока не понимают механически, почему определённая сеть синапсов делает человека экстравертом, а другого интровертом; почему один боится пауков, а другой равнодушен; и вообще как именно рождается большая часть личностных черт. Но им удалось определить, какие участки мозга связаны с некоторыми характеристиками личности, и показать, что гены, среда и случайность влияют на психику примерно так же, как и на физические признаки. Некоторые первые важные открытия в изучении мозга были сделаны благодаря несчастным случаям, повреждавшим определённые его участки и неожиданно менявшим характер пациентов. В научных статьях таких людей обычно обозначают номерами, чтобы сохранить их анонимность.

В одной работе описан тридцатилетний мужчина, Пациент 2410, у которого во время операции произошло кровоизлияние в переднюю часть мозга. До травмы жена характеризовала его как вспыльчивого, часто злого и угрюмого. После операции характер изменился: он стал гораздо спокойнее, чаще смеялся и шутил.

Другой пример положительной перемены — Пациентка 3534. В возрасте семидесяти лет ей удалили опухоль, повредив при этом часть передней области мозга. Муж, проживший с ней много десятилетий, рассказывал, что до операции она была суровой,

раздражительной и мрачной. После операции стала счастливее, общительнее и разговорчивее. К сожалению, повреждения мозга далеко не всегда делают людей счастливее. Нередко происходит обратное: прежде добрый и жизнерадостный человек становится тревожным или агрессивным.

Исследования с нейровизуализацией, когда человек неподвижно лежит внутри огромного аппарата, создающего трёхмерную модель мозга, позволили определить участки, активирующиеся при размышлениях о различных событиях и темах. Выяснилось, что группы нейронов в разных областях связаны между собой и участвуют в формировании положительных и отрицательных эмоций, тревоги, отчаяния и счастья. Сканирование также показало, насколько различаются наши мозги. Не существует двух совершенно одинаковых. Каждый из нас «подключён» чуть иначе, а особенности этой проводки определяются генами, пережитым опытом и шумом развития. Мозг и в некоторой степени личность меняются с возрастом, потому что работа нейронных сетей не остаётся постоянной. Многие знают застенчивых и молчаливых детей, превратившихся во взрослых, которые легко общаются с людьми. Или, наоборот, общительных людей, ставших замкнутыми после травмирующего события.

Такие перемены происходят потому, что функции нейронных сетей немного меняются от года к году. Одни синапсы укрепляются благодаря опыту, другие ослабевают, если почти не используются, третьи могут полностью менять назначение. Мы пока не можем предсказать, какой именно набор нейронов создаст определённую личностную черту, но точно знаем: мозг пластичен. Кто мы есть, понемногу меняется из месяца в месяц по мере того, как мозговые связи перестраиваются под воздействием окружающего мира.

А окружающая среда — это не только питание и социальный класс. Это всё, что когда-то заставляло нас нервничать, бояться, радоваться или приходить в восторг.

И поскольку мы способны учиться, многие среды, влияющие на мозг, мы выбираем сами. С возрастом мы понимаем, что доставляет удовольствие, а что вызывает страх или дискомфорт, и начинаем чаще искать комфортные ситуации и избегать неприятных. Если вы боитесь высоты, скорее всего, не станете альпинистом. Я не люблю ночные танцевальные клубы и потому сознательно их избегаю. В результате они почти не влияли на то, кем я стал.

Личность, как и другие фенотипические признаки, определяется генами, средой и случаем, но изучать её сложнее, потому что мы не понимаем механических причин интроверсии или экстраверсии. В случае моего плохого зрения учёные знают генетическую ошибку и понимают, как она приводит к конкретному дефекту. Но у нас нет такого же точного соответствия между определённой структурой мозга и чувством юмора или общительностью. Без механического понимания приходится полагаться на статистические корреляции, а это создаёт свои проблемы. У Сони есть сильный страх перед акулами, и в океане она никогда не чувствует себя спокойно. По её словам, страх появился после того, как она увидела, как двое друзей плавали у берега, а в их сторону двигалась крупная акула. Соня кричала и махала им, предупреждая об опасности. Они благополучно выбрались на берег, а акула ушла обратно в глубину.

Несомненно, это было страшно, и несколько секунд Соня не знала, чем всё закончится. Но если бы этого события не произошло, спокойно ли она плавала бы в океане? Может быть, она и до того слегка нервничала, заходя в море? Мы никогда не узнаем. Не существует другой версии Сони, которая прожила ту же жизнь, но не увидела акулу. А значит, эксперимент сравнения двух версий провести нельзя.

Даже если бы у моей жены была однайцевая сестра-близнец, не пережившая подобной встречи и спокойно плавающая в океане, я всё равно не смог бы доказать, что именно тот день на пляже

породил страх Сони. Причиной могли стать другие различия между близнецами или случайные события развития ещё в утробе или раннем детстве. Наука плохо умеет установить прямую причинность для конкретной личности, но может получать знания, сравнивая группы людей. Допустим, я нашёл тысячу человек, которые видели, как акула приближалась к их друзьям, и тысячу тех, кто такого не переживал. Затем привёл бы всех к морю, предложил поплавать и измерил тревогу — например по уровню адреналина и кортизола в крови. Если две группы не отличаются ничем существенным, кроме опыта встречи с акулой, и первая в среднем заметно сильнее избегает воды, можно было бы заключить, что такое событие увеличивает страх перед океаном.

Но для этого группы должны быть максимально сопоставимы. Если все участники первой группы — женщины, а второй — мужчины, невозможно понять, что именно связано со страхом: пол или опыт встречи с акулой. Возможно, например, мужчины в среднем боятся моря сильнее женщин — и тогда различие объяснялось бы вовсе не акулами.

И даже если группы идеально сбалансированы по всем остальным параметрам, нельзя уверенно утверждать, что конкретный человек боится океана именно из-за встречи с акулой, если только абсолютно все пережившие подобное не испытывают страх, а абсолютно все остальные радостно ныряют в воду. В реальности такие идеально разделённые группы почти не встречаются. Среди тысячи людей без близкого контакта с акулой обязательно окажутся те, кто всё равно боится моря, а среди переживших его — люди, которые воды не опасаются. Максимум, что можно сказать: в случайной и сбалансированной выборке из двух тысяч человек пережившие близкую встречу с акулой в среднем чаще боятся океана. Не «будут бояться», а «имеют более высокую вероятность бояться». Соня действительно пережила такую встречу, поэтому вполне возможно, что она вызвала или

усилила её страх. Но ни она, ни я никогда не сможем доказать это окончательно — как бы уверенно Соня ни утверждала обратное.

Несмотря на невозможность точно связать конкретный опыт с конкретной чертой личности, у каждого из нас есть воспоминания, которые мы считаем формирующими. Люди рассказывают истории о событиях, сделавших их застенчивыми, тревожными, весёлыми, разговорчивыми или породивших страх практически перед чем угодно. Например, одна женщина с запада Англии не может пройти по отделу замороженных продуктов в супермаркете из-за боязни замороженного зелёного горошка. Она объясняет: «Они будто смотрят на меня — собираются против меня всей толпой». В детстве она не переживала никакого ужасного розыгрыша с горошком и не попадала под грузовик, перевозивший горох. Возможно, что-то менее очевидное произошло в раннем возрасте. Как бы то ни было, страх абсолютно реален и является частью её личности.

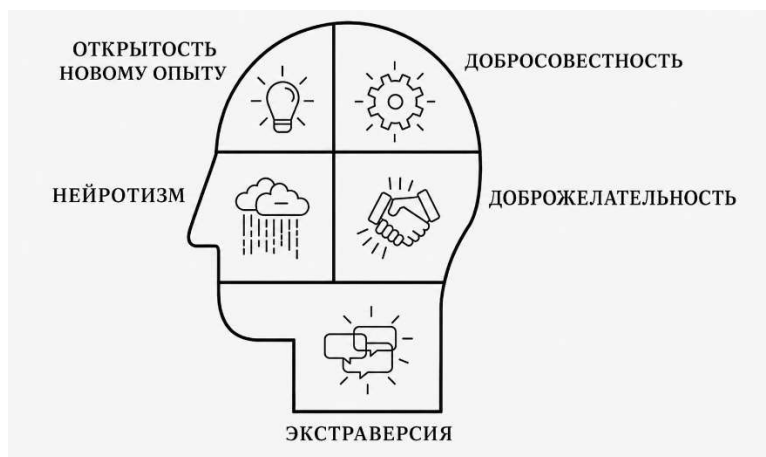
Но если личность настолько сложна, как психологам вообще удаётся продвигаться в понимании того, почему мы такие?

Первый шаг — упростить задачу. Психологи часто описывают личность по пяти основным измерениям: экстраверсия, нейротизм — или эмоциональная стабильность, — доброжелательность, добросовестность и открытость новому опыту. Эту систему называют «Большой пятёркой». Она сформировалась в 1990-е годы и позволяет классифицировать людей с помощью опросников. Психологам она нравится потому, что достаточно хорошо отражает некоторые различия между людьми, а результаты одного человека обычно остаются сходными, если он повторяет тест через месяцы или даже годы. Более того, если попросить знакомых оценить человека тем же методом, их оценки часто довольно хорошо совпадают с самооценкой испытуемого.

Анализируя сканы мозга, особенности среды и генетические последовательности участников исследований, психологи

показали: как и другие фенотипические признаки, показатели «Большой пятёрки» зависят от генов, среды и шума развития. Отдельные крупные характеристики среды — питание в детстве, социально-экономическое положение или страна рождения — обычно объясняют лишь небольшую часть различий. Может показаться, что среда неважна, но это было бы ошибкой. Было бы весьма странно, если бы абсолютно все богатые люди рождались застенчивыми, а бедные — нет, или если бы французы всегда были тревожнее немцев. Среда важна, просто доказать её влияние трудно, потому что личность формируют индивидуальные переживания. Чрезвычайно травматические события — например насилие в детстве — действительно способны повлиять на открытость новому опыту. К счастью, такие крайние случаи относительно редки. Но отсюда вовсе не следует, что менее драматические события не формируют нас. Соня уверена, что её страх перед океаном возник из одного события продолжительностью меньше минуты. И действительно, до него она работала в море и много времени проводила в воде, изучая черепах. Возможно, лёгкая подсознательная тревога существовала и раньше, а близкая встреча с акулой лишь сделала её осознанной. Но доказать это наука не может.

Большая пятёрка личностных черт



Несмотря на огромные сложности изучения личности, мы достаточно уверены: она, как и любые другие фенотипические признаки, определяется сочетанием генов, среды и случайности. Просто личность труднее исследовать, потому что среду, влияющую на неё, очень сложно классифицировать, а отдельное событие способно изменить характер, хотя рост или цвет глаз оно не изменит. Я понимаю, что не могу доказать этого, но всё же считаю, что мой характер сформировали сочетание генов и нескольких ключевых событий. Рассказать о них полезно ещё и потому, что это позволяет перейти к роли личных историй — повествований, с помощью которых мы объясняем себе мир и самих себя. Я люблю жизнь и большую часть времени не нахожу её особенно стрессовой. Когда я прошёл онлайн-тест «Большой пятёрки», оказалось, что я более экстравертен, чем большинство людей, достаточно эмоционально стабилен, доброжелательнее примерно четырёх из пяти человек, по меньшей мере средне добросовестен и открыт новому опыту. Некоторые говорили мне, что я умён, но никто из этих людей не видел, как я пытаюсь собрать мебель из плоской упаковки. Я не всегда был таким. В детстве мне часто не хватало уверенности. Я не пользовался особой

популярностью среди сверстников и нередко испытывал стресс в социальных ситуациях. К школьным обязанностям относился не слишком добросовестно: куда охотнее читал книги и журналы или смотрел телевизор. Но сколько себя помню, наука всегда меня завораживала. Как я превратился из ленивого, застенчивого юного ботаника в человека, которым являюсь сегодня?

Ответ — гены, среда и то, что выглядит как случайность.

И всё же — совершенно иррационально — я верю, что несколько конкретных событий действительно изменили мой характер и отношение к жизни. Мутация GPR143, ухудшающая зрение, изменила мою судьбу ещё в детстве. Мой отец был успешным фармацевтом и вышел на пенсию в шестьдесят, поэтому в годы моего взросления семья была достаточно обеспеченной. Папа учился в Perse School for Boys в Кембридже — лучшей частной школе города — и считал, что она подойдёт и мне. Когда мне приближалось одиннадцать и пришло время переходить из начальной школы в среднюю, родители встретились с директором Perse. Сначала всё шло прекрасно. Директор поощрял их подать заявление и говорил, что у меня хорошие шансы получить место. Ближе к концу встречи отец упомянул моё генетическое заболевание и плохое зрение, заметив, что открыть школьную команду по крикету в роли первого бэтсмана я, скорее всего, не смогу. Подумав, директор решил, что, пожалуй, школа мне всё-таки не подходит. По-видимому, он хотел, чтобы ученики прилично играли в крикет. В итоге я пошёл в государственную школу Comberton Village College. Подозреваю, что она действительно оказалась для меня лучшим выбором и директор Perse был прав — только совсем не по той причине. Моя мутация изменила школьную среду, будущих друзей и учителей, которым потом пришлось пытаться меня чему-то научить.

В средней школе я был ленив, потому что не любил рутину заучивания. Мне нравилось самостоятельно находить факты — лучше всего экспериментируя, — но терпеть не мог зубрить списки.

Поэтому французский, немецкий и латынь давались мне ужасно: я просто отказывался учить слова. А поскольку значительная часть школьного обучения строилась именно на запоминании, я слабо в него включался. Больше всего мне нравились математика и естественные науки. Наука нравилась потому, что там можно было экспериментировать. Вместе с отцом я придумал школьный проект: выращивал бобы в разных типах почвы и при разном её количестве. Все растения получали одинаковое количество света и воды, а я каждый день измерял их рост. Мне было интересно, потому что я сам что-то выяснял. И становилось видно, что у мира есть правила.

Мне хотелось открывать эти правила, а не заучивать списки вроде главных городов всех графств Британских островов. Математика была похожа на науку. В ней тоже существовали правила: как комбинировать числа, как преобразовывать уравнения. Если я понимал принцип, не обязательно было зубрить таблицу умножения — ответ можно было вывести самому.

С раннего возраста я стремился понять, почему мир работает именно так, а не просто запомнить достаточное количество фактов, чтобы ориентироваться в нём. Но всё шло не гладко. Математический анализ в школе преподавали как набор рецептов: вот так интегрируйте, вот так дифференцируйте. Я не понимал, откуда эти рецепты взялись, и это раздражало. До этого я хорошо учился по математике и находился в классе, который должен был сдавать экзамен уже в середине двухлетнего курса. На пробном экзамене я получил 6 процентов — возможно, худший результат в классе. Вечером перед настоящим экзаменом наконец всё стало на место. Я долго смотрел на формулы, размышлял и вдруг понял, откуда они берутся, что именно делает дифференцирование и интегрирование и почему это настолько мощные инструменты. На следующий день я сдавал экзамен. Я так и не выучил рецепты, но теперь понимал принцип. В итоге занял четвертое место в классе и оказался одним из немногих, кто вообще сдал.

Мне хотелось бы, чтобы нас учили не только как пользоваться математическим анализом, но и почему он работает. В семнадцать лет, когда приближались выпускные экзамены A-level, от меня ожидали решения, чем заниматься всю жизнь. Математика казалась надёжным выбором, обеспечивающим приличную профессию, поэтому я подал документы в университет на математическую специальность и получил несколько условных предложений — нужно было только набрать необходимые баллы. Примерно тогда же к нам в школу пришёл бывший ученик, взявший год перерыва после окончания школы. Он провёл его за границей, преподавая в школе в Гондурасе.

Я любил путешествовать, идея показалась замечательной, и я решил подать заявку в организацию Project Trust, отправившую его туда. После собеседования и отбора на отдалённом шотландском острове мне сообщили, что меня направят в сельскую школу Чеманза в центральной части Зимбабве вместе с тремя другими выпускниками. Незадолго до отъезда я получил результаты A-level — они позволяли после возвращения начать изучать математику в университете. Но совершенно несомненно: год за границей сформировал меня. Это был выдающийся опыт, и я навсегда останусь благодарен Project Trust. Впервые в жизни я по-настоящему много работал и хотел выполнять работу хорошо.

Мои ученики сдавали экзамены по меньшей мере не хуже учеников других классов. За этот год я сильно повзрослел, стал общительнее и увереннее. И надеюсь, что кому-то из своих учеников помог продвинуться в образовании. За год преподавания я полюбил Зимбабве и людей, которых там встретил. И именно там понял, что не хочу быть математиком.

Я заново подал документы — теперь уже на биологию — и в итоге поступил в Йоркский университет. Вернувшись в Великобританию, я почти сразу начал мечтать снова попасть в Африку. Возможность появилась на втором курсе университета, когда нужно было выбрать исследовательский проект. Выяснилось,

что студент может придумать собственную тему, если найдёт преподавателя, согласного руководить. Мне повезло убедить одного из сотрудников кафедры. Двоюродный родственник помог устроить мне поездку в Кению, в лагерь Джорджа Адамсона. Я должен был сравнивать поведение диких львят с тремя львятами, которых вырастили в ручную после того, как их мать застрелили. Джордж готовил их к возвращению в дикую природу. Я провёл в лагере около месяца, наблюдая за львами. Во время этой поездки произошло несколько событий, вероятно, повлиявших на меня. Через два дня после моего отъезда Джордж Адамсон и двое его помощников были убиты сомалийскими бандитами. Он стал первым знакомым мне человеком, погибшим насильственной смертью. В той же поездке я заразился малярией, что в конечном счёте привело меня к написанию этой книги. Но было ещё одно важное последствие, проявившееся уже после возвращения в Великобританию. В Африке я прекрасно провёл время, но данных для университетского исследования поведения львов собрал мало. Когда я внёс всё в университетский мейнфрейм и провёл анализ, графики вроде бы показывали различия между тремя выращенными человеком львятами и дикими львятами соседнего прайда. Но статистически различия не были значимыми. То есть то, что я наблюдал, вполне могло возникнуть случайно. И я задался вопросом: сколько помётов львят пришлось бы изучить, чтобы получить статистически надёжный результат? Я решил выяснить это с помощью компьютерного моделирования. Написал программу, которая создавала искусственные наборы данных, гораздо больше реальных, но с теми же статистическими свойствами. Средние значения в каждом столбце соответствовали моим наблюдениям, разброс тоже был тем же, а корреляции между переменными сохранялись. Затем я анализировал искусственные наборы и постепенно увеличивал их размер, пока результат не переходил порог статистической значимости. Гораздо позже я узнал, что для такой задачи существует намного более простой

метод — статистики называют его анализом мощности. Если бы я знал об этом тогда, сэкономил бы массу времени.

Но собственные симуляции научили меня статистике лучше многих лекций. Я самостоятельно освоил программирование на Fortran, понял гораздо больше о распределениях данных и статистических тестах. И так же, как в школе мне нравилось узнавать новое методом проб и ошибок, этот опыт убедил меня строить научную карьеру. Я до сих пор испытываю прилив адреналина, когда решаю задачу или открываю что-то новое. Мне нравится мысль, что несколько секунд назад никто на свете не знал того, что только что узнал я — каким бы незначительным ни было открытие. Конечно, мои маленькие достижения ничтожны в масштабах науки и ни одно не изменило мир. Но радость открытия от этого не становится слабее. Моделирование научило меня статистике, но заодно показало, насколько плох был мой студенческий проект.

Так же как невозможно доказать, что одно событие радикально изменило всю последующую жизнь человека, нельзя наблюдать трёх выращенных вручную львят и примерно столько же диких и делать серьёзные выводы. Как не существует двух одинаковых людей, так не существует двух совершенно одинаковых львят. Чтобы проект действительно работал, мне пришлось бы наблюдать намного больше животных обеих групп. Это было невозможно. Я честно описал ограничения в обсуждении, сдал работу и получил диплом. Хотя я прекрасно понимаю ограничения науки и знаю, насколько трудно связать конкретное событие ранней жизни с определённой чертой характера или с дальнейшей судьбой, я всё равно — совершенно иррационально — верю в историю, которую только что рассказал.

Я знаю, что не должен. И всё же мне кажется, что малярия заставила меня задуматься о причинах собственного существования, а плохо спроектированный студенческий проект сделал меня более компетентным учёным. Правда ли это? Стал бы

я учёным и писателем, если бы у меня не было мутации GPR143 и я учился бы в Perse, а не в Comberton? Стал бы математиком, а не биологом, если бы не поехал в Африку? Решился бы написать эту книгу, если бы не заболел малярией и едва не умер? Действительно ли сомнительный студенческий проект направил меня в академическую науку? Я никогда не узнаю. Для проверки понадобилось бы множество моих клонов, проживающих альтернативные версии жизни. Но я знаю, что все мои черты определяются генотипом, средой или тем, что выглядит как случай. Возможно, именно поэтому я и построил повествование, в котором присутствуют все три. Скорее всего, мне хочется верить в эту историю, потому что она оправдывает мой подход к науке или даёт красивую причину, почему я написал книгу о том, что наука может рассказать о нашем появлении.

Люди вообще склонны искать причины происходящего. Мы хотим жить в понятном мире. Большинство из нас не любит неожиданностей и резких перемен, а истории помогают внести порядок в непредсказуемость. Истории, которые мы рассказываем себе, выполняют две функции. Во-первых, они объясняют наше поведение и события нашей жизни. Во-вторых, помогают упорядочить окружающий мир. В таких историях часто появляются злодеи — люди, которые якобы помешали нам раскрыть истинный потенциал. Например: «Если бы Фред Блоггс когда-то порядочнее обошёлся с моим другом Элмером, тот стал бы великим человеком, получил несколько Нобелевских премий и накопил богатство и власть, превосходящие самые смелые мечты». Ну конечно. Иногда несправедливость действительно была. Иногда она существует лишь в нашей голове. История знает множество прекрасно задокументированных случаев, когда люди сознательно вредили другим, чтобы не дать им добиться успеха или признания — в том числе в науке. Возможно, именно поэтому нам так легко винить других в собственных неудачах. Исаак Ньютон — вероятно, величайший учёный в истории. Но человеком он был далеко не

приятным. Он отличался подозрительностью, паранойей и умел хранить обиды, особенно когда дело касалось приоритета научных открытий. Он поссорился с множеством коллег, работавших над гравитацией и математическим анализом, включая другого великого учёного той эпохи — Роберта Гука. До смерти Гука в 1703 году Королевское общество высоко его ценило, и существовал написанный портрет, который помог бы сохранить память об учёном. В том же году, когда Гук умер, Ньютон возглавил Королевское общество. Через несколько лет он руководил переездом организации в новое здание. Среди немногих вещей, mysteriously исчезнувших при переезде, оказались портрет Гука и множество его бумаг. Историки науки неоднократно предполагали, что исчезновение было не случайным и что за ним стоял Ньютон. Он был в ярости из-за успехов Гука, обвинял его в присвоении собственных идей и, похоже, сделал всё возможное, чтобы история о нём забыла. К счастью, далеко не все люди настолько мелочны. Некоторые личные истории строятся вокруг актов доброты, которые, как нам кажется, изменили направление нашей жизни. Люди, в целом довольные собой и своей судьбой, по-видимому, чаще рассказывают истории о чужой доброте или о собственном преодолении трудностей. А те, кому кажется, что они должны были добиться большего, чаще строят повествование о плохом поведении других, помешавших реализовать потенциал.

Некоторые истории о себе я ношу почти всю взрослую жизнь, и они почти не изменились. Но другие элементы моего личного повествования с годами менялись. Сегодня я в целом доволен жизнью и собой.

Думаю, потому, что в профессиональном отношении достиг большего, чем когда-то ожидал. Я занимаю высокую должность в одном из лучших университетов мира, и некоторые коллеги, кажется, относятся ко мне с уважением. Я люблю женщину, с которой счастливо женат; она принимает меня таким, какой я есть, и хорошо ко мне относится. И мои дети сегодня счастливы. Но

раньше, когда я проигрывал конкурсы на гранты и университетские должности, когда не мог продвинуться в научных вопросах, которые меня интересовали, или жил в браке, исчерпавшем себя, мои истории были другими.

Я не брал на себя столько ответственности за неудачи, сколько следовало. Вместо этого придумывал объяснения, где определённые люди, якобы обидевшие меня, сознательно мешали моему продвижению. Теперь ясно: у них не было ни причин, ни достаточной власти, чтобы этим заниматься. Моё продвижение по карьере шло медленнее потому, что заявки на гранты и вакансии были недостаточно сильны. Статьи отклоняли потому, что рецензентам они казались менее убедительными, чем мне. Наука — конкурентная сфера. А я был не настолько хорош, насколько думал, и не всегда лучше тех, с кем конкурировал. Если некоторые прошлые истории о себе оказались ложными, это заставляет сомневаться и в тех, в которые я верю сегодня. Возможно, ни малярия, ни симуляции в студенческом проекте вообще не оказали существенного влияния на мой характер и жизненный путь. Мы точно знаем, что личные повествования могут быть ложными. Когда человеку не везёт или он недоволен жизнью, но рядом нет очевидного виновника, иногда он конструирует истории, которые легко опровергнуть. Так появляются тайные иллюминаты, тёмные силы, якобы управляющие миром из-за кулис и сознательно подавляющие «просветлённых», знающих правду.

Одна из самых сюрреалистических теорий утверждает, что британская королевская семья происходит от людей, когда-то скрестившихся с могущественной расой злобных инопланетных рептилий, и именно благодаря этому получила власть. Другая теория говорит, что брак принца Гарри и Меган Маркл был частью коварного британского плана вернуть контроль над Америкой. Якобы их ребёнок когда-нибудь мог бы одновременно оказаться наследником британского престола и президентом Соединённых

Штатов, открыв дорогу к повторной колонизации Америки. Истории — важнейшая часть человеческого существования.

Они помогают нам жить в неопределённом мире. А наука разработала способы проверять многие элементы этих историй. Научный метод позволяет оценивать степень уверенности в том, действительно ли определённая причина связана с конкретным событием. Если механизм связи хорошо понятен, уверенность может быть высокой. Я знаю, что у меня есть мутация в конкретном гене, ухудшающая зрение. Учёные понимают, что из-за неё в клетках центральной ямки не образуется нормальный пигмент, а вследствие этого глаза совершают произвольные движения. Одна и та же мутация многократно приводит к сходному результату у разных людей. Но когда механистическая связь между причиной и следствием неизвестна, наука работает хуже и вынуждена полагаться на статистические корреляции. А они не способны объяснить, почему произошло конкретное индивидуальное событие — например почему я написал эту книгу. Мы пока плохо понимаем механизм, посредством которого опыт формирует личность и делает нас такими, какие мы есть. Поэтому приходится опираться на статистику. Опыт явно влияет на характер, но доказать, как именно одно конкретное событие прошлого повлияло на вашу или мою личность, сегодня невозможно. Поскольку наука способна разбирать на части истории, в которые люди глубоко верят, многие относятся к ней с опаской. Теории заговора нередко легко опровергнуть, но люди всё равно продолжают в них верить. Например, опрос 2019 года показал, что каждый шестой британец считает высадки на Луну постановкой — несмотря на то что они совершенно определённо происходили. Но учитывая, с какой лёгкостью мы сочиняем и принимаем ложные объяснения, неудивительно, что научные знания часто игнорируются или встречаются со скепсисом. Наука не знает всего. Но она предлагает истории, которые опираются на данные и во многих случаях допускают экспериментальную

проверку. Одни части научного повествования, изложенного в этой книге, подтверждены большим количеством данных и экспериментов, чем другие. И одни научные дисциплины зрелее других. Механистическое понимание фундаментальных сил природы развито весьма глубоко. Поэтому физики и химики меньше зависят от статистических корреляций, чем биологи и психологи, которым часто не хватает подробного понимания механизмов. Одно из последствий заключается в том, что биологи склонны видеть природный мир как в значительной степени непредсказуемый и случайный. А некоторые физики предполагают, что Вселенная может быть полностью детерминированной и при достаточном объёме знаний и вычислительной мощности — идеально предсказуемой.

Удастся ли когда-нибудь механически понять всю сложную химию живого организма вроде нас — вопрос открытый. Сегодня до этого ещё очень далеко. Наука не способна сказать мне, почему именно я решил написать эту книгу. Но статистика, вероятно, могла бы показать, что большинство людей хотело бы понять, почему они существуют.

Рассказав историю Вселенной и собственную историю, я наконец могу вернуться к главному вопросу книги: были ли вы и я неизбежны уже при рождении Вселенной — или нам просто невероятно повезло? Ответить непросто. Работая над книгой, я был поражён широтой и разнообразием человеческих знаний. Я также увидел, насколько гибок научный метод и как представители разных дисциплин используют разные его стороны по-разному. И понял ещё одну вещь: хотя создание научного метода, вероятно, величайшее достижение человечества, он вовсе не совершенен. Например, наука способна установить, что генетические различия, шум развития и окружающая среда вместе сформировали вас и что вклад каждого фактора различается для разных фенотипических признаков. Но она пока не способна точно сказать, почему именно вы общительны, соперничаете другим или отличаетесь

добросовестностью. Поэтому, отвечая на вопрос, ради которого была написана эта книга, я одновременно думаю и о другом: о том, как невероятно многого уже достигла наука — и как много нам ещё предстоит узнать.

Почему мы существуем

Я начал свой личный путь к пониманию того, почему существую, лёжа на больничной койке и думая о смерти. Надеюсь, написание этой книги не означает, что мой конец близок: мне ещё очень многое хочется понять. Но всё же теперь у меня есть некоторое представление о том, почему мы существуем.

Одна из трудностей стохастической Вселенной — особенно если учесть, что Земля пока остаётся единственной планетой, где нам удалось изучать жизнь, — состоит в том, что мы не можем уверенно оценить вероятность событий, которые, насколько нам известно, произошли лишь однажды. Земля — единственная планета, где существование жизни подтверждено, поэтому сегодня невозможно надёжно рассчитать вероятность того, что жизнь возникнет на другой планете, пусть даже очень похожей на нашу. Нам просто не хватает данных, чтобы сказать, часто ли жизнь появляется во Вселенной или это исключительно редкое событие. И всё же учёные добились огромного прогресса в понимании того, что должно было произойти для нашего появления, почему это произошло и даже как именно. Но в нашей истории остаются несколько ключевых событий, о которых мы пока можем лишь строить предположения. Первое из них — рождение самой Вселенной. Мы никогда не наблюдали другую Вселенную и никогда не видели ничего за пределами нашей. Мы даже не знаем, существует ли у неё край, а если существует — где он находится. Мы не можем заглянуть наружу и посмотреть, возникают ли там другие вселенные. Поэтому мы не знаем, обычны ли вселенные вообще или наша — единственная. А если их множество, то типична ли наша Вселенная или представляет собой нечто необычное. Иными словами, мы не знаем, почему вообще существует что-то, а не ничто.

Зато мы с достаточно высокой уверенностью знаем, что в самом начале наша Вселенная представляла собой сингулярность чрезвычайно горячей энергии. По мере её расширения и охлаждения быстро возникли четыре фундаментальные силы, а затем появились фундаментальные частицы, из которых состоит вся материя.

Но, как и сама Вселенная, эти четыре силы возникли лишь однажды — по крайней мере в пределах нашего наблюдаемого мира. Поэтому мы не знаем, было ли неизбежно, что гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое ядерные взаимодействия получили именно ту силу, которую имеют сейчас, или нам невероятно повезло. Возможно, если бы мы могли повторно запустить рождение Вселенной, возник бы совсем другой набор фундаментальных сил. Их могло бы быть меньше четырёх. Или больше. Так что ещё один великий неизвестный вопрос звучит так: почему фундаментальные силы именно такие?

Но одно мы знаем точно: жизнь в том виде, в каком она нам известна, требует всех четырёх взаимодействий. Компьютерные модели показывают, что даже небольшое изменение силы любого из них могло бы привести к Вселенной без атомов, молекул, звёзд и планет. В конечном счёте мы существуем потому, что фундаментальные силы получили именно такие значения. Это позволило появиться протонам, нейтронам, атомам, звёздам, молекулам, галактикам и планетам. Мы здесь потому, что фундаментальные силы оказались «в самый раз». А раз они имеют именно такие значения, наука уже довольно хорошо — хотя пока не полностью — понимает, почему возникли все эти структуры и почему они ведут себя так, как ведут. Некоторые учёные и философы восхищаются тем, насколько точно параметры нашей Вселенной подходят для появления жизни. Кое-кто даже считает это совпадение свидетельством того, что Вселенная не могла возникнуть случайно.

Но здесь есть очевидная ловушка. Если бы фундаментальные силы не позволяли существовать жизни, жизнь никогда бы не появилась — и некому было бы удивляться тому, что Вселенная для неё непригодна. Мы наблюдаем эту Вселенную именно потому, что она позволила жизни возникнуть. Возможно, существует множество других вселенных, совершенно непригодных для жизни, — просто в них нет никого, кто мог бы это заметить. Идея о том, что мы можем наблюдать Вселенную именно потому, что она обладает свойствами, допускающими существование наблюдателя, называется антропным принципом. Мы существуем потому, что ранняя Вселенная развивалась так, что хотя бы в одном её уголке условия со временем стали подходящими для жизни. Почему именно так произошло — мы не знаем. Но удивляться этому не стоит: если бы Вселенная развивалась иначе, нас бы просто не было, чтобы задаваться этим вопросом. Лично мне антропный принцип кажется довольно круговым рассуждением, и есть вопросы куда интереснее. Объединение Стандартной модели электромагнетизма, сильного и слабого взаимодействий с эйнштейновской теорией гравитации дало бы нам гораздо более полную картину устройства Вселенной. Это одно из самых захватывающих направлений современной теоретической физики. Теория струн и петлевая квантовая гравитация предлагают разные способы объединить четыре взаимодействия в единую систему. Но проверить эти идеи чрезвычайно трудно: для необходимых экспериментов потребовались бы энергии, которых наша техника пока не умеет достигать. Тем не менее общая теория относительности Эйнштейна и Стандартная модель уже довольно хорошо объясняют, почему материя ведёт себя именно так. В принципе когда-нибудь могут появиться ускорители частиц, способные воссоздавать условия, ещё немного более похожие на самые ранние мгновения Вселенной, чем те, которые мы умеем получать сегодня. Такие эксперименты могли бы помочь понять,

почему фундаментальные взаимодействия возникли именно с такими свойствами.

Но пока мы не умеем строить установки нужной мощности. Представим, что я создаю множество вселенных, и в каждой из них гравитация, электромагнетизм, сильное и слабое взаимодействия имеют те же значения, что и в нашей, а квантовое поведение действительно случайно. Такие вселенные выглядели бы похожими на нашу — но не идентичными. В любой Вселенной с такими же фундаментальными силами физические и химические процессы протекали бы по тем же законам, которые открыли учёные в нашей реальности. Первое поколение звёзд состояло бы главным образом из водорода и гелия. После их гибели появлялись бы тяжёлые элементы примерно в тех же пропорциях. Возникали бы знакомые нам молекулы и вещества. Вода, углекислый газ, азот, метан, золото, уран и множество других элементов и соединений встречались бы примерно так же часто. Фундаментальные силы определяют поведение всех элементов и молекул, поэтому, если они остаются такими же, процессы во всех этих экспериментальных вселенных шли бы одинаково. Но сами вселенные были бы разными. Мы могли бы появиться. Но вовсе не обязательно появились бы. Если наша Вселенная действительно стохастична, то в большинстве повторных запусков моей модели Солнечной системы, вероятно, вообще не существовало бы. Ранняя Вселенная не была идеально однородной. В разных её областях были небольшие различия в плотности энергии и фундаментальных частиц. Где-то оказалось чуть больше кварков и электронов, где-то чуть меньше. Со временем эти крошечные различия превратились в ту огромную картину распределения галактик, которую мы сегодня наблюдаем на небе. Математические модели показывают, что первоначальная неоднородность вещества могла возникнуть именно из-за квантовой случайности. Если это так, то при каждом новом запуске стохастической Вселенной галактики располагались бы иначе.

Общая статистика оставалась бы похожей: были бы маленькие и большие галактики, спиральные и эллиптические.

Но каждая конкретная галактика была бы другой. Только в нашей версии существовали бы именно Млечный Путь, именно Солнце, именно Земля и остальные планеты нашей Солнечной системы.

При этом Млечный Путь хоть и уникален, но вовсе не необычен. Это галактика среднего размера. Солнечная система тоже единственна в своём роде, но ничего особенно экзотического в ней нет. Наше Солнце лишь немного крупнее средней звезды. Телескопические наблюдения показывают, что планеты, обращающиеся вокруг других звёзд, тоже не выглядят чем-то из ряда вон выходящим. По данным NASA, как минимум у каждой шестой звезды есть планета размером с Землю, хотя многие такие звёзды сильно отличаются от Солнца.

Другое исследование показало, что примерно у каждой пятой солнцеподобной звезды имеется планета земного размера в обитаемой зоне. А вот газовые гиганты вроде Юпитера и Сатурна встречаются реже: лишь примерно у одной звезды из двадцати, сопоставимой с Солнцем, есть подобные планеты.

А ведь Юпитер и Сатурн сыграли огромную роль в формировании нынешней орбиты Земли. Поэтому можно заключить: системы, напоминающие нашу и содержащие планеты, потенциально пригодные для жизни, не являются редкостью в Млечном Пути. И мы вправе ожидать, что примерно с той же частотой они встречаются и в других галактиках. Если существует большая Вселенная с четырьмя фундаментальными силами подходящей величины, то землеподобные планеты, вращающиеся на подходящем расстоянии от солнцеподобных звёзд, должны встречаться довольно часто.

Но пригодность Земли для жизни зависит не только от того, что она находится в обитаемой зоне. Важны и форма её орбиты, и скорость вращения. Пока у нас недостаточно данных, чтобы

подробно изучать эти свойства у других землеподобных планет. Однако учёные уже предлагают методы, которые могут позволить сделать это в относительно недалёком будущем. На момент написания книги мы не знаем, являются ли наши 24-часовые сутки обычным явлением или редкостью.

Марс, ближайшая к нам планета, имеет продолжительность суток, очень похожую на земную. А вот Венера — следующая каменная планета — совершает один оборот вокруг оси примерно за 5832 часа. Нам предстоит ещё много исследований. Но само количество землеподобных миров позволяет предполагать, что среди них наверняка есть планеты с подходящими орбитами и скоростью вращения. Для жизни на Земле важна и Луна. Она помогает стабилизировать климат, уменьшая колебания наклона земной оси. Современные телескопы пока недостаточно совершенны, чтобы надёжно пересчитывать спутники у землеподобных планет в других звёздных системах. Но мы знаем, что в нашей Солнечной системе луны очень распространены: их уже обнаружено больше двухсот. Спутник может сформироваться одновременно с планетой. Может быть захвачен её гравитацией после того, как прежде был метеором, кометой или даже лунной другой планеты. А может возникнуть после гигантского столкновения — как наша Луна. Земля — ближайшая к Солнцу планета, имеющая спутник. А сама Луна — пятый по величине спутник Солнечной системы. Возможно, она действительно несколько необычна. Но весьма вероятно, что у некоторых планет земного размера возле других звёзд тоже есть одна или несколько лун. Мы существуем в том числе потому, что у Земли подходящая орбита, подходящая продолжительность суток, подходящий наклон оси и есть Луна. Насколько редок такой набор? Ответ дадут дальнейшие наблюдения. Даже если почти точные двойники Земли окажутся редкими, космос настолько велик, что только в Млечном Пути их всё равно могут быть сотни тысяч или даже миллионы. Но,

возможно, жизнь вообще не требует планеты, похожей на Землю. Она вполне могла бы возникнуть на совершенно другом мире. Или даже на спутнике, под поверхностью которого существует жидкая вода. У Энцелада, спутника Сатурна, и Европы, спутника Юпитера, под толстым слоем льда находятся солёные океаны.

Когда-то океаны были и на поверхности Марса, хотя примерно 3 миллиарда лет назад большая часть воды ушла в космос. Есть ещё четыре-пять спутников внешних планет, где под ледяной оболочкой тоже могут скрываться океаны. Могла ли жизнь возникнуть на древнем Марсе? Или в океанах этих далёких лун? У нас нет доказательств, что это произошло. Но мы почти не исследовали эти места. Так что же можно сказать о жизни? Кишит ли ею Вселенная? Или она существует только на Земле? Строительные блоки жизни — азотистые основания, аминокислоты и другие органические соединения — легко возникают в космосе. Мы знаем это благодаря анализу метеоров, метеоритов и космической пыли. Такие молекулы образуются и на Земле. Значит, основные химические ингредиенты для зарождения жизни довольно распространены. Но это ещё не означает, что жизнь возникает сама собой. Нужен источник энергии. На Земле таким источником, вероятно, служила вулканическая активность. А вулканы не уникальны для нашей планеты. Следы действующих или давно потухших вулканов обнаружены на Меркурии, Венере, Луне, Марсе и Ио — спутнике Юпитера. Как именно вулканическая энергия и органические соединения соединяются в систему, способную стать живой, мы пока точно не знаем. Учёные предлагают вполне правдоподобные гипотезы происхождения жизни, но до сих пор не смогли воспроизвести в лаборатории полный набор условий, необходимый для её возникновения. Тем не менее отдельные части картины выглядят вполне естественными. Мембраны образуются довольно легко. Автокаталитические химические реакции — то есть реакции, продукты которых ускоряют

собственное дальнейшее образование, — вовсе не редкость. Простейший обмен веществ тоже, похоже, возникает сравнительно естественно. Главный неизвестный вопрос: насколько легко все эти компоненты могут собраться вместе? Мы не знаем точных условий, необходимых для старта жизни. Но у нас нет оснований считать, что ранняя Земля была в этом смысле чем-то совершенно исключительным.

Нет и оснований считать само возникновение жизни невероятно редким событием. Конечно, нельзя исключить, что для появления жизни требуется какое-то исключительно необычное сочетание обстоятельств и что такое сочетание возникло только на Земле.

Но пока у нас нет никаких доказательств этого. Поэтому вполне разумно предположить, что примитивная жизнь может быть обычным явлением во Вселенной. Использует ли она повсюду РНК и ДНК — неизвестно. Возможно, инструкции по сборке клетки могут записываться и другими молекулярными «алфавитами». Но поскольку аминокислоты обнаруживаются на кометах и метеоритах, я подозреваю, что жизнь нередко будет использовать РНК и ДНК для хранения информации о построении клетки.

Однако одинаковый молекулярный алфавит вовсе не означает одинаковый язык. Французский, английский и испанский пользуются очень похожими буквами, но создают совершенно разные слова. Точно так же одни и те же триплеты оснований ДНК могут кодировать разные аминокислоты у жизни, возникшей независимо на другой планете. На Земле последовательность цитозин — аденин — гуанин кодирует глутамин. Где-нибудь ещё тот же триплет мог бы означать валин или серин. А возможно, там вообще использовался бы совершенно иной набор аминокислот.

Как только жизнь появляется, конкуренция между организмами становится неизбежной — как внутри одного вида, так и между разными видами. Конкурируют они всегда за ресурсы. А конкуренция заставляет эволюцию создавать формы жизни,

способные использовать более широкий набор ресурсов или осваивать совершенно новые. Естественный отбор будет снова и снова отдавать преимущество организмам, которые лучше обнаруживают, получают и используют необходимые ресурсы. Если жизнь существует где-либо ещё, конкуренция между её формами, вероятно, будет такой же повсеместной. Самый успешный репликатор неизбежно будет вытеснять менее успешных.

На Земле подобная конкуренция способствовала огромному росту разнообразия и сложности на эукариотической ветви древа жизни. Чем разнообразнее становится живой мир, тем сложнее становится среда конкуренции. А это, в свою очередь, создаёт давление в пользу всё более изощрённых стратегий выживания.

Поэтому, как только жизнь возникла, я подозреваю, что она довольно часто будет распространяться и усложняться. Следующий вопрос на пути от Большого взрыва к нам с вами — обязательно ли возникает многоклеточная жизнь? На Земле для этого понадобилась атмосфера, богатая кислородом. Кислород будет отходом жизнедеятельности многих ранних форм жизни, использующих хемосинтез или фотосинтез для получения энергии. Но кислород чрезвычайно реакционноспособен. Он не может заметно накапливаться в атмосфере, пока сначала не прореагирует с веществами, которые легко окисляет. А планеты велики. Окисление огромного количества вещества на поверхности занимает очень много времени.

На Земле прошло около полутора миллиардов лет, прежде чем содержание кислорода в атмосфере начало заметно расти. Многоклеточной жизни требовался кислород. Но как только его уровень начал повышаться, многоклеточность возникла как минимум двадцать пять раз независимо. Эукариотическим клеткам для использования кислорода понадобились митохондрии.

А митохондрии когда-то были бактериями, способными жить внутри других клеток. Сначала должны были появиться хищничество или паразитизм, позволившие бактериям проникать внутрь клеток. Затем вместо конфликта могло возникнуть взаимовыгодное сотрудничество. Со временем такие бактерии превратились в органеллы — в частности, в митохондрии, которые сегодня используют для обмена веществ все многоклеточные организмы. Эволюция чрезвычайно хорошо создаёт организмы, умеющие использовать богатые, но пока плохо освоенные ресурсы. Поэтому, если на другой планете есть достаточно времени, вполне вероятно, что там тоже возникнут хищничество и паразитизм.

А если возникнут они, то вполне возможны и взаимовыгодные союзы между бактериями и клетками-хозяевами.

Все эукариотические клетки содержат митохондрии, происходящие от древнего симбиоза с аэробными бактериями. Растительные клетки дополнительно содержат хлоропласты, произошедшие от фотосинтезирующих бактерий вроде цианобактерий. Поскольку подобные симбиозы независимо возникли на Земле как минимум дважды, вполне правдоподобно, что они могут появляться и в других мирах. Моё предположение таково: если простая жизнь существует достаточно долго, многоклеточная жизнь почти неизбежно возникнет и из неё. На Земле для этого понадобилось больше двух миллиардов лет.

Планета всё это время должна была оставаться пригодной для жизни и избегать катастроф, способных уничтожить всё живое: близкого взрыва сверхновой, гигантского падения метеорита или потери атмосферы из-за солнечного ветра. Земле это удалось. Но мы совершенно не знаем, насколько это типично. Похоже, что после возникновения жизнь имеет естественную тенденцию усложняться. Но сама жизнь хрупка. Космос постоянно угрожает ей катастрофическими событиями. Мы существуем потому, что Земля

оставалась пригодной для жизни около четырёх миллиардов лет, и за это время эволюция смогла сотворить чудеса.

Но распространены ли столь долгие периоды обитаемости — или чрезвычайно редки, мы пока не знаем. И даже после возникновения сложной многоклеточной жизни не было никакой гарантии, что примерно через полмиллиарда лет появятся люди. Эволюция непредсказуема, потому что в ней участвуют случайные мутации. Это прекрасно показывает знаменитый эксперимент Рича Ленски с бактерией *E. coli*. Он создал двенадцать бактериальных популяций и позволил им адаптироваться к совершенно одинаковым условиям. К моменту написания книги эксперимент продолжался уже около 75 тысяч поколений.

Сначала казалось, что все популяции меняются примерно одинаково. Но анализ геномов показал: в разных колониях накапливались разные мутации. То есть внешне сходные адаптации достигались различными генетическими путями. И это вовсе не редкость. В генетике часто существует несколько разных дорог к одному и тому же фенотипическому результату. Самое удивительное изменение произошло в одной из двенадцати колоний вскоре после 31-тысячного поколения. В присутствии кислорода *E. coli* обычно получает энергию из глюкозы.

Цитрат она способна использовать только в отсутствие кислорода. В лаборатории бактериям давали смесь глюкозы и цитрата, но при наличии кислорода цитрат они обычно игнорировали. Именно таким был рацион в длительном эксперименте Ленски. Однако в одной популяции бактерии научились использовать цитрат даже в присутствии кислорода. Для *E. coli* это очень непросто, потому что требуется не одна мутация, а целая последовательность. И такая последовательность возникла только в одной из двенадцати колоний. Теперь эти бактерии получили доступ к ресурсу, которым остальные популяции воспользоваться не могут. На больших временных масштабах эволюция не повторяется точно. Никогда нет гарантии,

что возникнет конкретная форма жизни. Редкие мутационные события — возможно, иногда вызванные квантовыми флуктуациями — время от времени играли огромную роль в эволюции земной жизни.

Крайне маловероятно, что жизнь на другой планете переживёт точно такой же набор случайных мутаций в точно таком же порядке. Особенно если её генетический код использует другие триплеты для обозначения аминокислот.

Мы пока слишком мало знаем о генетической архитектуре большинства признаков. Не знаем, какие фенотипические особенности появляются легко, а какие требуют очень редкого стечения обстоятельств. Современная жизнь на Земле — результат всего, что происходило раньше: мутаций и естественного отбора.

Естественный отбор способен многократно приводить к похожим результатам. Но мутации гораздо менее повторяемы.

За миллионы лет это может увести эволюцию по совершенно разным дорогам. Олени в Европе и кенгуру в Австралии занимают отчасти похожие экологические ниши.

Они способны прекрасно жить, питаясь растительностью. Но выглядят совершенно по-разному. Многоклеточная жизнь на других планетах, возможно, создаст некоторые формы, кажущиеся нам знакомыми. Другие могут выглядеть совершенно фантастически. Так что инопланетяне действительно могут оказаться маленькими зелёными человечками.

После появления многоклеточной жизни, как мне кажется, эволюция почти неизбежно найдёт способы воспринимать свет, звуковые волны, пахучие молекулы и прикосновение. Для этого потребуется центральная нервная система и какая-то форма мозга. Из этого естественным образом может возникнуть сознание. А со временем — интеллект. На Земле разумная жизнь появилась в виде людей и наших близких родственников — неандертальцев. Но и некоторые гораздо более дальние виды — дельфины, слоны, вороны и осьминоги — тоже способны решать

довольно сложные задачи. Развитая речь и технологии пока возникли лишь у приматов.

Но ничто не доказывает, что они не могли бы появиться и у совершенно другой группы животных. Некоторые авторы и учёные пришли к выводу, что жизнь, особенно разумная, скорее всего, чрезвычайно редка. Я не думаю, что у нас уже достаточно данных, чтобы делать подобный вывод. Почти всё во Вселенной распределено по некоторому диапазону. Галактики, например, содержат от тысячи звёзд до ста триллионов. Их размеры отличаются колоссально.

Млечный Путь располагается где-то примерно в середине этого распределения. Когда данных мало, разумнее всего сначала предполагать, что наблюдаемый объект скорее обычен, чем исключительно редок. Наша галактика довольно обычна.

Солнце довольно обычное. Каменистые планеты в обитаемой зоне тоже не выглядят большой редкостью. Вполне может оказаться, что и Земля в целом довольно типична, а жизнь во Вселенной широко распространена. Разумеется, мы не найдём её на каждой планете и, возможно, даже не возле каждой звезды. Но если бы меня заставили сделать ставку, я бы предположил, что жизнь довольно часто возникает на каменистых планетах, где есть жидкая вода и вулканическая активность. И что мы далеко не единственная планета, где появилась разумная жизнь. Жизнь — это химия. А химия подчиняется определённым правилам. Если условия подходящие — жизнь возникает. Как вид, человек почти наверняка уникален во Вселенной. Я не представляю, как организм с точно таким же генетическим кодом мог бы независимо возникнуть на планете у другой звезды. Мутации случайны. Мы — результат четырёх миллиардов лет мутаций, одна за другой выпадавших на геномы наших предков. На другой планете нигде во Вселенной не могла повториться точно такая же последовательность случайных событий. Поэтому именно *Homo sapiens*, скорее всего, существует только здесь. Для возникновения

технологически развитой цивилизации потребуется лёгкий доступ к большим запасам энергии. Без него невозможно накопить и использовать огромные объёмы информации, необходимые для создания телескопов, компьютеров, ускорителей частиц и других сложных технологий. Наша цивилизация сначала выросла на угле, затем на нефти. Я сомневаюсь, что мы смогли бы создать современный технологический мир, опираясь только на приливы, вулканическое тепло или ветер. Насколько часто в других мирах будет легко доступна энергия вроде угля? Возможно, развитые цивилизации, основанные на ископаемом топливе, очень редки. Но опять же — данных недостаточно. Уголь возник на Земле потому, что бактерии и грибы долгое время не умели эффективно разлагать мёртвую растительность, из которой он образовывался.

В результате накопились углеводороды, на которых впоследствии выросла человеческая цивилизация. Эволюция — мощная сила. Но она зависит от случайных мутаций. Уголь появился в том числе потому, что в нужный момент не возникли мутации, позволившие бы организмам использовать огромное количество погибших деревьев тёплого каменноугольного периода как пищевой ресурс. Если возникновение развитой цивилизации зависит от подобных случайных генетических событий, такие цивилизации действительно могут быть редкими. Мы понимаем, как работает эволюция и почему она создаёт новые формы жизни. И знаем, что сами являемся случайным результатом эволюции. Вполне возможно, что столь же случайна и наша цивилизация. А значит, очень немногие виды могут достичь столь глубокого понимания Вселенной, какого достигли мы. Моя личность, как и ваша, тоже является случайным итогом истории, хотя я не могу с уверенностью сказать, какие именно события сделали меня таким, какой я есть. Мне выпал уникальный набор обстоятельств и переживаний, и все они внесли свой вклад. Мой характер, мои желания и моя почти навязчивая потребность понять, почему я существую, возникли из сочетания генов и среды,

в которой я прожил жизнь. Родись я в Англии эпохи Тюдоров, во Франции времён Наполеона или даже в древних Афинах, у меня, скорее всего, были бы совсем другие стремления и мотивы. Я считаю, что встреча с малярией сыграла ключевую роль в том, кем я стал, но доказать этого не могу. И всё же, хотя моя личность — результат исторической случайности, учёные в общих чертах понимают, почему я такой: здесь переплелись случай, наследственность и воспитание. Я существую потому, что фундаментальные силы имеют именно такие значения; потому, что эти силы порождают галактики, звёзды и планеты; потому, что химия устроена так, что при подходящих условиях способна возникнуть жизнь; и потому, что эволюция умеет делать эту жизнь сложной и разумной. Я убеждён, что наша Вселенная стохастична, что эта случайность проявляется на уровне фундаментальных частиц и что сложные живые организмы обладают свободой воли, потому что жизнь каким-то образом научилась использовать квантовую случайность на уровне целого организма.

И всё же до того, как я однажды окажусь на своём настоящем смертном одре, мне ещё хочется узнать очень многое. Я хочу понять, почему существует что-то, а не ничто. И хочу знать, при каких именно условиях началась жизнь. Сомневаюсь, что на первый вопрос учёные ответят при моей жизни. Но надеюсь, что простейшую жизнь мы всё-таки сумеем создать в лаборатории прежде, чем я умру. Вероятность, возможно, невелика. Но мы продвигаемся. Я уже знаю многие причины того, почему мы существуем. Но не все. Наука провела нас невероятно далеко. И всё же история нашего происхождения пока не дописана. Нельзя написать книгу о существовании и совсем не коснуться ненаучных объяснений того, почему мы здесь. Многие люди связывают своё существование с богами, жизненной силой или некой космической энергией. Раз эти убеждения так распространены, могут ли все они быть ошибочными? Я думаю, что могут. Но это не значит, что я не уважаю людей, придерживающихся иных взглядов. Возможно, и

это всего лишь часть моей личности — следствие какого-нибудь давно забытого события детства. Многие ненаучные убеждения довольно легко показать как бессмыслицу. Один мой знакомый, например, убеждён, что кристаллы обладают сверхъестественными свойствами и защищают от злых духов. Чтобы оградить себя от опасности, он считает необходимым постоянно носить кристалл в нижнем белье. Подобная очевидная нелепость не раздражает меня настолько, чтобы я специально пытался её опровергать, но эксперимент для проверки придумать совсем несложно. Нужно взять большую группу добровольцев и случайным образом разделить их на две части. Одной группе предложить в течение года носить нижнее бельё с вшитыми кристаллами, а другой — совершенно такое же, но без кристаллов. В начале и конце эксперимента я оценил бы физическое и психическое состояние участников и посмотрел, как изменились показатели.

Если кристаллы действительно дают пользу, группа с украшенным бельём должна в среднем показать большее улучшение здоровья.

Я совершенно уверен, что никакой разницы не будет. Разве что у группы с кристаллами окажется больше натёртостей. Подобные эксперименты, кстати, проводились. Никакой пользы для здоровья от кристаллов не обнаружено. Другие столь же эксцентричные идеи формально ещё не опровергнуты, но и доказательств в их пользу нет. Нет никаких свидетельств существования во Вселенной какой-либо силы помимо четырёх фундаментальных взаимодействий. Нет «жизненной силы». Нет поля «положительной энергии». Нет и научных доказательств существования каких-либо богов, которых люди создавали, чтобы объяснить собственное существование. Для многих в этом как раз и заключается привлекательность веры. Религиозные представления невозможно опровергнуть, потому что они изначально строятся на слепой вере.

Верующих обычно ждёт вознаграждение — чаще всего после смерти — за то, что при жизни они придерживаются убеждений, не требующих доказательств, и ведут себя определённым образом. Такие системы устроены так, что наука в принципе не может их опровергнуть. Именно поэтому наука и религия так часто вступают в конфликт. Многие учёные критикуют религию потому, что наука основана на доказательствах, а вера — нет. А многие глубоко верующие воспринимают науку как угрозу, поскольку всё больше людей обращаются именно к ней в поисках объяснения своего существования. И всё же религия остаётся привлекательной, потому что даёт жизни цель — то, чего сама наука не предлагает.

И ещё потому, что каждому из нас хочется чувствовать себя особенным. Примерно в двенадцать-тринадцать лет я сам начал ощущать, что во мне есть что-то особенное. Мне казалось, будто в будущем я обязательно совершу нечто великое. Может быть, стану премьер-министром.

Или величайшим британским олимпийцем всех времён. Эти чувства вовсе не заставили меня всерьёз заняться политикой или спортом.

Это было просто внутреннее ощущение неизбежности. Мне казалось, что мою душу поместили именно в это тело и тем самым дали возможность, доступную не каждой душе, — и что я обязан прожить жизнь не зря. В то время я верил в христианского Бога. Я учился в школе Англиканской церкви, а в детстве меня водили в воскресную школу. Моя мать всю жизнь регулярно ходит в церковь, и религия очень важна для неё. К её огромной чести, она ни разу не осудила меня за отсутствие веры. Мы всегда уважали взгляды друг друга. Она, как и многие другие, вероятно, не согласится со следующими абзацами. Но, думаю, всё равно будет гордиться тем, что я написал эту книгу. К середине подросткового возраста, всё больше увлекаясь наукой, я начал терять религиозную веру. А к окончанию университета уже был атеистом. Одной из трудностей этого пути был вопрос: если моя жизнь должна иметь цель — то

какую? Ответить мне помогла та самая малярия. Моё ощущение собственной личности вовсе не уникально.

Подозреваю, что это почти неизбежное следствие сознания. Размышляя о том, почему они существуют, многие люди воспринимают чувство собственной уникальности как доказательство некой высшей цели. Они знают, что существуют. Чувствуют себя особенными — и действительно уникальны. Следовательно, делают вывод: должна быть причина, почему именно они оказались здесь. Такие читатели, возможно, почувствуют себя обманутыми моей книгой. Я подробно рассказал, что должно было произойти за последние 13,77 миллиарда лет, чтобы они появились.

Но не дал их существованию высшей цели. Если не считать эволюционного ответа — биологическая цель нашего существования состоит в том, чтобы попытаться размножиться, — я утверждаю, что никакой другой предустановленной причины нет. Мы существуем как следствие величин фундаментальных физических сил, эволюции и огромной доли случайности.

Кроме того, я не понимаю: если у нашего существования действительно есть какая-то цель помимо передачи генов, почему для появления человека потребовалось почти 13,77 миллиарда лет? Чем боги всё это время занимались?

И почему мы оказались в довольно заурядном месте средней галактики, а не, скажем, в центре Вселенной? Разве божество не выбрало бы для нас участок космической недвижимости поэффектнее? На фоне необъятности космоса утверждать, что земной жизни специально была назначена некая высшая цель, кажется мне самонадеянным. Неужели только нашему виду предназначено особое назначение? А каждому неандертальцу оно тоже полагалось? Есть свидетельства, что у них существовали религиозные представления. Может быть, Бог наделил целью какого-то более древнего предка среди человекообразных

обезьян? Или первый вид, выбравшийся из моря на сушу? А первая бактериальная клетка?

Возможно, всё живое действительно «особенно» и получает цель от Бога. Но тогда это уже никак не выделяет человека среди остальных форм жизни. Отсутствие предустановленной цели в ответе на вопрос «почему мы существуем?» вовсе не означает, что жизнь должна быть бессмысленной. Я сам выбрал посвятить её попытке понять, как появился. Это личный выбор, а не предназначение, спущенное свыше. Не сомневаюсь, некоторые рецензенты решат, что я зря потратил время. Меня это не волнует. Я сам выбрал этим заниматься. Моя жизнь не становится беднее от того, что у неё нет заранее назначенной цели. Наоборот. Чудеса реальной Вселенной вдохновляют меня значительно сильнее, чем история из Книги Бытия — первой книги, попытавшейся рассказать, откуда мы взялись. То, что мне просто невероятно повезло быть живым, ничуть не уменьшает удовольствия от моих дней на Земле.

Одной из главных причин, по которой я отказался от веры, было учение о том, что христианский Бог одновременно всемогущ и добр. Существование страданий, неравенства и таких людей, как Гитлер и Ленин, я не мог примирить с тем Богом, о котором мне рассказывали.

Для меня гораздо более убедительное объяснение ужасов мира состоит в том, что они не предопределены.

Так я пришёл к форме атеизма, согласно которой моё существование — результат случайности и удачи, но которая одновременно позволяет объяснить существование страданий и дурного поведения. Если мы всего лишь ещё один биологический вид, возникший благодаря случайным мутациям и естественному отбору на протяжении миллиардов лет, я стал задумываться: что это означает для человечества, морали и этики? Если наше появление — дело случая, это вовсе не делает людей — или вас и меня — неинтересными и неважными. Наоборот. Человек —

необычайный вид. По крайней мере на Земле только мы строим города, овладели огнём, пишем романы и проводим научные эксперименты. Наш мозг делает нас сознательными. А способность передавать сложные идеи, представлять возможное будущее и сопоставлять сегодняшние действия с их ближайшими и отдалёнными последствиями отделяет нас от муравьёв, муравьедов и муравьиных львов.

Способность представлять будущее особенно важна. Отчасти потому, что она приводит нас к осознанию неизбежности собственной смерти. А это, в свою очередь, заставляет спрашивать: почему мы существуем? На первый взгляд биологический ответ — чтобы размножаться — кажется лишённым человечности.

Я существую по той же биологической причине, что и бактерия *E. coli*, дождевой червь или куст роз. Мои предки успешно размножались. И по определению, если у меня есть потомки, значит, в этом смысле преуспел и я. Но откуда тогда берутся мораль и этика в той редукционистской картине существования, которую я защищаю? Часть ответа может скрываться в том, с кем мы выбираем размножаться. Эту идею впервые предложил Чарльз Дарвин, открывший механизм эволюции. Если люди склонны выбирать партнёров в том числе по чертам характера, которые хотя бы частично определяются генами, и если обладатели более привлекательных черт оставляют больше детей, то такие особенности со временем будут чаще встречаться в популяции.

Доказательства пока далеки от окончательных, но есть данные, что некоторые моральные установки частично наследуемы. Так что то обстоятельство, что вы, например, безукоризненно честны, а один из наших бывших премьер-министров, заключавший соглашение по Brexit, — не особенно, отчасти может быть связано с генами. Впрочем, убедительных доказательств того, что более честные, нравственные или этичные люди имеют больше детей, нет. Современная контрацепция сильно осложняет изучение эволюции морали. В странах, где проводится большинство

подобных исследований, число детей сегодня во многом зависит от сознательного выбора пары, а не только от биологии. Но возможно, у наших предков определённые поведенческие черты действительно отличали тех, чьи потомки живут сегодня, от тех, чьи линии исчезли. Есть и другой путь эволюции морали и поведения. Мы социальный вид. Мы живём группами. У большинства групповых животных принадлежность к коллективу жизненно важна. Одинокие особи чаще погибают или не находят партнёра. Одиноким сурикат, например, долго не протянет. Большую часть нашей эволюционной истории исключение из группы было смертельно опасным. Но люди умеют обмениваться сложными идеями и думать о будущем. Поэтому группы наших предков могли принимать решения о том, кто имеет право оставаться членом сообщества. Человека могли изгнать. Или даже убить, если большинство — или влиятельное меньшинство — считало его поведение неприемлемым.

Если эгоистичные и плохо ведущие себя особи чаще изгонялись и погибали молодыми, а часть таких склонностей имела генетическую основу, соответствующие аллели постепенно должны были становиться менее распространёнными. Последние годы я много работал над тем, чтобы укрепить сообщество биологов на моей кафедре в Оксфорде.

Это отняло время у научных исследований, которые я очень люблю.

Но я решил помогать коллегам не потому, что верю в некий абсолютный долг «творить добро». Я сделал это потому, что оказался в положении, где мог помочь. И мне действительно нравилось строить более сильное сообщество биологов. Мне не понадобилась вера в божество, чтобы пожертвовать частью собственных исследований ради других людей. Нельзя сваливать неэтичное или морально отвратительное поведение исключительно на гены. Как и почти у всех фенотипических признаков, о которых я говорил в этой книге, большую роль играет

среда. Разные группы могут по-разному относиться к одним и тем же формам поведения, потому что цена такого поведения зависит от условий жизни. Например, кража безделушки из легко доступных морских ракушек могла спокойно восприниматься в общине, живущей на побережье. Но если такую же вещь украсть у людей, живущих далеко в глубине материка, где ракушки редки, поступок могли считать совершенно неприемлемым.

Я специально выбрал сравнительно мягкий пример антисоциального поведения, чтобы не отвлекать от самой идеи. Но аналогичные рассуждения можно применять и к гораздо более жестоким, принудительным или контролирующим формам поведения. Эволюция время от времени создаёт отклонения. Ранее я рассказывал, что у меня есть генетическая мутация, отрицательно влияющая на зрение. Крайние варианты любого признака, частично определяемого генами, могут возникнуть в результате мутации. Это относится и к некоторым формам антисоциального поведения. Время от времени появляются люди, резко не вписывающиеся в культурные нормы, причём роль здесь могут играть и гены, и среда. Например, мутации в гене MAOA, по некоторым данным, связаны с психопатическими чертами.

Я понятия не имею, были ли Чарльз Мэнсон, Джек Потрошитель или Влад Цепеш генетически предрасположены к психопатическому поведению. И даже если были, это, разумеется, не оправдывает совершённых ими убийств.

Но вполне возможно, генетические особенности внесли вклад в их чудовищные поступки. Существуют также предположения, что Гитлер, Сталин, Путин и другие диктаторы, ответственные за убийства, могли страдать психическими расстройствами. С точки зрения эволюционного объяснения человека, морали и этики неизбежно, что время от времени будут появляться бесчеловечные, неэтичные и аморальные люди — подобно тому как иногда рождаются люди с физическими генетическими аномалиями. Это неизбежное следствие самого способа, которым работает

эволюция. Однако пока не обнаружено ни одной особенности человеческой личности или поведения, которая полностью определялась бы генами. Поэтому генетика не может служить оправданием антисоциального поведения. Когда я подростком мучительно размышлял о вере и спросил священника, почему существуют страдания и зло, он ответил, что Бог действует неисповедимыми путями. Меня этот ответ не убедил. Чем больше я читал об эволюции, тем яснее видел другое: она действует вполне понятными способами. Страдания и зло — при всей их ужасности — являются неизбежной частью нашего случайного существования. Лично я считаю, что мы должны делать всё возможное, чтобы помогать людям, живущим с тяжёлыми генетическими заболеваниями. Но не стоит изводить себя попытками понять, почему именно такие люди вообще существуют. И, конечно, их жизнь может быть такой же полноценной, как у людей с более типичным развитием. Похоже, за последние десятилетия религия тоже изменилась. Однажды я спросил знакомого vicария, попал бы злой неандерталец в ад. Он ответил, что вообще не уверен в существовании ада. И даже определение зла у него оказалось довольно расплывчатым. При этом он твёрдо заявил, что не верит в «Бога пробелов». Если откровенно, после разговора я ушёл немного озадаченным относительно того, во что же он всё-таки верит.

Но он признал, что некоторые прихожане действительно верят именно в «Бога пробелов». Мне эта идея даётся с трудом. Аргумент «Бога пробелов» звучит примерно так: да, наука продвинулась очень далеко, но ответила ещё не на все вопросы о нашем существовании. С первой частью я согласен. Есть научные гипотезы — например теория Многих миров, — которые, возможно, вообще никогда нельзя будет проверить экспериментально. Но сами пробелы становятся всё меньше. Когда-то защитники идеи Бога утверждали, что такой сложный орган, как человеческий глаз, просто не мог возникнуть

эволюционным путём. Но биологи подробно изучили развитие глаза и более примитивные органы зрения у других видов. В результате удалось восстановить правдоподобный путь эволюции сложного глаза из простейших светочувствительных клеток. Аргумент «человеческий глаз слишком сложен, чтобы эволюционировать» больше не работает. Ещё один пробел был закрыт. Сегодня сторонники «Бога пробелов» часто обращаются к другим качествам: любви к искусству, музыке и литературе; чувствам любви и сочувствия; даже самому ощущению собственной личности. Но это рискованная стратегия. Как только возникли зрение, слух, обоняние, вкус и осязание, живые существа получили возможность избегать опасного и искать то, что помогает выживать. При угрозе эволюция создала гормоны реакции «бей или беги», например адреналин. А химические вещества, связанные с благополучием, такие как эндорфины, притягивали организм к безопасным условиям. Именно такие молекулы делают опасность неприятной, а безопасность приятной. Подобные ощущения существуют даже у животных с весьма небольшой степенью сознания — включая креветок и, возможно, даже мух. По мере того как наши предки учились всё эффективнее общаться, возникали язык и искусство. У *Homo erectus*, возможно, уже существовала речь. У неандертальцев она почти наверняка была. Значит, далёкие предки могли сидеть по вечерам у костра и рассказывать, где сегодня нашли пищу, где видели опасных зверей или как каким-нибудь отчаянным подвигом сумели избежать смерти.

Так появился путь к рассказыванию историй. Ритмичность многократно повторяемых рассказов помогала их запоминать. Так могла появиться первая музыка. Наши предки и неандертальцы создавали и наскальные изображения.

Недавние исследования показали, что отметки рядом с изображениями животных могли служить календарём — указывать, в какое время мигрирующие животные появлялись в

данной местности и становились доступным источником пищи. Уже самое раннее искусство могло иметь практический смысл. Способность понимать его давала преимущество в выживании, поскольку подсказывала, когда стоит находиться в определённом месте.

Сегодня любовь к Пикассо или Родену, вероятно, не повышает ваши эволюционные шансы — разве что вы встретили будущего партнёра в художественном музее. Но древние корни нашей любви к искусству вполне могли приносить реальную пользу. Когда учёные пытаются закрывать пробелы в знаниях, неизбежно возникает определённая доля предположений. Так и рождаются гипотезы. Это нормальный первый шаг любого научного исследования. По мере того как мы будем больше узнавать о жизни наших предков и о том, когда возник язык, многие свойства, которые сегодня приводят в качестве доказательства «пробелов», тоже получат естественное объяснение. Это, конечно, не заставит всех отказаться от религиозной веры. Люди всегда будут верить в богов. Я не изменю их мнение. Но и вера не должна заставлять отвергать науку. Всегда найдутся люди, которые чувствуют себя особенными и считают, что высшая сила дала их жизни особое предназначение. Мой совет им прост: пусть только этим предназначением не становится борьба с наукой.

Наука стоит на очень прочном основании. Она навсегда изменила наш мир. И навсегда изменила наше понимание того, почему и как этот мир возник. Применение научного метода позволило построить поразительную карту первых 13,77 миллиарда лет истории Вселенной. И эта карта — величайшее достижение человечества.

Нам по-прежнему предстоит узнать невероятно много, особенно в биологии и исследовании сознания. Новые открытия публикуются ежедневно. Технологический прогресс позволяет проводить исследования в масштабах, о которых учёные прошлого могли только мечтать. В середине 2022 года космический телескоп

Джеймса Уэбба прислал изображения галактик, сформировавшихся всего через 200 миллионов лет после Большого взрыва. Свет покинул их более 13,5 миллиарда лет назад и всё это время летел со скоростью 299 792 458 метров в секунду. Астрономы буквально смотрят в очень раннюю Вселенную. Фотографии самого мощного космического телескопа в мире позволят уточнить наше понимание эпохи, когда Вселенная впервые стала прозрачной. На другом конце масштабов физики уже планируют новые ускорители частиц. Одна группа предлагает построить коллайдер с туннелем почти в четыре раза длиннее 27-километрового туннеля Большого адронного коллайдера. Он мог бы создавать энергии примерно в семь раз выше нынешних. Это позволило бы ещё лучше понять раннюю Вселенную и происхождение материи. Со временем, возможно, мы даже обнаружим свойства тёмной материи, а может быть, и тёмной энергии. Подозреваю, энергии для создания новых вселенных мы всё-таки никогда не достигнем. И, пожалуй, это к лучшему. Куда бы мы их складывали? Наблюдения других звёздных систем также помогают астрономам оценивать, насколько распространены землеподобные планеты и газовые гиганты, и даже изучать состав их атмосфер. Пока технологии позволяют подробно исследовать лишь сравнительно близкие системы. На момент написания книги самая далёкая известная экзопланета — газовый гигант OGLE-2014-BLG-0124L — находится примерно в 13 тысячах световых лет от нас, то есть менее чем на половине расстояния до центра Млечного Пути. Астрономы пока не обнаружили планету с атмосферой, настолько похожей на земную, чтобы это стало однозначным признаком внеземной жизни. Но удивляться этому не стоит.

Первую экзопланету обнаружили лишь в 1992 году. А исследована пока ничтожная доля звёздных систем. В Млечном Пути не менее 100 миллиардов звёзд. Но планеты искали менее чем у четырёх тысяч. А атмосферы подробно изучены у ещё

меньшего числа. Обнаружение жизни на другой планете, возможно, стало бы величайшим научным достижением в истории. Но найти её непросто. Кислородная атмосфера, казалось бы, должна указывать на жизнь. Однако в статье 2021 года была представлена модель, показывающая, что на планетах, покрытых океанами, богатая кислородом атмосфера может возникнуть и чисто химическим путём — без жизни. Значит, нам могут понадобиться другие признаки. Предложено несколько химических «подписей» жизни, которые можно было бы увидеть издалека. Но и здесь остаётся проблема: неорганическая химия тоже иногда способна создавать такие молекулы. История с фосфином в атмосфере Венеры прекрасно показывает, насколько это трудно. Фосфин на Земле является побочным продуктом анаэробного обмена веществ некоторых организмов. Без жизни его образовать сложно. Небольшие количества могут возникать при вулканической активности или выветривании некоторых горных пород. Но концентрация, обнаруженная в верхней атмосфере Венеры в 2021 году, сначала показалась настолько высокой, что возникло предположение о жизни. Учёные, сделавшие открытие, осторожно описывали результаты. Но часть СМИ немедленно пришла в восторг. После повторного анализа с учётом возможных источников ошибок оказалось, что фосфина, вероятно, меньше, чем считалось сначала. И вулканическое объяснение снова стало вполне возможным. Жизнь микроорганизмов в атмосфере Венеры кажется маловероятной. Но полностью исключить её пока нельзя. Окончательный ответ, скорее всего, появится лишь тогда, когда мы отправим туда аппараты и возьмём реальные образцы атмосферы. Вообще лучший способ найти жизнь на другой планете — посетить её.

Люди уже были на Луне. Автоматические аппараты ездили по Луне и Марсу. Но исследование других миров всё ещё находится в самом начале.

Главная надежда сегодня — найти следы существующих или вымерших микроорганизмов на Марсе. Однако мы пока буквально лишь слегка поцарапали его поверхность. Доказать отсутствие жизни может оказаться даже труднее, чем доказать её наличие. А здесь, на Земле, химики пытаются понять, как появились первые самокопирующиеся молекулы и как они объединились с мембранами и обменом веществ, создав первые клетки. Эти эксперименты вместе с компьютерным моделированием сложных молекул постепенно показывают возможные пути возникновения жизни. В ближайшие десятилетия существует шанс — пусть, возможно, небольшой — что мы создадим примитивную жизнь в лаборатории.

Наши представления о распространении жизни, появлении человека и развитии цивилизаций основаны на меньшем объёме данных, чем многие другие научные области, о которых я рассказывал. Окаменелости наших предков редки. Строить целые исторические картины по фрагментам скелетов или клочкам древней ДНК очень трудно. Химический анализ ископаемых остатков, окружающей породы и почвы помог датировать ключевые события. Но из-за редкости материалов вся картина постоянно меняется с появлением новых находок. Эволюция человека и ранних гоминин — потрясающе интересная область. Но сегодня в ней ещё много предположений.

Будут найдены новые важные археологические памятники. Каждый из них позволит чуть лучше понять жизнь наших предков. Мы замечательный вид. И наши знания о собственной технологической и художественной истории будут расти. Исследования неандертальцев и других вымерших гоминин, вероятно, дадут всё более убедительные свидетельства того, что всего несколько десятков тысяч лет назад по Земле одновременно ходили как минимум два разумных вида.

В предыдущей главе я размышлял о том, почему мы становимся именно такими, какими становимся.

Учёным гораздо легче изучать закономерности на уровне популяции, чем надёжно объяснять судьбу одного конкретного человека. Для этого нужно было бы понимать механизмы развития личности настолько подробно, как мы пока не умеем. Мы знаем, например, что курильщики в среднем умирают раньше некурящих. Но это не означает, что мы можем предсказать дату смерти отдельного человека. Мне иногда приходится слышать: «Мой дядя Гарри курил всю жизнь и дожил почти до ста, значит, курение не такое уж вредное». Дяде Гарри просто повезло.

В среднем курильщики живут меньше. Но это вовсе не означает, что каждый курильщик обязательно умрёт раньше каждого некурящего. Точно так же мы можем сказать, что тяжёлая травма в раннем возрасте в среднем влияет на формирование личности. Но это не означает, что она действует на всех одинаково и с одинаковой силой. Мне самому кажется, что в моей жизни были ключевые события, сформировавшие меня.

Но возможно, я просто задним числом строю красивый рассказ, чтобы объяснить собственное прошлое и принятые решения. Далеко не каждый двадцатилетний человек, решивший, что может умереть от малярии, потом пишет чрезмерно амбициозную книгу. Так что доказать, что именно болезнь заставила меня взяться за эту задачу, я не могу. В начале книги я предложил мысленный эксперимент: снова и снова запускать Вселенную, чтобы выяснить, было ли наше существование неизбежным или зависело от случая. Если говорить откровенно, кроме меня самого никого особенно не волнует, существовал бы я в другой версии Вселенной. А вашим существованием по-настоящему одержимы только вы. Вопрос был немного нарциссическим. Но если вы всё ещё читаете, значит, как литературный крючок он сработал. На самом деле я спрашивал другое: детерминирована наша Вселенная или стохастична? И я пришёл к выводу, что стохастична. Мы существуем благодаря удаче. И именно это делает нас особенными.

Но само чувство собственной особенности, вероятно, является эволюционной особенностью всех разумных существ. Отсюда естественно возникают два вопроса. Первый: неизбежно ли появление разумной жизни в любой возможной Вселенной? Второй: насколько она распространена в нашей? На первый вопрос мы ответ знаем. Если бы четыре фундаментальные силы имели другие значения, протоны, нейтроны, атомы, звёзды и планеты могли бы вообще не возникнуть. А значит, не возникла бы и жизнь в знакомом нам виде. На второй вопрос ответа пока нет. Мы ещё нигде не нашли другую разумную жизнь. Но существуют миллиарды галактик и триллионы звёзд. У множества из них есть планеты. Некоторые из этих планет должны быть пригодны для жизни. Мой вывод таков: на части из них жизнь возникла. На некоторых сумела процветать. На других была уничтожена той или иной космической катастрофой. А там, где она сохранялась достаточно долго, она усложнялась, и появлялись разумные существа. Некоторые из них, возможно, научились использовать энергию и построили цивилизации. И, быть может, где-нибудь среди них инопланетный автор уже написал научно-популярную книгу о том, почему существует его вид. Я не могу утверждать, что это действительно произошло. Но если произошло, эти существа обнаружили те же фундаментальные силы и принципы, которые я описывал в этой книге. Наука открывает универсальные истины. И именно эти истины могут объединять разумную жизнь во Вселенной. Вселенная порой очень странна. Но наука показала, что действует она не «неисповедимыми путями». Закончить я хочу просьбой. Если вы до сих пор не приняли науку как способ познания мира — попробуйте это сделать. Наша Вселенная подчиняется правилам. А наука — человеческое изобретение, позволяющее эти правила открывать. То, каким образом научный метод заставляет природу раскрывать свои законы, глубоко, красиво и изобретательно. Используя его для бесчисленного

множества проблем, учёные невероятно продвинулись в объяснении нашего существования.

Остаётся множество вопросов, на которые мы пока не знаем ответа.

И по мере роста знаний наверняка будут появляться новые. Некоторые области физики, химии, наук о Земле и биологии по-прежнему окутаны тайной. Но прогресс за последние три столетия ошеломляет. И в ближайшие годы многое из загадочного станет понятным. Странность собственного существования — возможно, величайшая головоломка человечества. Наука уже собрала значительную часть пазла, показывающего, что должно было произойти, чтобы мы оказались здесь. Но немало деталей всё ещё ждут своего места. Я невероятно счастлив, что стал учёным и что мои исследования механизма эволюции пусть совсем немного, но всё же внесли вклад в понимание того, почему мы существуем. Уверен, я мог бы прожить приятную жизнь, став строителем, сантехником, электриком, парикмахером или профессиональным игроком в крикет. Но если бы мне дали возможность начать всё заново, я снова выбрал бы науку. Каждый день я смотрю на Вселенную со смесью потрясения и благоговения. И наслаждаюсь тем, что обладаю сознанием и что в моей голове работает пусть неполная, местами расплывчатая, но всё же модель того, как именно я появился. Во время работы над этой книгой бывали моменты, когда моё неверие подвергалось испытанию. Лично я не думаю, что мы когда-нибудь узнаем, почему существует что-то, а не ничто. И это раздражает. А при изучении происхождения жизни пропасть между сравнительно простыми самокопирующимися молекулами и невероятно сложным жизненным циклом человека временами казалась почти слишком огромной, чтобы естественные процессы могли преодолеть её даже за четыре миллиарда лет.

Но разум взял верх. Вера в божество осталась на расстоянии. И всё же я пришёл к одному любопытному выводу: если Бог

существует, то он, вероятно, учёный. Я говорю «он» лишь условно — точнее было бы сказать «оно», потому что не хочу приписывать божеству форму или пол. Такое божество не интересовалось бы мной лично и моими поступками.

Его интересовал бы набор законов, необходимый для того, чтобы Вселенная смогла породить существ, подобных ему самому. Я говорю это не для того, чтобы унижить или оскорбить чью-то веру. И не пытаюсь возвысить учёных до божественного уровня. Просто если бы у меня была возможность, я действительно провёл бы эксперимент с множеством Вселенных, описанный в начале книги. Создавая новые вселенные, в которых впоследствии возникала бы разумная жизнь, я сам, вероятно, выглядел бы для их обитателей чем-то вроде божества. Но двигало бы мной не желание власти. А любопытство. Жажда знания. Желание узнать больше. Если же некое божество действительно всемогуще и знает абсолютно всё, зачем вообще создавать Вселенную, если результат заранее известен ему с полной уверенностью? Некоторым эти слова наверняка покажутся спорными. Меня могут обвинить в том, что я создаю Бога по собственному образу. Я был бы далеко не первым. Но на самом деле я этого не делаю — потому что в Бога не верю. Верующие могут обвинить меня в том, что я возвышаю науку до уровня религии. Некоторые учёные, наоборот, — что опускаю науку до религиозного уровня. Ни то ни другое не является моей целью. Я не верю в богов потому, что не считаю их необходимыми для объяснения нашего существования. Я знаю, что существуют люди, которые верят в Бога и при этом не считают, что он нужен для объяснения устройства Вселенной. Но я придерживаюсь бритвы Оккама. Предпочитаю самое простое объяснение, которое достаточно для описания происходящего. Зачем верить в сущность, которая нас создала, если наше существование не требует такого создателя? Я понимаю, что вера в Бога основана не на необходимости, а на вере как таковой. Даже если бы мне удалось полностью научно объяснить все «почему» и «как» нашего

происхождения, люди всё равно продолжали бы верить в высшие силы. Я не могу изменить их мнение. И не хочу. Цель этой книги вообще не состояла в том, чтобы кого-то переубеждать. Я хотел объяснить и отпраздновать достижения науки.

Меня немного раздражает, что книга о существовании до сих пор вынуждена касаться ненаучных объяснений нашего появления. Но было бы странно написать книгу о происхождении всего и совсем не упомянуть мифы о сотворении мира. Наука — человеческое изобретение. Но вам не нужно принимать её на веру. Вы, как и я, можете проводить эксперименты, проверять гипотезы и участвовать в объяснении нашего существования. Ранее я утверждал, что в глубине души мы все немного учёные. И если эта книга чего-то добьётся, я надеюсь, что она заставит вас прислушаться к своему внутреннему исследователю и присоединиться к огромному числу людей, использующих величайшее человеческое изобретение — научный метод — для ответа на самый глубокий вопрос, который мы способны задать: **почему мы существуем?** Разумная жизнь действительно возникла в нашей Вселенной. Но для нашего появления понадобилась огромная доля удачи. Наслаждайтесь тем, что обладаете сознанием. Это длится совсем недолго. Семьдесят человеческих лет — лишь мгновение на фоне 13,77 миллиарда лет существования Вселенной.