

РИЧАРД ДОКИНЗ СЛЕПОЙ ЧАСОВЩИК

КАК ЭВОЛЮЦИЯ ДОКАЗЫВАЕТ
ОТСУТСТВИЕ ЗАМЫСЛА ВО ВСЕЛЕННОЙ

DESIGN REVEALS A UNIVERSE WITHOUT DESIGN
WHY THE EVIDENCE OF EVOLUTION

WATCHMAKER

THE BIBLE

DAWN

RICHARD



Династия

Ричард Докинз
Слепой часовщик.
Как эволюция
доказывает отсутствие
замысла во Вселенной
Серия «Династия (Corpus)»

Текст предоставлен правообладателем.

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=9243263

*Докинз, Ричард. Д63 Слепой часовщик. Как эволюция доказывает отсутствие замысла во Вселенной: АСТ : CORPUS; Москва; 2015
ISBN 978-5-17-086374-7*

Аннотация

Как работает естественный отбор? Является ли он достаточным объяснением сложности живых организмов? Возможно ли, чтобы слепая, неуправляемая сила создала столь сложные устройства, как человеческий глаз или эхолокационный аппарат у летучих мышей? Еще Дарвин убедительно ответил на эти вопросы, а наука с каждым новым десятилетием предоставляет все больше доказательств его правоты, но многие по-прежнему в ней сомневаются. Книга знаменитого английского биолога, популяризатора науки и борца с креационизмом Ричарда

Докинза «Слепой часовщик» защищает эволюционный взгляд на мир и развенчивает мифы, существующие вокруг дарвиновской теории. Впрочем, Докинз никогда не ограничивается одной проблемой конкретной научной дисциплины – в конечном счете он говорит о философских основах научного мировоззрения в целом. Остроумие и широкая эрудиция автора позволяют ему легко оперировать примерами из самых разных областей – от компьютерного программирования до Шекспира, и это, вероятно, тоже сыграло свою роль в том, что «Слепой часовщик» уже почти три десятка лет остается бестселлером.

В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

Содержание

Безупречная четкость	6
Предисловие	15
Глава 1	26
Глава 2	63
Глава 3	108
Глава 4	174
Конец ознакомительного фрагмента.	181

Ричард Докинз
Слепой часовщик.
Как эволюция
доказывает отсутствие
замысла во Вселенной

Моим родителям

RICHARD DAWKINS

**THE BLIND WATCHMAKER. WHY THE
EVIDENCE OF EVOLUTION REVEALS A UNIVERSE
WITHOUT DESIGN**

© Richard Dawkins, 1996, 1987, 1986. All rights reserved

© А. Гопко, перевод на русский язык, 2015

© Liz Pyle, иллюстрации

© Е. Наймарк, предисловие, 2015

© Фонд Дмитрия Зимина “Династия”, издание на русском языке, 2015

© А. Бондаренко, оформление, 2015

© ООО “Издательство АСТ”, 2015

Издательство CORPUS ®

Безупречная четкость

Предисловие к русскому изданию

Перед вами одна из самых знаменитых книг Ричарда Докинза “Слепой часовщик”. Книга была написана в середине 1980-х годов, прекрасно известна всем, кто хоть как-то интересовался эволюцией мироздания, была переведена на многие языки, получила несколько солидных премий, завоевала... признана... удостоена и пр., и пр. Поэтому нет сомнений, что читатель держит в руках стоящую книгу. Может возникнуть другой вопрос: не является ли книга Докинза анахронизмом, будет ли она интересна и полезна современному русскому читателю?

С тех пор как был написан оригинал, прошло около 30 лет. Для современной биологии это весьма большой срок. Так, в научных работах редки ссылки на статьи 1990-х годов, а уж 1980-е стали почти ископаемыми (правда, полезными); хорошим тоном считаются ссылки на работы последних двух-трех лет, не более. И дело тут не в отсутствии уважения к авторам пенсионного возраста, а в том, что биология за это время стала совсем другой, с другими методами и задачами. Вспомним, что во время написания “Слепого часовщика” умели различать хромосомы, картировать отдельные гены на них; теперь масштаб генетического разрешения – это

отдельные нуклеотиды, составляющие гены со всеми их интронами и экзонами. Вспомним, что слепому часовщику было известно очень небольшое разнообразие мягкотелых ископаемых древности – теперь же это излюбленный материал в работе палеонтологов, именно на его основе реконструируются древнейшие этапы жизни; более того, мы всю разбираемся с археями, целым царством (точнее, доменом), с которым часовщик только успел познакомиться. Слепой часовщик оперировал линнеевскими морфологическими таксонами, присматриваясь осторожно к кладистике, вдохновленный возможностями первых, довольно задумчивых персональных компьютеров. Сегодня за секунды строятся эволюционные деревья на основе аминокислотных или нуклеотидных последовательностей отдельных белков, генов, целых геномов. Иными словами, “Слепой часовщик” был адресован тому, позавчерашнему читателю с позавчерашними вопросами, и более того, воспитанному в традициях западной науки.

Но все дело в том, что книга поднимает сложные и важные проблемы, актуальные до сих пор. Мы продолжаем рассуждать в рамках все той же парадигмы – эволюционного развития живого, а она столь же необходима современной биологии, как и 30 лет назад. Эволюционная биология продолжает рассматривать те же вопросы, что и прежде, порой находя неожиданно новые подходы. Именно эти насущнейшие вопросы эволюционной биологии предлагаются вниманию чи-

тателя.

Что мы понимаем под сложным объектом, сложностью вообще и почему нас должно интересовать определение сложности? Как понимать “случайность” в работе естественного отбора и так ли случайна эта случайность? Это ключевые вопросы первых двух глав. Нужно отметить, что случайность изменений в качестве сырого материала для естественного отбора вызывает наибольшие психологические трудности для восприятия эволюционной концепции в целом. Докинз решительно и остроумно помогает отделить реальные (научные) трудности от психологических, направляя мысль в содержательное русло.

Глава 3 отправляет нас в страну смоделированных биоморф, и там мы узнаем, на что способны долгие (НЕМЫСЛИМО долгие) пошаговые изменения. Как выясняется, почти на все. Так что пусть читателя не смущает примитивность докинзовских первых моделей (наш искушенный читатель знает, что за 30 лет научились моделировать и аккуратнее, и реалистичнее, и гораздо, гораздо быстрее). Урок все же поучителен – невидимые микромасштабные изменения способны на чудеса невероятного. Даже камни проползают по пустыне сотни метров, ежедневно толкаемые слабейшим трением тонкого утреннего льда!

В 4-й главе мы вместе с автором задумываемся об эволюционных маршрутах – случайны ли они или predeterminedены тем или иным образом? Докинз приводит интерес-

ные примеры конвергентной эволюции, которая строит сходные формы и приспособления из разного (неродственного) подручного материала. Но сегодняшний читатель имеет прекрасную возможность детальнее и глубже взглянуть на это явление — с позиций генетических механизмов конвергенции. Тридцать лет назад конвергенция виделась как конечное число возможных морфологических сочетаний, речи не было о ее генетической базе. Современные генетики нашли примеры разных конвергенций: и тех, которые возникли за счет сходных генетических изменений из-за ограниченного числа возможных жизнеспособных генетических комбинаций, но также возникших за счет разных генетических изменений вследствие, напротив, большого выбора возможных комбинаций. Стоит восхититься решительностью прежних эволюционистов, взявшихся за столь сложное явление. Имеет огромное значение, что Докинз показал его важность для всей конструкции эволюционной теории, встроив конвергенцию в общий ее скелет. Конвергенция, между прочим, неизменно выявляется на самых ранних стадиях становления крупных групп животных и растений, так что мимо нее теперь никак не пройти эволюционисту.

В чем отличие биологического размножения от формирования неживых объектов (глава 5)? Не правда ли, это почти философский, вневременной вопрос. Но если к нему присоединить очевидное продолжение: “Как оно вообще могло возникнуть в природе?”, то он приобретает естественно-на-

учный оттенок и становится принципиально решаемым. Докинз обрисовывает тот этап научного поиска, когда предлагались первые содержательные подходы к поискам ответа. Об этом непременно стоит напомнить даже и тем, кто уже знает, какие из этих подходов дали результат, а какие нет и какие биохимические игроки оказались ключевыми для появления эффективной репликации.

Как создается в природе скоординированная сложность, изящно подлаженные друг к другу свойства (главы 6 и 7)? Классические механизмы, призванные это объяснить, найдутся во всех учебниках. Но сочетание их блестящего изложения и сильных примеров встретишь только здесь, в “Слепом часовщике”.

Для нас сегодняшних будет интересна и поучительна 9-я глава. В ней эмоционально и довольно-таки непоследовательно (с точки зрения неподготовленного читателя) излагается критика теории прерывистого равновесия. Нас учили, что теория прерывистого равновесия объясняет, как виды появляются за счет изолирующих барьеров, аллопатрически, и что скорость эволюции вида в разных частях ареала и в разное время не остается постоянной, иногда эволюция идет очень быстро, иногда медленно, быстрые изменения трудно отследить по палеонтологической летописи; новый вид, появившись где-то на краю ареала старого вида, может быстро его сменить. Эта теория изначально базировалась на тщательнейше проработанном примере эволюции

глаз у представителей одного любопытного рода трилобитов *Phacops*. Позже появилось множество других, не менее интересных примеров, подтверждающих эту теорию. Что же в этой теории так расстроило Докинза? Имея базовую информацию о теории прерывистого равновесия, мы не можем этого понять. И Докинз нам этого не объясняет, потому что и у него, и у англоязычных читателей в 1980-е годы была другая базовая информация. Ее можно реконструировать по некоторым абзацам главы (или прочитать в интернете). Теория прерывистого равновесия утверждает неравномерность темпов эволюции. Это утверждение было интерпретировано не слишком продуманными популярными статьями в СМИ так, что концепция медленных постепенных эволюционных изменений неверна, поэтому ДАРВИН БЫЛ НЕПРАВ! СМИ подняли шумиху по этому поводу, договорившись до того, что теория Дарвина опровергнута. Тихие одиночные голоса ученых (не стоит смешивать масштабы микро– и макропроцессов, прерывистое равновесие – это о палеонтологии, а не о генетике и т. д.), утонули в мощном потоке громогласных газет, радио– и телепередач. Эмоциональный голос Докинза со страниц “Слепого часовщика” прозвучал решительно и громко. Но, чтобы сделать его убедительнее, пришлось принизить значение концепции прерывистого равновесия на фоне общей теории эволюции. Мол, для всей теории прерывистое равновесие – это так, ерунда, небольшой кусочек мозаики. Возможно, с позиций масштаба эволюционной тео-

рии так и есть, но подобное уничтожение может привести к другой крайности – отрицанию или недооценке прерывистого равновесия. Для русского читателя, который совершенно не знаком с теми полузабытыми баталиями между западными СМИ и эволюционистами по поводу прерывистого равновесия, такая возможность совсем не исключена – в особенности с учетом докинзовского авторитета. Между тем прерывистое равновесие – это полезный инструмент, объясняющий обширный круг эволюционных явлений. У нас уже имеется свой собственный печальный опыт дискредитации истинных и полезных фактов, якобы противечащих утверждению о постепенности эволюционных изменений. В годы лысенковщины критики вменяли в вину Н. И. Вавилову отрицание дарвинизма за (кто бы мог сейчас подумать!) гомологические ряды. По мнению оппозиции, дискретность изменчивости наследуемых признаков противоречила идее постепенных мельчайших, не видимых глазу изменений. Как сложилась судьба “антидарвиниста” Вавилова, нам прекрасно известно. Из этих двух примеров – для нас в первую очередь Вавилова, а для западной школы – теории прерывистого равновесия очевидно, насколько опасно для науки смешивать или даже заменять осмысленное содержание яркими лозунгами или сиюминутными целями СМИ или политиков.

Ну и наконец, последняя, 11-я глава разбирает возможные альтернативные теории становления сложных и разнообразных живых существ. Скажете, за 30 лет люди поумне-

ли, поняли, что критика дарвиновской эволюции строилась на незнании фактов и на ложных философских посылах, а теперь-то все наконец разъяснилось? Нет, эта глава исключительно актуальна и сегодня. Аргументация антидарвинистов все та же, факты, которыми они оперируют, – те же, философия неизменна. Поэтому ясно, что дело тут не в недостатке информации, а в чем-то более существенном для человеческой натуры. Что же, Докинз блестяще разъясняет схемы идеологий своих оппонентов и предлагает остроумные практические приемы, как нельзя более востребованные в современном обществе.

Сегодня, приступая к “Часовщику”, важно осознавать, в чем основное его достоинство, та суть, которая позволяет смело назвать книгу нужной и современной. Это ясно очерченные проблемы, в рамках которых вопросы поставлены исключительно четко. Эта безупречная четкость подбадривает разум, вселяет надежду, что ответы имеются даже на самые трудные вопросы. Ответы на них могут быть какими угодно – устаревшими или ошибочными либо, напротив, содержательными и провидческими, – они, безусловно, интригующи (ради них, собственно, и написана книга), но не принципиальны. Ответы будут видоизменяться, углубляться, расширяться вместе с самой биологией, а вот вопросы останутся теми же, приобретая по мере поступления информации новые смысловые оттенки.

Остается лишь позавидовать тем, кто приступает к этой

книге: им предстоит захватывающее интеллектуальное приключение, к тому же русский перевод передает выразительную легкость оригинального стиля, что тоже будет немало способствовать удовольствию.

Елена Наймарк, доктор биологических наук

Предисловие



Эта книга написана в твердом убеждении, что наше с вами существование некогда представляло собой величайшую из тайн, но больше таковой не является, поскольку тайна разгадана. Разгадали ее Дарвин и Уоллес, пусть даже мы еще будем в течение некоторого времени добавлять примечания и уточнения к найденной ими отгадке. Я взялся за написание этой книги, потому что был удивлен, узнав, какое множество людей, по-видимому, ничего не подозревают не только о существовании элегантного и красивого решения наисложнейшей из задач, но и зачастую, как это ни невероятно, о наличии задачи как таковой!

Речь идет о феномене сложного устройства. Мой компьютер, с помощью которого я пишу эти слова, вмещает около 64 килобайт (один байт соответствует одному печатному знаку). Компьютер был специально разработан и осознанно изготовлен. Ваш мозг, с помощью которого вы понимаете мои слова, – это сеть, состоящая из нескольких десятков миллионов килонейронов. Почти каждая нервная клетка из этих миллиардов имеет более тысячи “электропроводов”, соединяющих ее с другими нейронами. Более того, если перейти на молекулярно-генетический уровень, то каждая из более чем триллиона клеток организма содержит примерно в тысячу раз больше точно закодированной цифровой информации, чем весь мой компьютер. Сложность живых организмов сопоставима с изящной рациональностью их внешнего стро-

ения. Если кому-то не очевидно, что такое обилие сложности просто криком кричит, требуя объяснения, тогда я сдаюсь. Впрочем, поразмыслив, не сдаюсь, ведь одна из задач этой книги – передать хотя бы часть изумления сложностью живых организмов тем, кто прежде ее не замечал. Но, после того как я вас заинтригую, моей следующей задачей будет рассеять тайну, дав ей объяснение.

Объяснение – непростое искусство. Объяснять можно так, что читателю будут понятны слова, или так, что он прочувствует предмет нутром. Чтобы добиться последнего, иногда недостаточно просто выложить голые факты. Порой приходится становиться адвокатом и перенимать адвокатские приемы. В отличие от других книг по дарвинизму, многие из которых великолепно написаны, информативны и, безусловно, стоят прочтения, эта книга – не беспристрастный научный трактат. Она далека от непредвзятости и, должен сознаться, местами написана с таким пылом, который в профессиональном научном журнале сочли бы неуместным. Разумеется, ее назначение – просвещать, но, помимо этого, еще и убеждать и даже – ведь нет никакой самонадеянности в том, чтобы четко обозначить свои *цели*, – вдохновлять. Я хочу поразить читателя тем, какой на первый взгляд леденящей душу тайной является наше существование, и в то же время передать ему всю радость от осознания того факта, что у тайны этой имеется элегантно объяснение, вполне нам доступное. Вдобавок мне хотелось бы убедить читателя не только в том, что

дарвинистский взгляд на мир *оказался* верным, но и в том, что это единственная из известных теорий, которая в принципе *способна* прояснить тайну нашего существования, что делает эту теорию вдвойне убедительной. Мы можем обоснованно полагать, что дарвиновское учение справедливо не только для нашей планеты, но и для любой точки во вселенной, где только будет обнаружена жизнь.

Но прошу не путать меня с профессиональными адвокатами в одном отношении. Юристам и политикам платят за то, что они предоставляют свой ораторский пыл и красноречие в пользование тому человеку или той стороне, чьих взглядов они внутренне могут и не разделять. Я никогда так не делал и делать не буду. Я могу быть не прав, но к истине отношусь трепетно и никогда не буду говорить того, что не считаю верным сам. Помню свое потрясение, когда я посетил дискуссионный клуб одного университета, где проводились дебаты с креационистами. На ужине после дебатов мне отвели место возле молоденькой женщины, которая только что произнесла относительно убедительную речь в защиту креационизма. Она явно не могла *быть* креационисткой, и потому я попросил ее сознаться, зачем она это сделала. Она откровенно сообщила мне, что просто-напросто тренировалась в умении вести дискуссию и сочла более сложным и полезным упражнением выступить в защиту той точки зрения, которую не разделяет. Известно, что в университетских дискуссионных клубах распространена практика, когда спорщикам

попросту *сообщается*, на чьей стороне они будут выступать. Их собственные убеждения в расчет не идут. Я в свое время немало потруился на неприятном поприще публичных дискуссий, поскольку верил в правоту тех утверждений, которые меня просили поддерживать. Но, выяснив, что для членов дискуссионных клубов эти утверждения – всего лишь повод поиграть, я решил отклонять все последующие приглашения на подобные мероприятия, поощряющие неискреннюю пропаганду в тех спорных вопросах, где на карту поставлена научная истина.

По причинам, не вполне мне ясным, дарвинизм нуждается в защите больше, чем аналогичным образом установленные истины из других областей науки. Многие из нас не имеют никакого представления о квантовой теории или о специальной и общей теориях относительности, но само по себе это же не заставляет нас *отрицать* эти теории! А дарвинизм, в отличие, к примеру, от “эйнштейнизма”, как будто бы считается законной добычей для критиков с любым уровнем невежества. Мне кажется, что одну из проблем дарвинизма верно подметил Жак Моно: каждый *думает*, что понимает его. Эта теория и в самом деле замечательно проста: на фоне почти всего, что есть в физике и математике, она как будто доступна даже ребенку. Если кратко, то она состоит в том, что случайное размножение в сочетании с наследственной изменчивостью приводит к таким последствиям, которые, если времени для их накопления достаточно, оказываются весьма

далеко идущими. Но у нас есть все основания считать такую простоту обманчивой. Насколько бы простой эта теория ни казалась, не будем забывать, что впервые до нее додумались только Дарвин и Уоллес в середине XIX столетия, через 200 лет после “Начал” Ньютона и через 2 тыс. лет после того, как Эратосфен вычислил размер Земли. Как могло случиться, что эта простейшая мысль не пришла в голову ни одному из мыслителей такого масштаба, как Ньютон, Галилей, Декарт, Лейбниц, Юм или Аристотель? Почему она была вынуждена дожидаться двух натуралистов викторианской эпохи? Что было *не так* с философами и математиками, которые упорно отказывались ее замечать? И почему столь могущественная идея до сих пор с таким трудом укладывается в массовом сознании?

Как будто человеческий мозг был специально устроен таким образом, чтобы неверно понимать дарвинизм и находить его неправдоподобным. Взять хотя бы проблему “случая”, зачастую усугбляемую эпитетом “слепой”. Подавляющее большинство нападок на дарвинизм исходят от людей, которые с прямо-таки неприличным упорством держатся за ошибочную точку зрения, будто в дарвиновской теории речь идет только о шальной случайности и ни о чем более. А поскольку сложное устройство живых существ – это воплощенная антитеза случайности, то, приравняв дарвинизм к случайности, нетрудно отместить его вовсе! Одной из моих задач будет разрушить устойчивый миф, что дарвинизм – это тео-

рия “случая”. Другая причина, в силу которой мы предрасположены не верить Дарвину, кроется, возможно, в том, что наши мозги устроены так, чтобы иметь дело с событиями, происходящими в совершенно иных *временных масштабах*, чем те, что характерны для эволюционных преобразований. Мы хорошо оснащены для восприятия процессов, длящихся секунды, минуты, годы, самое большее – десятилетия. Дарвинизм же – это теория о накопительных процессах, настолько медленных, что для их завершения требуются тысячи и миллионы десятилетий. По отношению к величинам такого порядка все наши интуитивные представления о том, что возможно, а что нет, оказываются неверными. Наш тонко настроенный аппарат скептицизма и личная теория вероятностей при расширении границ дают осечку, поскольку они были отлажены (эволюцией, как это ни забавно), чтобы эффективно функционировать в пределах срока жизни, длящейся несколько десятков лет. Чтобы вырваться из тюрьмы привычных временных рамок, воображение должно как следует поработать. И я ему в этом посодействую.

Третья причина, из-за которой наши мозги не расположены к дарвинизму, в том, что мы сами – превосходные творцы. Наш мир переполнен шедеврами инженерной мысли и произведениями искусства. Мы твердо приучены к тому, что сложное и изящное устройство свидетельствует о заранее продуманном хитроумном замысле. Это, возможно, наиболее веская причина для свойственной большинству ко-

гда-либо живших на свете людей веры в ту или иную форму сверхъестественного божества. Дарвину и Уоллесу потребовался грандиозный рывок воображения, чтобы вопреки всякой интуиции увидеть и другой способ (гораздо более правдоподобный, стоит лишь понять его), которым сложное устройство может возникать из первозданной простоты. Рывок настолько значительный, что и сегодня многие не решаются его сделать. Главная задача данной книги – помочь читателю совершить этот рывок.

Само собой, любой автор надеется, что влияние его книг будет долговременным, а не мимолетным. Однако любому защитнику своей точки зрения приходится не только излагать ее непреходящие аспекты, но и отвечать своим современникам, защищающим другие точки зрения – противоположные или кажущиеся таковыми. Существует опасность, что некоторые из таких дискуссий, какими бы острыми ни были они сейчас, спустя десятилетия будут выглядеть безбожно устаревшими. Нередко отмечают тот парадокс, что первое издание “Происхождения видов” убедительнее, чем шестое. Это связано с тем, что Дарвин чувствовал себя обязанным отвечать в последующих изданиях своей книги на современную ему критику, которая теперь кажется до такой степени неуместной, что ответы на нее только затрудняют понимание, а порой даже вводят в заблуждение. И все же соблазну проигнорировать те злободневные нападки, которые считаешь пустой данью моде, поддаваться нельзя – из сооб-

ражений вежливости по отношению не столько к самим критикам, сколько к их читателям, которые в противном случае останутся сбитыми с толку. И хотя у меня есть свое собственное мнение по поводу того, каким главам моей книги суждено будет в конечном итоге потерять актуальность по этой причине, судить об этом должен сам читатель – и время.

Я с огорчением узнал, что некоторые (к счастью, немногие) из моих друзей-женщин воспринимают использование безличного мужского местоимения как пренебрежение по отношению к ним. Если бы на самом деле было нужно кем-то пренебрегать (к счастью, это не так), то я охотнее пренебрег бы мужчинами, но, когда я однажды робко попытался обратиться не к абстрактному “читателю”, а к “читательнице”, одна феминистка обвинила меня в снисходительном высокомерии: оказывается, я должен был говорить “читатель или читательница”, “он или она”, “его или ее”. Так легко рассуждать тем, кто не заботится о стиле, но писатель, не заботящийся о стиле, не заслуживает читателей ни мужского, ни женского пола. Здесь я возвращаюсь к общепринятым правилам употребления английских местоимений. Я могу называть своего читателя “он”, но думаю о нем в мужском роде не более, чем француз считает свой стол женщиной. В действительности, как мне кажется, я чаще мысленно обращаюсь к читательницам, чем к читателям, но это мое личное дело, и мне было бы неловко узнать, что оно сколько-нибудь отражается на том, как я изъясняюсь на своем родном языке.

Личным делом являются и мои причины для благодарности. Рассчитываю на понимание тех, кому не смог отдать должное. Издатели не видели смысла скрывать от меня имена референтов (а не *рецензентов* – да простят меня многие американцы моложе 40, настоящие рецензенты критикуют книгу только *после* публикации, когда автору уже мало проку от их замечаний), и советы Джона Кребса (уже не в первый раз), Джона Дюранта, Грэма Кернса-Смита, Джеффри Левинтона, Майкла Руза, Энтони Холлэма и Дэвида Пая принесли мне немалую пользу. Ричард Грегори любезно раскритиковал главу 12, от полного изъятия которой окончательный вариант книги только выиграл. Марк Ридли и Алан Графен, более не являющиеся, даже формально, моими учениками, служат вместе с Биллом Гамильтоном примером для подражания в компании коллег, с которыми я обсуждаю эволюцию, и приносят мне пользу своими идеями практически каждый день. Все трое, а также Памела Уэллс, Питер Аткинс и Джон Докинз, оказали мне услугу, сделав критический разбор отдельных глав. Сара Банни внесла массу исправлений, а Джон Гриббин обнаружил грубую ошибку. Алан Графен и Уилл Аткинсон консультировали меня по компьютерным вопросам, а агентство компании *Apple Macintosh* на кафедре зоологии любезно предоставило свой лазерный принтер для распечатки биоморф.

В очередной раз хочу сказать спасибо Майклу Рождерсу, теперь работающему в издательстве *Longman*, за нескон-

чаемую энергию, с которой он преодолевает любые трудности. Он и Мэри Каннейн из издательства *Norton* мастерски умели надавить на газ (когда речь шла о моем боевом духе) и ударить по тормозам (когда дело касалось моего чувства юмора), если это было необходимо. Частично эта книга была написана во время творческого отпуска, любезно предоставленного мне кафедрой зоологии и Новым колледжем. Ну и наконец, хочу выполнить долг, о котором следовало бы вспомнить и в двух предыдущих книгах, а именно поблагодарить оксфордскую систему образования и всех моих студентов, которых я в течение многих лет обучал зоологии, совершенствуя свои скромные навыки в таком сложном искусстве, как умение объяснять.

Ричард Докинз

Оксфорд, 1986 г.

Глава 1

Объясняя самое невероятное



Мы, животные, являемся наиболее сложно устроенными объектами в известной нам Вселенной. Конечно же, та Вселенная, которую знаем мы, – это только крошечный кусочек настоящей Вселенной. На других планетах могут встречаться объекты, устроенные еще сложнее, и не исключено, что некоторым из них уже известно о нашем существовании. Но для мысли, которую я излагаю здесь, это неважно. Сложные объекты, где бы они ни находились, заслуживают того, чтобы их объясняли совершенно по-особому. Нам хочется понять, как они возникли и почему так сложны. Я собираюсь продемонстрировать, что объяснение окажется в общих чертах одним и тем же для любых сложных объектов из любого уголка Вселенной: и для нас с вами, и для шимпанзе, и для червей, и для дубов, и для космических монстров. При этом оно не подходит для “простых” вещей, к которым я отношу, например, скалы, облака, реки, галактики и кварки. Они – предмет изучения физики. А шимпанзе, собаки, летучие мыши, тараканы, люди, черви, одуванчики, бактерии и пришельцы из других миров находятся в ведении биологии.

Разница заключается в степени сложности устройства. Биология – наука о замысловатых предметах, выглядящих так, как будто они были разработаны для какой-то цели. А физика изучает простые вещи, непохожие на заранее спроектированные. На первый взгляд может показаться, что под эту классификацию не подходят рукотворные механизмы,

такие как компьютеры или автомобили. Они сложно устроены и, несомненно, разработаны с определенной целью, но при этом не являются живыми и состоят из металла и пластмассы, а не из плоти и крови. В этой книге они однозначно будут считаться биологическими объектами.

Тут читатель может спросить: “Да, но являются ли они биологическими объектами *на самом деле*?” Слова – наши слуги, а не хозяева. Мы можем использовать одно и то же слово в разных значениях для разных целей. В большинстве поваренных книг омары помещены в раздел “Рыба”. Зоологи могут тут хвататься за сердце, уверяя нас, что омары могли бы называть “рыбой” людей на куда более законных основаниях, поскольку людям рыбы приходится значительно более близкой родней, нежели омарам. Раз уж речь зашла об омарах и о законности: я слышал про одно судебное разбирательство, где решался вопрос, кем считать омаров, насекомыми или животными (от этого зависело, имеют ли люди право варить их живьем). С точки зрения зоологии омары – определенно не насекомые. Подобно насекомым или нам с вами, они животные. Не стоит выходить из себя из-за того, что разные люди употребляют слова по-разному (хотя в своей частной жизни я запросто могу выйти из себя по поводу людей, которые варят омаров живыми). Кулинарам или юристам бывает необходимо использовать слова в особых, специальных значениях, так же как и мне в этой книге. И неважно, являются ли автомобили и компьютеры “на са-

мом деле” биологическими объектами. Принципиально тут то, что, обнаружив на какой-либо планете объекты такого уровня сложности, мы без колебаний можем заключить, что на ней существует (или существовала) жизнь. Машины – это непосредственный продукт жизнедеятельности; свою сложность и организованность они взяли от живых существ и свидетельствуют о наличии на планете жизни не менее красноречиво, чем окаменелости, скелеты или трупы.

Я сказал, что физика – наука о простых вещах, и это тоже поначалу может вызвать недоумение. Физика кажется сложным предметом, потому что физические понятия воспринимаются нами с трудом. Наши мозги были предназначены для того, чтобы понимать охоту и собирательство, поиск партнера и выращивание потомства – мир объектов среднего размера, перемещающихся в трехмерном пространстве на небольших скоростях. Мы плохо оснащены для восприятия очень маленького и очень большого: явлений, длящихся несколько пикосекунд или гигаlet; частиц, не имеющих местоположения; сил и полей, которые мы не можем увидеть или потрогать и о существовании которых знаем только потому, что они влияют на те вещи, которые мы в состоянии увидеть или потрогать. Мы считаем физику сложной потому, что она трудна для нашего понимания, и потому, что книги по физике полны зубодробительной математики. Но тем не менее объекты, которые изучает физика, в основе своей просты. Это облака газа или мельчайших твердых частиц, это глыбы

однородной материи – например, кристаллы с их почти бесконечно повторяющейся атомной структурой. У них отсутствуют замысловато устроенные рабочие детали – по крайней мере по биологическим меркам. Даже такие крупные физические объекты, как звезды, образованы довольно-таки ограниченным набором составляющих, организованных более или менее бессистемно. Поведение физических, небιологических объектов настолько простое, что его можно описать при помощи существующего математического аппарата – вот почему в книгах по физике полно математики.

Книги по физике могут быть сложны, но, подобно компьютерам и автомобилям, книги – результат деятельности биологических объектов: человеческих мозгов. Предметы и явления, описываемые в книге по физике, проще, чем одна-единственная клетка из организма ее автора. А клеток таких у автора триллионы, многие из них непохожи друг на друга, и вместе они выстраиваются в причудливый и точнейший механизм, способный написать книгу. (Триллионы у меня американские, как и все единицы исчисления, которыми я пользуюсь; один американский триллион – это миллион миллионов, один американский миллиард – это тысяча миллионов.) Наш мозг приспособлен иметь дело с крайними степенями сложности не больше, чем с экстремальными размерами и прочими труднопостижимыми предельными значениями физических величин. Никто пока еще не придумал математику, которая могла бы полностью описать структуру

и поведение такого объекта, как физик или хотя бы как одна из его клеток. Все, на что мы способны, – это понять некоторые общие принципы того, как функционируют живые объекты и почему они вообще существуют.

С этого-то мы и начали. С вопроса, почему существуем мы и другие сложные объекты. И теперь у нас есть возможность, даже не зная всех подробностей того сложного устройства, о котором идет речь, в общих словах дать ответ на этот вопрос. По аналогии, большинство из нас не знает в деталях, как работает самолет. Даже его создателям, возможно, это не вполне ясно: специалисты по двигателям не понимают всех тонкостей устройства крыла, а специалисты по крыльям имеют лишь расплывчатое представление о двигателях. Специалисты по крыльям не понимают даже крыльев со всей полной математической точности: то, как поведет себя крыло в условиях турбулентности, они могут предсказать только после испытания опытного образца в аэродинамической трубе или после компьютерного моделирования – подобными вещами занимается и биолог, изучающий животное. Но, каким бы неполным ни было наше понимание работы авиалайнера, в общих чертах процесс его возникновения понятен всем. Авиалайнер был спроектирован людьми на чертежных досках. Затем по этим чертежам другие люди изготовили детали, затем еще больше людей (с помощью других изготовленных людьми машин) привинчивали эти детали, приклепывали их, приваривали и приклеивали – каждую на свое ме-

сто. Самолет построили люди, и потому в процессе его возникновения нет ничего принципиально непостижимого для нас. Методичное соединение частей в соответствии с целенаправленным замыслом – это нечто нам известное и понятное из собственного опыта, хотя бы только благодаря детскому конструктору.

Ну а как насчет наших организмов? Подобно самолету, каждый из нас является машиной, только гораздо более сложной. Были ли мы тоже спроектированы на чертежной доске, были ли наши части собраны воедино искусным механиком? Ответ: нет. Это неожиданный ответ, и он стал известен и понятен нам всего лишь около сотни лет назад. Когда Чарльз Дарвин впервые объяснил суть дела, многие люди не захотели или не смогли понять его. Я сам категорически отказывался верить в дарвиновскую теорию, когда, будучи ребенком, впервые о ней услышал. На протяжении всей истории человечества вплоть до середины XIX в. почти каждый твердо верил в противоположное – в теорию Разумного Создателя. Многие по-прежнему в нее верят – возможно, потому что правильное, дарвиновское, объяснение нашего существования все еще, как это ни удивительно, не является постоянным предметом в программе всеобщего образования. Разумеется, его сплошь и рядом понимают неверно.

Часовщика для заглавия этой книги я позаимствовал из знаменитого трактата, написанного богословом XVIII столетия Уильямом Пейли. Его труд “Естественная теология,

или Доказательства существования Бога и Его атрибутов, собранные из наблюдений за природой”, опубликованный в 1802 г., представляет собой самое известное изложение так называемого телеологического доказательства – неизменно наиболее впечатляющего из аргументов в пользу бытия Бога. Я безмерно восхищаюсь этой книгой, поскольку ее автор сделал для своего времени то же самое, что я стараюсь сделать сейчас. Ему было что сказать, он страстно в это верил и не пожалел сил, чтобы растолковать свою мысль со всей возможной ясностью. Он испытывал должное почтение перед живой природой и понимал, что ей требуется объяснение совершенно особого типа. Единственной – правда, довольно крупной – его ошибкой было само объяснение. Его решение задачи было традиционно религиозным, но он изложил его четче и убедительнее, чем кто бы то ни было прежде. Истинной разгадке, которая была совершенно иной, пришлось дожидаться одного из наиболее революционно мыслящих людей всех времен – Чарльза Дарвина.

Пейли начинает свою “Естественную теологию” со знаменитого пассажа:

Если, пересекая пустошь, я споткнусь о *камень* и меня спросят, откуда тут этот камень взялся, я мог бы вопреки всему, что знаю, ответить: он лежал здесь всегда. И было бы непросто выявить всю абсурдность такого ответа. Но предположим теперь, что я подобрал с земли *часы* и кто-то спрашивает, как они оказались

на этом месте. Исходя из всего, что я знаю, здесь мне было бы трудно представить себе тот же самый ответ, который я дал в прошлый раз, – что эти часы всегда тут находились.

Здесь Пейли проводит различие между природными физическими объектами, такими как камни, и преднамеренно созданными объектами, такими как часы. Далее он пространно описывает ту точность, с которой все шестеренки и пружины в часах подогнаны друг к другу, и то хитроумие, с которым они собраны в единый механизм. Если мы найдем на пустоши предмет, подобный часам, то, даже не зная, каким образом он возник, только лишь из точности и сложности его устройства мы будем вынуждены заключить,

что у часов непременно должен был быть создатель; что когда-то должен был существовать мастер или мастера, те, кто собрал эти часы ради той задачи, которую они теперь выполняют, – кто-то, кто постиг их устройство и придумал, как ими пользоваться.

Никто, находясь в здравом уме, не будет спорить с таким выводом. Пейли, однако, настаивает на том, что именно этим, в сущности, занимается атеист, созерцающий творения природы, поскольку:

...любое свидетельство продуманности, любое проявление замысла, какие имеются в часах, видны и в творениях природы – с той лишь разницей, что в случае природы они несопоставимо, неизмеримо

многочисленнее и значительнее.

Пейли доказывает свою мысль, красочно и благоговейно описывая внутреннее устройство механизмов жизни. Начинает он с человеческого глаза – примера, который впоследствии любил использовать Дарвин. На протяжении этой книги мы тоже будем регулярно к нему обращаться. Пейли сравнивает глаз с инструментом, выполненным по чертежу, например с телескопом, и приходит к заключению, что “глаз был создан для того, чтобы видеть, на основании в точности тех же доказательств, в силу которых телескоп был создан, чтобы помогать зрению”. У глаза, как и у телескопа, должен был быть разработчик.

Доводы Пейли изложены с искренним пылом и демонстрируют прекрасную осведомленность автора в современной ему биологии, но они ошибочны – изумительно, великолепно ошибочны. Аналогия между телескопом и глазом, между часами и живым организмом неверна. Вопреки очевидному единственным часовщиком природы являются слепые силы физики – хотя и приложенные очень особым образом. Настоящий часовщик способен к предвидению: он разрабатывает шестеренки и пружины и продумывает их взаимное расположение, держа в уме будущую цель. Естественный отбор – слепой, бессознательный, автоматический процесс, открытый Дарвином и объяснивший нам существование и кажущуюся преднамеренной форму всех живых существ, – не держит в уме никакой цели. У него нет ни со-

знания, ни самосознания. Он не планирует будущего. Он не обладает проницательностью, не видит наперед, он вообще ничего не видит. Если и можно сказать, что в природе он играет роль часовщика, то часовщик этот – *слепой*.

Я объясню все это и много чего еще. Но вот чего я не буду делать, так это принижать то изумление перед живыми “часами”, которое так вдохновляло Пейли. Напротив, у меня такое ощущение, что Пейли мог бы позволить себе и больший восторг, и я попытаюсь проиллюстрировать это. Когда речь заходит о священном трепете перед живыми “часами”, тут я не уступлю никому. И я чувствую себя более солидарным с его преподобием Уильямом Пейли, нежели с одним прославленным философом, хорошо известным своими атеистическими взглядами, с которым я однажды обсуждал эту тему за ужином. Я сказал, что не представляю себе, как можно было быть атеистом до 1859 г., когда было опубликовано “Происхождение видов” Дарвина. “А как же Юм?” – возразил мне философ. “Каким образом Юм объяснял организованную сложность живого?” – спросил я. “Никаким, – ответил мне философ. – Почему это должно требовать какого-то отдельного объяснения?”

Пейли понимал, что такое объяснение необходимо. Понимал это и Дарвин. Подозреваю, что в глубине души это понимал и мой собеседник философ. Как бы то ни было, моей задачей будет показать эту необходимость. Что же касается самого Давида Юма, то говорят иногда, будто бы ве-

ликий шотландский философ опроверг телеологическое доказательство за 100 лет до Дарвина. Но на самом деле Юм только критиковал ту логику, по которой кажущееся наличие замысла в природе служило *положительным* доказательством существования Бога. Он не предложил никакого *альтернативного* объяснения этой видимости замысла, а оставил вопрос открытым. Додарвиновский атеист мог бы вслед за Юмом сказать что-то вроде: “Мне нечем объяснить сложность биологических структур. Я знаю лишь, что Бог – это плохое объяснение, так что придется нам ждать и надеяться, пока кто-нибудь предложит идею получше”. Не могу отделаться от ощущения, что такая позиция, несмотря на свою логическую безупречность, должна была оставлять человека слегка неудовлетворенным, и хотя атеизм *логически* был возможен и до Дарвина, именно Дарвин сделал его интеллектуально полноценным. Мне хочется думать, что Юм согласился бы с этим, однако некоторые из его высказываний свидетельствуют о том, что он недооценивал красоту и сложность устройства биологических объектов. Юный естествоиспытатель Чарльз Дарвин мог бы рассказать ему об этом кое-что, но Юм был уже 40 лет как мертв, когда Дарвин записался в его университет в Эдинбурге.

Я так много говорил о сложности и о кажущемся замысле, как будто значение этих слов очевидно. В каком-то смысле так оно и есть – большинство людей имеют интуитивное представление о том, что такое сложность. Но эти понятия –

сложность и замысел – столь важны для данной книги, что я обязан подобрать более точные слова, чтобы передать наше ощущение, будто в сложности и кажущейся преднамеренности устройства есть нечто особенное.

Так что же такое сложный объект? Как его распознать? В каком смысле утверждение, что часы, авиалайнер, ухвертка или человек сложны, а луна проста, является верным? Первое неперменное свойство сложного объекта, какое может прийти в голову, – это неоднородность строения. Розовый молочный пудинг или бланманже просты в том смысле, что, разделив их надвое, мы получим две порции, имеющие одинаковое внутреннее устройство; другими словами, бланманже – предмет однородный. А автомобиль – предмет неоднородный: в отличие от бланманже практически любая “порция” автомобиля будет отличаться от других “порций”. Две половинки автомобиля – это не автомобиль. Отсюда следует почти неизбежный вывод, что сложный объект в противоположность простому состоит из множества частей более чем одного типа.

Подобная неоднородность или “многочастность” – условие, возможно, необходимое, но отнюдь не достаточное. Многие объекты образованы большим количеством составных частей и имеют гетерогенное внутреннее устройство, не будучи при этом сложными в том смысле, какой я вкладываю в это слово. Например, Монблан состоит из множества различных пород, сваленных в одну кучу таким образом, что,

где бы вы ни провели линию разреза, два получившихся кус-ка всегда будут различаться по своему внутреннему строению. У Монблана мы видим ту неоднородность состава, которой не обладает бланманже, но тем не менее Монблан не является сложным в биологическом значении слова.

Давайте подойдем к нашей задаче определения сложности с другой стороны – воспользуемся математическим понятием вероятности. Попробуем, к примеру, следующее определение: сложный объект – это нечто, чьи составные части расположены таким образом, что объяснить их взаимное расположение одной только случайностью было бы затруднительно. Позаимствую сравнение у одного выдающегося астронома: если вы возьмете детали самолета и побросаете их в кучу, вероятность собрать исправный “Боинг” будет исчезающе мала. Детали авиалайнера можно соединить миллиардами различных способов, и только один из них, или очень немногие, действительно даст авиалайнер. Разрозненные “детали” человека можно соединить друг с другом даже еще большим количеством способов.

Такой подход к определению сложности кажется вполне перспективным, но кое-чего по-прежнему не хватает. Можно возразить, что существуют миллиарды способов побросать друг на друга части Монблана и только один из них – Монблан. Так в чем же тогда та разница, которая делает авиалайнер и человека сложными, а Монблан простым? Любая давно существующая комбинация частей уникальна

и – задним числом – так же невероятно, как и любая другая. Свалка во дворе мастерской по утилизации старых самолетов уникальна. Двух идентичных свалок быть не может. Если вы станете сваливать куски самолетов в кучи, то шансы дважды получить одно и то же взаимное расположение фрагментов несильно отличаются от вероятности собрать таким путем работающий авиалайнер. Так почему бы нам не считать мусорную кучу, Монблан и луну такими же сложными, как самолет или собака, раз любой из названных объектов представляет собой “невероятное” сочетание атомов?

Кодовый замок моего велосипеда имеет 4096 возможных комбинаций. Все они одинаково “невероятны” в том смысле, что если вы покрутите колесики замка случайным образом, то появление любой конкретной комбинации цифр из 4096 возможных будет в равной степени немыслимым. Я могу бесцельно крутить колесики, потом смотреть на получившийся номер, каким бы он ни был, и восклицать: “Поразительно! Шансы появления именно этого номера составляли всего лишь 4096 к 1! Маленькое чудо!” Это будет равносильно тому, чтобы считать определенное расположение камней, образующих гору, или металлических деталей на свалке “сложным”. Но из всех 4096 уникальных комбинаций по-настоящему интересна только одна, 1207, – единственная, которая открывает замок. Уникальность комбинации 1207 видна не только задним числом – она была заранее предусмотрена производителем. Если, покрутив колесики случайным

образом, вы с первого раза попадете на 1207, то вы сможете украсть велосипед, и это будет выглядеть как маленькое чудо. Если у вас получится наугад открыть кодовый замок банковского сейфа, то это будет выглядеть как очень большое чудо, поскольку шансы такого события составляют один на много миллионов, и в этом случае вы сможете украсть целое состояние.

В нашей аналогии угадывание кода, открывающего банковский сейф, равносильно сборке “Боинга-747” путем беспорядочного разбрасывания кусков металла. Из всех миллионов уникальных и, рассуждая ретроспективно, невероятных комбинаций кодового замка только одна открывает его. Точно так же из всех миллионов уникальных и – задним числом – невероятных куч металлолома только одна – или очень немногие – сможет взлететь. Уникальность той комбинации, которая взлетает, или той, которая открывает сейф, видна нам не только ретроспективно. Она была predetermined заблаговременно. Производитель замков установил данную комбинацию и сообщил ее управляющему банком. Способность к полету – это тоже такое свойство авиалайнера, которое мы устанавливаем заранее. Видя в воздухе самолет, мы можем быть уверены, что он не был собран методом беспорядочного сваливания деталей в кучу, потому что нам известно, что у случайной конгломерации запчастей шансы взлететь слишком ничтожны.

Если мы рассмотрим все возможные способы взгромоз-

дить друг на друга скалы, из которых состоит Монблан, верно, что лишь один из них будет тем Монбланом, что мы знаем. Но этот известный нам Монблан получил свое название ретроспективно. Любой из множества способов свалить различные минералы в одну кучу тоже считался бы горой и мог бы быть назван Монбланом. В том конкретном Монблане, который мы видим, нет ничего особенного, ничего предопределенного заранее, ничего подобного взлету авиалайнера или распахивающейся дверце сейфа и вываливающимся из него богатствам.

Что же будет эквивалентно распахивающейся дверце сейфа или летящему самолету в случае живого организма? Ну, иногда в буквальном смысле то же самое. Ласточки летают. Как мы уже видели, летающий аппарат соорудить не так-то просто. Если вы возьмете все ласточкины клетки и соедините их вместе случайным образом, то на уровне наших повседневных реалий вероятность того, что получившийся в результате объект будет летать, вполне можно принять за ноль. Не все живые существа летают, но тогда они делают что-то другое, столь же невероятное и точно так же предопределенное. Киты не летают, но зато они плавают и приспособлены к этому не хуже, чем ласточки к полету. Вероятность того, что случайное скопление китовых клеток сможет плавать (не говорю уже о том, чтобы плавать так же быстро и ловко, как кит), пренебрежимо мала.

Тут бдительный философ с острым орлиным взглядом (у

орлов очень хорошее зрение; вы не сможете изготовить орлиный глаз, соединяя хрусталики и фоторецепторы случайным образом), начнет бормотать что-нибудь насчет порочного круга в рассуждениях. Ласточки летают, но не плавают, а киты плавают, но не летают. Определяя успех нашей случайной конгломерации клеток как способность плавать или летать, мы делаем это задним числом. Предположим, мы условились определять этот успех как способность к X (не уточняя, что именно означает X), до тех пор пока не свалим все клетки в кучу. Такая случайным образом получившаяся куча может оказаться, подобно кроту, эффективной машиной для рытья или будет хорошо лазать по веткам, как обезьяна. Она может мастерски заниматься виндсерфингом, или собирать промасленную ветошь, или передвигаться по постоянно уменьшающимся окружностям, чтобы в конце концов исчезнуть. Этот список можно было бы продолжать до бесконечности. Или нет?

Если бы список в самом деле *можно было* продолжать до бесконечности, тогда в замечании нашего воображаемого философа была бы доля истины. Если бы только, слепив любую случайную комбинацию материи, мы могли бы задним числом увидеть, что получившийся результат годится для *чего-нибудь*, тогда я действительно смухлевал насчет кита и ласточки. Но биологи предъявляют своим объектам гораздо более конкретные требования, чем просто “годиться для чего-нибудь”. Чтобы мы могли назвать объект животным

или растением, он должен как минимум быть способен жить *каким-либо способом* (а точнее, он или хотя бы некоторые представители его вида должны быть в состоянии дожить до собственного размножения). Справедливо, что существует немало способов поддержания жизни: можно летать, плавать, скакать с ветки на ветку и т. д. Но, *как бы ни были многообразны способы быть живым, на свете, безусловно, неизмеримо больше способов быть мертвым* – или, вернее, неживым. Вы можете объединять клетки друг с другом случайным образом снова и снова в течение миллиардов лет, но у вас ни разу не получится такого сочетания, которое смогло бы, пусть плохо, летать или плавать, рыть или бегать – *выполнять какое угодно* действие, которое хотя бы отдаленно напоминало поддержание себя в живом состоянии.

Моя аргументация была довольно длинной и развернутой, так что теперь самое время вспомнить, с чего мы, вообще говоря, начали. Мы искали точных слов для объяснения того, что мы имеем в виду, когда называем нечто сложным. Пытались ухватить особенность, общую для людей, кротов, дождевых червей, авиалайнеров и часов, но отсутствующую у бланманже, луны и Монблана. Ответ, к которому мы пришли, таков: сложные объекты обладают тем или иным предопределенным свойством, приобрести которое благодаря чистой случайности было бы крайне маловероятно. В случае живых организмов это предопределенное качество можно в каком-то смысле назвать “профессионализмом” – в чем бы

он ни заключался: в способности к полету, вызывающему завистливое восхищение у авиаконструктора, или в чем-то более общем. Например, в умении избегать гибели или распространять свои гены при размножении.

Умение избегать гибели — это свойство, на котором стоит остановиться поподробнее. Будучи предоставлено самому себе, тело стремится прийти в состояние равновесия с окружающей средой. Именно это случается с телом после смерти. Измерив какой-либо показатель живого организма, например температуру, кислотность, содержание воды или электрический заряд, вы, как правило, обнаружите, что результат ваших измерений существенно отличается от соответствующего показателя среды. Как известно, наши тела обычно теплее своего окружения, и в холодном климате им приходится тратить много усилий на поддержание этой разницы. Когда мы умираем, эта работа прекращается, разница начинает выравниваться, и в конечном итоге температура нашего тела оказывается той же, что и у окружающей нас среды. Не все животные так усиленно избегают температурного равновесия со своим окружением, но все они проделывают *какую-нибудь* подобную работу. Например, в засушливых местностях животные и растения стараются поддерживать определенный уровень содержания жидкости в своих клетках, борясь с естественной утечкой воды в сухой внешний мир. Если они не справятся с задачей, то погибнут. Говоря в общем, если бы живые организмы активно не сопро-

тивлялись, они в конечном итоге слились бы с окружающей средой. И это как раз то, что ожидает их после смерти.

За исключением искусственных механизмов, которые мы уже договорились считать почетными членами живого мира, никакие неживые существа подобной работы не проделывают. Они не сопротивляются силам, стремящимся привести их в равновесие с окружающей средой. Монблан, бесспорно, существовал довольно долго и какое-то время еще, вероятно, просуществует, однако он ничего для этого не делает. Когда камень под действием силы тяготения приходит в состояние покоя, он остается лежать где лежит. Для того чтобы удержать его на месте, никакой работы совершать не требуется. Монблан существует и будет существовать до тех пор, пока не выветрится или не будет разрушен землетрясением. Он не принимает мер по ремонту неисправностей; упав, он не поднимется снова, как это сделало бы живое существо. Он просто подчиняется обычным законам физики.

Значит ли это, что живые существа законам физики не подчиняются? Разумеется, нет. Нет никаких причин полагать, будто бы в живой материи законы физики попорчены. Здесь нет ничего сверхъестественного, никакая “жизненная сила” не противостоит фундаментальным силам природы. Имелось в виду только то, что, наивно применяя законы физики сразу ко *всему* живому телу, вы навряд ли слишком преуспеете в объяснении его поведения. Организм – объект сложный, состоящий из множества частей, и, чтобы понять

его поведение, необходимо применять физические законы к частям, а не к целому. Тогда обнаружится, что поведение всего тела – результат взаимодействия его частей.

Возьмем, к примеру, законы движения. Если вы подбросите в воздух мертвую птицу, она опишет изящную параболу – точь-в-точь как сказано в учебниках физики, – после чего упадет на землю и останется там лежать. Она будет вести себя так, как должно себя вести твердое тело, обладающее определенной массой и определенным аэродинамическим сопротивлением. Но если вы подбросите в воздух живую птицу, то она не станет описывать параболу и неподвижно лежать на земле. Она улетит и, возможно, ни разу не приземлится по эту сторону границы графства. Причина этого в том, что у птицы работают мышцы – они борются с гравитацией и другими физическими силами, воздействующими на целостный организм. Внутри каждой клетки мышц законы физики соблюдаются, в результате чего мышцы приводят в движение крылья таким образом, что птица остается в воздухе. Птица не нарушает законов тяготения. Сила тяжести не перестает тянуть ее вниз, однако крылья выполняют активную работу (повинуясь законам физики, действующим в мышцах) и позволяют птице лететь, несмотря на земное притяжение. Нам может показаться, что птица бросает вызов физическому закону, только если мы настолько наивны, что относимся к ней просто как к бесструктурному куску материи, который столько-то весит и в такой-то мере преодоле-

вает сопротивление воздуха. Поведение всего этого тела будет нам понятно лишь тогда, когда мы вспомним, что внутри него имеется множество деталей, каждая из которых подчиняется законам физики, действующим на ее уровне. Разумеется, это не является исключительной особенностью живых существ. Такие рассуждения применимы и ко всем машинам, созданным человеком, а потенциально и к любому сложному, многосоставному объекту.

Это приводит меня к теме, обсуждением которой я собираюсь завершить данную главу, получившуюся весьма философской, – к вопросу о том, что следует считать объяснением. Мы уже увидели, *что* будет здесь подразумеваться под сложным объектом. Но какого рода объяснение нас удовлетворит, если мы поинтересуемся, *как* работает сложно устроенная машина или живой организм? Ответ будет именно тем, к которому мы пришли в предыдущем абзаце. Если мы хотим понять, как работает искусственный аппарат или живой организм, нам нужно изучить его составные части и то, каким образом они взаимодействуют друг с другом. Если существует некий сложный объект, еще нами не понятый, мы сможем объяснить его через его более простые детали, уже доступные нашему пониманию.

Если я спрашиваю у инженера, как работает паровой двигатель, то мне вполне ясно, какого рода ответ меня удовлетворил бы. Если мне ответят, что данный механизм приводится в действие “движущей силой”, то меня, как и в свое

время Джулиана Хаксли, это вряд ли впечатлит. Если же мой инженер начнет утомлять меня рассуждениями о том, что целое больше, чем сумма его частей, я прерву его, сказав: “Не надо мне про это, расскажите, как оно *работает*”. Что мне на самом деле хотелось бы услышать – это рассказ о том, каким образом составные части двигателя взаимодействуют друг с другом, обеспечивая работу двигателя в целом. Изначально я был бы готов выслушать объяснение, оперирующее довольно крупными компонентами, внутреннее строение и поведение которых сами по себе могут быть очень сложными и – на тот момент – необъясненными. Элементы, на основе которых будет построено такое изначально удовлетворительное объяснение, могут называться “топка”, “котел”, “цилиндр”, “поршень”, “центробежный регулятор”. Мой инженер мог бы сказать мне (пока что без дополнительных разъяснений), какую задачу выполняет каждый из этих компонентов. На данном этапе я удовлетворился бы этим и не стал задавать вопросов о том, каким образом *каждый* компонент делает свою конкретную работу. Приняв за *данность* то, что они свою работу выполняют, я теперь смогу понять, как их взаимодействие приводит в движение весь механизм.

Разумеется, затем я волен спросить: а как работают отдельные части? Приняв как *факт*, что центробежный регулятор управляет интенсивностью подачи пара, и используя этот факт для понимания работы двигателя в целом, теперь я обращаю свое любопытство к самому центробежному регу-

лятору. Мне хочется найти объяснение, каким именно образом он выполняет свои задачи, — объяснение, оперирующее его собственными составными частями. Внутри компонентов имеется иерархия субкомпонентов. Поведение компонентов на каждом конкретном уровне мы объясняем взаимодействием субкомпонентов, внутреннее устройство которых временно принимаем на веру, и уходим вглубь по иерархической лестнице до тех пор, пока не дойдем до частиц столь простых, что в нашей повседневной жизни нам нет нужды задаваться вопросами по их поводу. Например, правы мы или нет, но в большинстве своем мы вполне удовлетворены тем, что существуют твердые железяки, и готовы использовать их в качестве простейших единиц для объяснения состоящих из них более сложных механизмов.

Физики-то, конечно, свойства железяк на веру не принимают. Они задаются вопросом, отчего те твердые, и спускаются по иерархической лестнице еще на несколько этажей, вплоть до элементарных частиц и кварков. Но для большинства из нас жизнь слишком коротка, чтобы так углубляться. Обычно, какой уровень сложной организации ни возьми, для получения удовлетворительного объяснения достаточно сойти на один-два этажа вниз и не более. Устройство автомобиля объясняют при помощи таких понятий, как цилиндры, карбюраторы и свечи зажигания, пусть даже каждый из этих компонентов и занимает вершину пирамиды объяснений на более низких уровнях. Но вы сочтете меня несколько

высокопарным, если, отвечая на вопрос, как работает автомобиль, я начну рассуждать о законах Ньютона и о термодинамике. И уж полнейшим невеждой я буду выглядеть в ваших глазах, если в ответ заговорю об элементарных частицах. Хотя абсолютно верно, что в основе основ работы автомобиля лежит взаимодействие элементарных частиц, все равно куда практичнее объяснять эту работу взаимодействием между поршнями, цилиндрами и свечами зажигания.

Действия компьютера можно объяснить в терминах взаимодействий между полупроводниковыми электронными схемами, работу которых, в свою очередь, физики объясняют при помощи элементов более низких уровней. Но на практике во многих случаях попытка постичь поведение целого компьютера на любом из этих уровней будет пустой тратой времени. Электронных схем слишком много, так же как и соединений между ними. В объяснении, которое нас удовлетворит, количество взаимодействий должно быть достаточно небольшим, чтобы их можно было удержать в голове. Вот почему, желая разобраться, как работает компьютер, мы для начала предпочтем объяснение, в котором участвует где-то с полдюжины главных подкомпонентов: память, процессор, внешнее запоминающее устройство, блок управления, регулятор каналов ввода-вывода и т. д. Затем, разобравшись во взаимосвязях между этими основными компонентами, мы, возможно, поинтересуемся внутренним устройством каждого из них. Вероятно, только инженеры соответ-

ствующего профиля углубляются до уровня устройства логических операций *AND* или *NOR*. И только физики погружаются еще глубже, на уровень поведения электронов в полупроводниковом материале.

Для тех, кто любит всякие “измы”, мой подход к пониманию того, как все работает, вероятно, стоит назвать “иерархическим редукционизмом”. Если вы читаете модные журналы для интеллектуалов, то вы могли заметить, что понятие “редукционизм” сродни понятию “грех” – его противникам достаточно лишь упомянуть его, не поясняя. В определенных кругах назвать себя редукционистом – это все равно что признаться в поедании маленьких детишек. Но как на самом деле детишек никто не ест, точно так же в действительности никто и не является редукционистом в каком угодно значении этого слова, против которого стоило бы восставать. Этот вымышленный редукционист – всеми осуждаемый и существующий лишь в воображении своих оппонентов – пытается объяснить сложные вещи *непосредственно* через *наименьшие* их составные части, а в самых крайних формах данного мифа – даже просто как *сумму* этих частей. Иерархический же редукционист для объяснения любого сложного объекта, на каком бы конкретном уровне организации тот ни находился, использует объекты, расположенные только на одну ступень ниже, которые, вероятно, и сами по себе достаточно сложны и нуждаются в подразделении на собственные составляющие, и т. д. Любому ясно – хотя и считается, будто

мифический пожирающий детишек редукционист это отрицает, – что для верхних уровней такой иерархии подходят объяснения, совершенно не похожие на те, которые годятся для более низких уровней. Именно поэтому автомобили лучше объяснять на уровне карбюраторов, а не кварков. Однако иерархический редукционист полагает, что карбюраторы можно объяснить, прибегнув для этого к более мелким единицам ..., которые объясняются с помощью более мелких единиц ..., которые в конечном счете объясняются поведением мельчайших из элементарных частиц. В этом смысле редукционизм – просто синоним искреннего желания разобраться, как что работает.

Мы начали этот заключительный раздел с вопроса, какого рода объяснение сложных объектов могло бы нас удовлетворить. Только что мы рассмотрели этот вопрос с точки зрения механизма “как он работает?” и пришли к выводу, что поведение сложного объекта должно объясняться в терминах взаимодействий между его составными частями, рассматриваемыми в виде следующих друг за другом уровней некоей организованной иерархии. Но существует еще и вопрос другого рода: каким образом сложный объект вообще мог возникнуть? Этот вопрос будет подробно разбираться на протяжении всей книги, и потому сейчас я не буду особенно многословен. Скажу только, что здесь подходит тот же самый общий принцип, который применялся для понимания механизмов работы. Сложный объект – это то, что мы не

склонны воспринимать как нечто само собой разумеющееся, поскольку он слишком “невероятен”. Он не мог появиться на свет в силу единичной случайности. Мы будем объяснять его возникновение постепенными, накапливающимися, пошаговыми преобразованиями более простых исходных объектов, достаточно примитивных для того, чтобы возникнуть случайно. Как “перепрыгивающий через уровни” редукционизм не годится для объяснения механизмов работы и должен уступить место пошаговому движению вниз по иерархической лестнице, точно так же и процесс *возникновения* сложного объекта мы не можем представить как один шаг. Нам нужно снова прибегнуть к серии маленьких шажков, на сей раз следующих друг за другом во времени.

Свою изумительно написанную книгу “Творение” оксфордский физхимик Питер Аткинс начинает так:

Я приглашаю ваш разум в путешествие. Это путешествие будет всеобъемлющим, оно приведет нас к самым границам пространства, времени и человеческого понимания. По пути я докажу вам, что на свете нет ничего непостижимого и что все необычайно просто... Значительная часть Вселенной вовсе не нуждается в объяснении. Например, слоны. Если молекулы научились соперничать друг с другом и создавать другие молекулы по своему образу и подобию, то придет срок, и слоны и прочие похожие на них существа начнут расхаживать по окрестностям.

Аткинс полагает, что эволюция сложных объектов, явля-

ющаяся предметом данной книги, неизбежна, если обеспечить подходящие физические условия. И он задается вопросом, каковы минимальные необходимые физические условия, каков тот минимум проектных работ, который пришлось бы сделать очень ленивому Создателю, с тем чтобы дальше наблюдать, как в один прекрасный день возникнет Вселенная, а затем слоны и прочие сложные вещи. Со своих позиций ученого-физика Аткинс приходит к ответу, что Создатель мог позволить себе быть безгранично ленивым. Те исходные элементы, которые нам необходимо постулировать, чтобы понять возникновение всего на свете, либо состоят в буквальном смысле из ничего (по мнению некоторых физиков), либо (согласно другим физикам) так предельно просты, что даже близко не требуют для себя чего-то столь возвышенного, как преднамеренный акт Творения.

Аткинс говорит, будто слонам и прочим сложным объектам вовсе не требуется никакого объяснения. Но это потому, что он физик и принимает биологическую теорию эволюции на веру. Он не то чтобы отказывает слонам в объяснении, просто его устраивает, что есть биологи, которые занимаются объяснением слонов, для чего принимают на веру некоторые факты из физики. Таким образом, его задача как ученого-физика – подтвердить, что мы вправе использовать эти факты без доказательства. Что он успешно и делает. Я же биолог и нахожусь в обратной ситуации. Факты физики, факты из мира простоты, я использую как данность. И

не моя забота, если по поводу понимания некоторых из этих фактов сами физики еще не пришли к согласию. Мое дело при помощи простых понятий, уже освоенных или как раз осваиваемых физиками, объяснять слонов и мир сложных объектов. Физика интересуют первопричины и основополагающие законы природы. А биолога интересует сложность. Биолог пытается объяснить на языке простых объектов то, как сложные объекты работают и как они возникли. Он может считать свою задачу выполненной, когда доходит в своих объяснениях до понятий настолько простых, что вправе с чистой совестью сдать их на руки физикам.

Я отдаю себе отчет в том, что моя характеристика сложного объекта – “нечто, отличающееся статистической невероятностью, определяемой не только задним числом” – может показаться чересчур оригинальной. Так же как и то, что я называл физику “изучением простоты”. Если вы предпочитаете определять сложность каким-то иным образом – я не против и готов продолжать разговор, приняв ваше определение. Что для меня действительно имеет значение, так это то, что, как бы мы ни *называли* статистическую-невероятность-определяемую-не-только-задним-числом, это важное свойство, которое необходимо объяснять особенным образом. Свойство, характеризующее биологические объекты и противопоставляющее их физическим. То объяснение, к которому мы придем, не должно отрицать законов физики. Оно и будет опираться только на них и ни на что другое. Но физические за-

коны будут здесь применяться неким особым способом – таким, о котором обычно не говорится в учебниках по физике. Этот особый подход – дарвиновский. Его квинтэссенцию я изложу в главе 3, когда буду говорить о *накапливающем отборе*.

А пока что я собираюсь вслед за Пейли привлечь внимание к тому, насколько грандиозна предстоящая нам задача – объяснить невероятную степень сложности биологических объектов, а также красоту и изящество их устройства. Глава 2 представляет собой развернутое обсуждение одного конкретного примера – “радара” у рукокрылых, открытого через много лет после Пейли. А здесь, в настоящей главе, я разместил изображение глаза (рис. 1) – ах, как бы понравился Пейли электронный микроскоп! – вместе с двумя последовательными увеличениями отдельных участков. В верхней части рисунка можно увидеть весь глаз в разрезе. При таком увеличении глаз выглядит как оптический прибор. Сходство с фотоаппаратом очевидно. Диафрагма радужки отвечает за постоянное изменение апертуры, или f -числа. Хрусталик – линза, причем не единственная, а часть сложной системы линз – та, что обеспечивает фокусировку. Наведение на резкость осуществляется сжиманием хрусталика при помощи мышц (а у хамелеонов – перемещением его взад-вперед, как и в камерах, созданных человеком). Изображение отбрасывается на сетчатку, расположенную сзади, и возбуждает там фотоэлементы.

Прозрачная жидкость

Прозрачный гель

Хрусталик

Сетчатка

Диафрагма
радужки

Увеличенный
участок

Мышцы

Слепое пятно

Зрительный нерв

Свет

Электронное
"сопряжение" с мозгом

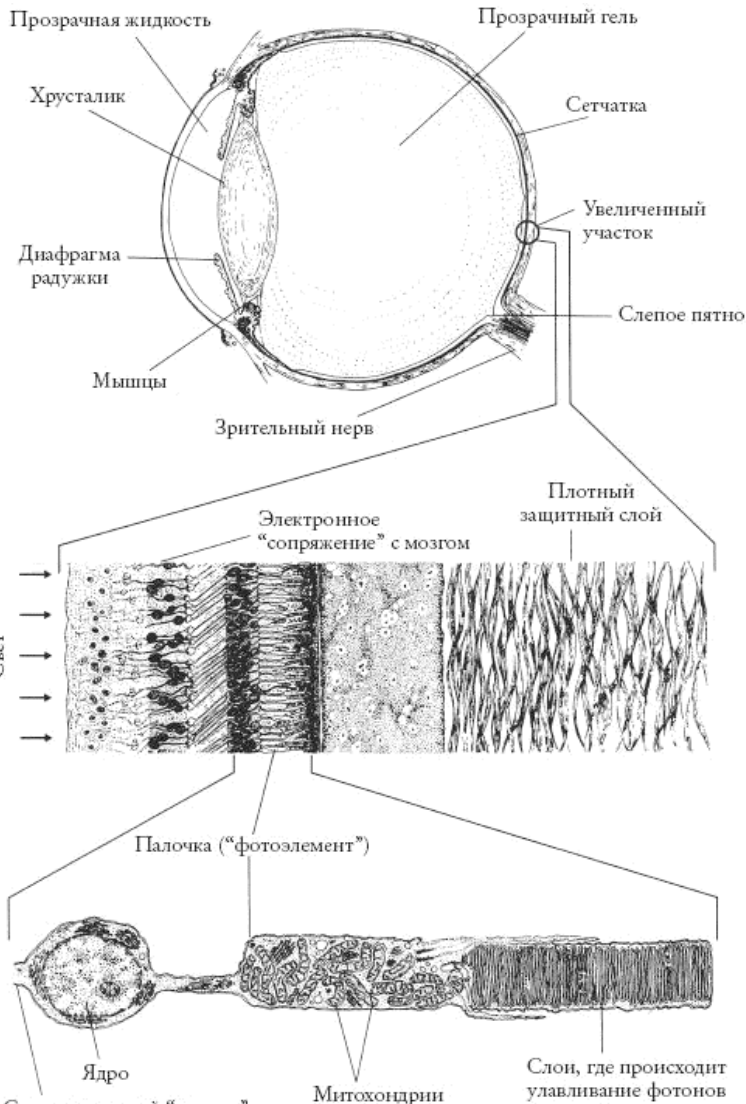
Плотный
защитный слой

Палочка ("фотоэлемент")

Ядро

Митохондрии

Слой, где происходит
улавливание фотонов



В средней части рис. 1 изображен маленький участок сетчатки под увеличением. Свет падает слева. На светочувствительные клетки (фотоэлементы) он попадает не сразу. Они залегают в глубине и смотрят в противоположную сторону от него. Позже мы еще вернемся к этой странной особенности. В первую очередь свет попадает на слой ганглиозных клеток, образующих своего рода “электронное соединение” между “фотоэлементами” и головным мозгом. На самом деле, прежде чем транслировать информацию в мозг, ганглиозные клетки производят ее первичную обработку, весьма сложную, чего слово “соединение” не вполне отражает. Справедливее было бы назвать их “периферийным компьютером”. Провода от ганглиозных клеток идут вдоль поверхности сетчатки к так называемому слепому пятну, где они ныряют вглубь, формируя зрительный нерв – “магистральный кабель”, ведущий к мозгу. В этом “электронном соединении” участвует около 3 млн ганглиозных клеток, которые собирают информацию примерно от 125 млн фотоэлементов.

В самой нижней части рисунка одна такая клетка-фотоэлемент, палочка. Рассматривая ее тончайшее устройство, не упускайте из виду, что вся эта сложность повторяется в сетчатке каждого глаза 125 млн раз. А если говорить об организме в целом, то счет структурам, сопоставимым по слож-

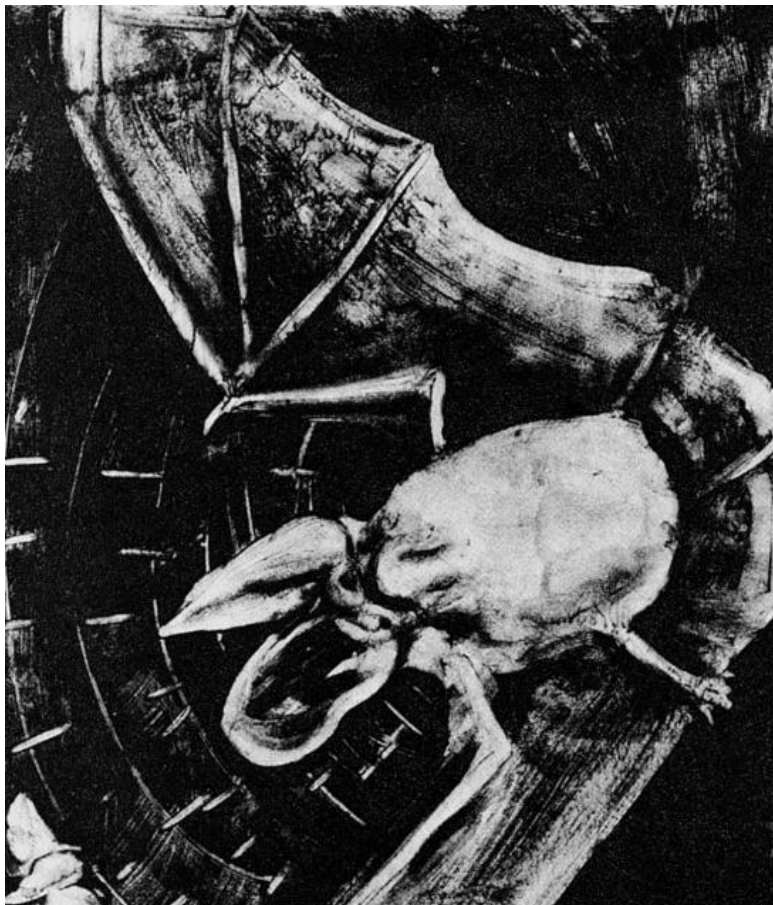
ности с той, что вы видите, пойдет уже на триллионы. Сто двадцать пять миллионов – число фотоэлементов в сетчатке – это примерно в 5 тыс. раз больше числа наименьших различимых точек на качественной журнальной фотографии. Складчатые мембраны в правой части палочки – это то, что, собственно говоря, и улавливает свет. Их слоистая структура позволяет клетке более эффективно улавливать фотоны – элементарные частицы, из которых состоит свет. Если фотон не попал на первую мембрану, он может попасть на вторую, и т. д. Вследствие этого существуют глаза, способные заметить единичный фотон. Самым высокочувствительным фотоэмульсиям, какие только есть в распоряжении у фотографов, требуется в 25 раз больше фотонов для того, чтобы зафиксировать световую точку. Объекты, что расположены в средней части клетки и напоминают лепешки, – это главным образом митохондрии. Они встречаются не только в фоторецепторах, но и в большинстве других типов клеток. Каждая митохондрия – это целое химическое предприятие, где в процессе производства сырья, пригодного для извлечения энергии, происходит переработка более 700 различных веществ. Для этого вдоль поверхности причудливо сложенной внутренней митохондриальной мембраны выстраиваются длинные, пересекающиеся друг с другом конвейеры. Округлое тело в левой части рис. 1 – это ядро. Оно тоже присутствует во всех растительных и животных клетках. Как мы увидим в главе 5, в каждом ядре хранится цифровая база

данных, где закодировано больше информации, чем во всех 30 томах Британской энциклопедии, вместе взятых. И это относится к *каждой* клетке, а не к совокупности клеток организма.

Палочка, изображенная в нижней части рисунка, – это одна-единственная клетка. Общее число клеток организма (человеческого) составляет около 10 трлн. Когда вы поедаете бифштекс, это равносильно уничтожению более 100 млрд копий Британской энциклопедии.

Глава 2

Превосходное устройство



Естественный отбор – это слепой часовщик. Он слеп, поскольку не заглядывает в будущее, не просчитывает последствий, не исходит из какой-либо цели. Однако живые результаты естественного отбора ошеломляют нас видимостью замысла – как будто их смастерил знаток своего дела – и создают поразительную иллюзию продуманности и целенаправленности. Задача данной книги – разрешить этот парадокс удовлетворительным для читателя образом, а задача настоящей главы – еще больше удивить читателя тем, насколько велика эта иллюзия замысла. Мы рассмотрим один конкретный пример и убедимся, что если вести речь о сложности и красоте устройства, то Пейли сказал ничтожно мало.

Орган или тело можно назвать хорошо сконструированными, если они обладают некими свойствами, которые им мог бы придать толковый инженер ради выполнения какой-то осмысленной задачи: полета, плавания, зрения, питания, размножения – или, говоря более широко, для выживания и распространения генов организма. И вовсе не обязательно, чтобы их устройство было *самым лучшим*, какое только может придумать инженер. Зачастую то, что является пределом возможностей одного инженера, удастся превзойти другому – особенно если этот другой инженер живет в эпоху более развитых технологий. Но любой инженер способен распознать объект, который был, пусть даже и плохо, разработан для какой-то цели, а в большинстве случаев и по-

нять, какова была эта цель, просто исходя из строения этого объекта. В главе 1 мы занимались по большей части философскими сторонами вопроса. Сейчас же я собираюсь изложить один конкретный, основанный на фактах пример, который, я уверен, способен поразить любого инженера, – а именно рассказать о сонаре (“радаре”) летучих мышей. Я буду идти по пунктам и каждый раз начинать с формулировки той или иной проблемы, стоящей перед живой машиной. Затем я буду рассматривать возможные варианты решения этой проблемы, какие могли бы прийти в голову разумному инженеру, а в заключение рассказывать о том решении, которое было принято природой на самом деле. Разумеется, этот конкретный пример взят просто для иллюстрации. Инженер, которого впечатлят летучие мыши, наверняка будет впечатлен и другими бесчисленными примерами устройства живых объектов.

Перед летучими мышами стоит проблема: как ориентироваться в темноте? Они охотятся по ночам и не могут использовать свет, чтобы обнаруживать добычу и не наткаться на препятствия. Вы, возможно, скажете, что эта трудность надуманная и что ее легко избежать, просто поменяв свои привычки и охотясь днем. Однако дневная экономика и без того интенсивно эксплуатируется другими существами, например птицами. Поскольку имелись способы добывать себе хлеб насущный и ночью, а все альтернативные дневные профессии были уже заняты, то естественный отбор благопри-

ятствовал тем летучим мышам, которые смогли преуспеть в ремесле ночной охоты. Кстати говоря, эта ночная деятельность уходит своими корнями, вероятно, к предкам всех нас, млекопитающих. Скорее всего, в те времена, когда в дневной экономике господствовали динозавры, нашим предкам-млекопитающим удавалось выжить, только кое-как перебиваясь по ночам. Лишь после необъяснимого массового вымирания динозавров около 65 млн лет назад наши предки получили возможность выглянуть на свет дневной в хоть сколько-нибудь заметных количествах.

Но вернемся к летучим мышам. Перед ними стоит инженерная задача: находить дорогу и добычу в темноте. Летучие мыши – не единственные, кто сталкивается сегодня с этой трудностью. Очевидно, что ночные насекомые, которые служат летучим мышам добычей, сами тоже должны как-то ориентироваться в пространстве. Глубоководным рыбам и китам перепадает мало света что днем, что ночью – или не перепадает вовсе. Это связано с тем, что солнечные лучи не могут проникать далеко в толщу воды. Рыбы и дельфины, живущие в чрезвычайно мутной воде, не имеют возможности видеть, поскольку, хотя свет там и есть, его загораживают и рассеивают взвешенные частички мути. Множеству других современных животных также приходится обеспечивать свое существование в условиях, когда использование зрения затруднено или невозможно.

Если бы инженеру было нужно решить проблему манев-

рирования в темноте, какие варианты он стал бы рассматривать? Первое, что могло бы прийти ему в голову, – это создать источник света, использовать нечто вроде фонарика или прожектора. Самостоятельно производить свет способны светляки и некоторые глубоководные рыбы (обычно при помощи бактерий), но процесс этот, судя по всему, крайне энергоемкий. Светляки излучают свет, чтобы привлечь партнеров для спаривания. Это не требует чрезмерных энергетических затрат: в ночной темноте самка видит с определенного расстояния точечные огоньки самцов, когда те попадают в поле ее зрения. Но для того, чтобы использовать свет для ориентировки, энергии требуется несоизмеримо больше, так как в этом случае глаза должны улавливать каждую крохотную порцию света, отражающуюся от каждой детали окружающей обстановки. Таким образом, тот источник света, который используется в качестве освещающих дорожку фар, должен быть значительно ярче, чем тот, что служит сигнальным маяком для других существ. Как бы то ни было, в расходе энергии тут дело или в чем другом, но положение дел, по всей видимости, таково, что, за возможным исключением некоторых жуткого вида глубоководных рыб, никто из животных, кроме человека, не использует искусственное освещение для ориентировки.

О чем еще мог бы подумать наш инженер? Ну, слепые люди иногда обладают способностью, которая может показаться сверхъестественной, – чувствовать препятствия на сво-

ем пути. Она была названа “лицевым зрением”, так как, по словам самих слепых, это ощущение несколько сродни прикосновениям к лицу. Помнится, как-то сообщалось об одном полностью слепом мальчике, который, используя “лицевое зрение”, с хорошей скоростью объезжал свой квартал на трехколесном велосипеде. Эксперименты показали, что на самом деле это “лицевое зрение” ничего общего с прикосновениями к лицу не имеет, хотя ощущения могут *отражаться* на переднюю часть лица, подобно отраженным (фантомным) болям в ампутированной конечности. В действительности же, как оказалось, ощущения эти приходят через уши. Слепые люди, даже не осознавая этого, для обнаружения препятствий используют *эхо* своих шагов и прочих звуков. Еще до того, как это выяснилось, инженеры уже создавали приборы, работающие на том же принципе, – к примеру, чтобы измерить глубину моря под кораблем. Стоило изобрести эту методику, как ее применение разработчиками оружия для обнаружения подводных лодок стало только вопросом времени. В ходе Второй мировой обе воюющие стороны во многом полагались на такие устройства – например, на те, что известны под кодовыми названиями *Asdic* (британское) и *Sonar* (американское), а также на использующие сходную технологию системы *Radar* (американская) и *RDF* (британская), которые улавливают эхо не звуковых, а радиосигналов.

Первооткрыватели сонара и радара не знали об этом, но

теперь всему миру известно, что рукокрылые, а точнее естественный отбор, работавший над рукокрылыми, отладили этот метод на десятки миллионов лет раньше, и их “радар” обеспечивает распознавание объектов и навигацию столь великолепно, что инженеру остается лишь неметь от восхищения. Если подходить формально, то говорить о “радаре” у летучих мышей некорректно, так как они не используют радиоволны. Это скорее сонар. Однако математические теории, лежащие в основе радара и сонара, очень сходны, и наше научное понимание подробностей того, что происходит у летучих мышей, достигнуто во многом благодаря применению к ним теоретических основ работы радара. Американский зоолог Дональд Гриффин, которому мы в значительной степени обязаны открытием сонара у рукокрылых, придумал термин “эхолокация”, призванный объединить все механизмы наподобие сонара или радара – как используемые животными, так и созданные человеком. На практике же это слово стало применяться главным образом по отношению к сонару у животных.

Неверно говорить о летучих мышах так, будто все они одинаковы. Это все равно что говорить о собаках, львах, горностах, медведях, гиенах, пандах и выдрах сразу одним скопом только потому, что все они относятся к хищникам. Различные группы рукокрылых используют сонар совершенно по-разному, и похоже, что они “изобрели” его порознь и независимо, – точно так же, как британцы, немцы

и американцы независимо друг от друга изобрели радар. Не все рукокрылые используют эхолокацию. Крыланы, обитающие в тропических областях Старого Света, хорошо видят и ориентируются только при помощи зрения. Тем не менее представители одного или двух видов крыланов, например *Rousettus*, способны находить дорогу в полной темноте, когда глаза, как бы хороши они ни были, бессильны. Они пользуются сонаром, хотя и более топорным по сравнению с тем, что встречается у летучих мышей меньшего размера, хорошо знакомых нам, жителям умеренных широт. *Rousettus* во время полета громко и ритмично щелкает языком и ориентируется в пространстве, измеряя промежуток времени от каждого щелчка до его эха. Немалая доля щелчков *Rousettus* слышна и нам (из этого по определению следует, что они относятся к звукам, а не к ультразвукам; ультразвук – это тот же звук, только слишком высокий для человеческого уха).

Теоретически чем выше звук, тем более точным будет сонар. Низкие звуки характеризуются большей длиной волны, что не позволяет различать объекты, расположенные поблизости друг от друга. Поэтому если система наведения ракеты ориентируется при помощи эха, то в идеале, при отсутствии каких-либо особых ограничивающих условий, ракета будет испускать звуковые волны очень высокой частоты. Большинство летучих мышей действительно пользуются чрезвычайно высокими звуковыми сигналами – слишком высокими, чтобы люди могли их услышать, то есть ульт-

тразвуковыми. В отличие от *Rousettus*, который с помощью неспециализированных и относительно низких звуков устраивает себе небольшое эхолокационное приложение к хорошему зрению, мелкие рукокрылые, судя по всему, представляют собой куда более эффективные аппараты для эхонавигации. Вероятно, от их крохотных глазенок проку в большинстве случаев немного. Они живут в мире эха, и возможно, их мозг использует эхо для создания образов сродни зрительным, хотя мы вряд ли в состоянии “представить себе”, на что эти образы могут быть похожи. Шумы, производимые летучими мышами, не просто чуть-чуть выше тех, что можем услышать мы, как, например, ультразвуковой свисток для собак. Во многих случаях они несоизмеримо выше любой ноты, какую мы когда-либо только могли услышать или хотя бы вообразить. Кстати говоря, не слышим мы летучих мышей на свое счастье, ибо орут они так оглушительно, что спать под этот звук было бы невозможно.

Они словно самолеты-разведчики, ошетилившиеся сложнейшей аппаратурой. Их мозги – тонко настроенные компактные устройства, начиненные фантастической миниатюрной электроникой и оснащенные замысловатым программным обеспечением, расшифровывающим сигналы из мира эха в режиме реального времени. Их мордочки зачастую искривлены, как у горгулий, и кажутся отвратительными, если не принимать во внимание то, чем они являются на самом деле – это безупречные конструкции, позволяющие

посылать ультразвук в любом нужном направлении.

Хотя мы и неспособны слышать ультразвуковые импульсы этих животных, некоторое представление о происходящем можно получить благодаря машине-переводчику – так называемому детектору летучих мышей. Этот прибор принимает ультразвуковые сигналы через специальный микрофон и превращает каждый импульс в щелчок или гудок, который мы можем услышать через наушники. Если мы придем с таким детектором на поляну, где кормится летучая мышь, мы будем слышать, *когда* производится тот или иной сигнал, хотя как “звучат” эти сигналы на самом деле, мы все равно не узнаем. Если наша летучая мышь – это представитель повсеместно распространенной группы ночниц *Myotis*, в обычном режиме исследующий участок своей охоты, то нам будет слышно бубнящее щелканье, примерно десять щелчков в секунду. Это темп стандартного телетайпа или ручного пулемета “Брен”.

Предполагается, что когда летучая мышь таким образом курсирует по окрестностям, ее картина мира обновляется десять раз в секунду. Наша же с вами картина мира обновляется, по-видимому, непрерывно – до тех пор пока мы держим свои глаза открытыми. Представить себе, каково это – иметь картину мира с прерывистой корректировкой, мы можем, используя стробоскоп в ночное время. Это иногда делается на дискотеках и бывает довольно зрелищно. Танцующий человек выглядит как ряд сменяющих друг друга неподвижных

изваяний. Очевидно, что чем более высокую частоту миганий мы установим, тем больше то, что мы видим, будет похоже на нормальное “непрерывное” изображение. Стробоскопическое “взятие зрительных проб” с частотой десять раз в секунду будет почти в той же степени, что и “непрерывное” зрение, годиться для многих повседневных целей, но не для того, чтобы поймать мяч или насекомое.

Однако эта частота пробная, используемая летучей мышью при обычном крейсерском полете. Как только ночница замечает насекомое и начинает лететь наперехват, частота ее щелчков возрастает. Импульсы издаются быстрее, чем пули в пулеметной очереди, и вблизи летающей мишени доходят до 200 за секунду. Чтобы это симитировать, мы должны будем разогнать наш стробоскоп так, чтобы его вспышка мигала в два раза чаще, чем происходят циклические перепады сетевого напряжения, заметные при работе ламп дневного света. Понятно, что в видимом мире, “пульсирующем” со столь высокой частотой, мы будем в состоянии пользоваться нашим зрением без затруднений даже для игры в сквош или в настольный теннис. Если мы допускаем, что мозг рукокрылых выстраивает образы, аналогичные нашим зрительным, то исходя только из частоты импульсов можно предположить, что картина мира, получаемая летучей мышью с помощью эха, не менее подробна и “непрерывна”, чем видимая нами. Разумеется, это не означает отсутствия других причин, в силу которых она может быть менее детализован-

ной.

Тут может возникнуть вопрос: раз летучие мыши способны поднимать “частоту взятия проб” до 200 импульсов в секунду, почему же они не поддерживают ее постоянно на этом уровне? Раз у их “стробоскопа” имеется, как мы видим, “тумблер” частоты, почему же не держать его всегда “повернутым на максимум”, чтобы восприятие мира было настолько четким, насколько это возможно, – на случай любых непредвиденных обстоятельств? Одна из причин заключается в том, что такая высокая частота сигналов годится только для объектов, находящихся поблизости. Если импульс будет совсем уж “наступать на пятки” своему предшественнику, то он смешается с его эхом, возвращающимся от удаленной мишени. Даже если это не проблема, существуют, вероятно, и серьезные экономические причины для того, чтобы не поддерживать частоту импульсов постоянно на максимуме. Производить громкие ультразвуковые сигналы дорого. Это касается и расхода энергии, и износа голосового и слухового аппаратов, а также, возможно, и “машинного времени”. Мозг, занятый обработкой 200 отдельных эхо в секунду, может не изыскать “резервной мощности”, чтобы подумать о чем-нибудь еще. Даже “дежурный” уровень десять импульсов в секунду – это, вероятно, дорогое удовольствие, но все же куда меньшая роскошь по сравнению с максимальным, равным 200 импульсам в секунду. Отдельно взятая летучая мышь, которая резко повысит “дежурную частоту”, из-

расходуется столько дополнительной энергии и т. п., что это не окупится более тонкой отлаженностью сонара. Когда в непосредственной близости от летучей мыши нет никаких движущихся объектов, кроме нее самой, то нет никакой необходимости обновлять картинку чаще, чем раз в десятую долю секунды, потому что за это время изображение меняется несильно. Если же поблизости появляется другой движущийся объект, к примеру летящее насекомое, которое крутится, уворачивается и пикирует, отчаянно стараясь избавиться от преследователя, то дополнительные выгоды летучей мыши оправдывают и, более того, превосходят увеличение издержек. Разумеется, данный анализ затрат и выгод целиком и полностью предположителен, но что-то подобное имеет место почти наверняка.

Инженеру, который приступает к разработке эффективного сонара или радара, очень скоро придется столкнуться с затруднением, вытекающим из необходимости делать импульсы чрезвычайно громкими. А они должны быть громкими, поскольку, когда звук распространяется, его волновой фронт имеет форму бесконечно увеличивающейся сферы. Интенсивность сигнала распределяется, в известном смысле “разбавляется” на всю поверхность этой сферы. Площадь поверхности любой сферы пропорциональна квадрату ее радиуса. Таким образом, по мере того как звуковая волна распространяется, а сфера растет, в каждой отдельной ее точке интенсивность сигнала ослабевает пропорционально не рассто-

нению от источника (т. е. радиусу), а квадрату этого расстояния. Это значит, что, удаляясь от своего источника (в данном случае от летучей мыши), звук стихает довольно быстро.

Когда этот “разбавленный” звук сталкивается с каким-либо объектом, например с мошкой, он отскакивает от нее рикошетом. Этот отраженный звук, в свою очередь, тоже идет увеличивающимся сферическим фронтом. По тем же причинам, что и в случае с исходным звуком, он ослабевает пропорционально квадрату расстояния от мошки. Когда сигнал в виде эха возвращается к летучей мыши, он ослаблен пропорционально не расстоянию от нее до мошки и даже не квадрату этого расстояния, а скорее квадрату квадрата, четвертой степени. Иными словами, он очень, очень тихий. Эту проблему можно отчасти решить, если направлять звук при помощи некоего подобия мегафона, но для этого летучая мышь уже должна знать направление, в котором находится ее мишень. Как бы то ни было, если летучей мыши требуется получать хоть сколько-нибудь заметное эхо от удаленных объектов, то ее исходный писк должен, несомненно, быть очень громким, а ухо – инструмент, который улавливает эхо, – высокочувствительным к очень тихим звукам. Как я уже упоминал, летучие мыши, в самом деле зачастую вопят как резаные, обладая при этом тончайшим слухом.

И тут возникает затруднение, способное обескуражить инженера, который взялся бы за разработку машины, похожей на летучую мышь. Раз микрофон, или ухо, обладает та-

кой высокой чувствительностью, значит, ему грозит нешуточная опасность быть серьезно поврежденным своими же оглушительно громкими исходящими сигналами. Бесполезно бороться с этой проблемой, уменьшая силу звука, – тогда эхо будет слишком слабым, чтобы его можно было уловить. А против *этой* проблемы будет бесполезно бороться увеличением чувствительности микрофона (уха) – ведь оно лишь сделает его более уязвимым для повреждения исходящими сигналами (пусть даже они и станут чуть-чуть слабее). Эта дилемма неизбежно следует из огромной разницы в интенсивности между исходящим сигналом и его эхом – разницы, неумолимо навязываемой нам законами физики.

Какой еще выход мог бы прийти в голову нашему инженеру? Когда разработчики радара времен Второй мировой столкнулись с этой проблемой, решение, на которое они натолкнулись, было названо ими “радаром с автоматизированной передачей и приемом”. Этот радар посылал достаточно мощные импульсы, которые вполне могли бы повредить высокочувствительные антенны, ожидающие слабых отраженных сигналов. Но схема “автоматизированной передачи и приема” временно отключала принимающую антенну непосредственно перед испусканием сигнала, а затем снова включала ее – так, чтобы она успела уловить эхо.

Рукокрылые отладили технологию “автоматизированной передачи и приема” давным-давно – вероятно, за миллионы лет до того, как наши с вами предки спустились с деревьев.

А работает она так. В ушах у летучих мышей, так же как и у нас, звук передается от барабанной перепонки к сенсорным “клеткам-микрофонам” по мостику из трех миниатюрных косточек, названия которых соответствуют их форме и переводятся с латыни как “молоточек”, “наковальня” и “стремечко”. Надо сказать, что соединение и расположение этих трех косточек в точности таково, каким бы сделал его звуковой инженер, чтобы решить проблему согласования сопротивлений, но это другая история. Сейчас нам важно то, что у некоторых летучих мышей к стремечку и к молоточку подведены хорошо развитые мускулы. Когда они сокращаются, эффективность передачи звука через косточки падает – как если бы вы заглушили микрофон, пальцем придавив вибрирующую диафрагму. При помощи этих мышц рукокрылые способны временно выключать свои уши. Каждый раз непосредственно перед тем, как произвести исходящий звуковой импульс, летучая мышь сокращает эти мускулы, отключая таким образом уши и защищая их от повреждения громким сигналом. Затем мускулы расслабляются, и уши возвращаются в режим максимальной чувствительности – как раз вовремя, чтобы уловить вернувшееся эхо. Такая система переключения передачи и приема имеет смысл, только если координация во времени выверена с точностью до мгновения. Летучая мышь *Tadarida* способна поочередно сократить и расслабить эти мышцы-выключатели 50 раз в секунду, сохраняя абсолютную синхронность с пулеметными очередями.

ми исходящих ультразвуковых импульсов. Это чудо слаженности сравнимо с хитроумным изобретением, использовавшимся на некоторых истребителях в Первую мировую войну. Их пулеметы стреляли “сквозь” пропеллер – частота выстрелов была так тщательно скоординирована с его вращением, что пули неизменно пролетали между лопастями, не задевая их.

Затем наш инженер мог бы задуматься о следующей проблеме. Раз принцип работы сонара основан на измерении продолжительности паузы между звуком и его эхом – прием, которым, очевидно, пользуется *Rousettus*, – то издаваемым звукам следовало бы, по всей вероятности, быть отрывистыми, стаккато. Долгий, протяжный звук может не успеть закончиться к моменту возвращения эха и, даже будучи отчасти приглушен мускулами автоматического переключения передачи и приема, помешать восприятию. Действительно, может показаться, что в идеале импульсы рукокрылых должны быть чрезвычайно короткими. Однако чем короче звук, тем сложнее сделать его достаточно мощным, чтобы произвести хоть сколько-нибудь приемлемое эхо. Похоже, законы физики ставят нас перед необходимостью еще одного неприятного компромисса. Искусным инженерам тут могли бы прийти в голову два решения, и они действительно пришли им в голову при встрече с аналогичной проблемой – только опять-таки это было в ходе разработки радара. Какое из данных двух решений предпочтительнее, зависит от того, что

важнее измерить: дальность (на каком расстоянии от прибора находится объект) или скорость (насколько быстро объект перемещается относительно прибора). Первое решение известно специалистам по радиолокации как “чирплет-радар”.

Сигналы радара можно представить как серию импульсов, однако каждый импульс характеризуется так называемой несущей частотой, которая аналогична “высоте” звука или ультразвука. Как мы знаем, крики летучих мышей повторяются с периодичностью, равной десяткам или сотням в секунду. Несущая частота каждого из этих импульсов измеряется десятками и сотнями тысяч повторяющихся циклов в секунду. Другими словами, каждый импульс – это высокий, пронзительный визг. Точно так же и каждый сигнал радара представляет собой “визг” радиоволн, отличающийся высокой несущей частотой. Особенностью чирплет-радара является то, что на протяжении каждого его “взвизгивания” несущая частота не является неизменной, а “взмывает” или “сползает” приблизительно на октаву. Если вам нужен эквивалентный звуковой образ, то представьте себе, что во время каждого импульса радар как бы присвистывает от удивления. Преимущество чирплет-радара перед радаром с фиксированной высотой импульсов состоит в следующем. Независимо, закончился исходящий “присвист” к моменту возвращения своего эха или еще нет. Их все равно не перепутаешь. Ведь эхо, улавливаемое в каждый конкретный момент времени, будет отражением более ранней части сигнала и пото-

му иметь отличную от него частоту.

Разработчики человеческого радара извлекли немалую пользу из этой остроумной методики. А есть ли доказательства в пользу того, что летучие мыши тоже ее “открыли”, как это было с автоматизированной передачей и приемом? Ну, вообще-то многие виды рукокрылых действительно издают крики, высота которых постепенно снижается примерно на октаву. Такие “присвистывающие” сигналы называются частотно-модулированными (*frequency modulated, FM*). Казалось бы, это именно то, что нужно, чтобы воспользоваться принципом чирплет-радара. Тем не менее имеющиеся на сегодняшний день факты говорят о том, что летучие мыши используют этот метод не для того, чтобы отличать эхо от исходного сигнала, а для более тонкой задачи – чтобы отличать одно эхо от другого. Летучая мышь живет в мире эха, которое доносится от близких объектов, дальних объектов и от объектов, находящихся на всевозможных промежуточных расстояниях. Все эти звуковые отражения ей необходимо рассортировать. Если издавать плавно понижающиеся “присвистывания”, то можно провести четкую сортировку по высоте. Эхо, вернувшееся наконец от удаленного объекта, будет “старше”, чем эхо, которое в тот же момент пришло от объекта, расположенного поблизости. А значит, высота первого эха будет больше. Услышав несколько отраженных сигналов сразу, летучая мышь может положиться на простое практическое правило: чем звук выше, тем объект дальше.

Вторая идея, которая могла бы прийти в голову умному инженеру, особенно если он заинтересован в определении скорости движущейся мишени, — это сыграть на явлении, которое физики называют доплеровским смещением. Также его можно было бы назвать “эффектом скорой помощи”, поскольку наиболее известный его пример — это резкое падение высоты звука сирены у машины скорой помощи, после того как она промчится мимо нас. Доплеровское смещение наблюдается во всех случаях, когда источник звука (или света, или любых других волн) и его получатель движутся друг относительно друга. Для большей простоты представим себе, что источник звука неподвижен, а слушатель перемещается. Допустим, фабричная сирена непрерывно гудит на одной ноте. Звук распространяется вовне в виде идущих одна за другой волн. Эти волны невидимы, они из уплотненного воздуха. Но если бы их можно было увидеть, то они были бы похожи на концентрические окружности, расходящиеся по поверхности спокойного пруда от брошенных камешков. Представьте, что мы бросаем туда камешек за камешком, так что волны образуются непрерывно. Если в какой-нибудь точке этого пруда поставить на якорь игрушечную лодочку, то она будет ритмично подниматься и опускаться по мере прохождения под ней волн. Частота покачиваний лодочки аналогична высоте звука. Теперь давайте вообразим, что вместо того, чтобы стоять на якоре, наша лодочка плывет через пруд по направлению к центру, где возникают расходящиеся-

ся волны-окружности. Она по-прежнему будет покачиваться вверх-вниз, встречаясь с идущими друг за другом волнами. Но теперь, направляясь к источнику волн, она будет сталкиваться с ними чаще. Частота ее покачиваний будет выше. Когда же она минует источник волн и направится к противоположному берегу, частота, с которой она покачивается, очевидным образом уменьшится.

По тем же причинам, если мы будем мчаться на мотоцикле (желательно бесшумном) мимо гудящей фабричной сирены, то, пока мы приближаемся к фабрике, звук будет завышенным – фактически наши уши будут “накрывать” звуковой волной чаще, чем если бы мы просто сидели на одном месте. Из этих же рассуждений следует, что, когда наш мотоцикл проедет мимо фабрики и начнет от нее удаляться, высота звука понизится. Если мы остановимся, то услышим сигнал такой высоты, какая она есть на самом деле, – промежуточная между двумя значениями с доплеровским сдвигом частоты. Получается, что, зная точную высоту тона сирены, теоретически возможно вычислить, с какой скоростью мы движемся по направлению к ней или от нее. Для этого надо просто сравнить слышимую высоту звука с ее известным нам “настоящим” значением.

Этот принцип точно так же действует, когда источник звука перемещается, а слушатель неподвижен. Потому мы и можем наблюдать его в случае со скорой помощью. Ходят довольно неправдоподобные рассказы, будто бы сам Кристи-

ан Допплер, чтобы продемонстрировать свое открытие, нанял духовой оркестр, который играл на открытой грузовой платформе, несущейся по рельсам мимо изумленной публики. Что действительно важно, так это относительное движение, и, покуда речь идет о доплеровском эффекте, нам все равно – источник звука перемещается мимо уха или ухо мимо источника звука. Если два поезда едут в противоположных направлениях со скоростью 125 миль в час каждый, то для пассажира, находящегося в одном из них, свисток другого поезда должен резко понизить высоту в результате особенно значительного доплеровского смещения, поскольку относительная скорость будет составлять целых 250 миль в час.

Эффект Допплера используется и в полицейских портативных радарах – “ловушках для лихачей”. Неподвижно установленный прибор посылает радиолокационные сигналы вдоль дороги. Радиоволны отскакивают назад от приближающихся автомобилей и регистрируются приемным устройством. Чем быстрее движется машина, тем сильнее доплеровский сдвиг частоты. Сравнивая исходящую частоту с частотой возвращающегося эха, полицейские, а точнее их автоматизированная аппаратура, могут вычислить скорость каждой машины. Раз полиция освоила эту методику для ловли дорожных нарушителей, то можем ли мы надеяться, что и рукокрылые пользуются ею для измерения скорости насекомых, на которых охотятся?

Ответ будет – да. Давно известно, что мелкие летучие мыши, называемые подковоносами, издают не отрывистые щелчки и не нисходящие глиссандо, а продолжительные монотонные возгласы. Говоря “продолжительные”, я имею в виду – продолжительные по меркам рукокрылых. Эти “возгласы” все равно длятся менее десятой доли секунды. И, как мы дальше увидим, нередко в конце каждого возгласа к нему добавляется еще и нисходящее “присвистывание”. Но для начала просто представьте себе, как подковонос, непрерывно издавая ультразвуковой шум, на высокой скорости приближается к неподвижному объекту – скажем, к дереву. В связи с таким направлением движения летучей мыши звуковые волны ударяются о дерево с повышенной частотой. Если бы в дереве был спрятан микрофон, то по той причине, что животное приближается, он бы “слышал” звук с доплеровским завышением тона. В дереве нет микрофона, но точно таким же образом будет завышен тон у отражающегося от дерева эха. Итак, поскольку волны эха струятся от дерева обратно, то получается, что летучая мышь летит им навстречу. Следовательно, при восприятии летучей мышью высоты звучания эха происходит еще один доплеровский сдвиг в сторону завышения. Перемещение летучей мыши приводит к своего рода двойному доплеровскому эффекту, величина которого является точным показателем скорости движения животного относительно дерева. Сравнив высоту своего крика с высотой возвращающегося эха, летучая мышь (а точнее,

встроенный в ее мозг “бортовой компьютер”) имела бы теоретическую возможность вычислить, насколько быстро она приближается к дереву. Пусть это ничего не сказало бы ей о том, как далеко от нее это дерево находится, тем не менее полученная информация сама по себе была бы очень ценной.

Если отражающий эхо объект – не неподвижное дерево, а перемещающееся насекомое, рассчитать последствия доплеровского эффекта будет труднее, однако летучая мышь будет по-прежнему иметь возможность вычислить относительную скорость своего движения по направлению к мишени – нет сомнений, что сложной управляемой ракете, какой является охотящаяся летучая мышь, эта информация крайне необходима. На самом деле некоторые рукокрылые придумали штуку поинтереснее, чем просто вопить на одной высоте и измерять высоту возвращающегося эха. Вместо этого они тщательно подстраивают высоту исходящих криков таким образом, чтобы высота эха после сдвига по Допплеру поддерживалась на неизменном уровне. Приближаясь со все возрастающей скоростью к движущемуся насекомому, они постоянно меняют высоту своих сигналов, все время добиваясь именно той частоты, какая нужна для того, чтобы сохранять высоту эха неизменной. Такая изобретательная уловка позволяет поддерживать эхо на той высоте звука, к которой уши этих летучих мышей наиболее чувствительны, что немаловажно, учитывая, насколько это эхо слабое. Следовательно, получить информацию для вычисления доплеровского

эффекта животное может, следя за тем, на какой частоте ему сейчас нужно кричать для поддержания фиксированной высоты эха. Я не знаю, используется ли это ноу-хау в каких-либо рукотворных приборах, будь то сонары или радары. Но, коль скоро летучим мышам принадлежит пальма первенства во всех самых удачных решениях в данной области техники, готов биться об заклад, что используется.

Хотя может показаться, что два этих, весьма различных подхода – оценка доплеровского смещения и “чирплет-радар” – пригодны каждый для своих, особых целей, в действительности одни группы рукокрылых специализируются на первом, а другие – на втором из них. Некоторые, впрочем, пытаются, по-видимому, преуспеть и там и там, присоединяя FM-“присвистывание” к концу (или иногда к началу) протяжного “клича”, имеющего постоянную высоту. Еще один любопытный трюк, используемый подковоносами, связан с движениями их больших ушных раковин. В отличие от других летучих мышей подковоносы совершают частые взмахи ушами попеременно вперед и назад. Можно предположить, что такие дополнительные резкие перемещения звукоулавливающей поверхности относительно мишени модулируют эффект Доплера, сообщая дополнительную полезную информацию. Когда ухо делает взмах по направлению к мишени, кажущаяся скорость приближения к ней возрастает. Когда же оно отводится в противоположном направлении, все происходит наоборот. Мозгу летучей мыши “известно” на-

правление взмахов каждого уха, и в принципе ему ничто не мешает пользоваться получаемой таким образом информацией для произведения необходимых вычислений.

Вероятно, самая серьезная из проблем, стоящих перед рукокрылыми, — это опасность непреднамеренных “помех”, создаваемых криками других летучих мышей. Однако, как показали эксперименты, сбить летучую мышь с толку мощными искусственными ультразвуковыми сигналами на удивление непросто. Впрочем, задним числом понимаешь, что это можно было предвидеть. Летучие мыши должны были научиться избегать помех еще давным-давно. Многие виды рукокрылых имеют привычку отдыхать, скапливаясь в огромных количествах в пещерах, где наверняка стоит оглушительная какофония из многочисленных ультразвуков и их эха, что, однако, не мешает летучим мышам легко порхать в полной темноте, не натываясь ни на стены пещеры, ни друг на друга. Каким же образом животное умудряется следить за собственным эхом, не путая его с эхом, создаваемым другими летучими мышами? Первое, что тут пришло бы в голову инженеру, — это некая разновидность частотного кодирования: каждая летучая мышь, подобно радиостанции, могла бы иметь свою собственную, личную частоту. Возможно, до некоторой степени это и так, но истинное положение дел, несомненно, сложнее.

Почему рукокрылые не “глушат” друг друга своими криками, не вполне ясно, но опыты, в которых им пытались “за-

пудрить мозги”, дают нам любопытную подсказку. Оказывается, летучую мышь можно обмануть, если проигрывать ей запись ее *собственного* крика, но с *задержкой*. Другими словами, нужно фальшивое эхо ее собственных криков. Если аккуратно отрегулировать электронную аппаратуру, которая производит задержку этого фальшивого эха, то можно даже заставить летучую мышь пытаться сесть на “фантомную” поверхность. Полагаю, для нее это равносильно тому, чтобы смотреть на мир через линзу.

Не исключено, что у рукокрылых есть нечто, что мы могли бы назвать “фильтром странности”. Каждое последующее эхо, вызванное собственными криками летучей мыши, формирует такую картину мира, которая логична с точки зрения предшествовавшей картины, построенной на основании предыдущих отраженных сигналов. Если мозг летучей мыши услышит эхо крика другой летучей мыши и попытается поместить его в картину мира, которую он только что выстроил, получится бессмыслица. Создастся впечатление, будто все предметы вокруг стали внезапно разбегаться в разных случайных направлениях. Но предметам реального мира такое безумие несвойственно, а значит, мозг может спокойно проигнорировать подобное эхо как фоновый шум. Если же человек-экспериментатор будет подавать летучей мыши искусственное “эхо” ее сигналов с запозданием или, наоборот, преждевременно, то такие ложные звуки *будут* иметь смысл в рамках той картины мира, которую эта

летучая мышь уже себе построила. Они являются правдоподобными в контексте своих предшественников, и потому “фильтр странности” их пропускает. Согласно им, окружающие предметы меняют свое местоположение совсем чуть-чуть, а это объектам реального мира вполне свойственно. Мозг летучей мыши твердо уверен в том, что мир, изображаемый эхом одного сигнала, должен либо ничем не отличаться от мира, нарисованного предыдущими звуковыми отражениями, либо отличаться от него незначительно. Например, преследуемое насекомое может слегка переместиться.

У философа Томаса Нагеля есть знаменитая статья, которая называется “Каково быть летучей мышью?”. Речь в ней идет не столько о рукокрылых, сколько о философской проблеме постижения того, “каково” это – быть кем-то, кем мы не являемся. Тем не менее для философа летучая мышь – пример чрезвычайно удачный, поскольку предполагается, что ощущения летучей мыши, ориентирующейся при помощи эхолокации, являются чем-то особенно чуждым для нас и отличным от наших ощущений. Можно почти с полной уверенностью сказать, что для того, чтобы почувствовать себя летучей мышью, без толку идти в пещеру, орать там, греметь кастрюлями, специально замерять продолжительность паузы до появления эха и на основании этого высчитывать, далеко ли до стены.

Все это соответствует тому, что чувствует летучая мышь, не более, чем следующее описание соответствует тому, как

мы видим цвет. Возьмите прибор, измеряющий длину волны света, попадающего вам в глаз. Если она длинная – вы видите красный, а если короткая – фиолетовый или синий. Так уж вышло, и это научный факт, что у света, который мы называем красным, длина волны больше, чем у света, который мы называем синим. В нашей сетчатке включаются те или иные рецепторы – воспринимающие красный или синий – в зависимости от длины световой волны. Но понятие “длина волны” не играет ни малейшей роли в нашем субъективном восприятии цвета. То, “каково” это – различать красный и синий цвета, никоим образом не помогает нам узнать, в каком случае длина волны больше. Когда она для нас действительно важна (что бывает редко), мы должны ее просто помнить или (как обычно поступаю я) заглянуть в справочник. Аналогичным образом летучая мышь узнает местоположение насекомого, используя то, что мы называем эхом. Но когда она замечает насекомое, то думает о времени задержки эха наверняка не больше, чем мы с вами думаем о длинах волн, когда воспринимаем синий или красный цвет.

Да, в самом деле, если бы я был поставлен перед необходимостью попытаться сделать невозможное – представить себе, на что похоже быть летучей мышью, – то я предположил бы, что для летучих мышей ориентировка с помощью эха является во многом тем же самым, чем зрение для нас. Мы с вами животные, воспринимающие мир почти полностью через зрение, и потому вряд ли в состоянии осознать, какое непро-

стое это дело. Предметы находятся “там-то”, и нам кажется, что там мы их и “видим”. Подозреваю, однако, что на самом деле мы видим искусную компьютерную модель, выстраиваемую мозгом на основании информации, приходящей извне, но преобразованной им так, чтобы ею было можно *пользоваться*. То, что снаружи является различиями в длине световой волны, компьютерная модель у нас в голове перекодирует в “цветовые” различия. Форма и прочие признаки трансформируются точно таким же образом, принимая вид, с которым удобно иметь дело. Наши с вами зрительные ощущения очень сильно отличаются от слуховых, но это никак напрямую не связано с физическими различиями между светом и звуком. И свет, и звук в конечном итоге переводятся соответствующими органами чувств в одни и те же нервные импульсы. По физическим свойствам нервного импульса невозможно определить, какую информацию он несет – о свете, о звуке или о запахе. Зрительные, слуховые и обонятельные ощущения так сильно отличаются друг от друга только потому, что нашему мозгу удобнее использовать разные типы внутренних моделей для мира зрительных образов, мира звуков и мира запахов. Мы *используем* зрительную и слуховую информацию различным образом и для разных целей – вот почему зрение и слух такие разные, а вовсе не непосредственно потому, что свет и звук – это различные физические явления.

Но летучая мышь использует *звуковую* информацию во

многим для той же самой цели, для которой мы используем информацию *зрительную*. Она определяет местоположение предметов в трехмерном пространстве (и постоянно обновляет информацию об этом) с помощью звуков, так же как мы делаем это с помощью света. Следовательно, ей нужна такая внутренняя компьютерная модель, которая могла бы создавать образы, отражающие перемещение объектов в трехмерном пространстве. Суть здесь в том, что те формы, которые примет субъективный опыт животного, будут свойством его внутренней компьютерной модели. Эта модель конструируется в процессе эволюции исходя из того, насколько она годна для создания полезных внутренних представлений, безотносительно физической природы поступающих извне стимулов. Летучим мышам *нужна* такая же внутренняя модель для отображения местонахождения предметов в трехмерном пространстве, что и нам с вами. Тот факт, что их внутренняя модель формируется при помощи эха, а наша – при помощи света, не имеет отношения к делу. И та и другая внешняя информация будет на своем пути к мозгу преобразована в одинаковые нервные импульсы.

Итак, мое предположение состоит в том, что летучие мыши “видят” примерно так же, как и мы, пусть даже физический посредник, через который происходит преобразование внешнего мира в нервные импульсы, у них и совершенно иной: ультразвук, а не свет. Возможно, они даже могут испытывать ощущения, которые мы называем цветовыми, –

эти ощущения не отсылают к физике и длине волн, но они отражают разнообразие внешнего мира и играют для летучих мышей ту же функциональную роль, какую цвет играет для нас. Кто знает, может быть, тонкая текстура поверхности у их самцов такова, что эхо, отскакивающее от нее, производит на самок впечатление роскошной окраски – этаким звуковой аналог брачного наряда райской птицы. И я подразумеваю под этим не просто какую-то расплывчатую метафору. Нет ничего невозможного в том, чтобы самка летучей мыши субъективно воспринимала самца, скажем, ярко-красным – точно так же, как я воспринимаю фламинго. Ну или, по меньшей мере, восприятие летучей мышью своего брачного партнера может отличаться от моего зрительного восприятия фламинго не больше, чем мое зрительное восприятие фламинго отличается от того, как фламинго видится другому фламинго.

Дональд Гриффин рассказывает, что было, когда в 1940 г. он и его коллега Роберт Галамбос впервые сообщили потрясенным участникам зоологической конференции о своем открытии эхолокации у рукокрылых. Скептицизм одного прославленного ученого сопровождался таким негодованием, что:

...он схватил Галамбоса за плечи и стал его трясти, попутно возмущаясь, что мы, конечно же, просто не могли иметь в виду такую дикость. Радар и сонар в то время еще относились к особо секретным

военным разработкам, и мнение, будто летучие мыши способны на что-то, хотя бы отдаленно напоминающее недавние успехи электронной техники, оказалось для многих не только поразительно неправдоподобным, но и неприятным.

Этого знаменитого скептика легко понять. В таком нежелании поверить есть что-то очень человеческое. А точнее говоря, именно человеческое оно и есть. Именно из-за того, что наши собственные, человеческие чувства *неспособны* к тому, что по плечу рукокрылым, нам так тяжело поверить в это. Нам трудно представить себе, что то, что мы можем понять только на уровне искусственной аппаратуры или математических вычислений на бумаге, маленькое животное способно производить в своей голове. Однако математические расчеты, объясняющие основы зрения, будут точно так же сложны и труднопостижимы, но при этом ни для кого не составляет труда верить в то, что маленькие зверьки способны видеть. Причина таких двойных стандартов у нашего скептицизма весьма проста: видеть мы можем, а к эхолокации *неспособны*.

Я представляю себе мир, в котором ученое собрание существ, напоминающих летучих мышей и полностью слепых, ошеломлено известием о том, что животные, называемые людьми, способны, как это ни странно, использовать для ориентировки недавно открытые неслышимые лучи, называемые “световыми”, пока что являющиеся предметом сверх-

секретных военных разработок. Эти в остальном непримечательные создания почти абсолютно глухие (на самом деле они в какой-то мере способны слышать и даже издавать немногочисленные неуклюже медленные, низкие и однообразные звуки, но используют эти урчания только для примитивных целей – например, для общения друг с другом – и, по-видимому, неспособны обнаруживать даже самые крупные объекты с их помощью). Вместо этого у них есть высокоспециализированные органы, так называемые глаза, для восприятия “световых” лучей. Основным источником этих лучей является солнце, и людям, что примечательно, удается использовать сложные отражения, отбрасываемые предметами при попадании на них солнечных лучей. У них имеется хитроумное устройство – “хрусталик”, – форма которого как будто бы математически рассчитана таким образом, чтобы направлять эти бесшумные лучи на пласт клеток, известный как “сетчатка”, где формируется точный образ, однозначно соответствующий взаимному расположению предметов окружающего мира. Каким-то непостижимым способом клетки сетчатки делают свет, с позволения сказать, “слышимым” и передают эту информацию в мозг. Наши математики показали, что если правильно выполнять довольно сложные расчеты, то безопасное перемещение в пространстве при помощи этих световых лучей теоретически возможно. И это будет так же эффективно, как и при помощи обычного ультразвука, а в некоторых отношениях даже *более* эффектив-

но! Но кто бы мог подумать, что примитивные люди способны производить подобные вычисления?

Эхолотирование у летучих мышей – всего лишь один из тысяч примеров, на которых я мог бы пояснить свою мысль о превосходном устройстве. Животные производят такое впечатление, будто они были спроектированы искусственным в теории и поднаторевшим в практике физиком или инженером, однако нет никаких оснований предполагать, что сами рукокрылые знакомы с теорией и понимают ее в том же смысле, в каком ее понимает физик. Летучую мышь можно сравнить с полицейским радаром-ловушкой, а не с человеком, который его изобрел. Проектировщик детектора скорости понимал теоретические основы доплеровского эффекта, и это понимание выражалось в математических уравнениях, выписанных на бумаге во всех подробностях. Понимание создателя воплощено в устройстве прибора, но сам прибор не понимает того, как он работает. В состав прибора входят электронные элементы, которые соединены друг с другом таким образом, чтобы автоматически сличать две разные частоты радиоволн и переводить результат в удобные для использования единицы – мили в час. Совершаемые при этом вычисления сложны, но вполне по силам маленькой коробочке, начиненной современными электронными компонентами, если их правильно соединить друг с другом. Разумеется, осуществил это соединение (или по крайней мере разработал его схему) сложно устроенный и обладающий со-

знанием мозг, однако в непосредственной работе коробочки никакой обладающий сознанием мозг не участвует.

Благодаря знакомству с электронной техникой мы подготовлены к тому, чтобы согласиться: не имеющие сознания механизмы могут вести себя так, как будто они разбираются в сложных математических понятиях. Эта мысль полностью правомерна и тогда, когда речь идет о работе живых механизмов. Летучая мышь – это машина, электронное содержимое которой соединено таким образом, чтобы мускулы крыльев наводили ее на насекомых. По тому же принципу и неразумная управляемая ракета преследует самолет. До этих пор наша интуитивная аналогия с техникой была корректна. Однако знакомство с техникой подготовило нас и к тому, чтобы в возникновении сложно устроенных машин видеть руку разумного и целеустремленного создателя. В случае живых механизмов эта вторая, основанная на интуиции аналогия ошибочна. Их “проектировщиком” был бессознательный естественный отбор, слепой часовщик.

Я надеюсь, что эти истории из жизни летучих мышей вызывают в читателях такое же благоговение, какое они вызывают во мне и наверняка вызвали бы в Уильяме Пейли. В одном отношении наши с ним цели совпадают. Я не хочу, чтобы читатель недооценивал необычайные творения природы и то, каких сложных объяснений они требуют. И хотя во времена Пейли об эхолокации у рукокрылых еще не было известно, она подходит для его целей не хуже любого из при-

веденных им примеров. Пейли растолковывал свою мысль, приумножая примеры. Он прошелся по всему нашему организму — от головы до пальцев ног, — показывая, как каждая мельчайшая деталь каждой его части напоминает внутреннее устройство великолепно сработанных часов. Мне очень хотелось бы поступить точно так же, ведь тут можно рассказать немало удивительных историй, а рассказывать истории — моя слабость. Но на самом деле нет никакой необходимости плодить примеры. Одного-двух вполне достаточно. Весьма вероятно, что гипотеза, способная объяснить навигацию у летучих мышей, сможет объяснить все что угодно в мире живого, а если объяснение Пейли неверно хотя бы для одного из приведенных им примеров, то количеством дела уже не поправишь. Его гипотеза состояла в том, что “живые часы” были в буквальном смысле сконструированы и созданы искусственным часовщиком. Наша современная гипотеза утверждает, что эта работа была проделана естественным отбором, причем постепенно, эволюционным путем.

Сегодняшние богословы отнюдь не так прямолинейны, как Пейли. Они не показывают пальцем на сложные живые механизмы, заявляя, что те, подобно часам, несомненно были придуманы неким создателем. Вместо этого наблюдается тенденция указывать на них со словами, что, дескать, “невозможно поверить”, будто такая сложность или такое совершенство могли развиваться в результате естественного отбора. Читая подобные высказывания, я всегда испытываю жела-

ние написать на полях: “Говори за себя”. В недавно вышедшей книге “Вероятность Бога”, написанной епископом Бирмингемским Хью Монтефиоре, можно найти немало примеров такого подхода (только в одной главе я насчитал 35). До конца настоящей главы я буду пользоваться примерами из этого сочинения, поскольку оно представляет собой искреннюю и честную попытку уважаемого и образованного автора привести теологию природы в соответствие с новыми данными. Говоря “честную”, я имею в виду честную. В отличие от некоторых из своих коллег-богословов епископ Монтефиоре не боится утверждать, что вопрос о том, существует Бог или нет, – это типичный вопрос факта. Он не размнивается на хитрые уловки типа “христианство – это образ жизни; вопрос о *существовании* Бога больше не стоит, он не более чем мираж, навеянный реалистическими иллюзиями”. Некоторые части его книги посвящены физике и космологии, и не в моей компетенции их комментировать; отмечу разве, что, судя по всему, в качестве источников он использовал работы настоящих физиков. Ах, если бы он поступил так же и в отношении биологических разделов! Увы, тут он предпочел обратиться к трудам Артура Кестлера, Фреда Хойла, Гордона Рэттрей-Тейлора и Карла Поппера. Епископ верит в эволюцию, но не считает естественный отбор подходящим объяснением для того направления, которое эволюция приняла (отчасти в связи с тем прискорбным обстоятельством, что, как и многие другие, ошибочно представляет себе естествен-

ный отбор “случайным” и “бессмысленным”).

Он вовсю использует то, что можно определить как Убеждение Личным Недоверием. По ходу одной из глав мы встречаем следующие фразы в указанном порядке:

...С позиций дарвинизма тут, видимо, нет объяснения... Не проще будет объяснить... Трудно согласиться... Нелегко согласиться... Равным образом затруднительно объяснить... Я не думаю, что будет легко признать... Я с трудом могу себе представить... Я нахожу трудным для понимания... Такое объяснение не кажется правдоподобным... Не представляю себе, каким образом... Многие сложности поведения животных неодарвинизм, по-видимому, объяснить не в состоянии... Нелегко постичь, как такое поведение могло возникнуть посредством одного лишь естественного отбора... Это невероятно... Как мог столь сложный орган возникнуть в ходе эволюции?.. Нелегко увидеть... Трудно увидеть...

Как отмечал еще Дарвин, Убеждение Личным Недоверием чрезвычайно неубедительно. В некоторых случаях такой подход опирается на обычное невежество. Например, один из фактов, который епископ находит трудным для понимания, — это окраска белого медведя.

Если говорить о маскировке, то она не всегда легко поддается объяснению с неодарвинистских позиций. Раз белые медведи господствуют в Арктике, значит, у них не было видимой необходимости обзаводиться

белой маскировкой.

Стоит перевести:

Лично мне, сидящему в своем кабинете, никогда не бывавшему в Арктике, никогда не видевшему белого медведя в дикой природе и воспитанному на классической литературе и богословии, с ходу не приходит в голову, какую пользу могут извлечь белые медведи из своей окраски.

В данном конкретном случае было сделано допущение, что маскировка нужна только тем животным, на которых кто-то охотится. Что было при этом упущено из виду, так это то, что хищникам тоже полезно, когда добыча их не замечает. Белые медведи нападают на тюленей, отдыхающих на льду. Если тюлень заметит медведя на достаточно далеком расстоянии, он улизнет. Я подозреваю, что наш епископ мгновенно справится с возникшим затруднением, если представит себе, как бурый гризли на снегу пытается подкрасться к тюленю.

Опровергнуть доводы насчет белого медведя оказалось едва ли не слишком просто, но в некотором очень важном смысле не в этом суть. Даже если самый крупный в мире авторитет не может объяснить какое-то поразительное биологическое явление, это не значит, что оно необъяснимо. Многие тайны, остававшиеся неразрешимыми в течение веков, в конце концов получили объяснение. Если уж на то пошло, большинство современных биологов не найдут для себя за-

труднительным объяснить в терминах теории естественного отбора любой из 35 епископских примеров, хотя и не всегда это будет так же просто, как в случае с белым медведем. Но мы не собираемся состязаться в находчивости. Даже если найдется какой-то пример, который мы не *сможем* объяснить, не стоит сразу же делать грандиозные выводы только лишь на основании факта нашей личной неспособности. От этого еще Дарвин нас очень убедительно предостерегал.

У обращения к Личному Недоверию есть и более серьезные вариации – не те, что вытекают попросту из невежества и недостатка сообразительности. Одна разновидностей этого довода откровенно эксплуатирует то чувство крайнего удивления, которое мы все испытываем, когда сталкиваемся с чрезвычайно сложными устройствами наподобие навигационного оснащения у летучих мышей. В этом случае подразумевается как нечто не подлежащее сомнению, что такое чудо просто не могло возникнуть путем естественного отбора. С разрешения автора епископ цитирует высказывание Г. Беннетта о паутине:

Невозможно представить, чтобы человек, который в течение многих часов наблюдал за их работой, не уверился бы в том, что ни современные пауки, ни их предки не могли быть архитекторами этой сети, не счел бы абсурдным предположение, что она возникала шаг за шагом, посредством случайных изменений. Это все равно что предположить, будто сложные и точные пропорции Парфенона возникли путем сваливания в

кучу кусочков мрамора.

Это вовсе не невозможно. Это именно то, во что я твердо верю – притом что и с пауками, и с паутинами немножко знаком.

Далее епископ переходит к человеческому глазу, задаваясь риторическим вопросом (подразумевающим отсутствие ответа): “Как мог столь сложный орган возникнуть в ходе эволюции?” Это не аргумент, а просто признание в собственном недоверии. По моему мнению, такое интуитивное недоверие, которое мы все склонны испытывать, когда речь заходит о том, что Дарвин называл органами исключительной сложности и совершенства, имеет двойную основу. Во-первых, нам не хватает интуитивного понимания того, какое необъятное время имеется в распоряжении у эволюции. Большинство из тех, кто сомневается в естественном отборе, готовы признать, что он может приводить к незначительным изменениям наподобие темной окраски, выработавшейся у многих бабочек после промышленной революции. Но, соглашаясь с этим, затем они указывают на то, сколь малы такие изменения. Епископ подчеркивает, что темная бабочка не является *новым видом*. Не спорю, изменение небольшое, никакого сравнения с эволюцией глаза или эхолокации. Но в то же время бабочкам понадобилась для этого всего лишь сотня лет. Срок в 100 лет кажется нам большим, потому что он длиннее нашей жизни. Но для геолога это примерно в тысячу раз меньше, чем отрезки, которыми он обычно оперирует!

Глаза не сохраняются в виде окаменелостей, и потому мы не знаем, сколько времени потребовалось нашему глазу на то, чтобы выработать свои нынешние сложность и совершенство из ничего, но на это у него было несколько сотен миллионов лет. Подумайте для сравнения об изменениях, произведенных человеком за куда более короткий срок при селекции собак. За какие-то сотни, самое большее тысячи, лет был проделан путь от волка до пекинеса, бульдога, чихуахуа и сенбернара. Ах, это все еще *собаки*? Они не стали новой “разновидностью”? Ну, если игры с подобными словами действуют на вас успокаивающе, то да, всех этих животных можно назвать собаками. Просто подумайте о сроках. Давайте все время, которое было потрачено на то, чтобы вывести эти породы собак от волка, представим как один-единственный шаг. Какое расстояние в этом масштабе нам нужно преодолеть, чтобы вернуться к Люси и ее сородичам – древнейшим ископаемым предкам человека, несомненно ходившим на двух ногах? Ответ будет – около 2 миль. А сколько нужно идти назад, чтобы добраться до самого начала эволюции на Земле? Для этого вам придется протопать все расстояние от Лондона до Багдада. Вообразите себе всю совокупность изменений, сопровождавших превращение волка в чихуахуа, а затем помножьте ее на количество шагов от Лондона до Багдада. Это даст вам некоторое наглядное представление о масштабе тех преобразований, которые мы можем ожидать от настоящей, естественной эволюции.

Вторая причина, почему нам кажется неправдоподобной эволюция таких сложных органов, как глаз человека или ухо летучей мыши, – это наше интуитивное обращение к теории вероятностей. Епископ Монтефиоре приводит цитату из К. И. Рейвена о кукушках. Кукушки откладывают свои яйца в гнезда к другим птицам, оказывающимся невольными приемными родителями. Подобно огромному количеству биологических адаптаций эта кукушечья адаптация является множественной. К паразитическому образу жизни кукушек приспособливает сразу несколько их особых черт. Например, самкам кукушек свойственно откладывать яйца в чужие гнезда, а птенцам – выбрасывать из гнезда потомство хозяина. Обе эти повадки обеспечивают успех кукушечьему паразитизму. Рейвен продолжает:

Очевидно, что каждое отдельно взятое условие здесь крайне необходимо для успеха всего целого. Само по себе оно бесполезно. Весь *opus perfectum* должен был возникнуть одновременно. Но, как мы уже установили, вероятность такой последовательности случайных совпадений пренебрежимо, ничтожно мала.

В принципе подобные доводы вызывают большее уважение, чем те, что основаны на голых и ничем не подкрепленных сомнениях. Измерение статистической невероятности предположения – это правильный первый шаг при оценке его правдоподобия. Мы и сами будем неоднократно обращаться к этому подходу на страницах данной книги. Но на-

до уметь им пользоваться! В рассуждениях Рейвена имеется две ошибки. Во-первых, хорошо знакомое и изрядно поднадоевшее приравнивание естественного отбора к так называемой случайности. Мутации действительно случайны, а вот естественный отбор – совсем наоборот. Во-вторых, это попросту *неправда*, будто “каждое условие само по себе бесполезно”. Неправда, что все идеальное целое обязательно должно было быть завершено одномоментно. Неправда и то, что для успеха этого целого так уж необходима каждая составная часть. Простенькие, примитивные, недоработанные глаз, ухо, сонар, кукушечий паразитизм и т. п. – это лучше, чем полное их отсутствие. Совсем без глаз вы полностью слепы. А с наполовину готовым глазом вы, может, и не разглядите хищника как следует, но по меньшей мере сможете определить общее направление его движений. И эта разница может оказаться вопросом жизни и смерти. Подробнее на эту тему мы потолкуем в следующих двух главах.

Глава 3

Накопление небольших изменений



Итак, живые существа столь невероятны и столь превосходно “продуманны”, что не могли возникнуть случайно. Тогда каким же образом они возникли? Ответ, по Дарвину, таков: путем постепенного, пошагового преобразования простейших первопричин; из зачаточных элементов, которые были достаточно просты для того, чтобы возникнуть случайно. Каждое очередное изменение в ходе постепенного эволюционного процесса было достаточно простым *по сравнению с непосредственным предшественником* и потому могло произойти спонтанно. Однако, подумав о том, каким сложным по сравнению с примитивным исходным материалом оказался конечный результат, понимаешь, что вся совокупность последовательных шагов была процессом далеко не случайным. Двигателем накопления изменений является неслучайное выживание. Задача этой главы показать, на что способен накапливающий отбор – явление, не имеющее со случайностью ничего общего.

Прогуливаясь по галечному пляжу, вы можете заметить, что галька лежит не беспорядочно. Мелкие камешки обычно группируются в виде обособленных полос, тянущихся вдоль пляжа, а более крупные – отдельно от них. Они сортировались, распределялись, отбирались. Какое-нибудь прибрежное племя могло бы удивиться такому свидетельству продуманности и упорядоченности мира и сложить миф, который объяснял бы этот феномен, скажем, волей Великого Духа,

живущего на небесах, чей разум склонен к аккуратности и порядку. Мы снисходительно улыбнулись бы на такое суеверие и объяснили бы, что на самом деле порядок здесь навели слепые силы физики – в данном случае морские волны. Волнам несвойственно иметь цели и намерения, их разум не склонен к аккуратности – у них вообще нет разума. Они просто приносят энергию, которая разбрасывает гальку по пляжу, а мелкие и крупные камни по-разному реагируют на такое воздействие и потому оказываются на разном расстоянии от воды. Из беспорядка возникла малая толика порядка, и ничей разум этого не планировал.

Волны и галька образуют простую систему, автоматически генерирующую неслучайность. Таких систем в мире полным-полно. Наипростейший пример, приходящий мне в голову, – это дыра. Через дыру проходят только те предметы, которые меньше ее. Это значит, что если изначально вы располагаете неким случайным набором объектов над дырой, а также некоей силой, которая перетряхивает эти объекты случайным образом, то через некоторое время объекты выше и ниже дыры будут рассортированы отнюдь не бессистемно. Пространство под дырой будет иметь тенденцию содержать в себе объекты меньше дыры, а пространство над дырой – те объекты, которые превосходят ее по размерам. Конечно же, люди давным-давно научились извлекать выгоду из этого простого принципа генерирования неслучайности, лежащего в основе такого полезного приспособления, как сито.

Наша Солнечная система представляет собой стабильное и организованное объединение планет, комет и всяческих обломков, вращающихся вокруг Солнца, и предположительно является одной из многих подобных систем во Вселенной. Чем ближе к Солнцу находится космическое тело, тем с большей скоростью оно должно двигаться, чтобы противостоять силе гравитации и оставаться на устойчивой орбите. Для любой отдельно взятой орбиты существует только одна скорость, с которой можно лететь, не сходя с этой орбиты. Двигаясь с любой другой скоростью, тело либо умчится далеко в космос, либо перейдет на другую орбиту, либо рухнет на Солнце. Взглянув на планеты Солнечной системы, мы с вами увидим, что – ну надо же! – каждая из них перемещается вокруг Солнца с той самой скоростью, которая необходима, чтобы оставаться на орбите. Благословенное чудо дальновидного замысла? Нет, просто еще одно природное “сито”. Очевидно, что все вращающиеся вокруг Солнца планеты, которые мы наблюдаем, должны двигаться по своим орбитам именно с нужной скоростью, иначе бы мы их там не видели, поскольку их бы там не было! Но точно так же очевидно и то, что в этом нет никакого доказательства сознательного замысла. Перед нами просто еще одна разновидность сита.

Подобное примитивное отсеивание само по себе ни в коей мере не является достаточным для объяснения той высочайшей степени упорядоченности, какую мы видим в живых организмах. Давайте вспомним аналогию с кодовым замком.

Тот уровень неслучайности, который может быть достигнут простым отсеиванием, можно с натяжкой приравнять к открытию кодового замка с кодом из одной цифры – такой легко может быть открыт исключительно наудачу. То же, что мы можем наблюдать в живых системах, аналогично громадному кодовому замку с практически бесконечным числом угадываемых цифр. Произвести биологическую молекулу типа гемоглобина (красного кровяного пигмента) путем простого “просеивания” – это было бы равносильно тому, чтобы взять все аминокислотные “строительные блоки” для гемоглобина, встряхнуть их и надеяться, что молекула гемоглобина соберется сама собой. Везение, которое тут потребуется, долж но быть просто невообразимым – вот почему Айзек Азимов и прочие так любят приводить этот пример в качестве убойного аргумента.

Молекула гемоглобина состоит из четырех аминокислотных цепочек, переплетенных между собой. Возьмем только одну из них. Она образована 146 аминокислотами. В живых организмах обычно встречается 20 разных типов аминокислот. Число способов, которыми можно соединить 20 различных элементов в цепь длиной в 146 звеньев, невероятно велико; Азимов назвал его “гемоглобиновым числом”. Его несложно подсчитать, но вот вообразить затруднительно. Первым звеном из 146 может оказаться любая из 20 допустимых аминокислот. Вторым тоже. Следовательно, для цепочек, состоящих из двух звеньев, количество возможных

вариантов равняется 20×20 , то есть 400. Число возможных типов цепочки из трех звеньев будет $20 \times 20 \times 20$, что равняется 8000. Чтобы узнать, сколько может быть построено различных цепочек из 146 звеньев, надо 146 раз помножить двадцатку саму на себя. Полученное число будет ошеломляюще громадным. Миллион – это единица с шестью нулями. Миллиард (1000 миллионов) – это единица с девятью нулями. А искомое нами число – “гемоглобиновое число” – это (приблизительно) единица со 190 нулями после нее! И только один из этого множества вариантов – наш гемоглобин. Вот сколь ничтожен шанс получить его благодаря удачному стечению обстоятельств. А ведь молекула гемоглобина – это лишь крохотная частица сложнейшего устройства. Совершенно очевидно, что само по себе простое отсеивание даже близко не в состоянии породить ту степень упорядоченности, какую мы видим в живых организмах. Отсеивание – важный фактор при формировании сложной организации живого, но это далеко не все, что требуется. Нужно что-то еще. Чтобы объяснить, что же именно, мне необходимо провести разграничение между “одноступенчатым” и “накапливающим” отбором. Все те примитивные разновидности сита, которые мы пока что рассматривали в этой главе, представляют собой примеры одноступенчатого отбора. А живые организмы являются результатом накапливающего отбора.

Принципиальное различие между двумя этими видами отбора состоит в следующем. При одноступенчатом отборе

отбираемые или сортируемые объекты – будь то камешки на пляже или что-то другое – отбираются раз и навсегда. А при отборе накапливающим они “размножаются” – ну или каким-то иным способом результаты одного отсеивания оказываются материалом для другого, следующего отсеивания, результаты которого опять “проходят через сито”, и так далее до бесконечности. Объекты подвергаются отбору или систематизации в течение многих следующих друг за другом “поколений”. Итоги отбора в одном поколении являются отправной точкой для отбора в следующем поколении, и так много поколений подряд. Использовать тут слова “размножаться” и “поколение”, обычно применимые к живым организмам, вполне естественно, ведь живые организмы – это самый типичный пример объектов, участвующих в процессе накапливающего отбора. В реальности они могут оказаться даже единственным таким примером, но пока я предпочел бы воздержаться от категоричных заявлений.

Порой игра ветра придает облакам форму легкоузнаваемых предметов. Много раз публиковалась фотография, сделанная одним пилотом-любителем: нечто похожее на глядящий с неба лик Иисуса. Все мы видели облака, которые были на что-нибудь похожи, например на морского конька или на улыбающуюся рожицу. Эти изображения возникают путем одноступенчатого отбора – другими словами, благодаря однократному совпадению, – и потому большого впечатления они не производят. Сходство знаков зодиака с животными,

в честь которых они были названы, — Скорпион, Лев и т. п. — не более интересно, чем предсказания астрологов. Оно не ошеломляет нас в той же степени, что и биологические адаптации, возникающие в результате накапливающего отбора. Увидев, сколь схожа листовидка с листом, или встретив богомола, выглядящего как соцветие из розовых цветочков, мы описываем эти явления как необычайные, поразительные и захватывающие дух. А если облако похоже на хорька, то для нас это разве что слегка занятно и едва ли стоит того, чтобы обращать внимание собеседника. Более того, мы вполне можем изменить свое мнение насчет того, на что это облако больше всего похоже.

ГАМЛЕТ. Видите вы вон то облако в форме верблюда?

ПОЛОНИЙ. Ей-богу, вижу, и действительно, ни дать ни взять верблюд.

ГАМЛЕТ. По-моему, оно смахивает на хорька.

ПОЛОНИЙ. Правильно: спинка хорьковая.

ГАМЛЕТ. Или как у кита.

ПОЛОНИЙ. Совершенно как у кита¹.

Не знаю, кто именно первым обратил наше внимание на то, что обезьяна, бессмысленно лупящая по пишущей машинке, смогла бы, имея она достаточно времени, напечатать полное собрание сочинений Шекспира. Ключевая фраза тут,

¹ Шекспир У. *Гамлет, принц датский*. Акт 3, сцена 2. Перевод Б. Л. Пастернака. — *Прим. перев.*

разумеется, “имей она достаточно времени”.

Давайте слегка облегчим задачу нашей обезьяне. Пусть ей надо будет напечатать не полное собрание сочинений, а всего лишь коротенькое предложение *Methinks it is like a weasel* (“По-моему, оно смахивает на хорька”), и, чтобы облегчить задачу еще больше, мы дадим ей для этого упрощенную клавиатуру, содержащую только 26 букв (заглавных) и клавишу пробела. Сколько же времени на это потребуется?

В выбранном предложении 28 знаков. Давайте будем считать, что обезьяна как бы делает серию дискретных “попыток”, каждая из которых состоит из 28 ударов по клавиатуре. Если она правильно набирает нужную фразу – эксперимент окончен. Если нет – мы даем ей новую “попытку” 28 раз нажать на клавиши. Я не знаком ни с одной обезьяной, но, к счастью, моя 11-месячная дочь представляет собой хорошо зарекомендовавший себя в деле генератор беспорядка, и она с готовностью (даже, может быть, излишней) согласилась взять на себя роль обезьянки-машинистки. Вот что она набрала на компьютере:

*UMMK JK CDZZ F ZD DSDSKSM
S SS FMCV PU I DDRGLKDXRRDO
RDTE QDWFDVIOY UDSKZWDCCVYT
H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D
RCDFYYRM N DFSKD LD K WDWK
JKAUIZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI*

Однако у нее много дел и без того, так что я был вынужден запрограммировать компьютер так, чтобы он сам имитировал печатающего младенца или обезьяну:

WDLDMNLTDITJBKWIRZREZLMQCO P
Y YVMQKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY
MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF
FU OVAODVIKDGXDEKYVMOGGS VT
HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF
GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

И так далее, и тому подобное. Вычислить, через какое время имеет смысл ожидать, что компьютер (или младенец, или обезьяна) случайно наберет *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*, нетрудно. Давайте прикинем общее число *возможных* фраз нужной нам длины, которые обезьяна, или младенец, или компьютер *могли бы* случайно набрать. Принцип расчета будет тот же самый, что и для гемоглобина, и результат получится таким же огромным. На месте первой буквы может оказаться любая из имеющихся 27 (давайте считать пробел тоже “буквой”). Таким образом, шансы, что обезьяна в качестве первой буквы поставит нужную нам М, составляют 1 из 27. Вероятность того, что правильными окажутся первые две буквы МЕ, будет равна вероятности правильного попадания на вторую букву Е (1 из 27) *при условии*, что

первая буква, М, уже оказалась верной – то есть $1/27 \times 1/27$ или $1/729$. Вероятность получить первое слово, *METHINKS*, соответствует $1/27$ для каждой из восьми составляющих его букв, иначе говоря, $1/27 \times 1/27 \times 1/27 \dots$ и т. д., всего восемь раз, то есть $1/27$ в 8-й степени. Вероятность же написать правильно всю фразу из 28 знаков составляет $1/27$ в 28-й степени, что означает число $1/27$, помноженное само на себя 28 раз. Это очень маленькие шансы, где-то 1 к 10 000 миллионов миллионов миллионов миллионов миллионов миллионов. Ждать нужной фразы придется, мягко выражаясь, очень-очень долго. Что уж говорить о полном собрании сочинений.

Вот и все, на что способен одноступенчатый отбор случайных изменений. А как насчет накапливающего отбора, намного ли он будет эффективнее? Очень намного – возможно, больше, чем мы в состоянии вообразить, хотя если подумать, то это покажется почти что очевидным. Мы снова воспользуемся нашей компьютерной обезьянкой, но внесем в программу одно существенное изменение. Как и в предыдущий раз, компьютер начинает со случайной 28-буквенной последовательности:

WDLDMNLTD TJBKWIRZREZLMQCOP

А затем приступает к “селекции”. Он воспроизводит эту бессмысленную фразу несколько раз подряд, но с опреде-

ленной вероятностью случайной ошибки – “мутации” – при копировании. Далее компьютер изучает получившиеся бессмысленные фразы – “потомство” исходной – и выбирает среди них ту, которая *хоть сколько-нибудь* больше других походит на искомое *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. В данном случае среди следующего “поколения” победительницей оказалась такая фраза:

WDLTMNLTD TJBSWIRZREZLMQCO P

Не то чтобы явное улучшение! Но алгоритм продолжает выполняться, теперь уже эта фраза “производит” мутантное “потомство”, из которого выбирается новый “победитель”. Десять поколений спустя фраза, оставляемая “на племя”, выглядела так:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

А по прошествии 20 поколений она была такой:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

К этому времени предубежденному взгляду уже начинает мерещиться сходство с нужной фразой. Спустя 30 поколений никаких сомнений не остается:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

Сороковое поколение отделяет от цели всего одна буква:

METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

Цель была окончательно достигнута в 43-м поколении. Второй заход компьютер начал с фразы:

Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQXYOPY, —

прошел через следующие промежуточные стадии (я снова привожу только каждое десятое поколение):

Y YVMQKSPFTXWSHLIKEFV HQYSPY

YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY

METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY

METHINKS IT ISBLIKE A WEASES

METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO

METHINKS IT IS LIKE A WEASEP —

и достиг конечной фразы в поколении 64. В третий раз он начал так:

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF —

и пришел к *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL* за 41 поколение направленной “селекции”.

Какое именно время потребовалось компьютеру для достижения цели – не имеет значения. Если вам интересно, в первый раз он справился с задачей, пока я выходил победать. То есть где-то за полчаса. (Читатели, увлекающиеся компьютерами, сочтут это неоправданно долгим. Причина в том, что программа была написана на бейсике – компьютерной разновидности детского лепета. Когда я переписал ее на паскале, выполнение заняло 11 секунд.) В таких делах компьютеры несколько проворнее обезьян, но на самом деле разница не принципиальна. Что действительно существенно, так это разница между сроком, потребовавшимся для *накапливающего* отбора, и тем промежутком времени, который потребовался бы для достижения той же самой цели тому же самому компьютеру, работающему точно с такой же скоростью, но методом *одноступенчатого отбора*: около миллиона миллионов миллионов миллионов миллионов лет. Это более чем в миллион миллионов миллионов раз больше сегодняшнего возраста Вселенной. Лучше даже будет сказать так: по сравнению с тем временем, которое понадобится обезьяне или компьютеру, чтобы случайно набрать нужную фразу, нынешний возраст вселенной – пренебрежимо малая величина, столь малая, что наверняка попадает в пределы погрешности, допускаемой нами в наших приблизительных вычислениях. А компьютеру, работающему тоже наугад, но

при ограничивающем условии *накапливающего отбора*, для выполнения той же задачи потребуются срок, вполне доступный простому человеческому пониманию: от 11 секунд до времени, необходимого, чтобы пообедать.

Итак, отличие *накапливающего отбора* (когда любое усовершенствование, каким бы незначительным оно ни было, служит фундаментом для дальнейшего строительства) от одноступенчатого (когда каждая новая “попытка” начинается “с чистого листа”) очень велико. Если бы эволюционный прогресс опирался на одноступенчатый отбор, это вряд ли привело бы хоть к чему-нибудь. Если бы, однако, слепым силам природы удалось каким угодно образом создать условия, благоприятные для *накапливающего отбора*, то последствия оказались бы необыкновенными и изумительными. Собственно говоря, именно это произошло на нашей планете, а сами мы принадлежим к числу самых недавних из таких последствий – и едва ли не самых необыкновенных и изумительных.

Забавно, что расчеты наподобие того, который я привел для “гемоглобинового числа”, все еще используются в качестве аргументов *против* дарвиновской теории. По-видимому, те, кто так делает, будучи зачастую квалифицированными специалистами в своей области – астрономами или кем угодно еще, искренне думают, что дарвинизм объясняет устройство живых организмов одной лишь случайностью, пресловутым “одноступенчатым отбором”. Убеждение, буд-

то дарвиновская эволюция “случайна”, не просто неверно. Оно диаметрально противоположно истине. В дарвиновском рецепте используется лишь крупинка случайности, а основной ингредиент – это накапливающий отбор, который по сути своей *неслучаен*.

Облака не способны участвовать в процессе накапливающего отбора. Не существует такого механизма, посредством которого они могли бы производить выводки подобных себе дочерних облаков. Если бы такой механизм был, если бы облако, похожее на хорька или на верблюда, могло стать родоначальником клана облаков примерно той же формы, тогда у накапливающего отбора появился бы шанс приняться за дело. Разумеется, облака порой распадаются на части и образуют “дочерние” облака, но для накапливающего отбора этого недостаточно. Необходимо также, чтобы “потомство” любого отдельно взятого облака было похоже на своего “родителя” больше, чем на любого из более далеких “предков” в “популяции”. Некоторым из философов, заинтересовавшихся в последние годы теорией естественного отбора, этот ключевой момент явно непонятен. Далее нужно, чтобы вероятность выживания облака и производства им собственных копий как-то зависела от его формы. Возможно, в некоей далекой галактике такие условия возникли и по прошествии достаточного количества миллионов лет дали начало воздушной, бестелесной форме жизни. Из этого мог бы выйти неплохой научно-фантастический роман – под названи-

ем, скажем, “Белое облачко”, – но для наших нынешних целей компьютерная модель с обезьяной и Шекспиром более наглядна.

Хотя наша модель “обезьяна/Шекспир” и годится для демонстрации отличий одноступенчатого отбора от накапливающего, в некоторых важных отношениях она неудачна и может ввести в заблуждение. Например, в каждом поколении направленной “селекции” мутантное “потомство” оценивалось по критерию соответствия далекому идеалу – фразе *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. В жизни же все иначе. У эволюции нет долгосрочных стремлений. Сколько бы человеческое тщеславие ни лелеяло абсурдную идею, будто наш вид и есть конечная цель творения, не существует ни отдаленной цели, ни окончательного совершенства, которое могло бы послужить мерилom для отбора. В реальной жизни критерии для отбора всегда краткосрочны – это либо простое выживание, либо, в более общем смысле, репродуктивный успех. Если по прошествии геологических эпох свершится то, что задним числом выглядит как движение к некоей далекой цели, это всегда побочный результат сиюминутного отбора, действовавшего в течение многих поколений. “Часовщик”, коим является накапливающий естественный отбор, не видит будущего и не ставит перед собой никаких долгосрочных задач.

Принимая это во внимание, мы можем изменить нашу компьютерную модель. Также мы можем приблизить ее к ре-

альности и в других аспектах. Буквы и слова – это проявления сугубо человеческой природы, так что лучше пускай наш компьютер рисует картинки. Возможно, нам даже удастся увидеть, как изображения на экране благодаря накапливающему отбору мутантных форм приобретают очертания, напоминающие животных. Мы не будем предрешать исход дела, вводя в программу изображения животных в качестве стартового материала. Нам хотелось бы, чтобы они возникли сами и исключительно в результате накапливающего отбора случайных мутаций.

В реальной жизни внешний вид животного возникает в процессе эмбрионального развития. Эволюция происходит потому, что в ряду сменяющих друг друга поколений эмбриональное развитие слегка варьирует. Эти небольшие отклонения появляются вследствие изменений в генах, контролирующих развитие (мутации – та самая необходимая крупица случайности, о которой я упоминал). Следовательно, в нашей компьютерной модели должно быть что-то, эквивалентное эмбриональному развитию, и что-то, эквивалентное способным к мутированию генам. Существует немало способов сделать так, чтобы компьютерная модель удовлетворяла этим требованиям. Я выбрал один из них и написал соответствующую программу. А теперь я расскажу про эту компьютерную модель, так как считаю ее очень показательной. Если вы ничего не знаете о компьютерах, просто запомните, что это такие машины, которые делают в точности то, что им

говоришь, а результат нередко оказывается неожиданным. Перечень инструкций, отдаваемых компьютеру, называется программой (я пишу *program*, как это принято в Америке и как рекомендует Оксфордский словарь; альтернативное написание *programme*, распространенное в Британии, кажется мне офранцузенным и неестественным).

Развитие эмбриона – процесс слишком замысловатый, чтобы можно было реалистично симитировать его на маленьком компьютере. Поэтому нужно придумать некий упрощенный аналог: найти такое простое правило вычерчивания рисунков, которому компьютер мог бы легко подчиняться и которое могло бы варьировать под влиянием “генов”. Какое же правило мы выберем? В учебниках по информатике часто демонстрируются возможности так называемого рекурсивного программирования на примере простого *алгоритма роста деревьев*. Компьютер начинает с того, что чертит одиночную вертикальную линию. Затем эта линия разветвляется на две. Затем каждая из получившихся ветвей разделяется на две ветви второго порядка. Затем каждая из этих новых ветвей разделяется на ветви третьего порядка и т. д. Такое программирование называется рекурсивным, потому что в каждой точке всего растущего дерева применяется одно и то же правило (в данном случае правило ветвления). Каким бы большим дерево ни выросло, каждая его веточка разделяется снова и снова в соответствии все с тем же правилом.

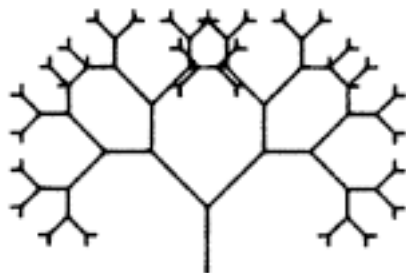
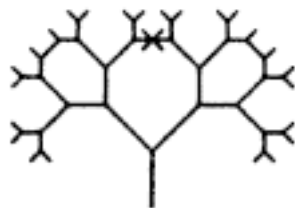
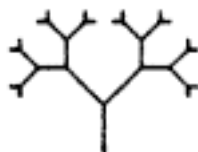
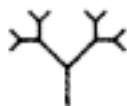
“Глубиной” рекурсии называется такое число веточек n -го порядка, которому позволено вырасти, прежде чем процесс будет остановлен. На рисунке 2 показано, что будет, если задать компьютеру один и тот же алгоритм черчения, но с разными значениями глубины рекурсии. При высоких степенях рекурсии получается довольно запутанный узор, однако, как ясно видно из рис. 2, достигается он за счет того же самого простейшего правила ветвления. Несомненно, это именно то, что происходит и у настоящих деревьев. Система ветвей дуба или яблони выглядит сложной, но в действительности таковой не является. Правило, лежащее в основе процесса ветвления, элементарно. Просто оно снова и снова применяется в каждой растущей верхушке каждой веточки: ветви дают начало ветвям второго порядка, каждая из которых, в свою очередь, ветвям третьего порядка и так далее. Вот почему все дерево становится в итоге большим и ветвистым.

Рекурсивная бифуркация является также хорошей метафорой эмбрионального развития как растений, так и животных. Я не хочу сказать, будто зародыши животных похожи на ветвящиеся деревья. Они на них не похожи. Но любой эмбрион растет благодаря делению клеток. Каждая клетка всегда делится на две дочерние. А гены в конечном счете всегда осуществляют свои воздействия на организм посредством *локального* влияния на клетки, которые раздваиваются и раздваиваются. Гены животного ни в коем случае не

являются грандиозным чертежом, подробным планом строения целого организма. Как мы дальше увидим, они похожи скорее на рецепт, нежели на чертеж, и более того, на рецепт, которому следует не весь развивающийся зародыш, а каждая клетка или каждое небольшое скопление делящихся клеток. Я не отрицаю того, что любой эмбрион, а впоследствии и взрослая особь *имеет* некое целостное строение. Но *возникает* это крупномасштабное строение за счет множества мелких локальных воздействий на клеточном уровне, происходящих повсюду в развивающемся организме. И в первую очередь местные воздействия сказываются на удвоении клеток – то есть на некоей разновидности ветвления. Именно регулируя такие локальные события, гены в конечном итоге влияют и на строение взрослого организма.

Итак, простое правило ветвления выглядит как многообещающий аналог эмбрионального развития. Что ж, превращаем это правило в небольшой компьютерный алгоритм, которому даем название РАЗВИТИЕ, чтобы затем внедрить его в более масштабную программу ЭВОЛЮЦИЯ². При работе над этой большой программой прежде всего следует задуматься о генах.

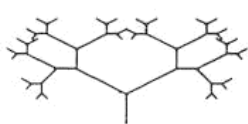
² См.: Dawkins, R. (1989) The evolution of evolvability. In C. Langton (ed.) *Artificial Life*. New York: Addison-Wesley.



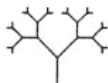
Какого рода “гены” могут быть представлены в нашей компьютерной модели? В реальной жизни гены делают две вещи: влияют на индивидуальное развитие и передаются следующим поколениям. У настоящих животных и растений десятки тысяч разных генов, но мы в своей компьютерной имитации скромно ограничимся девятью. Каждый ген из этой девятки будет охарактеризован в компьютере просто неким числом, которое будет называться *значением* гена. Какой-то отдельно взятый ген может, к примеру, иметь значение 4 или –7.

Как же эти гены будут влиять на развитие? Ну, они могут делать это множеством разных способов. Главное, чтобы они вносили в алгоритм РАЗВИТИЕ какие-то небольшие изменения количественного характера. Например, один ген мог бы влиять на угол ветвления, а другой – на длину какой-нибудь из веточек. Еще одна возможная задача для генов, которая сразу же приходит в голову, – менять глубину рекурсии, число последовательных ветвлений. Ответственным за этот эффект я назначил ген номер 9. Таким образом, вы можете рассматривать рис. 2 как изображение семи близкородственных организмов, идентичных друг другу во всем, за исключением гена 9. Не буду вдаваться в подробности того, что именно делает каждый из восьми других генов. Представление о том, *какого рода* воздействия они производят, вы мо-

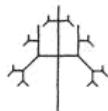
жете получить, изучив рис. 3. В центре расположено исходное дерево – одно из тех, что изображены на рис. 2. Вокруг него располагается еще восемь. Они точно такие же, как и то, которое в центре, но только у каждого из них был изменен – “мутировал” – какой-то из этих восьми генов. Например, картинка справа от центрального дерева показывает нам, что происходит, когда ген 5 мутирует и к его значению прибавляется 1. Будь на странице больше места, я бы расположил вокруг центрального дерева кольцо из 18 мутантов. Почему именно из 18? Потому что у нас есть девять генов, и каждый из них может мутировать в сторону как “повышения” (когда к его значению прибавляется 1), так и “понижения” (когда из его значения вычитается 1). Следовательно, 18 изображений хватило бы для того, чтобы показать всех мутантов, каких *можно* получить из одного центрального дерева путем единичного преобразования.



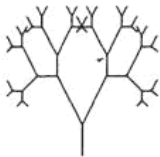
Ген 1-



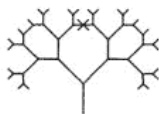
Ген 9-



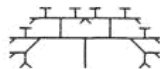
Ген 1+



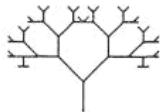
Ген 5-



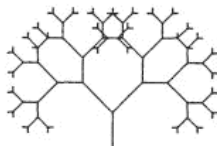
Исходное дерево



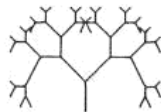
Ген 5+



Ген 7-



Ген 9+



Ген 7+

Рис. 3

У каждого из этих деревьев имеется своя собственная, уникальная “генетическая формула” – численные значения всех девяти генов. Я не стал выписывать эти генетические формулы здесь, так как сами по себе они ничего вам не скажут. Это же, кстати, справедливо и для настоящих генов. Гены начинают значить что-либо, только когда в ходе белково-

го синтеза преобразуются в предписания для развивающегося зародыша. То же и в нашей компьютерной модели: численные значения девяти генов обретают смысл, только будучи переведенными в указания по росту древовидного узора.

Но о работе каждого конкретного гена можно получить представление, *сравнивая* два организма, о которых известно, что они различаются только в этом гене. Сравните, например, исходное дерево в центре рисунка с теми, что расположены по обе стороны от него, и вы получите некоторое представление о том, что делает ген номер 5.

Ровно тем же самым занимаются и генетики в реальной жизни. Обычно генетики не знают, какими путями гены оказывают свое воздействие на эмбрионы. Не знают они и полной генетической формулы каждого животного. Но, сравнив два взрослых организма, различающиеся по одному-единственному гену, они могут увидеть, какое именно действие этот ген оказывает. На самом деле все несколько сложнее, поскольку эффекты генов взаимодействуют друг с другом способами более замысловатыми, чем простое сложение. Но то же самое верно и по отношению к компьютерным деревьям. Еще как верно, и на следующих рисунках мы это увидим.

Вы, вероятно, обратите внимание, что все формы, которые у нас получаются, будут двусторонне-симметричными. Это я установил такое ограничение для подпрограммы РАЗ-

ВИТИЕ – отчасти из эстетических соображений, отчасти чтобы уменьшить число необходимых генов (если бы гены не производили одно и то же зеркально отраженное действие на обе стороны вычерчиваемого дерева, нам понадобился бы отдельный набор генов для левой половины и отдельный – для правой), и еще отчасти потому, что надеялся получить картинки, напоминающие животных, а животные в большинстве своем довольно-таки симметричны. По этой же причине отныне я прекращаю называть эти создания “деревьями”, а буду говорить “организмы” или “биоморфы”. Название “биоморфа” придумал Десмонд Моррис – для существ, отдаленно напоминающих животных, с его сюрреалистических полотен. К его картинам я испытываю особенную привязанность, поскольку одна из них была воспроизведена на обложке моей первой книги. Моррис утверждает, что биоморфы “эволюционируют” в его воображении и что их эволюцию можно проследить по его картинам.

Но вернемся к нашим компьютерным биоморфам и к кругу из 18 возможных мутантов, восемь типичных представителей которых изображены на рис. 3. Поскольку каждый из них находится в одном-единственном мутационном шаге от исходной биоморфы, нам будет нетрудно рассматривать их всех как ее *детей*. Итак, у нас есть своего рода РАЗМНОЖЕНИЕ, которое, точно так же как и РАЗВИТИЕ, будет воплощено в простом компьютерном алгоритме – еще одном готовом “строительном блоке” для нашей большой программы

ЭВОЛЮЦИЯ. Про **РАЗМНОЖЕНИЕ** следует сказать две вещи. Во-первых, никакого секса: размножение бесполое. Поэтому я полагаю, что биоморфы женского пола – ведь животные, размножающиеся без полового процесса (тли, например), почти всегда устроены как самки. Во-вторых, имеется ограничение для мутаций: всегда происходит только одна за раз. Выходит, что дочь отличается от своей родительницы только по одному из девяти генов. Более того, при каждой мутации к значению соответствующего родительского гена может быть добавлено только +1 или –1. Это не более чем произвольные условия, которые могли бы быть и иными без ущерба для биологического правдоподобия.

Нельзя сказать того же о другом свойстве нашей модели, отражающем один из основных принципов биологии. Форма потомка не создается непосредственно из родительской формы. Очертания каждой новой биоморфы определяются значениями ее собственных девяти генов (влияющих на величину углов, протяженность линий и т. п.), и каждый потомок получает свои девять генов от родительской девятки. В реальной жизни происходит ровно то же самое. Следующему поколению передается не тело – передаются гены, и только они. Гены влияют на эмбриональное развитие того тела, в котором находятся. Затем эти же гены либо передаются следующему поколению, либо нет. Участие в индивидуальном развитии организма никак не влияет на природу генов, однако вероятность их дальнейшей передачи может зависеть

от успеха того тела, которое они помогали строить. Вот почему необходимо, чтобы в нашей компьютерной модели два этих процесса – РАЗВИТИЕ и РАЗМНОЖЕНИЕ – были отделены друг от друга, как два водонепроницаемых отсека. Перегородка, разделяющая их, абсолютно герметична за исключением того момента, когда РАЗМНОЖЕНИЕ передает РАЗВИТИЮ значения генов, чтобы те влияли на рост новой биоморфы. РАЗВИТИЕ ни в коем случае не передает гены РАЗМНОЖЕНИЮ обратно, иначе это был бы своего рода ламаркизм (см. главу 11).

Итак, мы составили два наших программных модуля, обозначенных как РАЗВИТИЕ и РАЗМНОЖЕНИЕ. РАЗМНОЖЕНИЕ занимается тем, что передает гены из поколения в поколение с определенной вероятностью мутации. В каждом отдельно взятом поколении РАЗВИТИЕ берет предоставленные РАЗМНОЖЕНИЕМ гены и преобразует их в действие по вычерчиванию фигурок, благодаря чему те появляются на экране компьютера. Настало время объединить эти два алгоритма в одну большую программу под названием ЭВОЛЮЦИЯ.

В сущности, ЭВОЛЮЦИЯ – это бесконечно повторяющееся РАЗМНОЖЕНИЕ. В каждом поколении РАЗМНОЖЕНИЕ получает гены от предыдущего поколения и передает их следующему – но с небольшими случайными изменениями, мутациями. Мутация состоит в том, что к значению какого-то случайно выбранного гена прибавляется +1 или -1.

Из этого следует, что в ряду сменяющих друг друга поколений генетические отличия от исходного предка мало-помалу накапливаются и становятся очень большими. Но при всей случайности мутаций эти накапливаемые из поколения в поколение изменения не случайны. В любом отдельно взятом поколении биоморфы-потомки отличаются от своей родительницы случайным образом. Но в том, кто именно из этих потомков будет отобран, чтобы дать начало следующему поколению, случайности уже нет. Вот тут-то и начинает действовать дарвиновский отбор. Критерием для него служат не гены сами по себе, а организмы, на форму которых гены оказывают влияние в ходе РАЗВИТИЯ.

Помимо самовоспроизводства при РАЗМНОЖЕНИИ гены еще и передаются в каждом поколении подпрограмме РАЗВИТИЕ, которая вычерчивает на экране соответствующие организмы, следуя своим собственным строго установленным правилам. В каждом поколении нам показывается весь “выводок” “детенышей” (то есть биоморф следующего поколения). Все они являются мутантными дочерьми одного и того же родительского организма, и каждая отличается от него по какому-то одному гену. Такая невероятно высокая частота мутаций – свойство откровенно небиологическое. В действительности вероятность того, что ген мутирует, составляет зачастую меньше единицы на миллион. Причина, почему в программу был заложен такой высокий уровень мутаций, заключается в том, что все это разворачива-

ящееся на экране компьютера действие предназначалось для человеческих глаз. Ни у какого человека не хватит терпения дожидаться одной мутации в течение миллионов поколений!

Человеческий глаз вообще сыграет в этой истории важную роль. Он будет осуществлять отбор – рассматривать всех потомков в выводке и оставлять одного на разведение. Выбранный таким образом организм даст начало следующему поколению, и теперь уже *его* мутантные детеныши будут все разом представлены на экране. Человеческий глаз выполняет здесь абсолютно ту же функцию, что и при выведении породистых собак или декоративных роз. Другими словами, наша модель является, строго говоря, моделью не естественного отбора, а искусственного. При настоящем естественном отборе дело обстоит так: если организм обладает качествами, нужными для выживания, то его гены выживают автоматически, поскольку находятся внутри него. То есть само собой выходит, что гены, которые выживают, это и есть те гены, которые сообщают организмам признаки, помогающие выжить. В нашей же компьютерной модели критерием отбора служит не выживание организма, а его способность отвечать человеческой прихоти. Прихоть не обязательно должна быть праздной и случайной – ничто не мешает нам проводить селекцию по какому-то определенному признаку, такому как, например, “сходство с плакучей ивой”. Однако в моем случае человек-отборщик чаще всего был капризным и беспринципным, что не так уж отличается от некоторых раз-

новидностей естественного отбора.

Человек указывает компьютеру, какую биоморфу из имеющегося выводка оставить для продолжения рода. Гены избранницы передаются подпрограмме РАЗМНОЖЕНИЕ, и приходит время следующему поколению появиться на свет. Подобно реальной эволюции живого этот процесс может продолжаться бесконечно. Биоморфа из любого поколения находится всего в одном мутационном шаге как от своей предшественницы, так и от наследницы. Но по прошествии 100 циклов программы ЭВОЛЮЦИЯ наши биоморфы могут оказаться где угодно в пределах 100 шагов от своего исходного предка. А 100 мутационных шагов могут далеко завести.

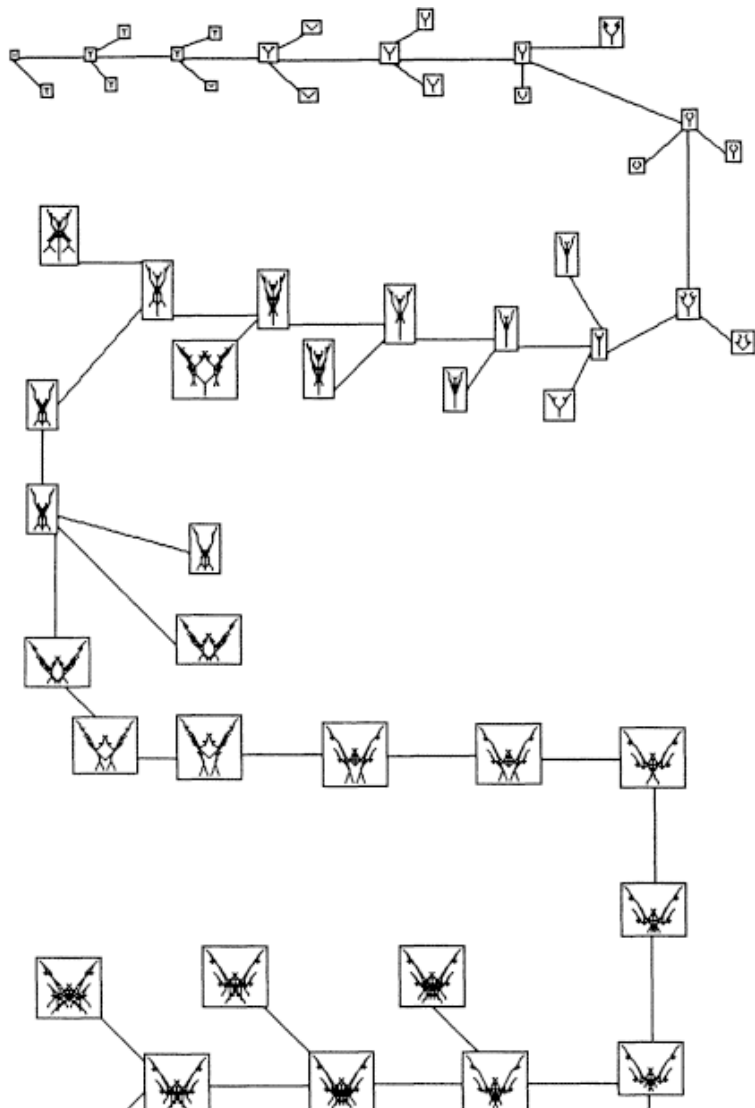
Однако, начиная играть с только что написанной программой ЭВОЛЮЦИЯ, я и вообразить не мог, *насколько* далеко. Первое, что меня удивило, – это то, как быстро мои биоморфы перестали быть похожими на деревья. Исходное раздваивание ветвей никуда не делось, но оказалось, что его можно с легкостью замуливать многократным пересечением линий, образующим сплошные цветные пятна (иллюстрации, увы, только черно-белые). На рисунке 4 показана одна конкретная история эволюционных преобразований, продолжавшаяся в течение всего-навсего 29 поколений. Матерью-прародительницей было крохотное существо, состоящее из одной-единственной точки. Но хотя предковый организм – всего лишь точка (как бактерия в первичном бу-

льоне), его потенциал к ветвлению такой же, как и у дерева, расположенного в центре рис. 3. Просто ген номер 9 велел ему разветвиться ноль раз! Все создания, изображенные на рис. 4, являются потомками этой точки, но, чтобы не загромождать страницу, я не стал размещать на ней всех потомков, какие мне в действительности были предъявлены. Из каждого поколения я взял только успешную биоморфу (то есть давшую начало следующему поколению) и одну или двух из ее неудачливых сестер. Итак, на рисунке представлена преимущественно одна, магистральная линия эволюции, направляемая моими эстетическими предпочтениями. Все до единой стадии, принадлежащие к этой основной линии, там присутствуют.

Давайте посмотрим на рис. 4 и кратко пройдемся по первым нескольким поколениям “генеральной линии” эволюции. Во 2-м поколении точка превращается в букву *Y*. В течение следующих двух поколений *Y* увеличивается в размерах. Затем ее рога немного искривляются, как у хорошей рогатки. В 7-м поколении искривленность усиливается, и две “ветви” почти что соприкасаются кончиками. В поколении 8 они удлиняются и приобретают по паре маленьких отростков. В следующем, 9-м поколении эти отростки пропадают, а рукоятка рогатки становится более вытянутой. Поколение 10 напоминает цветок в разрезе: изогнутые боковые ветви, подобно лепесткам, обрамляют центральный вырост-“рыльце”. В 11-м поколении “цветок” укрупняется, и его форма

становится чуть более сложной.

Нет нужды продолжать этот рассказ. На протяжении всех 29 поколений картинка говорит сама за себя. Обратите внимание, как мало каждая биоморфа отличается от своей предшественницы в ряду поколений и от своих сестер. Но раз каждая отличается от своей родительницы, то следует ожидать, что от своей бабушки (и от своих внучек) она будет отличаться несколько *больше*, а от прабабушки (и от правнучек) еще больше. Вот в чем суть *накапливающей* эволюции, хотя мы и разогнали ее до совершенно невероятной скорости, установив такую высокую частоту мутаций. По этой причине рис. 4 больше смахивает на родословную *видов*, а не особей, но принцип остается тем же.



Составляя программу, я никак не думал, что она сможет выдать что-нибудь кроме различных древовидных форм. Я ожидал плакучих ив, ливанских кедров, пирамидальных тополей, водорослей, в крайнем случае – оленьих рогов. Ни моя биологическая интуиция, ни мой 20-летний опыт программиста, ни самые дерзкие из моих фантазий – ничто не подготовило меня к тому, что я увидел на экране. Уже не помню, в какой именно момент меня осенило, что из получающейся последовательности может выйти нечто, напоминающее насекомое. Охваченный этой нелепой догадкой, я из поколения в поколение стал отбирать те биоморфы, которые были похожи на насекомых хоть сколько-нибудь больше других. Чем сильнее проступало сходство, тем меньше я верил своим глазам. Итоговые результаты можно увидеть в нижней части рис. 4. Правда, у них восемь ножек, как у пауков, а не шесть, как положено насекомым, – и тем не менее! До сих пор не могу удержаться и не поделиться с вами тем чувством ликования, которое я испытал, когда эти изящные существа впервые возникли передо мной на экране. В голове отчетливо зазвучали торжествующие начальные аккорды из “Так говорил Заратустра” (главный мотив в фильме “Космическая одиссея 2011 года”). От волнения я не мог есть, а ночью, когда попытался заснуть, у меня перед глазами, стояло лишь закрыть их, кишели “мои” насекомые.

Существуют и продаются компьютерные игры, в которых игроку кажется, будто он блуждает по подземному лабиринту, имеющему определенную, хотя и сложную, географию, и встречается там драконов, минотавров и прочих сказочных противников. Эти чудовища не слишком разнообразны, и все они, так же как и сам лабиринт, были разработаны человеческим разумом программиста. В эволюционной игре – как компьютерной, так и реальной – у игрока (или у наблюдателя) тоже создается впечатление, что он, образно говоря, бродит по лабиринту разветвленных коридоров, но только количество возможных маршрутов практически бесконечно, а монстры, встречающиеся на пути, непредумышленны и непредсказуемы. Когда я скитался по закоулкам Страны биоморф, мне попадались жаброногие рачки, храмы ацтеков, окна готических соборов, наскальные изображения кенгуру, а однажды – памятный, но не желающий воспроизводиться случай – вполне приемлемая карикатура на теперешнего уайкхемовского профессора логики. На рисунке 5 представлены еще некоторые трофеи из моей коллекции, все полученные одним и тем же способом. Хочу подчеркнуть: эти изображения – не плод фантазии художника. Никогда и никоим образом их не дорисовывали и не подправляли. Они именно такие, какими их вычертил компьютер, внутри которого они эволюционировали. Роль человеческого глаза сводилась только к тому, чтобы *выбирать* варианты из потомства, случайно мутировавшего в течение многих поколений

накапливающей эволюции.

Итак, у нас появилась эволюционная модель, гораздо более близкая к действительности, чем та, которую мы могли извлечь из аналогии с обезьяной, печатающей Шекспира. Однако и эта модель несовершенна. Она наглядно демонстрирует нам, что накапливающий отбор способен давать начало почти бесконечному разнообразию квазибиологических форм, но при этом в ней используется не естественный отбор, а искусственный – осуществляемый человеком. Нельзя ли обойтись без услуг человеческого глаза, а сделать так, чтобы сам компьютер отбирал на основании какого-нибудь биологически правдоподобного критерия? Сделать это сложнее, чем может показаться на первый взгляд. Имеет смысл ненадолго остановиться и объяснить, почему.

Проводить отбор на соответствие какой-то определенной генетической формуле проще простого – при условии, конечно, что нам известны гены всех животных. Но при естественном отборе отбираются не гены сами по себе, а *воздействия* этих генов на организмы – то, что специалисты называют фенотипическими эффектами. У человеческого глаза хорошо получается отбирать фенотипические эффекты – это можно видеть на примере многочисленных пород собак, крупного рогатого скота, голубей, а также, если позволите, на моем рис. 5. Чтобы компьютер смог напрямую отбирать фенотипические эффекты, нам потребуется написать очень сложную программу распознавания образов. Такие програм-

мы существуют. Они применяются для чтения печатных и даже рукописных текстов. Но это область передовых, непростых для понимания технологий, где требуются очень большие и быстродействующие компьютеры. Даже если бы составление такой распознающей образы программы не выходило за пределы как моих способностей к программированию, так и возможностей моего маленького 64-килобайтного компьютера, я не стал бы с этим возиться. Эту задачу проще выполнять с помощью человеческого глаза, а если точнее, с помощью человеческого глаза, оснащенного 10-гиганейронным компьютером внутри черепной коробки.

Научить компьютер проводить отбор по неким обобщенным, размытым признакам, таким как высокий-и-тонкий, низенький-и-толстый, обладающий выпуклыми формами или шипами – да хоть украшенный в стиле рококо, – совсем несложно. В качестве одного из способов можно так запрограммировать компьютер, чтобы он помнил, *какого рода* признаки нравились человеку раньше, и продолжал самостоятельно вести отбор примерно в том же направлении. Но это несколько не приблизит нас к имитации *естественного* отбора. Если не считать некоторых особых случаев, таких как выбор брачного партнера самкой павлина, то природе, чтобы сделать выбор, никаких вычислительных мощностей не требуется. Сила, действующая при естественном отборе, прямолинейна, сурова и проста. Зовут ее старуха с косой. Разумеется, *причины* выживания далеко не просты – потому-то

естественный отбор и способен создавать животные и растительные организмы, устроенные так невероятно сложно. Но в самом факте гибели есть что-то очень грубое и примитивное. А неслучайная гибель – это все, что требуется, чтобы в дикой природе мог происходить отбор фенотипов, а значит, и скрывающихся за ними генов.

Если мы хотим сделать действительно интересную компьютерную имитацию естественного отбора, то следует забыть про узоры в стиле рококо и про все остальные качества, определяемые на глаз. Вместо этого нужно сосредоточиться на моделировании неслучайной гибели. Биоморфы должны взаимодействовать в компьютере с неким подобием враждебной окружающей среды. От каких-то свойств их формы должно зависеть, выживут они в этой среде или нет. В идеале враждебное окружение должно включать в себя и другие эволюционирующие биоморфы: “хищников”, “жертв”, “паразитов”, “конкурентов”. Определенная конфигурация биоморфы-“добычи” влияла бы, скажем, на ее уязвимость для определенных “хищных” форм. Такие критерии уязвимости не должны быть заранее установлены программистом. Они должны *возникнуть* точно так же самостоятельно, как и сами формы. Вот тогда в компьютере создались бы условия для самоподдерживающейся “гонки вооружений” (см. главу 7), что позволило бы начаться настоящей эволюции, и я не осмеливаюсь предполагать, чем бы все это могло закончиться. К сожалению, я не настолько силен в программировании,

чтобы создать такой искусственный мир.



Махаон



Человек в шляпе



Луноход



Аптекарские весы



Ручейник



Скорпион



"Кошкина колыбель"



Квакша



Истребитель



Скрещенные сабли



Орхидея
в форме пчелы



Раковинный
головоногий
моллюск



Насекомое



Лисица



Светильник



Паук-скаун



Летучая мышь

Рис. 5

Если кому оно и по плечу, то, вероятно, тем, кто разрабатывает эти шумные и вульгарные игровые автоматы – наследники "Космических захватчиков". В их программу за-

ложена модель искусственного мира, зачастую объемного, со своей географией и с ускоренной шкалой времени. В этом трехмерном пространстве то и дело появляются различные существа, которые сталкиваются, перестреливаются, пожирают друг друга – и все под аккомпанемент отвратительных звуков. Имитация бывает настолько удачной, что игрок с зажатым в руке джойстиком может испытывать убедительную иллюзию, будто он сам является частью этого искусственного мира. Полагаю, что вершиной подобного программирования являются специальные камеры для тренировки пилотов и космонавтов. Но даже это сушая чепуха по сравнению с написанием такой программы, которая имитировала бы гонку вооружений, возникающую между хищниками и их жертвами внутри полноценной искусственной экосистемы. Тем не менее ничего невозможного тут нет. Если где-нибудь есть профессиональный программист, который не прочь поучаствовать в этой амбициозной затее, то я буду рад связаться с ним (или с ней).

А пока можно попытаться сделать нечто куда более простое, чем я и собираюсь заняться ближайшим летом. Я поставлю компьютер где-нибудь в тенистом уголке сада. Дисплей у меня цветной. Имеется и вариант программы с несколькими дополнительными “генами”, которые контролируют цвет, точно так же как уже знакомые нам девять генов контролируют форму. В качестве исходной биоморфы я выберу какую-нибудь более или менее компактную и яр-

ко окрашенную. На экране компьютера будет одновременно выставлено на обозрение все ее мутантное потомство, отличающееся от нее формой и/или окраской. Думаю, что пчелы, бабочки и прочие насекомые будут навещать биоморф и делать “выбор”, ударяясь в тот или иной участок экрана. После определенного количества таких визитов компьютер удалит все изображения, “размножит” наиболее удачную из биоморф и покажет следующее поколение мутантных потомков.

С упоением предвкушаю, как благодаря диким насекомым через много поколений в компьютере появятся цветы. Если это получится, то эволюция компьютерных цветков будет идти ровно под тем же самым давлением отбора, которое направляло эволюцию цветка в реальном мире. Моя надежда подпитывается как тем фактом, что насекомые любят садиться на яркие цветные пятна на женской одежде, так и опубликованными результатами более систематических экспериментов. Другая возможность, которую я нахожу даже еще более захватывающей, – это то, что насекомые положат начало эволюции себе подобных форм. Есть прецедент (а значит, и повод для надежды): именно пчелы стали причиной возникновения пчеловидных орхидей. Самцы пчел, пытаясь совокупляться с цветками и перенося таким образом пыльцу, запустили у орхидных процесс накапливающего отбора, который через много-много поколений привел к появлению цветков, имеющих форму пчелы. Представьте себе орхидею с рис. 5 в цвете. Смогли бы вы устоять, будь вы пче-

лой?

Основным источником пессимизма для меня является то, что зрение у насекомых работает совершенно не так, как у нас с вами. Экраны компьютеров разрабатывались для человеческих глаз, а не для пчелиных. Запросто может оказаться, что хотя и нам, и пчелам пчеловидные орхидеи видятся (каждым на свой лад) похожими на пчел, тем не менее изображений на экране пчела может вообще не заметить. Возможно, она не увидит ничего, кроме 625 линий сканирования. И все же попробовать стоит. К моменту публикации этой книги я уже буду знать исход дела.

Существует распространенное клише, нередко произносящееся таким тоном, который Стивен Поттер назвал бы “рубануть сплеча”, и гласящее, что нельзя получить от компьютера больше, чем ты сам в него заложил. Бывает, что эта мысль формулируется иначе: компьютеры выполняют в точности то, что им говорится, и потому совершенно не способны к творческой созидательности. Это избитое утверждение верно только в том убогом смысле, в каком можно сказать, будто Шекспир за всю свою жизнь не написал ничего, кроме того, чему его научил первый школьный учитель, – слов. Я ввел в компьютер программу ЭВОЛЮЦИЯ, но я не задумывал ни “своих” насекомых, ни скорпиона, ни истребителя “Спитфайр”, ни лунохода. У меня не было ни малейшего подозрения, что они могут возникнуть, – вот почему глагол “возникнуть” здесь уместен. Не отрицаю, отбор, направляв-

ший их эволюцию, проводился при помощи моих глаз, но каждый раз мои возможности ограничивались небольшим выводком потомков, возникавших благодаря случайным мутациям, а моя “стратегия” отбора – хороша она или плоха – была непоследовательной, изменчивой и сиюминутной. Я не стремился ни к какой отдаленной цели, как не стремился к ней и естественный отбор.

Могу для пущей эффектности подробнее остановиться на том случае, когда я *действительно* попытался стремиться к отдаленной цели. В первую очередь должен сделать признание. Впрочем, вы все равно догадались бы. История эволюционных событий, изображенная на рис. 4, – реконструкция. Это не самые первые из “моих” насекомых. Когда они в первый раз появились на свет под торжественные фанфары, у меня еще не было возможности списать их гены. Насекомые были прямо передо мной – глядели на меня с экрана, а добраться до них, расшифровать их гены я не мог. Я до последнего тянул с выключением компьютера, надрывая свой мозг в поиске способа сохранить их. Но такого способа не существовало. Гены были спрятаны слишком глубоко – так же как и в реальной жизни. Я мог распечатать изображения получившихся организмов, но гены были утрачены. Я немедленно внес в программу необходимые изменения – чтобы в дальнейшем все генетические формулы были в моей досягаемости. Но было слишком поздно. Своих насекомых я потерял.

Я предпринял “розыск”. Однажды они уже появлялись, и потому казалось вполне возможным вывести их повторно. Они мучили меня, как аккорд, который никак не получается подобрать. Я исходил вдоль и поперек всю Страну биоморф, встречая на своем пути бесконечное разнообразие диких созданий и предметов, но моих насекомых среди них не было. Я знал, что они где-то затаились. Я знал исходный набор генов, с которого началась их эволюция. У меня были их изображения. У меня даже была картинка со всей эволюционной последовательностью организмов, постепенно приведшей к моим насекомым от первоначального предка – точки. Но их генетической формулы я не знал.

Вы, вероятно, думаете, что восстановить ход эволюции было довольно просто, но это не так. Причина возникших затруднений (о которой я буду говорить еще не раз) заключалась в астрономическом количестве биоморф, которые *могли бы* возникнуть за достаточно большое число поколений, – даже при наличии всего лишь девяти меняющихся генов. Несколько раз за время моих странствий по Стране биоморф мне казалось, что я подобрался к предшественнику своих насекомых, но затем, несмотря на все мои старания быть хорошим фактором отбора, эволюция шла по ложному пути. В конце концов после долгих эволюционных скитаний мне все же удалось припереть их к стенке – чувство ликования при этом было едва ли меньшим, чем в первый раз. Я не знал (и не знаю до сих пор), были ли мои новые насекомые теми

самыми “потерянными аккордами Заратустры” или же просто походили на них благодаря внешней конвергенции (см. следующую главу), но результатом я был вполне доволен. На сей раз промашки быть не могло: я записал генетические формулы своих насекомых и теперь в любой момент могу их “вывести”.

Да, я несколько драматизирую, но мысль, которую я хочу донести, вполне серьезна и заслуживает внимания. Суть моего рассказа в том, что, хоть я и сам запрограммировал компьютер, объяснив ему во всех подробностях, что нужно делать, получившихся существ я не планировал и был безмерно удивлен, когда увидел их. Я был до такой степени неспособен контролировать эволюцию, что, даже когда мне очень захотелось еще раз пройти тем же самым путем, это оказалось почти что невозможно. Не думаю, что мне удалось бы когда-либо снова встретиться со своими насекомыми, не распечатай я картинку с *полным набором* их эволюционных предков, – но даже в этом случае дело оказалось трудным и муторным. Так ли удивительна неспособность программиста контролировать и прогнозировать ход эволюции в компьютере? Означает ли это, что внутри компьютера происходит нечто необъяснимое, даже мистическое? Разумеется, нет. Как нет ничего мистического и в эволюции настоящих животных и растений. Чтобы разрешить парадокс, мы воспользуемся компьютерной моделью, а заодно узнаем кое-что и о реальной эволюции.

Скажу заранее, в чем будет суть разрешения данного парадокса. Мы располагаем неким строго определенным набором биоморф, каждая из которых постоянно находится в своей собственной уникальной точке математического пространства. Она постоянно находится там в том смысле, что если вам известны значения всех генов данной биоморфы, то вы можете сразу же ее найти. А ее соседками в этом особом пространстве будут те биоморфы, которые отличаются от нее только одним геном. Теперь, зная генетическую формулу своих насекомых, я могу воспроизвести их по собственному желанию, а также попросить компьютер “вывести” их, начиная эволюцию из любой произвольно взятой точки. Когда вы впервые получаете какое-то новое существо внутри компьютерной модели путем искусственного отбора, это похоже на творческое занятие. Так оно, в сущности, и есть. Но на самом-то деле вы не создаете, а *находите* это существо, поскольку в математическом смысле оно уже сидит на своем определенном месте в генетическом пространстве Страны биоморф. Тем не менее это не мешает вашему занятию оставаться творческим, ведь найти какое-то конкретное существо невероятно сложно – страна большая-пребольшая, и общее число населяющих ее созданий почти что бесконечно. Искать наугад бессмысленно. Необходимо взять на вооружение какой-то более эффективный – творческий – подход.

Некоторые наивно полагают, что играющий в шахматы компьютер действует путем перебора всех возможных ком-

бинаций и ходов. Эта мысль утешает их, когда они продумывают компьютеру, и, однако же, она абсолютно ошибочна. Возможных шахматных ходов слишком много: пространство для поисков в миллиарды раз превышает те масштабы, при которых имело бы смысл искать вслепую. Искусство написания хорошей шахматной программы состоит в прокладывании эффективных коротких маршрутов через это пространство. Накапливающий отбор – будь то искусственный отбор в компьютерной модели или естественный отбор в реальном мире – это рациональная методика поиска, сильно напоминающая созидательный интеллект. На чем, собственно, и построено все “телеологическое доказательство” Уильяма Пейли. Формально говоря, все, что мы делаем, играя в компьютерную игру с биоморфами, – это *находим* организмы, которые с математической точки зрения уже существуют и ждут нас. Ощущается же это как процесс художественного творчества. Когда обыскиваешь небольшой участок с небольшим количеством находящихся там предметов, такого ощущения не возникает. Детская игра “найди наперсток” (вариант игры “холодно – горячо”) не кажется нам чем-то созидательным. Когда обследуемое пространство невелико, то стратегия перевернуть все вверх дном, чтобы случайно наткнуться на искомый предмет, обычно срабатывает. Чем обширнее становится пространство для поисков, тем более изощренные методы требуются. Когда это пространство *достаточно* велико, эффективная стратегия поиска неотличима от истинного

творчества.

Компьютерные модели с биоморфами очень показательны в этом отношении – они как бы перекидывают мостик между человеческим творчеством и эволюционной созидательностью естественного отбора, “слепого часовщика”. Чтобы это увидеть, следует подробнее развить мысль о Стране биоморф как о “математическом пространстве” – нескончаемом, но упорядоченном скоплении морфологических разновидностей, где каждое существо сидит на надлежащем месте, дожидаясь, когда его обнаружат. Семнадцать созданий, изображенных на рис. 5, расположены там без какого-либо порядка. Но в Стране биоморф каждое из них занимает свою собственную, уникальную позицию, определяемую имеющимся у него набором генов, и находится в окружении собственных, себе лишь свойственных соседей. Все существа, населяющие Страну биоморф, расположены друг относительно друга в пространстве строго определенным образом. Что это означает? Какой смысл в их пространственное расположение мы вкладываем?

Пространство, о котором идет речь, – это генетическое пространство. Каждое животное занимает там свое определенное положение. Ближайшими соседями в генетическом пространстве являются те животные, которые отличаются друг от друга только одной мутацией. Исходное дерево в центре рис. 3 окружено восемью из 18 своих непосредственных соседей в генетическом пространстве. В соответствии с пра-

вилами данной компьютерной модели 18 соседей животного – это 18 различных типов потомков, каких оно может породить, а также 18 типов родителей, от которых оно может произойти. Чуть подальше, на расстоянии одного шага, у нашей биоморфы обнаружится уже 324 соседки (18×18 , обратные мутации для простоты не учитываем): полный комплект ее потенциальных внучек, бабок, тетушек и племянниц. Отойдя еще на один шаг, обнаруживаем уже 5832 соседки ($18 \times 18 \times 18$): всевозможных правнучек, прабабок, двоюродных сестер и т. п.

Какие преимущества могут нам дать эти рассуждения в терминах генетического пространства? К чему они нас приведут? Ответ таков: это один из способов понять эволюцию как поступательный, кумулятивный процесс. Согласно правилам нашей компьютерной модели, за одно поколение можно сделать только один шаг в генетическом пространстве. А за 29 поколений здесь нельзя уйти от исходного предка дальше чем на 29 шагов. Любой эволюционный процесс представляет собой какую-то особую тропинку, траекторию сквозь генетическое пространство. К примеру, история эволюционных событий, запечатленная на рис. 4, – это единственный в своем роде извилистый путь через генетическое пространство, ведущий от точки к насекомому через 28 промежуточных стадий. Вот что я имел в виду под своей метафорой “блужданий” по Стране биоморф.

Я хотел изобразить это генетическое пространство в виде

картинки. Проблема в том, что картинки двумерны. Генетическое пространство, в котором находятся мои биоморфы, – не двумерное пространство. Оно даже не трехмерное. Оно девятимерное! (Важно помнить про математику одну вещь – ее не нужно бояться. Все не так сложно, как порой пытаются представить жрецы от математики. Я, лишь только начинает подступать страх, всегда вспоминаю афоризм Сильвануса Томпсона из его книги “Исчисление, ставшее простым”: “Что может один дурак, то сможет и другой”.) Если бы мы умели рисовать в девяти измерениях, то смогли бы сделать так, чтобы каждое измерение соответствовало одному из девяти генов. Местоположение конкретного животного, будь то скорпион, или летучая мышь, или насекомое, твердо закреплено численными значениями его девяти генов. Эволюционные преобразования состоят в пошаговом перемещении сквозь девятимерное пространство. Степень генетического различия между двумя животными – то есть насколько долго придется эволюционировать из одного в другое и насколько сложно будет это сделать – измеряется как *расстояние* между ними в генетическом пространстве.

Увы, рисовать в девяти измерениях мы не умеем. Я стал искать способ, как выкрутиться, как нарисовать такую двумерную картинку, которая хотя бы отчасти могла передать, на что это похоже – перемещаться из одного пункта в другой по девятимерному генетическому пространству Страны биоморф. Тут можно пойти различными путями; я выбрал

тот, который называю “уловкой с треугольником”. Взгляните на рис. 6. На вершинах треугольника расположены три произвольно выбранные биоморфы. Сверху – наше “исходное дерево”, слева – одно из моих “насекомых”. Та, что справа, никак не называется, но, по-моему, она прелестна. Как и все биоморфы, каждая из этой тройки имеет свой собственный набор значений генов, которым определяется ее уникальное положение в девятимерном генетическом пространстве.

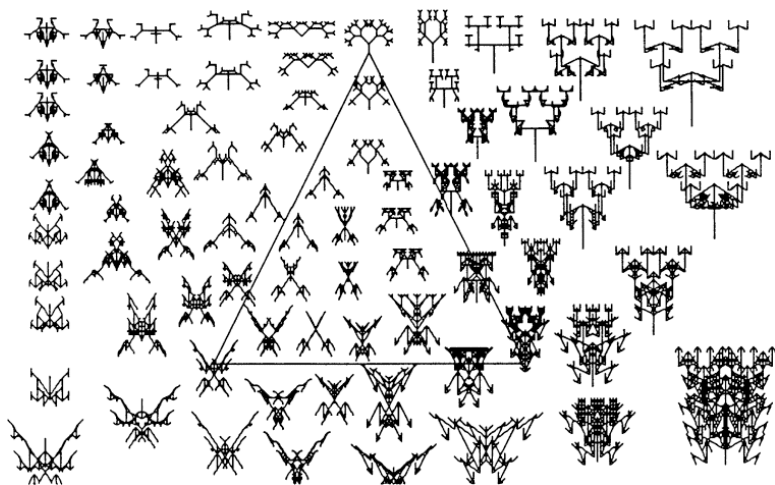


Рис. 6

Треугольник лежит на двумерной плоскости, пересекающей девятимерное гиперпространство (что может один дурак, то сможет и другой). Эту плоскость можно сравнить со

стеклянной пластинкой, заключенной в желе. На ней нарисован наш треугольник, а также те из биоморф, чьи генетические формулы дают им право оказаться на данной конкретной плоскости. Откуда же у них это право? И вот тут в дело вступают биоморфы, расположенные на вершинах треугольника. Назовем их биоморфы-якоря.

Давайте вспомним, в чем суть самого понятия “расстояние” в нашем “пространстве”: генетически сходные биоморфы являются ближайшими соседями, а генетически различные удалены друг от друга. На данной конкретной плоскости все расстояния рассчитываются относительно трех биоморф-якорей. Генетическая формула, соответствующая любой точке на “стеклянной пластинке”, внутри треугольника или вне его, вычисляется как “взвешенное среднее” генетических формул трех этих биоморф. Теперь вы и сами догадаетесь, как именно производится такое “взвешивание”: на основании расстояния, а точнее, *приближенности* интересующей нас точки к каждому из трех “якорей”. Иными словами, чем ближе к насекомому вы находитесь на этой плоскости, тем больше окружающие вас биоморфы похожи на насекомых. А по мере того, как вы двигаетесь по стеклу в сторону “дерева”, “насекомые” постепенно перестают быть насекомыми и становятся все более и более древовидными. Если же вы забредете в центр треугольника, то животные, которых вы там встретите, например паук с еврейским семисвечным канделябром на голове, будут представлять собой

различные “генетические компромиссы” между тремя биоморфами-якорями.

Однако такой подход уделяет слишком уж большое внимание этим трем биоморфам. Положим, компьютер действительно воспользовался ими, чтобы рассчитать соответствующие генетические формулы для каждой точки рисунка. Но на самом деле любые три биоморфы с этой плоскости подошли бы на роль якорей ничуть не хуже, и результат оказался бы абсолютно тем же самым. По этой причине на рис. 7 я треугольник рисовать не стал. Рисунок 7 – это изображение точно такого же типа, что и рис. 6. Просто на нем представлена другая плоскость. В качестве одной из трех “якорных точек” здесь выступает то же самое насекомое, что и в прошлый раз, только теперь оно расположено справа. Другими якорями являлись в данном случае самолет-истребитель и орхидея в форме пчелы – оба с рис. 5. Можно заметить, что и на этой плоскости биоморфы, расположенные по соседству, более сходны друг с другом, чем взаимно удаленные биоморфы. Истребитель, например, входит в состав эскадрильи похожих друг на друга самолетов, летящих строем. Поскольку на обеих плоскостях присутствует насекомое, вы можете представить их себе как две стеклянные пластинки, пересекающиеся под углом. Можно сказать, что плоскость рис. 7 “повернута” относительно плоскости рис. 6, а “точка вращения” – насекомое.

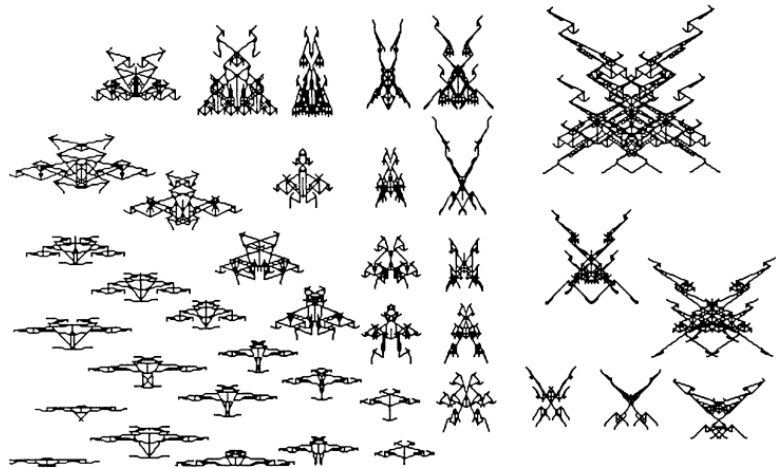


Рис. 7

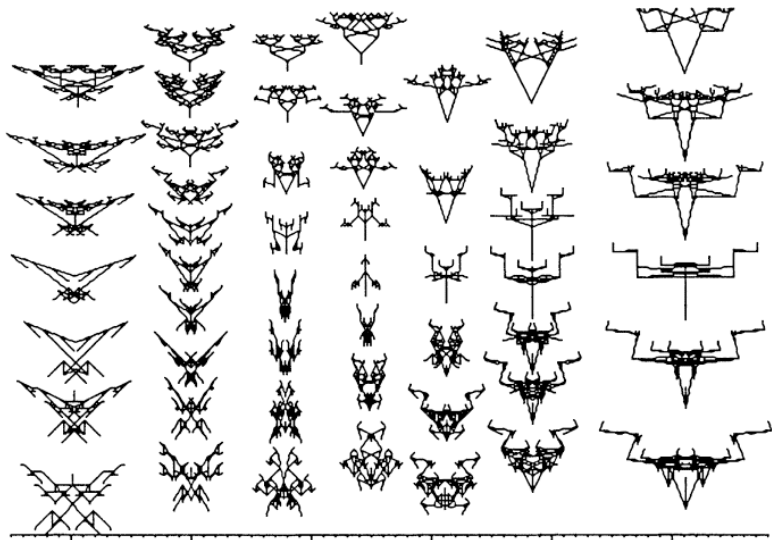


Рис. 8

Удаление треугольника, который отвлекал внимание, придавая чрезмерное значение трем отдельно взятым точкам на плоскости, усовершенствовало наш метод. Следует, однако, сделать еще одно улучшение. Пространственная отдаленность на рис. 6 и 7 соответствует дальности генетического родства, но вот *масштаб* совершенно искажен. Один дюйм по вертикали вовсе не обязательно равнозначен дюйму по горизонтали. Чтоб исправить положение, следует тщательно подобрать биоморфы-якоря – все три должны находиться на одинаковом генетическом расстоянии друг от дру-

га. Именно это сделано на рис. 8. Треугольник, как и на предыдущей иллюстрации, не вычерчен. На сей раз были взяты такие якоря: скорпион с рис. 5, снова то же самое насекомое (мы как бы сделали еще один “поворот” вокруг него) и не поддающаяся описанию биоморфа в верхней части рисунка. Все они находятся на расстоянии 30 мутаций друг от друга. То есть вывести любую из них из любой другой всегда будет сложно в одинаковой степени. Во всех случаях придется сделать не менее 30 генетических ходов. Отметки в нижней части рис. 8 обозначают единицы расстояния, измеряемого в генах. Можно считать это своего рода генетической линейкой. Она функционирует не только в горизонтальном направлении. Вы можете поворачивать ее как угодно, измеряя генетическое расстояние, а следовательно, и минимальное эволюционное время, разделяющее любые две точки на данной плоскости (к сожалению, в нашем конкретном случае это не вполне соответствует действительности, так как принтер исказил пропорции – не столь сильно, чтобы стоило поднимать из-за этого шум, однако ответ, который вы получите, подсчитав отметки на шкале, может оказаться слегка неверным).

Такие двумерные плоскости, пронизывающие девятимерное генетическое пространство, дают некоторое представление о том, что это такое – гулять по Стране биоморф. Чтобы представить себе это более точно, следует помнить, что эволюция не ограничивается рамками одной плоской картинки.

Во время настоящей “эволюционной прогулки” вы можете в любой момент “перескочить” с плоскости на плоскость – например, с плоскости рис. 6 на плоскость рис. 7 (неподалеку от “насекомого”, где две эти плоскости подходят близко друг к другу).

Я сказал, что “генетическая линейка” на рис. 8 позволяет нам вычислить то минимальное время, которое потребуется, чтобы эволюционировать из одной точки в другую. При условиях, принятых в нашей первоначальной модели, это действительно можно сделать, однако основное ударение здесь следует поставить на слове *минимальное*. Раз насекомое и скорпион находятся всего в 30 генетических единицах друг от друга, значит, для того чтобы эволюционировать из одного в другое, потребуется всего 30 поколений. Но это *при условии, что вы ни разу не повернете не в ту сторону*, – другими словами, если вам известно то сочетание генов, к которому следует стремиться, и вы знаете, каким курсом к нему двигаться. В реальном эволюционном процессе не существует ничего, что было бы аналогично стремлению к некоей отдаленной генетической цели.

Давайте теперь на примере биоморф вернемся к той мысли, к которой мы уже пришли, когда говорили об обезьянах, печатающих “Гамлета”, – к мысли о необходимости постепенных, пошаговых эволюционных изменений, не имеющих ничего общего с чистой случайностью. Начнем с того, что иначе обозначим деления шкалы внизу рис. 8. Вместо то-

го чтобы измерять расстояние количеством генов, которые должны измениться в ходе эволюции, мы будем определять его как “вероятность преодолеть дистанцию наудачу, одним прыжком”. Для этого нам придется смягчить одно из ограничивающих условий моей компьютерной игры – в конце наших рассуждений станет понятно, зачем я вообще установил это ограничение. Состояло же оно в том, что потомкам “позволялось” отличаться от родителей только одной мутацией. Иначе говоря, только один ген мог мутировать за один раз, и этому гену было разрешено увеличить или уменьшить свое “значение” только на единицу. Теперь мы не будем такими строгими и позволим всем генам мутировать одновременно, причем каждый сможет прибавлять к своему значению любое число – как положительное, так и отрицательное. Впрочем, это будет *излишне* большое послабление, при котором численные значения генов смогут колебаться в пределах от минус бесконечности до плюс бесконечности. Чтобы разобраться, что к чему, нам вполне достаточно разрешить генам принимать значения, выражаемые одной цифрой от -9 до $+9$.

Итак, новые широкие рамки в принципе допускают, что мутация может одним махом, за одно поколение изменить любые из имеющихся девяти генов. Более того, значение каждого гена может измениться на любую величину – при условии что оно не будет забираться в область двузначных чисел. Что из этого следует? Из этого следует, что за одно поколение эволюция теоретически способна совершить скачок

из любой точки Страны биоморф в любую другую ее точку. Не просто в любую точку на какой-то одной плоскости, а в любую точку всего девятимерного гиперпространства. Если вы хотите, например, одним скачком добраться от насекомого до лисицы с рис. 5, то вот вам рецепт. Добавьте следующие числа к значениям всех генов от 1-го до 9-го, соответственно: $-2, 2, 2, -2, 2, 0, -4, -1, 1$. Но если речь идет о случайных прыжках, то пунктом назначения при каждом прыжке может с равной вероятностью оказаться *любая* точка Страны биоморф. А значит, шансы попасть по чистой случайности в какую-то *конкретную* точку – скажем, на лисицу – легко вычислить. Они составят, попросту говоря, единицу против общего количества всех биоморф в пространстве. Как видите, мы опять начинаем оперировать астрономическими числами. Имеется девять генов, каждый из которых может принимать любое из 19 численных значений. Следовательно, общее количество биоморф, до которых *можно было бы* допрыгнуть за один ход, – это число 19, помноженное само на себя девять раз, то есть 19 в 9-й степени. Это составляет где-то полтриллиона. Мелочь по сравнению с азимовским “гемоглобиновым числом”, но все же, я бы сказал, немало. Если, взяв за исходную биоморфу насекомое, вы начнете, как свихнувшаяся блоха, скакать полтриллиона раз подряд, то можно ожидать, что когда-нибудь вы попадете и на лисицу.

Как же все это помогает нам понять реальную эволюцию? На приведенном примере мы в очередной раз убеждаемся в

важности *постепенных*, пошаговых преобразований. Некоторые из эволюционистов отрицали необходимость такого градуализма для эволюции. Наши вычисления с биоморфами показывают нам, что хотя бы одна причина для того, чтобы изменения непременно были постепенными и пошаговыми, существует *точно*. Когда я говорю, что эволюция способна совершить скачок от насекомого до одной из ближайших к нему биоморф, но *не* может перескочить сразу на скорпиона, я хочу сказать буквально следующее. Если бы эти скачки были действительно случайными, тогда в том, чтобы одним махом допрыгнуть от насекомого до скорпиона, не было бы абсолютно ничего невозможного. Согласитесь, что тогда это было бы возможно *ровно* так же, как и прыжок от насекомого к одной из его непосредственных соседок. Но при этом вероятность попасть на какую угодно другую из имеющихся в пространстве биоморф тоже была бы в точности такой же. Тут-то и загвоздка. Когда общее количество биоморф – полтриллиона и ни одна из них не является более вероятным пунктом назначения, чем другие, то шансы попасть на любую *конкретную* биоморфу малы настолько, что ими можно пренебречь.

Обратите внимание, что допущение о наличии мощного неслучайного “давления отбора” нам здесь не поможет. Пусть даже, удачно попав на скорпиона, вы сорвете большой куш – это не имеет значения. Шансы такого события по-прежнему составляют один к половине триллиона. Но если

вместо того, чтобы скакать, вы будете *идти* шаг за шагом и каждый раз, шагнув в нужном направлении, получать копеечное вознаграждение, тогда вы доберетесь до скорпиона за очень короткий срок. Возможно, и не за самый короткий, не за 30 поколений, но тем не менее очень быстро. Двигаясь прыжками, вы *теоретически* могли бы получить свой выигрыш быстрее – всего за один ход. Но в связи с ничтожно малой вероятностью такой удачи единственная реально осуществимая возможность – это последовательность шажков, каждый из которых прибавляет к накопленному успеху своих предшественников дополнительную лепту.

То, как звучат несколько последних абзацев, оставляет простор для непонимания, и я обязан его развеять. Может опять показаться, будто эволюция устанавливает себе отдаленные цели, стараясь произвести объекты наподобие скорпионов. Мы уже знаем, что такого не бывает. Но если за отдаленную цель принять *что угодно, что повышает шансы выжить*, тогда вся наша аргументация остается в силе. Если животное является чьим-то родителем, значит, ему как минимум хватило качеств, необходимых, чтобы дожить до взрослого состояния. Вполне возможно, что какой-нибудь его мутантный потомок даже сумеет превзойти своего родителя в способности к выживанию. А если мутация окажется резкой, преодолевающей сразу большое расстояние в генетическом пространстве, то каковы будут шансы, что потомок окажется лучше родителя? Ответ такой: они будут очень,

очень малы. Причину этого мы уже видели на нашей модели с биоморфами. Если рассматриваемый нами мутационный прыжок оказался очень дальним, то количество точек, куда мы *могли бы* в итоге приземлиться, астрономически велико. А так как из главы 1 мы знаем, что количество способов быть мертвым неизмеримо больше количества способов быть живым, то существует крайне высокая вероятность того, что большой бесцельный прыжок в генетическом пространстве закончится гибелью. И напротив: чем меньше прыжок, тем меньше опасность смерти и тем более вероятно, что он приведет к усовершенствованию. Мы еще вернемся к этой теме в одной из следующих глав.

Вот какие умозаключения мне хотелось бы вывести из рассказа о Стране биоморф. Надеюсь, он не показался вам чересчур отвлеченным. Ведь существует и другое математическое пространство, которое заполнено не биоморфами с девятью генами, а животными из плоти и крови, состоящими из миллиардов клеток, каждая из которых содержит десятки тысяч генов. Это не Страна биоморф, а настоящее генетическое пространство. Те животные, что реально когда-либо жили на Земле, представляют собой лишь крохотное подмножество от тех, что теоретически *могли бы* существовать. К этим реальным животным ведет очень небольшое число маршрутов через генетическое пространство. Подавляющее большинство маршрутов через это населенное животными пространство ведут к нежизнеспособным уродам. Жи-

вотные, существовавшие и существующие в действительности, разрозненно разбросаны там и сям и занимают свои собственные, строго определенные места в генетическом гиперпространстве среди чудовищ, возможных лишь гипотетически. Каждое такое реальное животное окружено тесной группкой своих соседей, большинство из которых никогда не рождались на свет, и лишь немногие являются его родителями, потомками и родственниками.

Где-то на своих местах в этом гигантском математическом пространстве располагаются люди и гиены, амёбы и трубокозубы, плоские черви и кальмары, дронты и динозавры. Теоретически, будь мы достаточно искусными генными инженерами, мы могли бы переместиться из любой точки этого “зоологического пространства” в любую другую его точку. Начав откуда угодно, мы могли бы так пробраться сквозь лабиринт, чтобы заново создать дронта, тираннозавра и трилобитов. Если бы мы только знали, какие гены следует подправить, какие участки хромосом удвоить, какие вырезать, а какие развернуть задом наперед. Не уверен, что у нас когда-либо хватит познаний для такого дела, однако все эти милые исчезнувшие создания всегда будут, притаившись в своих собственных уголках огромного генетического гиперпространства, ждать, когда же их там *найдут*. Если бы мы только знали, в каком направлении нужно двигаться по лабиринту! Тогда мы смогли бы даже *вывести* точную копию дронта путем избирательной селекции голубей – прав-

да, для завершения такого эксперимента нам потребовалось бы жить миллион лет. Но, когда мы не можем отправиться в настоящее путешествие, воображение – неплохая замена. Для тех, кто, как и я, не математик, хорошим помощником воображению может стать компьютер. Подобно математике он, кроме того что обогащает воображение, еще и дисциплинирует и направляет его.

Глава 4

Прокладывая маршруты через зоологическое пространство



Как мы уже знаем из главы 2, многим людям кажется затруднительным поверить в то, что сложно устроенные и хорошо соответствующие своему назначению объекты с большим количеством взаимодействующих друг с другом элементов, такие как глаз – излюбленный пример Пейли, могли возникнуть из простейших исходных структур вследствие непрерывного ряда постепенных преобразований. Взглянем же на эту проблему еще раз в свете тех новых догадок, к которым нас могли подтолкнуть биоморфы. Давайте ответим на два вопроса.

Мог ли человеческий глаз возникнуть непосредственно из отсутствия глаза, в один присест?

Мог ли человеческий глаз возникнуть непосредственно из чего-то, слегка от него отличного (назовем это что-то X)?

Ясно, что на вопрос 1 ответом будет решительное нет. Вероятность ответа “да” на подобные вопросы составляет единицу к числу, в миллиарды раз превышающему количество атомов во Вселенной. Для этого понадобилось бы сделать гигантский и абсолютно немыслимый скачок сквозь генетическое гиперпространство. А на вопрос 2 ответ будет столь же однозначно положительный – при единственном условии: разница между современным глазом и его непосредственным предшественником X должна быть достаточно ма-

ла. Или, иначе выражаясь, при условии что в пространстве всех возможных структур они, глаз и X , будут расположены достаточно близко друг к другу. Если при некоем определенном уровне различия ответом будет нет, то все, что требуется сделать, — это задать тот же самый вопрос, но только по отношению к меньшему различию. Продолжая в том же духе, мы рано или поздно доберемся до такого уровня различия, который будет достаточно мал для того, чтобы можно было ответить на наш второй вопрос утвердительно.

По определению X — это нечто очень похожее на человеческий глаз, настолько похожее, что возникновение человеческого глаза вследствие однократного изменения X казалось бы правдоподобным. Если вы представили себе некую структуру X и находите невероятным, чтобы из нее мог непосредственно возникнуть человеческий глаз, — значит, вы попросту неправильно выбрали X . Делайте свое мысленное изображение X все более и более похожим на глаз, пока наконец не будете *уверены*, что это правдоподобный предшественник человеческого глаза. Наверняка существует такое X , которое вас удовлетворит, даже если у нас с вами разные представления о том, что считать правдоподобным!

Итак, мы нашли X , при котором ответ на вопрос 2 будет да. Давайте теперь зададимся тем же самым вопросом, но уже по отношению к X . Исходя из точно таких же умозаключений мы снова должны признать, что структура X вполне могла непосредственно, путем однократного преобразо-

вания возникнуть из чего-то, слегка от нее отличающегося, — назовем это что-то X' . Очевидно, что и X' можно вывести из слегка отличной структуры X'' , и т. д. Выстроив достаточно длинный ряд таких иксов, мы можем возвести родословную нашего глаза к чему-то, что не слегка, а *существенно* от него отличается. Мы можем “прогуливаться” по “зоологическому пространству” на большие расстояния, и наше передвижение будет выглядеть правдоподобно при условии, что мы идем достаточно мелкими шажками. Теперь у нас есть возможность ответить на третий вопрос.

Существует ли такой непрерывный ряд из X , который соединял бы современный человеческий глаз с состоянием его полного отсутствия?

Для меня очевидно, что ответ здесь будет да — при непрерывном условии, что мы можем позволить себе *достаточно протяженную* цепочку X . Возможно, вы сочтете 1000 звеньев достаточным количеством, но если вам, чтобы почувствовать подобное превращение возможным, требуется больше эволюционных шагов, просто предположите, что их 10 000. Если вам и 10 000 мало — не откажите себе в 100 000, и т. д. Понятно, что потолок в этой игре устанавливает имеющееся для эволюции время, ибо на одно поколение может приходиться не больше одного X . Следовательно, на деле наш вопрос сводится к следующему: “Достаточно ли было времени для нужного числа поколений?” Мы не можем сказать, какое точное число поколений тут требуется.

Но мы точно знаем, что геологическая история Земли была невообразимо долгой. Чтобы вы просто могли себе представить, о величинах какого порядка идет речь, скажу, что количество поколений, отделяющих нас от самых далеких наших предков, можно с уверенностью исчислять тысячами миллионов. Располагая, скажем, сотней миллионов X , мы сумеем выстроить такую правдоподобную последовательность незначительных градаций, которая соединит человеческий глаз буквально с чем угодно!

Итак, в ходе наших более или менее абстрактных рассуждений мы установили, что существует такая последовательность воображаемых X , каждый член которой может быть безо всяких затруднений преобразован в любого из своих ближайших соседей, а вся последовательность ведет обратно от человеческого глаза к полному его отсутствию. Но мы пока не доказали, что подобная последовательность могла существовать в действительности. Нам требуется ответить еще на два вопроса.

Может ли быть так, что каждый член в нашем ряду гипотетических X , связывающем человеческий глаз с отсутствием какого бы то ни было глаза, возник благодаря случайной мутации своего предшественника?

На самом деле это вопрос из области эмбриологии, а не генетики. И он никакого отношения не имеет к тому вопросу, который волнует епископа Бирмингемского и прочих. Чтобы

проявиться, мутация должна как-то повлиять на уже существующие процессы эмбрионального развития. Можно говорить о том, что в одних направлениях некоторые из этих процессов легко поддаются изменению, а в других, наоборот, крайне устойчивы к воздействию. К этой проблеме я еще вернусь в главе 11, сейчас же ограничусь тем, что вновь обращаю внимание на разницу между малыми изменениями и большими. Чем меньшее изменение вы постулируете, чем меньше разница между X' и X'' , тем правдоподобнее необходимая мутация с точки зрения эмбриологии. В предыдущей главе, исходя исключительно из соображений статистики, мы уже видели, что любая *конкретная* крупная мутация в силу самой своей природы менее вероятна, чем любая незначительная мутация. Следовательно, какие бы трудности ни создавал нам вопрос 4, мы по крайней мере можем быть уверены, что чем меньше мы зададим разницу между X' и X'' , тем меньше будут эти трудности. Моя интуиция говорит мне, что – при условии *достаточно малой* разницы между соседями в нашем ряду ведущих к глазу промежуточных форм – необходимые мутации почти обязаны появиться. Ведь речь тут все время идет о незначительных количественных модификациях уже существующих процессов, происходящих при развитии организма. Не будем забывать, что, сколь бы ни был сложным эмбриологический статус-кво в каком-то отдельно взятом поколении, любое мутационное *изменение* этого статус-кво может быть ничтожно малым и

простым.

Нам осталось ответить еще на один, последний вопрос.

Может ли каждый икс в нашем ряду, связывающем человеческий глаз с отсутствием какого бы то ни было глаза, функционировать достаточно хорошо, чтобы способствовать выживанию и размножению своего обладателя?

Как ни странно, многие люди считают очевидным, что правильным ответом на этот вопрос будет нет. Приведу в качестве примера отрывок из опубликованной в 1982 г. книги Фрэнсиса Хитчинга “Шея жирафа, или Где ошибся Дарвин”. Примерно те же самые слова можно было бы процитировать практически из любой брошюры свидетелей Иеговы, но я остановил свой выбор на этой книге, потому что весьма уважаемое издательство (*Pan Books Ltd*) сочло возможным ее напечатать, несмотря на огромное количество ошибок, выявить которые не составило бы труда любому безработному с биологическим образованием, даже неоконченным, если бы только издатель попросил его пролистать рукопись. (Больше всего мне понравилось, да простит мне читатель толику профессионального юмора, возведение профессора Джона Мэйнарда Смита в рыцарское звание и характеристика Эрнста Майра – этого убедительного и убежденного противника математических подходов в генетической науке, – как “верховного жреца” математической генетики).

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.