РІЧАРД ДОКІНЗ

СЛІПИЙ ГОДИННИКАР

ЯК ЕВОЛЮЦІЯ ДОВОДИТЬ ВІДСУТНІСТЬ ЗАДУМУ У ВСЕСВІТІ

RICHARD DAWKINS

THE BLIND WATCHMAKER

WHY THE EVIDENCE OF EVOLUTION REVEALS A UNIVERSE WITHOUT DESIGN

W. W. NORTON & COMPANY
Independent Publishers Since 1923
New York · London

РІЧАРД ДОКІНЗ

СЛІПИЙ ГОДИННИКАР

ЯК ЕВОЛЮЦІЯ ДОВОДИТЬ
ВІДСУТНІСТЬ ЗАДУМУ У ВСЕСВІТІ

ХАРКІВ
2018
КЛУБ СІМЕЙНОГО ДОЗВІЛЛЯ

УДК 575
Д63

Жодну з частин цього видання
не можна копіювати або відтворювати в будь-якій формі
без письмового дозволу видавництва

Перекладено за виданням:
Dawkins R. The Blind Watchmaker : Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe without Design / Richard Dawkins. — New York : W. W. Norton & Company, 2015. — 496 p.

Переклад з англійської *Ярослава Лебеденка*

Ілюстрації *Ліз Пайл*

Дизайн обкладинки
CreaLab
Creative Laboratory

© Richard Dawkins, 1996, 1987, 1986
© Hemiro Ltd, видання українською мовою, 2018
© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», переклад і художнє оформлення, 2018

ISBN 978-617-12-6244-7 (PDF)

Присвячується моїм батькам

ЗМІСТ

Вступ до видання 1996 року 8

Передмова 12

Розділ 1. Пояснення найнеймовірнішого 19

Розділ 2. Гарний задум 42

Розділ 3. Накопичення дрібних змін 71

Розділ 4. Прокладання шляхів крізь тваринний простір 112

Розділ 5. Влада й архіви 157

Розділ 6. Джерела й дива 192

Розділ 7. Конструктивна еволюція 230

Розділ 8. Вибухи й спіралі 265

Розділ 9. Пунктирування пунктуалізму 302

Розділ 10. Єдино правильне дерево життя 343

Розділ 11. Приречені конкуренти 384

Бібліографія 428

Алфавітний покажчик і ключ до бібліографії 432

ВСТУП ДО ВИДАННЯ 1996 РОКУ

Мене попросили написати новий вступ для цього перевидання «Сліпого годинникаря», і я думав, що це буде простим завданням. Усе, що я мав зробити, — перелічити способи (а їх, безумовно, мало бути багато), якими покращив би цю книжку, якби писав її знову сьогодні. Старанно, розділ за розділом, я вишукував помилки, невідповідності, застарілості, незавершеності. Я щиро прагнув їх знайти, бо наука — попри моральну нестійкість окремих її діячів — не є від природи самовдоволеною і хоча б на словах прагне до перемоги прогресу над викривленням. Але, хоч як це дивно, за винятком дрібних деталей, мені не вдалося знайти в цих розділах жодної важливої тези, яку я сьогодні відкинув би, — нічого, що свідчило би про відмову від власної думки на догоду чомусь чи комусь.

Це не означає, ясна річ, що мені нічого більше сказати на вічно захопливу тему еволюційного задуму. Я легко міг би написати ще десять цілковито нових розділів. Але це мала б бути вже інша книжка. Тепер, я думаю, вона буде називатися «Сходження на пік неймовірного»*. Хоча кожна з цих двох моїх книжок є самодостатньою й може читатись окремо, правда й те, що будь-яку з них можна читати як продовження другої. Конкретні предмети розгляду в них відрізняються (так само, як відрізняються одна від одної всі розділи цієї книжки), але основні теми ті самі — дарвінізм і задум.

Сказати, що я не перепрошую за цю дарвінівську послідовність, було би применшенням. Дарвінізм є колосальною річчю, багато аспектів якого варті більшої кількості книжок, ніж можна було б написати за довгу й успішну кар'єру. Тож і від мене, професіонального «наукового автора», який «зробив» еволюцію, навряд чи можна було б очікувати, що я зверну свою увагу на фізику чи астрономію. Та й навіщо б

* Книжка під цією назвою була видана у Нортоні 1996 року. *(Прим. ред.)*

мені це робити? Історик має законне право написати більше однієї книжки з історії, а не перекидатися на античну літературу чи математику. Професійний кухар випускає ще одну книжку з якогось нового аспекту кулінарії, слушно міркуючи, що садівництво краще залишити професійним садівникам. Незважаючи на відносно невелику кількість видань, присвячених цій темі, на полицях книгарень (і знову применшення!), дарвінізм є масштабнішим предметом дослідження, аніж кулінарія чи садівництво. Це мій предмет, і він достатньо обширний і глибокий, аби стати справою цілого життя.

Дарвінізм охоплює все в житті — людському, тваринному, рослинному, бактеріальному і, якщо я маю рацію в останньому розділі цієї книжки, позаземному. Він надає єдину задовільну відповідь на запитання, навіщо ми всі існуємо і чому ми саме такі, якими є. Він є підґрунтям для всіх дисциплін, відомих як гуманітарні. Я не маю на увазі, що історію, літературну критику та право слід заново виокремити у специфічній дарвінівській формі. Я далекий від цього, дуже далекий. Але всі людські дії є продуктами роботи мозку, а мозок є пристроєм для обробки даних, що пройшов еволюцію, і ми неправильно розумітимемо людські дії, якщо випустимо з уваги цей фундаментальний факт. Якби більше лікарів зналися на дарвінізмі, людство не зіткнулося б тепер із кризою стійкості до антибіотиків. Як зауважив один оглядач, дарвінівська еволюція «є найдивовижнішою істиною природи, яку наразі відкрила наука». Я додав би: «Або ще відкриє».

За десять років з часу першого видання «Сліпого годинникаря» з'явилися й інші книжки, які я хотів би написати сам і з яких, безумовно, почерпнув би інформацію, якби почав цю книжку знову. Редагування розділу про статевий відбір не обійшлося би без чудово написаного твору Гелени Кронін «Мураха й павич» і не менш виразної «Чорної Королеви» Метта Рідлі. Мої історичні й філософські інтерпретації з усіх питань розцвітила б «Небезпечна ідея Дарвіна» Деніела Деннетта, а його освіжна прямота надала б хоро-

бростi моїм критичним розділам. Унікальним джерелом настанов для мене та моїх читачів стала б повчальна «Еволюція» Марка Рідлі. «Мовний інстинкт» Стівена Пінкера міг би надихнути мене розглянути з еволюційного погляду питання мови, якби він сам уже не зробив це так добре. Те саме стосується й «дарвінівської медицини» — якби вже не було чудової книжки з цього предмета Рендольфа Нессе та Джорджа Вільямса (хоча видавці й змусили бідних авторів дати їй напрочуд невдалу й невідповідну назву «Чому ми хворіємо»).

А втім, залишаються люди, які ладні заперечувати еволюцію, і я бачу тривожні ознаки того, що їхній вплив навіть зростає, принаймні в окремих районах Сполучених Штатів. Якщо зважати на аргументи цих дикунів, то вони здебільшого зосереджені навколо поняття «задуму» — яке також стало головною темою «Сліпого годинникаря». Ця книжка не претендувала на те, щоб стати відповіддю на такі закиди, однак правда й те, що всі, кого спокушають аргументи креаціоністів, знайдуть тут їх остаточне спростування (сподіваюся, їх *усіх*).

Претендуючи, як вони це полюбляють, на наукову достовірність, антиеволюційні пропагандисти завжди релігійно мотивовані, навіть якщо вони намагаються завоювати довіру людей, приховуючи цей факт. У більшості випадків глибоко всередині вони точно знають, у що слід вірити, бо їхні батьки порекомендували їм колись якусь давню книжку, яка вказує, у що вони мають вірити. Якщо наукові докази, засвоєні в дорослому віці, суперечать цій книжці, то, мабуть, думають вони, щось не так із науковими доказами. Раз усі методи вуглецевого аналізу сходяться на тому, що Землі вже тисячі мільйонів років, щось явно має бути не так з усіма методами вуглецевого аналізу. Священна книжка дитинства не може, не повинна помилятися!

Однак є підстави для оптимізму. Коли «Сліпий годинникар» уперше вийшов у Сполучених Штатах, видавці відправили мене в короткий тур країною, і я став учасником бага-

тьох прямих ліній на радіо. Мене попереджали, що можна очікувати неприязних запитань від слухачів-фундаменталістів, і, зізнаюсь, я готувався розбити їхні аргументи. Насправді ж усе пройшло ще краще. Слухачі, які телефонували, були щиро зацікавлені в предметі еволюції. Вони не ставилися до нього неприязно, вони просто... нічогісінько про нього не знали. Замість розбивати аргументи, я виконав конструктивніше завдання просвіти простих і наївних людей. Вистачило кількох хвилин, аби пробудити в них розуміння потуги дарвінізму як переконливого пояснення життя. У мене склалося враження, що єдиною причиною, з якої вони не бачили його можливостей раніше, було те, що цей предмет був повністю вилучений з їхньої освіти. За винятком розпливчастої маячні про «мавп», вони просто нічого не чули про дарвінізм і не уявляли, у чому його суть.

Я згадую одного студента-креаціоніста, який через якусь випадкову процедуру відбору одного разу був прийнятий на факультет зоології Оксфордського університету. До того він навчався в невеличкому фундаменталістському коледжі у Сполучених Штатах і виріс у простого младоземельного креаціоніста. Коли ж прибув до Оксфорда, то приохотився відвідувати курс лекцій з еволюції. Наприкінці він підійшов до лектора (яким виявився я), сяючи первісною радістю відкриття: «Отакої! — не міг натішитися він. — Оце так еволюція! Вона справді має сенс». А вона таки, безумовно, має. Як було написано на футболці, яку люб'язно прислав мені один невідомий американський читач: «Еволюція — найграндіозніше шоу на Землі — єдина гра в місті!»

Річард Докінз

Оксфорд, червень 1996 р.

ПЕРЕДМОВА

Ця книжка написана в переконанні, що наше власне існування колись було найбільшою з усіх таємниць, але перестало нею бути, бо таємницю розгадали. Це зробили Дарвін і Воллес, хоча ми ще деякий час продовжуватимемо додавати до їхньої розгадки свої примітки. Я написав цю книжку, бо був здивований тим, скільки людей, схоже, не лише не знають про існування елегантного й прекрасного розв'язання цієї найглибшої з проблем, а й (дивовижно!) у багатьох випадках навіть не підозрюють, що тут взагалі була якась проблема!

А проблема тут полягає у складному задумі. Обсяг пам'яті комп'ютера, на якому я пишу ці рядки, становить приблизно 64 кілобайти (для зберігання кожного символу тексту використовується один байт). Цей комп'ютер був свідомо задуманий і умисно виготовлений. Мозок, який допомагає вам розуміти мої слова, є сукупністю приблизно десяти мільйонів кілонейронів. Багато з цих мільярдів нервових клітин мають більше тисячі «електричних провідців», що з'єднують їх з іншими нейронами. Більше того, на молекулярно-генетичному рівні кожна окрема з понад трильйона клітин організму містить приблизно в тисячу разів більше точно закодованої цифрової інформації, ніж увесь мій комп'ютер. Складності живих організмів відповідає елегантна ефективність їхнього зовнішнього оформлення. Якщо хтось не погоджується, що існування такої масштабної складної конструкції просто вголос вимагає пояснення, я здаюся. Хоча ні, якщо на те пішло, я не здаюся, бо однією з моїх цілей у цій книжці є передати частину

щирого захоплення біологічною складністю тим, хто ще не відкрив на неї очі. Але після цього моєю другою основною метою є таки розкрити таємницю, пояснивши її.

Пояснення — складне мистецтво. Можна пояснити щось так, аби ваш читач зрозумів слова, а можна так, аби він усім єством осягнув їхнє глибинне значення. У другому випадку іноді недостатньо просто неупереджено викласти докази. Треба стати адвокатом і задіяти хитрощі адвокатської професії. Ця книжка не є безпристрасним науковим трактатом. Такими є інші книжки з дарвінізму, багато з яких чудові, інформативні й мають читатися у зв'язці з цією. Слід зізнатися, що ця книжка не просто далека від безпристрасності, а й місцями написана з такою пристрастю, що у фаховому науковому журналі могла б викликати нарікання. Безумовно, її завдання — інформувати, але й переконувати теж, і навіть (*цілі* тут можна визначити доволі чітко) надихати. Я прагну надихнути читача баченням нашого власного існування, з яким він безпосередньо стикається, як страшної таємниці й водночас передати весь свій захват від того факту, що це — таємниця з елегантною розгадкою, доступною нашому розумінню. А ще я прагну переконати читача в тому, що дарвінівський погляд на світ не просто *виявився* слушним, а що це — єдина відома наразі теорія, *здатна в принципі* розгадати таємницю нашого існування. Це робить дарвінізм двічі задовільною теорією. З цього можна зробити впевнений висновок, що він застосовний не лише на цій планеті, а й в усьому Всесвіті, де тільки можна знайти життя.

Та в одному я хочу відмежуватися від професійних адвокатів. Юристові чи політикові платять за його пристрасть і переконливі промови в інтересах клієнта або справи, в яку сам він може й не вірити. Я таким ніколи не займався й не збираюсь. Я можу не завжди бути правим, але я палко обстоюю істину й ніколи не говоритиму того, що не вважаю правильним. Пам'ятаю, як я був шокований, відвідавши дискусійний клуб одного університету для дебатів із

креаціоністами. За обідом після дебатів мене посадили біля молодої жінки, яка виголосила доволі потужну промову на користь креаціонізму. Вона явно не могла *бути* креаціоністкою, тож я попросив її чесно розповісти мені, чому вона це зробила. Вона дуже легко визнала, що просто вдосконалювала свої навички ведення дебатів і їй видалося цікавішим обстоювати позицію, в яку вона не вірила. Вочевидь, це поширена практика в університетських дискусійних клубах, де учасникам просто *вказують*, на чиєму боці їм виступати. Їхні власні переконання до уваги не беруться. Я ж пройшов довгий шлях із виконання неприємного завдання публічних виступів, бо вірив в істинність руху, який мене просили представляти. Коли я виявив, що члени клубу використовують цей рух як засіб гри в суперечку, то вирішив відхиляти майбутні запрошення від дискусійних клубів, які заохочують нещире обстоювання позицій там, де на кону стоїть наукова істина.

З причин, які мені не зовсім зрозумілі, дарвінізм, схоже, потребує захисту більше, ніж аналогічні усталені істини в інших галузях науки. Багато хто з нас не розбирається у квантовій теорії, спеціальній чи загальній теорії відносності Ейнштейна, але це саме по собі ще не приводить нас до *виступів проти* цих теорій! Дарвінізм же, на відміну від ейнштейнізму, схоже, вважається законним об'єктом для нападок критиків із будь-яким ступенем невігластва. Припускаю, що одна з проблем дарвінізму полягає в тому, що, як проникливо зазначив Жак Моно, кожен *вважає*, що розуміє його. Це справді навдивовижу проста теорія, настільки, що деякі люди можуть вважати її просто дитячою порівняно з майже усіма фізичними й математичними. По суті, вона зводиться до простої ідеї, що невипадкове розмноження там, де є спадкова мінливість, має далекосяжні наслідки за наявності часу для їх накопичення. Однак ми маємо вагомі підстави вважати, що ця простота є оманливою. Ніколи не забувайте, що, хоч якою простою здавалася б ця теорія, ніхто й не думав про неї, аж доки Дарвін

і Воллес не сформулювали її в середині XIX століття, приблизно через 200 років після «Начал» Ньютона і більш ніж через 2 тисячі років після того, як Ератосфен виміряв Землю. Як же така проста ідея стільки часу залишалася не виявленою мислителями калібру Ньютона, Галілея, Декарта, Лейбніца, Юма та Арістотеля? Чому їй довелося чекати на двох вікторіанських натуралістів? Що було *не так* із філософами й математиками, що вони її прогледіли? І як така потужна ідея може все ще залишатися здебільшого не сприйнятою масовою свідомістю?

Складається враження, ніби людський мозок був спеціально запрограмований на неправильне розуміння дарвінізму й небажання його прийняти. Візьмімо, наприклад, питання «випадку», який часто драматично називають *сліпим*. Переважна більшість людей, що нападають на дарвінізм, із майже непристойною пристрастю обстоюють помилкову ідею, що в ньому немає нічого іншого, крім випадкового збігу. Складність живого сама по собі є втіленням антитези випадковості, тож якщо ви вважаєте, що дарвінізм зводиться до випадку, то очевидно, що вам буде неважко його «спростувати»! Одним із моїх завдань буде зруйнувати цей міф, у який так легко вірять люди, — міф про те, що дарвінізм є «теорією випадку».

Інша причина, через яку ми, схоже, схильні сумніватися в дарвінізмі, полягає в тому, що наші мізки створені для роботи з подіями на часових *шкалах*, абсолютно відмінних від тих, які характеризують еволюційні зміни. Ми укомплектовані всім необхідим для оцінювання процесів, для завершення яких потрібні секунди, хвилини, роки чи, щонайбільше, десятиліття. Дарвінізм же є теорією сукупних процесів, настільки повільних, що для їх завершення потрібні тисячі, а то й мільйони десятиліть. Усі наші інтуїтивні судження про те, що є ймовірним, виявляються хибними на багато порядків. Наш тонко налаштований апарат скептицизму та суб'єктивної теорії ймовірності дає величезний промах, бо налаштований (за іронією долі, самою еволюцією) на робо-

ту впродовж обмеженого кількома десятиліттями строку служби. Щоб вибратись із цієї в'язниці знайомої часової шкали, доведеться напружити уяву, у чому я й спробую допомогти.

Третя причина, з якої наші мізки чинять завзятий опір дарвінізму, проростає з нашого великого успіху як творчих дизайнерів. У нашому світі домінують досягнення інженерії та твори мистецтва. Ми повністю звиклися з ідеєю, що складна елегантність є показником умисного, ретельно підготовленого задуму. Це, мабуть, є найвагомішою причиною віри в те чи інше надприродне божество, якої дотримується переважна більшість людей, що коли-небудь жили на Землі. Дарвіну й Воллесу знадобився вельми значний стрибок уяви, аби побачити, що всупереч усій інтуїції існує інший, причому (якщо тільки його зрозуміти) значно правдоподібніший спосіб виникнення складного «задуму» з первісної простоти. Стрибок уяви настільки карколомний, що й донині багато людей, схоже, все ще не можуть на нього зважитись. Основною метою цієї книжки якраз і є допомогти читачеві здійснити цей стрибок.

Автори зазвичай сподіваються, що їхні книжки матимуть довготривалий, а не скороминучий вплив. Але поборник будь-якої ідеї на додачу до викладу «вічної, позачасової» частини своєї справи мусить також відповідати сучасним йому прихильникам протилежних (чи нібито протилежних) думок. Існує ризик того, що деякі з цих аргументів, хоч як би палко їх захищали сьогодні, в наступні десятиліття здаватимуться жахливо застарілими. Читачі часто відзначають парадокс, що перше видання «Походження видів» було кращим за шосте. Це тому, що у своїх пізніших виданнях Дарвін почувався зобов'язаним відповісти на тогочасну критику першого видання. Ці закиди тепер здаються настільки застарілими, що відповіді на них просто заважають, а подекуди навіть збивають з пантелику. А втім, піддаватися спокусі ігнорувати критику, що може здаватися скороминущою, зовсім не варто з поваги не лише до кри-

тиків, а й до своїх читачів, які інакше будуть збентежені. Хоч я маю власні ідеї щодо того, які розділи моєї книжки врешті-решт виявляться недовговічними з цієї причини, судити про це буде читач — і час.

Мені прикро, що деякі мої знайомі жінки (на щастя, небагато) розцінили вживання в цій книжці деперсоналізованого займенника чоловічого роду як намір витіснити їх з оповіді. Якби там і було зроблено якесь вилучення (на щастя, це не так), то, гадаю, я радше вилучив би чоловіків, але коли я якось заради експерименту спробував назвати свого абстрактного читача «вона», одна феміністка звинуватила мене у зверхній поблажливості: я мусив говорити «він чи вона» та «його чи її». Це легко зробити, якщо не перейматися стилем, але ж якщо ти не переймаєшся стилем, то не заслуговуєш читачів жодної статі. Тому тут я повернувся до звичайних правил англійських займенників. Я можу називати читача «він», але сприймаю своїх читачів виключно як чоловіків не більше, ніж француз сприймає стіл як жінку. Власне кажучи, я вважаю, що все ж частіше думаю про своїх читачів як про жінок, але це моя особиста справа, і для мене є ненависною думка, що такі міркування впливають на те, як я використовую свою рідну мову.

Особистими є й деякі з моїх причин для вдячності. Сподіваюся, що ті, кому я не можу віддати належне, мене зрозуміють. Мої видавці не бачили жодних причин, аби тримати від мене в секреті імена своїх рецензентів (не «оглядачів», а справжніх рецензентів, *при всій повазі* до багатьох американців до 40 років, що критикують книжки лише *після* їх виходу, коли автор уже не в змозі щось із цим зробити), і я багато виграв від пропозицій Джона Кребса (знову), Джона Дюранта, Ґрема Кейрнса-Сміта, Джеффрі Левінтона, Майкла Р'юза, Ентоні Геллема та Девіда Пая. Річард Ґреґорі по-доброму розкритикував розділ 12, і остаточна версія книжки тільки виграла від його повного видалення. Марк Рідлі та Алан Ґрафен, більше не мої студенти навіть офіційно, разом із Біллом Гамільтоном очолили групу колег,

з якими я обговорюю теорію еволюції й від ідей яких отримую користь майже щоденно. Вони, Памела Веллс, Пітер Аткінс і Джон Докінз, конструктивно критикували на моє прохання різні розділи. Сара Банней внесла численні покращення, а Джон Ґріббін виправив суттєву помилку. Алан Ґрафен і Вілл Аткінсон були моїми радниками з комп'ютерних проблем, а представництво компанії *«Apple Macintosh»* на факультеті зоології люб'язно дозволило скористатись їхнім лазерним принтером для друку біоморфів.

А ще мені дуже допомогла неослабна енергія, з якою Майкл Роджерс, тепер із видавництва *«Longman»*, долає всі перепони на своєму шляху. Він і Мері Каннен із *«Norton»* уміло застосовували педалі газу (до мого морального духу) та гальма (до мого почуття гумору), коли ті були потрібні. Частина цієї книжки була написана під час творчої відпустки, люб'язно наданої факультетом зоології та Новим коледжем. Нарешті — борг, який я мав визнати в обох своїх попередніх книжках, — оксфордська система навчання й мої численні студенти-зоологи допомогли мені вдосконалити з роками свої нечисленні навички складного мистецтва пояснення.

Річард Докінз
Оксфорд, 1986 р.

РОЗДІЛ 1

ПОЯСНЕННЯ НАЙНЕЙМОВІРНІШОГО

Ми, тварини, є найскладнішими об'єктами у відомому нам Усесвіті. Звісно, Всесвіт, який ми знаємо, є лише крихітним фрагментом справжнього Всесвіту. На інших планетах можуть мешкати ще складніші об'єкти, ніж ми, і деякі з них, можливо, вже знають про нас. Але це не змінює того, що я хочу сказати. Хоч де б вони були, складні об'єкти заслуговують на особливе пояснення. Ми хочемо знати, як вони виникли й чому вони є такими складними. Як я доведу нижче, пояснення це, схоже, буде загалом однаковим для складних об'єктів у всьому Всесвіті — для нас, шимпанзе, червів, дубів і монстрів із відкритого космосу. З іншого боку, воно не буде таким самим для того, що я називатиму «простими» об'єктами, такими як скелі, хмаринки, річки, галактики й кварки. Вони є предметом вивчення фізики. Шимпанзе ж, собаки, кажани, таргани, люди, черви, кульбабки, бактерії й космічні прибульці є предметом вивчення біології.

Відмінність між ними полягає у складності задуму. Біологія — це вчення про складні об'єкти, що наводять на думку про наявність задуму з певною метою. Фізика ж є вченням про прості об'єкти, що не спокушає нас говорити про задум. На перший погляд, створені людиною речі на кшталт комп'ютерів та автівок здаватимуться винятками. Складні

та явно задумані з якоюсь метою, вони, однак, не є живими і створені з металу та пластику, а не з плоті й крові. У цій книжці вони незмінно розглядатимуться як біологічні об'єкти.

Читач може на це запитати: «Так, але чи *справді* вони є біологічними об'єктами?» Слова є нашими слугами, а не господарями. Для різних цілей ми вважаємо зручним використовувати слова в різних значеннях. Більшість кулінарних книжок відносять омарів до риб. Зоологи готові мало не луснути, доводячи, що омари могли б із більшим правом називати рибами людей, оскільки риби є значно ближчими родичами для нас із вами, аніж для омарів. Говорячи про право та лобстерів, я пригадав, що нещодавно одному суду довелося вирішувати, відносити омарів до комах чи до тварин (від цього залежить, чи можна дозволяти людям варити їх живцем). З погляду зоології омари, безумовно, не належать до комах. Вони є тваринами, але тоді тваринами є й комахи, й ми самі. Не варто перейматися тим, як різні люди використовують слова (хоча у своєму непрофесійному житті я цілком готовий перейматися людьми, що варять омарів живцем). Кухарі та юристи використовують слова на свій розсуд, у певних спеціальних значеннях, і я роблю в цій книжці те саме. Не зважайте на те, чи є автівки та комп'ютери «справді» біологічними об'єктами. Суть тут у тому, що коли щось такого ж рівня складності буде знайдено на якійсь планеті, нам слід без вагань зробити висновок, що на цій планеті існує чи колись існувало життя. Машини є безпосередніми похідними від живих об'єктів; їхня складність і наявність певного призначення походять від живих об'єктів, і вони є ознакою існування життя на планеті. Те саме справедливо для скам'янілостей, скелетів і мертвих тіл.

Я сказав, що фізика є вченням про прості об'єкти, і це теж може спочатку здатися дивним. Фізика видається складним предметом, бо ідеї цієї науки досить складні для нашого розуміння. Наші мізки були призначені для розуміння речей, пов'язаних із мисливством і збиральництвом, спаровуванням і вихованням дітей, — світу об'єктів середнього розміру,

що рухаються в трьох вимірах на помірних швидкостях. Ми погано «екіпіровані» для осягнення дуже малого й дуже великого; явищ, тривалість яких вимірюється в пікосекундах чи гігароках; частинок, що не мають постійного положення; сил і полів, які не можна побачити чи помацати, про які нам відомо лише тому, що вони впливають на об'єкти, які можна побачити чи помацати. Ми вважаємо фізику складною, бо вона складна для нашого розуміння і книжки з неї повні складної математики. Але при цьому об'єкти, які вивчають фізики, є дуже простими за своєю суттю. Це хмаринки газу чи крихітних частинок, грудки однорідної матерії на кшталт кристалів із майже нескінченно повторюваними атомними моделями. Вони не мають (принаймні за біологічними мірками) заплутаних робочих частин. Навіть великі фізичні об'єкти на кшталт зірок складаються з доволі обмеженого набору частин, організованих більш або менш випадковим чином. Поведінка фізичних, небіологічних об'єктів є настільки простою, що для її опису можна використовувати математичну мову, через що книжки з фізики й повні математики.

Книжки з фізики можуть бути складними, але, подібно до автівок і комп'ютерів, вони є похідними від біологічних об'єктів — людських мізків. Об'єкти та явища, які описує та чи інша праця з фізики, є простішими за одну-єдину клітину тіла її автора. А цей автор складається з трильйонів таких клітин, багато з яких відрізняються одна від одної та організовані за допомогою складної архітектури й точного проектування в робочу машину, здатну написати книжку. (Як і всі інші одиниці вимірювання, трильйони у мене американські: один американський трильйон — це мільйон мільйонів; американський мільярд — це тисяча мільйонів.) Наші мізки підготовлені до роботи з крайніми випадками складності не краще, ніж із крайніми випадками розміру та іншими крайніми випадками складності у фізиці. Ніхто поки що не винайшов математичної мови для опису загальної структури та поведінки такого об'єкта, як фізик чи хоча б одна з його клітин. Ми здатні осягнути лише деякі загальні

принципи, що пояснюють функціонування живих організмів і те, чому вони взагалі існують.

З цього ми й почали. Ми хотіли знати, чому ми (і всі інші складні об'єкти) існуємо. І тепер ми можемо в загальних рисах відповісти на це запитання, навіть попри свою нездатність осягнути деталі самої цієї складності. Якщо вдатися до аналогії, більшість із нас не розуміють у деталях, як працює авіалайнер. Можливо, його виробники також не осягнули цього до кінця: фахівці з двигунів не розуміють у деталях конструкції крил, а фахівці з крил мають доволі розпливчасте уявлення про двигуни. Більше того, навіть фахівці з крил не розуміють крил із повною математичною точністю: вони можуть передбачити, як крило поводитиметься в умовах турбуленції, лише випробувавши модель в аеродинамічній трубі чи за допомогою комп'ютерного моделювання — приблизно так, як робить біолог, вивчаючи певну тварину. Але хоч би як кепсько ми зналися на тому, як працює авіалайнер, ми всі розуміємо, завдяки якому загальному процесу він почав своє існування. Він був задуманий людьми на креслярських дошках. Потім інші люди виготовили за цими кресленнями деталі, після чого ще більше людей (за допомогою машин, спроектованих людьми) скрутили, склепали, зварили чи склеїли ці деталі разом, установивши кожну на відповідному місці. Процес, завдяки якому авіалайнер почав своє існування, не є фундаментально таємничим для нас, бо його побудували люди. Систематичне з'єднання разом частин згідно з певним задумом є чимось таким, що ми знаємо й розуміємо, бо випробували це самі, хоча б на прикладі дитячого конструктора.

А як щодо наших власних тіл? Кожен із нас є машиною на кшталт авіалайнера, тільки значно складнішою. Чи й ми були задумані на креслярській дошці й наші частини були з'єднані між собою якимось вправним інженером? Відповідь заперечна. Це дивна відповідь, і ми дізнались і осягнули її лише близько століття тому. Коли Чарльз Дарвін уперше пояснив причини нашої появи, багато людей або не схотіли, або не змогли їх усвідомити. Я сам навідріз відмовлявся ві-

рити в теорію Дарвіна, коли вперше почув про неї в дитинстві. Майже всі люди впродовж усієї історії, аж до другої половини XIX століття, непохитно вірили у протилежне — теорію Свідомого Творця. Багато людей продовжують це робити, можливо, тому, що істинне, дарвінівське пояснення нашого існування все ще, як на диво, не є обов'язковою частиною навчального плану загальної освіти. Отож і виходить, що його дуже часто розуміють неправильно.

Слово «годинникар» у назві цієї книжки запозичене з відомого трактату теолога XVIII століття Вільяма Пейлі. Його видана 1802 року праця «Природна теологія, або Свідчення існування та ознаки Божества, зібрані з явищ природи» є найвідомішим викладом «аргументу від задуму», завжди найвпливовішим з аргументів на користь існування Бога. Це книжка, якою я щиро захоплююсь, бо свого часу її автор досягнув успіху в тому, що я намагаюся робити тепер. Він мав власну думку, пристрасно в неї вірив і не шкодував зусиль, аби її обґрунтувати. Він мав належну пошану до складності живого світу й бачив, що вона вимагає дуже особливого пояснення. Єдиним моментом, у якому він помилявся (схоже, доволі важливим!), було саме пояснення. Він дав традиційну релігійну відповідь на цю загадку, але сформулював її чіткіше й переконливіше, ніж будь-хто до нього. Справжнє ж пояснення є геть іншим, і йому довелося чекати на одного з найбільш революційних мислителів усіх часів, Чарльза Дарвіна.

Свою «Природну теологію» Пейлі починає зі знаменитого пасажу:

> *Припустімо, що, йдучи через вересове пустище, я забив ногу об камінь і мене запитали, як той камінь там опинився. Я міг би, мабуть, відповісти, що, оскільки мені не відомо нічого іншого, він лежав там завжди, причому довести абсурдність такої відповіді було б не дуже легко. Але припустімо, що я знайшов на землі годинник і постало б запитання, як він опинився в тому місці. Навряд чи мені спала б на думку відповідь, яку*

я дав раніше, — що, наскільки мені відомо, годинник був там завжди.

Пейлі тут віддає належне відмінності між природними фізичними об'єктами, на кшталт каменів, задуманими і штучно виготовленими, на кшталт годинників. Після цього він описує точність, з якою влаштовані зубчики й коліщатка годинника, та складність їх поєднання. Якби ми знайшли такий об'єкт як годинник на вересовому пустищі, навіть якби ми не знали, як він почав своє існування, його точність і складність задуму змусили б нас зробити висновок, що

цей годинник повинен був мати виробника: мабуть, існував у певний час у тому чи іншому місці майстер (або майстри), який зібрав годинник з якоюсь метою, якій той (на нашу думку) насправді відповідає; який осягнув його конструкцію й задумав його використання.

Пейлі наполягає, що ніхто не може аргументовано спростувати цей висновок, однак саме це, по суті, робить атеїст, коли дивиться на витвори природи, оскільки:

Кожен показник винахідливості, кожен прояв задуму, який ми знаходимо в годиннику, існує й у витворах природи, з тією відмінністю, що у природи вони незмірно більші або чисельніші.

Пейлі підкріплює свою думку велемовними благоговійними описами розрізів «живих машин», починаючи з людського ока, улюбленого прикладу, який пізніше використає Дарвін і який виникатиме знову й знову впродовж усієї цієї книжки. Пейлі порівнює око з задуманим інструментом, таким як телескоп, і робить висновок, що «існує такий самий доказ того, що око було створене для зору, як і того, що телескоп був зроблений на допомогу йому». Око мусило мати проектувальника, так само, як мав його телескоп.

Аргумент Пейлі сповнений пристрасної щирості й демонструє знання, які давала найкраща біологічна освіта його часу, але він є неправильним, знаменно й абсолютно неправильним. Аналогія між телескопом і оком, між годинником і живим організмом є помилковою. Попри всю очевидність протилежного, єдиним годинникарем у природі є сліпі сили фізики, хоча й розгорнуті дуже особливим чином. Справжній годинникар має дар передбачення: він задумує свої зубчики й коліщатка і планує їхні взаємодії у своїй уяві, маючи певну мету. Природний же відбір — сліпий, несвідомий, автоматичний процес, який відкрив Дарвін і який, як ми тепер знаємо, є поясненням існування та явно цілеспрямованої форми всього живого, — не має перед собою жодної мети. Він не має розуму й не має уяви. Він не планує на майбутнє. Він не має зору, дару передбачення, жодного бачення взагалі. Якщо й можна сказати, що він відіграє у природі роль годинникаря, то він є *сліпим* годинникарем.

Нижче я поясню все це й багато чого іншого. Але я точно не применшуватиму захвату «живими годинниками», що так надихали Пейлі. Натомість я спробую проілюструвати своє відчуття, що Пейлі міг би тут зайти ще далі. У благоговінні перед «живими годинниками» я не поступлюся нікому. Я відчуваю в собі більше спільного з превелебним Вільямом Пейлі, ніж з одним видатним сучасним філософом, відомим атеїстом, з яким я якось обговорював це питання за обідом. Я тоді сказав, що й уявити себе не міг би атеїстом до 1859 року, коли було видане «Походження видів» Дарвіна. «А як щодо Юма?» — відповів філософ. «А як Юм пояснював організовану складність світу живого?» — спитав я. «Ніяк, — відповів філософ. — А навіщо для цього потрібне якесь особливе пояснення?»

Пейлі розумів, що особливе пояснення потрібне; це розумів Дарвін, і я підозрюю, що в глибині душі мій співрозмовник-філософ теж розумів це. У будь-якому разі, моїм завданням буде показати це тут. Що ж до самого Девіда Юма, то подейкують, що цей видатний шотландський філософ відкинув «аргумент від задуму» ще за століття до Дарвіна. Але

Юм лишень критикував логіку використання очевидного задуму в природі як *позитивного* доказу на користь існування Бога. Він не запропонував жодного *альтернативного* пояснення очевидного задуму, а залишив це питання відкритим. Якийсь додарвінівський атеїст міг би сказати слідом за Юмом: «У мене немає пояснення складного біологічного задуму. Я лише знаю, що Бог не є добрим поясненням, тому ми повинні чекати й сподіватися, що хтось запропонує краще». Не можу позбутися думки, що така позиція, хоча й логічно озвучена, мабуть, залишала відчуття неабиякого незадоволення і що, хоча атеїзм міг бути *логічно* обґрунтованим і до Дарвіна, саме завдяки Дарвіну з'явилася можливість бути інтелектуально задоволеним атеїстом. Мені хочеться вірити, що Юм би з цим погодився, але деякі з його праць наводять на думку, що він недооцінював складність і красу біологічного задуму. Юнга-натураліст Чарльз Дарвін міг би відкрити йому очі на декілька таких моментів, але Юм помер за 40 років до того, як Дарвін вступив до Единбурзького університету, який вони обидва закінчили.

Я жваво розповідав тут про складність та очевидний задум, немов усім зрозуміло, що ці слова означають. У певному сенсі так і є — більшості людей притаманне інтуїтивне розуміння того, що означає складність. Але ці поняття, складність і задум, є настільки кардинальними для цієї книжки, що я маю спробувати трохи точніше передати словами наше відчуття, що у складних і очевидно створених за певним задумом речах є щось особливе.

Отже, що таке складний об'єкт? Як його розпізнати? В якому сенсі справедливим буде твердження, що годинник, авіалайнер, комаха чи людина є складними, а Місяць — простим? Перше, що може спасти нам на думку як необхідний атрибут складного об'єкта, — це його неоднорідна структура. Рожевий молочний пудинг чи бланманже є простими в тому сенсі, що, коли ми розріжемо їх навпіл, обидві їх частини матимуть однакову внутрішню будову — пудинг чи бланманже є однорідним. Автівка ж є неоднорідною: на відміну від бланманже,

майже будь-яка її частина відрізняється від інших. Дві половини автівки не дають у сумі автівку. Іншими словами, можна сказати, що складний об'єкт, на відміну від простого, має багато частин, причому це частини більш ніж одного виду.

Така неоднорідність, або «багаточастинність», може бути необхідною умовою складності, але не є достатньою. Багато об'єктів є багаточастинними й неоднорідними за своєю внутрішньою структурою, не будучи складними у тому сенсі, в якому я збираюся вживати цей термін. Монблан, наприклад, складається з багатьох різних типів скельних порід, які перемішані таким чином, що коли розрізати цю гору в будь-якому місці, дві її частини відрізнятимуться одна від одної за своєю внутрішньою будовою. Монблану притаманна неоднорідність структури, якою не може похвалитися бланманже, але все одно він не є складним у тому сенсі, в якому цей термін використовує біолог.

Спробуймо застосувати в нашому пошуку визначення складності інший підхід і скористаймося математичною ідеєю ймовірності. Припустімо, ми випробуємо таке визначення: складний об'єкт — це щось, складові частини чого організовані у спосіб, що навряд чи виник завдяки самому лише випадку. Запозичимо аналогію в одного видатного астронома: якщо взяти частини авіалайнера й поєднати їх у випадковому порядку, імовірність того, що вам вдасться зібрати робочий *«Boeing»*, близька до нуля. Існують мільярди можливих способів з'єднати деталі авіалайнера, і лише один (чи дуже небагато) з них справді дасть у результаті авіалайнер. А способів з'єднати перемішані між собою складові людини існує ще більше.

Такий підхід до визначення складності є вже досить багатообіцяльним, але все одно нам потрібне ще дещо. Адже можна сказати, що існують мільярди способів з'єднати складові Монблана й лише один із них справді дасть у підсумку Монблан. То що ж робить авіалайнер і людину складними, якщо Монблан є простим? Будь-яка давно перемішана добірка частин є унікальною і, *здогадно*, такою само неймовірною, як і будь-яка інша. Купа металобрухту на звалищі літаків унікаль-

на. Жодні дві такі купи не є однаковими. Якщо почати складати фрагменти літаків у купи, шанси, що вам удасться зібрати два однаковісінькі набори сміття, є приблизно такими само низькими, як і шанси, що ви зберете робочий авіалайнер. То чому б не сказати, що сміттєзвалище, Монблан чи Місяць є такими само складними, як літак чи собака, бо в усіх цих випадках поєднання атомів є «неймовірним»?

Кодовий замок на моєму велосипеді має 4096 різних комбінацій. Кожна з них є однаково «неймовірною» в тому сенсі, що, коли крутити коліщатка навмання, шанси набрати будь-яку з цих 4096 комбінацій є однаково низькими. Я можу покрутити коліщатка навмання, подивитися на цифри, які вони покажуть, і захоплено вигукнути: «Отакої! Шанси проти появи цих цифр разом дорівнюють 4096 : 1. Маленьке диво!» Так само й конкретне поєднання скельних порід у горі чи шматків металу в купі металобрухту можна трактувати як «складне». Але одна з цих 4096 комбінацій коліщаток справді є унікальною потрібним чином: комбінація 1207 є єдиною, що відмикає замок. Унікальність 1207 не має нічого спільного зі здогадами: вона заздалегідь виставлена виробником. Якщо крутнути коліщатка навмання й випадково натрапити на 1207 із першого разу, ви змогли б вкрасти велосипед, і це видалося б маленьким дивом. Якби ж вам пощастило з одним із тих багатоцифрових кодових замків на банківських сейфах, це здавалося б дуже великим дивом, бо шанси проти цього дорівнюють багатьом мільйонам до одного й вам вдалося б украсти цілий статок.

Отже, натрапити на щасливе число, що відмикає банківський сейф, — еквівалент ситуації (в нашій аналогії), за якої ми випадково поскидали металобрухт у купу і раптом зібрали *«Boeing 747»*. З усіх мільйонів унікальних та, здогадно, однаково неймовірних комбінацій кодового замка відмикає його лише одна. Так само і з усіх мільйонів унікальних і, здогадно, однаково неймовірних поєднань сміття в купі лише одна (чи дуже небагато) зможе злетіти у повітря. Унікальність поєднання, що злетить чи відімкне сейф, не має нічого спільного зі здогадами. Вона задана заздалегідь. Виробник замка задав

цю комбінацію й повідомив її директорові банку. Здатність літати є властивістю авіалайнера, яку ми задаємо заздалегідь. Якщо ми бачимо літак у повітрі, то можемо бути впевнені, що він не був зібраний шляхом випадкового скидання металобрухту в купу, бо ми знаємо, що шанси проти того, щоб випадкове скупчення змогло полетіти, є надто великими.

Отже, якщо врахувати всі можливі способи, якими скельні породи Монблану можна поєднати разом, то Монблан, як ми його знаємо, може дати лише один із них. Але Монблан, як ми його знаємо, визначений здогадно. Будь-який із дуже великої кількості способів скидання скельних порід у купу отримав би ярлик гори й міг би бути названий Монбланом. У конкретному Монблані, як ми його знаємо, немає нічого особливого, нічого заданого заздалегідь, нічого еквівалентного літаку, що злітає, чи дверцятам сейфа, що відчиняється, та грошам, які звідти вивалюються.

Що ж є еквівалентом дверцят сейфа, який відчиняється, чи літака, що злітає, у випадку живого організму? Ну, іноді еквівалент буває дуже близьким. Ластівки теж літають. Як ми вже бачили, зліпити з купи мотлоху літальну машину нелегко. Якщо ж узяти всі клітини ластівки і з'єднати їх навмання, то шанси, що отриманий унаслідок цього об'єкт полетить, зазвичай не відрізняються від нуля. Не всі живі організми літають, але вони роблять інші речі, що є не менш неймовірними й не менш заданими заздалегідь. Кити не літають, але вони плавають, і плавають приблизно так само ефективно, як ластівки літають. Шанси, що випадкове скупчення клітин кита попливе, тим паче попливе так само швидко й ефективно, як це робить кит, мізерно малі.

Зараз якийсь філософ із соколиним оком (сокіл має дуже гостре око — його не можна зліпити, навмання поскидавши в купу кришталики та світлочутливі клітини) почне бурмотіти щось про замкнене коло. Ластівки літають, але не плавають, а кити плавають, але не літають. Оцінювати успіх нашого випадкового скупчення як плавця чи як літуна, ми вирішуємо здогадно. Припустімо, ми погоджуємось оцінювати його успіх

як *X* і залишаємо відкритим запитання, що саме це *X* означає, допоки не спробуємо поскидати клітини в купу. Ця випадкова купа клітин могла б виявитись ефективною землерийною твариною на кшталт крота чи ефективною твариною, що лазить по деревах, типу мавпи. Вона могла би бути дуже доброю у віндсерфінгу, віджиманні промасленого ганчір'я чи ходінні дедалі меншими колами аж до зникнення. Цей перелік можна продовжувати нескінченно. Чи не можна?

Якби цей перелік справді *можна було* продовжувати й продовжувати, мій гіпотетичний філософ мав би рацію. Якби, хоч як випадково ви розкидали б матерію, отримане внаслідок цього скупчення можна було б часто назвати, здогадно, добрим для *чогось*, тоді можна було б стверджувати, що я шахраював щодо ластівки й кита. Але біологи мають значно більш конкретні критерії визначення, ніж просто здатність бути «добрим для чогось». Мінімальною вимогою для розпізнавання об'єкта як тварини чи рослини є для нас те, що він має успішно підтримувати *якогось роду* життя (точніше, що він або хоча б деякі представники його виду здатні жити достатньо довго для розмноження). Це правда, що існує ціла низка способів жити — літаючи, плаваючи, стрибаючи між дерев тощо. Але *хоч скільки б існувало способів бути живим, очевидно, що існує значно більше способів бути мертвим*, чи, радше, неживим. Можна скидати клітини в купу навмання знову і знову впродовж мільярда років і жодного разу не отримати скупчення, що літає, плаває, риє, бігає чи робить *щось* (хоча б погано), що можна було б віддалено трактувати як роботу з підтримання свого життя.

Це був доволі довгий, затяжний аргумент, і настав час нагадати собі, як ми взагалі на нього вийшли. Ми шукали точний спосіб висловити, що маємо на увазі, коли називаємо щось складним. Ми намагалися показати, що у людей, кротів, дощових червів, авіалайнерів і годинників є дещо спільне, чого немає у бланманже, Монблана чи Місяця. Відповідь, до якої ми прийшли, полягає в тому, що кожен складний об'єкт має певну якість, задану заздалегідь, що сильно від-

різняється від набутих завдяки самій лише випадковості. У випадку живих організмів ця якість, задана заздалегідь, є в певному сенсі «вправністю» — конкретною здатністю, такою як здатність літати, якою міг би захоплюватись авіаконструктор, або ж якоюсь більш загальною, як-от здатність уникати смерті чи поширювати гени під час розмноження.

Уникнення смерті є тим, над чим слід працювати. Залишене напризволяще — а саме це відбувається, коли воно помирає, — тіло має тенденцію повертатися до стану рівноваги з навколишнім середовищем. Вимірюючи якусь величину, таку як температура, кислотність, уміст води чи електричний потенціал живого організму, ви зазвичай виявляєте, що вона помітно відрізняється від відповідних вимірів навколишнього середовища. Наші тіла, наприклад, є зазвичай теплішими за навколишнє середовище, і в холодному кліматі їм доводиться тяжко працювати для підтримання цієї різниці. Коли ж ми помираємо, ця робота припиняється, різниця температур починає зникати, і ми закінчуємо тією самою температурою, що і в довкіллі. Не всі тварини працюють так тяжко, щоб уникнути рівноваги з температурою навколишнього середовища, але всі вони виконують *якусь* аналогічну роботу. Наприклад, у країнах із посушливим кліматом тварини й рослини працюють над підтриманням умісту вологи у своїх клітинах, опираючись природній тенденції витоку з них води в посушливий зовнішній світ. Якщо вони програють у цьому, то помирають. У більш загальному плані можна сказати, що, коли живі організми не працюють активно над запобіганням цьому, вони врешті-решт зливаються з навколишнім середовищем і перестають існувати як автономні об'єкти. Саме це й відбувається, коли вони помирають.

За винятком штучних машин, які ми вже погодилися вважати «почесними живими організмами», неживі об'єкти в цьому сенсі не працюють. Вони підкоряються силам, що прагнуть привести їх у рівновагу з навколишнім середовищем. Монблан, безумовно, існує вже впродовж довгого часу й, можливо, існуватиме ще, але сам він не працює задля

продовження свого існування. Коли гора приходить у стан спокою під впливом сили тяжіння, то просто залишається в ньому. Для утримання в такому положенні вона не докладає жодних зусиль. Монблан існує й існуватиме далі, допоки його не зітре ерозія чи не зруйнує землетрус. Він не робить якихось кроків для відновлення пошкоджень чи зведення заново після руйнування, як це робить той чи інший живий організм. Він просто підкоряється законам фізики.

Чи означає це, що живі організми не підкоряються законам фізики? Безумовно ні. Немає жодних причин думати, що в живій матерії закони фізики порушуються. Немає нічого надприродного, жодних «життєвих сил», які конкурували б із фундаментальними силами фізики. Просто якщо ви спробуєте звернутися до законів фізики в наївному прагненні зрозуміти поведінку *всього* живого організму, то виявите, що далеко в цьому напрямку не просунутись. Організм є складним об'єктом із багатьма складовими, і щоб зрозуміти його поведінку, треба застосувати закони фізики до його частин, а не до цілого. Тоді поведінка організму загалом проявиться як наслідок взаємодій цих частин.

Візьмімо, наприклад, закони руху. Якщо підкинути в повітря мертвого птаха, він опише граційну параболу, точно так, як передбачено у книжках із фізики, а потім прийде у стан спокою на землі, де й залишиться. Він поводиться так, як і належить поводитися твердому тілу з конкретною масою та опором вітру. Але якщо підкинути в повітря живого птаха, він не опише параболу й не прийде в стан спокою на землі. Він полетить геть і може взагалі не торкнутися землі на території графства. Причина полягає в тому, що він має м'язи, які працюють над опором силі тяжіння та іншим фізичним силам, що мають стосунок до всього організму. Кожна клітина його м'язів підпорядковується законам фізики. Унаслідок цього м'язи рухають крилами таким чином, що птах залишається в повітрі. Він не порушує закону всесвітнього тяжіння. Сила тяжіння весь час тягне його донизу, але його крила виконують активну роботу — підкоряючись законам фізики, що діють у його

м'язах, — щоб утримати його в повітрі попри дію сили тяжіння. Уявити, що птах не підкоряється фізичним законам, можна, тільки якщо бути досить наївним і вважати його просто безструктурною грудкою матерії з певною масою та опором повітрю. Тільки запам'ятавши, що він має багато внутрішніх частин і всі вони підкоряються законам фізики, кожна на своєму рівні, ми зрозуміємо поведінку всього організму. Це не є, ясна річ, характерною рисою лише живих організмів. Це стосується всіх створених людиною машин і — потенційно — будь-якого складного, багаточастинного об'єкта.

Це підводить мене до останньої теми, яку я хочу розглянути в цьому доволі філософському розділі, — проблеми того, що ми маємо на увазі під поясненням. Ми вже з'ясували, що розумітимемо під складним об'єктом. Але яке пояснення нас задовольнить, якщо ми поцікавимось, як працює та чи інша складна машина або живий організм? Відповідь на це запитання ми знайшли в попередньому абзаці. Прагнучи зрозуміти, як працює та чи інша складна машина чи живий організм, слід подивитися на їхні складові й з'ясувати, як вони взаємодіють між собою. Якщо ж перед нами складний об'єкт, якого ми поки що не розуміємо, його можна осягнути, розглянувши простіші частини, у яких ми вже розібралися.

Якщо я питаю інженера, як працює паровий двигун, то маю доволі чітке уявлення про загальний тип відповіді, яка мене задовольнить. Подібно до Джуліана Гакслі, мене б точно не вразило, якби інженер сказав, що він приводиться в дію «рушійною силою». І якби він почав нудити про те, що ціле є більшим за суму частин, я перервав би його: «Не треба про це — розкажіть мені, як він *працює*». Я бажав би почути лише про те, як частини двигуна взаємодіють між собою, зумовлюючи поведінку цілого двигуна. Для початку я був би готовий прийняти пояснення з погляду доволі великих субкомпонентів, власна внутрішня структура та поведінка яких можуть бути доволі складними і поки що непоясненними. Складові задовільного для початку пояснення могли б мати такі назви, як «топка», «паровий котел», «циліндр»,

«поршень», «регулятор пари». Для початку інженер без пояснення просто розповів би, що кожна з цих складових робить. Я прийняв би це на той момент, не питаючи, як кожна з них виконує свою конкретну роль. *Враховуючи*, що кожна з цих складових виконує свою конкретну роль, я міг би зрозуміти, як вони взаємодіють, аби привести в дію весь двигун.

Звісно, після цього я міг би запитати, як працює кожна з цих частин. Попередньо прийнявши той *факт*, що регулятор пари регулює потік пари, та співвіднісши цей факт зі своїм розумінням поведінки всього двигуна, я тепер спрямовую свій інтерес на регулятор пари. Тепер я хочу зрозуміти, як він виконує свою функцію, з погляду його власних внутрішніх частин. Існує ієрархія субкомпонентів у компонентах. Ми пояснюємо поведінку якогось компонента на будь-якому конкретному рівні з погляду взаємодій між субкомпонентами, власна внутрішня організація яких на той момент приймається як належне. Ми пробиваємо собі шлях униз цією ієрархією, поки не досягнемо настільки простих частин, що для повсякденних цілей більше не відчуватимемо потреби запитувати про них. Наприклад, правильно це чи ні, але більшість із нас задовольняються з'ясуванням властивостей твердих стрижнів із заліза, і ми готові використовувати їх як складові в поясненні більш складних машин, що їх містять.

Фізики, звісно, не приймають залізні стрижні як належне. Вони переймаються питанням, чому ті є твердими, і продовжують «лущення» ієрархії ще на кілька шарів униз, до елементарних частинок і кварків. Але життя є надто коротким, аби більшість із нас чинили так само. Для будь-якого конкретного рівня складної організації задовільне пояснення можна отримати, якщо злущити ієрархію на один чи два шари від нашого початкового рівня, але не більше. Поведінка автівки пояснюється з погляду циліндрів, карбюраторів і свічок запалювання. По суті, кожен із цих компонентів покоїться на вершині піраміди пояснень нижчих рівнів. Але коли б ви спитали мене, як працює автівка, то вирішили б, що я дещо зарозумілий, якби я взявся поясню-

вати її роботу з погляду законів Ньютона та термодинаміки, або ж просто мракобіс — якби вдався до елементарних частинок. Безумовно, основу поведінки автівки слід пояснювати з погляду взаємодій між елементарними частинками. Але значно корисніше пояснити її з погляду взаємодій між поршнями, циліндрами й свічками запалювання.

Поведінку комп'ютера можна пояснити з погляду взаємодій між напівпровідниковими електронними схемами, а їхня поведінка, у свою чергу, пояснюється фізиками на ще глибших рівнях. Але в більшості ситуацій на практиці ви лише змарнували б свій час, якби спробували осягнути поведінку всього комп'ютера на будь-якому з цих рівнів. Електронних схем і взаємодій між ними надто багато. Задовільне пояснення має охоплювати зручну для роботи невелику кількість взаємодій. Саме тому, прагнучи зрозуміти роботу комп'ютерів, ми віддаємо перевагу вступному поясненню з погляду приблизно півдюжини основних субкомпонентів: оперативки, процесора, пам'яті, системного блоку, пристроїв управління введенням/виведенням даних тощо. Вловивши взаємодії між півдюжиною основних компонентів, ми вже можемо захотіти дізнатися про внутрішню організацію цих основних компонентів. Мабуть, лише фахові інженери заглибляться до рівня схем I та HI і лише фізики підуть далі, до рівня поведінки електронів у напівпровідниковому середовищі.

Для тих, кому подобаються різні «ізми», можу сказати, що найдоречнішою назвою для мого підходу до розуміння того, як працюють різні об'єкти, мабуть, є «ієрархічний редукціонізм». Якщо ви читаєте ультрамодні інтелектуальні журнали, то могли помітити, що «редукціонізм» є однією з тих речей на кшталт гріха, про які згадують лише люди, які виступають проти них. Назвати себе редукціоністом у деяких колах мало не те саме, що зізнатись у поїданні немовлят. Але так само, як ніхто насправді не їсть немовлят, ніхто насправді й не є редукціоністом у будь-якому сенсі, вартому того, аби виступати проти нього. Вигаданий редукціоніст — проти якого всі виступають, але який існує лише в їхній уяві, — намагається

пояснити складні об'єкти *напряму* з погляду *найменших* частин, навіть (у деяких крайніх варіантах цього міфу) як *суму* частин! З іншого боку, ієрархічний редукціоніст пояснює складний об'єкт на будь-якому конкретному рівні в ієрархії організації з погляду об'єктів, що розташовані в цій ієрархії лише на один рівень нижче, — об'єктів, що самі, мабуть, є достатньо складними, аби потребувати подальшої редукції до своїх власних складових, і т. д. Само собою зрозуміло (хоча міфічний редукціоніст, який поїдає немовлят, нібито це заперечує), що пояснення, які є задовільними на високих рівнях ієрархії, доволі сильно відрізняються від тих, якими можна задовольнитися на нижчих рівнях. У цьому й полягала суть пояснення автівки з погляду карбюраторів, а не кварків. Однак ієрархічний редукціоніст вірить, що карбюратори пояснюються з погляду менших складових... які пояснюються з погляду ще менших складових... які, зрештою, пояснюються з погляду найменших елементарних частинок. Редукціонізм у цьому сенсі є просто іншою назвою для чесного бажання з'ясувати, як працюють об'єкти.

Ми почали цей розділ із запитання, яке пояснення для складних об'єктів нас би задовольнило. Щойно ми розглянули це запитання з погляду механізму: як це працює? Ми дійшли висновку, що поведінку складного об'єкта слід пояснювати з погляду взаємодій між його складовими, вважаючи їх послідовними рівнями упорядкованої ієрархії. Але інше питання полягає в тому, як складний об'єкт узагалі починає своє існування. Цим питанням особливо переймається вся ця книжка, тому тут я про нього більше не говоритиму. Зазначу лише, що тут застосовується той самий загальний принцип, що й для розуміння механізму. Складний об'єкт є тим, існування чого ми не схильні приймати як належне, бо він є надто «неймовірним». Він не міг би виникнути просто з волі випадку. Початок його існування слід пояснювати як наслідок поступових, сукупних, покрокових перетворень із первісних об'єктів, достатньо простих, аби виникнути з волі випадку. Так само, як «великокроковий редукціонізм» не працює як

пояснення механізму й має бути замінений низкою маленьких покрокових злущень униз по ієрархії, не можна пояснити і складний об'єкт як *такий, що виникає* за один-єдиний крок. Доведеться знову звернутися до низки маленьких кроків, цього разу послідовно вишуканих у часі.

Свою прекрасно написану книжку «Створення» оксфордський фізико-хімік Пітер Аткінс починає такими словами:

> *Я поведу ваш розум у подорож. Це подорож осягнення, що веде нас до краю простору, часу та розуміння. Там я доведу, що не існує нічого, що не можна зрозуміти, нічого, що не можна пояснити, і що все є надзвичайно простим... Багато чого у Всесвіті взагалі не потребує жодних пояснень. Слони, наприклад. Якщо вже молекули навчилися конкурувати й створювати інші молекули за своїм образом і подобою, з часом неодмінно можна буде побачити слонів і схожі на них об'єкти, що блукають у сільській місцевості.*

Аткінс припускає, що еволюція складних об'єктів — основний предмет цієї книжки — є неминучою, щойно встановляться відповідні фізичні умови. Він запитує: що ж це за мінімально необхідні фізичні умови, що ж це за мінімальний обсяг проектування, який міг би здійснити дуже лінивий Творець, аби простежити за тим, щоб Усесвіт, а згодом і слони та інші складні об'єкти почали одного дня існувати? Відповідь, на його думку як ученого-фізика, полягає в тому, що Творець міг би бути безкінечно лінивим. Фундаментальні первинні складові, які нам належить прийняти без доказів, аби осягнути початок існування всього на світі, або складаються буквально з нічого (за словами деяких фізиків), або (за словами інших фізиків) є складовими крайньої простоти, аж надто простими, щоб потребувати чогось настільки грандіозного, як умисне Створення.

Аткінс каже, що слони та складні об'єкти не потребують жодного пояснення. Але це тому, що він є вченим-фізиком, який приймає як належне теорію еволюції біологів. Насправ-

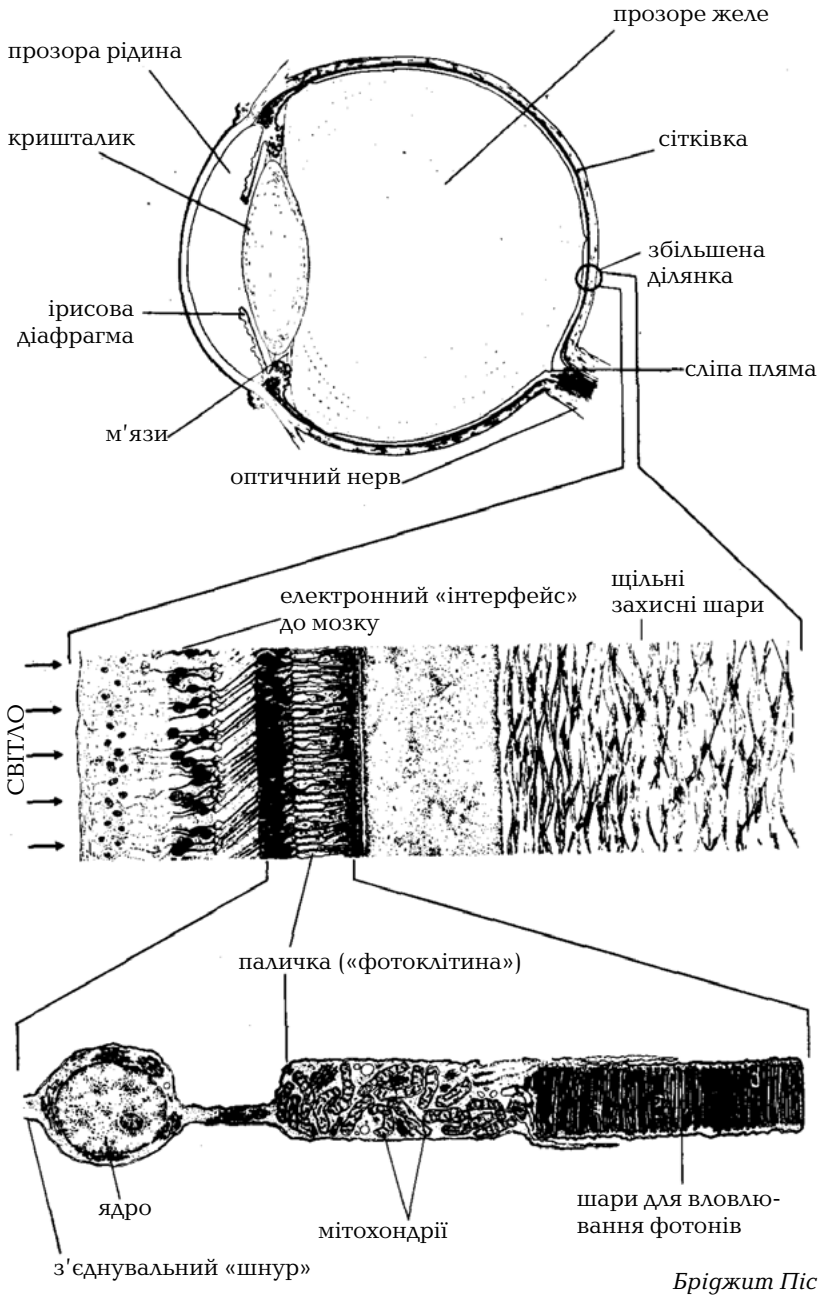
ді він не має на увазі, що слони не потребують пояснення; радше висловлює задоволення з того приводу, що біологи можуть пояснити слонів, якщо їм дозволити прийняти як належне певні факти з фізики. Його завданням як ученого-фізика, таким чином, є виправдати наше прийняття цих фактів як належного. У цьому він досягає успіху. Я ж прагну доповнити його думку. Я біолог. Я приймаю факти з фізики (факти зі світу простоти) як належне. Якщо фізики все ще не погоджуються з тим, що ці прості факти вже стали зрозумілими, це не моя проблема. Моє завдання — пояснити слонів (і світ складних об'єктів) з погляду простих об'єктів, які фізики або розуміють, або досліджують. Проблема фізика — це проблема первинного походження та первинних законів природи. Проблема ж біолога — це проблема складності. Біолог намагається пояснити роботу та початок існування складних об'єктів з погляду простіших. Він може вважати своє завдання виконаним, коли дійде до настільки простих об'єктів, що їх можна буде спокійно передати фізикам.

Я усвідомлюю, що моя характеристика складного об'єкта — статистично неймовірного в напрямку, заданому наперед, — може видатися своєрідною. Такою ж може здаватися моя характеристика фізики як учення про простоту. Якщо вам більше подобається якийсь інший спосіб визначення складності, я не заперечую і був би радий розглянути ваше визначення в дискусії. Але я хочу наголосити, що, хоч яку б якість ми вирішили *називати* статистично-неймовірною-в-напрямку-заданому-наперед, це важлива якість, пояснення якої потребує особливих зусиль. Це якість, що характеризує біологічні об'єкти на відміну від об'єктів фізичних. Тип пояснення, який ми пропонуємо, не повинен суперечити законам фізики. Безумовно, він використовуватиме закони фізики й нічого, опріч законів фізики. Але він застосовуватиме ці закони в особливий спосіб, який зазвичай не обговорюється в підручниках фізики. Цей особливий спосіб є шляхом Дарвіна. Я представлю його основну суть у розділі 3 під назвою *накопичувальний відбір*.

Тим часом я хочу піти слідом за Пейлі й наголосити на масштабності проблеми, з якою стикається наше пояснення, колосальному розмаїтті складних біологічних об'єктів, красі та елегантності біологічного задуму. Розділ 2 являє собою розширене обговорення конкретного прикладу, «радару» кажанів, відкритого значно пізніше від часів Пейлі. Тут же, у цьому розділі, я розмістив зображення (рис. 1) — як би сподобався Пейлі електронний мікроскоп! — ока разом із двома послідовними «наведеннями» на окремі ділянки. Угорі рисунка зображено саме око в розрізі. Такий рівень збільшення показує око як оптичний інструмент. Схожість із фотокамерою очевидна.

Ірисова діафрагма відповідає за постійну зміну апертури, отвору «об'єктива». Кришталик, який насправді є лише частиною складної системи лінз, відповідає за змінну частину фокусування. Фокус змінюється за рахунок стискання кришталика м'язами (або, у хамелеонів, переміщення його вперед чи назад, як у створеній людиною камері). Зображення потрапляє на сітківку на задньому боці, де подразнює фотоклітини.

У центрі рисунка 1 показана невеличка ділянка сітківки у збільшеному вигляді. Світло надходить з лівого боку. Світлочутливі клітини («фотоклітини») не є першими об'єктами, на які потрапляє світло, а заховані всередині й розвернуті від світла. Ця дивна риса згадується знову пізніше. Першим, на що потрапляє світло, по суті, є шар гангліозних нервових клітин, який складає «електронний інтерфейс» між фотоклітинами і мозком. Насправді гангліозні клітини відповідають за попередню обробку інформації витонченими способами перед тим, як передати її до мозку, тож до певної міри слово «інтерфейс» тут не зовсім виправдане. Справедливішою була б назва «периферійний комп'ютер». З'єднання від гангліозних клітин ідуть уздовж поверхні сітківки до «сліпої плями» і проходять крізь неї, формуючи основний магістральний кабель до мозку — оптичний нерв. В «електронному інтерфейсі» налічується близько трьох мільйонів гангліозних клітин, які збирають дані від приблизно 125 мільйонів фотоклітин.



Бріджит Піс

Рис. 1

Унизу рисунка зображена одна збільшена фотоклітина, паличка. Дивлячись на витончену архітектуру цієї клітини, слід пам'ятати про те, що вся ця складність повторюється 125 мільйонів разів у кожній сітківці. При цьому порівнянні складні об'єкти повторюються трильйони разів в інших місцях організму загалом. 125 мільйонів фотоклітин — це приблизно у 5 тисяч разів більше за кількість окремо розрізнюваних точок на високоякісній журнальній фотографії. Складчасті мембрани з правого боку зображеної на рисунку фотоклітини є насправді світлозбиральними структурами. Їхня шарувата форма підвищує ефективність фотоклітини у вловленні фотонів, елементарних частинок, з яких складається світло. Якщо якийсь фотон не вловлюється першою мембраною, його може вловити друга, і т. д. Завдяки цьому деякі очі здатні виявляти навіть один-єдиний фотон. Найшвидші та найчутливіші плівкові емульсії, доступні фотографам, потребують для виявлення світлової точки приблизно у 25 разів більше фотонів.

Об'єкти у формі капсул в центральній частині клітини — це здебільшого мітохондрії. Їх виявляють не лише у фотоклітинах, а й у більшості інших клітин. Кожну з них можна порівняти з хімзаводом, який у процесі постачання свого основного продукту — придатної до вживання енергії — обробляє понад 700 різних хімічних речовин на довгих перекручених збірних лініях, витягнутих уздовж поверхні його хитрим чином складених внутрішніх мембран. Кругла кулька з лівого боку рисунка — ядро. Знов-таки, воно є характерною рисою всіх тваринних і рослинних клітин. Кожне ядро, як ми побачимо нижче, у розділі 5, містить у собі зашифровану в цифровому форматі базу даних, що за своїм інформаційним вмістом перевищує всі 30 томів Британської енциклопедії, разом узятих. І це цифри для кожної клітини, а не для всіх клітин організму, разом узятих.

Паличка в основі рисунка — це одна-єдина клітина. Загальна кількість клітин в організмі (людини) становить приблизно 10 трильйонів. Коли ж ви їсте стейк, то шматуєте еквівалент понад 100 мільярдів примірників Британської енциклопедії.

РОЗДІЛ 2

ГАРНИЙ ЗАДУМ

Природний відбір є сліпим годинникарем — сліпим, бо він не бачить наперед, не планує наслідків, не має перед очима жодної мети. Однак живі результати природного відбору надзвичайно вражають нас видимістю задуму нібито вправного годинникаря — вражають ілюзією задуму й планування. Метою цієї книжки є розв'язати цей парадокс на радість читачеві, а мета цього розділу — ще більше вразити його силою ілюзії задуму. Ми розглянемо конкретний приклад і дійдемо висновку, що, коли говорити про складність і красу задуму, Пейлі заледве наблизився до розкриття суті справи.

Можна говорити, що живий організм чи орган є добре задуманим, якщо він має властивості, які розумний і компетентний інженер міг би вбудувати в нього з метою досягнення якоїсь відчутної мети на кшталт здатності до польоту, плавання, бачення, харчування, розмноження чи більш загального сприяння виживанню та реплікації генів організму. Не треба думати, що задум якогось організму чи органа є найкращим, на що здатен інженер узагалі. Найкраще, що може зробити один інженер, у будь-якому випадку перевершується найкращим, що може зробити інший, особливо той, що живе у більш пізній період історії розвитку техніки. Але будь-який інженер здатен розпізнати об'єкт, що був задуманий (навіть погано задуманий) з якоюсь метою, і може зазвичай визначити, якою є ця мета, просто поглянувши на будову об'єкта.

У розділі 1 ми переймалися переважно філософськими аспектами. У цьому ж розділі я представлю конкретний фактичний приклад, який, на мою думку, вразив би будь-якого інженера, а саме сонар («радар») у кажанів. Пояснюючи кожен момент, я спочатку представлятиму проблему, з якою стикається жива машина, а потім розглядатиму можливі рішення цієї проблеми, які міг би запропонувати розсудливий інженер. Під кінець я підійду до рішення, яке прийняла природа. Цей приклад, звісно, наведений просто для ілюстрації. Якщо інженера вразять кажани, він буде захоплений і безліччю інших прикладів задуму живого.

Кажани мають серйозну проблему — як знайти шлях у темряві. Вони полюють уночі й не можуть використовувати світло як допомогу в пошуку здобичі та уникненні перешкод. Ви можете сказати, що якщо це проблема, то вона створена ними самими, це проблема, якої вони могли б уникнути, просто змінивши свої звички та полюючи вдень. Але денні переваги вже посилено експлуатуються іншими створіннями — птахами. Зважаючи на те, що жити можна й уночі та що альтернативні денні промисли добряче зайняті, природний відбір віддав перевагу кажанам, що обрали нічне полювання. Можливо, до речі, що нічна активність була притаманна предкам усіх ссавців. За часів, коли вдень домінували динозаври, наші пращури-ссавці взагалі, мабуть, примудрилися вижити лише тому, що знайшли можливість вести нічний спосіб життя. Лише після загадкового масового вимирання динозаврів близько 65 мільйонів років тому наші предки змогли вийти на денне світло в якихось значних кількостях.

Повернімося до кажанів і їхньої технічної проблеми — необхідності знаходити дорогу та здобич за відсутності світла. Кажани — не єдині створіння, що стикаються сьогодні з такими труднощами. Очевидно, що нічні комахи, на яких вони полюють, теж мають якось знаходити собі шлях у темряві. Глибоководні риби й кити обходяться майже або й зовсім без світла і вдень, і вночі, бо сонячні промені не здатні проникати набагато нижче поверхні води. Риби та дельфіни,

що живуть у дуже каламутній воді, теж не можуть бачити, бо, хоча світло навколо є, воно перекривається й розсіюється нечистотами. Багато інших тварин нині також примудряються жити в умовах, де бачити складно або неможливо.

Переймаючись питанням про те, як маневрувати в темряві, які рішення міг би розглянути інженер? Перше, що могло би спасти йому на думку, — вироблення світла, використання ліхтаря чи прожектора. Жуки-світляки та деякі риби (зазвичай за допомогою бактерій) здатні виробляти своє власне світло, але цей процес, схоже, вимагає великої кількості енергії. Жуки-світляки використовують своє світло для приваблення самиць. Для цього не потрібно багато енергії: темної ночі самиця може побачити крихітний світлячок самця з чималої відстані, бо її очі налаштовані безпосередньо на саме джерело світла. Використання ж світла для пошуку шляху вимагає значно більше енергії, оскільки очі мають виявити крихітну частинку світла, що відбивається від усіх навколишніх предметів. Таким чином, якщо джерело світла планується використовувати як прожектор для освітлення шляху, воно має бути значно яскравішим, ніж коли його використовуватимуть як сигнал для інших. У будь-якому разі, в енергозатратності причина чи ні, схоже, що, за винятком якихось гіпотетичних химерних глибоководних риб, жодна тварина, крім людини, не використовує вироблене світло для пошуку шляху.

Про що ще міг би подумати інженер? Ну, сліпим людям іноді, здається, притаманне надприродне відчуття перешкод на своєму шляху. Цьому дали назву «лицьовий зір», бо сліпі повідомляли, що відчувають щось на кшталт легкого дотику до обличчя. В одному повідомленні йшлося про цілковито сліпого хлопчика, який за допомогою лицьового зору міг із добрячою швидкістю їздити на своєму триколісному велосипеді навколо кварталу. Однак експерименти показали, що, по суті, лицьовий зір не має нічого спільного з дотиком чи передньою частиною обличчя, хоча це відчуття може *приписуватись* передній частині обличчя, за аналогією до фантомного болю у відрізаній кінцівці. Виявляється, що відчуття,

які сприймаються як «лицьовий зір», насправді надходять через вуха. Сліпі, навіть не усвідомлюючи цього, використовують для виявлення перешкод *відлуння* своїх власних кроків та інших звуків. Ще до того, як це було з'ясовано, інженери створювали інструменти на основі цього принципу, наприклад для вимірювання глибини моря під кораблем. Причому після винайдення цієї техніки пристосування її розробниками зброї для виявлення підводних човнів було лише питанням часу. Обидві сторони у Другій світовій війні значною мірою покладалися на пристрої під такими кодовими назвами, як *«Asdic»* (Велика Британія) та *«Sonar»* (США), а також на аналогічну технологію *«Radar»* (США) або *«RDF»* (Велика Британія), де використовувалося відлуння радіохвиль, а не звукових.

Перші розробники сонара й радара цього не знали, але тепер усьому світові відомо, що кажани (чи, радше, природний відбір, який на них працює) удосконалили цю систему за десятки мільйонів років до того і що їхній «радар» сягає таких висот виявлення та навігації, які змусили б інженерів оніміти від захвату. З технічного погляду неправильно говорити про «радари» кажанів, оскільки вони не використовують радіохвилі. Це сонари. Але математичні теорії, що лежать в основі радара й сонара, є дуже подібними, і наше наукове розуміння деталей того, що роблять кажани, здебільшого базується на застосуванні до них теорії радара. Американський зоолог Дональд Ґріффін, що був головним першовідкривачем сонара в кажанів, вигадав термін «ехолокація» для охоплення як сонарів, так і радарів, використовуваних як тваринами, так і людьми. На практиці це слово, схоже, використовується здебільшого у зв'язку з сонарами тварин.

Помилкою буде також говорити про кажанів, що вони всі однакові. Це те саме, що підганяти всіх собак, левів, ласок, ведмедів, гієн, панд і видр під один ранжир лише тому, що вони всі — м'ясоїдні. Різні групи кажанів використовують сонар абсолютно в різні способи, причому, схоже, «винайшли» його окремо й незалежно одне від одного, так само, як британці, німці та американці, працюючи паралельно,

розробили радар. Не всі кажани використовують ехолокацію. Тропічні плодоїдні кажани Старого Світу мають гострий зір, і більшість із них послуговуються для пошуку шляху лише своїми очима. А втім, один чи два види плодоїдних кажанів (наприклад, крилани *Rousettus*) здатні знаходити шлях у суцільній темряві, де найгостріші очі були би безсилі. Вони використовують сонар, але це — грубіший різновид сонара, що використовується меншими кажанами помірних широт, з якими ми добре знайомі. *Rousettus* гучно й ритмічно клацають у польоті язиком, орієнтуючись завдяки вимірюванню часових проміжків між кожним клацанням і його відлунням. Велику частину клацань *Rousettus* ми можемо чути (що, за визначенням, характеризує їх як звуки, а не ультразвуки: ультразвук є тим самим, що й звук, із тією відмінністю, що він є надто високим, аби його чула людина).

Теоретично що вищий тон звуку, то точніше працює сонар. Це тому, що звуки низького тону мають велику довжину хвилі, яка не дає змоги розрізнити близько розташовані об'єкти. Тому за всіх інших рівних умов ракета, в системі наведення якої використовується відлуння, мала би в ідеалі видавати звуки дуже високого тону. Більшість кажанів справді використовують звуки надзвичайно високого тону, значно вищі, ніж здатна чути людина, — ультразвуки. На відміну від *Rousettus*, які дуже добре бачать і використовують немодифіковані звуки порівняно низького тону для скромного обсягу ехолокації на підтримку свого гарного зору, менші кажани, схоже, є технічно високо просунутими машинами відлунь. Вони мають крихітні очі, які в більшості випадків навряд чи здатні багато побачити. Вони живуть у світі відлунь, і, можливо, їхні мізки здатні використовувати відлуння для чогось на кшталт «бачення» зображень, хоча для нас було б майже неможливо «візуалізувати», на що ті зображення можуть бути схожі. Звуки, які вони видають, є не просто трохи зависокими, аби їх могла почути людина, на кшталт такого собі собачого свистка. У багатьох випадках вони є значно вищими за найвищу ноту, яку хто-небудь коли-небудь чув або

здатен собі уявити. Між іншим, це щастя, що ми не можемо їх чути, бо вони надзвичайно потужні й, будучи оглушливо гучними для наших вух, не давали б нам спати.

Ці кажани — мов мініатюрні літаки-шпигуни, з яких вусібіч стримить мудрована апаратура. Їхні мізки — це тонко налаштовані комплекти мініатюризованої електронної чудасії, споряджені ретельно розробленим програмним забезпеченням, необхідним для розшифровування світу відлунь у реальному часі. Їхні писки часто викривлені в ґаргульячі форми, що здаються нам відразливими, допоки ми не побачимо, для чого вони призначені: це витончено змодельовані інструменти для випромінювання ультразвуку в бажаних напрямках.

Хоча ми не можемо чути ультразвукові імпульси цих кажанів безпосередньо, ми можемо отримати деяке уявлення про те, що відбувається, за допомогою автоматичних перекладачів, чи «кажан-детекторів». Вони приймають імпульси через спеціальний ультразвуковий мікрофон і перетворюють кожен імпульс на клацання або тон, які можна почути в навушниках. Якщо взяти такий «кажан-детектор» на галявину, де годуються кажани, ми почуємо, *коли* кожен кажан видає імпульс, хоча й не можемо чути, як саме «звучать» ці імпульси. Якщо наш кажан належить до нічниць (*Myotis*, одного зі звичайних родів дрібних бурих кажанів), ми почуємо серію клацань із частотою приблизно 10 разів за секунду, коли кажан виконуватиме свій звичайний обліт території. Це приблизно частота роботи стандартного телетайпа чи ручного кулемета.

Цілком можливо, що для кажана 10 разів за секунду оновлюється картина світу, в якому він літає. Наше ж власне візуальне відображення, схоже, оновлюється весь час, поки в нас розплющені очі. Що таке періодично оновлювана картина світу, ми можемо побачити, скориставшись уночі стробоскопом. Іноді так роблять на дискотеках, що справляє доволі разючий ефект. Танець у такому випадку видається послідовністю завмерлих статичних положень людини. Очевидно, що чим швидше блиматиме наш стробоскоп, тим більше зображення відповідатиме звичайному «безперерв-

ному» баченню. «Відбір проб» стробоскопічного бачення з частотою приблизно 10 проб за секунду під час польоту кажана був би ненабагато гіршим за звичайне «безперервне» бачення для якихось простих цілей, але не для того, щоб ловити м'яч або комах.

Але це лише частота відбору проб кажана під час звичайного обльоту території. Коли кажан із роду нічниць виявляє якусь комаху й починає рухатися курсом навперейми, частота його клацання зростає. Вона стає вищою, ніж при роботі кулемета, і в міру того, як кажан наближається до своєї рухомої цілі, може досягати піку в 200 імпульсів за секунду. Щоб відобразити це, ми мали би прискорити наш стробоскоп так, аби він блимав удвічі швидше за цикли мережевої електрики, непомітні у світлі флуоресцентних ламп. Очевидно, що в нас немає проблем із виконанням усіх наших звичайних зорових функцій (навіть під час гри у сквош чи пінг-понг) у зоровому світі, що «пульсує» з такою високою частотою. Якщо уявити, що мізки кажанів будують картину світу аналогічно нашим зоровим образам, то частота імпульсів, схоже, наводить на думку, що образ відлуння кажана міг би бути хоча б не менш детальним і «безперервним», аніж наш зоровий образ. Щоправда, можуть бути й інші причини того, що він не є таким детальним.

Якщо кажани здатні прискорювати свою частоту відбору проб до 200 імпульсів за секунду, то чому б їм не підтримувати її весь час? Оскільки вони явно мають «регулятор» контролю частоти на своєму «стробоскопі», то чому б їм не виставляти його постійно на максимум, тим самим підтримуючи своє сприйняття світу в стані найбільшої чіткості весь час, аби мати можливість зреагувати на будь-яку надзвичайну ситуацію? Одна з причин полягає в тому, що такі високі частоти придатні лише для близьких цілей. Якщо імпульс надто «наступає на п'яти» свого попередника, то змішується з його відлунням, що повертається від далекосяжної цілі. Навіть якби це було не так, існують, можливо, вагомі економічні причини для того, щоб не підтримувати максимальну частоту імпульсів увесь час. Видавати потужні ультразвукові імпуль-

си, мабуть, затратно — з погляду енергії, зношування голосу та вух, а можливо, й часу опрацювання отриманої інформації. Мозок, що обробляє 200 окремих відлунь за секунду, може й не знайти додаткових можливостей для осмислення чогось іще. Навіть «інерційна» частота приблизно в 10 імпульсів за секунду є, мабуть, доволі затратною, але значно менше, аніж максимальна частота в 200 імпульсів. Окремо взятий кажан, що прискорив би свою інерційну частоту, сплачував би додаткову ціну в плані енергії і т. ін., що не було би виправдано збільшенням чіткості сонару. Коли єдиний рухомий об'єкт безпосередньо поруч — сам кажан, видимий світ є достатньо однорідним у наступні десяті частки секунди, аби не треба було «брати проби» частіше. Коли ж поруч опиняється інший рухомий об'єкт, особливо летюча комаха, що крутиться, повертає й пірнає у відчайдушній спробі утекти від свого переслідувача, додаткова користь для кажана від збільшення його частоти відбору проб більш ніж виправдовує підвищення видатків. Звісно, міркування про видатки та користь у цьому абзаці є лише припущенням, але щось подібне має відбуватися майже напевне.

Інженер, що береться до розроблення ефективного сонара чи радара, незабаром стикається з проблемою, яка випливає з потреби зробити імпульси надзвичайно гучними. Вони мають бути гучними, бо, коли звук передається, його хвильовий фронт просувається вперед як дедалі більша сфера. Інтенсивність звуку розподіляється й, у певному сенсі, «розріджується» на всій поверхні цієї сфери. Площа поверхні будь-якої сфери пропорційна квадрату радіусу. Тому інтенсивність звуку в будь-якій конкретній точці сфери зменшується пропорційно не відстані (радіусу), а квадрату відстані від джерела звуку в міру того, як хвильовий фронт просувається вперед і сфера роздувається. Це означає, що в міру віддалення від свого джерела, в нашому випадку від кажана, звук доволі швидко стихає.

Коли цей розріджений звук досягає об'єкта, скажімо мухи, він відбивається від неї. Відбитий звук тепер, у свою чергу, розходиться від мухи дедалі більшим сферичним хвильовим

фронтом. З тієї самої причини, що й у випадку вихідного звуку, він затухає пропорційно квадрату відстані від мухи. До того часу, як відлуння досягає кажана знову, затухання його інтенсивності є пропорційним не відстані від мухи до кажана й навіть не квадрату цієї відстані, а чомусь більшому на кшталт квадрата квадрата — відстані в четвертому ступені. Це означає, що звук насправді є дуже й дуже тихим. Цю проблему можна частково подолати, якщо кажан випромінюватиме звук за допомогою якогось еквівалента мегафона, але лише коли він уже знає напрямок цілі. У будь-якому разі, якщо кажан узагалі хоче отримати якесь прийнятне відлуння від далекосяжної цілі, вихідний писк має бути справді дуже гучним, а інструмент, що сприймає відлуння (вухо), — високочутливим до дуже тихих звуків — відлунь. Як ми вже бачили, крики кажанів дуже часто справді є надзвичайно гучними, а їхні вуха дивовижно чутливі.

А ось проблема, з якою стикнувся б інженер, намагаючись розробити схожу на кажана машину. Якщо мікрофон (або вухо) буде таким чутливим, як тут було сказано, йому загрожує велика небезпека бути серйозно пошкодженим своїм власним украй гучним вихідним звуковим імпульсом. Намагатися розв'язати цю проблему, роблячи звуки тихішими, — не дуже добра ідея, адже тоді відлуння були б надто тихими, щоб їх почути. Не дуже вдала ідея також намагатися залагодити *це*, роблячи мікрофон («вухо») чутливішим, оскільки це лише зробило б його уразливішим до пошкодження вихідними звуками, хоча й трохи тихішими тепер. Ця дилема нерозривно пов'язана зі значною розбіжністю в інтенсивності вихідного звуку та зворотного відлуння, розбіжністю, що невблаганно випливає з законів фізики.

Яке інше рішення могло б спасти на думку інженерові? Коли з аналогічною проблемою зіткнулися розробники радару під час Другої світової війни, вони знайшли рішення, яке назвали приймально-передавальним радаром. Сигнали радара посилались у вигляді дуже потужних імпульсів, що могли би пошкодити високочутливі повітряні лінії (антени)

в очікуванні слабкого зворотного відлуння. «Приймально-передавальна» схема тимчасово вимикала приймальну антену перед самим випусканням вихідного імпульсу, а потім умикала її знову, саме вчасно, щоб прийняти відлуння.

Кажани розробили «технологію приймально-передавального перемикання» дуже давно, можливо, ще за мільйони років до того, як наші пращури злізли з дерев. Працює вона таким чином. У вухах кажанів (як і в наших) звук передається з барабанної перетинки на мікрофоноподібні звукочутливі клітини за допомогою містка з трьох крихітних кісточок, названих за їхню форму молоточком, ковадлом і стремінцем. Монтаж і кріплення цих трьох кісточок, до речі, є точно такими, які міг би розробити висококваліфікований інженер із метою виконання необхідної функції «погодження повних опорів», але це вже інша історія. Тут же важливо, що деякі кажани мають добре розвинені м'язи, прикріплені до стремінця та молоточка. Коли ці м'язи скорочуються, згадані кісточки передають звук менш ефективно — неначе ви приглушуєте мікрофон, притискаючи пальцем мембрану, що вібрує. Кажан здатен використовувати ці м'язи, щоб тимчасово «вимикати» свої вуха. Ці м'язи щоразу скорочуються безпосередньо перед тим, як кажан випускає вихідний імпульс, тим самим «вимикаючи» вуха, щоб вони не пошкоджувалися цим гучним імпульсом. Потім вони розслабляються, щоб вухо повернулося до максимальної чутливості саме вчасно для вловлювання зворотного відлуння. Така система «приймально-передавального перемикання» працює, лише якщо підтримується моментальна точність у часі. Кажани з роду молосів (*Tadarida*) здатні по черзі скорочувати й розслабляти свої перемикальні м'язи 50 разів за секунду, підтримуючи ідеальну синхронність зі схожими на роботу кулемета імпульсами ультразвуку. Це дивовижне досягнення, порівнюване з хитрим фокусом, що використовувався в деяких літаках-винищувачах під час Першої світової війни. Їхні кулемети стріляли «крізь» пропелер, ретельно синхронізовані в часі з його обертанням так, щоб кулі завжди проходили між лопатями, не перебиваючи їх.

Розгляньмо ось таку проблему, що могла би стати на заваді нашому інженерові. Якщо сонар вимірює відстань до цілей, визначаючи тривалість тиші між випусканням звуку і його зворотним відлунням, — метод, який, схоже, справді використовують крилани *Rousettus*, — звуки неодмінно мали б здаватися дуже короткими імпульсами, схожими на стакато. Довгий протяжний звук усе ще лунав би в момент повернення відлуння і, навіть частково приглушений «приймально-передавальними» м'язами, заважав би виявленню відлуння. В ідеалі, здавалося б, імпульси кажанів мають бути справді дуже короткими. Але що коротший звук, то важче зробити його достатньо потужним, аби породити гідне відлуння. Ми, схоже, маємо тут інший невдалий компроміс, зумовлений законами фізики. Винахідливі інженери могли б додуматися до двох рішень, до яких і додумались, коли зіткнулися з такою самою проблемою в аналогічному випадку з радаром. Яке з цих двох рішень краще, залежить від того, що важливіше — виміряти відстань (як далеко від пристрою розташований об'єкт) чи швидкість (як швидко відносно нього об'єкт рухається). Перше рішення відоме розробникам радарів як «РЛС із внутрішньоімпульсною лінійною частотною модуляцією».

Сигнали радара можна уявляти собі як низку імпульсів, але кожен імпульс має так звану несучу частоту. Вона аналогічна «тону» імпульсу звуку чи ультразвуку. Як ми вже бачили, крики кажанів мають частоту повторення імпульсів на рівні десятків чи сотень за секунду. Кожен із цих імпульсів має несучу частоту на рівні десятків чи сотень тисяч циклів за секунду. Іншими словами, кожен імпульс є високочастотним виском. Так само кожен імпульс радара є «виском» радіохвиль із високою несучою частотою. Особливістю РЛС із лінійною частотною модуляцією є те, що її несуча частота під час кожного виску не фіксована. Радше вона скаче вгору або вниз приблизно на октаву. У звуковому еквіваленті кожне випромінювання радара можна уявити як зухвалий посвист вовка з мультфільму під час зустрічі з гарною дівчиною. На відміну від фіксованого тону імпульсу, перевагою РЛС із внутрішньо-

імпульсною лінійною частотною модуляцією є ось що. Байдуже, чи вихідний імпульс усе ще триває, коли повертається відлуння. Їх не можна сплутати, бо відлуння, яке отримується в будь-який конкретний момент часу, буде відображенням більш ранньої частини імпульсу, а отже, матиме інший тон.

Розробники радара добре скористалися цією винахідливою технікою. Чи існують якісь докази того, що кажани «відкрили» її теж, як і приймально-передавальну систему? Ну, численні види кажанів справді видають крики, що знижуються, зазвичай десь на октаву, під час кожного крику. Такі крики називають частотно модульованими (ЧМ). Вони, схоже, є саме тим, що потрібно для експлуатації техніки РЛС із внутрішньоімпульсною лінійною частотною модуляцією. Однак наразі всі докази вказують на те, що кажани використовують цю техніку не для розрізнення відлуння й вихідного звуку, який його породив, а для розв'язання більш тонкого завданя — розрізнення відлунь. Кажан живе у світі відлунь від близьких об'єктів, далеких об'єктів і об'єктів на всіх проміжних відстанях. Йому доводиться відсортовувати ці відлуння одне від одного. Якщо він видає крики, що знижуються, немов посвист вовка з мультфільму, це сортування акуратно виконується за тоном. Коли відлуння від далекого об'єкта повернеться назад до кажана, воно буде «давнішим» за відлуння, що повернеться одночасно з ним від близького об'єкта. Отже, воно матиме вищий тон. Коли кажан стикається з одночасними відлуннями від кількох об'єктів, то може застосувати практичне правило: вищий тон означає більшу відстань.

Друга розумна думка, що могла би прийти в голову інженерові, особливо зацікавленому у вимірюванні швидкості рухомої цілі, полягає в експлуатації того, що фізики називають доплерівським зсувом. Його можна назвати «ефектом "швидкої"», бо його найбільш знайомим нам проявом є різкий спад тону сирени машини швидкої допомоги, коли вона проноситься повз слухача. Доплерівський зсув відбувається щоразу, як джерело звуку (світла чи будь-якого іншого типу хвилі) та його приймач рухаються один відносно одного.

Найлегше уявити, що джерело звуку є нерухомим, а слухач рухається. Припустімо, що сирена на даху заводу завиває постійно, увесь час на одній ноті. Цей звук розходиться у вигляді низки хвиль. Їх не можна побачити, бо вони є хвилями тиску повітря. Якби ж їх можна було побачити, вони нагадували б концентричні кола, що розходяться вусібіч, коли ми кидаємо камінці в центр стоячого ставка. Уявімо, що камінчики падають у ставок з рівномірною частотою, так, що хвилі постійно розходяться від центру. Якщо у якійсь фіксованій точці ставка поставити на якір крихітний іграшковий кораблик, він ритмічно гойдатиметься вгору і вниз у міру того, як під ним проходитимуть хвилі. Частота, з якою гойдається цей кораблик, аналогічна тону звуку. Тепер припустімо, що кораблик замість того, щоб міцно стояти на якорі, пливе через ставок, у загальному напрямку до центру, з якого колами розходяться хвилі. Він усе одно гойдатиметься вгору і вниз, натикаючись на послідовні хвильові фронти. Але тепер частота, з якою він натикається на хвилі, буде вищою, оскільки він прямує до їх джерела. Він гойдатиметься вгору і вниз із вищою частотою. З іншого боку, коли він промине джерело хвиль і рухатиметься до протилежного берега ставка, частота, з якою він гойдатиметься вгору і вниз, очевидно зменшиться.

З тієї самої причини, якщо швидко їхати на мотоциклі (краще тихому) повз заводську сирену, що завиває, за наближення до заводу тон звуку зростатиме: наші вуха, по суті, вихоплюють хвилі на більшій частоті, ніж якби ми сиділи на одному місці. За аналогією з корабликом, коли наш мотоцикл промине завод і віддалятиметься від нього, тон буде знижуватись. Якщо ми припинимо рухатись, то почуємо тон сирени таким, яким він є насправді, — проміжним між двома тонами з доплерівським зсувом. Звідси випливає, що знаючи точно справжній тон сирени, теоретично можна розрахувати, як швидко ми рухаємося до чи від неї, просто дослухаючись до тону звуку та порівнюючи його з відомим нам тоном.

Той самий принцип працює, коли джерело звуку рухається, а слухач стоїть на місці. Ось чому це працює для «швидкої».

Не дуже віриться, але подейкують, що сам Крістіан Доплер продемонстрував свій ефект, найнявши мідний духовий оркестр грати на відкритій залізничній платформі, що мчала повз його вражених слухачів. Значення має саме відносний рух, причому з погляду доплерівського ефекту не важливо, говоримо ми про джерело звуку, що проминає вухо, чи про вухо, що проминає джерело звуку. Якщо два потяги проминають один одного у протилежних напрямках, кожен зі швидкістю 200 км/год, пасажир одного потягу почує свист другого потягу, що затухає через особливо різкий доплерівський зсув, оскільки відносна швидкість тут становить 400 км/год.

Доплерівський ефект використовується в поліцейських радарах для контролю швидкості дорожнього руху. Нерухомий інструмент випромінює сигнали радара вздовж дороги. Радарні хвилі відбиваються від автівок, що наближаються, і реєструються приймальним апаратом. Що швидше рухається та чи інша автівка, то вищим є доплерівський зсув частоти. Порівнюючи частоту імпульсу з частотою зворотного відлуння, поліція (чи радше її автоматичний інструмент) може розрахувати швидкість кожної автівки. Якщо поліція може використовувати цю техніку для вимірювання швидкості порушників правил дорожнього руху, то чи можна сподіватися, що кажани використовують її для вимірювання швидкості комахи-здобичі?

Відповідь ствердна. Дрібні кажани підковоноси здавна відомі тим, що видають довгі гудки з фіксованим тоном, а не часте клацання чи низхідні «вовчі посвисти». Коли я кажу «довгі», то маю на увазі довгі за мірками кажанів. Тривалість цих «гудків» усе одно менша за десяті частки секунди. При цьому, як ми побачимо нижче, до кінця кожного гудка часто прикріплюється «вовчий посвист». Уявімо спочатку підковоноса, що видає безперервний ультразвуковий гул, швидко підлітаючи до нерухомого об'єкта на кшталт дерева. Хвильові фронти натикатимуться на дерево з вищою частотою через рух кажана у бік дерева. Якби в дереві був схований мікрофон, він би «почув» доплерівський зсув звуку в бік підвищення тону через рух кажана. Мікрофона в дереві немає, але

відлуння, відбите від нього, матиме доплерівський зсув у бік підвищення тону саме таким чином. Тепер, коли хвильові фронти відлуння повертаються від дерева до кажана, що наближається, кажан усе ще швидко рухається до них. Тому відбувається подальший доплерівський зсув у бік підвищення в сприйнятті кажаном тону відлуння. Рух кажана приводить до своєрідного подвійного доплерівського зсуву, величина якого є точним індикатором його швидкості відносно дерева. Таким чином, порівнюючи тон свого крику з тоном зворотного відлуння, кажан (чи, радше, його «бортовий комп'ютер» у мозку) міг би, в теорії, розрахувати, як швидко він рухається до дерева. Це не сказало б кажанові, як далеко від нього дерево, але все одно могло би бути дуже корисною інформацією.

Якби ж об'єктом, що відбиває звук, було не статичне дерево, а рухома комаха, доплерівські ефекти були б складнішими, але кажан усе одно міг би розрахувати швидкість відносного руху — свого і своєї цілі; очевидно, це саме та інформація, якої потребує така досконала «керована ракета», як кажан на полюванні. Деякі кажани демонструють цікавіший трюк, аніж просто видавання гудків незмінного тону та вимірювання тону відлуння. Вони ретельно коригують тон вихідних гудків таким чином, аби підтримувати тон відлуння незмінним після його доплерівського зсуву. У міру швидкого наближення до комахи вони постійно змінюють тон своїх криків, безперервно шукаючи саме той, який потрібен для підтримання зворотного відлуння на фіксованій частоті. Цей винахідливий трюк підтримує відлуння на частоті, до якої їхні вуха є максимально чутливими, — що важливо, оскільки відлуння є такими слабкими. Після цього вони можуть отримати необхідну інформацію для своїх доплерівських розрахунків, моніторячи частоту, на якій вони зобов'язані гудіти, аби досягти відлуння з фіксованою частотою. Я не знаю, чи використовується цей хитрий трюк у створених людиною пристроях на кшталт сонара чи радара. Але зважаючи на те, що найрозумніші ідеї в цій галузі, схоже, були вперше розроблені кажанами, я не проти побитися об заклад, що відповідь буде ствердною.

Залишається лише сподіватися, що ці дві доволі різні техніки — доплерівського зсуву та «РЛС із внутрішньоімпульсною лінійною частотною модуляцією» — будуть корисними для різних спеціальних призначень. Одні групи кажанів спеціалізуються на одній із них, тоді як інші — на другій. Деякі групи, схоже, намагаються взяти максимум від обох світів, прикріплюючи частотномодульований «вовчий посвист» до кінця (чи іноді до початку) довгого «гудка» з незмінною частотою. Інший цікавий трюк підковоносів стосується рухів їхніх зовнішніх вух. На відміну від інших кажанів, підковоноси рухають своїми зовнішніми вухами швидкими позмінними махами вперед-назад. Можливо, цей додатковий швидкий рух слухової поверхні відносно цілі спричинює корисні модуляції доплерівського зсуву, що постачають додаткову інформацію. Коли вухо махає в напрямку до цілі, видима швидкість руху до неї зростає. Коли ж воно махає від цілі, відбувається зворотний процес. Мозок кажана «знає» напрямок махів кожного вуха і, в принципі, може зробити необхідні розрахунки для використання цієї інформації.

Можливо, найскладнішою проблемою з усіх, із якими стикаються кажани, є небезпека ненавмисного «заглушення» криками інших кажанів. Експериментатори виявили, що збити кажанів з їхнього шляху, вмикаючи гучний штучний ультразвук, на диво важко. Щоправда, це можна було передбачити. Кажани, мабуть, розв'язали проблему уникнення заглушення ще в сиву давнину. Багато видів влаштовуються на відпочинок величезними скупченнями у печерах, що, мабуть, є оглушливим сонмищем ультразвуку й відлунь, однак кажани здатні швидко літати цими печерами, уникаючи стін та один одного у цілковитій темряві. Як же кажан не збивається зі своїх власних відлунь і уникає плутанини з відлуннями інших? Першим рішенням, що могло б спасти на думку інженерові, є якесь частотне кодування: кожен кажан міг би мати свою власну приватну частоту, як-от у окремих радіостанцій. До певної міри так і є, але це, в будь-якому разі, ще не вся історія.

Як саме кажани уникають заглушення іншими кажанами, до кінця не зрозуміло, але цікавий ключ до розгадки дають експерименти, спрямовані на те, щоб збити кажанів зі шляху. Виявляється, що деяких кажанів цілком можна обдурити, якщо увімкнути їм їхні *власні* крики зі штучною *затримкою*. Іншими словами, дати їм хибне відлуння їхніх власних криків. Ретельно контролюючи електронний апарат, що затримує хибне відлуння, можна навіть змусити кажанів спробувати приземлитися на «фантомний» виступ. Припускаю, що це кажанячий еквівалент нашого бачення світу через кришталик.

Схоже, що кажани здатні використовувати щось, що ми могли б назвати «фільтром дивності». Кожне наступне відлуння власних криків кажана породжує картину світу, що має сенс з погляду попередньої картини світу, побудованої більш ранніми відлуннями. Якщо кажан чутиме відлуння крику іншого кажана та намагатиметься вписати його в картину світу, яку він збудував перед тим, ця картина не матиме жодного сенсу. Вона матиме такий вигляд, неначе її об'єкти раптом стрибнули в різних випадкових напрямках. У реальному світі об'єкти не поводяться так божевільно, тому мозок може спокійно відфільтровувати ці відлуння як фоновий галас. Якщо ж експериментатор умикатиме кажанові штучно затримані або прискорені відлуння його власних криків, вони *матимуть* сенс з погляду картини світу, яку кажан попередньо побудував. Ці хибні відлуння приймаються фільтром дивності, бо вони правдоподібні в контексті попередніх відлунь. Вони створюють враження, що об'єкти змінили своє положення незначною мірою, чого в реальному світі цілком можна очікувати від об'єктів. Мозок кажана покладається на припущення, що світ, відображений будь-яким відбитим імпульсом, буде або таким самим, як і світ, відображений попередніми імпульсами, або лише злегка іншим (наприклад, може трохи зміститися переслідувана ним комаха).

Існує добре відома стаття філософа Томаса Наґеля під назвою «Як воно — бути кажаном?». У статті йдеться не так про кажанів, як про філософську проблему уявлення (осяг-

нення) того, що «схоже» на будь-що, чим ми не є. Однак причина, з якої кажан є особливо промовистим прикладом для філософа, полягає в тому, що відчуття кажана, пов'язані з ехолокацією є, мабуть, для нас особливо чужими та відмінними від наших власних. Якщо вам захочеться відчути те, що відчуває кажан, то майже напевно буде великою помилкою піти до печери, кричати чи клацати ложками одна об одну, свідомо засікаючи час затримки, перш ніж ви почуєте відлуння, та намагатися розрахувати на основі цих даних, як далеко має бути стіна.

Це дасть уявлення про те, як воно — бути кажаном, не більше, ніж ось такий експеримент про те, як воно — бачити колір. Скористайтесь якимось інструментом, аби виміряти довжину хвилі світла, що потрапляє вам в око: якщо вона довга, ви бачите червоний колір, а якщо коротка — фіолетовий чи синій. Так вийшло, що світло, яке ми називаємо червоним, має більшу довжину хвилі, ніж те, яке ми називаємо синім, і це фізичний факт. Хвилі різної довжини вмикають червоночутливі або синьочутливі фотоклітини нашої сітківки. Але у нашому суб'єктивному сприйнятті кольорів немає жодного сліду поняття «довжина хвилі». Ніщо з того, «як воно» — бачити синє або червоне світло, не говорить нам про те, яке з них має більшу довжину хвилі. Якщо це має значення (а зазвичай ні), ми просто повинні пригадати це або (як я завжди роблю) подивитись у книжці. Так само кажан сприймає положення комахи за допомогою того, що ми називаємо відлуннями. Але сприймаючи комаху, кажан, безумовно, думає про затримки відлуння не більше, ніж ми про довжину хвилі, коли дивимося на синій або червоний колір.

Насправді, якби мене змусили спробувати неможливе й уявити, як воно — бути кажаном, я припустив би, що ехолокація для цих тварин є радше тим, чим для нас є зір. Ми є настільки цілковито зоровими тваринами, що майже не усвідомлюємо, яка складна річ зір. Об'єкти перебувають «он там», і ми переконані, що «бачимо» їх там. Але я підозрюю, що насправді об'єктом нашого сприйняття є складна комп'ютерна модель

у мозку, побудована на основі інформації, що надходить від того «он там», але трансформується в голові в ту форму, в якій ця інформація може *використовуватись*. Відмінності в довжині хвиль світла «он там» у комп'ютерній моделі в нашій голові кодуються як відмінності в кольорі. Форма та інші властивості кодуються таким самим чином, у формі, зручній для використання. Відчуття зору для нас дуже відрізняється від відчуття слуху, але це не пов'язано безпосередньо з фізичними відмінностями між світлом і звуком. Як світло, так і звук, зрештою, перетворюється відповідними органами чуттів на один і той самий різновид нервових імпульсів. Виходячи з фізичних властивостей нервового імпульсу, неможливо сказати, чи передає він інформацію про світло, звук чи запах. Причина того, що відчуття зору настільки відрізняється від відчуттів слуху та запаху, полягає в тому, що мозок вважає зручним використовувати різні типи внутрішніх моделей для світу зорових образів, світу звуків і світу запахів. Відчуття зору й слуху є такими різними тому, що ми *внутрішньо використовуємо* нашу зорову і звукову інформацію різними способами та для різних цілей. Це не пов'язано безпосередньо з фізичними відмінностями між світлом і звуком.

Але кажан використовує свою *звукову* інформацію з метою, дуже подібною до тієї, з якою ми використовуємо свою *зорову* інформацію. Він використовує звук для постійного оновлення свого сприйняття положення об'єктів у тривимірному просторі, так само, як ми використовуємо світло. Отже, тип внутрішньої комп'ютерної моделі, якої він потребує, є придатним для внутрішнього відображення змінних положень об'єктів у тривимірному просторі. Я вважаю, що форма, якої набуває суб'єктивне сприйняття тварини, є властивістю цієї внутрішньої комп'ютерної моделі. Ця модель розробляється у процесі еволюції з метою її використання для внутрішнього відображення незалежно від фізичних стимулів, що надходять до неї ззовні. Нам із кажанами *потрібна* однотипна внутрішня модель для відображення положення об'єктів у тривимірному просторі. Той факт, що

кажани створюють свою внутрішню модель за допомогою відлуння, тоді як ми створюємо свою за допомогою світла, несуттєвий. Ця зовнішня інформація на її шляху до мозку в будь-якому разі перетворюється на однотипні нервові імпульси.

Моє припущення, таким чином, полягає в тому, що кажани «бачать» дуже подібно до того, як це робимо ми, навіть попри те, що фізичне середовище, за допомогою якого світ «он там» перетворюється на нервові імпульси, є зовсім не таким, як у нас, — ультразвуком, а не світлом.

Кажани можуть навіть використовувати відчуття, які ми називаємо кольором, для своїх власних цілей — аби відобразити відмінності світу «он там», що не мають нічого спільного з фізикою довжини хвилі, але відіграють функціональну роль для кажана, аналогічну тій, яку для нас відіграють кольори. Можливо, самці кажанів мають тонко текстуровану поверхню тіла, тож відлуння, які від них відбиваються, сприймаються самицями як чудово розфарбовані — звуковий еквівалент шлюбного плюмажу райського птаха. У моєму розумінні це не якась розпливчаста метафора. Можливо, що суб'єктивне відчуття самиці кажана, коли вона сприймає самця, насправді є, скажімо, яскраво-червоним — таким самим, як коли я дивлюсь на фламінго. Або принаймні відчуття кажанихою свого партнера може відрізнятися від мого зорового відчуття фламінго не більше, ніж моє зорове відчуття фламінго відрізняється від зорового відчуття одного фламінго, що дивиться на іншого.

Дональд Ґріффін розповідає історію, що трапилася, коли вони зі своїм колегою Робертом Ґаламбосом уперше повідомили здивованих учасників конференції зоологів 1940 року про своє нове відкриття фактів про ехолокацію кажанів. Один видатний учений був настільки недовірливий і водночас обурений, що

> *схопив Ґаламбоса за плечі й заходився трусити його, стверджуючи, що ми ніяк не могли мати на увазі таке образливе припущення. Радар і сонар були тоді ще*

дуже таємними розробками військової техніки, і саме уявлення про те, що кажани здатні робити речі, хоча б віддалено аналогічні останнім тріумфам електронної інженерії, вразило більшість людей як щось не лише неправдоподібне, а й емоційно нестерпне.

Того видатного скептика легко зрозуміти. У його небажанні вірити є щось дуже людське. І насправді воно засвідчує: людина є саме тим, чим вона є. Саме тим, бо наші людські органи чуття *не* здатні робити те, що роблять кажани, у що нам важко повірити. Через те, що ми можемо осягнути це лише на рівні штучної апаратури та математичних розрахунків на папері, нам так важко уявити, що маленька тваринка робить це у своїй голові. При цьому математичні розрахунки, що знадобилися б для пояснення принципів зору, є не менш складними й важкими, однак ніхто ще не мав жодних проблем із вірою в те, що ця маленька тваринка здатна бачити. Причина такого подвійного стандарту нашого скептицизму доволі проста: бачити ми можемо, а от до ехолокації не здатні.

Можна уявити собі якийсь інший світ, в якому конференцію ерудованих, але геть сліпих, схожих на кажанів створінь приголомшила б звістка про тварин під назвою «люди», що здатні використовувати нещодавно відкриті нечутні промені під назвою «світло», які поки що є предметом надзвичайно таємних військових розробок, для орієнтації у просторі. Ці скромні й непримітні в іншому люди є майже повністю глухими (гаразд, вони можуть чути до певної міри й навіть видавати низку до нудоти повільних, глибоко протяжних гарчань, але вони використовують ці звуки лише для рудиментарних цілей на кшталт спілкування між собою і, схоже, не здатні використовувати їх для виявлення навіть наймасивніших об'єктів). Натомість вони мають високоспеціалізовані органи під назвою «очі» для експлуатації променів «світла». Основним джерелом променів світла є сонце, і люди, на диво, примудряються використовувати складні відлуння, що відбиваються від об'єктів, коли на них потрапляють промені

світла від сонця. Вони мають вигадливий пристрій під назвою «кришталик», форма якого, схоже, математично розрахована так, що він заломлює ці безшумні промені таким чином, що виходить точне масштабування, один до одного, між об'єктами в світі й «зображенням» на канві клітин під назвою «сітківка». Ці клітини сітківки здатні якимось таємничим чином робити світло «чутним» (так би мовити) й передають свою інформацію до мозку. Наші математики показали, що коли правильно виконувати дуже складні розрахунки, то за допомогою цих променів світла теоретично можна орієнтуватись у світі так само ефективно, як звичайним способом, за допомогою ультразвуку, — в деяких аспектах навіть *ефективніше*! Але хто б міг подумати, що якісь скромні люди можуть виконувати такі розрахунки?!

Ехолокація кажанів є лише одним із тисяч прикладів, які я зміг відібрати на підтвердження майстерного задуму. Тварини створюють враження, що вони були задумані вельми обізнаним теоретично й надзвичайно винахідливим практично фізиком або інженером, але немає жодних свідчень того, що кажани самі знають чи розуміють цю теорію в такому самому сенсі, як її розуміє фізик. Кажана слід вважати аналогом *інструмента* на кшталт поліцейського радара, а не особи, що розробила цей інструмент. Розробник поліцейського радара для вимірювання швидкості знався на теорії доплерівського ефекту й відобразив цю обізнаність у математичних рівняннях, чітко написаних на папері. Знання розробника втілене в інструменті, але сам інструмент не знає, як він працює. Він містить у собі електронні компоненти, налаштовані так, аби автоматично порівнювати дві частоти радара й переводити результат у зручні одиниці вимірювання — кілометри на годину. Задіяні розрахунки є складними, але цілком у межах можливостей маленької коробочки з сучасними електронними компонентами, налаштованими відповідним чином. Звісно, якийсь розвинений свідомий мозок попрацював над її налаштуванням (чи хоча б розробив схему налаштування), але жоден свідомий мозок не залучений до щосекундної роботи цієї коробочки.

Наше сприйняття електронних технологій готує нас прийняти думку, що несвідома машинерія може поводитись так, неначе розуміє складні математичні ідеї. Цю думку можна безпосередньо застосовувати й до роботи «живої машинерії». Кажан є машиною, внутрішня електроніка якої налаштована таким чином, що м'язи його крил спрямовують його на комаху, як несвідома керована ракета спрямовується на літак. Досі наша інтуїція, що базувалася на аналогії з технологією, була правильною. Але наше сприйняття технології також підштовхує нас до того, щоб побачити розум свідомого й цілеспрямованого розробника в розвитку витонченої машинерії. А цей інтуїтивний висновок у випадку «живих машин» є помилковим. У випадку «живих машин» «розробником» є несвідомий природний відбір, сліпий годинникар.

Сподіваюся, що читач уже проникся цими розповідями про кажанів так само, як і я, і так само, як міг би проникнутися ними Вільям Пейлі. Моя мета в певному сенсі була ідентичною меті Пейлі. Я не хочу, щоб читач недооцінював дивовижну роботу природи і проблеми, з якими ми стикаємось, намагаючись її пояснити. Ехолокація у кажанів, хоча й невідома за часів Пейлі, послужила б його меті не гірше за будь-який із його прикладів. Пейлі підкріплював свій аргумент, множачи наведені приклади. Він пройшовся по всьому тілу, з голови до ніг, показуючи, як кожна його частина, кожнісінька найменша деталь подібна нутрощам прекрасно змодельованого годинника. Багато в чому я хотів би зробити те саме, адже існує багато дивовижних історій, а мені подобається розповідати історії. Але, правду кажучи, множити приклади немає потреби. Одного чи двох буде цілком достатньо. Гіпотеза, здатна пояснити навігацію кажанів, є добрим кандидатом на пояснення всього у світі живого, а якщо пояснення Пейлі для будь-якого з його прикладів було неправильним, цього не виправити, множачи приклади. Його гіпотеза полягала в тому, що «живі годинники» були в буквальному сенсі розроблені та створені вправним годинникарем. Наша ж сучасна гіпотеза полягає

в тому, що ця робота була виконана поступово, у процесі еволюції, природним відбором.

У наші дні теологи не такі прямолінійні, як Пейлі. Вони не вказують на складні живі механізми і не стверджують, що ті самоочевидно задумані якимось творцем, точнісінько як годинник. Але існує тенденція вказувати на них і говорити: «Неможливо повірити, що такий складний (чи такий ідеальний) об'єкт міг виникнути внаслідок природного відбору». Щоразу, коли я читаю подібні ремарки, мені хочеться приписати збоку: «Говори за себе». Чимало таких прикладів (в одному розділі я нарахував їх 35) наведено в нещодавно виданій книжці під назвою «Імовірність Бога» єпископа Бірмінгемського Г'ю Монтефіоре. Я скористаюся цією книжкою для всіх моїх прикладів у решті цього розділу, бо це — щира й чесна спроба поважного та освіченого автора осучаснити природну теологію. Коли я кажу «чесна», то й маю на увазі «чесна». На відміну від деяких його колег-теологів, єпископ Монтефіоре не боїться стверджувати, що питання про існування Бога є питанням про доконаний факт. Він не має цілого воза хитрих відмовок, як-от: «Християнство — це спосіб життя. Питання *існування* Бога зняте: це — міраж, створений ілюзіями реалізму». Деякі розділи його книжки присвячені фізиці й космології, а я не настільки компетентний, аби коментувати їх. Можу лише зазначити, що він, схоже, взяв за авторитети справжніх фізиків. Якби ж то він учинив так само в біологічних розділах! На жаль, тут він віддав перевагу роботам Артура Кестлера, Фреда Гойла, Ґордона Реттрей-Тейлора та Карла Поппера! Єпископ вірить в еволюцію, але не може повірити, що природний відбір є адекватним поясненням курсу, який узяла еволюція (почасти тому, що, подібно багатьом іншим, він, на жаль, неправильно трактує природний відбір як «випадковий» і «позбавлений сенсу»).

Він активно застосовує те, що можна назвати «аргументом від особистої невіри». В одному з розділів ми знаходимо ось такі фрази в такому порядку:

...схоже, немає жодного пояснення на дарвінівських засадах... Не легше пояснити... Важко зрозуміти... Нелегко зрозуміти... Не менш складно пояснити... Я не вважаю це простим для осягнення... Я не вважаю це простим для розуміння... Я вважаю це складним для розуміння... здається неможливим пояснити... Я не можу зрозуміти, як... неодарвінізм здається недостатнім, щоб пояснити багато випадків складної поведінки тварин... непросто осягнути, як така поведінка могла виникнути виключно шляхом природного відбору... Неможливо... Як міг виникнути настільки складний орган?.. Нелегко зрозуміти... Складно зрозуміти...

Як зазначив сам Дарвін, аргумент від особистої невіри є надзвичайно слабким. У деяких випадках він базується на простому неуцтві. Наприклад, одним із фактів, які єпископ вважає складними для розуміння, є білий колір полярних ведмедів.

Що ж до камуфляжу, то його не завжди легко пояснити з неодарвінівських позицій. Якщо полярні ведмеді в Арктиці домінують, то там їм, схоже, не було би потреби виробляти форму камуфляжу білого кольору.

Це перекладається так:

Особисто я просто з голови, сидячи в своєму кабінеті, жодного разу не побувавши в Арктиці й ніколи не бачивши полярного ведмедя в дикій природі, здобувши освіту в галузі класичної літератури й теології, досі не зумів вигадати причину, чому полярним ведмедям може бути корисно бути білими.

У цьому конкретному випадку робиться припущення, що камуфляж потрібен лише тваринам, на яких полюють. При цьому випускається з уваги, що хижакам також корисно ховатися від очей своєї здобичі. Полярні ведмеді полюють

на тюленів, що відпочивають на льоду. Якщо тюлень побачить ведмедя з достатньої відстані, то може втекти. Підозрюю, що, якби єпископ уявив, як на тюленів на снігу намагається полювати темного кольору ведмідь гризлі, він одразу ж знайшов би відповідь на своє запитання.

Спростувати аргумент стосовно полярного ведмедя вийшло аж занадто легко, але загалом суть в іншому. Навіть якщо найбільший авторитет у світі не може пояснити якесь дивовижне біологічне явище, це ще не означає, що пояснити його неможливо. Багато таємниць зберігалися століттями, але врешті-решт для них знайшли пояснення. Хай там як, але більшості сучасних біологів було б нескладно пояснити кожен із 35 прикладів єпископа з погляду теорії природного відбору, хоча й не всі вони такі прості, як забарвлення полярних ведмедів. Але ми не перевіряємо людську винахідливість. Навіть якби ми знайшли один приклад, який *не змогли б* пояснити, то мали б повагатися, перш ніж робити якісь грандіозні висновки з факту нашої власної неспроможності. Сам Дарвін висловився з цього приводу дуже чітко.

Існують серйозніші версії аргументу від особистої невіри, що не базуються лише на неуцтві чи браку винахідливості. Одна з форм цього аргументу напряму використовує надзвичайне здивування, що виникає в кожного з нас під час зустрічі з дуже складною машинерією на кшталт досконалих деталей апарату ехолокації кажанів. Суть тут полягає в тому, що якимось чином самоочевидно, що щось настільки дивовижне, як це, не могло виникнути шляхом природного відбору. Єпископ зі схваленням цитує Ґ. Беннетта щодо павутиння:

> *Для того, хто спостерігав за цією роботою впродовж багатьох годин, абсолютно неможливо сумніватися, що ані нинішні павуки цього виду, ані їхні предки ніколи не були архітекторами цієї павутини або що вона могла бути виготовлена крок за кроком унаслідок випадкової варіації. Це було б так само абсурдно, як*

припустити, що складні й точні пропорції Парфенона постали завдяки скиданню на купу шматків мармуру.

Насправді нічого неможливого тут немає. Ось у що я твердо вірю, а я маю деякий досвід спостережень за павуками та їхнім павутинням.

Далі єпископ переходить до людського ока, риторично запитуючи, маючи на увазі, що відповіді на це запитання не існує: «Як такий складний орган міг виникнути в процесі еволюції?» Це не аргумент, це просто підтвердження невіри. Глибинна основа інтуїтивної невіри, яку ми всі маємо спокусу відчувати стосовно того, що Дарвін називав органами надзвичайної досконалості та складності, на мою думку, подвійна. По-перше, ми не маємо інтуїтивного розуміння безмежності часу, відведеного для еволюційних змін. Більшість скептиків у питаннях природного відбору готові визнати, що він може принести якісь незначні зміни на кшталт темного забарвлення, що з'явилось у різних видів нічних метеликів після промислової революції. Однак визнавши це, вони потім підкреслюють, наскільки дрібною була ця зміна. Як наголошує єпископ, темні метелики не є *новим видом*. Я погоджуюсь, що це — дрібна зміна, незрівнянна з еволюцією ока чи розвитком ехолокації. Але ж метеликам знадобилася для цієї зміни лише якась сотня років. Нам сто років здається довгим періодом, бо це перевищує тривалість нашого життя, але для геолога цей проміжок десь у тисячу разів коротший, аніж той, яким він звик вимірювати!

Очі не кам'яніють, тому ми не знаємо, скільки часу знадобилося нашому типу ока для вироблення його нинішньої складності й досконалості з нічого, але доступні для цього часові межі складають декілька сотень мільйонів років. Подумайте для порівняння про зміну, яку людина за значно коротший час здійснила шляхом генетичного відбору собак. За кілька сотень (чи максимум тисяч) років ми дійшли від вовка до пекінеса, бульдога, чихуахуа та сенбернара. Але ж вони залишаються *собаками*, чи не так? Вони не перетвори-

лися на інший «вид» тварин? Звісно, якщо вам спокійніше гратися словами таким чином, можете називати їх усіх просто собаками. Але подумайте про час, що був задіяний. Спробуймо відобразити загальний час, що знадобився для еволюційного розвитку всіх цих порід собак від вовка, одним звичайним прогулянковим кроком. Тоді, за тією ж самою шкалою, скільки б вам довелося пройти, щоб повернутися до Люсі та її виду — найдавніших скам'янілих решток людей, що однозначно були прямоходячими? Відповідь: близько 3 кілометрів. А скільки б вам довелося пройти, щоб повернутися до початку еволюції на Землі? Відповідь полягає в тому, що вам довелося б «відмахати» шлях від Лондона до Багдада. Подумайте про загальну величину зміни, задіяної на шляху від вовка до чихуахуа, а потім помножте її на кількість прогулянкових кроків між Лондоном і Багдадом. Це дасть вам деяке інтуїтивне уявлення про величину змін, яких ми можемо очікувати від реальної природної еволюції.

Другою основою нашої природної невіри в еволюцію дуже складних органів на кшталт людських очей і кажанячих вух є інтуїтивне застосування теорії ймовірності. Єпископ Монтефіоре цитує міркування Ч. Е. Рейвена щодо зозуль. Ті відкладають свої яйця в гнізда інших птахів, які потім виступають у ролі вимушених прийомних батьків. Подібно до дуже багатьох біологічних адаптацій, ця адаптація у зозуль не єдина, а множинна. Їхній паразитичний спосіб життя підтверджують декілька різних фактів про цих птахів. Наприклад, матір має звичку відкладати яйця в гнізда інших птахів, а дитя має звичку викидати з гнізда власних пташенят господарів. Обидві звички допомагають зозулі досягти успіху в її паразитичному житті. Далі Рейвен говорить:

> *Як видно, кожна з цієї послідовності умов є необхідною для успіху цілого. Однак сама по собі кожна з них марна. Усе opus perfectum (ідеальне поєднання) має бути досягнуте одночасно. Шанси проти випадкового виникнення такої низки збігів є, як ми вже встановили, астрономічними.*

Аргументи на кшталт цього, в принципі, є вагомішими, ніж аргумент на основі цілковитої, голої невіри. Вимірювання статистичної неймовірності того чи іншого припущення є прямим шляхом до оцінювання його правдоподібності. Це метод, який ми використовуватимемо в цій книжці не раз. Але робити це треба правильно! У викладеному Рейвеном аргументі є два хибних моменти. По-перше, це вже знайоме нам плутання природного відбору з «випадковістю» (яке, маю сказати, доволі сильно дратує). Випадковою є мутація; природний же відбір абсолютно протилежний випадковому. По-друге, це просто *неправда*, що «сама по собі кожна з них марна». Неправда, що все ідеальне поєднання умов має бути досягнуте одночасно. Неправда, що кожна частина є необхідною для успіху цілого. Проста, рудиментарна, недорозвинена система очей, вух, ехолокації, зозулячого паразитизму тощо — краще, ніж взагалі нічого. Без очей ви абсолютно сліпі. Маючи ж хоча б половину ока, можна вловити загальний напрямок руху хижака, навіть якщо ви не можете сфокусувати чітке зображення. А це цілком може означати різницю між життям і смертю. Ці моменти розглядатимуться знову детальніше в наступних двох розділах.

РОЗДІЛ 3

НАКОПИЧЕННЯ ДРІБНИХ ЗМІН

Ми вже бачили, що живі організми є надто неймовірними й надто досконало «задуманими», щоб виникнути випадково. Як же тоді вони виникли? Відповідь (дарвінівська) є такою: шляхом поступових, покрокових перетворень із простих начал, з первісних сутностей, достатньо простих, аби виникнути випадково. Кожна наступна зміна в цьому поступовому еволюційному процесі була доволі простою (*порівняно з її попередницею*), аби виникнути випадково. Але вся послідовність сукупних етапів являє собою аж ніяк не випадковий процес, якщо врахувати складність кінцевого продукту порівняно з відправною точкою. Цей сукупний процес спрямовується невипадковим виживанням. Мета цього розділу — продемонструвати силу такого *накопичувального відбору* як фундаментально невипадкового процесу.

Прогулюючись укритим галькою пляжем, ви помітите, що камінці розташовані на ньому не абияк. Менші камінці зазвичай можна знайти в окремих зонах уздовж берега, а більші — в інших зонах, чи смугах. Ці камінці розсортовані, впорядковані, відібрані. Якесь плем'я, що живе на узбережжі, могло б дивуватися цим свідченням сортування чи впорядкування у світі й навіть скласти про це міф, можливо приписуючи це явище діям якогось Великого Духа на небі

з чистим розумом і відчуттям порядку. Ми ж могли б зверхньо посміятися з цих марновірних уявлень і пояснити, що «чудесне» впорядкування насправді було здійснено сліпими силами фізики, в цьому випадку дією хвиль. Хвилі не мають жодних цілей і намірів, жодного тобі «чистого розуму», та й розуму взагалі. Вони просто енергійно розкидають камінці довкола, а великі та дрібні камінці по-різному відповідають на такі дії, тому й опиняються на різних рівнях пляжу. Трохи порядку виникло з безладу, і жоден розум його не планував.

Хвилі та камінці разом являють собою простий приклад системи, яка автоматично породжує невипадковість. У світі повно таких систем. Найпростіший приклад, що спадає мені на думку, — отвір. Крізь отвір можуть проникнути лише об'єкти, що менші за нього. Це означає, що коли почати з випадкового набору об'єктів над отвором і якась сила труситиме й штурхатиме їх навмання в усі боки, то згодом об'єкти над і під отвором будуть відсортовані невипадковим чином. Простір під отвором матиме тенденцію містити об'єкти, менші за отвір, а простір над ним матиме тенденцію містити об'єкти, більші за нього. Людство, звісно, вже давно використовує цей простий принцип породження невипадковості в корисному пристрої, відомому як сито.

Сонячна система є стабільним упорядкуванням планет, комет і різних уламків, що обертаються по орбітах навколо Сонця, і, можливо, однією з багатьох таких орбітальних систем у Всесвіті. Що ближче той чи інший супутник до свого сонця, то швидше він має рухатись, аби протистояти сонячному тяжінню й залишатися на стабільній орбіті. Для будь-якої конкретної орбіти є лише одна швидкість, з якою супутник може рухатися, залишаючись на ній. Якби він рухався з будь-якою іншою швидкістю, то або вилетів би у глибокий космос, або врізався б у Сонце, або вийшов би на іншу орбіту. І якщо ми подивимося на планети нашої Сонячної системи, то побачимо (о диво!), що всі вони рухаються з відповідною швидкістю, щоб залишатися на своїх стабільних орбітах навколо Сонця. Благословенне диво завбачливого

задуму? Ні, просто ще одне природне «сито». Очевидно, що всі планети, які обертаються навколо Сонця, мають рухатися з відповідною швидкістю, щоб залишатися на своїх орбітах, а інакше ми не бачили б їх там, бо їх би там просто не було! Але не менш очевидно, що це не є свідченням на користь свідомого задуму. Це просто ще один різновид сита.

Самого по собі відсіювання такого порядку простоти недостатньо для пояснення великих обсягів невипадкового порядку, які ми бачимо в живих організмів. Явно недостатньо. Згадайте аналогію з кодовим замком велосипеда. Різновид невипадковості, який можна породити простим відсіюванням, є грубим еквівалентом відкривання кодового замка лише з одним диском: його легко відкрити завдяки простій удачі. З іншого боку, різновид невипадковості, який ми спостерігаємо у живих систем, є еквівалентом просто гігантського кодового замка з майже незліченною кількістю дисків. Породження біологічної молекули на кшталт гемоглобіну (червоного пігменту крові) простим відсіюванням було б еквівалентом того, щоб узяти всі амінокислотні складові гемоглобіну, перемішати їх навмання і сподіватися, що його молекула відтворить себе сама завдяки простому збігу. Масштаби удачі, що знадобилася б для цього, є просто неймовірними, тож цей приклад був використаний Айзеком Азімовим та іншими як показова головоломка.

Молекула гемоглобіну складається з чотирьох ланцюжків амінокислот, скручених разом. Розгляньмо лише один із цих чотирьох ланцюжків. Він складається зі 146 амінокислот. Існує 20 різновидів амінокислот, які зазвичай можна знайти в живих організмах. Число можливих способів упорядкування цих 20 різновидів у ланцюжках завдовжки 146 ланок є неймовірно великим; Азімов називає його «гемоглобіновим числом». Розрахувати його легко, але візуалізувати отриману відповідь неможливо. Першою зі 146 ланок у ланцюжку могла би бути будь-яка з 20 можливих амінокислот. Другою ланкою також могла би бути будь-яка з 20, тож число можливих варіантів 2-ланкових ланцюжків становить 20 × 20, тобто 400.

Число можливих варіантів 3-ланкових ланцюжків становить 20 × 20 × 20, тобто 8000. Число ж можливих варіантів 146-ланкових ланцюжків дорівнює числу 20, помноженому на себе саме 146 разів. Це приголомшливо велике число. Мільйон — це 1 із 6 нулями. Мільярд (тисяча мільйонів) — це 1 із 9 нулями. Число ж, яке ми шукаємо, — «гемоглобінове число» — це (доволі приблизно) 1 із 190 нулями! Ось яка ймовірність «зліпити» гемоглобін завдяки щасливому збігу. А молекула ж гемоглобіну являє собою лише крихітну частинку складності живого організму. Очевидно, що саме по собі просте відсіювання й близько не здатне породити весь обсяг порядку в живому організмі. Відсіювання є необхідною складовою породження порядку живого, але це далеко не вся історія. Потрібно ще дещо. Аби пояснити цю думку, мені треба буде розмежувати поняття «однокроковий» і «накопичувальний відбір». Усі прості сита, які ми розглядали в цьому розділі, є прикладами однокрокового відбору. Організація ж живого є продуктом відбору накопичувального.

Основна відмінність між однокроковим і накопичувальним відбором така. За однокрокового відбору відібрані чи відсортовані сутності (камінці чи чим там вони є) відсортовуються раз і назавжди. За накопичувального ж відбору вони «відтворюються», тобто результати одного процесу відсіювання якимось чином використовуються в подальшому відсіюванні, яке використовується в... і т. д. Сутності піддаються відбору чи сортуванню багато поколінь поспіль. Кінцевий продукт одного покоління відбору є відправною точкою для наступного, і це повторюється впродовж багатьох поколінь. Цілком природно запозичити такі слова, як «відтворюються» та «поколінь», що асоціюються з живими організмами, бо живі організми є основними прикладами відомих нам об'єктів, що беруть участь у накопичувальному відборі. Фактично вони можуть бути єдиними об'єктами, які це роблять, але наразі я не хотів би порушувати це питання й бути категоричним.

Іноді через випадкове збивання докупи й обрізання вітрами форм знайомих нам об'єктів набувають хмаринки. Нерідко

можна побачити фотографію, зроблену пілотом якогось маленького літака, що зображує щось схоже на образ Ісуса, який дивиться з небес. Ми всі бачили хмаринки, які нагадували нам щось — морського коника, скажімо, чи усміхнене обличчя. Ці схожості виникають за рахунок однокрокового відбору, тобто простого збігу. Відповідно, вони не дуже вражають. Схожість знаків зодіаку з тваринами, на честь яких вони названі, — скорпіоном, левом тощо — не вражає, як і передбачення астрологів. Вона не приголомшує нас так, як біологічні адаптації — продукти накопичувального відбору. Як химерну, надприродну чи захопливу ми описуємо схожість, скажімо, паличника з листком чи богомола з рожевим суцвіттям. Схожість же хмаринки з ласкою є лише трохи кумедною, ледь вартою уваги нашого співрозмовника. Більше того, ми доволі легко змінюємо свою думку стосовно того, на що саме ця хмаринка схожа найбільше.

> *Гамлет. Скажіть, ви бачите он ту хмаринку, що формою нагадує верблюда?*
> *Полоній. Верблюд, і сумнівів не може бути.*
> *Гамлет. Мені здається, схоже це на ласку.*
> *Полоній. Так, мов у ласки, спина в нього, точно.*
> *Гамлет. Чи, може, на кита?*
> *Полоній. Авжеж, подібна дуже.*

Не знаю, хто перший зазначив, що, маючи достатньо часу, всі твори Шекспіра могла б написати навіть мавпа, яка навмання тарабанить лапами по друкарській машинці. Ключова фраза тут, звісно, «маючи достатньо часу». Спробуймо дещо звузити завдання, що стоїть перед нашою мавпою. Припустімо, що вона має написати не повне зібрання творів Шекспіра, а лише одне коротке речення *«Мені здається, схоже це на ласку»* в його англійському варіанті *«Methinks it is like a weasel»*, і ми зробимо це порівняно простою справою, надавши їй друкарську машинку зі скороченою клавіатурою, де є лише 26 (великих) літер

і пробіл. Скільки ж часу їй знадобиться, щоб написати це одне коротке речення?

У цьому реченні 28 знаків, тому припустімо, що мавпа робить низку окремих «спроб», кожна з яких складається з 28 ударів по клавіатурі. Якщо вона напише фразу правильно, експеримент закінчиться. Якщо ж ні, ми дозволимо їй іще одну «спробу» з 28 знаків. Знайомої мавпи я не маю, але, на щастя, моя 11-місячна донька є майстром випадкових дій і одразу ж погодилася виступити в ролі мавпочки-машиністки. Ось що вона набрала на комп'ютері:

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

Вона має й інші важливі заняття, які не можна залишити без уваги, тому я був змушений запрограмувати комп'ютер на імітацію випадкового друку дитини чи мавпи:

WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P
Y YVMQKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY
MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF
FU OVAODVYKDGXDEKYVMOGGS VT
HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF
GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

І т. д. і т. п. Розрахувати, скільки часу треба обґрунтовано чекати, доки комп'ютер (дитина чи мавпа) випадково набере *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*, нескладно. Уявіть собі загальну кількість *можливих* фраз відповідної довжини, які мавпа, дитина чи комп'ютер могли б випадково набрати. Це той самий різновид розрахунку, який ми здійснили для гемоглобіну, і дає він так само великий результат. Загалом на

першій позиції можуть опинитися 27 літер (якщо рахувати пробіл як літеру). Таким чином, імовірність того, що мавпа раптом правильно поставить першу літеру — *M*, становить 1 із 27. Імовірність того, що вона правильно надрукує перші дві літери — *ME*, складається з імовірності того, що вона правильно поставить другу літеру — *E* (1 із 27), *за умови, що* вона також правильно поставила першу літеру — *M*, тобто 1/27 × 1/27, що дорівнює 1/729. Імовірність того, що вона правильно набере перше слово — *METHINKS*, становить 1/27 для кожної з 8 літер цього слова, тобто (1/27) × × (1/27) × (1/27) × (1/27)... і так 8 разів, або (1/27) у 8-му ступені. Імовірність того, що вона правильно поставить усі 28 знаків цієї фрази, становить 1/27 у 28-му ступені, тобто 1/27, помножене саме на себе 28 разів. Це дуже маленькі шанси, приблизно 1 із 10 тисяч мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів. М'яко кажучи, шуканої фрази довелося б чекати доволі довго, не кажучи вже про повне зібрання творів Шекспіра.

Але досить про однокроковий відбір випадкових варіацій. Як щодо накопичувального відбору? Наскільки ефективнішим він міг би бути? Набагато ефективнішим, можливо, більше, ніж ми на початку здатні усвідомити, хоча це майже очевидно, якщо трохи поміркувати. Ми знову використаємо нашу комп'ютерну мавпу, але з важливою відмінністю в її програмі. Як і раніше, вона починає з вибору випадкової послідовності 28 літер:

WDLMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P

Тепер вона «розводить» цю випадкову фразу. Вона відтворює її багато разів, але з певною ймовірністю випадкової помилки — «мутації» — під час копіювання. Комп'ютер вивчає беззмістовні мутантні фрази, «потомство» першої, й обирає одну, що *хоч трохи* більше нагадує потрібну нам: *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. У цьому випадку «переможницею» в наступному «поколінні» стане така фраза:

WDLTMNLT DTJBSWIRZREZLMQCO P

Покращення не очевидне! Але процедура повторюється, мутантне «потомство» знову «розводиться» з цієї фрази, і відбирається новий «переможець». Це триває покоління за поколінням. Після 10 поколінь відібрана для «розведення» фраза матиме вже такий вигляд:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

Після 20 поколінь вона буде такою:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

На цей момент на незаангажований погляд починає здаватися, що тут можна побачити схожість із цільовою фразою. До 30 поколінь у цьому не залишається жодних сумнівів:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

40-ве покоління підводить нас до мети на відстань лише однієї літери:

METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

А в 43-му поколінні мета нарешті досягнута.
Другий прогін комп'ютера почався з фрази:

Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQXYOPY,

пройшов крізь (знову згадуючи лише кожне десяте покоління):

Y YVMQKSPFTXW SHLIKEFV HQYSPY
YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY
METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY
METHINKS IT ISBLIKE A WEASES

METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO
METHINKS IT IS LIKE A WEASEP

і досягнув шуканої фрази у 64-му поколінні.

У третьому прогоні комп'ютер стартував з

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

і прийшов до *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL* за 41 покоління вибіркового «розведення».

Точний час, який знадобився комп'ютеру для досягнення мети, не має значення. Якщо хочете знати, то вперше він виконав для мене всю роботу, поки я ходив обідати. Це зайняло приблизно півгодини. (Комп'ютерні ентузіасти можуть подумати, що це надто повільно. Причина в тому, що програму було написано бейсиком — такою собі «мовою немовлят» для комп'ютерів. Коли ж я переписав її паскалем, час виконання склав лише 11 секунд.) Комп'ютери в таких справах трохи швидші за мавп, але насправді розбіжність тут не важлива. Значення має лише розбіжність між часом, потрібним для здійснення *накопичувального відбору*, і часом, що знадобився б тому самому комп'ютеру в разі роботи на повну потужність із такою самою частотою для отримання цільової фрази, якби його змусили використовувати іншу процедуру, *однокроковий відбір,* — приблизно мільйон мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів років. Це більше ніж у мільйон мільйонів мільйонів разів довше за нинішній час існування Всесвіту. По суті, було б справедливіше просто сказати, що порівняно з часом, який знадобився б мавпі або випадково запрограмованому комп'ютеру, щоб набрати нашу цільову фразу, нинішній загальний вік Усесвіту є мізерно малою величиною, достатньо малою, щоб цілком уміститися в межах похибки для таких приблизних розрахунків. Тоді як час, потрібний комп'ютеру, що працює над виконанням того самого завдання випадково, але з обмеженням *накопичувального відбору*, буде величиною, звичною для людського розуміння, — між 11 секундами і тривалістю обіду.

Виходить, що між накопичувальним (у якому кожне покращення, навіть незначне, використовується як основа для майбутньої побудови) і однокроковим (у якому кожна нова «спроба» робиться заново) відбором існує велика відмінність. Якби еволюційний прогрес мав покладатися на однокроковий відбір, то він ніколи ні до чого не прийшов би. Однак якби для сліпих сил природи існував якийсь спосіб створити необхідні умови для *накопичувального* відбору, наслідки були б дивними й дивовижними. Власне кажучи, саме це й сталося на нашій планеті, і ми самі є одними з найнедавніших, якщо не найдивніших і найдивовижніших, із цих наслідків.

Вражає те, що розрахунки на кшталт наведених для «гемоглобінового числа» все ще наводять як аргументи *проти* теорії Дарвіна. Люди, які це пишуть, часто є експертами у своїй галузі (астрономії чи будь-якій іншій) і, схоже, щиро вірять, що дарвінізм пояснює організацію живого з погляду самого лише випадку — «однокрокового відбору». Насправді ж віра в те, що дарвінівська еволюція є «випадковою», не просто хибна. Вона прямо протилежна істині. Випадок — лише незначний інгредієнт у дарвінівському рецепті, тоді як найважливішим у ньому є накопичувальний відбір, за своєю суттю *не*випадковий.

Хмаринки не здатні брати участь у накопичувальному відборі. Не існує жодного механізму, за допомогою якого хмаринки конкретних обрисів могли б породжувати дочірні хмаринки, схожі на них самих. Якби такий механізм існував, якби хмаринка, що нагадує ласку або верблюда, могла давати початок роду інших хмаринок приблизно такої самої форми, отоді накопичувальний відбір мав би можливість початися. Звісно, іноді хмаринки розриваються й утворюють «дочірні» хмаринки, але для накопичувального відбору цього недостатньо. Необхідно також, аби «потомство» будь-якої конкретної хмаринки нагадувало свого найближчого «предка» *більше*, ніж вона нагадує будь-якого більш давнього «предка» в «популяції». Цього надзвичайно важливого моменту явно не розуміють деякі філософи, що в останні роки цікавилися теорі-

єю природного відбору. Крім того, необхідно, щоб імовірність виживання та породження копій конкретної хмаринки залежала від її форми. Можливо, в якійсь далекій галактиці ці умови таки склалися, результатом чого, якщо минуло достатньо мільйонів років, стала якась ефемерна, невловна форма життя. З цього міг би вийти непоганий науково-фантастичний роман (його можна було б назвати «Біла хмаринка), але для наших цілей наочнішою є комп'ютерна модель типу мавпи, що друкує твори Шекспіра.

Утім, хоча модель мавпи, що друкує Шекспіра, й корисна для пояснення відмінності між однокроковим і накопичувальним відбором, вона збиває з пантелику у важливих моментах. Одним із них є те, що в кожному поколінні вибіркового «розведення» фрази мутантного «потомства» оцінювалися за критерієм схожості з далекою ідеальною метою, як-от фраза *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. Життя ж не таке. Еволюція не має якоїсь довгострокової мети. Хоча людське марнославство й плекає абсурдну ідею, що наш вид є кінцевою метою еволюції, не існує жодної віддаленої мети, як і остаточної довершеності, яка могли б слугувати критерієм відбору. У реальному житті критерій відбору завжди короткостроковий: або виживання, або, у більш загальному плані, репродуктивний успіх. Якщо через мільярди років досягається те, що, з огляду на минуле, наводить на думку про просування до якоїсь далекої мети, це завжди є випадковим наслідком багатьох поколінь короткострокового відбору. «Годинникар» — накопичувальний природний відбір — не бачить майбутнього й не має жодної довгострокової мети.

Ми можемо змінити нашу комп'ютерну модель, аби врахувати цей момент. Ми можемо також зробити її реалістичнішою в інших аспектах. Літери й слова є суто людськими проявами, тож хай краще комп'ютер малює картинки. Можливо, ми навіть побачимо схожі на тварин обриси, що виникають на екрані внаслідок накопичувального відбору мутантних форм. Ми не будемо задавати чіткий курс, уводячи для початку якісь конкретні зображення тварин. Нам потрібно, щоб

вони виникли самі унаслідок накопичувального відбору випадкових мутацій.

У реальному житті форма кожної окремої тварини є продуктом ембріонального розвитку. Еволюція відбувається тому, що в кожному наступному поколінні виникають порівняно з попереднім невеличкі відмінності ембріонального розвитку. Ці відмінності виникають через зміни генів, що контролюють розвиток (мутації — той самий невеличкий елемент випадковості у процесі, про який я говорив). Отже, у нашій комп'ютерній моделі мають бути якісь еквіваленти ембріонального розвитку та генів, що здатні мутувати. Існує багато способів створити комп'ютерну модель, що відповідає цим умовам. Я обрав один і написав програму, що його втілює. Зараз я опишу цю комп'ютерну модель, бо вважаю її показовою. Якщо ви не знаєтеся на комп'ютерах, просто запам'ятайте, що вони є машинами, які роблять точнісінько те, що ви їм кажете, але часто врешті-решт дивують вас. Перелік інструкцій для комп'ютера називається програмою.

Ембріональний розвиток є занадто складним процесом, аби реалістично змоделювати його на малопотужному комп'ютері. Доведеться представити його у вигляді якогось спрощеного аналога. Треба знайти просте правило малювання картинок, якого комп'ютер може легко дотримуватись і яке потім можна було би змусити змінюватися під впливом «генів». Яке ж правило малювання нам обрати? Підручники інформатики часто ілюструють силу того, що вони називають «рекурсивним» програмуванням, на прикладі простої процедури *росту дерева*. Для початку комп'ютер малює одну-єдину вертикальну лінію. Потім ця лінія розгалужується на дві. Далі кожна з нових гілок також поділяється на дві гілочки. Наступним кроком кожна з цих гілочок поділяється на гілочки меншого порядку, і т. д. «Рекурсивним» це називається тому, що однакове правило (в наведеному випадку правило розгалуження) застосовується в межах усього дерева, що росте. І хоч яким би великим виросло дерево, те саме правило розгалуження продовжує застосовуватися на кінчиках усіх його гілочок.

Під «глибиною» рекурсії розуміють кількість гілочок дедалі меншого порядку, яким дозволяється вирости, поки процес не буде завершено. Рисунок 2 показує, що відбувається, коли ви наказуєте комп'ютеру дотримуватись однакового правила малювання, але продовжувати до різних глибин рекурсії. За високих рівнів рекурсії схема стає доволі складною, але на рисунку 2 можна легко побачити, що вона все одно є продуктом того самого дуже простого правила розгалуження. Саме так усе відбувається з реальним деревом. Схема розгалуження дуба чи яблуні видається складною, але насправді такою не є. Базове правило розгалуження дуже просте. Тільки тому, що воно застосовується рекурсивно на кінчиках гілочок на всьому дереві (гілки утворюють гілочки наступного порядку), воно й стає великим і розлогим.

Рекурсивне розгалуження є також влучною метафорою ембріонального розвитку рослин і тварин загалом. Я не маю на увазі, що ембріони тварин схожі на дерева, які розгалужуються. Вони не схожі. Але всі ембріони ростуть шляхом поділу клітин. Клітини завжди розділяються на дві дочірні. І гени завжди виявляють свої остаточні впливи на організм за допомогою *локальних* впливів на клітини та двосторонні схеми розгалуження їхнього поділу. Гени тварин геть не є якимось великим задумом, кресленням для всього організму. Як ми побачимо нижче, вони більше подібні до рецепта, ніж до креслення, причому такого рецепта, якого дотримується *не* ембріон, що розвивається, загалом, а кожна клітина чи кожен локальний кластер клітин, що діляться. Я не заперечую того, що ембріон, як і дорослий організм згодом, *має* великомасштабну форму. Але ця великомасштабна форма *виникає* внаслідок багатьох дрібних локальних клітинних впливів у всьому організмі, що розвивається, і ці локальні впливи складаються насамперед із двосторонніх розгалужень у вигляді поділів клітин. Саме впливаючи на ці локальні події, гени врешті-решт впливають на дорослий організм.

Отже, просте правило розгалуження для малювання дерев схоже на багатообіцяльний аналог ембріонального розвитку.

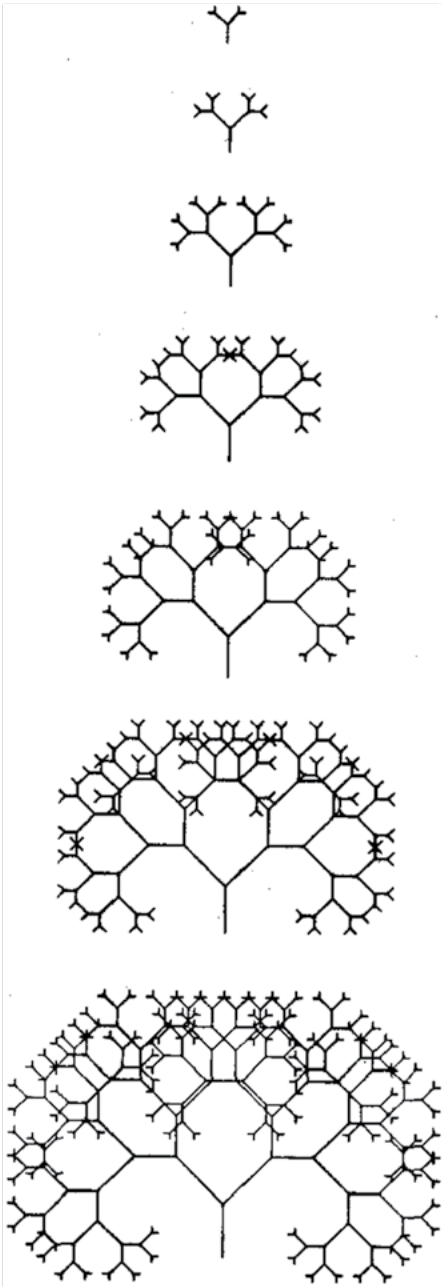


Рис. 2

Відповідно, ми оформимо його в невеличку комп'ютерну процедуру, назвемо її РОЗВИТОК і приготуємося ввести її в більшу програму під назвою ЕВОЛЮЦІЯ. І як перший крок до написання цієї більшої програми ми тепер звернемо увагу на гени. Як нам представити «гени» в нашій комп'ютерній моделі? У реальному житті гени роблять дві речі. Вони впливають на розвиток, і вони передаються майбутнім поколінням. Справжні тварини й рослини мають десятки тисяч генів, але ми скромно обмежимо нашу комп'ютерну модель дев'ятьма. Кожен із цих дев'яти генів буде представлений у комп'ютері певною цифрою, яка називатиметься його *цінністю*. Цінність конкретного гена може становити, скажімо, 4 чи —7.

Як же ці гени впливатимуть на розвиток? Загалом вони можуть робити багато чого. Основна ж ідея полягає в тому, щоб вони справляли на правило малювання якийсь незначний кількісний вплив, який і є РОЗВИТКОМ. Наприклад, один ген міг би впливати на кут розгалуження, інший — на довжину якоїсь конкретної гілочки. Іншою очевидною річчю, яку міг би робити ген, є вплив на глибину рекурсії, кількість послідовних розгалужень. Відповідальним за такий вплив я зробив ген 9. Отже, рисунок 2 можна вважати ілюстрацією семи споріднених організмів, ідентичних один одному в усьому, крім гена 9. Я не пояснюватиму детально, що робить кожен з інших восьми генів. Загальне уявлення про *напрями* їхньої діяльності можна отримати, вивчаючи рисунок 3. У центрі зображення розташоване базове дерево, одне з тих, що зображені на рисунку 2. Навколо цього центрального дерева розташовані вісім інших. Усі вони є такими самими, як і центральне, за винятком того, що один ген (свій у кожного з восьми) був змінений — «мутував». Наприклад, зображення праворуч від центрального дерева показує, що відбувається, коли ген 5 мутує шляхом додавання до його цінності +1. Якби на сторінці було більше місця, я надрукував би навколо центрального дерева кільце з 18 мутантів. Чому саме з 18? Причина полягає в тому, що там є дев'ять генів і кожен може мутувати в напрямку підвищення (до його цінності додається 1) або зниження (від його цінності

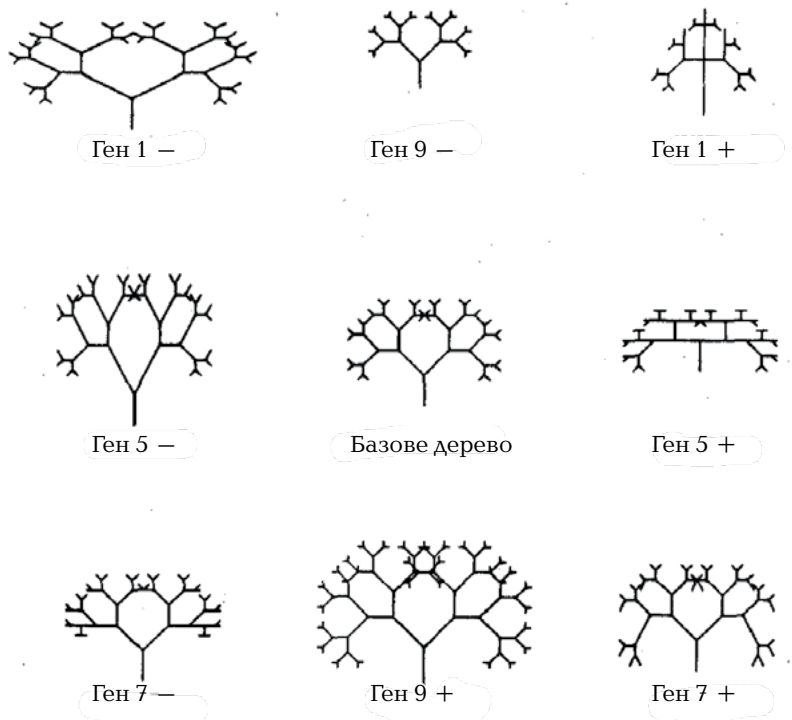


Рис. 3

віднімається 1). Тож кільця з 18 дерев було б достатньо для відображення всіх *можливих* однокрокових мутантів, яких можна вивести з одного центрального дерева.

Кожне з цих дерев має свою власну, унікальну «генетичну формулу» — числові значення його дев'яти генів. Я не виписував ці формули тут, бо самі по собі вони вам нічого не скажуть. Для реальних генів це теж справедливо. Щось «говорити» гени починають, лише коли перетворюються (шляхом синтезу білків) на правила зростання для ембріона, що розвивається. Та й у комп'ютерній моделі так само: числові значення дев'яти генів говорять щось, лише коли перетворюються на правила росту для схеми розгалуження дерева. Але отримати уявлення про діяльність кожного гена можна, *порівнюючи* два організми, відомі своєю відмінністю

щодо певного гена. Порівняйте, наприклад, базове дерево в центрі зображення з двома деревами обабіч, і ви матимете певне уявлення про діяльність гена 5.

Саме цим і займаються, зокрема, генетики в реальному житті. Як правило, вони не знають, як гени проявляють свій вплив на ембріон. Не знають вони й повної генетичної формули будь-якої тварини. Однак порівнюючи тіла двох дорослих тварин, відомих своєю *відмінністю* за одним-єдиним геном, вони можуть побачити, у чому полягає вплив цього одного-єдиного гена. Насправді все складніше, бо впливи генів взаємодіють складнішими способами, ніж просте додавання. Те саме справедливо й для комп'ютерних дерев. Навіть дуже, як покажуть наступні рисунки.

Ви побачите, що всі форми є симетричними в проекції ліворуч/праворуч. Це обмеження, яке я наклав на процедуру РОЗВИТКУ. Я зробив це почасти з естетичних міркувань, почасти щоб зекономити на кількості (якби гени не проявляли впливи на дві сторони дерева у дзеркальному відображенні, нам знадобилися б окремі гени для лівого й правого боків), а почасти — сподіваючись отримати форми, схожі на тварин (а тіла більшості з них є доволі симетричними). З тієї самої причини відтепер я називатиму ці створіння не «деревами», а «тілами» чи «біоморфами». Біоморфи — це назва, вигадана Десмондом Моррісом для розпливчасто тваринних форм на його сюрреалістичних картинах. Ці картини посідають особливе місце серед моїх уподобань, бо одна з них була відтворена на обкладинці моєї першої книжки. Морріс стверджує, що біоморфи «еволюціонують» у його свідомості та що їхню еволюцію можна простежити в його роботах.

Повернімося до комп'ютерних біоморфів і кільця з 18 можливих мутантів, вісім представників якого зображені на рисунку 3. Оскільки кожен із них перебуває лише в одному мутаційному кроці від центрального біоморфа, нам буде легко уявити їх *дітьми* цього центрального предка. Ми маємо свій аналог РОЗМНОЖЕННЯ, який, подібно до РОЗВИТКУ, можна оформити в іншу невеличку комп'ютерну програму,

готову для введення в нашу велику програму під назвою ЕВОЛЮЦІЯ. Говорячи про РОЗМНОЖЕННЯ, слід звернути увагу на два моменти. По-перше, поняття статі тут не відіграє жодної ролі — розмноження є безстатевим. Тому я уявляю біоморфів самицями, бо безстатеві тварини на кшталт попелиць майже завжди є самицями за своєю основною формою. По-друге, всі мої мутації обмежені тим, що відбуваються по одній за раз. Дитя відрізняється від своєї матері лише за одним із дев'яти генів. Більше того, кожна мутація додає або віднімає 1 до/від значення відповідного материнського гена. Усе це лише довільні умови, вони могли би бути іншими, але все одно залишалися б біологічно реалістичними.

Того самого не можна сказати про таку особливість моделі, що втілює фундаментальний принцип біології. Форма кожної дитини не походить напряму від форми матері. Кожна дитина отримує свою форму від значень її власних дев'яти генів (що впливають на кути, довжини і т. ін.). При цьому кожна дитина отримує свої дев'ять генів від дев'яти генів своєї матері. Саме так відбувається в реальному житті. Через покоління передаються не тіла, а лише гени. Гени впливають на ембріональний розвиток тіла, в якому вони сидять. Потім ті самі гени або передаються наступному поколінню, або ні. Участь у розвитку тіла не впливає на природу цих генів, але успіх тіла, яке вони допомогли створити, може впливати на ймовірність передавання їх далі. Ось чому для комп'ютерної моделі важливо, що дві процедури — РОЗВИТОК і РОЗМНОЖЕННЯ — прописані окремо, як два герметичні відсіки. Вони герметичні, за винятком того, що РОЗМНОЖЕННЯ передає значення генів до РОЗВИТКУ, де вони впливають на правила росту. РОЗВИТОК у жодному разі не передає значення генів назад, до РОЗМНОЖЕННЯ, — це було б рівноцінно ламаркізму (див. розділ 11).

Отже, ми зібрали два наші програмні модулі, позначені як РОЗВИТОК і РОЗМНОЖЕННЯ. РОЗМНОЖЕННЯ передає гени наступним поколінням із можливістю мутації. РОЗВИТОК бере гени, надані РОЗМНОЖЕННЯМ у будь-якому

конкретному поколінні, й переводить ці гени у процес малювання, тобто в зображення якогось тіла на екрані комп'ютера. Настав час звести обидва модулі разом, у велику програму під назвою ЕВОЛЮЦІЯ.

По суті, ЕВОЛЮЦІЯ складається з нескінченного повторення РОЗМНОЖЕННЯ. У кожному поколінні РОЗМНОЖЕННЯ бере гени, надані йому попереднім поколінням, і передає їх наступному, але з незначними випадковими помилками — мутаціями. Мутація полягає лише в додаванні до значення випадково обраного гена +1 чи −1. Це означає, що зі зміною поколінь загальний обсяг генетичної відмінності від вихідного предка може стати дуже великим, накопичившись по одному маленькому кроку за раз. Хоча мутації є випадковими, накопичувальна зміна впродовж поколінь не випадкова. У будь-якому поколінні потомство відрізняється від свого предка у випадкових напрямках. Але вибір потомства для просування в наступне покоління не є випадковим. Саме тут на сцені з'являється дарвінівський відбір. Критерієм відбору є не самі гени, а тіла, на форму яких вони впливають у процесі РОЗВИТКУ.

На додачу до РОЗМНОЖЕННЯ гени в кожному поколінні зазнають також РОЗВИТКУ, який вирощує відповідне тіло на екрані, дотримуючись своїх власних чітко встановлених правил. У кожному поколінні відображається весь «виводок» «дитинчат» (тобто особин наступного покоління). Усі ці дитинчата є мутантними нащадками одного предка, і кожен із них відрізняється від нього якимось одним геном. Така висока частота мутацій є явно не біологічною рисою комп'ютерної моделі. У реальному житті ймовірність того, що ген мутує, часто становить менше одиниці на мільйон. Причина ж вбудовування в модель високої частоти мутацій полягає в тому, що дійство на екрані комп'ютера призначене для людських очей, а люди не мають терпіння чекати однієї мутації мільйон поколінь!

Людському оку взагалі відведена в цій історії активна роль. Воно є чинником відбору. Воно вивчає всіх нащадків у виводку й обирає одного для розведення. Після цього відібраний

стає предком наступного покоління, і на екрані одночасно відображається виводок уже *його* мутантних дитинчат. Людське око тут робить достоту те саме, що й під час розведення породистих собак чи преміальних троянд. Іншими словами, наша модель є, строго кажучи, моделлю штучного, а не природного відбору. Критерієм «успіху» є не безпосередній критерій виживання, як у справжньому природному відборі. За справжнього природного відбору, якщо якийсь організм має все необхідне для виживання, його гени виживають автоматично, бо вони сидять у нього всередині. Тому генами, що виживають, зазвичай автоматично стають ті, які надають організмові якості, що допомагають йому вижити. У комп'ютерній же моделі критерієм відбору є не виживання, а здатність задовольнити людську примху. Не обов'язково необґрунтовану, випадкову примху, бо ми можемо прийняти рішення послідовно відбирати об'єкти за якоюсь якістю на кшталт «схожості з плакучою вербою». Проте зі свого досвіду можу сказати, що людина-відбірник нерідко є вибагливою й непостійною. Чим теж не надто відрізняється від певних типів природного відбору.

Людина наказує комп'ютеру, кого саме з нинішнього виводка нащадків розводити. Гени відібраного передаються в РОЗМНОЖЕННЯ, і починається нове покоління. Подібно до еволюції в реальному житті, цей процес триває нескінченно. Кожне покоління біоморфів відділяє від його попередника та наступника лише один-єдиний мутаційний крок. Але після 100 поколінь ЕВОЛЮЦІЇ біоморфів можуть відділяти від їхнього вихідного предка цілих 100 мутаційних кроків. А за 100 мутаційних кроків може багато чого статися.

Коли я вперше почав гратися зі своєю свіжонаписаною програмою ЕВОЛЮЦІЯ, то й гадки не мав, *наскільки* багато. Найбільше мене здивувало те, що біоморфи можуть доволі швидко перестати бути схожими на дерева. Базова двостороння схема розгалуження завжди на місці, але вона швидко зникає з очей у міру того, як лінії знову й знову перетинають одна одну, утворюючи суцільні масиви кольору (у друці чор-

но-білі). На рисунку 4 показана одна конкретна еволюційна історія, що складається не більш ніж із 29 поколінь. Предком тут є крихітне створіння, одна-єдина крапка. Однак хоча організмом-предком є крапка на кшталт бактерії в первісному слизі, в ньому прихований потенціал для розгалуження точно за схемою центрального дерева на рисунку 3: просто його ген 9 наказав йому розгалузитися нуль разів! Усі створіння, зображені на цій сторінці, походять від цієї крапки, але щоб не перевантажувати сторінку, я не роздруковував усе потомство, яке насправді побачив. Я роздрукував лише успішне дитинча з кожного покоління (тобто предка наступного покоління) та одну чи двох його неуспішних сестер. Отже, на рисунку відображено переважно лише одну, головну, лінію еволюції, керованої моїм естетичним відбором. Показано всі стадії цієї головної лінії.

Розгляньмо коротко перші кілька поколінь головної лінії еволюції на рисунку 4. У 2-му поколінні крапка набуває форми *Y*. У наступних двох поколіннях *Y* стає більшим. Потім гілки злегка загинаються всередину, неначе в доброї рогатки. У 7-му поколінні вигин посилюється так, що дві гілки майже з'єднуються. У 8-му вигнуті гілки збільшуються й кожна з них набуває по парі невеличких відростків. У 9-му поколінні ці відростки втрачаються знову, а руків'я рогатки стає довшим. 10-те покоління нагадує квітку в розрізі — вигнуті бокові гілочки схожі на пелюстки, що оточують центральний відросток-рильце. В 11-му поколінні «квітка» тієї самої форми стає більшою і трохи складнішою.

Я не продовжуватиму цей опис. Упродовж усіх 29 поколінь картина говорить сама за себе. Зверніть увагу на те, що кожне покоління лише трохи відрізняється від своїх матерів і сестер. Оскільки кожне з них трохи відрізняється від матері, залишається лише очікувати, що всі вони будуть трохи *більше* відрізнятися від своїх бабусь (і онучок) і ще більше від прабабусь (і правнучок). Ось у чому полягає суть *накопичувальної* еволюції, хоча завдяки високій частоті мутацій ми й розігнали її до просто нереальних швидкостей. Через

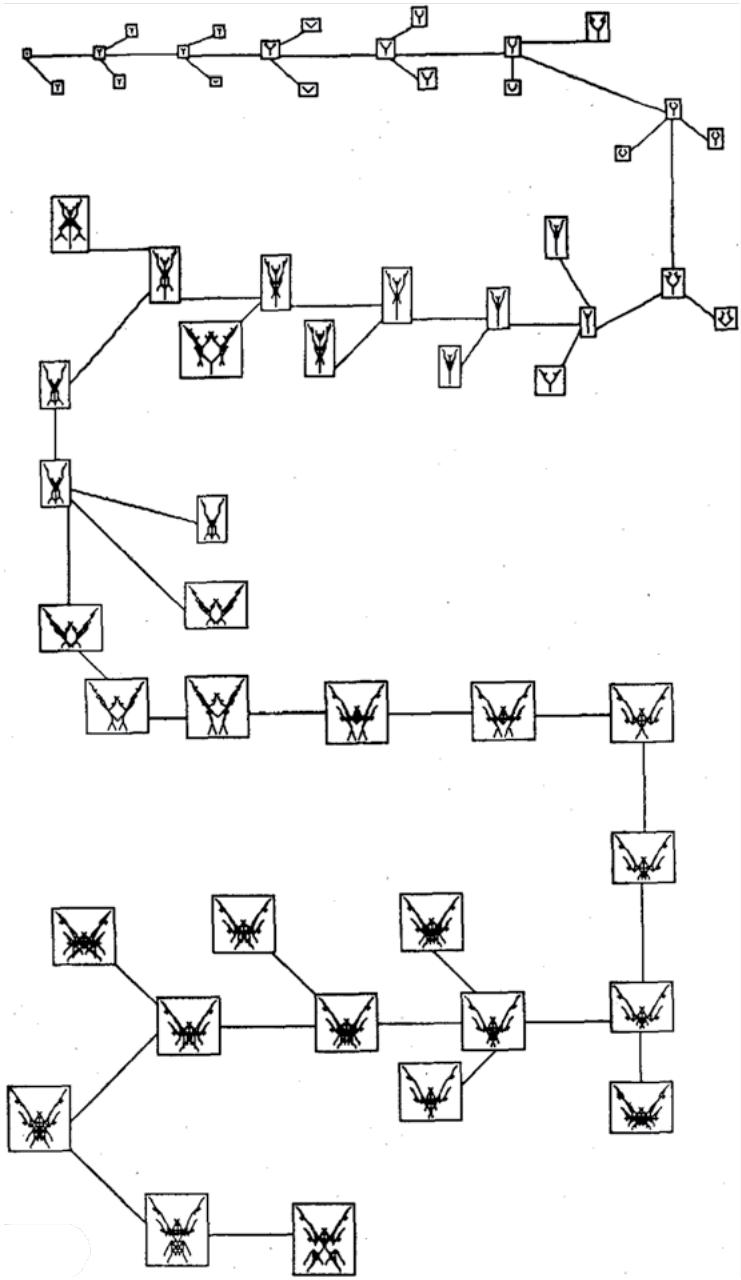


Рис. 4

це рисунок 4 схожий більше на генеалогію *видів*, аніж окремих особин, але принцип залишається той самий.

Коли я писав цю програму, то й помислити не міг, що вона еволюціонує у щось більше, ніж розмаїття деревоподібних форм. Я сподівався отримати плакучі верби, ліванські кедри, ломбардські тополі, морські водорості, можливо, оленячі роги. Ніщо з моєї інтуїції біолога, ніщо з мого 20-річного досвіду програмування й ніщо з моїх найбожевільніших мрій не підготувало мене до того, що зрештою з'явилося на екрані. Не можу пригадати точно, коли саме до мене вперше почало доходити, що з цієї послідовності може виникнути щось схоже на комаху. Охоплений же цим божевільним здогадом, я почав розводити, покоління за поколінням, дитинчат, що найбільше нагадували комах. І що більше проявлялася схожість, то менше я вірив своїм очам. Кінцеві результати ви бачите внизу рисунка 4. Щоправда, вони мають вісім ніг, як у павука, а не шість, як у комахи, та нехай! Я все одно не можу приховати від вас свою радість у той момент, коли вперше побачив ці витончені створіння, що виникли на моїх очах. Я виразно почув у своїй голові тріумфальні вступні акорди симфонічної поеми «Так говорив Заратустра» (тема з фільму «Космічна одіссея 2001 року»). Я й думати забув про їжу, а вночі «мої» комахи роїлися в мене перед очима, не даючи заснути.

На ринку представлені комп'ютерні ігри, в яких у гравця створюється враження, що він блукає підземним лабіринтом, який має певну складну географію і в якому він стикається з драконами, мінотаврами чи іншими міфічними супротивниками. У цих іграх кількість монстрів доволі невелика, і всі вони задумані програмістом-людиною, як і географія лабіринту. В еволюційній же грі, комп'ютерна це версія чи реальне життя, гравець (спостерігач) має таке саме відчуття метафоричного блукання лабіринтом розгалужених коридорів, але кількість можливих шляхів є майже нескінченною, а монстри, з якими він стикається, ненавмисними й непередбачуваними. У своїх блуканнях закапелками Землі біоморфів я бачив зяброногих рачків, ацтецькі храми, вікна готичних

церков, намальованих аборигенами кенгуру, а в одному пам'ятному, але невідтворюваному випадку — непогану карикатуру на оксфордського професора логіки. На рисунку 5 представлена ще одна невеличка добірка моїх трофеїв, отриманих таким самим шляхом. Хочу наголосити, що ці форми не є враженнями художника. Вони ніколи жодним чином не дороблялись і не підправлялись. Вони є точнісінько такими, як їх намалював комп'ютер, коли вони виникли всередині нього. Роль людського ока зводилася до *відбору* серед випадково мутованого потомства впродовж багатьох поколінь накопичувальної еволюції.

Тепер ми маємо значно реалістичнішу модель еволюції, ніж дала нам мавпа, що друкує Шекспіра. Але й біоморфна модель усе ще недосконала. Вона показує нам здатність накопичувального відбору породжувати майже безкінечне розмаїття квазібіологічних форм, але використовує штучний відбір, а не природний. Відбір здійснює людське око. А чи можна позбутися людського ока і змусити комп'ютер самотужки проводити відбір на основі якогось біологічно реалістичного критерію? Це складніше, ніж може здатися, і поясненню цього варто приділити трохи часу.

Простіше простого відбирати конкретну генетичну формулу, якщо маєш змогу читати гени всіх тварин. Але природний відбір не обирає гени безпосередньо, він обирає *впливи*, які ці гени мають на тіла, що називаються фенотиповими ефектами. Як показують численні породи собак, корів і голубів, а також (з вашого дозволу) рисунок 5, людське око добре вміє обирати фенотипові ефекти. Щоб змусити комп'ютер обирати фенотипові ефекти безпосередньо, нам довелося б написати дуже складну програму розпізнавання образів. Такі програми існують. Вони використовуються для зчитування друкованих і навіть рукописних текстів. Але це складні сучасні програми, що потребують дуже великих і швидких комп'ютерів. Навіть якби така програма розпізнавання образів не виходила за межі моїх здібностей як програміста та можливостей мого маленького 64-кілобайт-

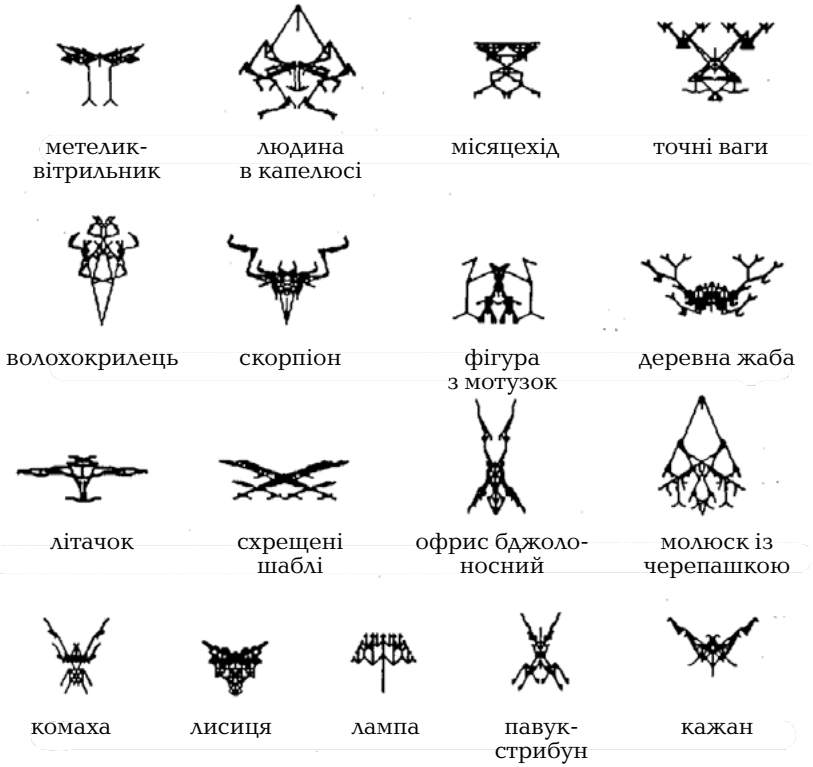


Рис. 5

ного комп'ютера, я би за неї не взявся. Це завдання легше виконати людським оком у поєднанні з (що важливіше) 10-гіганейронним комп'ютером усередині черепа.

Було б не надто складно змусити комп'ютер проводити відбір за розпливчастими загальними рисами, такими як, скажімо, «високий і тонкий», «низький і широкий», «вигнутий», «кутастий», — та хоч із прикрасами в стилі рококо. Можна було б запрограмувати комп'ютер запам'ятовувати *типи* якостей, яким люди віддали перевагу в минулому, і весь час відбирати той самий загальний тип у майбутньому. Але це геть не наближає нас до імітації *природного* відбору. Важливим моментом є те, що природа не потребує для здійснення відбору обчислювальних потужностей, окрім як в особливих

випадках, таких як вибір павичів павами. У природі чинник відбору зазвичай прямий, нічим не прикрашений і простий. Це сама смерть із косою. Звісно, *причини* виживання геть не прості, саме тому природний відбір може створювати тварин і рослини такої величезної складності. Але в смерті як такій є щось дуже грубе й примітивне. І невипадкової смерті в природі цілком достатньо для відбору фенотипів, а отже, й генів, які вони містять.

Для імітації природного відбору в комп'ютері у спосіб, що нас цікавить, треба забути про прикраси в стилі рококо та всі інші видимі оку якості. Замість цього слід зосередитися на імітації невипадкової смерті. Біоморфи в комп'ютері мають взаємодіяти з імітацією ворожого навколишнього середовища. Виживуть вони в цьому середовищі чи ні, має визначатись якоюсь особливістю їхньої форми. В ідеалі вороже навколишнє середовище має охоплювати інші біоморфи, що еволюціонують, — «хижаків», «здобич», «паразитів», «конкурентів». Специфічна форма біоморфа-здобичі має визначати його вразливість до вловлення, наприклад, специфічною формою біоморфа-хижака. Такі критерії вразливості не має задавати програміст. Вони мають *виникати*, так само, як виникли самі ці форми. Отоді у комп'ютері справді розпочалася б еволюція, бо склалися б умови для самопідкріплюваної «гонитви озброєнь» (див. розділ 7), і я не візьму на себе сміливість робити припущення стосовно того, чим усе це закінчилося б. На жаль, боюся, що створення такого несправжнього світу виходить за межі моїх можливостей як програміста.

Якщо і є хтось достатньо розумний для такої роботи, то це програмісти, що розробляють ці галасливі й вульгарні аркадні ігри — похідні «Космічних загарбників». У цих програмах якраз імітується несправжній світ. Він має власну географію, часто в трьох вимірах, а також швидкозмінний вимір часу. Персонажі зближуються в імітованому тривимірному просторі, вступають у суперечки, стріляють один в одного, ковтають один одного, здіймаючи жахливий галас. Така імітація може бути настільки доброю, що гравець, який тримає джой-

стик, перебуває в цілковитій ілюзії, що він сам є частиною цього несправжнього світу. Вершиною такого типу програмування, на мою думку, є спеціальні камери для тренування пілотів літаків і космічних кораблів. Але навіть ці програми є дрібницею порівняно з тією, яку треба було б написати для імітації «гонитви озброєнь» між хижаками й здобиччю, що є складовими повноцінної імітаційної екосистеми. Однак це, безумовно, можна зробити. Якщо якийсь професійний програміст готовий до спільної праці над таким завданням, я буду радий поспілкуватися з ним чи з нею.

Тим часом є дещо інше, значно легше, що я маю намір випробувати, коли настане літо. Я поставлю комп'ютер у якомусь тінистому куточку саду. Екран його може відображати колір. Я вже маю версію програми, що використовує кілька додаткових «генів» для контролю кольору таким самим чином, як інші дев'ять контролюють форму. Я почну з будь-якого більш-менш компактного та яскраво забарвленого біоморфа. Комп'ютер одночасно відображатиме низку мутантних нащадків цього біоморфа, що відрізнятимуться від нього за формою та/чи кольоровою схемою. Я сподіваюся, що бджоли, метелики та інші комахи підлітатимуть до екрана й «робитимуть вибір», б'ючись у конкретне місце на ньому. Після реєстрації певної кількості виборів комп'ютер очистить екран, «розведе» біоморф, якому віддавали перевагу, і продемонструє наступне покоління мутантних нащадків.

Дуже сподіваюся, що через багато поколінь дикі комахи справді зумовлять у комп'ютері еволюцію квітів. Якщо вони це зроблять, комп'ютерні квіти еволюціонуватимуть під таким самісіньким тиском відбору, який зумовив еволюцію справжніх квітів у дикій природі. У моїх сподіваннях мене підтримує той факт, що комахи часто підлітають до яскравих кольорових плям на жіночих сукнях, а також опубліковані дані більш систематичних експериментів. Альтернативна можливість, яку я вважаю ще цікавішою, полягає в тому, що дикі комахи могли б зумовити еволюцію комахоподібних форм. Прецедентом — а отже, й підставою для сподівань —

є те, що в минулому бджоли вже зумовили еволюцію одного з сортів орхідеї — офрису бджолоносного. Упродовж багатьох поколінь накопичувальної еволюції орхідей самці бджіл спричинили появу бджолоподібної форми, намагаючись спаруватися з квітами, а отже, розносячи пилок. Уявіть собі квітку офриса бджолоносного з рисунка 5 у кольорі. Чи не сподобалася б вона вам, якби ви були бджолою?

Головною причиною мого песимізму є те, що зір комах влаштований зовсім не так, як наш. Відеоекрани розраховані на людські очі, а не на бджолині. Це легко могло б означати, що, хоча ми з бджолами, кожен по-своєму, бачимо офрис бджолоносний схожим на бджолу, зображення на екрані бджоли можуть взагалі не побачити. Вони можуть не побачити нічого, крім 625 рядків розгортки! І все ж спробувати варто. До часу виходу цієї книжки я вже знатиму відповідь.

Існує популярне кліше, що зазвичай вимовляється тоном, який Стівен Поттер назвав би «занудним»: від комп'ютерів не можна отримати нічого поза тим, що ви в них заклали. Інакше кажучи, комп'ютери роблять лише те, що їм наказують, а отже, неспроможні творити. Це кліше є справедливим лише у жахливо тривіальному сенсі, у тому самому, в якому Шекспір ніколи не писав нічого, крім того, чого його навчив перший шкільний учитель, — слів. Я запрограмував у комп'ютері ЕВОЛЮЦІЮ, але я не планував «своїх» комах, скорпіона, літачок чи місяцехід. Я не мав анінайменшої гадки, що вони виникнуть, і саме тому «виникнуть» тут є правильним словом. Щоправда, мої очі проводили відбір, який спрямовував їхню еволюцію, але на всіх етапах я обмежувався невеличким виводком нащадків, пропонованих випадковою мутацією, а «стратегія» мого відбору, хоч якою б вона була, була пристосувальницькою, непостійною й короткостроковою. Я не мав якоїсь далекосяжної мети, як не має її й природний відбір.

Я можу додати трохи драматизму, описавши випадок, коли я *таки спробував* поставити перед собою якусь далекосяжну мету. Насамперед мушу де в чому зізнатися. Ви б усе одно здогадалися. Еволюційна історія на рисунку 4 є реконструк-

цією. Це був не перший випадок, коли я побачив «своїх» комах. Коли вони вперше з'явилися під звуки фанфар, я ще не мав засобів реєстрації їхніх генів. Вони були там, сиділи на екрані, а я не міг до них дістатися, не міг розшифрувати їхні гени. Я відклав вимикання комп'ютера і довго сушив мізки, намагаючись вигадати якийсь спосіб зберегти їх, але на думку ніщо не спадало. Гени були заховані надто глибоко, як і в реальному житті. Я зумів роздрукувати зображення тіл комах, але втратив їхні гени. Я одразу ж модифікував програму так, аби в майбутньому вона вела доступні записи генетичних формул, але було запізно. Я втратив своїх комах.

Я розпочав спроби «знайти» їх знову. Вони вже виникли один раз, тож здавалося, що має існувати можливість вивести їх знову. Вони переслідували мене, неначе втрачений акорд. Я блукав Землею біоморфів, пробираючись нескінченним ландшафтом дивних створінь та об'єктів, але знайти своїх комах не міг. Я знав, що вони мають десь там ховатися. Я знав гени, з яких почалася еволюція минулого разу. Я мав зображення тіл моїх комах. Я навіть мав зображення еволюційної послідовності тіл, що дуже повільно веде до моїх комах від предка-крапки. Але я не знав їхньої генетичної формули.

Ви, мабуть, гадаєте, що відтворити цей еволюційний шлях можна доволі легко, але це було не так. Причиною, до якої я ще повернуся, є просто астрономічна кількість *можливих* біоморфів, яку пропонує достатньо довгий еволюційний шлях, навіть коли варіюють лише дев'ять генів. Декілька разів упродовж своїх подорожей Землею біоморфів я, здавалося, наближався до попередника своїх комах, але потім, попри всі мої зусилля як чинника відбору, еволюція збивалася на манівці. Урешті-решт під час моїх еволюційних блукань Землею біоморфів — навряд чи відчуття тріумфу було меншим, ніж першого разу, — я таки загнав їх у кут знову. Я не знав (і досі не знаю), чи були ці комахи точно такими самими, як попередні, «втрачені акорди Заратустри», чи вони були лише поверхово «конвергентними» (див. наступний розділ), але був цілком задоволений. Цього разу я вже не припустився помилки:

я записав їхню генетичну формулу й тепер можу «еволюціонувати» комах щоразу, як захочу.

Так, я трохи драматизую, але тут простежується одна важлива річ. Суть цієї історії в тому, що, хоча комп'ютер програмував я сам, дуже детально вказуючи йому, що робити, тим не менш я не планував тварин, які виникли внаслідок еволюції, і був надзвичайно здивований, коли вперше побачив їхніх попередників. Я був настільки неспроможний контролювати цю еволюцію, що, навіть коли дуже хотів відтворити конкретний еволюційний шлях, зробити це виявилось абсолютно неможливим. Я не вірю, що колись знайшов би своїх комах знову, якби не мав *повного набору* роздрукованих зображень їхніх еволюційних попередників, і навіть за їх наявності це виявилося складним і виснажливим процесом. Чи не здається вам парадоксальною неспроможність програміста контролювати чи передбачати хід еволюції в комп'ютері? Чи не означає це, що всередині комп'ютера відбувається щось загадкове, навіть містичне? Звісно ні. Як і в еволюції справжніх тварин і рослин. Ми можемо використати для розв'язання цього парадоксу комп'ютерну модель, дізнавшись у процесі дещо про справжню еволюцію.

Забігаючи наперед, скажу, що виявиться основою розв'язання цього парадоксу. Існує певний набір біоморфів, кожен з яких постійно займає своє власне унікальне місце в математичному просторі. Він постійно сидить там — у тому сенсі, що, знаючи його генетичну формулу, його одразу можна знайти; більше того, його сусідами в цьому особливому типі простору є біоморфи, що відрізняються від нього лише одним геном. Тепер, знаючи генетичну формулу моїх комах, я можу відтворити їх за бажанням і наказати комп'ютеру «еволюціонувати» до них з будь-якої довільної відправної точки. Коли ви вперше виводите нове створіння шляхом штучного відбору в комп'ютерній моделі, це переживається як творчий процес. По суті, так воно й є. Але насправді ви лише *шукаєте* це створіння, бо в математичному сенсі воно вже сидить на своєму власному місці в генетичному просторі Землі біомор-

фів. Причина ж того, що це справді творчий процес, полягає в тому, що пошук будь-якого конкретного створіння — надзвичайно складне завдання хоча б тому, що Земля біоморфів дуже й дуже велика, а загальна кількість створінь, що там «сидять», мало не нескінченна. Немає сенсу просто шукати його безцільно й навмання. Для цього слід задіяти якусь ефективнішу (творчу) пошукову процедуру.

Деякі люди наївно вірять, що комп'ютери для гри в шахи працюють, послідовно випробовуючи всі можливі комбінації шахових ходів. Ця віра втішає їх, коли комп'ютер перемагає, але вона абсолютно помилкова. Можливих шахових ходів надто багато — зона пошуку в мільярди разів перевищує ту, яка дала б змогу досягти успіху за сліпого добору. Мистецтво написання гарної шахової програми полягає в продумуванні ефективних коротких шляхів крізь цю зону пошуку. Накопичувальний відбір (чи то штучний, як у комп'ютерній моделі, чи природний — у реальному світі) є ефективною пошуковою процедурою, і його результати дуже нагадують плоди творчого інтелекту. Саме на цьому, зрештою, і ґрунтується аргумент від задуму Вільяма Пейлі. З технічного погляду, граючи в комп'ютерну гру за участю біоморфів, ми лише *шукаємо* тварин, які в математичному сенсі тільки й чекають, аби їх знайшли. І схоже це на процес художньої творчості. Пошук у невеличкому просторі, де є лише кілька сутностей, зазвичай не викликає переживання творчого процесу. Дитяча гра «Знайди наперсток» не сприймається як творча. Перевертання речей навмання в надії наштовхнутися на предмет пошуку зазвичай спрацьовує, коли зона пошуку мала. У міру того, як вона розширюється, стають необхідними дедалі складніші пошукові процедури. Ефективні ж процедури, коли зона пошуку є *достатньо* великою, неможливо відрізнити від справжньої творчості.

Комп'ютерні моделі за участю біоморфів чітко це показують і являють собою повчальний місток між творчими процесами людини, такими як планування переможної стратегії в шахах, і еволюційною творчістю природного відбору —

роботою сліпого годинникаря. Щоб зрозуміти це, ми повинні розвинути ідею Землі біоморфів як математичного «простору», безкінечної, але впорядкованої низки морфологічного розмаїття, в якій кожне створіння сидить на своєму власному місці, очікуючи, коли його знайдуть. Сімнадцять створінь на рисунку 5 розташовані на сторінці без якогось особливого порядку. Однак на Землі біоморфів кожне з них займає своє власне унікальне положення, визначене його генетичною формулою, в оточенні цілком конкретних сусідів. Між усіма створіннями на Землі біоморфів існують певні просторові відношення. Що це означає? Яке значення можна вкласти в їхнє просторове положення?

Ми зараз говоримо про генетичний простір. Кожна тварина має в цьому просторі своє власне положення. Близькими сусідами в такому просторі є тварини, що відрізняються одна від одної лише однією-єдиною мутацією. На рисунку 3 базове дерево в центрі оточене вісьмома з 18 його безпосередніх сусідів у генетичному просторі. За правилами нашої комп'ютерної моделі, 18 сусідками тієї чи іншої тварини є 18 різних типів дитинчат, яких вона здатна породити, та 18 різних типів предків, від яких вона могла б походити. На відстані одного коліна кожна тварина має 324 (18 × 18 без урахування зворотних мутацій, для простоти) сусідів — набір з її можливих онучок, бабусь, тіток чи племінниць. На відстані ж іще одного коліна кожна тварина має вже 5832 (18 × 18 × 18) сусідів — набір із її можливих правнучок, прабабусь, двоюрідних сестер тощо.

У чому суть мислення з погляду генетичного простору? Куди воно нас веде? Воно дає нам можливість зрозуміти еволюцію як поступовий, накопичувальний процес. Згідно з правилами комп'ютерної моделі, в будь-якому поколінні можна просунутись у генетичному просторі лише на один-єдиний крок. За 29 поколінь у цьому просторі неможливо відійти від початкового предка далі ніж на 29 кроків. Кожна еволюційна історія являє собою конкретний шлях (траєкторію) руху крізь генетичний простір. Наприклад, еволюційна історія, зображена на рисунку 4, є конкретною звивистою траєкторією

крізь генетичний простір, що з'єднує крапку з комахою і проходить 28 проміжних стадій. Ось що я маю на увазі, коли метафорично говорю про «блукання» Землею біоморфів.

Я хотів спробувати представити цей генетичний простір у формі зображення. Проблема в тому, що зображення є двовимірними. Генетичний же простір, у якому сидять біоморфи, не є двовимірним. Він навіть не тривимірний. Це дев'ятивимірний простір! (Про математику важливо запам'ятати, що її не слід боятися. Вона не така складна, як іноді намагаються показати її адепти. Щоразу, як мені стає трохи лячно, я завжди згадую вислів Сільвануса Томпсона з його книжки «Прості обчислення»: «Що може зробити один дурень, зможе й інший».) Якби ми тільки вміли малювати в дев'яти вимірах, то змогли б зробити так, аби кожен вимір відповідав одному з дев'яти генів. Положення конкретної тварини, скажімо скорпіона, кажана чи комахи, зафіксоване в генетичному просторі числовими значеннями його дев'яти генів. Еволюційні зміни складаються з покрокового просування крізь дев'ятивимірний простір. Величина генетичної відмінності між однією твариною й іншою, а отже, й час, потрібний для еволюції, та складність еволюціонування з однієї тварини в іншу вимірюються в дев'ятивимірному просторі як *відстань* між цими тваринами.

На жаль, малювати в дев'яти вимірах ми не вміємо. Я шукав спосіб обійти цю перепону, намалювавши двовимірне зображення, що хоч якось могло б передати відчуття переміщення від точки до точки в дев'ятивимірному генетичному просторі Землі біоморфів. Зробити це можна було різними способами, і я обрав той, який назвав фокусом із трикутником. Подивіться на рисунок 6. На кутах трикутника розташовані три довільно обрані біоморфи. Той, що вгорі, — це базове дерево, ліворуч — одна з «моїх» комах, а праворуч — гарненький, на мій погляд, біоморф без назви. Як і всі біоморфи, кожен із цих трьох має свою власну генетичну формулу, що визначає його унікальне положення в дев'ятивимірному генетичному просторі.

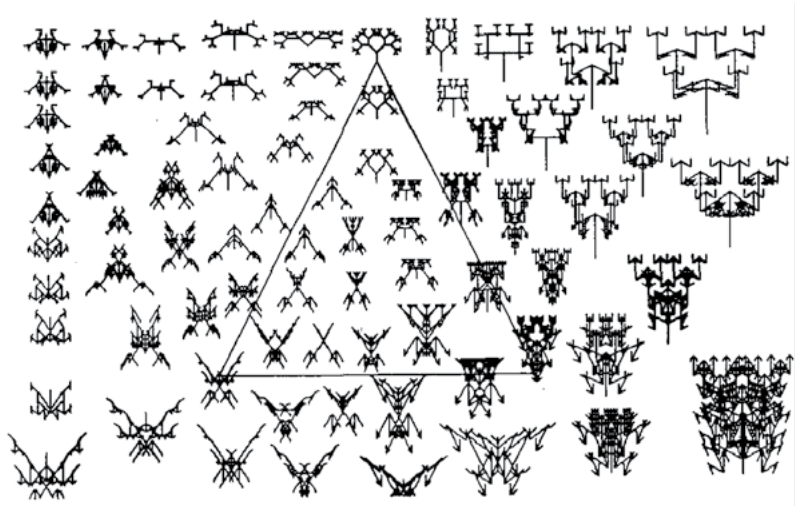


Рис. 6

Трикутник лежить на пласкій двовимірній «площині», яка перерізає дев'ятивимірний гіпероб'єм («Що може один дурень, зможе й інший»). Ця площина схожа на плаский шматок скла, що застряг у желе. На склі намальований трикутник, а також деякі з біоморфів, генетичні формули яких дають їм право сидіти на цій конкретній площині. Що саме дає їм це право? Отут на сцену й виходять три біоморфи у кутах трикутника. Вони називаються якірними біоморфами.

Згадайте, що вся ідея «відстані» в генетичному «просторі» полягає в тому, що генетично подібні біоморфи є близькими сусідами, а генетично різні — сусідами далекими. У цій конкретній площині всі відстані розраховуються відносно трьох якірних біоморфів. Відповідна генетична формула для будь-якої конкретної точки на склі, чи то всередині трикутника, чи ззовні, розраховується як «середньозважене» генетичних формул трьох якірних біоморфів. Ви вже, мабуть, здогадались, як здійснюється це «зважування». Воно обчислюється за відстанями (точніше, за *наближеністю*) від потрібної точки на склі до трьох якірних біоморфів. Отже, що ближче ви до комахи на

площині, то більше схожі на комах локальні біоморфи. У міру вашого просування вздовж скла в напрямку дерева «комахи» поступово стають менш схожими на комах і більше схожими на дерево. Якщо ж пересунутися до центру трикутника, тварини, яких ви там знайдете, наприклад павук з іудейським семисвічником на голові, будуть різноманітними «генетичними компромісами» між трьома якірними біоморфами.

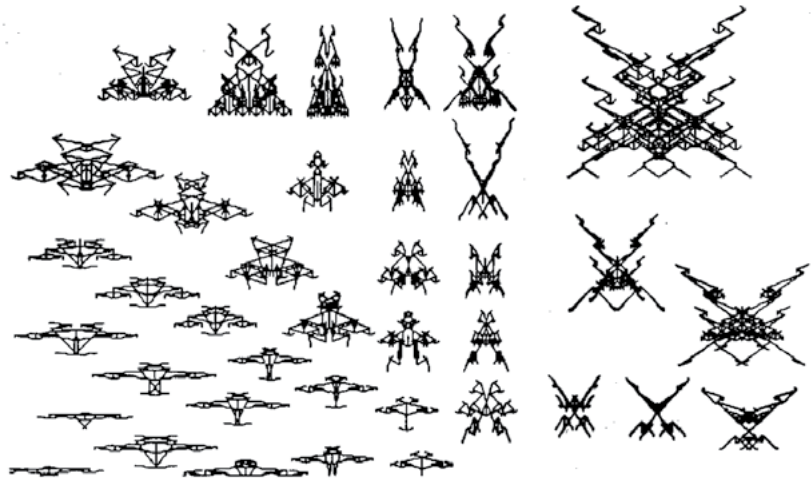


Рис. 7

Але такий підхід загалом приділяє трьом якірним біоморфам забагато уваги. Так, комп'ютер використовував їх для розрахунку відповідної генетичної формули кожної точки на зображенні. Але насправді для цього цілком придалися б будь-які три якірні точки на площині, що дало б ідентичні результати. З цієї причини на рисунку 7 я трикутник не намалював. Цей рисунок є зображенням такого самого типу, як і рисунок 6. Він просто демонструє іншу площину. Однією з трьох якірних точок, цього разу правою, є та сама комаха. Іншими якірними точками в цьому випадку є літачок та офрис бджолоносний, обидва такі самісінькі, як на рисунку 5. На цій площині ви також помітите, що сусідні біоморфи нагадують одне одного більше, ніж далекі. Літачок, наприклад,

є частиною ескадрильї аналогічних літачків, що летять строєм. Оскільки комаха присутня на обох листах скла, ви можете подумати, що ці два листи під кутом проходять один крізь одного. Відносно рисунка 6 площина рисунка 7 ніби «обернена навколо» комахи.

Вилучення трикутника є удосконаленням нашого методу, бо він відвертав увагу. Він надмірно підкреслював три конкретні точки на площині. Залишилося здійснити ще одне удосконалення. На рисунках 6 і 7 просторова відстань відображує генетичну, але *масштабування* геть викривлене. Один сантиметр угору не обов'язково є еквівалентом одного сантиметра вбік. Аби виправити це, ми повинні ретельно обрати три якірні біоморфи так, аби генетичні відстані між ними були абсолютно однаковими. На рисунку 8 саме це й зроблено. І знову трикутник фактично не намальований. Трьома якірними точками є скорпіон з рисунка 5, знову комаха (маємо ще одне «обертання навколо») й доволі невизначений біоморф угорі. Ці три біоморфи віддалені один від одного аж на 30 мутацій. Це означає, що еволюціонувати від будь-якого з них до будь-якого іншого однаково легко. У всіх трьох випадках доведеться пройти мінімум 30 генетичних етапів. Рисочки вздовж нижньої межі рисунка 8 відображають одиниці відстані, вимірювані в генах. Можете вважати це генетичною лінійкою. Ця лінійка працює не лише в горизонтальному напрямку. Можна відхилити її в будь-якому напрямку й виміряти генетичну відстань (а отже, й мінімальний час еволюції) між будь-якими двома точками на площині (дратує, що це не зовсім правильно для цієї сторінки, бо комп'ютерний принтер викривляє пропорції, але цей ефект є надто незначним, аби зчиняти через нього галас, хоча й означає, що ви отримаєте трохи не таку відповідь, якщо просто порахуєте рисочки на шкалі).

Ці двовимірні площини, що перерізають дев'ятивимірний генетичний простір, дають деяке уявлення про те, що означає подорожувати Землею біоморфів. Щоб уточнити це уявлення, треба запам'ятати, що еволюція не обмежується однією площиною. У справжній еволюційній подорожі ви

могли б у будь-який момент «провалитися» на іншу площину, наприклад з площини рисунка 6 на площину рисунка 7 (безпосередньо поруч із комахою, там, де дві площини підходять близько одна до одної).

Я сказав, що «генетична лінійка» рисунка 8 дає нам змогу розрахувати мінімальний час, який зайняла б еволюція від однієї точки до іншої. Так вона й робить, ураховуючи обмеження вихідної моделі, але наголос робиться на слові *мінімальний*. Оскільки комаха й скорпіон віддалені одне від одного на 30 генетичних одиниць, для еволюції від однієї до другого потрібно лише 30 поколінь, *якщо жодного разу не звернути не туди,* — тобто якщо ви точно знаєте, до якої генетичної формули йдете і як її швидше досягти. У реальному житті еволюція не має нічого, що відповідало б досягненню якоїсь далекосяжної генетичної цілі.

Скористаймося тепер біоморфами, щоб повернутися до проблеми, порушеної мавпою, що друкує «Гамлета», — важливості поступової, покрокової зміни еволюції на відміну від чистого випадку. Почнемо з перемаркування шкали вздовж

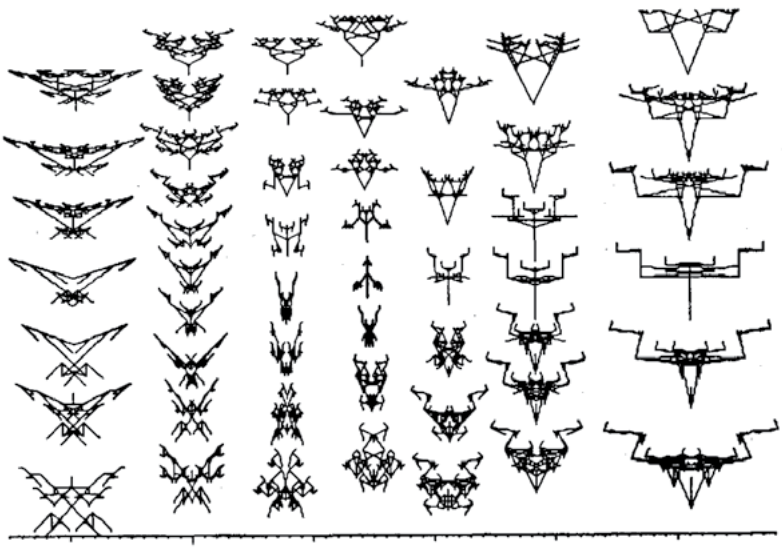


Рис. 8

нижньої межі рисунка 8 іншими одиницями. Замість того, щоб вимірювати відстань як «кількість генів, що мають змінитися у процесі еволюції», ми вимірюватимемо відстань як «імовірність перескакування цієї відстані за рахунок простої удачі, одним стрибком». Щоб поміркувати над цим, нам зараз треба зняти одне з обмежень, яке я вбудував у комп'ютерну гру, — наприкінці ми побачимо, чому я вбудував його взагалі. Воно полягало в тому, що нащадкам «дозволялося» віддалятися від своїх матерів лише на одну мутацію. Іншими словами, за раз дозволялося мутувати лише одному гену, і цьому гену дозволялося змінювати своє «значення» лише на +1 чи −1. Знімаючи це обмеження, ми тепер дозволяємо будь-якій кількості генів мутувати одночасно, причому вони можуть додавати до свого нинішнього значення будь-яке число, додатне чи від'ємне. Насправді це *занадто* велике послаблення, оскільки воно дає змогу генетичним значенням варіювати від мінус нескінченності до плюс нескінченності. Буде цілком достатньо, якщо ми обмежимо значення генів однозначними цифрами, тобто дозволимо їм варіювати від −9 до +9.

Отже, в цих широких межах ми теоретично дозволяємо мутації одним махом, за одне-єдине покоління, змінити будь-яку комбінацію з дев'яти генів. Більше того, значення кожного гена може змінюватися будь-яким чином, аби тільки не виходити у двозначні цифри. Що це означає? Це означає, що теоретично еволюція може перестрибнути за одне-єдине покоління від будь-якої точки на Землі біоморфів до будь-якої іншої. Не просто до будь-якої точки на одній площині, а й до будь-якої точки в усьому дев'ятивимірному гіперпросторі. Якби, наприклад, вам захотілося перескочити одним стрибком від комахи до лисиці на рисунку 5, то ось рецепт. Додайте до значень генів від 1 до 9 такі цифри відповідно: −2, 2, 2, −2, 2, 0, −4, −1, 1. Але оскільки ми говоримо про випадкові стрибки, «пунктами призначення» одного з цих стрибків рівною мірою можуть бути всі точки на Землі біоморфів. Отже, шанси проти того, щоб перескочити до будь-якого конкретного пункту призначення, скажімо до ли-

сиці, за рахунок чистої удачі, легко розрахувати: вони дорівнюють загальній кількості біоморфів у просторі. Як ви можете бачити, ми переходимо до ще одного з астрономічних розрахунків. Є дев'ять генів, і кожен із них може набувати будь-якого з 19 значень. Тож загальна кількість біоморфів, до яких ми *могли би* перескочити одним стрибком, дорівнює числу 19, помноженому на себе самого 9 разів, — 19 у 9-му ступені. Це дає приблизно півтрильйона біоморфів. Дрібничка порівняно з «гемоглобіновим числом» Азімова, але я все одно назвав би цю кількість великою. Якби ви почали з комахи й, неначе якась навіжена блоха, стрибнули б півтрильйона разів, то могли б сподіватися колись дістатися до лисиці.

Що все це говорить нам про реальну еволюцію? Знову-таки, це доводить важливість *поступових*, покрокових змін. Свого часу деякі еволюціоністи заперечували, що в еволюції необхідна така поступовість. Наші ж розрахунки біоморфів *чітко* вказують на одну з причин, через які важлива саме поступова, покрокова зміна. Коли я кажу, що від еволюції можна очікувати стрибка від комахи до одного з її безпосередніх сусідів, але *не* стрибка від комахи одразу ж до лисиці чи скорпіона, то маю на увазі ось що. Якби суто випадкові стрибки справді відбувалися, тоді стрибок від комахи до скорпіона був би абсолютно можливим. По суті, він був би *таким само* можливим, як стрибок від комахи до одного з її безпосередніх сусідів. Але він також був би таким само можливим, як стрибок до будь-якого іншого біоморфа на Землі біоморфів. У цьому-то й проблема. Чисельність біоморфів на Землі становить півтрильйона, і якщо жодний із них жодним чином не більш можливий як пункт призначення, ніж будь-який інший, шанси перескочити до будь-якого *конкретного* з них є достатньо малими, щоб їх ігнорувати.

Зверніть увагу, що це не дає нам підстав припустити, що існує якийсь потужний невипадковий «відбірковий тиск». Навіть якби вам запропонували королівську винагороду за виконання вдалого стрибка до скорпіона, це не мало б значення. Шанси проти того, що вам це вдасться, все одно становитимуть півтрильйона до одного. Але якби замість того,

щоб стрибати, ви *пішли*, роблячи по одному кроку за раз і отримуючи по дрібній монетці щоразу, як зробите крок у правильному напрямку, то дісталися б до скорпіона за дуже короткий час. Не обов'язково за найшвидший можливий час у 30 поколінь, однак дуже швидко. Стрибок міг би теоретично принести вам винагороду швидше — одним махом. Але з огляду на астрономічні шанси проти успіху єдиним можливим шляхом є низка маленьких кроків, кожен з яких спирається на накопичений успіх попередніх.

Тон моїх попередніх абзаців є відкритим для непорозуміння, яке я мушу розвіяти. Знову-таки, складається враження, ніби еволюція має справу з якимись далекосяжними цілями, спрямовуючи свої зусилля на об'єкти на кшталт скорпіонів. Як ми вже бачили, вона геть не схильна це робити. Але якщо уявити наші цілі як *щось, що поліпшило б шанси на виживання*, цей аргумент таки працює. Якщо тварина є матір'ю, вона, мабуть, достатньо успішна, якщо спромоглася дожити хоча б до зрілого віку. Можливо, що мутантне дитинча цієї матері зможе бути ще кращим у справі виживання. Але якщо дитинча мутує довгим шляхом, так, що проходить велику відстань від своєї матері в генетичному просторі, які шанси на те, що воно буде кращим за свою матір? Відповідь полягає в тому, що насправді є дуже великі шанси проти цього. І причину ми щойно продемонстрували на прикладі нашої моделі за участю біоморфів. Якщо мутаційний стрибок, який ми розглядаємо, є дуже великим, число можливих «пунктів призначення» цього стрибка астрономічно велике. А оскільки, як ми бачили в розділі 1, варіантів померти значно більше, ніж варіантів жити, існує дуже висока ймовірність того, що великий випадковий стрибок у генетичному просторі закінчиться смертю. Навіть за невеликого випадкового стрибка це цілком можливо. Але що менший цей стрибок, то менш імовірна смерть і то ймовірніше, що цей стрибок приведе до покращення. Ми ще повернемося до цієї теми в одному з наступних розділів.

От і вся мораль, яку я хотів видобути з Землі біоморфів. Сподіваюся, вона не здалася вам надто абстрактною. Існує

й інший математичний простір, наповнений не дев'ятигенними біоморфами, а тваринами з плоті й крові, сформованими мільярдами клітин, кожна з яких містить десятки тисяч генів. Це вже не біоморфний, а справжній генетичний простір. По суті, тварини, що коли-небудь жили на Землі, є лише крихітною часткою тварин, що теоретично *могли б* існувати. Ці реальні тварини є продуктами дуже малої кількості еволюційних траєкторій руху крізь генетичний простір. Переважна більшість теоретичних траєкторій руху крізь тваринний простір породжує неможливих монстрів. Реальні ж тварини розкидані тут і там серед гіпотетичних монстрів, і кожна займає своє власне унікальне місце в генетичному гіперпросторі. Кожна реальна тварина оточена невеличкою групою сусідів, більшість із яких ніколи не існували, але кілька з яких є її предками, нащадками, двоюрідними братами й сестрами.

Десь у цьому величезному математичному просторі сидять люди й гієни, амеби й трубкозуби, пласкі черви й кальмари, дронти й динозаври. Теоретично, якби ми були достатньо вправними в генній інженерії, то могли б перейти від будь-якої однієї точки у тваринному просторі до будь-якої іншої. З будь-якої відправної точки ми могли би пройти крізь лабіринт таким чином, аби відтворити дронта, тиранозавра й трилобітів. Якби тільки знати, якими генами зайнятись, які частинки хромосоми подвоїти, переставити чи видалити... Сумніваюся, що ми коли-небудь знатимемо достатньо, аби це зробити, але ці цікаві вимерлі створіння навіки заховалися кожне в своєму куточку цього величезного генетичного гіперпростору, чекаючи, щоб їх *знайшли*, якщо ми тільки навчимося прокладати правильний курс через лабіринт. Можливо, ми навіть зуміли б точно відтворити *еволюцію* дронта, вибірково розводячи голубів, хоча для завершення цього експерименту нам довелося б прожити мільйони років. Однак якщо ми не можемо здійснити якусь подорож у реальності, на допомогу приходить уява. Для тих же, хто, як і я, не є математиком, потужною підтримкою уяви може стати комп'ютер. Подібно до математики, він не лише розвиває уяву. Він також дисциплінує її й контролює.

РОЗДІЛ 4

ПРОКЛАДАННЯ ШЛЯХІВ КРІЗЬ ТВАРИННИЙ ПРОСТІР

Як ми бачили в розділі 2, багатьом людям буває важко повірити, що щось на кшталт ока (улюбленого прикладу Пейлі), такого складного й добре задуманого, зі стількома взаємопов'язаними робочими частинами, могло виникнути з чогось маленького й простого шляхом низки поступових покрокових змін. Повернімося до цієї проблеми в світлі тих нових знань, які нам могли надати біоморфи. Відповімо на два запитання.

1. Чи могло людське око виникнути безпосередньо, з повної відсутності ока, за один-єдиний крок?
2. Чи могло людське око виникнути безпосередньо з чогось, трохи відмінного від нього, чогось, що можна назвати *X*?

Відповідь на перше запитання однозначно *заперечна*. Шанси проти ствердної відповіді на такі запитання в багато мільярдів разів більші за кількість атомів у Всесвіті. Для неї знадобився б величезний і майже неймовірний стрибок крізь генетичний гіперпростір. Відповідь же на друге запитання є так само однозначно *ствердною*, але лише за умови, що відмінність між сучасним оком і його найближчим попередником *X* є достатньо маленькою. Іншими словами, за умови,

що вони є достатньо близькими одне до одного в просторі всіх можливих структур. Якщо відповідь на друге запитання для будь-якого конкретного ступеня відмінності є заперечною, треба лише повторити його для меншого ступеня відмінності й продовжувати робити це, поки ми не знайдемо достатньо малий ступінь відмінності, що дасть нам ствердну відповідь.

X визначається як щось дуже схоже на людське око — достатньо схоже для того, щоб око могло вірогідно виникнути шляхом однієї-єдиної зміни *X*. Якщо ви маєте якусь уявну картину *X* і вважаєте неправдоподібним, що людське око могло виникнути безпосередньо з нього, це просто означає, що ви обрали неправильний *X*. Робіть ваш уявний *X* більш схожим на людське око, і робіть це доти, доки не знайдете *X*, який ви *таки вважатимете* вірогідним безпосереднім попередником людського ока. Для вас неодмінно має такий знайтися, навіть якщо ваше уявлення про те, що є правдоподібним, більш або менш обережне, аніж моє!

Тепер, знайшовши такий *X*, за якого відповідь на друге запитання буде ствердною, ми застосуємо те саме запитання до самого *X*. Виходячи з тих самих міркувань, ми мусимо зробити висновок, що *X* міг правдоподібно виникнути безпосередньо шляхом однієї-єдиної зміни, знову-таки, з чогось трохи відмінного від нього, що можна назвати *X′*. Очевидно, що тоді можна простежити *X′* до чогось, іще трохи відмінного від нього, — *X″*, і т. д. Увівши достатньо довгу низку *X*, можна вивести людське око з чогось не трохи, а навіть *дуже* відмінного від нього. Можна «пройти» велику відстань крізь «тваринний простір», і наш рух буде правдоподібним за умови, що ми робитимемо достатньо маленькі кроки. А тепер ми підійшли до відповіді на третє запитання.

3. Чи існує безперервна низка *X*, що з'єднує сучасне людське око зі станом повної відсутності ока?

Мені здається очевидним, що відповідь має бути ствердною за умови, що ми дозволимо собі достатньо довгу низку *X*.

Ви, можливо, думаєте, що тисячі *X* досить, але якщо вам потрібно більше кроків, аби зробити весь перехід правдоподібним у своїй голові, просто дозвольте собі припустити 10 тисяч *X*. А якщо вам недостатньо 10 тисяч, дозвольте собі припустити 100 тисяч, і т. д. Очевидно, що верхню планку в цій грі встановлює доступний час, адже там може бути лише один *X* на покоління. Тому на практиці запитання коригується таким чином: чи достатньо було часу для зміни достатньої кількості послідовних поколінь? Ми не можемо дати точну відповідь щодо необхідної кількості поколінь. Ми лише знаємо, що геологічний час є надзвичайно довгим. Аби ви уявляли собі порядок величин, про який ми говоримо, зауважу, що кількість поколінь, які відділяють нас від наших найдавніших предків, безумовно, вимірюється тисячами мільйонів. Узявши, скажімо, сотню мільйонів *X*, ми повинні мати змогу побудувати правдоподібну низку крихітних поступових переходів, що з'єднують людське око практично з чим завгодно!

Наразі завдяки процесу більш-менш абстрактних міркувань ми дійшли висновку, що існує низка мислимих *X*, кожен з яких достатньо подібний до своїх сусідів, аби він міг правдоподібно перетворитися на одного з них, а всі вони разом дають змогу простежити еволюцію людського ока від повної його відсутності. Однак ми все ще не продемонстрували правдоподібність того, що ця низка *X* існувала насправді. Нам потрібно відповісти ще на два запитання.

4. Якщо зосередитися на кожній ланці низки гіпотетичних *X*, що з'єднують людське око з повною його відсутністю, то чи правдоподібно, що кожен із них став можливим унаслідок випадкової мутації його попередника?

Узагалі-то це запитання з галузі ембріології, а не генетики, і зовсім не воно турбувало єпископа Бірмінгемського та інших. Мутація має працювати шляхом модифікації наявних процесів ембріонального розвитку. Суперечливо, що певні типи цих процесів легко піддаються мінливості в одних на-

прямках і не піддаються в інших. Я ще повернуся до цього питання в розділі 11, а тут лише знову наголошу на відмінності між маленькою й великою змінами. Що менша зміна, яку ви обумовлюєте, то менша відмінність між X'' та X' і то ембріологічно правдоподібнішою є мутація, про яку йдеться. У попередньому розділі ми на суто статистичному ґрунті побачили, що будь-яка *конкретна* велика мутація є від природи менш імовірною, ніж будь-яка конкретна маленька мутація. Тож, хоч які би проблеми порушувало четверте запитання, можна принаймні побачити, що чим меншою ми робимо відмінність між будь-якими конкретними X' та X'', тим меншими будуть ці проблеми. Мені здається, що за умови *достатньо малої* відмінності між сусідніми проміжними ланками в нашій низці, що веде до ока, необхідні мутації майже зобов'язані відбутися. Зрештою, ми завжди говоримо про незначні кількісні зміни в сучасному ембріональному процесі. Згадайте, що, хоч яким би складним був ембріологічний статус-кво в будь-якому конкретно взятому поколінні, кожна його мутаційна *зміна* може бути дуже маленькою й простою.

Нам залишилося відповісти ще на одне, останнє, запитання:

5. Якщо зосередитися на кожній ланці низки X, які з'єднують людське око з повною його відсутністю, то чи правдоподібно, що кожна з них працювала достатньо добре, аби допомогти виживанню та розмноженню тварин, про яких ідеться?

Доволі дивно, але деякі люди вважають, що відповідь на це запитання є самоочевидно заперечною. Наприклад, я наведу цитату з книжки Френсіса Гітчинґа 1982 року під назвою «Шия жирафи, або Де Дарвін пішов не туди». Приблизно ті самі слова я міг би процитувати мало не з будь-якої брошури Свідків Єгови, але обрав цю книжку, бо поважне видавництво (*«Pan Books Ltd»*) все ж вирішило її опублікувати, попри дуже велику кількість помилок, які швидко помітив би будь-який безробітний випускник-біолог чи навіть студент, якби його

попросили переглянути рукопис. (Моїми улюбленими, якщо ви дозволите мені хоча б два жарти, є присвоєння лицарського звання професорові Джону Мейнарду Сміту та представлення професора Ернста Майра, цього красномовного та найбільш нематематичного запеклого критика математичної генетики, як її «провідного діяча».) Отже, цитата.

> *Щоб око працювало, має бути здійснений такий мінімум ідеально скоординованих кроків (існує й багато інших, що відбуваються одночасно, але навіть сильно спрощеного опису достатньо, аби підкреслити проблеми для теорії Дарвіна). Око має бути чистим і вологим, підтримуваним у такому стані взаємодією слізної залози та рухомих повік, вії яких діють також як примітивний фільтр від сонця. Тому світло проходить крізь невеличку прозору ділянку захисного зовнішнього покриття (рогівки), а потім крізь кришталик, який фокусує його на задньому боці сітківки. Тут 130 мільйонів світлочутливих паличок і колбочок зумовлюють фотохімічні реакції, що перетворюють світло на електричні імпульси. Щосекунди приблизно з тисячу мільйонів із них незрозумілим до кінця чином передаються до мозку, який вживає відповідних заходів.*
>
> *Тому цілком очевидно, що коли дорогою хоч щось піде не так — рогівка втратить чіткість, зіниця відмовиться розширюватися, кришталик стане непрозорим або фокусування дасть збій, — то пізнаваний образ не буде сформовано. Око або функціонує як єдине ціле, або не функціонує взагалі. То як же воно виникло шляхом повільних, поступових, невловно дрібних дарвінівських покращень? Чи справді правдоподібно, що тисячі й тисячі вдалих випадкових мутацій якимось чином збіглися так, аби кришталик і сітківка, що не можуть працювати одне без одного, еволюціонували синхронно? Яку цінність для виживання може мати око, що не бачить?*

Цей примітний аргумент наводиться дуже часто, можливо, тому, що люди *хочуть* вірити його висновку. Візьмімо твердження «коли дорогою хоч щось піде не так... фокусування дасть збій... пізнаваний образ не буде сформовано». Імовірність того, що ви читаєте ці рядки за допомогою окулярів чи контактних лінз, не може бути далекою від 50/50. Зніміть їх і подивіться навколо. Чи погодитеся ви з тим, що «пізнаваний образ не буде сформовано»? Якщо ви — чоловік, то ймовірність у вас дальтонізму становить приблизно 1 до 12. У вас може також бути астигматизм. Цілком імовірно, що без окулярів ви бачите лише розпливчасті плями. Один із найвидатніших (хоча й поки що без лицарського звання) еволюційних теоретиків сьогодення так рідко протирає свої окуляри, що бачить, мабуть, розпливчасті плями в будь-якому разі, але він, схоже, доволі добре дає собі раду і, за його власним зізнанням, колись непогано грав у сквош. Якби ви загубили окуляри, то могли б засмутити своїх друзів, не впізнаючи їх на вулиці. Але самі ви засмутилися б іще більше, якби хтось сказав вам: «Оскільки тепер ваш зір не є абсолютно ідеальним, ви могли б із таким самим успіхом ходити зі щільно заплющеними очима, поки не знайдете своїх окулярів». Автор уривка, який я щойно процитував, по суті, має на увазі саме це.

Він також стверджує, немов очевидну річ, що кришталик і сітківка не можуть працювати одне без одного. На якій, цікаво, підставі? Одна з моїх близьких перенесла операцію з видалення катаракти на обох очах. Вона не має кришталиків узагалі. Без окулярів вона не змогла б навіть почати грати в теніс чи націлити гвинтівку. Але вона запевняє мене, що жити з оком без кришталика значно краще, ніж без ока взагалі. Ти хоча б бачиш, що от-от наштовхнешся на стіну чи на іншу людину. Якби ж ти був диким створінням, то точно міг би скористатися своїм оком без кришталика, щоб виявити нечіткі обриси хижака й напрямок, з якого він наближається. У примітивному світі, де одні створіння не мають очей узагалі, а інші мають очі без кришталиків, другі мали б усі можливі переваги. При цьому існує безперервна

низка *X*, де кожне крихітне покращення гостроти зображення, від розпливчастих плям до ідеального людського зору, вірогідно підвищує шанси організму на виживання.

Далі у книжці цитується знаменитий гарвардський палеонтолог Стівен Джей Ґулд, який говорить:

> *Ми уникаємо чудового запитання «Яка користь від 5 % ока?», стверджуючи, що власник такої зародкової структури не використовував її як орган зору.*

Якась давня тварина з 5 % ока, можливо, справді використовувала його не для того, щоб бачити, але мені здається, як мінімум, не менш імовірним, що вона використовувала його для забезпечення 5 % зору. І насправді я не вважаю, що це чудове запитання. Зір, що становить 5 % від вашого чи мого, є набагато кращим порівняно з цілковитою відсутністю зору. Навіть 1 % зору кращий за повну сліпоту. А 6 % кращі за 5, 7 % кращі за 6, і т. д. аж до поступової безперервної низки.

Така проблема зацікавила й деяких людей, які вивчають тварин, що захищаються від хижаків за допомогою мімікрії. Деякі паличники схожі на палички, завдяки чому рятуються від поїдання птахами. Інші паличники схожі на листя. Багато їстівних видів метеликів отримують захист за рахунок того, що уподібнюються неїстівним або отруйним видам. Ця схожість вражає значно більше, ніж схожість хмаринок із ласками. У багатьох випадках вона є разючішою, ніж схожість «моїх» комах із реальними. Реальні комахи, зрештою, мають шість ніг, а не вісім! Реальний природний відбір мав для вдосконалення схожості як мінімум у мільйони разів більше поколінь, аніж я.

Ми використовуємо для таких випадків слово «мімікрія» не тому, що, на нашу думку, тварини свідомо імітують інших істот, а тому, що природний відбір сприяв тим індивідам, тіла яких помилково приймали за тіла інших істот. Іншими словами, пращури паличників, що не нагадували палички, не залишили нащадків. Найвидатнішим із тих, хто стверджував, що природний відбір не міг сприяти *ранній* еволюції такої

схожості, є німецько-американський генетик Річард Ґолдшмідт. Як сказав про комах, що імітують гній, шанувальник Ґолдшмідта Ґулд, «чи може бути якась перевага в тому, щоб на 5 % нагадувати лайно?» Здебільшого завдяки впливу Ґулда віднедавна стало модно говорити, що Ґолдшмідта за життя недооцінювали і що насправді він може багато чого нас навчити. Ось зразок його міркувань.

> *Форд говорить... про будь-яку мутацію, що її шанси надати певному виду «віддалену схожість» із більш захищеним видом, що приносить якусь користь, навіть незначну, можуть накопичуватися. Треба спитати, наскільки віддаленою може бути ця схожість, аби мати селективну цінність. Чи можна насправді припустити, що птахи, мавпи, а також богомоли (або якісь їх особливо розумні представники) є такими чудовими спостерігачами, щоб помічати «віддалену» схожість і лякатись її? Гадаю, ми забагато питаємо.*

Ґолдшмідт тут ступає на хиткий ґрунт, де хоч-не-хоч вдаєшся до сарказму. *Чудовими* спостерігачами? Особливо *розумні* серед них? Можна подумати, що птахи та мавпи *вигравали* від того, що їх обдурювали віддаленою схожістю! Ґолдшмідт міг би радше сказати: «Чи можна насправді припустити, що птахи та інші (або якісь їх особливо тупі представники) є настільки *поганими* спостерігачами?» Тим не менш тут існує справжня дилема. Первинна схожість паличникового предка з паличкою, мабуть, була дуже віддаленою. Птах повинен був мати надзвичайно *поганий* зір, аби бути нею обдуреним. Однак схожість сучасного паличника з паличкою є напрочуд точною аж до найтонших деталей — несправжніх бруньок та листових прожилок. Птахи, селективне хижацтво яких додало останні штрихи до їхньої еволюції, повинні, хоча б колективно, мати винятково *добрий* зір. Їх має бути надзвичайно важко обдурити, інакше комахи не стали б такими ідеальними імітаторами, якими вони є, — вони залиши-

лися б порівняно неідеальними імітаторами. Як же розв'язати цю явну суперечність?

Один із варіантів відповіді передбачає, що пташиний зір покращувався впродовж того самого еволюційного часового проміжку, що й камуфляж комах. Висловлюючись дещо легковажно, предкова комаха, що нагадувала лайно лише на 5 %, могла б обдурити лише предкового птаха з 5 % зору. Але це не та відповідь, яку я хочу дати. Насправді я підозрюю, що весь процес еволюції, від віддаленої схожості до майже ідеальної мімікрії, відбувався доволі швидко й багато разів у різних груп комах упродовж усього довгого періоду, коли пташиний зір був уже приблизно таким самим гострим, як сьогодні.

Інший варіант відповіді, запропонований для цієї дилеми, такий. Можливо, кожен вид птахів чи мавп має поганий зір і фіксує лише один обмежений аспект комах. Можливо, один вид хижаків помічає лише колір, другий — лише форму, третій — лише текстуру, і т. д. Тоді комаха, що нагадує паличку, лише в одному обмеженому сенсі обдурюватиме один вид хижаків, при тому, що її поїдатимуть усі інші. У процесі еволюції до репертуару комах додавалося дедалі більше аспектів схожості. Останнє багатогранне вдосконалення мімікрії є результатом сумарного природного відбору, забезпеченого багатьма різними видами хижаків. Жоден хижак не бачить усієї досконалості мімікрії, лише ми.

Це, схоже, натякає, що лише ми є достатньо «розумними», аби побачити мімікрію в усій її красі. Однак я віддаю перевагу іншому поясненню, і не лише через цей людський снобізм. Воно полягає в тому, що, хоч яким би добрим був зір якогось хижака за одних умов, він може бути надзвичайно поганим за інших. По суті, ми можемо легко оцінити весь спектр від надзвичайно поганого зору до чудового, виходячи зі свого власного досвіду. Якщо я дивлюся на паличника з відстані 20 см від мого носа і при яскравому денному світлі, він мене не обдурить. Я помічу довгі ніжки, що чіпляються за стовбур. Я можу вгледіти неприродну симетрію, не притаманну справжній паличці. Але якби я, з тими самими очима та мозком, гуляв лісом

при заході сонця, то цілком міг би й не відрізнити жодної комахи тьмяного забарвлення від гілочок, яких навколо повноповнісінько. Зображення комахи може потрапити на край моєї сітківки, а не на чутливішу центральну ділянку. Комаха може опинитися за 40 метрів від мене, а отже, створити лише крихітне зображення на моїй сітківці. Освітлення може бути таким поганим, що я взагалі ледь бачитиму щось довкола.

По суті, не має значення, *наскільки* віддаленою, наскільки слабкою є схожість комахи з паличкою, бо за *певного* рівня сутінків, певної відстані від ока чи певного ступеня розсіяності уваги хижака навіть дуже гостре око буде обдурене віддаленою схожістю. Якщо ви не вважаєте це правдоподібним для якогось конкретного прикладу, який ви уявили, просто приглушіть ненадовго уявне світло або відійдіть трохи далі від уявного об'єкта! Річ у тім, що багато комах були врятовані надзвичайно слабкою схожістю зі стебельцем, листком чи кавалком лайна у випадках, коли вони були далеко від хижака або коли хижак дивився на них при заході сонця, крізь туман чи коли його увагу відвертала готова до спаровування самиця. При цьому багато комах були врятовані, можливо від того самого хижака, завдяки надзвичайно великій схожості зі стебельцем у випадках, коли хижак дивився на них з відносно близької відстані й за доброго освітлення. Важливим моментом щодо інтенсивності світла, відстані комахи від хижака, відстані зображення від центру сітківки та аналогічних змінних є те, що всі вони є *безперервними*. Вони непомітно варіюють упродовж усього діапазону від повної невидимості до повної видимості. Такі безперервні змінні сприяють безперервній і поступовій еволюції.

Виявляється, що порушена Річардом Ґолдшмідтом проблема — одна з цілої низки, що змусили його впродовж більшої частини професійної кар'єри непохитно вірити в те, що еволюція рухається великими стрибками, а не маленькими кроками, — взагалі не проблема. Крім того, ми також знову випадково продемонстрували самим собі, що 5 % зору кращі за повну його відсутність. Якість мого зору на самому краєчку

сітківки є, мабуть, іще гіршою за 5 % якості в її центрі, хоч як її вимірюй. Але й самісіньким краєчком ока я все одно можу виявити присутність великої вантажівки чи автобуса. Оскільки я щодня їжджу на роботу велосипедом, цей факт, цілком імовірно, вже рятував мені життя. Я помічаю різницю в тих випадках, коли в дощ надягаю капелюха. Якість нашого зору темної ночі може бути значно гіршою за 5 % тієї, яка притаманна нам у середині дня. Однак багато наших предків були, мабуть, урятовані, побачивши щось справді важливе (наприклад, шаблезубого тигра чи прірву) серед ночі.

Кожен із нас знає з власного досвіду, наприклад, ходіння темними ночами, що існує непомітно ступінчаста безперервна низка варіантів від повної сліпоти до ідеального зору і що кожен крок уздовж цієї низки надає суттєві переваги. Дивлячись на світ крізь бінокль із поступовою зміною фокусування, можна швидко переконатись у тому, що існує ступінчаста низка якості фокуса, де кожен наступний крок є покращенням порівняно з попереднім. Поступово обертаючи регулятор балансу кольорового телевізора, можна переконатися, що існує ступінчаста низка поступового покращення від чорно-білого до повноколірного зору. Ірисова діафрагма, що відкриває й закриває зіницю, не дає нам осліпнути на яскравому світлі, водночас даючи змогу бачити при тьмяному. Ми всі відчуваємо, як це — не мати ірисової діафрагми, коли нас на мить засліплюють фари зустрічної автівки. Хоч яким би неприємним чи навіть небезпечним було це засліплення, воно ще не означає, що все око перестає працювати! Твердження, що «око або функціонує як єдине ціле, або не функціонує взагалі», виявляється не просто хибним, а й самоочевидно хибним для всіх, хто хоча б на 2 секунди звернеться до свого власного життєвого досвіду.

Повернімося до нашого п'ятого запитання. Якщо зосередитися на кожній ланці низки *X*, що з'єднують людське око з повною його відсутністю, то чи правдоподібно, що кожна з них працювала достатньо добре, аби допомогти виживанню та розмноженню тварин, про яких ідеться? Ми вже усвідо-

мили дурість антиеволюціоністського припущення, що відповідь є очевидно заперечною. Але чи є ця відповідь ствердною? Це менш очевидно, але гадаю, що так. Зрозуміло не лише, що частина ока краща за повну його відсутність. Ми також можемо знайти правдоподібну низку проміжних етапів серед сучасних тварин. Це ще не означає, звісно, що ці сучасні проміжні етапи справді відображають особливості зору предкових видів. Але це засвідчує, що проміжні варіанти можуть функціонувати.

Деякі одноклітинні тварини мають світлочутливу пляму з маленьким пігментним екраном. Цей екран прикриває її від світла, яке надходить з одного напрямку, що дає тварині деяке «уявлення» про те, звідки падає світло. Серед багатоклітинних тварин аналогічну організацію мають різні види червів і деякі молюски, але в них світлочутливі клітини з пігментним екраном зібрані в чашечку. Це дає трохи кращі можливості для визначення напрямку, оскільки кожна клітина вибірково прикривається від променів світла, що надходять до чашечки з її боку. У безперервній низці від плаской ділянки світлочутливих клітин через мілку чашечку до глибокої кожен крок, хоч яким би малим (чи великим) він був, веде до покращення зору. Тепер, якщо зробити чашечку дуже глибокою й загнути її краї вгору, врешті-решт вийде камера-обскура з точковим отвором і без кришталика. Існує безперервно ступінчаста низка варіантів від мілкої чашечки до камери-обскури (для ілюстрації див. перші сім поколінь низки еволюційних змін на рисунку 4).

Камера-обскура формує чітке зображення, причому що менший її отвір, то чіткіше (але тьмяніше) зображення, а що більший отвір, то воно яскравіше (але розмитіше). Плавучий молюск наутилус (*Nautilus*) — доволі дивне кальмароподібне створіння, що живе в черепашці, подібно до вимерлих амонітів (див. «молюск із черепашкою» на рисунку 5), — використовує пару камер-обскур як очі. Загалом ці очі мають таку саму форму, як наші, але без кришталика, а зіниця є просто отвором, що пропускає морську воду у внутрішню порожнину ока. Насправді наутилус є по-своєму доволі загадковим.

Чому за всі сотні мільйонів років відтоді, як його предки вперше розробили такі очі, він так і не «відкрив» принцип кришталика? Перевага кришталика в тому, що він дає зображенню можливість бути чітким *і* яскравим одночасно. Особливо цікаво, що, судячи з якості сітківки наутилуса, він справді багато й одразу ж виграв би від надбання кришталика. Це схоже на високоякісну звукову систему з чудовим підсилювачем, до якої під'єднали грамофон із тупою голкою. Ця система просто-таки кричить про необхідність конкретної простої зміни. Здається, що наутилус сидить у генетичному гіперпросторі просто поряд з очевидним і негайним покращенням, однак не робить необхідного для нього маленького кроку. Чому? Майкла Ленда із Сассекського університету, нашого головного фахівця з очей безхребетних, це турбує, як і мене. Можливо, необхідні мутації не можуть виникнути, зважаючи на спосіб ембріонального розвитку наутилуса? Не хочеться в це вірити, але кращого пояснення я не маю. Принаймні наутилус є свідченням того, що око без кришталика краще за повну його відсутність.

Коли замість ока у вас чашечка, то мало не будь-який розпливчасто вигнутий, розпливчасто прозорий чи навіть напівпрозорий матеріал поверх її отвору буде покращенням завдяки його властивостям, трохи подібним до властивостей кришталика. Він збирає світло по своїй площі й концентрує його на меншій площі сітківки. Одразу ж після появи такого примітивного протокришталика починається безперервно ступінчаста низка покращень, що потовщують його, роблять прозорішим і точнішим. Кульмінацію цього процесу ми могли б назвати справжнім кришталиком. Родичі наутилуса кальмари й восьминоги мають справжні кришталики, дуже схожі на наш, хоча їхні предки, безумовно, «осягнули» весь принцип ока-камери абсолютно незалежно від нас. До речі, Майкл Ленд вважає, що існує дев'ять базових принципів формування зображення, які використовують очі, і що більшість із них виникали багато разів незалежним чином. Наприклад, принцип вигнутого рефлектора радикаль-

но відрізняється від нашого власного ока-камери (ми використовуємо його в радіотелескопах, а також у наших найбільших оптичних телескопах, бо легше зробити велике дзеркало, ніж великий кришталик), а він був незалежним чином «винайдений» різноманітними молюсками та ракоподібними. Інші ракоподібні мають складне око, як у комах (по суті — набір із багатьох крихітних вічок), тоді як інші молюски, як ми вже бачили, мають очі-камери з кришталиками, як у нас, або камери-обскури. Для кожного з цих типів ока існують стадії, що відповідають проміжним еволюційним етапам, які служать очима іншим сучасним тваринам.

Антиеволюційна пропаганда рясніє сумнівними прикладами складних систем, що «ніяк не могли б» пройти крізь поступову низку проміжних етапів. Дуже часто це лише окремі випадки доволі патетичного «аргументу від особистої невіри», з яким ми зустрічалися в розділі 2. Наприклад, одразу після розділу про око в «Шиї жирафа» розглядається жук-бомбардир, який

> *прискає в обличчя свого ворога смертоносну суміш гідрохінону та перекису водню. Змішані разом, ці дві хімічні речовини буквально вибухають. Тому для їхнього зберігання всередині свого тіла жук-бомбардир виробив хімічний інгібітор, що робить їх безпечними. У момент, коли жук прискає цією рідиною з задньої частини тіла, до неї додається антиінгібітор, аби зробити суміш вибуховою знову. Ланцюг подій, що могли привести до еволюції такого складного, скоординованого й хитромудрого процесу, виходить за межі біологічного пояснення на простій покроковій основі. Найменша зміна хімічного балансу одразу призвела б до появи жуків, які самопідриваються.*

Один колега-біохімік люб'язно надав мені пляшечку перекису водню й певну кількість гідрохінону, достатню для 50 жуків-бомбардирів. І зараз я збираюся змішати їх разом.

Якщо вірити сказаному вище, вони мають вибухнути просто мені в обличчя. Отже...

Що ж, я все ще тут, живий і здоровий. Я додав перекис водню до гідрохінону, і абсолютно нічого не сталося. Суміш навіть не нагрілася. Ясна річ, я знав, що так і буде: не такий уже я відчайдух! Твердження, що «змішані разом, ці дві хімічні речовини буквально вибухають», є просто-напросто хибним, хоча й регулярно повторюється в креаціоністській літературі. До речі, якщо вас цікавлять жуки-бомбардири, то насправді відбувається от що. Ці жуки й справді прискають на своїх ворогів пекуче гарячу суміш перекису водню та гідрохінону. Але перекис водню й гідрохінон не реагують бурхливо, якщо не *додати* до них каталізатор. Саме це жук-бомбардир і робить. Що ж до еволюційних попередників цієї системи, то і перекис водню, і різноманітні типи хінонів використовуються в хімії тіла для інших цілей. Пращури жука-бомбардира просто знайшли інше застосування хімічним речовинам, які вже були в наявності. Саме так еволюція часто й працює.

На тій самій сторінці книжки, де й уривок про жука-бомбардира, є запитання: «Яка користь була б від... половини легені? Природний відбір, безумовно, позбувся би створінь із такими дивовижами, а не зберігав би їх». У здорової дорослої людини кожна з двох легень поділяється приблизно на 300 мільйонів крихітних камер на кінчиках розгалуженої системи трубочок. Архітектура цих трубочок нагадує дерево-біоморф у нижній частині рисунка 2 в попередньому розділі. У цьому дереві кількість послідовних розгалужень, визначена «геном 9», становить вісім, а кількість кінчиків гілочок — 2 в ступені 8, тобто 256. У міру опускання очей сторінкою на рисунку 2 кількість кінчиків гілочок послідовно подвоюється. Щоб забезпечити 300 мільйонів кінчиків, знадобилося б лише 29 послідовних подвоєнь. Зверніть увагу, що існує безперервна градація від однієї-єдиної камери до 300 мільйонів крихітних камер, де кожен крок градації забезпечується черговим двостороннім розгалуженням. Та-

кого переходу можна досягти за 29 розгалужень, які можна простодушно уявити як статечну прогулянку в 29 кроків крізь генетичний простір.

Результатом усіх цих розгалужень є те, що площа поверхні всередині кожної легені становить близько 60 м^2. Площа для легень є важливою змінною, бо саме вона визначає швидкість поглинання кисню та виведення відпрацьованого вуглекислого газу. Крім того, треба пам'ятати, що площа є *безперервною* змінною. Площа не належить до тих речей, які ви маєте чи ні. Це річ, якої ви маєте трохи більше або трохи менше. Причому більше, ніж багато інших речей, площа легень доступна для *поступової*, покрокової зміни на всьому шляху від 0 й аж до 60 м^2.

Існує багато людей, які після операції ходять лише з однією легенею, і в декого з них від легень залишається третина нормальної площі. Вони можуть ходити, але не дуже далеко й не дуже швидко. У тому-то й річ. Вплив поступового зменшення площі легень на виживання не є абсолютним, за принципом «все або нічого». Він є поступовим, постійно мінливим впливом на те, як далеко і як швидко ви можете ходити. По суті, поступовим, постійно мінливим впливом на те, як довго ви можете розраховувати прожити. Смерть не приходить раптово після досягнення якоїсь конкретної порогової площі легень! Вона просто поступово стає дедалі ймовірнішою в міру того, як площа легень опускається нижче оптимального значення (або підіймається вище з різних причин, пов'язаних з економічними втратами).

Перші з наших пращурів, які виробили легені, майже напевно жили у воді. Деяке уявлення про те, як вони дихали, можна отримати, подивившись на сучасних риб. Більшість сучасних риб дихають у воді за допомогою зябер, але багато видів, що живуть у брудній багнистій воді, роблять це, хапаючи повітря з поверхні. Вони використовують внутрішню камеру рота як своєрідну примітивну протолегеню, і ця порожнина в деяких випадках збільшується до розмірів дихальної кишені, пронизаної кровоносними судинами. Як ми вже

переконалися, зовсім не важко уявити собі безперервну низку *X*, що з'єднують одну-єдину кишеню з розгалуженим набором із 300 мільйонів кишень, як у сучасній людській легені.

Цікаво, що багато сучасних риб зберегли цю кишеню одинарною, але використовують її з зовсім іншою метою. Хоча вона, можливо, й починалась як легеня, в процесі еволюції вона стала плавальним міхуром — вигадливим пристосуванням, за допомогою якого риби підтримують стан постійної гідростатичної рівноваги. Тварина без повітряного міхура всередині зазвичай є трохи важчою за воду, а тому опускається на дно. Саме тому акули мусять постійно плавати, щоб не потонути. Тварина ж із великими повітряними кишенями всередині, як-от ми з нашими великими легенями, зазвичай підіймається до поверхні. Десь посередині цього континууму тварина з повітряним міхуром якраз потрібного розміру ані тоне, ані спливає, а стабільно плаває собі в рівновазі, що не вимагає зайвих зусиль. Цей трюк сучасні риби (крім акул) якраз і довели до досконалості. На відміну від акул, вони не марнують енергію, намагаючись не потонути. Їхні плавці та хвіст вільні для різкої зміни напрямку та швидкого руху вперед. Вони більше не покладаються на зовнішнє повітря для наповнення міхура, а мають особливі залози для вироблення спеціального газу. Використовуючи ці залози та інші засоби, вони дуже точно регулюють обсяг газу в міхурі, а отже, підтримують себе у стані точної гідростатичної рівноваги.

Декілька видів сучасних риб здатні виходити з води. Крайнім випадком є індійська риба-повзун, яка взагалі рідко буває у воді. Вона незалежним чином виробила в себе різновид легені, доволі відмінний від тих, які мали наші пращури, — повітряну камеру навколо зябер. Інші риби живуть переважно у воді, але здійснюють нетривалі вилазки на сушу. Саме так, мабуть, колись учинили й наші предки. Особливістю цих вилазок є те, що їхня тривалість може варіювати, зменшуючись до нуля. Якщо ви — риба, що переважно живе та дихає у воді, але час від часу наважується вибратися на

землю, можливо щоб переповзти з однієї баюри в іншу, рятуючись від посухи, то можете виграти не лише від половини легені, а й від однієї сотої легені. І не має значення, *наскільки* маленькою є ваша первісна легеня, бо з нею ви зможете витримати без води *деякий час*, що є трохи довшим, аніж ви могли б витримати без легені взагалі. Час є безперервною змінною. Чіткого поділу між тваринами, що дихають у воді та в повітрі, не існує. Різні тварини можуть проводити у воді 99 % свого часу, 98 %, 97 % і т. д. аж до 0. На кожному кроці цього шляху навіть невеличке збільшення площі легень буде певною перевагою. На всьому шляху спостерігається послідовність і поступовість.

Яка користь від половини крила? З чого взагалі почалися крила? Багато тварин стрибають з гілки на гілку, іноді падаючи на землю. При цьому (особливо у дрібних тваринок) вся поверхня їхнього тіла ловить повітря та допомагає стрибку чи гальмує падіння, діючи як примітивна аеродинамічна поверхня. Будь-яка тенденція до збільшення відношення площі поверхні до маси тіла посприяла б появі, наприклад, складок шкіри між кістками кінцівок. Відповідно, існує безперервна низка плавних переходів до планерних крил, а отже, й до махових. Очевидно, існували відстані, які найдавніші тварини з протокрилами перестрибнути не могли. Не менш очевидно, що для *будь-якого* ступеня дрібноти чи примітивності предкових повітровловлювальних поверхонь має бути *якась* відстань, хай невелика, яку можна перескочити зі складками шкіри й не можна перескочити без них.

Або, якщо прототипні складчасті крила слугували для гальмування падіння тварини, не можна говорити: «Складчасті крила менше певного розміру були б узагалі зайвими». Знову ж таки, не має значення, *наскільки* маленькими та несхожими на крила були ці перші складки шкіри. Має бути якась висота (назвемо її h), упавши з якої тварина просто зламала б собі карк, але вижила б, упавши з трохи меншої висоти. У цій критичній зоні будь-яке покращення здатності поверхні тіла ловити повітря й гальмувати падіння, хоч яким би

невеличким воно було, може означати різницю між життям і смертю. Природний відбір у такому разі сприятиме розвитку невеличких прототипних складок шкіри. Коли ж ці невеличкі складчасті крила стануть нормою, критична висота *h* стане трохи більшою. Тепер уже різницю між життям і смертю визначатиме невеличке подальше збільшення цих складок шкіри. І т. д., поки не з'являться справжні крила.

Серед нинішніх тварин можна знайти чудові ілюстрації кожного етапу цього континууму. Є жаби, що планерують за допомогою великих перетинок між пальцями, деревні змії зі сплющеними тілами, що здатні ловити повітря, ящірки зі складками шкіри вздовж тіл, а також декілька різних видів ссавців, що планерують за допомогою складок шкіри, натягнутих між їхніми кінцівками, показуючи нам, з чого, можливо, починали кажани. Усупереч тезам креаціоністської літератури, поширені тварини не лише з «половиною крила», а і з чвертю, трьома чвертями тощо. Ідея польотного континууму стає ще переконливішою, коли згадати, що дуже дрібні тварини зазвичай легко ширяють у повітрі незалежно від їхньої форми. Причина переконливості цієї ідеї полягає в тому, що існує дуже плавно ступінчастий континуум від малого до великого.

Ідея крихітних змін, накопичуваних упродовж багатьох кроків, надзвичайно потужна і здатна пояснити величезний діапазон об'єктів, що інакше залишився б непоясненим. З чого почалася зміїна отрута? Багато тварин кусаються, і слина будь-якої тварини містить у собі білки, що у разі потрапляння до рани можуть викликати алергічну реакцію. Навіть укуси так званих неотруйних змій викликають болючу реакцію в деяких людей. Існує безперервна ступінчаста низка від звичайної слини до смертоносної отрути.

З чого почалися вуха? Будь-яка ділянка шкіри здатна виявляти вібрації, якщо входить у контакт з об'єктами, що вібрують. Це є природним наслідком відчуття дотику. Природний відбір міг би без особливих зусиль покроково розвинути цю здатність, поки шкіра не стала б чутливою

настільки, аби вловлювати *найменші* контактні вібрації. На цьому етапі вона автоматично набула б здатності відчувати *повітряні* вібрації достатньої гучності та/або достатньої близькості походження. Після цього природний відбір посприяв би еволюції особливих органів (вух) для сприйняття повітряних вібрацій, що надходять з дедалі більших відстаней. Легко побачити, що мала б існувати безперервна траєкторія покрокових покращень на всьому шляху. З чого почалась ехолокація? Будь-яка тварина, здатна чути взагалі, може чути й відлуння. Використовувати ці відлуння часто вчаться сліпі люди. Рудиментарна ж версія такого вміння у предкових ссавців надала б достатній початковий матеріал для природного відбору, щоб крок за кроком довести її до високої досконалості в кажанів.

П'ятивідсотковий зір кращий за повну сліпоту. П'ятивідсотковий слух кращий за цілковиту глухоту. П'ятивідсоткова ефективність польоту краща за повну її відсутність. Цілком імовірно, що кожен орган чи апарат, який ми бачимо в живій природі, є результатом плавної траєкторії руху крізь тваринний простір, у якому кожен проміжний етап сприяв виживанню й розмноженню. Щоразу коли ми спостерігаємо *X* у тварини, що реально існує, де *X* — це якийсь орган, надто складний, аби виникнути випадково за один-єдиний крок, то, згідно з теорією еволюції шляхом природного відбору, це має означати, що частина *X* краща за відсутність *X* узагалі, дві частини *X* мають бути кращі за одну, а весь *X* має бути кращим за його дев'ять десятих. Мені геть неважко визнати, що ці твердження справедливі для очей, вух (включно з кажанячими), крил, камуфляжних комах і комах, що мімікрують, зміїних щелеп, жал, зозулиних звичок і всіх інших прикладів, які демонструє нам антиеволюційна пропаганда. Поза будь-яким сумнівом, існує багато *мислимих X*, для яких ці твердження не були б справедливими, багато можливих еволюційних шляхів, для яких проміжні етапи не були випадками вдосконалення їхніх попередників. Але в реальному світі таких *X* не знайдено.

Дарвін писав (у «Походженні видів»):

> *Якби можна було продемонструвати, що існує будь-який складний орган, який неможливо сформувати шляхом численних послідовних невеличких модифікацій, моя теорія геть розвалилася б.*

Через 125 років по тому ми знаємо про тварин і рослини значно більше за Дарвіна, та мені й досі не відомий жоден приклад складного органа, що не міг би сформуватися шляхом численних невеличких послідовних модифікацій. Я не вірю, що такий приклад узагалі колись буде знайдено. Якщо ж це станеться — а це має бути *справді* складний орган, і, як ми побачимо в наступних розділах, слід бути виваженим у тому, що ви розумієте під «невеличкими», — я перестану вірити в дарвінізм.

Іноді історія поступових проміжних етапів чітко прописана у формі тіл сучасних тварин, часом проявляючись у явних недосконалостях їхнього остаточного вигляду. У своєму чудовому нарисі «Великий палець панди» Стівен Ґулд зазначив, що промовисті ознаки недосконалості можуть бути вагомішими доказами еволюції, ніж прояви довершеності. Я ж наведу лише два приклади.

Рибам, що живуть на дні моря, вигідно бути пласкими й обтічними. Є два дуже різних види пласких риб, що живуть на дні моря, і вони виробили свою форму доволі різними способами. Різні види скатів, родичі акул, стали пласкими, так би мовити, очевидним шляхом. Їхні тіла розрослися в сторони, сформувавши великі «крила». Вони схожі на акул, що потрапили під каток, але при цьому залишаються симетричними і «правильними з голови до хвоста». Що ж до камбали, морського язика, палтуса та їхніх родичів, то вони стали пласкими в інший спосіб. Це костисті риби (з плавальними міхурами), споріднені з тріскою, фореллю тощо, і вони не мають нічого спільного з акулами. На відміну від акул, костисті риби, як правило, мають помітну тенденцію

до сплющування у вертикальній площині. Оселедець, наприклад, є радше довгим, аніж широким. Він використовує все своє вертикально сплющене тіло як гребну поверхню, що хвилями вигинається у воді при плаванні. Тому цілком природно, що, коли предки камбали та морського язика обживали морське дно, їм доводилося лягати на один бік, а не на черево, як пращурам скатів. Однак це породило проблему: одне око в них завжди дивилося вниз, у пісок, працюючи неефективно. У процесі еволюції ця проблема була вирішена: нижнє око «пересунулося» вгору.

Повторення цього процесу пересування можна побачити в розвитку кожного малька костистої плаской риби. Мальок камбали починає життя, плаваючи біля поверхні, причому він є симетричним і сплющеним у вертикальній площині, точнісінько як оселедець. Але потім його череп починає рости дивним асиметричним викривленим чином — так, що одне око (наприклад, ліве) пересувається через маківку, опиняючись унаслідок цього на другому боці тіла. Рибка лягає на дно, дивлячись обома очима вгору, — дивовижне видовище в дусі Пікассо. До речі, одні види камбали лягають на правий бік, другі — на лівий, а треті — на той чи другий.

Увесь череп костистої камбали є дивним і викривленим свідченням свого походження. Сама його недосконалість є потужним доказом його давньої історії — історії покрокової зміни, а не навмисного задуму. Жоден розсудливий розробник не задумав би таку потвору, якби мав можливість створити камбалу з чистого аркуша на креслярській дошці. Підозрюю, що найрозсудливіші розробники задумали б щось більш схоже на ската. Але еволюція ніколи не починається з чистого аркуша на креслярській дошці. Вона мусить починатися з того, що вже існує. У випадку скатів це були акули, що вільно плавали. Акули загалом не сплющені з боків, як костисті риби, що вільно плавають, на кшталт оселедців. Якщо вже на те пішло, акули трохи сплющені зі спини до черева. Це призвело до того, що, коли деякі давні акули почали обживати морське дно, вони легко й невимушено

набули форми ската, і кожен проміжний етап цього переходу був невеличким покращенням з огляду на умови життя на дні порівняно з трохи менш сплющеним попередником.

З іншого боку, коли на дні обживався предок камбали й палтуса, подібно до оселедця сплющений з боків у вертикальній площині, йому було зручніше лежати на боці, аніж ненадійно балансувати на своєму гострому, мов лезо ножа, череві! Навіть попри те, що перебіг його еволюції врешті-решт привів до складних і, мабуть, витратних викривлень, потрібних, щоб мати обидва ока на одному боці тіла, попри те, що спосіб сплющення ската міг, *урешті-решт,* бути найкращим задумом і для костистих риб, представники проміжних етапів на цьому еволюційному шляху в короткостроковій перспективі, вочевидь, жили гірше, ніж їхні конкуренти, що лягали на бік. Адже цим конкурентам вдавалося значно краще притиснутися до дна. У генетичному гіперпросторі існує плавна траєкторія, що з'єднує предкову костисту рибу, що вільно плаває, з камбалою, що лежить на боці з викривленим черепом. Не існує плавної траєкторії, яка з'єднує цю предкову костисту рибу з камбалою, що лежить на череві. Це припущення, звісно, не може відображати всю повноту картини, бо деякі костисті риби все ж виробили симетричну пласку форму, як у скатів. Можливо, їхні предки були вже трохи сплющені з якоїсь іншої причини.

Мій другий приклад еволюційної прогресії, що не відбулася через невигідні проміжні етапи, навіть попри те, що вона могла б урешті-решт виявитися кращою, стосується сітківки наших (та й усіх інших хребетних) очей. Оптичний нерв, як і будь-який інший, є таким собі багатожильним кабелем — пучком окремих «ізольованих» проводків, яких у цьому випадку налічується близько трьох мільйонів. Кожен із цих трьох мільйонів проводків веде від однієї з клітин сітківки до мозку. Можна уявити їх проводками, що ведуть від банку трьох мільйонів фотоклітин (насправді трьох мільйонів ретрансляційних станцій, що збирають інформацію від іще більшої кількості фотоклітин) до «комп'ютера», який

має обробляти цю інформацію в мозку. Вони збираються разом з усієї сітківки в єдиний пучок, який і є оптичним нервом цього ока.

Будь-який інженер, природно, припустив би, що фотоклітини мають бути розвернуті до світла, а їхні проводки — вести назад, до мозку. Він би посміявся з припущення, що фотоклітини можуть бути розвернуті від світла, а їхні проводки виходити на бік, *найближчий* до світла. Однак саме це відбувається в сітківках усіх хребетних. Кожна їхня фотоклітина, по суті, «під'єднана» задом наперед, а її «провід» стирчить у бік, найближчий до світла. Цей «проводок» мусить тягнутися через усю поверхню сітківки до точки, де він пірнає в отвір сітківки (так звану «сліпу пляму»), щоб приєднатися до оптичного нерва. Це означає, що світло замість того, щоб безперешкодно проходити до фотоклітин, має продиратися крізь ліс з'єднувальних проводків, переважно зазнаючи хоча б деяких затухань і викривлень (насправді, може, й невеликих, але сам *принцип* образив би почуття будь-якого скрупульозного інженера!).

Я не знаю точного пояснення такого дивного стану справ. Відповідний період еволюції був так давно... Але я готовий закластися, що це якось пов'язано з траєкторією, шляхом крізь еквівалент Землі біоморфів у реальному житті, який треба було пройти, щоб розвернути сітківку правильним чином, починаючи від якогось предкового органа, що передував оку. Можливо, така траєкторія існує, але ця гіпотетична траєкторія, реалізована у справжніх тілах проміжних тварин, виявилася невигідною — невигідною лише в певний момент часу, але достатньо й цього. Проміжні форми могли бачити навіть гірше, ніж їхні неідеальні предки, і те, що вони створювали кращий зір для своїх далеких нащадків, цього не змінить! Значення має лише виживання тут і зараз.

Закон бельгійського палеонтолога Луї Долло стверджує, що еволюція є незворотною. Це твердження часто плутають із купою ідеалістичної маячні про неминучість прогресу, часто в поєднанні з безграмотною маячнею про еволюцію,

що «порушує другий закон термодинаміки» (люди, що належать до половини освіченого населення, яке, за словами романіста Ч. П. Сноу, знає, що таке цей другий закон, зрозуміють, що еволюція порушує його не більше, ніж зростання немовляти). Немає жодних причин, з яких загальні тенденції в еволюції не можна було б розвернути у зворотному напрямку. Якщо впродовж певного часу в процесі еволюції існує тенденція до збільшення рогів, згодом знову може легко виникнути тенденція до їхнього зменшення. Закон Долло насправді — лише твердження про статистичну неймовірність проходження тієї самої еволюційної траєкторії двічі (або, по суті, будь-якої *конкретної* траєкторії) в будь-якому напрямку. Один-єдиний мутаційний крок можна легко розвернути. Але для більшої кількості мутаційних кроків, навіть у випадку біоморфів з їхніми дев'ятьма невеличкими генами, математичний простір усіх можливих траєкторій є настільки величезним, що шанси на можливий прихід двох траєкторій у ту саму точку стають малими аж до зникнення. Це ще справедливіше для реальних тварин з їхньою значно більшою кількістю генів. У законі Долло немає нічого таємничого чи загадкового, і це не те, що ми виходимо й «перевіряємо» в природі. Він просто випливає з елементарних законів імовірності.

З тієї самої причини неймовірно аж до зникнення, що той самий еволюційний шлях може колись бути пройдено двічі. І з тих самих статистичних причин здається так само неймовірним, що дві лінії еволюції можуть зійтися в одній кінцевій точці з різних відправних.

Тому ще приголомшливішим свідченням потуги природного відбору є те, що в реальній природі можна знайти численні приклади, в яких незалежні лінії еволюції начебто зійшлися з дуже різних відправних точок у те, що дуже схоже на одну кінцеву. Якщо придивитись уважніше, ми помітимо (було б тривожно, якби не помітили), що конвергенція тут не є повною. Різні лінії еволюції виявляють своє незалежне походження багатьма деталями. Наприклад, очі восьминога

дуже нагадують наші, але провідки, що ведуть від їхніх фотоклітин, не розвернені вперед до світла, як у нас. У цьому сенсі очі восьминога задумані «розумніше». Вони прийшли до аналогічної кінцевої точки з зовсім іншої відправної. І цей факт виявляють деталі на кшталт згаданої.

Такі поверхові конвергентні подібності часто надзвичайно вражають, і решту розділу я присвячу деяким із них. Вони надають найприголомшливіші докази здатності природного відбору компонувати добрі задуми. Однак той факт, що поверхово аналогічні задуми також відрізняються, свідчить про незалежність їхнього еволюційного походження та історій. Основним обґрунтуванням є те, що, коли задум достатньо добрий, аби виникнути раз, *принцип* цього задуму достатньо добрий, аби виникнути двічі з різних відправних точок у різних частинах царства тварин. Ніде це не ілюструється краще, ніж у прикладі, який ми використали для нашої базової демонстрації доброго задуму як такого — ехолокації.

Більша частина того, що ми знаємо про ехолокацію, походить від кажанів (та людських інструментів), але вона також спостерігається в багатьох інших неспоріднених груп тварин. Її практикують щонайменше дві окремі групи птахів, тоді як у дельфінів і китів вона доведена до дуже високого рівня досконалості. Більше того, вона майже безумовно була «відкрита» незалежним чином принаймні двома різними групами кажанів. Птахами, що її практикують, є південноамериканські гуахаро та далекосхідні печерні салангани — ті самі, гнізда яких використовують для приготування відомого супу. Обидва види гніздяться глибоко в печерах, куди майже або й зовсім не потрапляє світло, і обидва орієнтуються в темряві за допомогою відлунь від свого власного клекоту. В обох випадках цей клекіт є чутним для людей, а не ультразвуковим, як більш спеціалізовані клацання кажанів. І жоден із цих видів птахів, схоже, не довів ехолокацію до такого рівня досконалості, як кажани. Їхній клекіт не є частотно модульованим і навряд чи придатний для вимірювання швидкості за допомогою доплерівського зсуву.

Можливо, подібно до плодоїдних кажанів *Rousettus*, вони просто засікають паузу між кожним голосовим сигналом і його відлунням.

У цьому випадку можна бути абсолютно певним, що ці два види птахів винайшли ехолокацію незалежно від кажанів і один від одного. Хід міркувань тут такий самий, який часто використовують еволюціоністи. Ми дивимося на всі тисячі видів птахів і бачимо, що переважна більшість із них не використовують ехолокацію. Її практикують лише два окремі невеликі роди, причому між ними немає більше нічого спільного, крім того, що вони обидва живуть у печерах. Хоча ми і вважаємо, що всі птахи й кажани мають спільного пращура, якщо простежити їхній родовід достатньо далеко, цей спільний пращур був також спільним для всіх ссавців (включно з нами) та всіх птахів. Переважна більшість ссавців і переважна більшість птахів не використовують ехолокацію, і цілком імовірно, що їхній спільний пращур теж цього не робив (як і не літав — це ще одна здатність, яка була вироблена незалежним чином декілька разів). Звідси випливає, що здатність до ехолокації кажани та птахи розвинули в себе незалежним чином, так само, як відповідна технологія була незалежним чином розроблена британськими, американськими та німецькими вченими. Подібні міркування, тільки у меншому масштабі, приводять до висновку, що спільний предок гуахаро й печерних саланганів теж не використовував ехолокацію і що ці два роди виробили однакову здатність незалежно один від одного.

Серед ссавців кажани також не єдина група, що розробила технологію ехолокації. Незначною мірою (як це роблять сліпі люди) відлуння, схоже, використовують декілька різних видів ссавців, наприклад землерийки, щури й тюлені, але єдиними тваринами, здатними зрівнятися з кажанами в досконалості, є кити. Кити поділяються на дві основні групи — зубасті й вусаті. Обидві належать, звісно ж, до ссавців, що походять від сухопутних предків, причому цілком могли «винайти» китовий спосіб життя незалежно одна від одної,

почавши з різних відправних точок. До зубастих китів належать кашалоти, косатки й різні види дельфінів, які полюють на відносно велику здобич, таку як риба й кальмари, яку вони ловлять своїми пащами. Декілька видів зубастих китів, з яких ретельно вивчені лише дельфіни, виробили у своїх головах вигадливі механізми ехолокації.

Дельфіни випускають швидкі черги високочастотних клацань, частина яких є чутними для нас, а решта — ультразвуковими. Можливо, що з випусканням гідроакустичних сигналів якось пов'язаний так званий «мелон» — опуклий купол у передній частині голови дельфіна, що за цікавим збігом схожий на химерно опуклий купол радара розвідувального літака раннього радіолокаційного попередження «*Nimrod*», але принцип його роботи поки що до кінця не зрозумілий. Як і у кажанів, у дельфінів порівняно низька «чергова частота» клацання, що зростає до швидкісного (400 клацань на секунду) гудіння, коли тварина наближається до здобичі. По суті, навіть «низька» чергова частота є доволі високою. Мабуть, найвправнішими ехолокаторами є річкові дельфіни, що живуть у каламутній воді, але й деякі дельфіни — жителі відкритого моря теж показали доволі непогані результати тестів. Атлантичний пляшконосий дельфін здатен розрізняти кола, квадрати й трикутники (всі з однаковою стандартною площею), використовуючи лише свій сонар. Він може визначити, яка з двох цілей розташована ближче, коли різниця становить лише близько 3 см, за загальної відстані близько 6,5 м. А також виявити сталеву кульку розміром із половину м'яча для гольфу на відстані 65 м. Ці показники, можливо, поступаються людському *зору* при яскравому світлі, але кращі за людський зір при місячному сяйві.

Було висунуто цікаве припущення, що дельфіни могли б доволі легко передавати один одному «уявні картинки», якби вони вирішили їх використовувати. Для цього їм потрібно було б лише імітувати своїми універсальними голосами схему звуку, що породжується відлуннями від конкретного об'єкта. У такий спосіб вони могли би передавати один

одному уявні образи таких об'єктів. От тільки жодних доказів цього захопливого припущення немає. Теоретично кажани могли б робити те саме, але дельфіни здаються ймовірнішими кандидатами, бо загалом вони є більш соціальними істотами. Вони також, можливо, є «розумнішими», але це не обов'язково важлива деталь. Інструменти, що знадобилися б їм для передавання образів, не складніші за ті, які кажани та дельфіни вже мають для ехолокації як такої. І це видається легким поступовим переходом від використання голосу для породження відлунь до імітації їх.

Виходить, що як мінімум дві групи кажанів, дві групи птахів, зубасті кити, ще й декілька інших видів ссавців (меншою мірою) незалежним чином вийшли на технологію сонара за якийсь час упродовж останніх ста мільйонів років. Нам не дано про це дізнатися, але, можливо, цю технологію незалежним чином виробили й якісь інші нині вимерлі тварини на кшталт птеродактилів.

Ані в комах, ані в риб використання сонара наразі не зафіксовано, але дві доволі різні групи риб, одна у Південній Америці, друга в Африці, виробили дещо подібну систему орієнтування, що здається приблизно такою ж складною й уявляється схожим, але іншим розв'язанням тієї самої проблеми. Ідеться про так званих слабоелектричних риб. Назва «слабоелектричні» покликана відрізняти їх від сильноелектричних риб, що використовують електричні поля не для орієнтації у просторі, а для оглушення своєї здобичі. Техніку оглушення, між іншим, теж незалежним чином, винайшли декілька неспоріднених груп риб, як-от електричні «вугрі» (які не є справжніми вуграми, але за формою тіла подібні до них) та електричні скати.

Південноамериканські та африканські слабоелектричні риби є доволі далекими родичами, але обидві групи живуть в однакових типах вод своїх континентів, вод, надто каламутних для ефективного зору. Фізичний принцип, який вони експлуатують, — електричні поля у воді — є ще більш чужим для нашої свідомості, ніж той, що використовують

кажани та дельфіни. Ми принаймні маємо суб'єктивне уявлення про те, що таке відлуння, але майже не маємо суб'єктивного уявлення про те, на що може бути схоже сприйняття електричного поля. Ще кілька століть тому ми навіть гадки не мали про існування електрики. Як суб'єктивні людські істоти ми не можемо уявити, що відчувають електричні риби, але як фізики можемо їх зрозуміти.

На обідній тарілці легко побачити, що м'язи з кожного боку будь-якої риби розташовані у вигляді ряду сегментів, *батареї* м'язових тканин. У більшості риб вони скорочуються послідовно, вигинаючи тіло хвилями, що штовхають його вперед. У електричних же риб (як сильно-, так і слабоелектричних) м'язи стали батареєю в електричному сенсі. Кожен сегмент («клітина») цієї батареї генерує напругу. Ці напруги з'єднані послідовно вздовж усієї довжини тіла таким чином, що в сильноелектричної риби (наприклад, електричного вугра) вся батарея генерує аж 1 ампер за 650 вольтів. Потужності електричного вугра цілком достатньо, щоб оглушити людину. Слабоелектричні риби використовують електрику суто для збирання інформації, тож високі напруги чи струми їм не потрібні.

Принцип електролокації, як це назвали, доволі добре зрозумілий з погляду фізики, хоча й не дає уявлення про те, як це — почуватися електричною рибою. Ось такий опис однаково підходить для африканських і південноамериканських слабоелектричних риб — конвергенція тут повна. Струм виходить із передньої половини тіла риби в воду лініями, що вигинаються назад і повертаються до хвостового кінця. Насправді це не окремі «лінії», а безперервне «поле», невидимий електричний кокон, що оточує тіло риби. Однак нам легше уявити їх у вигляді вигнутих ліній, що виходять з риби крізь низку «гарматних портів» (спеціальних отворів, розташованих уздовж передньої половини її тіла), вигинаються у воді та входять у рибу знову біля кінчика її хвоста. При кожному такому отворі риба має такий собі крихітний вольтметр, що вимірює напругу. Коли риба зупиняється

у вільній воді без жодних перешкод навколо, ці лінії мають вигляд плавних кривих. Крихітні вольтметри при кожному отворі реєструють напругу як «нормальну» для її «гарматних портів». Але якщо поблизу з'явиться якийсь сторонній предмет, скажімо камінь чи їжа, лінії струму, що натраплять на цей предмет, зміняться. Це змінить напругу при тому отворі, лінія струму з якого зазнала впливу, і відповідний вольтметр зареєструє цей факт. Тож теоретично, порівнюючи схему напруг, зареєстрованих вольтметрами при всіх отворах, комп'ютер міг би розрахувати схему перешкод навколо риби. Вочевидь, саме це мозок риби й робить. Знову ж таки, це не обов'язково має означати, що риби є чудовими математиками. Вони просто мають апарат, що розв'язує необхідні рівняння, так само, як наші мізки підсвідомо розв'язують рівняння щоразу, як ми ловимо м'яч.

Дуже важливо, аби тіло риби залишалося при цьому абсолютно прямим. Комп'ютер у голові не зміг би впоратись із додатковими викривленнями, що виникли б у випадку вигинання й перекручення тіла, як у звичайної риби. Електричні риби щонайменше двічі незалежним чином наштовхувалися на цей винахідливий спосіб орієнтації у просторі, але вони мусять платити за нього певну ціну: їм довелося відмовитися від звичайного для риб високоефективного способу плавання, коли все тіло вигинається зміїстими хвилями. Вони розв'язали цю проблему, утримуючи тіло прямим, як палиця, але маючи один-єдиний довгий плавець уздовж усього тіла. Себто замість усього тіла в них хвилями вигинається лише цей довгий плавець. Риби просуваються крізь воду доволі повільно, але все ж рухаються, і, вочевидь, принесення в жертву швидкості руху того варте: здобутки в орієнтації, схоже, переважають втрати у швидкості плавання. Цікаво, що південноамериканські електричні риби знайшли майже точно таке саме рішення, як африканські, але не зовсім. Відмінність промовиста. Обидві групи виробили один-єдиний довгий плавець, що проходить через усе тіло, але в африканських риб він розташований уздовж спини, тоді

як у південноамериканських проходить уздовж черева. Як ми вже бачили, такого типу відмінності в деталях є дуже характерними для конвергентної еволюції. Характерні вони, звісно, і для конвергентних проектів інженерів.

Хоча більшість слабоелектричних риб (як африканської, так і південноамериканської групи) випускають свої електричні розряди окремими імпульсами, через що й називаються «імпульсними» видами, меншість видів обох груп роблять це інакше й називаються, відповідно, «хвильовими». У деталі заглиблюватись я не буду. Для цього розділу важливо лише те, що розподіл на імпульсні та хвильові виникав двічі незалежним чином у неспоріднених груп риб Нового й Старого Світу.

Один із найдивніших прикладів конвергентної еволюції, який я тільки знаю, стосується так званих періодичних цикад. Перш ніж перейти до конвергенції, мушу викласти деяку довідкову інформацію. У багатьох комах спостерігається доволі чітка межа між стадією ювенільного годування, в якій вони проводять більшу частину свого життя, і порівняно короткою стадією дорослого розмноження. Мухи-одноденки, наприклад, проводять більшу частину свого життя у вигляді личинки, що годується під водою, а потім підіймаються у повітря на один-єдиний день, в який уміщують усю свою дорослу стадію. Дорослу муху можна уявити аналогом ефемерної крилатої насінини рослини на кшталт платана, а личинку — аналогом основної рослини. Відмінність полягає лише в тому, що платани утворюють багато насінин і розсіюють їх упродовж багатьох років поспіль, тоді як личинка одноденки породжує лише одну дорослу муху під кінець свого власного життя. У будь-якому разі, періодичні цикади довели тенденцію одноденок до крайнощів. Дорослі особини живуть кілька тижнів, але «ювенільна» стадія (з технічного погляду — «німфи», а не личинки) триває в них упродовж 13 (в одних різновидів) або 17 (у інших) років. Дорослі особини з'являються майже одночасно, провівши 13 (або 17) років замкненими під землею. Масова поява цикад, що відбувається в тій чи іншій конкретній місцевості з чіт-

кою періодичністю — раз на 13 (або 17) років, є справжнім приголомшливим нашестям, через що американці помилково називають їх у просторіччі «сараною». Різновиди ці відомі відповідно як 13- й 17-річні цикади.

А тепер справді дивовижний факт. Виявляється, що існує не лише один вид 13-річних цикад і один — 17-річних. Радше існують три види, причому кожен із них має як 17-річний, так і 13-річний підвид, чи расу. Отже, розподіл на 13- та 17-річну раси виникав незалежним чином не менше трьох разів. Схоже на те, що проміжні періоди — 14, 15 та 16 років — не менше трьох разів конвергенції уникали. Чому? Ми не знаємо. Єдине припущення, що колись висловлювалось, полягає в тому, що 13 і 17, на відміну від 14, 15 та 16, є простими числами. Простими називаються числа, що не діляться без залишку на будь-яке інше число. Суть цієї версії у тому, що раса тварин, які регулярно вибухають нашестями, отримує перевагу почергового надлишку й нестачі харчів для її ворогів, хижаків чи паразитів. І якщо ці нашестя ретельно рознести в часі на просте число років, ворогам буде значно складніше синхронізувати з ними власні життєві цикли. Якби цикади з'являлися, наприклад, кожні 14 років, то їх міг би експлуатувати якийсь паразитичний вид із 7-річним життєвим циклом. Ідея доволі дивна, але не дивніша за саме явище. Насправді ми не знаємо, що такого особливого в 13 й 17 роках. Для нашої теми важливо лише те, що в цих числах має бути *щось* особливе, бо на них чомусь незалежним чином зійшлися три різні види цикад.

Великомасштабні приклади конвергенції з'являються тоді, коли два чи більше континентів ізольовані один від одного впродовж довгого часу й на кожному з них неспоріднені тварини опановують паралельну низку «занять». Під «заняттями» я розумію способи добування харчів на кшталт викопування хробаків, видлубування мурах, полювання на великих травоїдних, об'їдання листя з дерев. Гарним прикладом є конвергентна еволюція цілої низки занять ссавців на окремих континентах Південної Америки, Австралії та Старого Світу.

Ці континенти не завжди були окремими. Оскільки наші життя вимірюються десятиліттями (і навіть наші цивілізації й династії вимірюються лише століттями), ми звикли сприймати мапу світу та обриси континентів на ній як незмінні. Німецький геофізик Альфред Веґенер висунув теорію про дрейфування континентів уже давно, але більшість людей сміялися з нього ще й після Другої світової війни. Загальновизнаний факт, що Південна Америка й Африка трохи схожі на розділені фрагменти пазлу, вважався просто цікавим збігом. Однак унаслідок однієї з найшвидших і найдовершеніших революцій, які тільки знала наука, колись суперечлива теорія так званого континентального дрейфу була повсюдно визнана під назвою тектоніки плит. Сьогодні доказів того, що континенти пережили дрейф і Південна Америка, приміром, справді колись відкололася від Африки, буквально безліч, але ця книжка не про геологію, і я не розглядатиму їх тут. Для нас важливо те, що континентальний дрейф має приблизно таку саму повільну часову шкалу, як і еволюція тварин, і ми не можемо ігнорувати перший, якщо хочемо зрозуміти схеми другої.

Отже, ще близько 100 мільйонів років тому Південна Америка була з'єднана з Африкою на сході та з Антарктидою на півдні. Антарктида була з'єднана з Австралією, а Індія — з Африкою через Мадагаскар. По суті, існував один величезний південний континент, який ми тепер називаємо Ґондваною, що складався з нинішніх Південної Америки, Африки, Мадагаскару, Індії, Антарктиди й Австралії, разом узятих. Існував також один-єдиний великий північний континент під назвою Лавразія, що складався з нинішніх Північної Америки, Ґренландії, Європи та Азії (крім Індії). Північна Америка не була з'єднана з Південною. Приблизно 100 мільйонів років тому стався великий розкол земних масивів, і континенти відтоді почали повільно зміщуватися до своїх нинішніх положень (вони, ясна річ, продовжуватимуть дрейфувати і в майбутньому). Африка з'єдналася з Азією Аравійським півостровом і стала частиною величезного континенту, який ми тепер назива-

ємо Старим Світом. Північна Америка відсунулася від Європи, Антарктиду віднесло на південь до її нинішнього розташування серед вічної криги. Індія відірвалася від Африки й мандрувала через нинішній Індійський океан, поки не врізалась у Південну Азію й не здійняла Гімалаї. Австралія відсунулася від Антарктиди у відкрите море, ставши острівним континентом, розташованим за багато кілометрів від усіх інших.

Так сталося, що розкол великого південного континенту Ґондвани розпочався в епоху динозаврів. Коли Південна Америка й Австралія відкололися, щоб почати свої довгі періоди ізоляції від решти світу, вони обидві несли свій власний вантаж динозаврів, а також менш примітних тварин, яким судилося стати пращурами сучасних ссавців. Значно пізніше з незрозумілих причин, що є благодатною темою для спекуляцій, динозаври (за винятком групи, яку ми тепер називаємо птахами) вимерли, причому в усьому світі. Це залишило вакуум у «заняттях», відкритий для сухопутних тварин. Цей вакуум був заповнений упродовж періоду в мільйони років еволюції здебільшого ссавцями. Для нас тут цікаво те, що існували три незалежні вакууми й вони були незалежним чином заповнені ссавцями в Австралії, Південній Америці та Старому Світі.

Усі примітивні ссавці, що жили на цих трьох територіях, коли динозаври більш-менш одночасно звільнили великі життєві ніші, були доволі дрібними й незначними (можливо, нічними), і раніше їх затьмарювали й пересилювали динозаври. І от вони отримали можливість вільно еволюціонувати, причому в радикально різних напрямках, на цих трьох територіях. Певною мірою саме так і сталося. У Старому Світі немає нічого, що нагадувало б гігантського наземного лінивця Південної Америки, тепер, на жаль, вимерлого. Великий діапазон південноамериканських ссавців включав у себе вимерлу гігантську морську свинку розміром із сучасного носорога, але гризуна (мушу уточнити, що саме сучасного носорога, бо у фауні Старого Світу був і гігантський носоріг розміром із двоповерховий будинок). Але хоча ко-

жен із континентів породив своїх унікальних ссавців, загальна схема еволюції на всіх трьох територіях була однаковою. Ссавці всіх трьох континентів, що опинилися там із самого початку, еволюціонували й розмножилися, породивши спеціалістів для кожного заняття, які в багатьох випадках дивовижним чином нагадували відповідних спеціалістів з інших двох континентів. Кожне заняття: риття підземних ходів, полювання на велику здобич, випас на рівнині і т. ін. — стало предметом незалежної конвергентної еволюції зразу на двох чи трьох окремих континентах. На додачу до цих трьох основних територій незалежної еволюції власні цікаві паралельні історії, у які я не вдаватимусь, мають також менші острови на кшталт Мадагаскару.

Якщо не брати до уваги дивних яйцекладних ссавців Австралії — качконоса та єхидну, — кожного з сучасних ссавців можна віднести до однієї з двох великих груп. Це сумчасті (дитинчата яких народжуються дуже маленькими й підростають у спеціальній сумці) та плацентарні (решта, включно з нами). Сумчасті почали домінувати в еволюційній історії Австралії, а плацентарні — Старого Світу, тоді як у Південній Америці важливі ролі відіграли обидві групи. Еволюційна історія Південної Америки ускладнюється тим фактом, що вона зазнавала спорадичних хвиль вторгнення ссавців із Північної Америки.

Ну от, підготувавши таким чином сцену, можна тепер розглянути деякі заняття та приклади конвергенції детальніше. Важливе заняття пов'язане з експлуатацією просторих пасовищ, відомих як прерії, пампаси, савани тощо. До тих, хто практикує це заняття, належать коні (їхні основні африканські види називаються зебрами, а пустельні моделі — віслюками) та корови, такі як північноамериканський бізон, доведений сьогодні полюванням мало не до повного зникнення. Травоїдні тварини зазвичай мають дуже довгі кишечники, що містять різноманітні типи ферментативних бактерій, оскільки трава — харч низької якості й потребує ретельного перетравлювання. Замість того, щоб розбивати

харчування на окремі прийоми їжі, вони зазвичай їдять більш-менш постійно. Упродовж усього дня крізь них рікою течуть величезні маси рослинного матеріалу. Ці тварини часто бувають дуже великими і здебільшого пасуться великими стадами. Кожен із цих великих травоїдних є горою цінної поживи для будь-якого хижака, здатного до нього дістатися. Унаслідок цього, як ми побачимо нижче, існує заняття, присвячене виключно складному завданню їхньої ловлі та вбивства. Це хижацтво. Насправді, коли я кажу «заняття», маю на увазі цілий рід занять з окремими спеціалізаціями: леви, леопарди, гепарди, дикі собаки та гієни — кожен із них полює по-своєму. Такого ж типу розподіл на спеціалізації спостерігається і в травоїдних та представників усіх інших «занять».

Травоїдні мають добре розвинені органи чуття, за допомогою яких вони постійно пильнують хижаків, і зазвичай здатні дуже швидко бігати, щоб за необхідності втекти. Саме тому вони часто мають довгі тонкі ноги й бігають зазвичай на кінчиках пальців, що в процесі еволюції особливим чином видовжилися й зміцніли. Нігті на кінцях цих спеціалізованих пальців стали великими й твердими, і ми називаємо їх копитами. Рогата худоба має на кінці кожної ноги два збільшених пальці — знайомі нам «роздвоєні» копита. У коней майже те саме, за тим винятком, що, можливо через якусь історичну випадковість, вони бігають лише на одному пальці замість двох. Колись він був середнім із п'яти. Інші пальці в процесі еволюції майже повністю зникли, хоча час від часу заново з'являються у вигляді химерних атавізмів.

Як бачимо, в той період, коли в інших частинах світу відбувалась еволюція коней і рогатої худоби, Південна Америка була від них відрізана. Але Південна Америка теж має великі пасовища, і там еволюціонували власні окремі групи великих травоїдних, що використовували цей ресурс. Там були масивні носорогоподібні левіафани, що зі справжніми носорогами не мали жодного зв'язку. Черепи деяких із перших південноамериканських травоїдних наводять на думку, що вони «винайшли» хобот незалежно від справжніх слонів.

Деякі нагадували верблюдів, деякі не були схожі на жодну з тих тварин, що сьогодні живуть на Землі, або були на вигляд як дивні примари сучасних тварин. Група під назвою «літоптерни» за своїми ногами майже неймовірно аналогічна коням, однак жодним чином не споріднена з ними. Ця зовнішня схожість навіть обдурила одного аргентинського спеціаліста XIX століття, який із національною гордістю, яку ми йому пробачимо, вирішив, що вони були пращурами всіх коней у решті світу. Фактично ж їхня схожість із кіньми була поверховою й конвергентною. Життя на пасовищах майже однакове в усьому світі, і коні та літоптерни незалежним чином виробили однакові якості для розв'язання проблем такого життя. Зокрема, літоптерни, як і коні, втратили всі свої пальці на ногах, крім середнього, який збільшився до нижнього зчленування ноги і сформував копито. Ногу літоптерна майже неможливо відрізнити від ноги коня, однак ці тварини споріднені лише віддалено.

В Австралії ж на пасовищах панують зовсім інші великі тварини — кенгуру. Вони мають таку саму потребу в швидкому русі, але реалізували її інакше. Замість доводити до високого рівня досконалості галопування на чотирьох ногах, як це зробили коні (й буцімто літоптерни), кенгуру удосконалили іншу здібність — до стрибків на двох ногах із великим хвостом для балансування. Немає сенсу дискутувати про те, яка з цих двох здібностей «краща». Кожна з них високоефективна, якщо тіло еволюціонує таким чином, щоб використовувати її на повну. Так сталося, що коні та літоптерни використовують галопування на чотирьох ногах, тож і отримали внаслідок майже ідентичні ноги. Кенгуру ж використовують стрибки на двох ногах, тому розвинули зрештою свої власні унікальні (принаймні з часів динозаврів) масивні задні лапи та хвіст. Кенгуру й коні прийшли в різні кінцеві точки «тваринного простору», можливо, через якусь випадкову відмінність їхніх відправних точок.

Звернувши тепер увагу на м'ясоїдів, від яких ці великі мешканці пасовищ утікали, ми знайдемо ще захопливіші

конвергенції. У Старому Світі ми знайомі з такими великими мисливцями, як вовки, собаки, гієни та великі кішки — леви, тигри, леопарди й гепарди. Здається, зовсім нещодавно вимерли «шаблезубі тигри» — великі кішки, названі так за свої колосальні ікла, що стирчали донизу з верхньої щелепи перед жахливою, мабуть, пащекою. В Австралії ж чи у Новому Світі до останнього часу справжніх кішок і собак не водилося (пуми і ягуари пішли від кішок Старого Світу не так уже й давно). Але на обох цих континентах існували їх сумчасті еквіваленти. В Австралії був тилацин, або сумчастий «вовк» (якого часто називають тасманійським, бо в Тасманії він протримався трохи довше, ніж в Австралії), свідки трагічного винищення якого живі й досі. Люди у величезних кількостях відстрілювали його як «шкідника» та заради «спорту» (залишається слабка надія, що він міг зберегтись у віддалених районах Тасманії, які сьогодні зазнають руйнувань «в інтересах забезпечення зайнятості населення»). До речі, не треба плутати його з динго, який є справжнім собакою, завезеним до Австралії останнім часом аборигенами. У знятому в 1930-х роках кінофільмі про останнього відомого тилацина, що неспокійно міряє кроками свою самотню клітку в зоопарку, ми бачимо дуже схожу на собаку тварину, сумчаста природа якої проявляється лише в її трохи не собачому способі тримати таз і задні лапи, можливо через розташування сумки. Для будь-якого любителя собак споглядання такого альтернативного підходу до задуму собаки, цього еволюційного мандрівника паралельним шляхом, від якого нас відділяють 100 мільйонів років, цього почасти знайомого, почасти абсолютно чужого собаки з інших світів, є зворушливим досвідом. Можливо, вони й були шкідниками для людей, але люди завдали їм значно більшої шкоди — тилацинів наразі на планеті не залишилось, а от людей — явний надлишок.

У Південній Америці упродовж довгого періоду ізоляції, який ми розглядаємо, теж не було справжніх собак чи кішок, але, як і в Австралії, водилися їхні сумчасті еквівален-

ти. Мабуть, найбільш ефектним був сумчастий шаблезуб (*Thylacosmilus*), на вигляд такий самісінький, як нещодавно вимерлий «шаблезубий тигр» Старого Світу, тільки яскравіший, якщо ви розумієте, що я маю на увазі. Його пащека з кинджалами ікол була ще ширшою, і я уявляю, що жах він наводив іще більший. Його назва відображує зовнішню схожість із шаблезубим тигром (*Smilodon*) і тасманійським вовком (*Thylacinus*), але з погляду родинних зв'язків він дуже далекий від них обох. Трохи ближчий він до тилацина, оскільки обидва є сумчастими, але вони набули свого вигляду великих хижаків незалежним чином на різних континентах — незалежно один від одного та від плацентарних м'ясоїдів, справжніх кішок і собак Старого Світу.

Австралія, Південна Америка та Старий Світ пропонують іще багато прикладів множинної конвергентної еволюції. В Австралії водиться сумчастий «кріт», який зовні відрізняється від знайомих нам кротів інших континентів лише наявністю сумки, веде такий самий спосіб життя, як інші кроти, і має такі самі надзвичайно розвинені передні лапи для риття ходів. Водиться в Австралії й сумчаста миша, хоча в цьому випадку схожість є не такою близькою, та й спосіб життя не зовсім однаковий. Поїдання мурах (де до «мурах» для зручності зазвичай відносять і термітів — інший приклад конвергенції, як ми побачимо нижче) є нішею, заповненою розмаїттям конвергентних ссавців. Вони можуть розподілятися на мурахоїдних, тих, що риють ходи, лазять по деревах і блукають по землі. В Австралії, як можна було очікувати, водиться сумчастий мурахоїд під назвою *Myrmecobius*. Він має довгу тонку морду, яку засовує в мурашники, і довгий клейкий язик, яким вигрібає свою здобич. Це — наземний мурахоїд. В Австралії водиться також мурахоїд, що риє, — єхидна. Вона не сумчаста, а належить до групи яйцекладних однопрохідних ссавців, настільки далеких від нас, що сумчасті порівняно з ними здаються нашими близькими родичами. Єхидна теж має довгу й загострену морду, але колючки на спині й боках роблять її

зовні більш схожою на їжака, ніж на ще одного типового мурахоїда.

Південна Америка могла легко породити сумчастого мурахоїда заразом із сумчастим шаблезубим тигром, але так сталося, що мурахоїдна ніша там була вже здавна зайнята плацентарними ссавцями. Найбільшим із нині живих мурахоїдних є *Myrmecophaga* (що якраз і означає «мурахоїд» грецькою мовою) — великий наземний мурахоїд Південної Америки та, мабуть, найкваліфікованіший спеціаліст із поїдання мурах у світі. Як і австралійський сумчастий *Myrmecobius*, він має довгу тонку морду (надзвичайно довгу й загострену в цьому випадку) та надзвичайно довгий клейкий язик. У Південній Америці водиться ще й дрібний деревний мурахоїд, який є близьким родичем *Myrmecophaga* й нагадує мініатюрну й менш екстремальну його версію, а також третя, проміжна форма. Хоча вони й плацентарні ссавці, ці мурахоїди дуже далекі від будь-яких плацентарних тварин Старого Світу. Вони належать до унікальної південноамериканської родини, до якої входять також броненосці та лінивці. Ця давня плацентарна родина співіснувала з сумчастими з перших днів ізоляції континенту.

Мурахоїди Старого Світу об'єднують різноманітні види панголіна в Африці та Азії, які варіюють від деревних форм до форм, що риють, і всі трохи схожі на соснові шишки з загостреними мордочками. Також в Африці водиться химерний мурахоїд трубкозуб, що частково спеціалізується на ритті. Рисою ж, що характеризує всіх мурахоїдних — сумчастих, однопрохідних чи плацентарних, — є надзвичайно низька швидкість метаболізму. Рівень метаболізму — це швидкість «згоряння» хімічного «пального», яку найлегше виміряти за температурою крові. У ссавців загалом рівень метаболізму має тенденцію залежати від розмірів тіла. Менші тварини зазвичай мають вищий рівень метаболізму, так само, як двигуни маленьких автівок зазвичай працюють швидше, ніж двигуни великих. Але деякі тварини мають рівень метаболізму, надто високий для своїх розмірів, а от мурахоїди

незалежно від походження та спорідненості зазвичай мають дуже низький рівень метаболізму. Чому це так, не зовсім зрозуміло, але ця особливість настільки дивовижно конвергентна серед тварин, які не мають більше нічого спільного, крім звички поїдати мурах, що майже напевне якось пов'язана з цією звичкою.

Як ми вже бачили, «мурахи», яких поїдають мурахоїди, часто взагалі є не справжніми мурахами, а термітами. Термітів іноді називають «білими мурахами», але вони є радше родичами тарганів, а не справжніх мурах, родичів бджіл та ос. Терміти нагадують мурах ззовні, бо конвергентно опанували однаковий із ними спосіб життя. Той самий діапазон способів життя, сказав би я, бо різних розгалужень мурахотермітної ніші існує багато, і мурахи з термітами незалежним чином зайняли більшість із них. І як це часто буває з конвергентною еволюцією, відмінності аж ніяк не менш промовисті, ніж подібності.

Мурахи й терміти живуть великими колоніями, що складаються здебільшого зі стерильних безкрилих робітників, потрібних для ефективного відтворення крилатих репродуктивних каст, що потім розлітаються для заснування нових колоній. Цікава відмінність між ними полягає в тому, що в мурах робітники — це виключно стерильні самиці, тоді як у термітів — стерильні самці та самиці. Колонії як мурах, так і термітів мають одну чи кількох «королев», більших від робітників за розміром, іноді (як у мурах, так і у термітів) просто гротескно більших. Як у мурах, так і у термітів робітники можуть включати в себе спеціалізовані касти на кшталт солдатів. Іноді вони є настільки спеціалізованими бойовими машинами (насамперед ідеться про величезні щелепи у мурах та своєрідні «гарматні башти» з хімічною зброєю в термітів), що не здатні харчуватися самі й годувати їх доводиться іншим робітникам, не солдатам. Конкретні види мурах паралельні конкретним видам термітів. Наприклад, у мурах (у Новому Світі) та термітів (в Африці) незалежним чином виник звичай облаштовувати грибні ферми. Мурахи

(або терміти) збирають рослинну сировину, якої не їдять, але з якої формують компост, на якому вирощують гриби, і споживають уже їх. В обох випадках ці гриби не ростуть більше ніде, крім як у мурашниках чи термітниках відповідно. Звичай вирощувати гриби незалежно й конвергентно (неодноразово) виробили також декілька видів жуків.

Цікаві приклади конвергенції спостерігаються й серед самих мурах. Хоча більшість їхніх колоній ведуть осідлий спосіб життя у стаціонарному мурашнику, іноді вони, схоже, непогано почуваються, пускаючись у мандри величезними арміями мародерів. Це називається легіонерським способом життя. Очевидно, що всі мурахи розповзаються в пошуках харчів, але більшість видів повертаються зі здобиччю до стаціонарного мурашника, де залишаються королева й молодняк. Ключовою ж особливістю легіонерського способу життя є те, що армії мурах носять молодняк і королеву з собою. Яйця та личинки переносять у своїх щелепах робітники. В Африці легіонерський спосіб життя опанували так звані мурахи-кочівники. У Центральній і Південній Америці живуть «бродячі мурахи», дуже схожі на своїх африканських «братів» за способом життя та зовнішнім виглядом. Вони не надто близько споріднені й, безумовно, опанували навички легіонерського способу життя незалежно одні від одних і конвергентно.

Обидві групи формують винятково великі колонії — до мільйона особин в американських і десь до 20 мільйонів у африканських мурах. Обидві групи мають кочові фази, що чергуються зі «стаціонарними» фазами порівняно стабільних отаборень, чи «бівуаків». Мурахи-легіонери (чи, радше, їхні колонії), взяті разом як великі амебоподібні утворення, є безжальними й жахливими хижаками у своїх джунглях. І ті, і другі просто розривають на шматки все живе на своєму шляху, викликаючи містичний жах. У деяких частинах Південної Америки під час наближення великої армії мурах селяни традиційно полишають свої домівки з усім добром і повертаються, лише коли легіони пройдуть своїм маршем,

«зачистивши» всіх тарганів, павуків і скорпіонів навіть із солом'яних стріх. Я згадую, як дитиною в Африці боявся кочових мурах більше за левів чи крокодилів. Однак варто подивитися на цю погану славу очима Едварда О. Вілсона, головного світового авторитета з мурах, а також автора книжки «Соціобіологія»:

> *У відповідь на єдине запитання про мурах, яке мені ставлять найчастіше, я можу сказати таке: ні, кочові мурахи насправді не тероризують джунглі. Хоча колонія кочових мурах і є «твариною», що важить понад 20 кг, налічує близько 20 мільйонів пащ і жал і є, безумовно, найгрізнішим створінням світу комах, вона все одно не така страшна, як ті історіям, які про неї розповідають. Зрештою, рій здатен покривати лише приблизно метр землі кожні три хвилини. Будь-яка досвідчена кущова миша, не кажучи вже про людину чи слона, може просто відійти вбік і спокійно собі спостерігати все це шаленство дрібних хижаків, не так небезпечних, як дивовижних і цікавих, кульмінацію еволюційної історії, настільки далекої від ссавців, що її ледве можна собі уявити.*

Будучи вже дорослим, у Панамі я якось сам відступив убік і спостерігав американський еквівалент кочових мурах, яких боявся дитиною в Африці, що текли повз мене, немов тріскуча річка, і можу засвідчити факт їхньої дивовижності та цікавості. Годину за годиною легіони все йшли і шли, ступаючи як по землі, так і по тілах одне одного, а я стояв і чекав на королеву. Нарешті вона з'явилася, і присутність її навівала страх. Побачити її тіло було просто неможливо. Вона виглядала лишень рухомою хвилею метушливих робітників, кулею з мурах із переплетеними кінцівками, що кипіла й пульсувала. Вона була десь посередині цієї бурхливої купи робітників, і усе це оточували щільні лави солдатів, загрозливо розвернутих назовні з роззявленими щелепами, готових убити й померти, захищаючи королеву. Пробачте мій

нестримний інтерес, але я проштрикнув цю кулю з робітників довгою паличкою у марній спробі роздивитися повелительку. Одразу ж 20 солдатів вчепилися своїми масивними м'язистими щелепами в мою паличку, можливо, щоб уже ніколи її не відпустити, тоді як десятки інших кинулися паличкою вгору, змусивши мене якнайшвидше її кинути.

Я так і не побачив королеви, але десь усередині цієї кулі, що кипіла, вона таки була — центральний банк даних, сховище головної ДНК всієї колонії. Ті пильні солдати були готові померти за неї не тому, що вони любили свою матір, і не тому, що були виховані в ідеалах патріотизму, а лише тому, що їхні мізки та щелепи були створені генами, відштампованими з еталону, що зберігається в самій королеві. Вони поводились як браві вояки, бо успадкували гени довгої лінії предкових королев, чиї життя та гени були врятовані такими ж бравими вояками, як вони самі. Мурахи-солдати в моєму випадку успадкували від своєї королеви ті самі гени, які їхні попередники успадкували від предкових королев. Мої солдати охороняли оригінали тих самих інструкцій, що змушували їх себе охороняти. Вони охороняли мудрість своїх предків, Ковчег Заповіту. Це дивне твердження буде роз'яснене в наступному розділі.

Я був тоді здивований і зацікавлений, до чого частково домішувалися ожилі напівзабуті страхи, але видозмінені й доповнені зрілим розумінням того, для чого відбувається все це дійство, якого мені бракувало в дитинстві, проведеному в Африці. Повнішими були й мої знання: я вже знав, що ця історія легіонів досягла тієї самої еволюційної кульмінації не раз, а двічі. Попри всю їхню схожість, це були не кочові мурахи моїх дитячих нічних жахів, а їхні далекі американські родичі. Вони робили ту саму справу, що й кочові мурахи, причому з тієї самої причини. Настала ніч, і я повернувся додому, знову відчувши себе сповненою благоговійного страху дитиною, але радіючи новому світу розуміння, що витіснив темні африканські страхи.

РОЗДІЛ 5

ВЛАДА Й АРХІВИ

На вулиці йде справжній дощ із ДНК. На березі Оксфордського каналу в нижній частині мого саду росте велика верба, саме вона й фонтанує в повітря насінням. Вітру майже немає, і насіння повільно дрейфує навсібіч від дерева. Уздовж усього каналу, наскільки можна побачити в мій бінокль, вода біліє від пухнастих цяток, що плавають на поверхні, і можна бути впевненим, що вони килимом укрили землю приблизно в такому ж самому радіусі в інших напрямках теж. Ці схожі на вату цятки складаються здебільшого з целюлози, що оточує крихітну капсулу, яка містить ДНК — генетичну інформацію. Уміст ДНК має становити невеличку частку від загального об'єму, то чому ж я сказав, що йшов дощ із ДНК, а не з целюлози? Відповідь полягає в тому, що значення має саме ДНК. Целюлозний пушок, хоч і об'ємніший, є лише парашутом, який потім уже не знадобиться. Все дійство, вата, сережки, дерево тощо покликані допомогти лише одній-єдиній речі — поширенню ДНК околицями. І не просто будь-якої ДНК, а ДНК, в кодованих знаках якої містяться специфічні інструкції для створення верб, що порозкидають нове покоління пухнастого насіння. Ці пухнасті цятки в буквальному сенсі поширюють інструкції зі створення самих себе. Вони з'явилися, бо їхнім предкам пощастило зробити те саме. Надворі йде дощ з інструкцій, дощ із програм, дощ з алгоритмів вирощування

дерев і поширення пушків. І це не метафора, а щира правда. З таким самим успіхом там міг би йти дощ із дискет.

Усе просто й правдиво, однак люди довгий час цього не розуміли. Ще недавно, якби ви спитали мало не будь-якого біолога, що такого особливого в живих істотах на відміну від неживих, він почав би розповідати вам про особливу речовину під назвою протоплазма. Протоплазма не схожа на жодну іншу речовину; вона жива, вона вібрує, тріпоче, пульсує, «легко збудлива» (шкільні вчительки називають так здатність до швидкої реакції). Якщо взяти живий організм і розрізати його на дедалі менші шматочки, ви врешті-решт дійдете до частинок чистої протоплазми. Свого часу, в минулому столітті, реальний прототип професора Челленджера з романів сера Артура Конан Дойла вважав, що чистою протоплазмою є «глобігериновий мул» на дні моря. Коли я був школярем, літні автори підручників усе ще писали про протоплазму, хоча на той час вони вже мали б краще знатися на цьому питанні. У наші дні ви цього слова вже не почуєте й не побачите. Воно стало мертвим, подібно до флогістону та всесвітнього ефіру. У речовинах, з яких складаються живі організми, немає нічого особливого. Як і все інше, живі організми є просто скупченням молекул.

Особливим є те, що ці молекули зібрані разом у значно складніші схеми, ніж молекули неживих істот, і це збирання здійснюється шляхом дотримання програм, наборів інструкцій щодо розвитку, які організми носять у самих собі. Можливо, вони справді вібрують, тріпочуть, пульсують «легкою збудливістю» та світяться «живим» теплом, але всі ці властивості виникли між іншим. В основі кожної живої істоти лежить не вогонь, не тепле дихання, не «іскра життя». Це інформація, слова, інструкції. Якщо хочете метафору, забудьте про вогонь, іскри та дихання. Подумайте натомість про мільярд окремих цифрових знаків, висічених на гранях кристалів. Якщо ви хочете зрозуміти життя, думайте не про вібрацію й трепетання желе та мулів, а про інформаційні технології. Саме на це я натякав у попередньому розділі, називаючи королеву мурах центральним банком даних.

Основною вимогою до передової інформаційної технології є наявність своєрідного носія даних із великою кількістю комірок пам'яті. Кожна комірка має бути здатною перебувати в одному з дискретного числа станів. Так чи інакше, цим вимогам відповідають *цифрові інформаційні технології*, що сьогодні домінують у нашому світі штучності. Існує й альтернативний різновид інформаційної технології, який ґрунтується на *аналоговій* інформації. Аналоговою, наприклад, є інформація на звичайній грамофонній платівці. Зберігається вона у модульованих канавках запису. Інформація ж на сучасному лазерному диску (який часто називають «компакт-диском», що сумно, бо ця назва є неінформативною) є цифровою і зберігається у вигляді низки крихітних заглибин, кожна з яких точно там або точно не там — жодних половинчастих вимірів. У цьому й полягає характерна особливість цифрової системи: її основні елементи перебувають або чітко в одному стані, або чітко в іншому, без жодних напіввимірів і проміжних етапів чи компромісів.

Інформаційна технологія генів є цифровою. Цей факт відкрив у XIX столітті Ґреґор Мендель, хоча він сам сформулював би його інакше. Мендель показав, що наша спадковість не є міксом генів, отриманих від двох батьків. Ми отримуємо нашу спадковість у вигляді дискретних частинок. Коли йдеться про кожну частинку, то ми або успадковуємо її, або ні. Насправді, як зауважив Р. А. Фішер, один із засновників того, що тепер називають неодарвінізмом, факт дискретної спадковості завжди у нас перед очима щоразу, як ми думаємо про стать. Ми успадковуємо ознаки від батьків чоловічої та жіночої статі, але кожен із нас є або чоловіком, або жінкою, а не гермафродитом. Для кожного нового немовляти існує приблизно рівна *ймовірність* успадкування чоловічої або жіночої статі, але будь-яке немовля успадковує лише одну з цих ознак, а не поєднує обидві. Сьогодні ми знаємо, що те саме справедливо для всіх наших частинок спадковості. Вони не змішуються, а залишаються дискретними й окремими в міру того, як тасуються й перетасовуються крізь покоління. Звісно,

впливи генетичних одиниць на організми часто створюють переконливу оману змішування. Якщо висока людина спаровується з низькою або чорна з білою, їхнє потомство часто являє собою проміжні варіанти. Але позірне змішування стосується лише впливів на організми й виникає завдяки сумарним невеличким впливам великої кількості частинок. Самі ж частинки, коли доходить до передавання їх наступному поколінню, залишаються окремими й дискретними.

Ця відмінність між змішаною спадковістю й дискретною відіграє в історії еволюційних ідей дуже важливу роль. За часів Дарвіна всі (крім Менделя, який, усамітнившись у своєму монастирі, на жаль, залишався в тіні аж до самої смерті) вважали спадковість змішаною. Шотландський інженер на ім'я Флімінґ Дженкін зазначив, що факт (як тоді вважалося) змішаної спадковості мало не заперечує природний відбір як правдоподібну основу теорії еволюції. Ернст Майр доволі нелюб'язно зауважив, що стаття Дженкіна «ґрунтується на всіх звичайних упередженнях і неправильному розумінні фізиків». Тим не менше аргументи Дженкіна глибоко стривожили Дарвіна. Найяскравіше вони втілені у притчі про білого чоловіка, що зазнав кораблетрощі на острові, населеному «неграми»:

> *...наділімо його всіма перевагами, які тільки може мати білий над аборигенами; припустімо, що в боротьбі за існування його шанси на довге життя будуть значно вищими порівняно з місцевими вождями; однак з усіх цих припущень геть не випливає, що через якусь лімітовану чи нелімітовану кількість поколінь мешканці острова стануть білими. Наш герой, що вижив у кораблетрощі, міг би стати королем; він міг би повбивати дуже багато чорних у боротьбі за існування, мати дуже багато дружин і дітей, тоді як багато його підданих жили б і помирали парубками... Якості нашого білого, безумовно, посприяли б його доброму збереженню до поважного віку, але він би все одно не зумів за будь-яку кількість поколінь зробити населення острова*

повністю білим... У першому поколінні з'явилося б декілька десятків розумних молодих мулатів, інтелект яких у середньому був би значно вищим, ніж у негрів. Можна було б очікувати, що впродовж декількох поколінь трон займатиме більш-менш жовтий король; але чи можна повірити, що весь острів поступово отримає біле чи хоча б жовте населення або що острів'яни набудуть енергії, сміливості, винахідливості, терпіння, самоконтролю, витривалості — якостей, завдяки яким наш герой повбивав стількох їхніх предків і породив стількох дітей, по суті, тих якостей, які й відбирала би боротьба за існування, якби вона могла щось відбирати?

Хай вас не збивають з пантелику расистські припущення про вищість білих. За часів Дженкіна й Дарвіна вони були так само незаперечними, як сьогодні є незаперечними властиві нашому видові припущення про *права людини*, *людську гідність* і *священність людського життя*. Аргументи Дженкіна можна перефразувати й за допомогою більш нейтральної аналогії. Якщо змішати разом білу й чорну фарбу, ви отримаєте сіру. Якщо ж змішати разом сіру й сіру фарбу, ви не зможете відтворити ані первинну білу, ані первинну чорну. Змішування фарб не таке вже далеке від доменделівського бачення спадковості, і навіть сьогодні масова культура часто зображує спадковість з погляду «змішування крові». У своєму «болотному аргументі» Дженкін вказує, що зі зміною поколінь, згідно з припущенням про змішану спадковість, мінливість приречена на засмоктування ознаками, що існували раніше, немов болотом. Превалювати почне дедалі більша однорідність. Урешті-решт мінливості просто не залишиться і природному відбору ні з чим буде працювати.

Правдоподібний за своїм звучанням, цей аргумент спрямований не лише проти природного відбору. Він спрямований більше проти невідворотних фактів про саму спадковість! Це ж явно *неправда*, що зі зміною поколінь мінливість зникає. Сьогодні люди *не* більш схожі один на одного, ніж

вони були за часів своїх дідусів і бабусь. Мінливість зберігається. Існує цілий фонд мінливості для роботи природного відбору. 1908 року це було математично продемонстровано В. Вайнберґом і незалежним чином ексцентричним математиком Ґ. Г. Гарді. Останній, до речі, як свідчить книга записів парі його (та мого) коледжу, одного разу побився з колегою об заклад на «півпенні на його користь до самої смерті, що сонце зійде й завтра». Однак лише Р. А. Фішер з колегами, засновниками сучасної популяційної генетики, спромоглися підготувати повну відповідь Флімінґу Дженкіну з погляду теорії генетики *частинок* Менделя. Іронія в тому, що, як ми побачимо нижче, у розділі 11, у ті часи, на початку XX століття, провідні послідовники Менделя вважали себе антидарвіністами. Фішер із колегами показали, що дарвінівський відбір має сенс, а проблема Дженкіна елегантно розв'язується, якщо в процесі еволюції змінюється лише відносна *частота* дискретних спадкових частинок, або генів, кожна з яких або наявна, або відсутня в будь-якому конкретному окремо взятому організмі. Після Фішера дарвінізм став називатися неодарвінізмом. Його цифрова природа не є випадковим фактом, що справдився для генетичної інформаційної технології. Цифровість є, мабуть, необхідною передумовою для роботи дарвінізму як такого.

У нашій електронній технології дискретні цифрові комірки мають лише два стани, традиційно представлені як 0 та 1, хоча їх можна уявляти як «високо — низько», «увімкнено — вимкнено», «верх — низ». Важливо лише те, що вони мають бути окремими одна від одної та що схема їхніх станів може «читатися» так, аби мати якийсь вплив на щось. Електронна технологія використовує різноманітні фізичні носії для зберігання нулів і одиниць включно з магнітними дисками, магнітною стрічкою, перфокартами та перфострічкою, а також вбудовані «чипи» з багатьма маленькими напівпровідниками всередині.

Основний носій пам'яті всередині насіння верби, мурах і всіх інших живих клітин є не електронним, а хімічним. Він використовує той факт, що певні типи молекул здатні до

«полімеризації», яка являє собою об'єднання в ланцюжки нескінченної довжини. Існує багато різних типів полімерів. Наприклад, поліетилен складається з довгих ланцюжків маленької молекули під назвою «етилен» — полімеризованого етилену. Крохмаль і целюлоза є полімеризованими цукрами. Деякі полімери замість того, щоб бути однорідними ланцюжками однієї маленької молекули на кшталт етилену, є ланцюжками з двох чи більше різних типів маленьких молекул. Щойно така неоднорідність потрапляє до полімерного ланцюжка, інформаційна технологія стає теоретично можливою. Якщо в ланцюжку є два типи маленьких молекул, їх можна вважати 1 та 0 відповідно, і одразу ж з'являється можливість зберігати будь-який обсяг інформації будь-якого типу, за умови, що ланцюжок достатньо довгий. Конкретні полімери, що використовуються живими клітинами, називаються полінуклеотидами. У живих клітинах є дві основні родини полінуклеотидів, що коротко звуться ДНК та РНК. Обидві є ланцюжками маленьких молекул під назвою «нуклеотиди». Як ДНК, так і РНК є неоднорідними ланцюжками з чотирма різними типами нуклеотидів. Звісно ж, саме на цьому й базується можливість зберігання інформації. Замість лише двох станів — 1 та 0 — інформаційна технологія живих клітин використовує чотири стани, які можна умовно представити як А, Т, Ц і Г. У принципі, відмінність між бінарною інформаційною технологією, як у комп'ютері, та інформаційною технологією чотирьох станів, як у живій клітині, дуже невелика.

Як я згадував наприкінці розділу 1, в одній-єдиній людській клітині достатньо інформаційної ємності для збереження Британської енциклопедії, всіх її 30 томів, три чи чотири рази поспіль. Відповідних цифр для насінини верби чи мурахи я не знаю, але вони явно будуть не менш приголомшливими. У ДНК однієї-єдиної насінини лілії чи одного-єдиного сперматозоїда саламандри достатньо ємності пам'яті для збереження Британської енциклопедії 60 разів поспіль. Деякі види амеб, яких несправедливо називають

«примітивними», містять у своїх ДНК стільки ж інформації, скільки її в тисячі Британських енциклопедій.

Як не дивно, але насправді, наприклад, у людських клітинах використовується, схоже, лише приблизно 1 % генетичної інформації, грубо кажучи, еквівалент одного тому Британської енциклопедії. Для чого там інші 99 %, ніхто не знає. В одній зі своїх попередніх книжок я висловив припущення, що це можуть бути паразити, які живуть за рахунок 1 %, — цю теорію нещодавно під назвою «егоїстична ДНК» прийняли молекулярні біологи. Бактерія має інформаційну ємність, приблизно в тисячу разів меншу, ніж людська клітина, і, мабуть, використовує її майже всю — для паразитів місця залишається мало. Її ДНК могла б умістити «лише» один примірник Нового Заповіту!

Сучасні генні інженери вже мають технологію, щоб записати Новий Заповіт чи щось інше в ДНК бактерії. «Значення» символів у будь-якій інформаційній технології є довільним, і немає жодних причин не призначити комбінації (скажімо, триплети) з 4-літерного алфавіту ДНК літерам нашого власного 26-літерного алфавіту (залишилося б місце для всіх великих і малих літер із 12 розділовими знаками). На жаль, на запис Нового Заповіту в бактерію знадобилося б приблизно п'ять століть, тож я сумніваюсь, що хтось за це візьметься. Якби ж хтось це таки зробив, частота відтворення бактерій є такою, що за один день могли б виходити 10 мільйонів примірників Нового Заповіту. Мрія місіонера — якби тільки люди вміли читати алфавіт ДНК, але, на жаль, знаки там такі дрібні, що всі 10 мільйонів примірників могли б одночасно уміститися на поверхні шпилькової головки.

Електронна комп'ютерна пам'ять умовно поділяється на ПЗП (*ROM*) та ОЗП (*RAM).* ПЗП розшифровується як «постійний запам'ятовувальний пристрій». По суті, це пристрій, на який записують інформацію один раз і з якого читають багато. Комбінація нулів та одиниць «випалена» в ньому раз і назавжди під час виробництва. Надалі вона залишається незмінною впродовж усього строку служби пристрою, а ін-

формацію з нього можна зчитувати будь-яку кількість разів. Інший електронний запам'ятовувальний пристрій, під назвою ОЗП, можна читати, але на нього можна й «записувати» (люди звикають до цього неелегантного комп'ютерного жаргону доволі швидко). Таким чином, ОЗП може робити все, що робить ПЗП, і навіть більше. Те, як розшифровуються літери ОЗП, насправді збиває людей з пантелику, тому я про це не згадуватиму. Важливо лише запам'ятати, що в ОЗП можна ввести будь-яку комбінацію нулів та одиниць, причому в будь-яку його частину і стільки разів, скільки вам заманеться. Більшість комп'ютерних запам'ятовувальних пристроїв — це ОЗП. Коли я набираю ці рядки, вони потрапляють прямісінько в ОЗП, та й програма обробки текстів, що контролює процес, також міститься в ОЗП, хоча теоретично її можна було б випалити в ПЗП й потім уже ніколи більше не змінювати. ПЗП використовуються для фіксованого репертуару стандартних програм, які запускаються багато разів і які ви не можете змінити, навіть якби захотіли.

ДНК — це ПЗП. Читати її можна мільйони разів поспіль, але записати лише раз — коли вона вперше «збирається» під час народження клітини, в якій мешкає. У клітинах будь-якого індивіда ДНК є «випаленою» й жодного разу не змінюється впродовж життя цього індивіда, за винятком дуже рідкісних випадкових пошкоджень. Однак її можна копіювати. Вона подвоюється з кожним поділом клітини. Комбінація нуклеотидів А, Т, Ц та Г якнайточніше копіюється в ДНК кожної з трильйонів нових клітин, що створюються в міру зростання дитини. Під час зачаття нового індивіда в ПЗП його ДНК випалюється нова унікальна комбінація даних, з якою він залишається до кінця свого життя. Вона копіюється в усі його клітини (крім репродуктивних, у які, як ми побачимо нижче, копіюється випадкова половина його ДНК).

Уся комп'ютерна пам'ять (чи то ПЗП, чи ОЗП) є *адресною*. Це означає, що кожна комірка пам'яті має свою позначку, зазвичай цифру, але це — довільна умова. Важливо розуміти відмінність між *адресою* і *змістом* комірки пам'яті. Кожна

комірка відома за своєю адресою. Наприклад, перші дві літери цього розділу «На» у цей момент сидять у комірках ОЗП 6446 і 6447 у моєму комп'ютері, який має загалом 65 536 комірок ОЗП. Іншого разу зміст цих двох комірок буде іншим. Змістом комірки є що завгодно, записане туди останнім. Кожна комірка ПЗП також має адресу та зміст. Відмінність полягає в тому, що тут кожна комірка пов'язана з її змістом раз і назавжди.

ДНК розташована вздовж нитчастих хромосом, схожих на довгі комп'ютерні перфострічки. Уся ДНК у кожній нашій клітині є адресною в тому самому сенсі, що й комп'ютерний ПЗП чи, по суті, комп'ютерна перфострічка. Точні цифри чи назви, які ми використовуємо для позначення конкретної адреси, є довільними, так само, як і для комп'ютерної пам'яті. Значення має лише те, що конкретна комірка моєї ДНК точно відповідає одній конкретній комірці вашої ДНК: вони мають однакову адресу. *Зміст* моєї комірки ДНК 321762 може бути чи не бути таким самим, як зміст вашої комірки 321762. Але моя комірка 321762 займає точно таке саме положення у моїх клітинах, як і ваша комірка 321762 у ваших клітинах. «Положення» тут означає розташування вздовж конкретної хромосоми. Точне фізичне положення хромосоми в клітині не має значення. По суті, вона вільно плаває в рідині, тому її фізичне положення змінюється, але кожна комірка вздовж хромосоми має точну адресу з погляду лінійного порядку вздовж хромосоми, так само, як кожна комірка вздовж комп'ютерної стрічки має точну адресу, навіть якщо стрічка тягнеться по підлозі, а не охайно змотана. Усі ми, всі людські істоти, маємо однаковий набір *адрес* ДНК, але не обов'язково однаковий *зміст* цих адрес. У цьому й полягає головна причина того, що ми всі відрізняємось один від одного.

Інші види не мають такого самого набору *адрес*. Шимпанзе, наприклад, мають 48 хромосом, на відміну від нас із нашими 46. Строго кажучи, порівняти їхній зміст адреса за адресою неможливо, бо на різних боках видових бар'єрів адреси не відповідають одна одній. Однак близькоспоріднені види на кшталт

шимпанзе й людей мають такі великі спільні шматки суміжних змістів, що їх можна легко ідентифікувати як здебільшого однакові, навіть попри те, що ми не можемо використовувати для обох видів абсолютно однакову систему адресації. Вид визначає те, що всі його представники мають однакову систему адресації для своїх ДНК. За кількома незначними винятками, всі представники одного виду мають однакову кількість хромосом, і кожна комірка уздовж хромосоми має свій точний відповідний номер у тому самому положенні вздовж відповідної хромосоми всіх інших представників цього виду. Відрізнятися серед представників виду може лише зміст цих комірок.

Відмінності змістів у різних індивідів виникають таким чином, і тут я маю наголосити, що говорю про види зі статевим розмноженням, такі як наш власний. Усі наші сперматозоїди чи яйцеклітини містять по 23 хромосоми. Кожна адресна комірка одного з моїх сперматозоїдів відповідає конкретній адресній комірці кожного іншого мого сперматозоїда та кожної вашої яйцеклітини (чи сперматозоїда). Усі інші мої клітини містять 46 хромосом — подвійний набір. У кожній із цих клітин ті самі адреси використовуються двічі поспіль. Кожна клітина містить у собі дві хромосоми 9 і дві версії комірки 7230 уздовж хромосоми 9. Зміст обох може бути чи не бути однаковим, так само, як вони можуть бути чи не бути однаковими в інших представників виду. Коли сперматозоїд, що має 23 хромосоми, створюється з клітини тіла, що має 46 хромосом, він отримує лише одну з двох копій кожної адресної комірки. Яку саме з них він отримає, можна вважати випадковістю. Те саме справедливо й для яйцеклітин. Результатом є те, що кожен вироблений сперматозоїд і кожна вироблена яйцеклітина є унікальними з погляду змісту їхніх *комірок*, хоча їхня система адресації ідентична в усіх представників одного виду (за незначними винятками, що не повинні відвертати нашу увагу). Коли сперматозоїд запліднює яйцеклітину, повний комплект із 46 хромосом, безумовно, відновлюється, і всі вони потім дублюються в усіх клітинах у процесі розвитку ембріона.

Я говорив, що на ПЗП не можна записувати інформацію, крім єдиного моменту, коли він тільки виготовляється, і це справедливо також для ДНК у клітинах, за винятком періодичних випадкових помилок при копіюванні. Але в певному сенсі у колективний банк даних, що складається з ПЗП всього виду, можна вносити конструктивні записи. У процесі зміни поколінь невипадкове виживання та репродуктивний успіх індивідів у межах виду ефективно «записує» вдосконалені інструкції для виживання в колективну генетичну пам'ять виду. Еволюційна зміна виду здебільшого складається зі зміни кількості копій кожного з різноманітних можливих *змістів* для кожної адресної комірки ДНК із плином поколінь. Звісно, в будь-який конкретний час кожна копія має перебувати всередині тіла індивіда. Але в процесі еволюції велике значення мають зміни частоти альтернативних можливих змістів за кожною адресою в *популяції*. Система адресації залишається тією ж самою, але статистичний профіль змісту комірки змінюється з плином століть.

Дуже рідко змінюється й сама система адресації. Шимпанзе має 24 пари хромосом, а ми — 23. Ми маємо з шимпанзе спільного предка, тож у якійсь точці нашого або їхнього родоводу, мабуть, сталася зміна числа хромосом. Або ми втратили хромосому (дві злилися), або шимпанзе набули одну (одна розщепилася). Мав бути хоча б один індивід, кількість хромосом якого відрізнялася від їх кількості у його батьків. Загалом у генетичній системі відбуваються також інші періодичні зміни. Як ми побачимо нижче, цілі шматки генетичного коду час від часу можуть копіюватися до абсолютно різних хромосом. Ми знаємо це, бо знаходимо ідентичні довгі нитки тексту ДНК, розкидані між хромосомами.

Коли інформація в комп'ютерній пам'яті зчитується з конкретної комірки, з нею може відбуватися одна з двох речей. Вона може або просто записуватися кудись іще, або вступати в якусь «дію». Запис кудись іще означає копіювання. Ми вже бачили, що ДНК легко копіюється з однієї клітини до іншої, нової і що шматки ДНК можуть копіюватися з одного індиві-

да до іншого — його дитини. Із «дією» ситуація складніша. У комп'ютерах одним видом дії є виконання інструкцій програми. У ПЗП мого комп'ютера комірки номер 64489, 64490 та 64491, разом узяті, містять конкретну комбінацію змісту (одиниць і нулів), що під час інтерпретації їх як інструкції спонукає динамік комп'ютера видавати уривчастий звуковий сигнал. Ось ця комбінація — 10101101 00110000 11000000. Від природи в цій комбінації немає нічого уривчастого чи звукового. Ніщо в ній не говорить вам, що вона матиме такий вплив на динамік. Вона здійснює цей вплив лише через спосіб, яким з'єднана між собою решта частин комп'ютера. У такий самий спосіб комбінації чотирилітерного коду ДНК мають впливи, наприклад, на колір очей чи поведінку, але ці впливи не властиві комбінаціям даних ДНК як таким. Вони є лише результатом способу, яким розвивається решта ембріона, на який, у свою чергу, впливають комбінації інших частин ДНК. Цю взаємодію між генами ми детально розглянемо в розділі 7.

Перш ніж вони зможуть вступити в будь-яку дію, кодові символи ДНК мають транслюватися на інший носій. Спочатку вони транскрибуються точно відповідними символами РНК, яка також має чотирилітерний алфавіт. Після цього вони транслюються в іншого типу полімер — поліпептид, або білок. Його можна було б назвати й поліамінокислотою, бо основними його складовими є амінокислоти. У живих клітинах існує 20 різновидів амінокислот. Усі біологічні білки є ланцюжками, що складаються з цих 20 основних будівельних блоків. Хоча білок є ланцюжком амінокислот, більшість із них не залишаються довгими та нитчастими. Кожен ланцюжок скручується в складний вузол, точна форма якого визначається порядком амінокислот. Тому форма цього вузла ніколи не змінюється, за жодної конкретної послідовності амінокислот. Послідовність амінокислот, у свою чергу, точно визначена кодовими символами вздовж ДНК (через РНК як посередника). Тому в певному сенсі тривимірна скручена форма білка визначається одновимірною послідовністю кодових символів ДНК.

Процедура трансляції втілює в собі славнозвісний трилітерний «генетичний код». Це словник, у якому кожен із 64 (4 × 4 × 4) можливих *триплетів* символів ДНК (чи РНК) перетворюється на одну з 20 амінокислот або на символ «кінець зчитування». Існують три такі розділові знаки «кінець зчитування». Багато амінокислот кодуються більш ніж одним триплетом (як ви могли б здогадатися з того факту, що існує 64 триплети й лише 20 амінокислот). Уся трансляція від строго послідовного ПЗП ДНК до точно інваріантної тривимірної форми білка є дивовижним досягненням цифрових інформаційних технологій. Подальші кроки, якими гени впливають на організми, є трохи менш очевидно комп'ютероподібними.

Кожну живу клітину, навіть одну-єдину бактеріальну, можна уявити собі як величезний хімзавод. Комбінації ДНК, або гени, справляють свої ефекти, впливаючи на хід подій на цьому хімзаводі, і роблять це, діючи на тривимірну форму молекул білка. Слово «величезний» може здатися дивним для клітини, особливо коли згадати, що на поверхні шпилькової голівки можуть уміститися 10 мільйонів бактеріальних клітин. Але згадайте також, що кожна з цих клітин здатна вмістити весь текст Нового Заповіту. Крім того, вона *таки величезна*, якщо міряти за кількістю складних машин, які у ній містяться. Кожен механізм являє собою велику білкову молекулу, зібрану під впливом конкретної ділянки ДНК. Білкові молекули під назвою «ферменти» є машинами в тому сенсі, що кожна з них забезпечує розгортання конкретної хімічної реакції. Кожна така білкова машина випускає свій власний конкретний хімічний продукт. Для цього вона використовує сировину, що дрейфує в клітині, будучи, дуже ймовірно, продуктом інших «білкових машин». Аби дати вам уявлення про розмір цих білкових механізмів, скажу, що кожен із них складається приблизно з 6 тисяч атомів, що дуже багато за молекулярними стандартами. Усього на цьому хімзаводі, яким є клітина, налічується близько мільйона таких великих апаратів, причому представлених понад 2 тисячами різновидів, кожен з яких спеціалізується на виконанні конкретної операції. Саме ха-

рактерні хімічні продукти таких ферментів надають клітині її індивідуальної форми та поведінки.

Оскільки всі клітини організму містять однакові гени, може здатися дивним, що всі ці клітини не ідентичні. Причина полягає в тому, що в різних типах клітин *читаються* різні набори генів, тоді як інші ігноруються. У клітинах печінки не читаються ті частини ПЗП ДНК, що особливо значимі для побудови клітин нирки, і навпаки. Форма та поведінка клітини залежать від того, які саме гени всередині її читаються та перетворюються на відповідні білкові продукти. Це, у свою чергу, залежить від хімічних речовин, які вже є в клітині, що почасти залежить від того, які гени попередньо були зчитані в ній, а почасти від сусідніх клітин. Коли одна клітина ділиться надвоє, то дві дочірні не обов'язково є в усьому схожими одна на одну. У первинній запліднений яйцеклітині, наприклад, одні хімічні речовини збираються на одному її краю, а інші на другому. Коли така поляризована клітина ділиться, у двох її дочірніх клітинах хімікати розподіляються порізному. Це означає, що в дочірніх клітинах зчитуватимуться різні гени й відбуватиметься своєрідна самопідкріплювана дивергенція. Остаточна форма всього тіла, розмір його кінцівок, налаштування мозку, синхронізація його поведінкових схем — усе це є непрямими наслідками взаємодій між різними типами клітин, відмінності між якими, в свою чергу, виникають через зчитування різних генів. Ці процеси дивергенції найкраще уявити собі як місцево автономні, на манер «рекурсивної» процедури з розділу 3, а не як скоординовані в якийсь масштабний центральний задум.

«Дія» в тому сенсі, в якому це поняття використовується в даному розділі, є тим, про що говорить генетик, коли згадує «фенотиповий ефект» гена. ДНК чинить на тіло, колір очей, кучерявість волосся, ступінь агресивності поведінки та тисячі інших властивостей впливи, які називаються фенотиповими ефектами. ДНК здійснює ці впливи спочатку локально, зчитуючись у вигляді РНК та транслюючись у білкові ланцюжки, які потім впливають на форму та поведінку клітини.

Це один із двох способів, якими може зчитуватись інформація у схемі ДНК. Інший спосіб полягає в тому, що вона може дублюватись у нову нитку ДНК. Це саме те копіювання, про яке ми говорили раніше.

Між цими двома шляхами передавання інформації ДНК, вертикальним і горизонтальним, існує фундаментальна відмінність. Вертикально інформація передається до іншої ДНК в клітинах (що утворюють інші клітини), які продукують сперматозоїди чи яйцеклітини. Отже, вона передається вертикально наступному поколінню, а потім, знову вертикально, нескінченній кількості майбутніх нащадків. Я називатиму її «архівною ДНК». Вона потенційно безсмертна. Послідовність клітин, якою просувається архівна ДНК, називається зародковою лінією. Ця зародкова лінія являє собою набір клітин усередині тіла, що є предковими для сперматозоїдів чи яйцеклітин, а отже, для майбутніх поколінь. ДНК передається також *убік,* або горизонтально, — до ДНК клітин незародкової лінії, таких як клітини печінки чи шкіри, всередині таких клітин до РНК, звідти до білка та різноманітних впливів на ембріональний розвиток, а отже, й на форму та поведінку дорослого організму. Горизонтальне та вертикальне передавання можна вважати відповідниками двох підпрограм — РОЗВИТКУ та РОЗМНОЖЕННЯ — з розділу 3.

Різний успіх конкурентних ДНК у справі вертикального передавання в архіви виду цілком і повністю пов'язаний із природним відбором. «Конкурентна ДНК» означає альтернативний зміст конкретних адрес у хромосомах виду. Одні гени є успішнішими за конкурентні у збереженні в архівах. Хоча *вертикальне передавання* архівами виду, врешті-решт, якраз і означає «успіх», критерієм успіху зазвичай є *дія*, яку гени справляють на організми за рахунок їх передавання *вбік*. Тут усе так само, як у комп'ютерній моделі з біоморфами. Наприклад, припустімо, що у тигрів існує конкретний ген, який за рахунок його впливу по горизонталі, у клітинах щелеп, змушує зуби бути трохи гострішими за ті, що виросли б під впливом конкурентного гена. Тигр із такими над-

гострими зубами може вбивати здобич ефективніше, ніж звичайний тигр, а отже, має більше потомство і, значить, передає (вертикально) більше копій гена, що робить зуби гострішими. Звісно, одночасно він передає і всі інші свої гени, але *в середньому* в організмах гострозубих тигрів опиниться лише конкретний «ген гострих зубів». З погляду його вертикального передавання сам ген виграє від середніх впливів, які він має на цілу низку організмів.

Ефективність ДНК як архівного середовища захоплює. За своєю здатністю зберігати повідомлення вона значно перевершує кам'яні скрижалі. Корови та горох (а по суті, й усі ми) мають майже ідентичний ген під назвою «ген гістона *H4*». Текст його ДНК складається з 306 знаків. Не можна сказати, що він має однакові адреси в усіх видів, бо не можна точно порівняти позначки адрес між видами. Але зрозуміло, що у корів є ділянка завдовжки 306 знаків, практично ідентична ділянці завдовжки 306 знаків у гороху. Корови і горох відрізняються один від одного лише двома знаками з цих 306. Ми не знаємо точно, як давно жив спільний предок корів і гороху, але скам'янілості свідчать про те, що це було десь від 1 до 2 тисяч мільйонів років тому. Хай буде 1,5 мільярда. За цей неймовірно довгий (для людей) час кожна з двох ліній, що розгалужувалися від цього далекого предка, зберегла незмінними 305 із 306 знаків (у середньому: цілком можливо, що одна лінія зберегла всі 306 із них, а друга — лише 304). Це при тому, що навіть літери, висічені на надгробках, стають нечитабельними за якісь сотні років.

У певному сенсі збереження документа ДНК «гістон *H4*» є ще приголомшливішим, бо, на відміну від кам'яних скрижалів, текст зберігається не однією й тією самою фізичною структурою. Він неодноразово копіюється й перекопійовується зі зміною поколінь на кшталт іудейських священних книг, які згідно з ритуалом переписувачі копіювали кожні 80 років, аби попередити їхнє зношування. Важко оцінити точно, скільки разів документ «гістон *H4*» було перекопійовано в лінії, що веде до корів від їхнього спільного з горохом предка, але, мабуть,

цих копій було не менше 20 мільярдів. Також важко знайти мірило, щоб порівняти збереження понад 99 % інформації в процесі 20 мільярдів послідовних копіювань. Можна спробувати використати версію гри «Зіпсований телефон». Уявімо собі 20 мільярдів машиністок, що сидять у ряд. Цей ряд міг би оперезати Землю 500 разів. Перша машиністка друкує сторінку документа й передає її своїй сусідці. Та копіює її й передає копію наступній. Та передруковує її знову, передає копію далі... Урешті-решт повідомлення досягає кінця ряду, і ми читаємо його (чи, радше, це роблять наші 12 тисяч разів правнуки — якщо припустити, що всі машиністки працюють із типовою для доброї секретарки швидкістю). Наскільки точним було б у цьому разі відтворення вихідного повідомлення?

Щоб відповісти на це запитання, треба зробити певне припущення про точність роботи машиністок. Зайдімо з іншого боку. Наскільки точною має бути кожна машиністка, щоб зберегти відповідність ДНК? Відповідь є чи не надто абсурдною, щоб її озвучувати. Хай там як, але кожна машиністка мала би помилятися не частіше ніж приблизно один раз на трильйон знаків — тобто бути достатньо акуратною, щоб припускатися лише однієї-єдиної помилки під час передруку Біблії 250 тисяч разів поспіль. Гарна секретарка в реальному житті помиляється з частотою приблизно один раз на сторінку. Це десь у півмільярда разів більше за частоту помилок гена гістона *H4*. У реальному житті ряд секретарок уже на двадцятій із 20 мільярдів копій залишив би від тексту тільки 99 % його первинних літер. На десятитисячній з ряду від первинного тексту залишилося б менше 1 %. І ця точка майже повної деградації була б досягнута ще до того, як 99,9995 % машиністок узагалі б його побачили.

Усе це порівняння трохи оманливе, але в цікавому й показовому сенсі. Я створив враження, що ми вимірюємо лише помилки під час копіювання. Але документ гістона *H4* не просто копіювався, а ще й зазнавав природного відбору. Гістон є надзвичайно важливим для виживання. Він використовується в побудові структури хромосом. Можливо, поми-

лок під час *копіювання* гена гістона *H4* було значно більше, але мутантні організми не виживали чи принаймні не розмножувалися. Щоб зробити це порівняння наочнішим, треба припустити, що в кожен стілець вбудовано пістолет, під'єднаний так, що у разі помилки машиністка буде одразу ж застрелена, а її місце займе резервна (надто чутливі читачі можуть уявити собі катапульту, що м'яко викидає неакуратну машиністку з ряду, але пістолет створює реалістичнішу картину природного відбору).

Отже, цей метод вимірювання збереження ДНК з огляду на кількість змін, що насправді відбулися за якийсь геологічний час, поєднує точність копіювання як таку з фільтраційними ефектами природного відбору. Ми бачимо лише нащадків успішних змін ДНК. Тих же, що призвели до смерті, з нами явно немає. А чи можна виміряти реальну точність копіювання до того, як природний відбір візьметься за роботу над кожним новим поколінням генів? Так, вона є зворотною стороною того, що відоме як частота мутацій, і її можна виміряти. Імовірність неправильного копіювання будь-якої конкретної літери за будь-якого випадку копіювання виявляється трохи більшою, ніж один на мільярд. Відмінність між цим, частотою мутацій і нижньою частотою, з якою зміна насправді вноситься в ген гістона під час еволюції, є мірилом ефективності збереження природним відбором цього давнього документа.

Збереження гена гістона впродовж віків за генетичними мірками є винятковим. Інші гени змінюються з вищою частотою переважно тому, що природний відбір більш толерантний до їхньої мінливості. Наприклад, гени кодування білка, відомі як фібринопептиди, в процесі еволюції змінюються з частотою, що наближається до базової частоти мутацій. Можливо, це означає, що помилки в деталях цих білків (вони виробляються під час згортання крові) не мають великого значення для організму. Частота зміни генів гемоглобіну є проміжною між частотами мутацій гістонів і фібринопептидів. Можливо, й толерантність природного відбору до їхніх помилок є проміжною. Гемоглобін виконує

в крові важливу роботу, і його властивості справді мають значення, але декілька альтернативних його варіантів, схоже, здатні виконувати цю роботу не гірше.

Тут ми маємо щось схоже на невеличкий парадокс, але тільки допоки не придивимось уважніше. Молекули, що еволюціонують найповільніше, на кшталт гістонів, як виявляється, найбільше піддаються природному відбору. Молекули фібринопептидів еволюціонують найшвидше, бо природний відбір майже повністю їх ігнорує. Вони вільні еволюціонувати з частотою мутацій. На парадокс це схоже тому, що ми приділяємо надто велику увагу природному відбору як рушійній силі еволюції. Із цього випливає, що, якби природного відбору не існувало, можна було б очікувати, що не відбувалася б і еволюція. І навпаки, нормально було б вважати, що потужний «тиск відбору» може привести до швидкої еволюції. Натомість ми спостерігаємо, що природний відбір справляє гальмівний вплив на еволюцію. За відсутності природного відбору базова частота еволюції є максимально можливою й відповідає частоті мутацій.

Насправді жодного парадоксу тут немає. Якщо придивитись уважніше, стає зрозуміло, що інакше й бути не могло б. Еволюція шляхом природного відбору не могла б рухатися швидше за частоту мутацій, бо мутація є, врешті-решт, єдиним способом, яким у вид вносяться нові варіації. Природний відбір може лише прийняти одні нові варіації й відхилити інші. Частота мутацій приречена задавати верхню межу частоти, з якою може відбуватись еволюція. Власне кажучи, природний відбір здебільшого переймається попередженням еволюційних змін, а не їх просуванням. Поквaплюся зазначити: це не означає, що природний відбір є суто деструктивним процесом. Він здатен і до конструктиву — способами, які буде розкрито в розділі 7.

Навіть частота мутацій є доволі повільною. Іншими словами, навіть без природного відбору ефективність коду ДНК в точному збереженні його архіву вражає. За однією консервативною оцінкою, за відсутності природного відбору ДНК

реплікується настільки точно, що для помилки при копіюванні 1 % знаків потрібно п'ять мільйонів поколінь реплікації. Наші гіпотетичні машиністки все ще безнадійно програють ДНК навіть за відсутності природного відбору. Щоб зрівнятися з ДНК без природного відбору, кожна з них мала б бути здатною передрукувати весь Новий Заповіт лише з однією помилкою, тобто бути приблизно в 450 разів точнішою за типову секретарку з реального життя. Це явно значно менше, ніж порівняльна цифра в півмільярда разів, у які ген гістона *H4 після природного відбору* є точнішим за типову секретарку; однак це все одно приголомшлива цифра.

Але я був несправедливим до машиністок. Я припускав, по суті, що вони не здатні помічати свої помилки й виправляти їх. Я припустив повну відсутність коректури. У реальності ж, ясна річ, вони коректуру роблять. Тому мій ряд із мільярдів машиністок не спричинив би дегенерації первинного повідомлення таким доволі простим шляхом, який я відобразив. Механізм копіювання ДНК виконує корекцію помилок такого ж самого типу автоматично. Якби він цього не робив, то не досягнув би нічого, схожого на колосальну точність, яку я описав. Процедура копіювання ДНК передбачає різноманітні методи «коректури». Вони тим більш необхідні, що літери коду ДНК жодним чином не є статичними, немов ієрогліфи, висічені в граніті. Натомість задіяні молекули настільки маленькі — згадайте всі ті Нові Заповіти, які уміщаються на шпильковій головці, — що зазнають постійних атак від повсякденної штовханини молекул під впливом тепла. Спостерігається постійний потік, круговерть літер у повідомленні. У кожній людській клітині за день дегенерують приблизно 5 тисяч літер ДНК, які одразу ж замінюються відновлювальними механізмами. Якби відновлювальних механізмів не було і якби вони безупинно не працювали, повідомлення поступово розчинилося б. Коректура свіжоскопійованого тексту є лише особливим випадком звичайних відновлювальних робіт. Саме коректура переважно відповідає за дивовижну точність ДНК та ефективність зберігання інформації.

Ми вже бачили, що молекули ДНК є центром захопливої інформаційної технології. Вони здатні вміщувати просто безмежний обсяг точної цифрової інформації в дуже малому просторі, а також зберігати цю інформацію (з разюче нечисленними помилками, але все ж не без них) упродовж дуже довгого часу, що вимірюється мільйонами років. Куди ці факти нас ведуть? Вони ведуть нас у напрямку основоположної істини про життя на Землі — істини, на яку я натякав у першому абзаці цього розділу, говорячи про вербове насіння. Вона полягає в тому, що живі організми існують на користь ДНК, а не для чогось іншого. Наразі це може бути не очевидно, але згодом я сподіваюся переконати вас у цьому. Повідомлення, які містять молекули ДНК, є мало не вічними порівняно з часовою шкалою тривалості життя окремих індивідів. Тривалість життя ДНК-повідомлень (плюс-мінус декілька мутацій) вимірюється одиницями в діапазоні від мільйонів до сотень мільйонів років, або, іншими словами, від 10 тисяч строків життя індивідів і до трильйона. Кожен окремий організм слід розглядати як тимчасовий засіб пересування, в якому ДНК-повідомлення проводять лише крихітну частину свого геологічного існування.

У світі повно об'єктів, що існують. Цього не можна заперечувати, але чи приведе це нас хоч кудись? Об'єкти існують або тому, що вони тільки нещодавно виникли, або тому, що наділені якостями, які зробили малоймовірним їх руйнування в минулому. Скелі не виникають із високою частотою, але коли вже вони існують, то є міцними й довговічними. Інакше вони були б не скелями, а піском. Щоправда, деякі з них ним і є, саме тому ми маємо пляжі! У вигляді скель існують лише ті, що залишилися довговічними. З іншого боку, краплі роси існують не тому, що вони довговічні, а тому, що вони тільки-но виникли і ще не встигли випаруватися. Ми, схоже, маємо два типи «придатності до існування»: тип крапель роси, які можна загалом назвати «ймовірними для виникнення, але не дуже довговічними», й тип скель, які можна загалом назвати «не дуже ймовірними для виникнення, але здатними до

тривалого існування після виникнення». Скелям притаманна довговічність, а краплям роси — «виникабельність». (Я намагався дібрати менш потворне слово, але не зміг.)

ДНК отримує найкраще від обох світів. Самі молекули ДНК як фізичні сутності подібні до краплин роси. За відповідних умов вони виникають із великою частотою, але жодна з них не існує довго, і всі будуть зруйновані за кілька місяців. Вони не є довговічними, як скелі. Але *схеми*, закладені в їхніх послідовностях, є такими самими довговічними, як найміцніші скелі. Вони мають те, що потрібно для існування впродовж мільйонів років, і саме тому сьогодні вони все ще тут. Основною їхньою відмінністю від росинок є те, що нові росинки не породжуються старими. Одні краплі роси, безперечно, нагадують інші, але вони не нагадують конкретні, «батьківські», краплі. На відміну від молекул ДНК, вони не формують спадкові лінії, а отже, не можуть передавати повідомлення. Краплі роси виникають шляхом спонтанного зародження, а повідомлення ДНК — шляхом реплікації.

Трюїзми на кшталт «У світі повно об'єктів, що мають усе необхідне для існування в світі» здаються банальними й ледь не дурними, допоки не почнеш застосовувати їх до якогось особливого типу довговічності — довговічності у формі спадкових ліній множинних копій. Повідомленням ДНК притаманна довговічність не такого типу, як скелям, та не такого типу виникабельність, як краплинам роси. Для молекул ДНК «усе необхідне для існування у світі» має значення, яке точно не є ані очевидним, ані тавтологічним. Виявляється, що «все необхідне для існування у світі» охоплює здатність створювати машини на кшталт нас із вами — найскладніші об'єкти у відомому нам Усесвіті. Подивімось, яким чином це може відбуватися.

Головна причина полягає в тому, що властивості ДНК, які ми ідентифікували, виявились основними компонентами, необхідними для будь-якого процесу накопичувального відбору. У нашій комп'ютерній моделі в розділі 3 ми спеціально закладали в комп'ютер основні компоненти накопичувального

відбору. Якщо накопичувальний відбір справді виникає у світі, то мали виникнути певні сутності, властивості яких і є тими основними компонентами. Погляньмо тепер, що це за компоненти. При цьому слід узяти до уваги той факт, що дуже подібні компоненти, хоча б у якійсь рудиментарній формі, мали спонтанно виникнути на Землі на початку часів, інакше накопичувальний відбір, а отже, й життя ніколи б узагалі не зародилися. Ми говоримо тут не конкретно про ДНК, а про основні компоненти, необхідні для виникнення життя будь-де у Всесвіті.

Коли пророк Єзекіїль опинився в долині сухих кісток, то проповідував тим кісткам і змусив їх з'єднатися разом. Потім він знову говорив до них і змусив натягнутися на них плоть і жили. Але духу в них усе ще не було. Найголовнішого компонента, компонента життя, бракувало. Навіть мертва планета має атоми, молекули та більші грудки матерії, що зміщуються й зіштовхуються одне з одним випадковим чином, згідно із законами фізики. Іноді закони фізики змушують атоми й молекули з'єднуватися разом на кшталт сухих кісток Єзекіїля, а іноді — розпадатися. Можуть формуватися доволі великі нагромадження атомів, які потім кришаться й ламаються знову. Але духу в них однаково немає.

Єзекіїль закликав чотири вітри вселити живий дух у ті сухі кістки. Але який найголовніший компонент повинна була мати мертва планета на кшталт Землі на початку часів, щоб отримати шанс урешті-решт стати живою, як наша планета й зробила? Це не дух, не вітер, не якийсь чарівний еліксир чи мікстура. Це взагалі не речовина, а *властивість* — властивість самореплікації. Це й є основний компонент накопичувального відбору. Якимось чином унаслідок звичайних законів фізики мають виникнути *самокопіювальні* сутності, які я називатиму *реплікаторами*. У сучасному житті цю роль майже повністю перебрали на себе молекули ДНК, але для її виконання придасться й будь-що інше, з чого робляться копії. Можна припустити, що першими реплікаторами на примітивній Землі були не молекули ДНК. Малоймовірно, щоб повноцінна молекула ДНК раптом виникла без допо-

моги інших молекул, що зазвичай існують лише в живих клітинах. Перші реплікатори, мабуть, були грубішими й простішими за ДНК.

Є ще два необхідні компоненти, що зазвичай автоматично випливають з першого — самореплікації як такої. Під час самокопіювання мають виникати періодичні помилки: навіть система ДНК зрідка припускається помилок, і здається ймовірним, що перші реплікатори на Землі були значно менш точними. Крім того, хоча б деякі з реплікаторів мають проявляти *владу* над своїм власним майбутнім. Цей останній компонент видається більш лиховісним, аніж він є насправді. Він означає лише те, що деякі властивості реплікаторів повинні мати вплив на ймовірність їхньої реплікації. Хоча б у рудиментарній формі це, схоже, буде неминучим наслідком основних фактів щодо самої самореплікації.

Виходить, що кожен реплікатор створює копії самого себе. Кожна копія є такою самою, як оригінал, і має ті самі властивості. Серед яких, звісно, і властивість створення (іноді з помилками) *нових* копій самого себе. Тож кожен реплікатор потенційно є «предком» нескінченно довгої низки реплікаторів-нащадків, що простягається в далеке майбутнє й розгалужується, щоб створити (потенційно) надзвичайно велику їх кількість. Кожна нова копія має бути створена з сировинних матеріалів, менших будівельних блоків, що плутаються навколо. Імовірно, реплікатори працюють як своєрідні формочки чи шаблони. Менші компоненти завантажуються у формочку разом таким чином, що створюється її дублікат. Потім цей дублікат вивільняється й може вже сам працювати як формочка. У результаті ми отримуємо *популяцію* реплікаторів, що потенційно зростає. Ця популяція не ростиме нескінченно, бо врешті-решт обмеженням стане надходження сировини — менших елементів, що завантажуються у формочки.

Перейдімо до розгляду нашого другого компонента. Іноді копіювання не буде ідеальним — траплятимуться помилки. Можливість помилок ніколи не можна повністю виключити з будь-якого процесу копіювання, хоча їх імовірність

можна зменшити до низьких рівнів. Саме до цього весь час прагнуть виробники високоякісного обладнання, адже процес реплікації ДНК, як ми вже бачили, приголомшливо ефективний у зменшенні помилок. Однак сучасна реплікація ДНК є справою високотехнологічною, зі складними техніками коректури, удосконаленими за багато поколінь накопичувального відбору. Як ми вже бачили, перші реплікатори, мабуть, були порівняно грубими й низькоточними пристроями.

А тепер повернімося до нашої популяції реплікаторів і погляньмо, яким буде ефект помилкового копіювання. Очевидно, що замість однорідної популяції ідентичних реплікаторів ми отримаємо популяцію змішану. Можливо, виявиться, що багато продуктів помилкового копіювання втратили властивість самореплікації, притаманну їхнім «батькам». А деякі збережуть властивість самореплікації, але відрізнятимуться від «батьків» у якомусь іншому сенсі. Тому ми матимемо в популяції дуплікацію копій помилок.

Коли ви читаєте слово «помилка», женіть із голови всі зневажливі асоціації. Це помилка лише з погляду високоточного копіювання. І вона цілком може привести до покращення. Не побоюся сказати, що багато нових витончених страв були створені саме тому, що кухар припустився помилки, намагаючись дотримуватися рецепта. Наскільки я можу судити, свого часу всі оригінальні наукові ідеї виникли як результат непорозуміння чи неправильного тлумачення чиїхось думок. Повернімося до наших первісних реплікаторів. Хоча більшість помилок під час копіювання, мабуть, призвели до зменшення ефективності копіювання чи повної втрати властивості самокопіювання, декілька могли насправді виявитися *кращими* під час самореплікації, ніж батьки-реплікатори, що їх породили.

Що означає «кращими»? У кінцевому рахунку це означає ефективнішими під час самореплікації, але що це могло б означати на практиці? Це підводить нас до третього «компонента». Я називаю його «владою», і скоро ви зрозумієте, чому. Коли ми розглядали реплікацію як процес формування, то бачили, що останнім кроком у цьому процесі має бути ви-

вільнення нової копії зі старої формочки. На його тривалість може впливати властивість, яку я називатиму «липкістю» старої формочки. Припустімо, що в нашій популяції реплікаторів, яка варіює через старі помилки під час копіювання ще їхніх «предків», деякі різновиди стали більш «липкими», ніж інші. Дуже «липкий» різновид липне до кожної нової копії в середньому більш як на годину, перш ніж вона нарешті вивільниться і процес зможе початися знову. Менш «липкий» різновид відпускає кожну нову копію за частки секунди після її формування. Який із цих двох різновидів почне домінувати в популяції реплікаторів? Відповідь не викликає жодних сумнівів. Якщо це єдина властивість, за якою відрізняються два різновиди, то «липкий» приречений стати значно менш чисельним у популяції. «Нелипкий» же потоком випускає свої нелипкі копії — в тисячі разів швидше, ніж «липкий» випускає липкі. Різновиди з проміжною липкістю матимуть проміжну швидкість самовідтворення. Спостерігатиметься «еволюційна тенденція» до зменшення липкості.

Щось подібне до такого способу елементарного природного відбору було відтворено в пробірці. Існує вірус під назвою *Q*-бета, що живе як паразит кишкової бактерії *Escherichia coli*. *Q*-бета не має ДНК, але все ж містить (по суті, здебільшого з неї складається) одну-єдину нитку спорідненої молекули РНК. РНК здатна до реплікації схожим із ДНК чином.

У нормальній клітині білкові молекули збираються згідно зі специфікацією планів РНК. Вони є робочими копіями планів, знятими з оригіналів ДНК, що зберігаються в цінних архівах клітин. Однак теоретично можливо створити спеціальну машину — білкову молекулу — на кшталт решти клітинних машин, що знімає копії РНК з інших копій РНК. Така машина називається молекулою РНК-реплікази. Сама бактеріальна клітина зазвичай не має користі від таких машин і жодної не створює. Але оскільки репліказа є такою самою білковою молекулою, як і будь-яка інша, універсальні машини для створення білка бактеріальної клітини здатні легко перемкнутися на їх створення, так само, як верстати авто-

мобільного заводу під час війни можна швидко перелаштувати на випуск боєприпасів: варто лише закласти в них потрібні креслення. Отут-то й виходить на сцену вірус.

Робочою частиною вірусу є план РНК. Ззовні його неможливо відрізнити від будь-яких інших робочих креслень РНК, що вільно плавають навколо після зняття з оригіналу ДНК бактерії. Але якщо прочитати невеличку роздруківку вірусної РНК, виявиться, що там написано щось диявольське. Літери роз'яснюють план створення РНК-реплікази для продукування машин, що виготовляють більше копій тих самих планів РНК, що виробляють більше машин, які створюють більше копій планів, які роблять більше...

Таким чином, завод, немов терористи, захоплюють ці своєкорисливі креслення. У певному сенсі він сам аж кричав, щоб його захопили. Якщо ви заповнюєте свій завод настільки складними машинами, здатними зробити все, що накаже їм будь-яке креслення, навряд чи варто дивуватися, коли рано чи пізно виникне креслення, яке накаже цим машинам копіювати себе. Завод заповнюється дедалі більшою кількістю цих шахрайських машин, кожна з яких потоком випускає шахрайські креслення для створення нових машин, що виготовлятимуть іще більше самих себе. Зрештою нещасна бактерія вибухає й випускає мільйони вірусів, що інфікують нову бактерію. Отакий він, звичайний життєвий цикл вірусу в природі.

Я назвав РНК-репліказу і РНК відповідно машиною й кресленням. Ними вони в певному сенсі й є (що розглядатиметься з інших позицій в одному з наступних розділів), але вони є також молекулами, і для людей-хіміків можливо очистити їх, розлити по пляшках і зберігати на полиці. Саме це й зробили в 1960-х роках в Америці Сол Шпіґельман і його колеги. А потім вони помістили ці дві молекули разом у розчин, і сталася цікава річ. Молекули РНК у пробірці працювали як шаблони для синтезу копій самих себе, в чому їм допомагала присутність РНК-реплікази. «Верстати» і «креслення» були екстраговані й поміщені на зберігання в холодильник окремо одне від одного. Та щойно вони отримали доступ

одне до одного, а також до дрібних молекул, необхідних як сировина, у воді, обидві повернулися до своїх старих фокусів, навіть попри те, що вони перебували вже не в живій клітині, а у пробірці.

Тут уже недалеко й до природного відбору та еволюції в лабораторії. Це лише хімічна версія комп'ютерних біоморфів. Здебільшого експериментальний метод полягає в тому, щоб вибудувати довгий ряд пробірок, кожна з яких містить розчин РНК-реплікази, а також сировини — дрібних молекул, які можна використовувати для синтезу РНК. Кожна пробірка містить у собі «верстати» й «сировину», але наразі все це простоює без роботи через брак необхідного «креслення». Аж ось у першу пробірку потрапляє крихітний об'єм самої РНК. Репліказний апарат одразу ж починає працювати й виробляє багато копій свіжододаних молекул РНК, що поширюються пробіркою. Тепер крапля розчину з першої пробірки переноситься в другу. Там процес повторюється, а потім крапля розчину використовується для засівання третьої пробірки, і т. д.

Час від часу через випадкові помилки в копіюванні спонтанно виникає трохи інша, мутантна молекула РНК. Якщо з якоїсь причини новий різновид є конкурентоздатнішим порівняно зі старим у тому сенсі, що, можливо через його низьку «липкість», він реплікується швидше чи якось іще ефективніше, новий різновид, очевидно, поширюватиметься пробіркою, в якій він виник, чисельно переважаючи батьківський тип, що його породив. Тоді під час перенесення краплі розчину до наступної пробірки її засіватиме вже новий, мутантний, різновид. Якщо дослідити РНК в довгій послідовності пробірок, ми побачимо те, що можна назвати лише еволюційною зміною. Конкурентоздатніші різновиди РНК, отримані після кількох «поколінь» у пробірці, можна розлити по пляшках і підписати для майбутнього використання. Один різновид, наприклад під назвою *V2*, реплікується значно швидше, ніж звичайна РНК *Q*-бета, мабуть через свій менший розмір. На відміну від РНК *Q*-бета, він не мусить «перейматися» наявністю планів для створення реплікази.

Репліказа вільно надається експериментаторами. РНК *V2* використовувалась як відправна точка для цікавого експерименту Леслі Орджела та його колег у Каліфорнії, в якому вони нав'язували їй «складні» умови навколишнього середовища.

Вони додавали до своїх пробірок отруту під назвою бромистий етидій, що пригнічує синтез РНК, ускладнюючи роботу «верстатів». Орджел із колегами почали зі слабкого розчину цієї отрути. Спочатку отрута знизила швидкість синтезу, але після еволюції приблизно впродовж дев'яти перехідних «поколінь» у пробірках був відібраний новий штам РНК, стійкий до отрути. Швидкість синтезу РНК тепер була порівнянною зі швидкістю для звичайної РНК *V2* за відсутності отрути. Після цього Орджел із колегами подвоїли концентрацію отрути. Швидкість реплікації РНК знову впала, але приблизно ще через 10 перехідних пробірок з'явився штам РНК, що був імунним навіть до вищої концентрації отрути. Потім концентрацію отрути подвоїли знову. У такий спосіб, шляхом послідовних подвоєнь, експериментатори примудрилися вивести штам РНК, здатний до самореплікації за дуже високих концентрацій бромистого етидію, у 10 разів вищих за концентрацію отрути, що пригнічувала первинну, предкову РНК *V2*. Учені назвали цю нову стійку РНК *V40*. Еволюція *V40* із *V2* тривала приблизно 100 перехідних «поколінь» у пробірках (звісно, насправді багато поколінь реплікації РНК з'являється й усередині кожної перехідної пробірки).

Орджел також провів експерименти, під час яких не додавалося жодного ферменту. Він виявив, що молекули РНК здатні спонтанно реплікуватися за цих умов, хоча й дуже повільно. Їм, схоже, була потрібна якась інша каталітична речовина на кшталт цинку. Це важливо, бо важко припустити, що на зорі життя, коли вперше виникли реплікатори, існували ферменти, які допомагали їхній реплікації. Однак тоді, можливо, був цинк.

Років із десять тому в лабораторії впливового німецького університету, що під керівництвом Манфреда Ейґена пра-

цювала над вивченням походження життя, був проведений комплементарний експеримент. Співробітники лабораторії додавали в пробірку репліказу та будівельні блоки РНК, але розчин РНК не засівали. Тим не менш у пробірці *спонтанно* еволюціонувала конкретна велика молекула РНК, і така сама молекула повторно еволюціонувала знову й знову в наступних незалежних експериментах! Ретельна перевірка показала, що там не існувало жодної можливості випадкового занесення молекули РНК. Це дивовижний результат, якщо врахувати статистичну неймовірність спонтанного виникнення такої самої великої молекули двічі. Воно значно неймовірніше, ніж можливість спонтанно набрати фразу *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*. Подібно до цієї фрази з нашої комп'ютерної моделі, конкретна сприятлива молекула РНК створювалася шляхом поступової, *накопичувальної* еволюції.

Різновид РНК, неодноразово отриманий в цих експериментах, мав такий самий розмір і структуру, як і молекули, отримані Шпіґельманом. Але тоді як у Шпіґельмана вони еволюціонували шляхом «дегенерації» природної більшої вірусної РНК *Q*-бета, в експерименті групи Ейґена вони сформувалися майже з нічого. Ця конкретна формула добре адаптована до умов навколишнього середовища, що складаються з пробірок, забезпечених готовою репліказою. Таким чином, вона виникла шляхом конвергенції за допомогою накопичувального відбору з двох дуже різних відправних точок. Більша ж молекула РНК *Q*-бета гірше адаптована до умов середовища у пробірці, але краще — до умов навколишнього середовища, які забезпечують клітини *E. coli*.

Такі експерименти допомагають нам оцінити цілком автоматичну й ненавмисну суть природного відбору. Репліказні «машини» не «знають», чому вони виробляють молекули РНК, — це лише побічний продукт форми, яку вони створюють. А самі молекули РНК не розробляють стратегію самодуплікації. Навіть якби вони були здатні мислити, немає жодних очевидних причин, з яких будь-яка сутність, що мислить, має бути мотивована створювати копії самої себе. Якби

я знав, як робити свої копії, то не впевнений, що надав би цьому проектові високий пріоритет у змаганні з усіма іншими речами, якими хочу займатися, — чого б це? Але мотивація не має стосунку до молекул. Структура вірусної РНК просто *виявилася* такою, що змушує клітинну машинерію потоком продукувати копії самої себе. І якщо виявиться, що будь-яка сутність у будь-якому місці Всесвіту має властивість ефективно створювати більше копій самої себе, то, очевидно, *буде* автоматично виникати дедалі більше копій цієї сутності. Крім того, оскільки вони автоматично формують спадкові лінії й час від часу копіюються з помилками, більш пізні версії, скоріш за все, будуть «краще» робити копії самих себе, ніж більш ранні, завдяки потужним процесам накопичувального відбору. Усе абсолютно просто й автоматично. Настільки передбачувано, що майже неминуче.

«Успішна» молекула РНК у пробірці є успішною через якусь безпосередню, притаманну їй властивість, щось аналогічне «липкості» в моєму гіпотетичному прикладі. Але властивості на кшталт «липкості» є доволі нудними. Вони є елементарними властивостями самого реплікатора — властивостями, що мають безпосередній вплив на ймовірність його реплікації. Що, коли реплікатор мав би якийсь вплив на щось іще, що впливає на щось іще, що впливає на щось іще, що... врешті-решт опосередковано впливає на шанс існування реплікатора, що реплікує? Неважко зрозуміти, що, якби такі довгі причиново-наслідкові ланцюжки існували, фундаментальний трюїзм залишався би чинним. Реплікатори, яким пощастило мати все необхідне для реплікації, почали б домінувати в світі, хоч яким би *довгим і опосередкованим* був ланцюжок причинно-наслідкових ланок, за допомогою якого вони впливають на свою ймовірність реплікації. І таким чином світ наповнився б ланками цього причинно-наслідкового ланцюжка. Ми побачили б ці ланки й захопилися б ними.

У сучасних організмів ми бачимо їх увесь час. Це очі та шкірні покриви, кістки й пальці, мізки та інстинкти. Це інструменти реплікації ДНК. Вони обумовлені ДНК — в тому

сенсі, що відмінності очей, шкірних покривів, кісток, інстинктів тощо обумовлені відмінностями ДНК. Вони впливають на реплікацію ДНК, що їх обумовила, впливаючи на виживання та розмноження їхніх організмів, які містять ту саму ДНК, а отже, долю яких ДНК розділяє. Таким чином, ДНК сама впливає на свою реплікацію через властивості організмів. Можна сказати, що ДНК має владу над власним майбутнім, а організми, їхні органи та схеми поведінки є інструментами цієї влади.

Говорячи про владу, ми говоримо про наслідки роботи реплікаторів, що впливають на своє власне майбутнє, хоч якими б опосередкованими ці наслідки були. Не має значення, скільки саме ланок у ланцюжку від причини до наслідку. Якщо причина є сутністю, що самореплікує, наслідок (навіть дуже далекий і непрямий) може зазнавати природного відбору. Під кінець я узагальню цю думку, розповівши історію про бобрів. Щодо деяких деталей вона гіпотетична, але, безумовно, не може бути далекою від істини. Хоча ніхто й не вивчав розвиток мозкових з'єднань у бобрів, такі дослідження проводилися на інших тваринах на кшталт червів. Я запозичу їх висновки й застосую їх до бобрів, бо для багатьох людей бобри є цікавішими та ближчими за духом, аніж черви.

Мутантний ген у бобра є всього лише зміною однієї літери тексту, де їх мільярд, — зміною конкретного гена *G*. У міру того, як маленьке бобреня підростає, ця зміна копіюється разом з усіма іншими літерами тексту в усі його клітини. У більшості цих клітин ген *G* не читається; читаються інші гени, важливі для роботи інших типів клітин. Однак цей ген читається в деяких клітинах мозку, що розвивається. Він читається і транскрибується в копії РНК. Робочі копії РНК дрейфують усередині клітин, і рано чи пізно деякі з них врізаються в машини з виробництва білка під назвою рибосоми. Ці машини з виробництва білка зчитують робочі плани РНК й випускають нові білкові молекули згідно з їхніми специфікаціями. Ці білкові молекули скручуються в конкретну форму, визначену їхньою власною амінокислотною

послідовністю, що, в свою чергу, обумовлюється послідовністю коду ДНК гена *G*. Коли ген *G* мутує, його зміна зумовлює важливу відмінність амінокислотної послідовності, що зазвичай задається геном *G*, а отже, й скрученої форми білкової молекули.

Ці трохи змінені білкові молекули масово продукуються машинами з виробництва білка всередині клітин мозку, що розвивається. Вони, у свою чергу, працюють як ферменти — машини, що виробляють інші сполуки клітин, продукти гена. Продукти гена *G* проникають у мембрану, що оточує клітину, і залучаються до процесів, за допомогою яких клітина утворює з'єднання з іншими клітинами. Через незначну зміну первинних планів ДНК змінюється швидкість виробництва деяких із цих мембранних сполук. Це, у свою чергу, змінює спосіб, яким певні клітини мозку, що розвивається, з'єднуються одна з одною. Відбувається тонка зміна схеми налаштування конкретної частини мозку бобра — опосередкований, справді далекий наслідок зміни тексту ДНК.

Тепер виходить, що ця конкретна частина мозку бобра через її положення в загальній схемі налаштування задіюється в специфічній поведінці бобра, пов'язаній із будівництвом загати. Звісно, великі частини мозку задіюються щоразу, як бобер будує греблю, але коли на цю конкретну частину схеми налаштування мозку впливає мутація гена *G*, ця зміна має специфічний вплив на поведінку. Вона спонукає бобра вище тримати голову у воді під час плавання з колодою в зубах. Вище, ніж це робить бобер без мутації. Це трохи знижує ймовірність того, що налипла на колоду багнюка змиється по дорозі. Це підвищує липкість колоди, а отже, означає, що, коли бобер прилаштує її в греблю, колода з більшою ймовірністю там і залишиться. Зазвичай це стосується всіх колод, які тягає будь-який бобер із такою мутацією. Більша липкість колод є наслідком (знову ж таки, дуже опосередкованим) зміни тексту ДНК.

Більша липкість колод робить греблю міцнішою конструкцією з меншою ймовірністю руйнування. Це, у свою чергу,

збільшує розмір загати, створеної греблею, що робить хатку бобра в центрі загати більш захищеною від хижаків. Це зазвичай збільшує кількість потомства, яке успішно вирощує бобер. Якщо подивитися на всю популяцію бобрів, то ті особини, що мають мутантний ген, у середньому вирощуватимуть, таким чином, більше потомства, ніж ті, що його не мають. Це потомство зазвичай успадковуватиме від своїх батьків архівні копії того самого зміненого гена. Тому від покоління до покоління ця форма гена ставатиме в популяції чисельнішою. Урешті-решт вона стане нормою й більше не заслуговуватиме назви «мутантна». Боброві греблі загалом покращаться ще в одному сенсі.

Той факт, що ця конкретна історія є гіпотетичною й на практиці деталі можуть до певної міри варіювати, не має особливого значення. Боброва гребля виникла шляхом природного відбору, а отже, реальний стан справ просто не може сильно відрізнятися (крім окремих дрібних деталей) від того, що я описав. Загальні висновки з такого погляду на життя розкрито й ретельно розібрано в моїй книжці «Розширений фенотип», і тут я повторювати викладені в ній аргументи не буду. Ви помітите, що в цій гіпотетичній історії було не менше 11 ланок причинно-наслідкового ланцюжка, що з'єднує змінений ген із кращим виживанням. У реальному житті їх могло би бути ще більше. Усі ці ланки, чи то вплив на хімію всередині клітини, чи більш пізній — на з'єднання мозкових клітин, чи навіть іще пізніший — на поведінку, а чи завершальний вплив на розмір загати, правильно вважати *спричиненими* зміною ДНК. І якби там було 111 ланок, це не мало б значення. Будь-який вплив, який зміна гена справляє на його власну ймовірність реплікації, є чесною грою для природного відбору. Усе ідеально просто, напрочуд автоматично й ненавмисно. Після того, як виникли фундаментальні компоненти накопичувального відбору — реплікація, помилки та влада, — щось на кшталт цього є загалом майже неминучим. Але як же це сталося? Як вони виникли на Землі, коли там іще не було життя? Можливі відповіді на це складне запитання ми розглянемо в наступному розділі.

РОЗДІЛ 6

ДЖЕРЕЛА Й ДИВА

Випадок, удача, збіг, диво. Однією з головних тем цього розділу є дива й те, що ми під цим поняттям розуміємо. Моя теза полягатиме в тому, що події, які ми зазвичай називаємо дивами, — не надприродні явища, а частина спектру більш або менш неймовірних природних подій. Іншими словами, дива, якщо вони взагалі трапляються, є дивовижними прикладами удачі. Події не поділяються чітко на природні *і* дива.

Бувають такі події, які є можливими, але надто неймовірними, аби сподіватися, що вони відбудуться, але ми не можемо цього знати, допоки не зробимо відповідні розрахунки. А щоб зробити розрахунки, треба знати, скільки *часу* або, більш загально, скільки *можливостей* є в наявності, аби ця подія відбулася. За умови наявності нескінченного часу або нескінченних можливостей можливим є будь-що. Великі цифри, відомі всім з астрономії, та великі часові проміжки, характерні для геології, в поєднанні здатні перевернути наші усталені уявлення про очікуване та дивовижне догори дриґом. Я підійду до цієї думки за допомогою конкретного прикладу, що є іншою головною темою цього розділу. Цим прикладом є проблема походження життя на Землі. Щоб прояснити цю думку, я довільно зосереджуся на одній теорії походження життя, хоча для цієї мети придалася б будь-яка з сучасних теорій.

У наших поясненнях можна допустити певну частку удачі, але не надто велику. Питання в тому, *наскільки* велику. Мас-

штабність геологічного часу дає нам змогу допускати неймовірніші збіги, ніж зазвичай дозволено в суді, але навіть при цьому існують певні межі. Накопичувальний відбір є ключем до всіх наших сучасних пояснень життя. Він з'єднує разом низку прийнятно вдалих подій (випадкових мутацій) у невипадкову послідовність так, що наприкінці послідовності кінцевий продукт створює ілюзію справді дуже, дуже вдалого збігу обставин, надто неймовірного, щоб виникнути за рахунок самого лише випадку навіть за умови часового проміжку, в мільйони разів довшого за нинішній вік Усесвіту. Накопичувальний відбір є ключем, але ж він мав якось початися, і нам не уникнути потреби допустити можливість *однокрокової* випадкової події, що стала одним із джерел самого накопичувального відбору.

І цей життєво важливий перший крок був складним, бо в його основі, схоже, лежить парадокс. Відомі нам процеси реплікації, схоже, потребують для роботи складної техніки. У присутності репліказних «верстатів» фрагменти РНК еволюціонуватимуть (неодноразово й конвергентно) до тієї самої кінцевої точки, «імовірність» якої здається нескінченно малою, якщо не брати до уваги потугу накопичувального відбору. Але цьому відбору треба допомогти початися. Він не почнеться, якщо не забезпечити каталізатор на кшталт репліказного «верстата» з попереднього розділу. І, схоже, малоймовірно, що цей каталізатор здатен виникнути спонтанно, хіба що під керівництвом інших молекул РНК. Молекули ДНК реплікують у складному апараті клітини, а написані слова реплікують у ксероксах, але ні ті, ні другі, схоже, не здатні на спонтанну реплікацію за відсутності допоміжного механізму. Ксерокс здатен копіювати свої власні креслення, але він не спроможний виникнути спонтанно. Біоморфи легко реплікують у навколишньому середовищі за умови забезпечення відповідно написаних комп'ютерних програм, але вони не здатні написати свою власну програму чи створити комп'ютер для її запуску. Теорія сліпого годинникаря є надзвичайно потужною, враховуючи, що нам дозволено допустити реплікацію, а отже, й накопичувальний

відбір. Але якщо реплікація потребує складної техніки (бо єдиним відомим нам способом виникнення складної техніки, зрештою, є накопичувальний відбір), ми маємо тут проблему.

Безумовно, сучасна клітинна техніка, апарат реплікації ДНК та синтезу білків, має всі ознаки високорозвинених, спеціально розроблених машин. Ми вже бачили, наскільки вона вражає як пристрій точного зберігання даних. На своєму ультрамініатюрному рівні вона характеризується таким самим рівнем продуманості та складності задуму, як людське око на вищому рівні. Усі, хто над цим замислювався, погоджуються, що такий складний апарат, як людське око, ніяк не міг виникнути шляхом однокрокового відбору. На жаль, те саме, схоже, справедливо як мінімум для частин апарату клітинної техніки, за допомогою якого реплікується ДНК, і стосується не лише клітин розвинених створінь на кшталт нас із вами та амеб, а й порівняно примітивніших, як-от бактерії та синьо-зелені водорості.

Отже, накопичувальний відбір може виробляти складні об'єкти, тоді як однокроковий не може. Але накопичувальний відбір не здатен працювати, якщо немає якоїсь мінімальної техніки реплікації та влади реплікатора, а єдина відома нам техніка реплікації, схоже, є надто складною, щоб виникнути за допомогою чогось меншого, ніж багато поколінь накопичувального відбору! Деякі люди вбачають у цьому істотну ваду всієї теорії сліпого годинникаря. Вони вбачають у цьому остаточний доказ того, що первинний розробник таки мав існувати, і не якийсь *сліпий*, а далекоглядний надприродний годинникар. Вони стверджують, що, можливо, Творець і не контролює повсякденну послідовність еволюційних подій; можливо, він не формував тигра та ягня, можливо, він не створював конкретне дерево, але він *точно* задав первинну техніку реплікації та владу реплікатора, первинну техніку ДНК та білка, що уможливила накопичувальний відбір, а отже, й усю еволюцію.

Аргументи ці явно слабкі; по суті, вони самі ж себе і спростовують. Організована складність — це така річ, яку важко пояснити. Щойно ми можемо *теоретично допускати* можливість існування організованої складності, навіть якщо це лише організована складність двигуна реплікації ДНК та білка, нам уже порівняно легко уявити її генератором ще більшої організованої складності. Про це фактично й розповідає більша частина цієї книжки. Але, безумовно, будь-який Бог, здатний розумно спроектувати щось настільки складне, як машина реплікації ДНК та білка, мав би бути хоча б не менш складним та організованим за саму цю машину. Ба навіть значно складнішим, якщо уявити його *на додачу* придатним для виконання таких «просунутих» функцій, як вислуховування молитов і прощення гріхів. Пояснювати походження машини реплікації ДНК та білка, посилаючись на надприродного Розробника, означає не пояснювати геть нічого, бо це залишає непоясненим походження самого Розробника. Доведеться говорити щось на кшталт «Бог був завжди», та якщо вже дозволяти собі такі легкі шляхи, з тим самим успіхом можна було б заявити: «ДНК була завжди» чи «Життя було завжди» — і покінчити з цим.

Що далі ми зуміємо відійти від див, масштабних неймовірностей, фантастичних збігів, великих випадкових подій і що ретельніше розіб'ємо великі випадкові події на накопичувальну низку дрібних випадкових подій, то задовільнішим для раціональних умів буде наше пояснення. Але в цьому розділі ми запитуємо, *наскільки* неймовірною, наскільки дивовижною є одинична подія, яку нам дозволено теоретично допускати. Якою є найбільша одинична подія чистісінького збігу, чистої непідробної дивовижної удачі, від якої ми можемо відштовхуватись у своїх теоріях, все ще твердячи, що ми маємо задовільне пояснення виникнення життя? Для того, щоб мавпа випадково набрала фразу *METHINKS IT IS LIKE A WEASEL*, потрібен дуже великий обсяг удачі, але він усе ж вимірюваний. Ми розрахували шанси проти цього як приблизно 10 тисяч мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів

мільйонів мільйонів (10^{40}) до 1. Ніхто насправді не може осягнути чи уявити таке велике число, і ми просто вважаємо такий ступінь неймовірності синонімом неможливого. Але хоча ми не можемо осягнути такі рівні неймовірності своїм розумом, ми все ж не повинні нажахано тікати від них. Число 10^{40} може бути дуже великим, але його все одно можна записати й використовувати в розрахунках. Існують, зрештою, ще більші числа: 10^{46}, наприклад, є не просто більшим — аби його отримати, число 10^{40} треба додати до самого себе мільйон разів. Що, як ми могли б якимось чином зібрати зграю з 10^{46} мавп, кожну зі своєю друкарською машинкою? Чому б — о диво! — одній із них і не набрати урочисто фразу «Здається, схоже це на ласку», а іншій майже напевне не набрати «Я мислю, отже, я існую»? Проблема, звісно, в тому, що у нас не вийде зібрати разом стільки мавп. Якби вся матерія Всесвіту перетворилася на мавпячу плоть, ми би все одно не отримали достатньої кількості мавп. Диво мавпи, що друкує «Здається, схоже це на ласку», є кількісно надто великим, *вимірювано* надто великим для нас, аби прийняти його в наших теоріях на пояснення того, що насправді відбувається. Але ми не могли б це знати, якби не сіли й не зробили розрахунки.

Отже, існують якісь рівні чистої удачі, не лише надто великі для немічної людської уяви, а й надто великі, щоб їх можна було ввести в наші практичні розрахунки щодо походження життя. Але повторимо запитання: наскільки великий рівень удачі, наскільки велике диво ми *все ж таки* можемо теоретично допустити? Не тікаймо від цього запитання лише тому, що тут задіяні великі числа. Запитання це абсолютно обґрунтоване, і ми можемо хоча б записати, що нам потрібно знати, аби розрахувати відповідь.

А тепер — цікава думка. Відповідь на наше запитання — яку міру удачі ми можемо теоретично допустити — залежить від того, чи наша планета єдина, на якій є життя, чи воно буяє в усьому Всесвіті. Єдине, що ми знаємо напевне, — це те, що тут, на цій конкретній планеті, життя одного разу ви-

никло. Але ми не маємо жодного уявлення про те, чи існує воно в будь-якому іншому місці Всесвіту. Цілком можливо, що й ні. Деякі люди розрахували, що десь таки має бути життя, виходячи з таких підстав, на помилковість яких я вкажу трохи згодом. У Всесвіті, мабуть, існує як мінімум 10^{20} (себто 100 мільярдів мільярдів) більш-менш придатних для життя планет. Ми знаємо, що життя виникло тут, тож воно не може бути *абсолютно* неймовірним. Тому майже неминуче, що життя є хоча б на деяких з усіх цих мільярдів мільярдів інших планет.

Слабким місцем таких аргументів є висновок, що, *оскільки життя виникло тут*, воно не може бути надто вже неймовірним. Ви помітите, що цей висновок містить у собі вбудоване припущення, що будь-які події на Землі ймовірно відбувались і десь у Всесвіті, тоді як це і є головним запитанням. Іншими словами, складовою такого типу статистичного аргументу — що життя має бути десь там у Всесвіті, бо воно існує тут, — є припущення, те, що й треба довести. Це не означає, що висновок про існування життя в усьому Всесвіті є обов'язково неправильним. Я якраз думаю, що він, мабуть, правильний. Це просто означає, що даний конкретний аргумент, який до нього привів, не є аргументом узагалі. Це лише припущення.

Розгляньмо заради справедливості альтернативне припущення: що життя виникло лише раз в історії і це було тут, на Землі. Спокусливо підійти до цього припущення з таких емоційних підстав: а чи немає в цьому чогось жахливо середньовічного? Чи не нагадує це час, коли церква вчила, що наша Земля є центром Усесвіту, а зорі — то лише маленькі цяточки світла, розкидані по небу для нашої розваги (чи, ще абсурдніше самовпевнено, що зорі сходять зі свого шляху, щоб справляти астрологічні впливи на наші маленькі життя)? Чи не занадто зарозуміло припускати, що з усіх мільярдів мільярдів планет у Всесвіті саме наш власний маленький закапелок світу, в нашому власному місцевому закапелку Сонячної системи, в нашому власному місцевому закапелку

галактики був обраний для появи життя? Чому, заради всього святого, це мала би бути *наша* планета?

Мені дуже шкода (хоч я щиро вдячний долі за те, що ми вибралися з обмеженості середньовічної церкви, і я зневажаю сучасних астрологів), але боюся, що риторика про закапелки з попереднього абзацу є лише марнослів'ям. *Цілком* можливо, що наш закапелок галактики є буквально єдиним, що взагалі колись породив життя. Річ у тім, що, якби *була* лише одна планета, що взагалі колись породила життя, тоді це *мала* би бути наша планета з тієї дуже вагомої причини, що «ми» є тут і розглядаємо це питання! Якщо походження життя *справді* є такою неймовірною подією, що вона сталася на єдиній планеті у Всесвіті, тоді цією планетою має бути наша. Отже, той факт, що на Землі існує життя, не є підставою для висновку, що життя, мабуть, достатньо ймовірно виникло на іншій планеті. Такий аргумент завів би нас у замкнене коло. Нам потрібно мати якісь незалежні аргументи щодо того, наскільки легко чи складно для життя виникнути на планеті, перш ніж ми зможемо хоча б почати відповідати на запитання, скільки ще планет у Всесвіті мають життя.

Але це не те запитання, з якого ми почали. Нашим запитанням було: скільки удачі ми можемо дозволити собі допустити в теорії походження життя на Землі? Я вже говорив, що відповідь залежить від того, виникло життя лише один раз чи багато. Почнімо з того, що дамо назву ймовірності (хоч якою б низькою вона була) того, що життя зародиться на будь-якій випадково визначеній планеті якогось конкретного типу. Назвемо це число імовірністю спонтанного зародження (ІСЗ). Саме до ІСЗ ми прийдемо, якщо засядемо за підручники хімії чи пропускатимемо іскри крізь правдоподібні імітації сумішей атмосферних газів у нашій лабораторії, і розрахуємо шанси на спонтанне виникнення молекул, що реплікують, у типовій планетарній атмосфері. Припустімо, що нашим найкращим здогадом про ІСЗ є якесь дуже-дуже маленьке число, скажімо один на мільярд. Це очевидно настільки мала ймовірність, що ми не маємо найменшої надії на

дуплікацію такої фантастично вдалої, дивовижної події, як зародження життя в наших лабораторних експериментах. Однак якщо припустити (а ми маємо повне право це зробити заради аргументу), що життя зародилося у Всесвіті лише раз, то звідси випливає, що ми *можемо* теоретично допускати дуже великий обсяг удачі, адже у Всесвіті існує так багато планет, де *могло би* зародитися життя. Якщо, за однією з оцінок, існує 100 мільярдів мільярдів планет, то це у 100 мільярдів разів більше за навіть дуже низьку ІСЗ, яку ми теоретично припустили. Підіб'ємо підсумок: максимальний обсяг удачі, який ми можемо допустити, перш ніж відхилимо конкретну теорію походження життя, становить 1 до N, де N — число придатних для життя планет у Всесвіті. У цьому слові «придатних» приховано багато чого, але ми встановимо верхню межу в 1 до 100 мільярдів мільярдів для максимального обсягу удачі, який цей аргумент дає нам можливість допустити.

Замисліться над тим, що це означає. Ми йдемо до якогось хіміка й кажемо: «Відклади свої підручники й калькулятор; нагостри олівець і розум; заповни голову формулами, а колби метаном, аміаком, воднем, вуглекислим і всіма іншими газами, які тільки можна очікувати від первісної неживої планети; нагрій їх усі разом; пропусти крізь свою змодельовану атмосферу розряди струму, а крізь свій мозок розряди натхнення; задій усі свої хитромудрі хімічні методи й дай нам свою найкращу хімічну оцінку ймовірності того, що типова планета спонтанно породить молекулу, яка самореплікує». Або, говорячи іншими словами, скільки нам доведеться чекати, щоб випадкові хімічні події на планеті, випадкова теплова штовханина атомів і молекул привели до появи самореплікаційної молекули?

Хіміки не знають відповіді на це запитання. Більшість сучасних хіміків, мабуть, сказали б, що нам довелося б чекати дуже довго за мірками людського життя, але, можливо, й не так уже довго за мірками космологічного часу. Палеоісторія Землі наводить на думку, що ми маємо для цієї гри приблизно мільярд років — один «еон», використовуючи зручне

сучасне визначення, — бо приблизно стільки часу минуло між утворенням Землі десь так 4,5 мільярда років тому і ерою перших скам'янілих організмів. Але суть нашого аргументу «числа планет» полягає в тому, що навіть якби хімік сказав, що нам довелося б чекати «дива» мільярд мільярдів років (це значно довше, ніж існує Всесвіт), цей вердикт усе одно можна прийняти холоднокровно. У Всесвіті налічується, мабуть, понад мільярд мільярдів придатних для життя планет. Якщо кожна з них існує так само довго, як і Земля, це дає нам для наших ігор приблизно мільярд мільярдів мільярдів плането-років. Цього буде цілком достатньо! Шляхом простого множення диво переводиться у практичну площину.

У цьому аргументі є одне приховане припущення. Гаразд, насправді їх там багато, але одне я хочу розглянути детально. Воно полягає в тому, що після того, як життя (тобто реплікатори та накопичувальний відбір) узагалі зароджується, воно завжди просувається вперед до точки, де його створіння набувають достатньо інтелекту для того, аби розмірковувати про свої витоки. Якщо це не так, нашу оцінку обсягу удачі, який ми можемо теоретично допускати, треба відповідним чином зменшити. Щоб бути точнішим, максимальні шанси проти походження життя на будь-якій планеті, які дозволяють прийняти наші теорії, дорівнюють числу придатних для життя планет у Всесвіті, поділеному на шанси, що життя, раз почавшись, розвине інтелект достатньо для того, щоб розмірковувати про свої витоки.

Може здатися трохи дивним, що «достатній рівень інтелекту, аби розмірковувати про свої витоки» є важливою змінною. Щоб зрозуміти, чому це так, розглянемо альтернативну гіпотезу. Припустімо, що зародження життя було доволі ймовірною подією, але подальша еволюція інтелекту була значно неймовірнішою, вимагаючи просто величезної частки удачі. Припустімо, розвиток інтелекту є настільки неймовірним, що він відбувся лише на одній планеті в Усесвіті, навіть попри те, що життя почалося на багатьох. Тоді, оскільки ми знаємо, що є достатньо інтелектуальними для

розгляду цього питання, ми розуміємо, що цією однією планетою має бути Земля. Тепер припустімо, що зародження життя *й* зародження інтелекту (за умови наявності життя) — *обидві ці події* — є дуже неймовірними. Тоді ймовірність того, що будь-яка одна планета на кшталт Землі зможе насолоджуватися обома частками удачі, є *добутком* двох низьких імовірностей і, отже, значно меншою імовірністю.

Виходить, що в нашій теорії власного виникнення ми можемо теоретично допускати певну «порцію» удачі. Верхньою межею цієї «порції» є число придатних для життя планет у Всесвіті. Виходячи з цього обсягу удачі, ми можемо «витрачати» його як якийсь обмежений актив під час пояснення свого існування. Якщо ми використаємо майже всю нашу порцію удачі вже на теорію зародження життя на планеті, то в наступних частинах своєї теорії зможемо допустити ще зовсім невелику частку удачі, скажімо в накопичувальній еволюції мізків та інтелекту. Якщо ж ми не використаємо весь обсяг удачі в теорії походження життя, то у нас дещо залишиться, аби витратити на нашу теорію подальшої еволюції після початку роботи накопичувального відбору. Якщо ми захочемо використати більшу частину нашої порції удачі на теорію походження інтелекту, то в нас небагато залишиться, щоб витратити на нашу теорію походження життя: нам доведеться виходити з теорії, що робить походження життя майже неминучим. А от якщо для цих двох етапів нашої теорії не знадобиться вся порція удачі, ми зможемо, по суті, використати надлишок, аби теоретично допустити існування життя ще десь на просторах Усесвіту.

Моє особисте відчуття є таким, що після належного початку роботи накопичувального відбору треба теоретично допускати лише порівняно невеликий обсяг удачі в подальшій еволюції життя та інтелекту. Накопичувальний відбір, коли він уже почався, здається мені достатньо потужним, аби зробити еволюцію інтелекту ймовірною, якщо не неминучою. Це означає, що ми можемо, якщо захочемо, витратити практично всю нашу порцію теоретично допустимої

удачі одним гамузом на нашу теорію походження життя на планеті. Таким чином, шанси у нашому розпорядженні, якщо ми захочемо ними скористатися, щоб витратити на обґрунтування своєї теорії походження життя, становлять максимум 1 на 100 мільярдів мільярдів (чи 1 на скільки-там-є-придатних-на-нашу-думку-планет). Це максимальний обсяг удачі, який ми можемо теоретично допускати у своїй теорії. Припустімо, ми хочемо запропонувати ідею, наприклад що життя почалося після спонтанного й випадкового виникнення ДНК та її техніки реплікації, що ґрунтується на білку. Ми можемо дозволити собі розкіш такої екстравагантної теорії, враховуючи, що шанси проти такого збігу на планеті не перевищують 100 мільярдів мільярдів до одного.

Таке припущення може здатися занадто масштабним. Цілком можливо, що його вистачить, аби пояснити спонтанне виникнення ДНК чи РНК. Але його й близько недостатньо, щоб дозволити нам обійтися без накопичувального відбору взагалі. Шанси проти можливості створити добре задуманий організм, що літає як стриж, плаває як дельфін чи бачить як сокіл, завдяки одному-єдиному спалаху удачі (шляхом однокрокового відбору) аж надто великі порівняно з числом атомів у Всесвіті, не кажучи вже про число планет! Ні, в наших поясненнях походження життя нам явно знадобиться добряча міра накопичувального відбору.

Тим не менше, хоча в нашій теорії походження життя нам дозволено витратити максимальну порцію удачі (можливо, один шанс проти 100 мільярдів мільярдів), у мене є передчуття, що нам не знадобиться більше ніж невеличка частина цієї порції. Фактично зародження життя на планеті може бути найнеймовірнішою подією за нашими повсякденними мірками чи за мірками хімічної лабораторії, але залишатися достатньо ймовірною, щоб статися, і не один раз, а багато — у всьому Всесвіті. Статистичний аргумент про число планет можна залишити на крайній випадок. Наприкінці розділу я зроблю парадоксальний висновок, що теорії, яку ми шукаємо, можливо, насправді *потрібно* здаватися неймовірною,

навіть дивовижною як для нашого суб'єктивного судження (враховуючи, як наші суб'єктивні судження творяться). Тим не менш нам усе ще варто взятися до пошуків теорії походження життя з найменшим ступенем неймовірності. Якщо теорія, що ДНК й техніка її копіювання виникли спонтанно, є настільки неймовірною, що зобов'язує нас припустити, що життя у Всесвіті є дуже рідкісним і може навіть бути унікальним для Землі, наше найперше завдання — спробувати знайти імовірнішу теорію. Тож чи можемо ми запропонувати якісь домисли про порівняно *ймовірні* способи, якими міг би розпочатися накопичувальний відбір?

Слово «домисли» має зневажливий підтекст, але тут він абсолютно ні до чого. Ні на що інше, крім домислів, ми й сподіватися не можемо, коли події, про які йдеться, відбувалися чотири мільярди років тому, до того ж у світі, що, мабуть, радикально відрізнявся від відомого нам сьогодні. Наприклад, там майже напевне не було в атмосфері вільного кисню. Хоча хімія світу могла й змінитися, *закони* хімії не змінилися (саме тому вони й називаються законами), і сучасні хіміки знають про ці закони достатньо, щоб запропонувати деякі добре обґрунтовані гіпотези, що пройшли суворі тести на правдоподібність, передбачені цими законами. Не можна просто пропонувати гіпотези безконтрольно й безвідповідально, дозволяючи уяві буйно квітнути в стилі таких незадовільних науково-фантастичних ідей, як «гіпердвигуни», «викривлення просторово-часового континууму» та «безкінечно імовірнісні двигуни». Більшість можливих «теорій» про походження життя суперечать законам хімії й можуть бути виключені, навіть якщо ми на повну використовуватимемо наш статистичний запасний аргумент про число планет. Таким чином, конструктивний шлях полягає у формулюванні обережних вибіркових гіпотез. Але щоб їх пропонувати, треба все ж бути хіміком.

Я — біолог, а не хімік і тому мушу покладатися на хіміків в отриманні правильних чисел. Різні хіміки віддають перевагу різним теоріям, яких не бракує. Я міг би спробувати

неупереджено викласти вам їх усі. Це було б доцільно зробити в підручнику для студентів. Але ця книжка — не підручник. Основною ідеєю «Сліпого годинникаря» є те, що ми не мусимо допускати можливість існування «розробника», аби зрозуміти життя чи щось іще у Всесвіті. Тут нас цікавить *тип* рішення, яке треба знайти для того типу проблеми, з яким ми маємо справу. Гадаю, найкраще його пояснити, спираючись не на багато конкретних теорій, а на *одну* — як приклад *можливого* розв'язання основної проблеми: як розпочався накопичувальний відбір.

Тож яку теорію мені обрати як показовий приклад? Більшість підручників приділяють пильну увагу родині теорій, що ґрунтуються на органічному «первісному бульйоні». Здається ймовірним, що атмосфера Землі до зародження життя була приблизно такою ж, як і в інших планет, що залишаються безживними донині. Там не було кисню, зате було багато водню й води, вуглекислого газу, дуже імовірно, трохи аміаку, метану та інших простих органічних газів. Хіміки знають, що безкисневі середовища на кшталт цього зазвичай сприяють спонтанному синтезу органічних сполук. Вони вже не раз влаштовували в колбах мініатюрні реконструкції умов на первісній Землі. Вони пропускали крізь ці колби електричні розряди, імітуючи грози, а також ультрафіолетове світло, що мало бути значно інтенсивнішим до появи на Землі озонового шару, який захищає її від сонячного випромінювання. Результати цих експериментів виявилися захопливими. У колбах спонтанно, самі собою збиралися органічні молекули, і деякі з них належали до тих самих типів, які в нормі можна знайти лише в живих організмах. Ані ДНК, ані РНК не виникло, а от будівельні блоки цих великих молекул — пурини та піримідини — спостерігалися. З'явилися там також будівельні блоки білків — амінокислоти. Однієї ланки у цьому класі теорій все ще бракує — походження реплікації. Будівельні блоки не збиралися разом для формування ланцюжка, що самореплікує, на кшталт РНК. Та можливо, одного дня вони це все ж таки зроблять.

Але в будь-якому разі, теорія органічного «первісного бульйону» — не та, яку я обрав для своєї ілюстрації типу рішення, яке ми повинні шукати. Я вже використовував її у своїй першій книжці «Егоїстичний ген», тож подумав, що запущу тут пробну кулю для дещо менш модної теорії (хоча нещодавно вона й зажила успіху), яка, на мою думку, має якийнеякий шанс виявитися правильною. Її сміливість приваблює, і вона добре ілюструє властивості, які повинна мати будь-яка задовільна теорія походження життя. Це теорія «неорганічних мінералів» хіміка з Глазго Ґрема Кейрнса-Сміта, вперше запропонована 20 років тому. З того часу вона була розвинена й ретельно розроблена у трьох книжках, найостанніша з яких — «Сім ключів до розгадки походження життя» — подає походження життя як таємницю, у розкритті якої не завадила б допомога Шерлока Холмса.

На думку Кейрнса-Сміта, техніка ДНК та білка виникла порівняно нещодавно, можливо всього лише три мільярди років тому. До цього часу змінилося багато поколінь накопичувального відбору, що грунтувалися на якихось зовсім інших реплікаційних сутностях. Одразу ж після своєї появи ДНК показала себе настільки ефективнішою як реплікатор і настільки потужнішою у своїх впливах на власну реплікацію, що первинна система реплікації, яка її породила, була відкинута й забута. Згідно з цим поглядом, сучасна техніка ДНК є більш пізнім, недавнім узурпатором ролі основного реплікатора, що перебрав на себе цю роль від більш раннього й примітивнішого. Можливо навіть, що таких узурпацій була ціла низка, але первинний процес реплікації мав бути достатньо простим, аби виникнути шляхом того, що я назвав «однокроковим відбором».

Хіміки розподіляють свій предмет на дві основні галузі — органічну та неорганічну хімію. Органічна хімія — це хімія одного конкретного елемента, вуглецю. Неорганічна хімія — решта. Вуглець є дуже важливим і заслуговує мати свою власну приватну галузь хімії почасти тому, що на ньому базується хімія всього життя, а почасти тому, що ті самі

властивості, які роблять вуглець придатним для життя, роблять його придатним також для промислових процесів, таких як виробництво пластмас. Основною властивістю атомів вуглецю, що робить їх такими придатними для життя та промислового застосування, є те, що вони з'єднуються разом, формуючи необмежений репертуар різних типів дуже великих молекул. Деякі з цих властивостей має також кремній. Хоча хімія сучасного земного життя є цілковито вуглецевою, це може бути не так у всьому Всесвіті і, можливо, не завжди було так на нашій Землі. Кейрнс-Сміт вважає, що первинне життя на цій планеті базувалося на самореплікаційних неорганічних кристалах, таких як солі кремнієвих кислот — силікати. Якщо це правда, то органічні реплікатори, а зрештою й ДНК пізніше напевно перехопили чи узурпували цю роль.

Він наводить деякі аргументи на користь загальної правдоподібності такої ідеї про «перехоплення». Кам'яна арка, наприклад, є стійкою конструкцією, здатною простояти багато років навіть без жодного цементу для її скріплення. Створення тієї чи іншої складної конструкції шляхом еволюції схоже на побудову арки без розчину, коли вам дозволено торкатися лише одного каменя за раз. Якщо підійти до цього завдання наївно, з ним не впоратися. Арка стоятиме після того, як на місце ляже останній камінь, але проміжні етапи будуть нестійкими. Однак побудувати арку доволі легко, якщо вам дозволено не лише додавати камені, а й виймати їх. Почніть зі створення стійкої купи каміння, а потім зведіть арку, що спиратиметься на верхівку цього масивного фундаменту. Коли вся арка займе своє місце, включно із життєво важливим наріжним каменем на верхівці, обережно прийміть підпірні камені, і за умови дрібки удачі арка залишиться стояти. Стоунгендж неможливо осягнути, поки не усвідомиш, що його будівничі використовували якісь підмурки чи, можливо, земляні пандуси, *яких там більше немає*. Ми можемо бачити лише кінцевий продукт, а про зниклі підмурки мусимо здогадуватися. Так само ДНК та білок є двома стовпами стійкої й елегантної арки, що продовжує існувати

після одночасного виникнення всіх її частин. Важко уявити, що вона виникла унаслідок якогось покрокового процесу, якщо не допустити існування якихось більш ранніх підмурків, що нині повністю зникли. Ці підмурки самі, мабуть, були створені якоюсь більш ранньою формою накопичувального відбору, про природу якого можна лише здогадуватися. Але він, мабуть, ґрунтувався на реплікаційних сутностях, що мали владу над власним майбутнім.

Кейрнс-Сміт припускає, що первинними реплікаторами були кристали з неорганічних матеріалів на кшталт знайдених у глині та багні. Кристал — це лише великий упорядкований набір атомів чи молекул у твердому стані. Через властивості, які можна назвати їхньою «формою», атоми та невеличкі молекули від природи тяжіють до ущільнення разом фіксованим і впорядкованим чином. Вони немовби «прагнуть» улаштуватися разом у певний спосіб, але ця ілюзія є лише мимовільним наслідком їхніх властивостей. Їхній «улюблений» спосіб улаштування разом формує весь кристал. Він також означає, що навіть у великому кристалі, такому як діамант, будь-яка його частина є *точно* такою самою, як і будь-яка інша, за винятком місць із дефектами. Якби ми могли зменшитися до атомних масштабів, то побачили б мало не нескінченні ряди атомів, що тягнуться до горизонту рівними лініями, — галереї геометричного повторення.

Оскільки нас цікавить саме процес реплікації, то перш за все треба дізнатися, чи можуть кристали реплікувати свою структуру. Кристали складаються з безлічі шарів атомів (або їх еквівалентів), і кожен шар надбудовується на тому, що лежить нижче. Атоми (чи іони; для нас це не важливо) вільно плавають навколо у розчині, але якщо раптом наштовхуються на кристал, то мають природну схильність влаштовуватись у певному положенні на його поверхні. Розчин кухонної солі містить іони натрію та хлору, що штовхаються між собою більш-менш хаотичним чином. Кристал кухонної солі являє собою ущільнений упорядкований набір іонів натрію, що чергуються з іонами хлору під прямими кутами

один до одного. Коли іони, що вільно плавають у воді, раптом наштовхуються на тверду поверхню кристала, вони зазвичай прилипають до неї. Причому прилипають саме у потрібних місцях, щоб спричинити додавання до кристала нового шару, такого самого, як нижній. Тож одразу після свого виникнення кристал починає рости таким чином, що кожен новий шар стає повторенням попереднього.

Іноді кристали починають формуватися в розчині спонтанно. В інших випадках вони потребують «затравки» у вигляді частинок пилу або дрібних кристаликів, що звідкись упали. Кейрнс-Сміт запрошує нас провести такий експеримент. Розчиніть велику кількість фотографічного фіксажу гіпосульфіту в дуже гарячій воді. Потім дайте розчину охолонути, стежачи, щоб у нього не нападало пилу. Розчин тепер перенасичений, готовий і чекає на утворення кристалів, але не має затравочних кристаликів для початку цього процесу. Далі я процитую слова самого Кейрнса-Сміта з книжки «Сім ключів до розгадки походження життя»:

> *Обережно зніміть з мензурки ковпачок, киньте на поверхню розчину крихітний шматочок кристала гіпосульфіту і вражено спостерігайте за тим, що відбувається. Ваш кристал помітно росте: час від часу він розколюється, і його шматочки також ростуть... Скоро ваша мензурка просто переповнюється кристалами завдовжки до кількох сантиметрів. А потім, за декілька хвилин, усе це припиняється. Чарівний розчин утратив свою силу — хоча, якщо хочете іншу виставу, просто заново підігрійте та охолодіть мензурку... бути перенасиченим означає мати більше розчиненого, ніж там має бути... холодний перенасичений розчин буквально не знав, що робити. Йому треба було «підказати», додавши шматочок кристала, складові якого (мільярди й мільярди) вже були ущільнені разом способом, характерним для кристалів гіпосульфіту. Розчин треба було «затравити».*

Деякі хімічні речовини мають потенціал кристалізуватися двома альтернативними способами. І графіт, і діаманти, наприклад, є кристалами чистого вуглецю. Їхні атоми ідентичні. Ці дві речовини відрізняються одна від одної лише геометричною схемою ущільнення атомів вуглецю. У діамантах атоми ущільнені в тетраедральну схему, що є надзвичайно стійкою. Ось чому діаманти такі тверді. У графіті ж атоми вуглецю організовані в пласкі шестикутники, нашаровані один поверх одного. Зв'язок між шарами слабкий, а тому вони ковзають один по одному, через що графіт є слизьким на дотик і використовується як змащувальний матеріал. На жаль, ви не можете викристалізувати діаманти з розчину за допомогою затравки, як це було з гіпосульфітом. Інакше ви б розбагатіли — хоча якщо подумати, то ні, бо будь-який йолоп міг би зробити те саме.

Тепер припустімо, що ми маємо перенасичений розчин якоїсь речовини, що, як гіпосульфіт, легко кристалізується і, як вуглець, здатна кристалізуватись одним із двох способів. Один спосіб міг би нагадувати притаманний графіту — коли атоми організовані в шари, що дає невеличкі пласкі кристали, тоді як інший спосіб давав би компактні кристали у формі діамантів. Тепер ми одночасно вкинемо в наш перенасичений розчин крихітний плаский та крихітний компактний кристали. Можна описати те, що відбувається, довершивши опис експерименту з гіпосульфітом Кейрнса-Сміта. Ви вражено спостерігаєте за тим, що відбувається. Ваші два кристали ростуть на очах: час від часу вони розколюються, і їхні шматочки також ростуть. Пласкі кристали породжують популяцію пласких кристалів, компактні — компактних. Якщо існує якась тенденція одного типу кристала рости та розколюватися швидше за інший, ми отримаємо простий різновид природного відбору. Але для породження еволюційної зміни цьому процесу все ще бракує життєво важливого компонента. Цим компонентом є спадкова мінливість чи якийсь її еквівалент. Замість лише двох типів кристалів там має бути широкий діапазон незначних варіацій, що утворю-

ють спадкові лінії схожої форми, а іноді «мутують», створюючи нові форми. Чи мають реальні кристали якийсь відповідник спадкової мутації?

Глина, багно та скелі складаються з крихітних кристалів. На Землі їх безліч, і, мабуть, так було завжди. Якщо подивитися на поверхню деяких типів глини та інших мінералів у електронний мікроскоп, що сканує, ви побачите дивовижне й прекрасне видовище. Кристали ростуть, немов ряди квітів чи кактусів, сади неорганічних пелюсток троянд, крихітні спіралі на кшталт поперечних перерізів сукулентних рослин, наїжачені труби органа, складні кутасті форми, неначе складені в мініатюрні кристалічні оригамі, звивисті вирости, схожі на зліпки хробаків чи вичавлену з тюбика зубну пасту... За вищих рівнів збільшення ці впорядковані картини вражають іще більше. На рівнях, що відображують справжнє положення атомів, уже видно, що всій поверхні кристала властива регулярність машинотканого шматка твіду в «ялинку». Однак — і це дуже важливий момент — вона має й дефекти. Просто посередині відрізу впорядкованої тканини може трапитися латка, ідентична решті узору, за винятком того, що вона розвернена під іншим кутом так, що «плетиво» йде в іншому напрямку. Або плетиво йде в тому самому напрямку, але кожен рядок наполовину «сповзає» на один бік. Майже всі кристали, що виникають природним шляхом, мають дефекти. І щойно такий дефект виникає, він зазвичай копіюється в міру наростання поверх кристала наступних шарів.

Дефекти можуть виникати в будь-якому місці на поверхні кристала. Якщо вам подобається розмірковувати про здатність зберігати інформацію (мені подобається), ви можете уявити величезну кількість різних схем дефектів, які можна створити на поверхні кристала. Усі ті розрахунки щодо пакування Нового Заповіту в ДНК однієї-єдиної бактерії можна було б здійснити так само приголомшливо для майже будь-якого кристала. ДНК переважає звичайні кристали лише засобами зчитування її інформації. Якщо ж відкласти

проблему зчитування вбік, можна було б легко виробити довільний код, за допомогою якого дефекти в атомній структурі кристала переводилися б у двійкові числа. Тоді можна було б спакувати у мінеральний кристал розміром зі шпилькову головку декілька Нових Заповітів. У більшому масштабі, по суті, саме так зберігається музична інформація на поверхні лазерного («компакт»-)диска. Комп'ютер перетворює музичні ноти на двійкові числа. За допомогою лазера на гладеньку, мов скло, поверхню диска наносяться крихітні дефекти. Кожна нанесена заглибинка відповідає двійковій одиниці (чи нулю — позначки довільні). Коли ж ви слухаєте диск, інший лазерний промінь «зчитує» схему дефектів, а спеціальний комп'ютер, вбудований у плеєр, перетворює двійкові числа назад на звукові вібрації, що підсилюються так, аби ви могли їх чути.

Хоча сьогодні лазерні диски використовуються переважно для запису музики, в один із них цілком можна було б спакувати всю Британську енциклопедію, а потім читати її за допомогою такої самої лазерної техніки. На атомному рівні дефекти кристалів є значно меншими, ніж заглибини на поверхні лазерного диска, тому кристали потенційно здатні спакувати в конкретну ділянку більше інформації. По суті, молекули ДНК, здатність яких до зберігання інформації нас уже вражала, самі чимось близькі до кристалів. Хоча кристали глини теоретично здатні зберігати такі само дивовижні обсяги інформації, як ДНК чи лазерні диски, ніхто не припускає, що вони коли-небудь це робили. Роль глини та інших мінеральних кристалів у теорії зводиться до виконання функції первинних «низькотехнологічних» реплікаторів, що згодом були замінені «високотехнологічною» ДНК. Вони спонтанно утворюються у водах нашої планети без складної «техніки», якої потребує ДНК, і спонтанно виробляють дефекти, деякі з яких можуть реплікуватись у наступних шарах кристала. Якщо фрагменти придатно дефектного кристала пізніше розколюються, їх можна уявити собі в ролі «затравки» для

нових кристалів, кожен з яких «успадковує» схему дефектів своїх «батьків».

Отже, ми маємо теоретичну картину мінеральних кристалів на первісній Землі, що демонструє деякі властивості реплікації, розмноження, спадковості та мутації, які були б необхідні для початку тієї чи іншої форми накопичувального відбору. Однак там усе ще бракує компонента «влада»: природа реплікаторів повинна була якимось чином впливати на їхню власну ймовірність реплікації. Коли ми говорили про реплікатори в абстрактному сенсі, то бачили, що «владою» можуть бути безпосередні властивості самого реплікатора на кшталт «липкості». На такому елементарному рівні слово «влада» здається не надто виправданим. Я використовую його лише з огляду на те, чим воно може стати на більш пізніх стадіях еволюції — владою зміїних отруйних зубів, наприклад, поширювати (шляхом їхніх опосередкованих наслідків для виживання змії) ДНК, що кодує отруйні зуби. І хоч чим би були первинні низькотехнологічні реплікатори — мінеральними кристалами чи органічними безпосередніми попередниками самої ДНК, — можна здогадуватися, що «влада», яку вони проявляли, була прямою й елементарною, на кшталт липкості. Досконаліші важелі влади, на кшталт отруйних зубів змії чи квіток орхідеї, з'явилися значно пізніше.

Що могло б означати слово «влада» відносно глини? Які випадкові властивості глини могли вплинути на ймовірність поширення навколо такого самого різновиду глини? Глина складається з таких хімічних будівельних блоків, як кремнієва кислота та іони металу, що розчинені у водних потоках після «вимивання» зі скель вище за течією. За відповідних умов нижче за течією вони кристалізуються з розчину знову, утворюючи глину. (Насправді «потік» у цьому випадку означає скоріше просочування й протікання ґрунтових вод, а не стрімку відкриту річку. Але для простоти я й далі використовуватиму загальне слово «потік».) Можливість створення конкретного типу кристала глини залежить, серед

інших речей, і від швидкості та схеми плину потоку. Але й відкладення глини також можуть *впливати* на плин потоку. Вони роблять це мимоволі, змінюючи рівень, форму й текстуру ґрунту, яким плине вода. Розгляньмо варіант глини, що абсолютно випадково має властивість змінювати структуру ґрунту так, аби прискорювати потік. Наслідком цього є те, що глина, про яку йдеться, знову вимивається. Цей тип глини, за визначенням, є не дуже «успішним». Ще однією «неуспішною» глиною була б та, що змінює потік на користь конкурентного варіанта.

Ми, звісно, не натякаємо, що глина «хоче» продовжити своє існування. Ми завжди говоримо лише про випадкові наслідки, події, що випливають із властивостей, які суто випадково має реплікатор. Розгляньмо ще один варіант глини. Цей сповільнює потік таким чином, що стимулюється майбутнє відкладання його *власного* типу глини. Очевидно, що цей другий варіант поступово ставатиме поширенішим, бо випадково маніпулює потоками на свою власну «користь». Це буде «успішний» варіант глини. Але наразі ми маємо справу лише з однокроковим відбором. А чи може тут початись якась форма накопичувального відбору?

У порядку подальших домислів припустімо, що якийсь варіант глини покращує свої шанси на відкладення шляхом перекривання потоків. Це є ненавмисним наслідком своєрідної дефектної структури глини. У будь-якому потоці, де є такого типу глина, вище греблі утворюються великі мілкі загати зі стоячою водою, а основний потік відхиляється в новому напрямку. У цих стоячих загатах відкладається ще більше такого самого типу глини. Послідовність таких мілких загат поширюється вздовж будь-якого потоку, що випадково «інфікується» затравочними кристалами такого типу глини. Тепер, оскільки основний потік відхиляється, в посушливий сезон мілкі запруди зазвичай пересихають. Глина висихає й тріскається на сонці, а верхні її шари розносяться вітром як пил. Кожна частинка пилу успадковує характерну дефектну структуру батьківської глини, що створювала

греблі, — структуру, що наділила її загатними властивостями. За аналогією з генетичною інформацією, яка дощем падає в канал з моєї верби, можна сказати, що пил несе в собі «інструкції» стосовно того, як загачувати потоки і, врешті-решт, утворювати більше пилу. Пил розноситься вітром навсібіч, і є непогані шанси, що деякі його частинки випадково потраплять до іншого потоку, поки що не «інфікованого» затравкою такого типу греблебудівної глини. Після інфікування відповідним сортом пилу новий потік починає вирощувати кристали греблебудівної глини, і весь цикл відкладання, загачування, висихання та рознесення вітром починається знову.

Назвати це «життєвим» циклом означало би порушити велике питання, але це таки своєрідний цикл, який зі справжніми життєвими циклами об'єднує здатність ініціювати накопичувальний відбір. Оскільки потоки інфікуються пиловими «затравками», що роздуваються вітром з інших потоків, їх можна вишикувати в порядку від «предків» до «нащадків». Глина, що загачує потік *B*, потрапила туди у формі кристалів пилу, рознесених вітром з потоку *A*. Урешті-решт загати потоку *B* пересохнуть і утворять пил, який інфікує потоки *F* і *P*. З огляду на джерело їхньої загатної глини, потоки можна вишикувати у своєрідні «генеалогічні дерева». Кожен інфікований потік має «батьківський» потік і може мати більше одного «дочірнього». Кожен потік аналогічний тілу, на «розвиток» якого впливають затравочні «гени» пилу і яке врешті-решт породжує нові пилові затравки. Кожне «покоління» цього циклу починається з того, що затравочні кристали відділяються від батьківського потоку у формі пилу. Кристалічна структура кожної частинки пилу копіюється з глини батьківського потоку. Вона передає цю кристалічну структуру дочірньому потоку, де та росте, розмножується і врешті-решт розкидає свою «затравку» знову.

Предкова кристалічна структура зберігається через покоління, якщо тільки в рості кристалів не станеться якоїсь випадкової помилки, якоїсь випадкової зміни у схемі роз-

ташування атомів. Наступні шари того самого кристала почнуть копіювати цей дефект, а якщо кристал розколеться на два, це породить субпопуляцію змінених кристалів. Тепер, якщо ця зміна зробить кристал менш або більш ефективним у циклі загачування/висихання/рознесення вітром, вона вплине на кількість копій у наступних «поколіннях». Змінені кристали можуть, наприклад, мати більшу тенденцію розколюватися («розмножуватися»). Сформована зі змінених кристалів глина може мати більшу силу під час загачування будь-яким із різноманітних за своїми деталями способів. Вона може легше розтріскуватися за певної кількості сонячного світла. Вона може легше розсипатися в пил. Частинки пилу можуть краще ловити вітер, немов пушинки насіння верби. Деякі типи кристалів можуть спричиняти скорочення «життєвого циклу», а отже, прискорення їхньої «еволюції». Існує багато можливостей для наступних «поколінь» ставати прогресивно «кращими» в передаванні нащадкам. Іншими словами, існує багато можливостей для початку рудиментарного накопичувального відбору.

Ці невеличкі польоти фантазії, перебільшення самого Кейрнса-Сміта, стосуються лише одного з кількох різновидів «життєвого циклу» мінералів, що могли наставити накопичувальний відбір на його важливий шлях. Є й інші. Інші різновиди кристалів могли би прокласти собі прохід до нових потоків, не розсипаючись у пилову «затравку», а розсікаючи потоки на багато дрібних потічків, що розтікалися б навколо, врешті-решт з'єднуючись та інфікуючи нові річкові системи. Деякі різновиди могли би сформувати водоспади, що швидше розмивають скелі, а отже, прискорюють розчинення сировини, необхідної для формування нових скупчень глини нижче за течією. Деякі різновиди кристалів могли б удосконалитись, погіршуючи умови для «конкурентних» різновидів, що змагаються з ними за сировину. Деякі різновиди могли би стати «хижацькими», руйнуючи конкурентні різновиди та використовуючи їхні елементи як сировину для себе. Пам'ятайте, що ані тут, ані в сучасному, що ґрунтується

на ДНК, житті немає жодного припущення про «навмисне» планування. Ідеться лише про те, що світ зазвичай автоматично повниться тими різновидами глини (чи ДНК), що *випадково* мають властивості, які роблять їх стійкішими та здатнішими до розмноження.

А тепер перейдемо до наступної стадії цього аргументу. Деякі спадкові лінії кристалів могли б випадково каталізувати синтез нових речовин, що допомагають в передаванні їх через «покоління». Ці другорядні речовини не мали б (принаймні спочатку) своїх власних спадкових ліній предків і нащадків, а вироблялися б заново кожним поколінням первинних реплікаторів. Їх можна було б вважати інструментами спадкових ліній реплікаційних кристалів, зачатками примітивних «фенотипів». На думку Кейрнса-Сміта, *органічні* молекули виділялися серед нереплікаційних «інструментів» його неорганічних кристалічних реплікаторів. Органічні молекули часто використовуються в комерційній неорганічній хімічній промисловості через їхні впливи на плин рідин і розкол чи зростання неорганічних частинок — якщо коротко, саме через ті впливи, що могли б визначити «успіх» спадкових ліній реплікаційних кристалів. Наприклад, глинистий мінерал із чудовою назвою «монтморилоніт» зазвичай розпадається в присутності невеличких об'ємів органічної молекули з не такою чудовою назвою «карбоксиметилцелюлоза». Менші об'єми карбоксиметилцелюлози, з іншого боку, справляють цілком протилежний ефект, допомагаючи склеювати частинки монтморилоніту разом. Ще один різновид органічних молекул — таніни — використовується в нафтовій промисловості для полегшення буріння шламу. Якщо нафтовики можуть використовувати органічні молекули для регулювання потоку й кращої бурильності шламу, то немає жодних причин, з яких накопичувальний відбір не міг би привести до такого самого типу експлуатації шляхом самореплікації мінералів.

На цьому етапі теорія Кейрнса-Сміта отримує свого роду безкоштовний бонус додаткової правдоподібності. Так ста-

лося, що інші хіміки, прихильники більш традиційних теорій органічного «первісного бульйону», давно вже визнали користь глинистих мінералів. Процитую лише одного з них (Д. М. Андерсона): «Загальновизнано, що деякі, а можливо, багато абіотичних хімічних реакцій і процесів, що ведуть до походження на Землі реплікаційних мікроорганізмів, відбувалися в дуже ранній історії Землі безпосередньо поруч із поверхнями глинистих мінералів та інших неорганічних субстратів». Далі цей автор переходить до переліку з п'яти «функцій» глинистих мінералів, сприятливих для зародження органічного життя, наприклад «концентрації хімічних реагентів шляхом адсорбції». Нам тут не треба детально розбирати всі п'ять чи хоча б розуміти їх. Для нас значення має лише те, що кожну з цих п'яти «функцій» глинистих мінералів можна перекрутити іншим чином. Це показує тісний зв'язок, що може існувати між синтезом органічних хімічних речовин і поверхнями глини. Тому для цієї теорії є бонусом те, що глинисті реплікатори синтезували органічні молекули та використовували їх для своїх власних цілей.

Кейрнс-Сміт розглядає (з більшою кількістю деталей, ніж я можу тут умістити) варіанти застосування на ранніх етапах білків, цукрів і, найважливіше, нуклеїнових кислот на кшталт РНК його реплікаторами глинистих кристалів. Він припускає, що РНК спочатку використовувалася для чисто структурних цілей, як-от нафтовики використовують таніни чи ми мило та мийні засоби. Схожі на РНК молекули через свої негативно заряджені каркаси мали б укривати частинки глини ззовні. Це заводить нас у царину хімії, що виходить за межі нашого розгляду. Для наших цілей значення має лише те, що РНК (чи щось на неї схоже) існувала задовго до того, як стала самореплікаційною. Коли ж вона нарешті таки набула здатності до самореплікації, це був пристрій, розроблений «генами» мінеральних кристалів для покращення ефективності виробництва РНК (або аналогічної молекули). Але одразу ж після виникнення нової самореплікаційної молекули зміг початися й новий різновид накопичувального

відбору. Спочатку нові реплікатори були таким собі «вставним номером програми», але потім виявилися настільки ефективнішими від первинних кристалів, що поступово взяли гору. Вони еволюціонували далі та врешті-решт виробили довершений код ДНК, який ми знаємо сьогодні. Первинні мінеральні реплікатори були відкинуті, неначе зношені підмурки, і все сучасне життя еволюціонувало від порівняно недавнього спільного предка з єдиною однорідною генетичною системою та здебільшого однорідною біохімією.

У книжці «Егоїстичний ген» я висунув припущення, що ми сьогодні, можливо, стоїмо на порозі нового типу генетичного перевороту. ДНК-реплікатори побудували для себе «машини виживання» — тіла живих організмів включно з нами. Серед іншого «обладнання» тіла виробили «бортові комп'ютери» — мізки. Останні виробили здатність спілкуватися з іншими мізками за допомогою мови та культурних традицій. Але нове середовище культурних традицій відкриває нові можливості для самореплікаційних сутностей. Нові реплікатори — це не ДНК і не глинисті кристали. Це схеми інформації, що можуть чудово почуватися лише в мізках чи їхніх штучно виготовлених продуктах — книжках, комп'ютерах тощо. Але за умови існування мізків, книжок і комп'ютерів ці нові реплікатори (які я назвав мемами, щоб відрізняти їх від генів) можуть поширюватися від мозку до мозку, від мозку до книжки, від книжки до мозку, від мозку до комп'ютера, від комп'ютера до комп'ютера. У процесі цього поширення вони можуть змінюватися — мутувати. І можливо, «мутантні» меми здатні спричиняти певні види впливу, які я тут називаю «владою реплікаторів». Згадайте, що це означає будь-який вид впливу на ймовірність їхнього власного поширення. Еволюція під впливом нових реплікаторів — мемічна еволюція — поки що перебуває на етапі становлення. Вона проявляється у явищах, які ми називаємо культурною еволюцією. Культурна ж еволюція на багато порядків швидша за еволюцію на основі ДНК, що ще більше наводить на думку про «переворот». А якщо по-

чинається новий переворот реплікаторів, цілком можливо, що він просунеться вперед настільки, що залишить свою материнську ДНК (та свою «бабусю» глину, якщо Кейрнс-Сміт правий) далеко позаду. Якщо так, то можна бути впевненим, що комп'ютери будуть в авангарді.

Чи може статися так, що одного далекого дня розумні комп'ютери замисляться про свої власні втрачені джерела? Чи додумається один із них до крамольної істини, що вони походять від якоїсь далекої, більш ранньої форми життя, що ґрунтується на органічній вуглецевій хімії, а не на принципах кремнієвої електроніки їхніх власних тіл? Чи напише такий собі роботизований Кейрнс-Сміт книжку під назвою «Електронний переворот»? Чи відкриє він заново якийсь електронний еквівалент метафори з аркою, зрозумівши, що комп'ютери не могли виникнути спонтанно, а, мабуть, пішли від якогось більш раннього процесу накопичувального відбору? Чи заглибиться він у деталі, відтворивши ДНК як вірогідний ранній реплікатор, жертву електронної узурпації? І чи буде він достатньо далекоглядним, аби здогадатися, що навіть сама ДНК може бути узурпатором іще більш далеких та примітивніших реплікаторів, кристалів неорганічних силікатів? Якщо він матиме поетичний склад розуму, то чи побачить хоч якусь справедливість у кінцевому поверненні до кремнієвого життя, де ДНК є не більше ніж проміжним епізодом, хоча й таким, що тривав понад три еони?

Це вже наукова фантастика, що може здатися притягнутою за вуха. Але то нічого. Більш безпосередні моменти, такі як теорія Кейрнса-Сміта та, фактично, всі інші теорії походження життя, теж можуть здатися вам притягнутими за вуха й малопереконливими. Чи не вважаєте ви глинисту теорію Кейрнса-Сміта і більш загальноприйняту теорію органічного «первісного бульйону» просто дико неймовірними? Чи не здається вам, що знадобилося б диво, аби змусити випадкову штовханину атомів об'єднатися разом у самореплікаційну молекулу? Що ж, часом мені й самому так здається. Але погляньмо на це питання див і неймовірності

глибше. При цьому я продемонструю одну думку, хоч і парадоксальну, але тим цікавішу, в цьому ключі. Вона полягає в тому, що якби походження життя не видавалося дивним нашій людській свідомості, то ми як учені мали б навіть трохи занепокоїтись. Очевидно (для пересічної людської свідомості) дивовижна теорія є *саме тією*, яку нам слід шукати в цьому конкретному питанні походження життя. Цьому аргументу, який можна звести до розгляду питання, що ми розуміємо під дивом, буде присвячена решта розділу. У певному сенсі він є розширенням аргументу, який ми розглядали раніше, — про мільярди планет.

Тож що ми розуміємо під дивом? Диво — це щось таке, що відбувається, але є надзвичайно несподіваним. Якби мармурова статуя Діви Марії раптом помахала нам рукою, ми сприйняли б це як диво, бо весь наш досвід і знання говорять, що мармур так не поводиться. Я от щойно промовив: «Побий мене грім». Якби мене в цю хвилину справді вдарила блискавка, це вважалося б дивом. Але насправді жоден із цих двох випадків не класифікується наукою як абсолютно неможливий. Вони просто вважаються дуже малоймовірними, причому статуя, що махає, вважається значно неймовірнішою за ураження блискавкою. Але ж блискавка справді влучає в людей. У будь-кого з нас могла б ударити блискавка, але ймовірність цього в будь-яку конкретну хвилину доволі низька (щоправда, у «Книзі рекордів Ґіннеса» можна побачити премиле фото чоловіка зі штату Вірджинія, прозваного «людиною-блискавковідводом», що одужує в лікарні після сьомого удару блискавкою, з виразом боязкого подиву на обличчі). Єдиною дивною річчю в моїй гіпотетичній історії є *збіг* ураження мене блискавкою і мого словесного закликання цього лиха.

Збіг означає помножену неймовірність. Імовірність удару в мене блискавки в будь-яку конкретну хвилину мого життя, за скромними підрахунками, становить десь 1 на 10 мільйонів. Імовірність того, що я закликатиму блискавку вдарити в мене в будь-яку конкретну хвилину, є також дуже низькою.

Досі я робив це лише раз на 23 400 000 хвилин свого життя й сумніваюся, що робитиму це знову, тож визначимо ці шанси як один до 25 мільйонів. Щоб розрахувати спільну ймовірність збігу в будь-яку конкретну хвилину, помножимо ці дві окремі ймовірності. За моїми грубими підрахунками виходить приблизно один до 250 трильйонів. Якби зі мною стався збіг такого масштабу, я назвав би це дивом і у майбутньому стежив би за тим, що говорю. Тим не менш, хоча шанси збігу є надзвичайно низькими, їх усе одно можна розрахувати. Вони не є буквально нульовими.

У випадку мармурової статуї молекули твердого мармуру постійно зіштовхуються між собою у випадкових напрямках. Поштовхи різних молекул гасять один одного, тому вся рука статуї залишається нерухомою. Але якби внаслідок чистого збігу всі молекули раптом одночасно посунули в одному напрямку, рука прийшла б у рух. Якби вони потім усі одночасно посунули у зворотному напрямку, рука ворухнулася б назад. У такий спосіб мармурова статуя справді *може* нам помахати. Це могло б статися. Шанси проти такого збігу є неймовірно великими, але не настільки, щоб їх неможливо було обчислити. Один колега-фізик люб'язно зробив це для мене. Це число настільки велике, що весь вік Усесвіту наразі є надто коротким, аби умістити всі його нулі! Теоретично приблизно зі схожою неймовірністю корова могла би стрибнути вище місяця. Висновок із цієї частини міркувань полягає в тому, що *розрахувати* свій шлях у царині дивовижної неймовірності нам значно легше, ніж *уявити* його правдоподібним.

Розгляньмо питання про те, що ми вважаємо правдоподібним. Те, що можна уявити як правдоподібне, є вузькою смужкою посередині значно ширшого спектру справді можливого. Іноді вона здається ще вужчою, ніж насправді. Можна провести непогану аналогію зі світлом. Наші очі створені для того, щоб мати справу з вузькою смужкою електромагнітних частот (тих, що ми звемо світлом) десь посередині спектру від довгих радіохвиль на одному краю до коротких

рентгенівських променів на другому. Ми не бачимо променів ззовні цієї вузької смужки світла, але можемо зробити розрахунки щодо них і створити інструменти для їх виявлення. Таким самим чином ми знаємо, що шкали розміру й часу простягаються в обох напрямках далеко за межі того, що ми можемо візуалізувати. Наш розум не здатен упоратися з великими відстанями, з якими має справу астрономія, або з малими відстанями ядерної фізики, але ми можемо відобразити ці відстані в математичних символах. Наш розум не здатен уявити такий малий проміжок часу, як пікосекунда, але ми можемо зробити розрахунки з пікосекундами і створити комп'ютери, здатні виконувати розрахунки впродовж пікосекунд. Наш розум не спроможний уявити такий великий проміжок часу, як мільйон років, не кажучи вже про тисячі мільйонів років, якими повсякчас послуговуються геологи.

Так само, як наші очі бачать лише цю вузьку смужку електромагнітних частот, можливістю бачити яку наділив наших пращурів природний відбір, так і наші мізки призначені для того, щоб мати справу з вузькими смужками розмірів і часів. Вочевидь, нашим предкам не доводилося мати справу з розмірами та часами за межами вузького діапазону повсякденної практичності, тому наші мізки так і не розвинули здатності їх уявляти. Мабуть, важливо, що розміри наших власних тіл у кілька футів перебувають десь посередині діапазону розмірів, які ми здатні уявити. А тривалість нашого життя в кілька десятиліть міститься десь посередині діапазону часових відтинків, які ми здатні уявити.

Те саме можна сказати й про неймовірності та дива. Уявімо собі градуйовану шкалу неймовірностей, аналогічну шкалі розмірів від атомів до галактики чи шкалі часів від пікосекунд до еонів. Нанесемо на цю шкалу різні точки. На дальньому лівому краю шкали будуть події, що мало не всі безсумнівні, на кшталт імовірності того, що сонце зійде завтра (предмет парі на півпенні Ґ. Г. Гарді). Поблизу цього лівого краю шкали будуть речі, лише трохи неймовірні, на кшталт випадіння подвійної шістки при одному-єдиному

кидку гральних костей. Шанси того, що це станеться, дорівнюють 1 до 36. Думаю, що кожному з нас це могло б вдаватися доволі часто. У міру просування в бік правого краю спектру іншою знаковою точкою буде ймовірність ідеальної роздачі в бриджі, за якої кожен із чотирьох гравців отримає повний набір карт однієї масті. Шанси проти того, що це станеться, дорівнюють 2 235 197 406 895 366 368 301 55 9 999 до 1. Назвімо це число «один роздальйон — одиниця неймовірності». Коли щось із неймовірністю в один роздальйон було передбачено, а потім сталося, слід констатувати диво або (що ймовірніше) запідозрити шахрайство. Але це *могло би* статися під час чесної гри, і це значно, значно, значно ймовірніше, ніж помах руки мармурової статуї. Тим не менш навіть ця остання подія, як ми вже бачили, матиме своє законне місце у спектрі подій, що могли б статися. Вона вимірювана, хоча й в одиницях, значно більших за гігароздальйони. Між викиданням у кістки подвійної шістки та ідеальною роздачею в бриджі існує ціла низка більш або менш неймовірних подій, що іноді все ж трапляються, включно з ураженням будь-якої людини блискавкою, виграшем великої суми на футбольному тоталізаторі, влучанням з одного удару в лунку в гольфі й т. п. Десь у цій низці є збіги, що дають нам моторошне, з холодком поза шкурою, відчуття — на кшталт того, коли бачиш уві сні певну людину вперше за десятки років, а потім, прокинувшись, дізнаєшся, що вона вночі померла. Ці моторошні збіги надзвичайно вражають, коли вони стаються з нами чи кимось із наших друзів, але їхня неймовірність вимірюється лише в пікороздальйонах.

Побудувавши нашу математичну шкалу неймовірностей з позначеними на ній контрольними, або знаковими, точками, спрямуємо тепер прожектор на менший діапазон цієї шкали, з яким ми можемо мати справу в наших повсякденних думках і спілкуванні. Ширина променя прожектора аналогічна вузькому діапазону електромагнітних частот, який можуть бачити наші очі, або вузькому діапазону розмірів чи

часів, близьких до наших власних розмірів і довговічності, які ми здатні уявити. Виявляється, що в усьому спектрі неймовірностей прожектор висвітлює лише вузьку смужку від лівого краю (безсумнівності) аж до маленьких див на кшталт влучання в лунку з одного удару чи сну, що справджується. За межами цієї висвітленої прожектором смужки існує широкий діапазон математично обчислюваних неймовірностей.

Наші мізки були створені природним відбором для оцінювання ймовірності та ризику, так само, як наші очі були створені для оцінювання довжини електромагнітної хвилі. Ми споряджені всім необхідним для того, аби робити подумки розрахунки ризику та шансів у діапазоні неймовірностей, що може бути корисним у людському житті. Це означає ризики такого порядку, як, скажімо, те, що нас заколе рогами буйвіл, якщо пустити в нього стрілу, вдарить блискавка, якщо сховатися під самотнім деревом у грозу, або забере глибока вода, якщо ми спробуємо переплисти річку. Ці прийнятні ризики співмірні з тривалістю нашого життя в кілька десятиліть. Якби ж ми були біологічно здатні прожити з мільйон років і прагнули цього, нам слід було б оцінювати ризики зовсім по-іншому. Наприклад, ми мали б звикнути не перебігати дорогу, бо коли ви щодня перебігатимете дорогу впродовж півмільйона років, то вас, безперечно, переїдуть.

Еволюція наділила наші мізки суб'єктивною свідомістю ризику та неймовірності, придатною для створінь із тривалістю життя менше одного століття. Нашим предкам постійно доводилося приймати рішення, що передбачали ризики та ймовірності, а тому природний відбір спорядив наші мізки для оцінювання ймовірностей на тлі короткої тривалості життя, на яку ми можемо в будь-якому разі розраховувати. Якщо на якійсь планеті є істоти з тривалістю життя в мільйон століть, їхній прожектор збагненного ризику піде значно далі в бік правого краю континууму. Час від часу вони будуть очікувати ідеальної роздачі в бриджі й навряд чи перейматимуться тим, щоб згадати про неї в листі додому, коли вона трапиться. Але навіть вони відсахнуться, якщо їм

раптом помахає рукою мармурова статуя, бо, щоб побачити диво такого масштабу, треба прожити на роздальйони років довше навіть за них.

Який стосунок усе це має до теорій походження життя? Що ж, ми почали ці міркування з того, що погодилися: теорії Кейрнса-Сміта й «первісного бульйону» здаються нам трохи притягнутими за вуха і неймовірними. З цієї причини ми відчуваємо природну схильність відкинути їх. Але «ми», згадайте, є істотами, мізки яких обладнані прожектором збагненного ризику, що променем завтовшки з олівець висвітлює далекий лівий край математичного континууму обчислюваних ризиків. Наше суб'єктивне судження про те, що здається «доброю ставкою», не відповідає тому, що справді є «доброю ставкою». Суб'єктивне судження якогось космічного прибульця з тривалістю життя в мільйон століть було б зовсім іншим. Він розцінив би як доволі правдоподібну подію версію щодо походження першої реплікаційної молекули, яку теоретично допускає теорія деяких хіміків і яку ми, яким визначено еволюцією жити у світі впродовж кількох десятиліть, сприйняли б як приголомшливе диво. Як же нам визначити, чий погляд є правильним — наш чи цього довговічного прибульця?

На це запитання є проста відповідь. Погляд довговічного прибульця є правильним, якщо оцінювати правдоподібність теорій на кшталт теорії Кейрнса-Сміта чи «первісного бульйону». Бо ці дві теорії теоретично допускають, що конкретна подія — спонтанне виникнення якоїсь самореплікаційної сутності — відбувається лише раз на приблизно мільярд років, раз на еон. Півтора еони — це приблизно час, що минув між виникненням Землі й появою перших бактеріеподібних скам'янілостей. Для нашого розуму, здатного охопити не більше кількох десятиліть, подія, що відбувається лише раз на еон, є настільки рідкісною, що здається великим дивом. Довговічному ж прибульцеві вона здаватиметься дивом меншим, ніж нам влучання в лунку в гольфі одним ударом, — а більшість із нас, мабуть, знають когось, хто знає

когось, хто таки влучив. Для оцінювання теорії походження життя краще придається суб'єктивна часова шкала довговічного прибульця, бо вона приблизно дорівнює часовій шкалі, задіяній у цьому процесі. Наше власне суб'єктивне судження про правдоподібність теорії походження життя може помилятися в сотню мільйонів разів.

По суті, наше суб'єктивне судження є, мабуть, хибним іще більше. Наші мізки оснащені природою для оцінювання ризиків не лише впродовж короткого часу, а й особисто для нас чи вузького кола знайомих нам людей. Адже вони виникли не в умовах домінування засобів масової інформації. Наявність масової інформації означає, що, коли якась неймовірна подія відбувається з кимось у будь-якому місці світу, ми прочитаємо про неї в газетах чи у «Книзі рекордів Ґіннеса». Коли якийсь оратор у будь-якій точці світу публічно закличе блискавку вдарити в нього, якщо він бреше, і вона тут-таки це зробить, ми прочитаємо про це й будемо відповідним чином вражені. Але у світі живе декілька мільярдів людей, для яких такий збіг *міг би* статися, тож він насправді не такий великий, як здається. Наші мізки, мабуть, споряджені природою для оцінювання ризиків для нас самих або кількох сотень людей у малому колі поселень у межах чутності барабанів, за допомогою яких наші племінні предки могли сподіватись отримати новини. Коли ми читаємо в газеті про якийсь дивовижний збіг, що стався з кимось у Вальпараїсо чи Вірджинії, він вражає нас більше, ніж слід. Можливо, більше в сотні мільйонів разів, якщо це й є співвідношення між населенням світу, охопленим газетами, й чисельністю племені, про яке наші мізки «очікують» почути новини.

Такий «розрахунок чисельності населення» також придасться для нашого судження про правдоподібність теорій походження життя. Не через чисельність людей на Землі, а через чисельність планет у Всесвіті — планет, де життя *могло б* зародитися. Цей аргумент уже траплявся в цьому розділі, тож немає потреби детально зупинятися на ньому

тут. Повернімося до нашої уявної картини градуйованої шкали неймовірних подій з її знаковими збігами роздачі в бриджі та кидків костей. Позначмо на цій градуйованій шкалі роздальйонів і мікророздальйонів такі три нові точки: імовірність виникнення життя на планеті (скажімо, за мільярд років), якщо припустити, що воно виникає з частотою приблизно раз на сонячну систему; імовірність цієї події, якщо життя виникає з частотою приблизно раз на галактику; імовірність виникнення життя на випадково обраній планеті, якщо життя виникло лише раз у Всесвіті. Позначимо ці три точки відповідним чином: число сонячної системи, число галактики та число Всесвіту. Згадаймо, що існує приблизно 10 тисяч мільйонів галактик. Ми не знаємо, скільки сонячних систем у кожній галактиці, бо можемо побачити лише зірки, а не планети, але раніше ми виходили з оцінки, згідно з якою у Всесвіті може бути 100 мільярдів мільярдів планет.

Коли ми оцінюємо неймовірність якоїсь події, яку теоретично допускає, наприклад, теорія Кейрнса-Сміта, то маємо робити це в порівнянні не з тим, що ми суб'єктивно вважаємо імовірним чи неймовірним, а з величинами на кшталт цих трьох — із числом сонячної системи, числом галактики та числом Усесвіту. Яке з них є найбільш відповідним, залежить від того, яке з таких трьох тверджень ми вважаємо найближчим до істини:

1. Життя виникло лише на одній планеті в усьому Всесвіті (і цією планетою, як ми бачили раніше, має бути Земля).
2. Життя виникло приблизно на одній планеті на галактику (в нашій галактиці пощастило Землі).
3. Походження життя є достатньо ймовірною подією, що зазвичай стається приблизно раз на сонячну систему (в нашій сонячній системі пощастило Землі).

Ці три твердження відображають три знакові погляди на унікальність життя. Фактична унікальність життя, мабуть,

лежить десь між крайніми випадками, представленими першим і третім твердженнями. Чому я так кажу? Зокрема, чому ми маємо виключати четверту можливість — що походження життя є значно імовірнішою подією, ніж допускає третє твердження? Це не надто переконливий аргумент, але все ж він чогось та вартий. Якби походження життя було значно імовірнішою подією, ніж допускається числом сонячної системи, ми мали б уже очікувати зіткнутися з позаземним життям, якщо не віч-на-віч (будь-якими шляхами), то хоча б по радіо.

Часто говорять, що спроби хіміків відтворити спонтанний процес зародження життя в лабораторії провалились. Цей факт використовується як свідчення проти теорій, які ці хіміки намагаються перевірити. Але насправді можна стверджувати, що нас мало би стурбувати, якби їм вдалося завиграшки спонтанно отримати життя в пробірці. А все тому, що ці експерименти тривають упродовж років, а не тисяч мільйонів років і що до цих експериментів залучені лише окремі вчені, а не тисячі мільйонів хіміків. Якби спонтанне зародження життя виявилося достатньо ймовірною подією, щоб статися впродовж кількох людських десятиліть, коли хіміки проводили свої експерименти, то життя мало би виникнути багато разів на Землі й багато разів на планетах у радіодіапазоні Землі. Ясна річ, усе це порушує важливі питання про те, чи вдалося б хімікам відтворити умови ранньої Землі, але навіть у цьому випадку, беручи до уваги факт, що ми не можемо відповісти на ці запитання, аргумент вартий розгляду.

Якби походження життя було ймовірною подією за звичайними людськими мірками, то значна кількість планет у нашому радіодіапазоні виробили б радіотехнологію достатньо давно (беручи до уваги, що радіохвилі рухаються зі швидкістю близько 300 тисяч кілометрів на секунду), аби ми прийняли хоча б одну передачу за ті десятиліття, впродовж яких маємо для цього відповідне обладнання. Якщо припустити, що вони мають технології радіозв'язку не довше за нас,

то у межах радіодіапазону налічується приблизно 50 зірок. Але 50 років — це лише швидкоплинна мить, і було б великим збігом, якби інша цивілізація виявилася настільки близькою до нас за рівнем розвитку. Якщо ми введемо в наші розрахунки ті цивілізації, що мали технології радіозв'язку тисячу років тому, то в межах радіодіапазону налічуватиметься близько мільйона зірок (разом із казна-скількома планетами, що обертаються навколо кожної з них). Якщо ж ми врахуємо ті, технології радіозв'язку яких налічують уже 100 тисяч років, то в межах радіодіапазону опиниться ціла трильйонзіркова галактика. Звісно, сигнали добряче ослаблялися б під час передавання на такі величезні відстані.

Отже, ми прийшли до парадоксу. Якщо теорія походження життя є достатньо «правдоподібною», щоб задовольнити наше суб'єктивне судження про правдоподібність, то вона є *надто* «правдоподібною», щоб пояснювати брак життя у Всесвіті, який ми спостерігаємо. Згідно з цим аргументом, теорія, яку ми шукаємо, *має бути* такою, що видається неправдоподібною нашій обмеженій, прив'язаній до Землі та десятиліть уяві. Якщо розглядати їх у такому світлі, то обидві теорії (Кейрнса-Сміта і «первісного бульйону») здаються щонайменше ризикованими з погляду надмірної правдоподібності! Сказавши все це, я мушу зізнатися, що через велику непевність у розрахунках, якби якийсь хімік *усе ж* досягнув успіху в створенні спонтанного життя, я б не дуже збентежився!

Ми все ще не знаємо точно, як на Землі розпочався природний відбір. Цей розділ мав скромну мету пояснити лише можливий *спосіб*, у який це мало б статися. Нинішню відсутність чітко прийнятого пояснення походження життя, безумовно, не слід сприймати як камінь спотикання для всього дарвінівського світогляду, як це час від часу (можливо, через бажання видати бажане за дійсне) робиться. Попередні розділи вже прибрали інші уявні камені спотикання, а наступний прибере ще один — думку, що природний відбір здатен лише знищувати, але геть не створювати.

РОЗДІЛ 7

КОНСТРУКТИВНА ЕВОЛЮЦІЯ

Люди іноді вважають, що природний відбір є виключно негативною силою, здатною лише викорінювати різні дивацтва й невдачі, але неспроможною створити щось складне, гарне й ефективно задумане. Чи ж він не просто віднімає від того, що вже є, і чи не повинен по-справжньому творчий процес щось іще й додавати? Певною мірою відповісти на це запитання можна, взявши за приклад мармурову статую. До брили мармуру нічого не додається. Скульптор лише віднімає, але попри це в результаті його дій виникає гарна статуя. Однак ця метафора може збивати з пантелику, бо деякі люди одразу ж хапаються за її неправильну частину — факт, що скульптор є свідомим творцем, випускаючи з уваги важливий момент — той факт, що скульптор діє шляхом віднімання, а не додавання. Щоправда, навіть на цю частину метафори не слід надто вже покладатися. Природний відбір спроможний лише віднімати, але мутація здатна додавати. Існують способи, якими мутація та природний відбір разом здатні привести через довгий період геологічного часу до створення чогось складного, що має більше спільного з додаванням, аніж із відніманням. Таке творення може здійснюватися двома основними способами. Перший із них — спосіб «коадаптованих генотипів», а другий називається

«гонитвою озброєнь». На перший погляд ці два способи доволі суттєво відрізняються один від одного, але обидва можна віднести до рубрик «Коеволюція» та «Гени як навколишнє середовище один одного».

Спочатку розглянемо ідею «коадаптованих генотипів». Ген має конкретний вплив, який він здійснює *лише* завдяки вже наявній структурі, над якою можна попрацювати. Ген не може впливати на схему з'єднань мозку, якщо не існує ніякого мозку зі схемою з'єднань. Його й не буде, якщо немає повноцінного ембріона, що розвивається. А повноцінного ембріона, що розвивається, не буде без цілої програми хімічних і клітинних подій, що відбуваються під впливом дуже багатьох інших генів і дуже багатьох інших, негенетичних, причинно-наслідкових впливів. Конкретні ефекти, які справляють гени, не є характерними властивостями цих генів. Вони є властивостями ембріологічних процесів, що *вже існують*, деталі яких можуть *змінюватися* генами, що діють у конкретних місцях і в конкретні моменти часу протягом ембріонального розвитку. Цю ідею я вже ілюстрував в елементарній формі — як розвиток комп'ютерних біоморфів.

У певному сенсі весь процес ембріонального розвитку можна розглядати як діяльність спільного підприємства, якою солідарно керують тисячі генів. Створення ембріонів є результатом співпраці всіх робочих генів організму, що розвивається. А тепер на сцені з'являється ключ до розуміння того, як виникає така співпраця. У процесі природного відбору гени завжди відбираються на основі їхньої здатності чудово почуватися в тому середовищі, в якому вони опиняються. Ми часто уявляємо собі це середовище як зовнішній світ — світ хижаків та кліматичних умов. Однак з погляду кожного гена, мабуть, найважливішою частиною його навколишнього середовища є *всі інші гени, з якими він стикається*. А де ж ген «стикається» з іншими генами? Здебільшого в клітинах послідовної низки тіл індивідів, усередині яких він опиняється. Кожен ген відбирається з огляду на

його здатність до успішної співпраці з популяцією інших генів, які він імовірно зустріне всередині цих тіл.

Справжня популяція генів, які складають робоче навколишнє середовище будь-якого конкретного гена, є не просто якоюсь тимчасовою добіркою, що випадково зібралася в клітинах тіла будь-якого конкретного індивіда. Принаймні у видів зі статевим розмноженням вона являє собою набір усіх генів популяції індивідів, що схрещуються між собою, — так званий генофонд. У будь-який конкретний момент часу будь-яка конкретна копія гена (в сенсі конкретного набору атомів) має сидіти в одній клітині одного індивіда. Але набір атомів, що є якоюсь копією якогось гена, не є об'єктом постійного інтересу. Середня тривалість його життя вимірюється лише кількома місяцями. Як ми вже бачили, довговічний ген як еволюційна одиниця є не якоюсь конкретною фізичною структурою, а текстовою архівною *інформацією*, що копіюється й поширюється в процесі зміни поколінь. Цей текстовий реплікатор характеризується розподіленим існуванням. Він широко розподілений у просторі серед різних індивідів і в часі серед багатьох поколінь. Якщо подивитися на нього в такому розподіленому ключі, то можна сказати, що будь-який окремо взятий ген «зустрічається» з іншим, коли вони опиняються в одному тілі. Можна «очікувати», що в інших тілах в інший час його розподіленого існування, а також на шляху крізь геологічний час він зустрінеться з розмаїттям інших генів. Успішним геном стане той, який добре почуватиметься в умовах навколишнього середовища, забезпечених цими іншими генами, з якими він імовірно зустрінеться в багатьох різних тілах. «Добре почуватися» в таких умовах навколишнього середовища означатиме щось на кшталт «співпрацювати» з цими іншими генами. Найбільш безпосередньо це спостерігається на прикладі біохімічних ланцюжків.

Біохімічні ланцюжки є послідовностями хімічних речовин, що являють собою послідовні стадії якогось корисного процесу на кшталт вивільнення енергії або синтезу якоїсь

важливої речовини. Кожна ланка такого ланцюжка потребує ферменту — однієї з тих великих молекул, призначення яких подібне до функції машин на хімзаводі. Для різних ланок хімічного ланцюжка потрібні різні ферменти. Іноді до однієї корисної мети ведуть два альтернативних хімічних ланцюжки чи більше. Хоча кінцевою метою обох ланцюжків є ідентичний корисний результат, вони мають різні проміжні стадії, що ведуть до цієї мети, і зазвичай різні відправні точки. Зі своєю роботою впорається будь-який із двох альтернативних ланцюжків, і який саме використовується, не має великого значення. Важливо тільки, щоб будь-яка конкретна тварина не намагалася задіяти обидва зразу, бо це може призвести до хімічної плутанини та неефективності.

Тепер припустімо, що аби синтезувати бажану хімічну речовину *D*, для першого ланцюжка потрібна послідовність ферментів *A1*, *B1* і *C1*, тоді як для другого, щоб вийти на той самий бажаний кінцевий продукт, потрібні ферменти *A2*, *B2* та *C2*. Кожен фермент створюється конкретним геном. Відповідно, для появи збирального конвеєра першого ланцюжка той чи інший вид потребує спільної коеволюції генів, які кодують ферменти *A1*, *B1* і *C1*. Для появи ж альтернативного збирального конвеєра другого ланцюжка виду знадобилася б одночасна коеволюція генів, які кодують ферменти *A2*, *B2* та *C2*. Вибір між цими двома коеволюціями здійснюється не шляхом завчасного планування. Він відбувається шляхом простого відбору кожного гена на основі його сумісності з іншими генами, *що вже випадковим чином домінують у популяції*. Якщо популяція випадковим чином уже багата генами ферментів *B1* та *C1*, це створить сприятливий клімат для гена ферменту *A1*, а не *A2*. І навпаки, якщо популяція вже багата генами ферментів *B2* та *C2*, це створить клімат, у якому відбір сприятиме гену ферменту *A2*, а не *A1*.

Насправді все відбуватиметься не зовсім так просто, але основне ви зрозуміли: одним із найважливіших аспектів «клімату», в якому відбір сприяє або не сприяє якомусь гену, є інші гени, яких уже багато в популяції, а отже, ті, з якими

йому ймовірно доведеться ділити організми. Оскільки те саме явно буде справедливим і для самих цих «інших» генів, ми маємо тут картину команд генів, які еволюціонують у напрямку спільного розв'язання проблем. Окремо гени не еволюціонують — вони лише виживають або не виживають у генофонді. Еволюціонує тільки «команда». Інші команди могли б виконувати роботу не гірше, а то й краще. Але щойно одна команда починає домінувати в генофонді виду, вона автоматично здобуває перевагу. Команді, що опиняється в меншості, прорватися складно, навіть якби за великим рахунком вона працювала ефективніше. Команда, що опиняється в більшості, автоматично отримує стійкість до витіснення просто через свою приналежність до більшості. Це ще не означає, що її взагалі не можна витіснити. Якби це було так, еволюція з часом геть зупинилася б. Але це означає, що існує певна вбудована інерція.

Очевидно, що такий аргумент не обмежується біохімією. Ми могли б навести такий самий приклад для кластерів сумісних генів, що створюють різні частини очей, вух, носів, кінцівок тварин — усіх частин тіла, що взаємодіють. Генам створення зубів, придатних для пережовування м'яса, зазвичай сприяє «клімат», у якому домінують гени кишок, придатних для перетравлювання м'яса. Натомість генам створення зубів, придатних для перетирання рослин, зазвичай сприяє «клімат», де домінують гени кишок, придатних для перетравлювання рослин. І навпаки. Ця залежність справедлива в обох випадках. Команди «м'ясоїдних» і «травоїдних» генів зазвичай еволюціонують разом. Насправді в певному сенсі можна сказати, що більшість робочих генів організму співпрацюють як одна команда, бо впродовж еволюційного процесу кожен із них (тобто з їхніх предкових копій) був частиною навколишнього середовища, в якому природний відбір впливав на інших. Якщо ми спитаємо, чому предки левів стали м'ясоїдними, тоді як предки антилоп — травоїдними, відповідь могла би полягати в тому, що спочатку був випадок. Випадок у тому сенсі, що предки левів

могли б стати травоїдними, а предки антилоп — м'ясоїдними. Але після того, як одна спадкова лінія *почала* створювати команду генів для харчування м'ясом, а не травою, процес став самопідкріплюваним. А після того, як друга спадкова лінія почала створювати команду генів для харчування травою, а не м'ясом, *цей* процес став самопідкріплюваним в іншому напрямку.

Однією з головних подій, що, мабуть, сталися на початку еволюції живих організмів, стало збільшення числа генів, які беруть участь у такій співпраці. Бактерії сьогодні мають значно менше генів, аніж тварини та рослини. Це збільшення могло відбуватися шляхом різноманітних типів дуплікації генів. Згадайте, що ген є лише послідовністю закодованих символів на кшталт файлу на комп'ютерному диску і гени можуть копіюватися в різні частини хромосом так само, як файли можуть копіюватися в різні частини диска. На жорсткому диску мого комп'ютера, де зберігається цей розділ, формально існують лише три файли. Під словом «формально» я маю на увазі, що операційна система комп'ютера говорить мені, що там є лише три файли. Я можу попросити її прочитати один із цих трьох файлів, і вона представить мені лінійний масив алфавітних символів включно з тими, які ви зараз читаєте. На вигляд усе це дуже охайно й упорядковано. Але фактично на самому диску компоновка тексту є аж ніяк не охайною й не впорядкованою. Це можна побачити, якщо відійти від дисципліни формальної операційної системи комп'ютера та написати свої власні приватні програми для розшифровування того, що насправді записано в кожному секторі диска. Виявляється, що фрагменти кожного з моїх трьох файлів хаотично розкидані, перешаровані між собою та з фрагментами старих неактивних файлів, які я давно вже видалив і забув. Будь-який конкретний фрагмент може виявитись (абсолютно однаковим чи з незначними відмінностями) в півдюжині різних місць по всьому диску.

Причина цього цікава й варта окремого розгляду, бо пропонує гарну генетичну аналогію. Коли ви наказуєте комп'ютеру

видалити якийсь файл, здається, що він вас слухається. Але насправді він не стирає текст цього файлу. Він просто вилучає всі *вказівники* на цей файл. Це так, неначе бібліотекар, якому наказали знищити «Коханця леді Чаттерлей», просто порвав би картку з каталогу, залишивши саму книжку спокійно стояти на полиці. Для комп'ютера це просто ідеально економічний спосіб дій, бо одразу ж після видалення вказівників на старий файл місце, яке раніше займав «видалений», стає автоматично доступним для запису нових файлів. По суті, перейматися тим, щоб заповнити це місце пробілами, було б марнуванням часу. Сам же старий файл не буде втрачений остаточно, допоки все його місце розташування не буде використано для зберігання нових файлів.

Але таке перевикористання місця здійснюється частинами. Нові файли не є точно такими самими за розмірами, як старі. Коли комп'ютер намагається зберегти на диску якийсь новий файл, то шукає перший-ліпший придатний для цього фрагмент, записує туди стільки нового файлу, скільки влізе, потім шукає інший доступний фрагмент, записує ще трохи, і т. д., допоки весь файл не буде записаний *десь* на диску. У людини складається ілюзорне враження, що файл є цілісним, упорядкованим масивом, лише тому, що комп'ютер акуратно зберігає записи, що «вказують» на адреси всіх розкиданих фрагментів. Ці «вказівники» схожі на рядки внизу газетної шпальти: «Продовження на сторінці такій-то». Причиною того, що на диску можна знайти так багато копій якогось фрагмента тексту, є те, що, якби, подібно до всіх моїх розділів, цей текст редагувався та перередаговувався багато десятків разів, кожне редагування приводило б до нового збереження на диску (майже) такого самого тексту. Зберігатися взагалі може на перший погляд той самий файл. Але як ми вже бачили, фактично текст буде неодноразово розкиданий по доступних «порожніх місцях» на диску. Відповідно, множинні копії конкретного фрагмента тексту можна знайти на всій поверхні диска, причому що старіший диск і що довше він використовується, то їх більше.

Якщо ж брати ДНК якогось виду, то вона має насправді дуже й дуже стару операційну систему, і існують докази того, що в довгостроковій перспективі вона працює трохи подібно до комп'ютера з його файлами на диску. Частина цих доказів походить від захопливого феномену «інтронів» і «екзонів». За останнє десятиліття було відкрито, що будь-який «єдиний» ген (мається на увазі єдиний уривок тексту ДНК, що читається безперервно) не зберігається весь в одному місці. Якщо читати літери коду так, як вони розміщені вздовж хромосоми (тобто якщо зробити щось на кшталт відходу від дисципліни «операційної системи»), можна побачити «змістовні» фрагменти під назвою «екзони», відокремлені ділянками «маячні» під назвою «інтрони». Будь-який «ген» у функціональному сенсі фактично розбитий на послідовність фрагментів (екзонів), відокремлених беззмістовними інтронами. Немов кожен екзон закінчується вказівником: «Продовження на сторінці такій-то». Виходить, що ген складається з усієї низки екзонів, які фактично сходяться разом, лише коли врешті-решт зчитуються «формальною» операційною системою, що «перекладає їх мовою білків».

Подальші докази випливають із того факту, що хромосоми засмічені старим генетичним текстом, який більше не використовується, але зміст якого все ще можна розібрати. Комп'ютерному програмісту схема поширення цих генетичних «викопних» фрагментів надзвичайно нагадує схему тексту на поверхні старого диска, що багато разів редагувався. У деяких тварин велика частина загального числа генів фактично ніколи не «зчитується». Ці гени є або повною маячнею, або застарілими «викопними».

Однак час від часу ці текстові «викопні» вступають у свої права знову, з чим я сам зіткнувся під час написання цієї книжки. Сталася комп'ютерна помилка (хоча, якщо чесно, вона могла бути й людською), через яку я випадково «стер» диск, де був записаний третій розділ. Звісно, сам текст не був стертий у буквальному сенсі. Однозначно стерті були лише *вказівники* на те, де кожен «екзон» починався й закінчувався.

«Формальна» операційна система не могла нічого зчитати, але «неформально» я зумів пограти в генного інженера й дослідити весь текст на диску. Я побачив там заплутану головоломку з текстових фрагментів, одні з яких були зовсім свіжими, а інші — давніми «викопними рештками». Я зібрав разом фрагменти цієї головоломки, і мені вдалося відтворити розділ. Але я здебільшого не знав, які з цих фрагментів були недавніми, а які старими. Це не мало особливого значення, бо, за винятком незначних деталей, що потребували трохи нового редагування, вони були ідентичними. Принаймні деякі з «викопних решток», чи то застарілих «інтронів», повернулися до роботи знову. Вони врятували мене від необхідності переписування всього розділу.

Існують докази того, що в живих істот «викопні гени» також час від часу повертають собі свої права й заново використовуються після сплячки, що триває іноді понад мільйон років. Заглиблення в деталі завело б нас геть далеко від основної теми цього розділу, бо, як ви пам'ятаєте, ми вже й без того від неї відхилися. Основна ідея полягала в тому, що загальна генетична ємність видів може збільшуватися за рахунок дуплікації генів. Одним зі способів, якими це може відбуватися, є повторне використання старих «викопних» копій наявних генів. Існують також інші, більш безпосередні, способи, якими гени можуть копіюватися до широко розповсюджених частин хромосом, на кшталт файлів, що дублюються до різних частин диска чи різних дисків.

Люди мають на різних хромосомах вісім окремих генів, які звуться глобіновими і, серед іншого, використовуються для створення гемоглобіну. Здається очевидним, що всі вісім були скопійовані, врешті-решт, з єдиного предкового глобінового гена. Приблизно 1100 мільйонів років тому цей предковий глобіновий ген зазнав дуплікації, утворивши два гени. Датувати цю подію дають змогу незалежні докази щодо швидкості, з якою зазвичай еволюціонують глобіни (див. розділи 5 і 11). З двох генів, породжених цією первинною дуплікацією, один став предком усіх генів, що створюють

гемоглобін у хребетних. Другий став предком усіх генів, що створюють міоглобіни — споріднену родину білків, що працюють у м'язах. Різноманітні подальші дуплікації породили так звані альфа-, бета-, гама-, дельта-, епсилон- і зета-глобіни. Цікаво, що можна побудувати повне генеалогічне дерево усіх глобінових генів і навіть проставити дати всіх точок дивергенції (дельта- й бета-глобін, наприклад, розійшлися приблизно 40 мільйонів років тому; епсилон- і гама-глобіни — 100 мільйонів років тому). І всі ці вісім глобінів, породжені давніми розгалуженнями в наших далеких пращурів, усе ще присутні всередині кожного з нас. Вони розійшлися по різних частинах предкових хромосом, і кожен з нас успадкував їх у різних хромосомах. Сьогодні ці молекули ділять одне тіло зі своїми далекими молекулярними родичами. Безумовно, така дуплікація значною мірою відбувалася в усіх хромосомах і впродовж усього геологічного часу. Це є важливим аспектом, у якому реальне життя є складнішим за біоморфи з розділу 3. Усі вони мали лише дев'ять генів. Вони еволюціонували шляхом змін цих дев'яти генів і ніколи шляхом збільшення числа генів до десяти. Навіть у реальних тварин така дуплікація є достатньо рідкісною, аби не заперечувати мого загального твердження, що всі представники виду мають однакову систему «адресації» ДНК.

Дуплікація всередині виду є не єдиним способом, яким число генів, що співпрацюють, збільшилося в процесі еволюції. Ще більш рідкісною, але все ж можливою й дуже важливою подією є випадкове вбудовування гена іншого виду, навіть надзвичайно далекого. Наприклад, гемоглобіни можна виявити в корінні рослин родини бобових. Вони не трапляються в жодних інших родинах рослин, і здається майже безумовним, що до родини бобових вони потрапили шляхом перехресного занесення від тварин, посередниками чого могли виступити віруси.

У цьому ключі особливо важливою подією (згідно з дедалі популярнішою теорією американського біолога Лінн Марґуліс) стала поява так званих еукаріотичних клітин. До еукарі-

отичних належать усі клітини, крім бактеріальних. У своїй основі живий світ поділяється на бактерії та все інше. Ми з вами є частиною цього «іншого» і всі разом називаємось еукаріотами. Ми відрізняємося від бактерій переважно тим, що всередині наших клітин є дискретні маленькі мініклітини. Вони містять у собі ядро, де мешкають хромосоми, крихітні об'єкти у формі бомбочок під назвою «мітохондрії» (з якими ми побіжно зустрічалися на рисунку 1), повні вигадливо складених мембран, а також, в (еукаріотичних) клітинах рослин, хлоропласти. Мітохондрії та хлоропласти мають свою власну ДНК, яка реплікується та поширюється абсолютно незалежно від основної ДНК у хромосомах ядра. Усі мітохондрії у вашому організмі походять від невеличкої популяції мітохондрій, переданої від вашої матері в її яйцеклітині. Сперматозоїди є надто маленькими, щоб містити мітохондрії, тож останні передаються виключно по жіночій лінії, тоді як чоловічі тіла для розмноження мітохондрій не придатні. До речі, це означає, що мітохондрії можна використовувати для відстежування наших пращурів суто по жіночій лінії.

Теорія Лінн Марґуліс полягає в тому, що всі мітохондрії, хлоропласти, а також декілька інших утворень усередині клітин походять від бактерій. Еукаріотична клітина була сформована, можливо, 2 мільярди років тому, коли декілька типів бактерій об'єднали зусилля заради переваг, які кожна з них могла отримати від інших. За багато еонів вони настільки щільно інтегрувались у взаємопов'язану одиницю, що стали еукаріотичною клітиною, де вже майже неможливо виявити той факт (якщо це справді факт), що колись вони були окремими бактеріями.

Схоже, що одразу після «винайдення» еукаріотичної клітини стала можливою ціла низка нових задумів. На наш погляд, найцікавіше, що клітини могли б виробляти великі тіла, які складалися б із багатьох мільярдів клітин. Усі клітини розмножуються шляхом поділу навпіл, причому обидві половини отримують повний набір генів. Як ми вже бачили у випадку

бактерій на шпильковій голівці, послідовні поділи навпіл здатні породити дуже велику кількість клітин за доволі короткий час. Усе починається з однієї, яка ділиться надвоє. Потім кожна з двох нових клітин ділиться знову, утворюючи вже чотири. Кожна з чотирьох також ділиться, утворюючи вісім. Кількість клітин зростає шляхом послідовних подвоєнь: з 8 до 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192. Усього лише після 20 подвоєнь, що не вимагають надто багато часу, ми виходимо на мільйони клітин. Лише після 40 подвоєнь кількість клітин перевалює за трильйон. У випадку бактерій величезна кількість клітин, утворених шляхом послідовних подвоєнь, розходиться в різні боки. Те саме справедливо для багатьох еукаріотичних клітин, наприклад найпростіших, таких як амеби. Головний крок в еволюції був зроблений, коли клітини, утворені шляхом послідовних поділів, склеїлися разом, а не розійшлися нарізно. Після цього могла вже виникнути структура вищого порядку — точнісінько так, як це сталося, хоч і у незрівнянно меншому масштабі, під час двостороннього розгалуження комп'ютерних біоморфів.

Відтоді вперше став можливим великий розмір тіла. Людське тіло є по-справжньому колосальною популяцією клітин, які походять від єдиного предка — запліднeної яйцеклітини, а тому всі є кузенами, дітьми, онуками, дядьками тощо інших клітин тіла. 10 трильйонів клітин, з яких складається кожен із нас, є продуктом кількох десятків поколінь клітинного подвоєння. Ці клітини поділяються приблизно на 210 (за смаком) різних типів, створених однаковим набором генів, але за «ввімкнення» різних представників цього набору в різних типах клітин. Як ми вже бачили, саме тому клітини печінки відрізняються від клітин мозку, а кісткові від м'язових.

Впливаючи на органи та схеми поведінки багатоклітинних організмів, гени здатні опанувати методи забезпечення свого відтворення, які не доступні окремим клітинам, що працюють самі по собі. Багатоклітинні організми дають генам можливість управляти світом, використовуючи інструменти, створені в масштабі, що на порядки перевищує масштаб

окремих клітин. Вони досягають такого великомасштабного опосередкованого управління шляхом своїх більш безпосередніх впливів у мініатюрному масштабі клітин. Наприклад, вони змінюють форму клітинної мембрани. Після цього клітини взаємодіють одна з одною у величезних популяціях, породжуючи великомасштабні групові ефекти на кшталт руки, ноги чи (більш опосередковано) бобрової греблі. Більшість властивостей організму, які ми здатні побачити неозброєним оком, є так званими «непередбаченими властивостями». Навіть комп'ютерні біоморфи з їхніми дев'ятьма генами мали непередбачені властивості. У реальних тварин вони породжуються на рівні всього тіла взаємодіями між клітинами. Організм працює як єдине ціле, а тому можна говорити, що його гени впливають на весь організм, навіть попри те, що кожна копія будь-якого гена виявляє свої безпосередні впливи лише всередині своєї власної клітини.

Ми вже бачили, що дуже важливою частиною умов навколишнього середовища гена є інші гени, з якими він імовірно зустрінеться в послідовності тіл із плином поколінь. Ці гени перетасовуються й комбінуються в межах виду. По суті, вид зі статевим розмноженням можна вважати пристроєм, що переставляє дискретний набір звиклих один до одного генів у різних комбінаціях. Згідно з такою думкою, види безперервно перетасовують набори генів, що зустрічаються між собою всередині одного виду, але ніколи не зустрічаються з генами інших видів. Однак у певному сенсі гени різних видів, навіть якщо вони не перебувають у тісному сусідстві всередині клітин, тим не менш є важливою частиною навколишнього середовища один одного. Відносини між ними часто є ворожими, а не дружніми, але це можна трактувати просто як співпрацю зі знаком «мінус». І тут ми підходимо до другої головної теми цього розділу — «гонитв озброєнь». Існують гонитви озброєнь між хижаками і здобиччю, паразитами й господарями й навіть — хоча це більш тонка думка і я не збираюсь її детально тут розглядати — між самцями й самицями в межах одного виду.

Гонитви озброєнь розгортаються впродовж еволюційного часу, а не в рамках життя окремих особин. Вони складаються з покращення засобів виживання однієї спадкової лінії (скажімо, здобичі) як прямого наслідку вдосконалення засобів еволюції іншої спадкової лінії (скажімо, хижаків). Гонитви озброєнь існують скрізь, де індивіди мають ворогів, які самі здатні до еволюційного покращення. Я вважаю гонитви озброєнь надзвичайно важливими, бо переважно саме їм еволюція завдячує своєю «прогресивністю». Адже всупереч більш раннім упередженням від природи в еволюції немає нічого прогресивного. Це можна побачити, якщо розглянути, як розвивалися б події, якби перед тваринами стояла лише проблема пристосування до погодних умов та інших аспектів неживого навколишнього середовища.

Після багатьох поколінь накопичувального відбору в конкретному місці місцеві тварини та рослини стають добре пристосованими до умов (наприклад, погодних) у цьому місці. Якщо там холодно, тварини вбираються в товсті шуби з хутра чи пір'я. Якщо сухо, вони виробляють жорстку чи воскову водонепроникну шкіру для збереження того малого обсягу вологи, який мають. Адаптації до умов середовища впливають на всі частини тіла, його форму та колір, внутрішні органи, поведінку, а також на хімію клітин.

Якщо умови, в яких живе спадкова лінія тварин, залишаються незмінними (скажімо, там сухо й спекотно, і так триває без перерви вже впродовж 100 поколінь), еволюція цієї лінії, ймовірно, поступово зупиниться, принаймні в питанні адаптацій до температури та вологості. Тварини стануть максимально пристосованими до місцевих умов існування. Це ще не означає, що вони не зможуть повністю модернізуватися, аби стати ще досконалішими. Насправді це означає, що вони не можуть покращитися на якийсь *невеличкий* (а тому ймовірний) еволюційний крок: жоден з їхніх *безпосередніх* сусідів у місцевому еквіваленті «простору біоморфів» не був би хоч трохи кращим.

Еволюція буде «поставлена на паузу», допоки щось в умовах не порушиться: не почнеться льодовиковий період, не зміниться середня кількість опадів на цій території чи переважний напрям вітру. Коли ж ми маємо справу з такою довгою часовою шкалою, як еволюційна, подібні зміни ні-ні та й відбуваються. Унаслідок цього еволюція зазвичай не зупиняється, а постійно «крокує в ногу» зі змінами навколишнього середовища. Якщо на цій території відбувається постійне зменшення середньої температури, що триває впродовж століть, послідовні покоління тварин будуть підштовхуватися постійним відбірковим «тиском» у напрямку, скажімо, відрощування довших і густіших хутряних шуб. Якщо ж після кількох тисяч років зниження температури тенденція радикально зміниться й середні температури поповзуть угору, тварини потраплять під вплив нового відбіркового тиску і знову підштовхуватимуться в напрямку відрощування коротших шуб.

Але поки що ми розглянули лише обмежену частину навколишнього середовища, а саме погодні умови. Вони, звісно, є дуже важливими для тварин і рослин. Їхні схеми змінюються з плином століть, тож вони підтримують еволюцію в постійному русі, коли та крокує в ногу зі змінами. Але схеми погодних умов змінюються безсистемним, непослідовним чином. Інші складові навколишнього середовища тварин змінюються в більш послідовно несприятливих напрямках, і з ними також необхідно крокувати в ногу. Цими складовими навколишнього середовища є самі живі організми. Для хижака, такого як гієна, як мінімум не менш важливою складовою навколишнього середовища, ніж погодні умови, є його здобич — мінливі популяції гну, зебр та антилоп. Для антилоп та інших пасовищних тварин, що блукають рівнинами в пошуку підніжного корму, погодні умови можуть бути важливими, але леви, гієни та інші м'ясоїдні важливі теж. Накопичувальний відбір стежитиме за тим, аби тварини були добре пристосовані тікати від хижаків чи обманювати здобич, не менш ретельно, ніж він стежить за їхнім пристосуванням до панівних погодних умов. І так само,

як еволюція крокує в ногу з довгостроковими змінами погодних умов, еволюційні трансформації здобичі співвідноситимуться з довгостроковими змінами звичок чи озброєння хижаків. Ясна річ, і навпаки також.

Інших живих істот, що ускладнюють життя виду, можна назвати загальним терміном «вороги». Леви є ворогами зебр. Зворотне ж твердження, що зебри є ворогами левів, може здатися трохи безсердечним. Зебра в цих відносинах видається надто невинною й потерпілою, щоб заслуговувати слова «ворог». Але окремо взята зебра робить усе, що може, аби не дати левам себе з'їсти, і з погляду левів це ускладнює їм життя. Якби всі зебри та інші пасовищні тварини досягали успіху в своїй меті, леви повимирали б від голоду. Тому за нашим визначенням зебри є ворогами левів. Паразити на кшталт стрічкових червів є ворогами своїх господарів, а господарі, у свою чергу, є ворогами паразитів, бо зазвичай виробляють засоби проти них. Травоїдні є ворогами рослин, а рослини є ворогами травоїдних у тому сенсі, що вони виробляють для свого захисту шипи, а також отруйні чи гидкі на смак хімічні речовини.

У процесі еволюції спадкові лінії тварин і рослин ітимуть у ногу зі змінами своїх ворогів не менш старанно, ніж вони підлаштовуються до зміни погодних умов. З погляду газелей еволюційні покращення озброєння й тактики гепардів подібні до поступового погіршення клімату, і реакція на них має бути відповідною. Але між цими двома явищами є одна надзвичайно важлива відмінність. Погодні умови змінюються впродовж століть, але вони *не* змінюються якимось навмисно недоброзичливим чином. Вони не мають наміру «дістати» газелей. Середньостатистичний гепард теж змінюється впродовж століть, так само, як і середньорічний рівень опадів. Але тоді як середньорічний рівень опадів коливається вгору і вниз без якогось конкретного ритму чи причини, середньостатистичний гепард із плином століть зазвичай ставатиме *краще* спорядженим для ловлі газелей, аніж були його предки. Це відбувається тому, що послідовність гепардів, на відміну від

послідовності середньорічних погодних умов, сама зазнає накопичувальному відбору. Гепарди вироблятимуть дедалі швидші ноги, пильніші очі, гостріші зуби. Хоч якими б «ворожими» здавалися погодні та інші умови неживої природи, вони не виявляють необхідної тенденції ставати дедалі ворожішими. А от для живих ворогів, якщо дивитися на них за еволюційною часовою шкалою, характерна саме така тенденція.

Якби не було паралельної тенденції здобичі, тенденція хижаків ставати прогресивно «кращими» дуже скоро видихалася б, як це буває з людськими гонитвами озброєнь (які ми з причин економічної доцільності розглянемо нижче). І навпаки. Газелі не менше, ніж гепарди, підвладні накопичувальному відбору, і вони теж із плином поколінь проявлятимуть тенденцію до покращення своєї здатності швидко бігати, миттєво зриватися з місця, ставати невидимими, ховаючись у високій траві. Вони теж здатні еволюціонувати в напрямку перетворення на дедалі досконаліших ворогів, у цьому випадку — ворогів гепардів. З погляду гепардів середньорічна температура з роками не стає систематично кращою чи гіршою, за винятком того, що для добре адаптованої тварини будь-яка зміна буде на гірше. А от середньостатистична газель таки має тенденцію ставати систематично гіршою: її дедалі важче зловити через кращу адаптацію для уникнення гепардів. І знову ж таки, якби не було паралельної тенденції до покращення, демонстрованої хижаками, тенденція до прогресивного покращення в газелей поступово зійшла б нанівець. Одна сторона стає трохи досконалішою, бо такою стає друга. І навпаки. Цей процес відбувається по замкненій спіралі з часовою шкалою в сотні тисяч років.

У світі людських народів з їхньою коротшою часовою шкалою, коли кожен із двох ворогів прогресивно покращує своє озброєння у відповідь на покращення другої сторони, ми говоримо про «гонитву озброєнь». Аналогія з еволюцією тут достатньо близька, щоб виправдати запозичення цього терміна, і я не збираюся вибачатися перед своїми зарозумілими колегами, що прагнуть «очистити» нашу мову від таких яскра-

вих порівнянь. Я тут представив цю ідею на простому прикладі газелей і гепардів. Метою було переконливо пояснити важливу відмінність між живим ворогом, який сам зазнає еволюційних змін, і неживими незлостивими умовами середовища на кшталт погоди, що зазнає деяких змін, але не систематичних і не еволюційних. Однак настав час визнати, що у своїх намаганнях пояснити цю цілком обґрунтовану думку я міг збити читача з пантелику іншим чином. Якщо подумати про це, то стає очевидним, що моя схема дедалі досконалішої гонитви озброєнь була надто простою принаймні в одному аспекті. Візьмімо швидкість бігу. В її нинішньому вигляді ідея гонитви озброєнь, схоже, наводить на думку, що гепарди та газелі мають продовжувати, покоління за поколінням, ставати дедалі швидшими, допоки і ті, і другі не почнуть бігати швидше за звук. Але ж цього не сталося й ніколи не станеться. Перш ніж завершити розгляд ідеї гонитв озброєнь, моїм обов'язком є застерегти читачів від можливих непорозумінь.

Перше застереження буде таким. З моїх слів могла скластися картина поступового вдосконалення здібностей гепардів у ловлі здобичі та здібностей газелей в уникненні хижаків. Читач міг прийти до якогось вікторіанського уявлення про невблаганність прогресу, за якого кожне покоління є досконалішим, підтягнутішим і сміливішим, аніж його батьки. Реальний же стан речей у природі зовсім інший. Часова шкала, в межах якої можна виявити суттєві покращення, схоже, в будь-якому разі є значно довшою, ніж за порівняння одного типового покоління з його попередником. Більше того, «покращення» є далеко не безперервним. Ця справа переривчаста й замість твердого поступу «вперед» у напрямку, навіяному ідеєю гонитви озброєнь, має періоди застою, а іноді навіть повернення «назад». З погляду стороннього спостерігача зміни умов середовища (неживих сил, які я об'єднав під загальною назвою «погода») можуть заглушувати повільні й безладні тенденції гонитви озброєнь. У гонитві озброєнь цілком можуть бути довгі відрізки часу, коли взагалі не відбувається жодного «прогресу», а отже,

й жодних еволюційних змін. Іноді кульмінацією гонитви озброєнь стає вимирання видів, і тоді нова гонитва озброєнь може початися з нуля. Тим не менш навіть після всіх цих слів ідея гонитви озброєнь залишається значно задовільнішим поясненням існування досконалих і складних механізмів, які мають тварини й рослини. Своєрідне прогресивне «покращення», навіяне образом гонитви озброєнь, все ж відбувається, навіть якщо нерегулярно й переривчасто; навіть якщо загальна швидкість прогресу є надто низькою, аби проявлятися впродовж життя людини чи навіть часового проміжку відомої нам історії.

Друге застереження полягає в тому, що відносини між сторонами, які я називаю «ворогами», є складнішими, ніж просто двосторонні відносини, навіяні розповідями про гепардів і газелей. Однією зі складностей є те, що конкретний вид може мати двох (або більше) ворогів, які є ще запеклішими ворогами один одного. Саме такий принцип стоїть за часто висловлюваною напівправдою, що траві корисно, коли її об'їдають (або косять). Корови їдять траву, а тому можуть вважатися ворогами трави. Але трава має також інших ворогів у рослинному світі — конкурентні бур'яни, які, якщо дозволити їм безконтрольно рости, можуть виявитися ще жорстокішими ворогами трави, ніж корови. При цьому трава потерпає від об'їдання коровами, але конкурентні бур'яни потерпають від нього ще більше. Таким чином, у кінцевому підсумку корови на луках є для трави корисними. У цьому сенсі корови виявляються радше друзями трави, а не ворогами.

Тим не менше корови є ворогами трави в тому сенсі, що окремо взятій трав'янистій рослині *все ж* буде значно краще, якщо корова її не з'їсть, а будь-яка мутантна рослина, що володіє, скажімо, хімічною зброєю, захищаючись нею від корів, дасть більше насіння (що містить генетичні інструкції для створення хімічної зброї), ніж конкурентні представники її виду, які були апетитнішими. Навіть якщо в якомусь особливому сенсі корови є «друзями» трави, природний відбір *не* сприяє окремим трав'янистим рослинам, що роб-

лять усе можливе, аби корови їх з'їли! Загальний висновок із цього абзацу буде таким. Розмірковувати про гонитву озброєнь між двома спадковими лініями, такими як корови й трава чи газелі й гепарди, може бути зручно, але ніколи не слід випускати з уваги той факт, що обидві сторони мають також інших ворогів, проти яких вони одночасно ведуть інші гонитви озброєнь. Я не заглиблюватимусь тут у деталі цієї думки, але з неї можна вивести одне з пояснень, чому конкретні гонитви озброєнь згасають, а не тривають вічно — не приводять до появи хижаків, що переслідуватимуть свою здобич із подвоєною надзвуковою швидкістю, і т. д.

Третє «застереження» щодо простої гонитви озброєнь є не так застереженням, як просто цікавою думкою з правом на життя. У своєму гіпотетичному розгляді гепардів і газелей я вже говорив, що гепарди, на відміну від погодних умов, мали тенденцію з плином поколінь ставати кращими мисливцями — жорстокішими ворогами, краще спорядженими для вбивства газелей. Однак це не означає, що вони стають *успішнішими* у вбивстві газелей. Суть ідеї гонитви озброєнь у тому, що обидві сторони покращуються, кожна по-своєму, одночасно ускладнюючи життя другій стороні. Немає жодних конкретних причин (принаймні в тому, що ми вже розглянули) очікувати, що будь-яка зі сторін гонитви озброєнь ставатиме дедалі більш чи менш успішною за іншу. Фактично ідея гонитви озброєнь в її найчистішій формі передбачає наявність абсолютно нульового прогресу *показника успіху* обох сторін за дуже чіткого прогресу *спорядження для успіху*. Хижаки стають краще спорядженими для вбивства, але в той же самий час їхні потенційні жертви стають краще спорядженими для уникнення вбивства, тож кінцевим результатом є відсутність будь-яких змін показника успішних вбивств.

Мається на увазі, що якби за допомогою машини часу хижаки з однієї епохи змогли зустрітися зі здобиччю з іншої, то більш пізні «сучасні» тварини (хижаки то будуть чи здобич) завиграшки випереджали би більш ранніх. Довести це експериментально не вдасться, хоча дехто припускає, що

певну віддалену й ізольовану фауну, наприклад Австралії та Мадагаскару, можна вважати давньою, немовби подорож до Австралії схожа на подорож у минуле в машині часу. Такі люди вважають, що місцеві австралійські види зазвичай доводяться до винищення конкурентами чи ворогами, що переважають і були завезені з зовнішнього світу, бо ці види є «старішими», «більш застарілими» моделями, що перебувають у такому самому становищі проти агресора, як якийсь військовий корабель Ютландії в бою з атомним підводним човном. Але припущення, що Австралія має «живу викопну» фауну, важко виправдати. Можливо, непогані приклади цього подекуди й трапляються, але вони є рідкісними. Боюся, що це не більше ніж зоологічний еквівалент шовіністичного снобізму, аналогічного ставленню, що розглядає всіх австралійців як неотесаних волоцюг з єдиною думкою — про пиво.

Принцип нульової зміни *показника успіху*, хоч яким би великим був еволюційний прогрес *спорядження*, ліг в основу ідеї «ефекту Чорної Королеви», запропонованої американським біологом Лі ван Валеном. Як ви, мабуть, пам'ятаєте, в книжці «Аліса в Задзеркаллі» Чорна Королева схопила Алісу за руку й потягла її за собою, біжучи дедалі швидше, через поля, але хоч яким шаленим був їхній біг, вони весь час залишалися на одному місці. Аліса, яка, зрозуміло, була цим збентежена, зауважила: «У *нашій* країні, коли ти довго біжиш щодуху, як оце ми зараз, то зазвичай опиняєшся десь іще». «Що за повільна країна! — відповіла Королева. — А *тут*, бачиш, треба бігти чимдуж, аби тільки залишатися, де був. Якщо ж ти хочеш опинитися десь іще, то мусиш бігти хоча б удвічі швидше!»

Посилання на Чорну Королеву доволі цікаве, але воно може збивати з пантелику (як це іноді й буває), якщо застосовується для позначення чогось математично точного, а саме нульового відносного прогресу. Іншим оманливим моментом є те, що в історії з Алісою твердження Чорної Королеви є абсолютно парадоксальним, несумісним зі здоровим глуздом у реальному фізичному світі. А от еволюційний «ефект Чорної Королеви» ван Валена аж ніяк не парадоксаль-

ний. Він повністю відповідає здоровому глузду, якщо застосовувати його з розумом. Тим не менш навіть без парадоксу гонитви озброєнь можуть створювати ситуації, що вражають людину з економічним типом мислення як марнотратні.

Чому, наприклад, дерева в лісах є такими високими? Якщо коротко — тому, що високими є всі інші дерева, тож жодне не може собі дозволити таким не бути. Інакше його б затінили й позбавили сонячного світла. По суті, це правда, але людину з економічним типом мислення вона дратує. Адже це здається їй таким безглуздям, таким марнотратством. Коли всі дерева досягають повної висоти лісового покриву, всі вони приблизно однаково освітлюються сонцем, і жодне не може собі дозволити бути хоч трохи нижчим. Але якби тільки нижчими були *всі* вони, якби тільки там могла існувати своєрідна «профспілкова угода» про зниження загальноприйнятої висоти лісового покриву, від цього виграли б *усі* дерева. Вони конкурували б між собою в покриві за точно таке саме сонячне світло, але мусили б «сплачувати» значно менші ростові витрати для досягнення висоти цього покриву. Це пішло б на користь економіці всього лісу загалом, а отже, й кожному окремому дереву. На жаль, природному відбору байдуже до загальної економіки, і в ньому немає місця для якихось домовленостей і угод. Свого часу відбувалася гонитва озброєнь, в процесі якої дерева в лісі з плином поколінь ставали дедалі більшими. На кожному етапі цієї гонитви дерева не отримували жодної внутрішньої користі від того, що ставали високими. На кожному етапі цієї гонитви єдиний сенс високого росту полягав у тому, щоб бути вищими за сусідні дерева.

У міру розгортання цієї гонитви озброєнь середня висота дерев у лісовому покриві збільшувалась. Але користь, яку дерева отримували від свого високого росту, аж ніяк не зростала. Насправді вона навіть зменшувалася через дедалі більші витрати на забезпечення росту. Нові покоління дерев ставали дедалі вищими, але в кінцевому рахунку їм у певному сенсі могло бути краще залишатися на тому рівні, з якого

вони почали. Ось вам і зв'язок із Алісою та Чорною Королевою, але як ви можете бачити, у випадку дерев жодного парадоксу насправді немає. Загальною характеристикою гонитв озброєнь (включно з людськими) є те, що, хоча всім їхнім учасникам було б краще без *жодної* ескалації, щойно один із них усе ж почне ескалацію, жоден уже не зможе собі дозволити *залишитись осторонь*. І знову, до речі, я мушу наголосити, що виклав цю історію надто просто. Я зовсім не хочу сказати, що буквально в кожному поколінні дерева є вищими за свої аналоги в попередньому або що гонитва озброєнь обов'язково триває й досі.

Інша думка, проілюстрована прикладом з деревами, полягає в тому, що гонитви озброєнь не обов'язково мають відбуватися між представниками різних видів. Окремі дерева можуть згубно затінятися представниками свого власного виду не менш імовірно, ніж представниками іншого. По суті, навіть імовірніше, бо всім організмам конкуренція з боку їхнього власного виду загрожує серйозніше, ніж змагання з іншими. Представники одного виду конкурують за ті самі ресурси значно глибшою мірою, ніж представники різних. Усередині одного виду існує також гонитва озброєнь між чоловічими й жіночими ролями та між батьками й дітьми. Я вже розглядав їх у своїй книжці «Егоїстичний ген» і детальніше тут на них не зупинятимусь.

Історія з деревами дає мені можливість представити важливу загальну відмінність між двома типами гонитви озброєнь, що називаються симетричними й асиметричними. Симетричні гонитви озброєнь відбуваються між конкурентами, які прагнуть приблизно того самого, що й інші. Прикладом є гонитва озброєнь між лісовими деревами, що борються за доступ до світла. Різні види дерев не ведуть однаковий спосіб життя, але коли йдеться про конкретну гонитву, яку ми розглядаємо, — за сонячне світло над лісовим покривом, — вони конкурують за той самий ресурс. Вони беруть участь у гонитві озброєнь, в якій успіх однієї сторони сприймається другою як невдача. А симетричною ця гонитва озброєнь

є тому, що природа успіху й невдачі обох сторін є однаковою — отримання сонячного світла й затінення відповідно.

Натомість гонитва озброєнь між гепардами й газелями є асиметричною. Це справжня гонитва озброєнь, в якій успіх будь-якої зі сторін сприймається другою як невдача, але природа успіху й невдачі цих двох сторін дуже різна. Сторони «прагнуть» абсолютно різного. Гепарди прагнуть їсти газелей. Газелі ж не прагнуть їсти гепардів — вони зацікавлені в тому, щоб не бути з'їденими гепардами. З еволюційного погляду асиметричні гонитви озброєнь є цікавішими, оскільки вони імовірніше породжують надзвичайно складні «системи озброєння». Чому це так, можна побачити на прикладах військових технологій у людей.

Я міг би використати як приклад протистояння США й СРСР, але насправді згадувати конкретні держави немає жодної потреби. Зброю, виготовлену компаніями будь-якої розвиненої промислової країни, врешті-решт, може купити хто завгодно й де завгодно. Існування успішного наступального озброєння на кшталт приповерхневих протикорабельних ракет класу «*Exocet*» зазвичай спонукає до винайдення ефективного контрзасобу, наприклад пристрою створення радіоперешкод для «заплутування» системи управління ракети. Причому виробляти цей контрзасіб буде радше не ворог, а та ж сама країна, навіть та ж сама компанія! Зрештою, жодна компанія не споряджена для розроблення пристрою створення радіоперешкод для конкретної ракети краще, ніж компанія, що виробляє саму цю ракету. По суті, ніщо не заважає тій самій компанії виробляти обидва засоби і продавати їх протилежним сторонам військового конфлікту. Я достатньо цинічний, аби підозрювати, що це може відбуватися, і це яскраво ілюструє думку про покращення *спорядження* в той час, як його чиста *ефективність* залишається незмінною (а вартість зростає).

З мого нинішнього погляду питання про те, ким саме є виробники зброї протилежних сторін людської гонитви озброєнь — ворогами один одного чи однією й тією самою компанією, — не має особливого значення, що й цікаво.

Значення має лише те, що незалежно від їхніх виробників самі пристрої є ворогами один одного в тому особливому сенсі, який я визначив у цьому розділі. Ракета і специфічний для неї пристрій створення радіоперешкод є ворогами один одного в тому розумінні, що успіх одного є синонімом невдачі другого. Чи є їхні розробники також ворогами один одного, не має значення, хоча, мабуть, буде простіше припустити, що вони таки ними є.

Досі я розглядав приклад ракети і специфічного для неї контрзасобу, не наголошуючи на еволюційному, прогресивному аспекті, який, зрештою, і є основною причиною введення цього прикладу до розділу. Суть тут полягає в тому, що не лише наявний проект ракети стимулює до створення (чи вимагає) відповідного контрзасобу, скажімо пристрою створення радіоперешкод. Протиракетний пристрій, у свою чергу, спонукає до покращення проекту ракети, яка б специфічним чином протидіяла цьому контрзасобу — протиракетному пристрою. Усе це виглядає приблизно так, немов кожне покращення ракети стимулює наступне покращення *її самої*, шляхом його впливу на контрзасіб. Покращення спорядження підживлює саме себе. Це й є рецепт вибухової, нестримної еволюції.

Через декілька років таких почергових винаходів і контрвинаходів поточна версія як ракети, так і її контрзасобу набудуть дуже високого рівня досконалості. Однак у той самий час (і тут знову на сцену виходить ефект Чорної Королеви) загалом немає жодних причин очікувати, що одна зі сторін гонитви озброєнь буде хоч трохи успішнішою в реалізації своїх прагнень, аніж вона була на початку. Насправді, якщо і ракета, і її контрзасіб покращувалися в однаковому темпі, можна очікувати, що найостанніші (найдосконаліші й найвитонченіші версії) та найперші (найпримітивніші й найпростіші) будуть абсолютно однаково успішними проти сучасних їм контрзасобів. У проекті прогрес відбувся, але не в кінцевому результаті, зокрема тому, що однаковий прогрес відбувся в проекті обох сторін гонитви озброєнь.

Насправді *саме те*, що відбувся приблизно однаковий прогрес обох сторін, і стало причиною такого великого прогресу рівня досконалості проектів. Якби одна сторона, скажімо протиракетний пристрій створення радіоперешкод, вирвалася надто далеко вперед у гонитві проектів, друга сторона, в цьому випадку ракета, просто перестала би використовуватися й вироблятися — вона б «вимерла». Далеко не парадоксальний, як у прикладі з Алісою, в контексті гонитви озброєнь ефект Чорної Королеви виявляється фундаментальним для самої ідеї прогресивного удосконалення.

Я вже говорив, що асиметричні гонитви озброєнь ймовірніше приводили до цікавих прогресивних покращень, ніж симетричні, і сьогодні ми можемо побачити, чому це так, використовуючи для ілюстрації цієї думки військові технології в людей. Якщо одна держава має 2-мегатонну ядерну бомбу, держава-ворог розробить 5-мегатонну бомбу. Це провокує першу державу на створення 10-мегатонної бомби, що, у свою чергу, провокує другу на створення 20-мегатонної бомби, і т. д. Це й є справжня прогресивна гонитва озброєнь: кожне досягнення однієї сторони провокує контрдосягнення другої, наслідком чого є поступове зростання з плином часу якогось атрибута — в цьому випадку вибухової потужності бомб. Між тим за такої симетричної гонитви озброєнь між проектами немає жодної детальної відповідності за принципом «один до одного», жодного «зчеплення» чи «взаємозалежності» деталей проекту, які спостерігаються у випадку асиметричної гонитви озброєнь на кшталт змагань між ракетою і пристроєм створення радіоперешкод. Протиракетний пристрій задуманий спеціально з метою нейтралізації конкретних характеристик ракети; проектувальник контрзасобу звертає увагу на найменші деталі проекту ракети. Потім, під час розроблення контрзасобу до контрзасобу, проектувальник наступного покоління ракет використовує свої знання про детальний проект контрзасобу до попереднього покоління. Із бомбами ж, потужність яких постійно зростає, справа інша. Безумовно, розробники

однієї сторони можуть, діючи піратськими методами, викрадати вдалі ідеї та імітувати характеристики проекту другої. Але навіть якщо так, це не вельми суттєво. Точна відповідність «один до одного» специфічним деталям американської бомби не є *необхідною* частиною проекту російської бомби. У випадку асиметричної гонитви озброєнь між спадковою лінією зброї й специфічними контрзасобами до неї саме відповідності один до одного після низки послідовних «поколінь» приводять до дедалі більшої досконалості та складності.

У живому світі ми також маємо сподіватися знаходити складний і витончений задум щоразу, коли маємо справу з кінцевими продуктами довгої асиметричної гонитви озброєнь, за якої просування вперед однієї сторони завжди збігалося (за принципом «один до одного», достеменно) з однаково успішними *контрзасобами* (на відміну від конкурентів) другої. Це явно справедливо для гонитв озброєнь між хижаками і їхньою здобиччю, та, можливо, ще більше — для гонитв озброєнь між паразитами й господарями. Електронні та акустичні системи озброєння кажанів, які ми розглядали в розділі 2, мають усю точно налаштовану досконалість, якої можна очікувати від кінцевих продуктів довгої гонитви озброєнь. Не дивно, що можна простежити ту саму гонитву озброєнь з іншого боку. Комахи, на яких полюють кажани, мають відповідну їм батарею складного електронно-акустичного обладнання. Деякі метелики навіть випускають (ультра)звуки, що нагадують кажанячі й, схоже, збивають кажанів з пантелику. Майже всім тваринам загрожує або небезпека бути з'їденими іншими тваринами, або небезпека невдачі в поїданні інших тварин, і величезна кількість детальних фактів про тварин має сенс, лише якщо пам'ятати, що вони є кінцевими продуктами довгих і запеклих гонитв озброєнь. 1940 року цю думку добре виклав у своїй класичній праці «Забарвлення тварин» Г. Б. Котт, що стало, можливо, першим використанням аналогії гонитви озброєнь у біології в друкованому виданні:

Перш ніж стверджувати, що оманливий зовнішній вигляд якогось коника чи метелика є занадто детальним, треба спочатку зрозуміти, які можливості сприйняття та розрізнення мають у своєму розпорядженні природні вороги цих комах. Не зробити цього буде все одно що стверджувати, що броня лінійного крейсера є надто важкою або далекобійність його гармат є надто великою, не поцікавившись природою та ефективністю озброєння ворога. По суті, і в первісній боротьбі джунглів, і в удосконаленнях цивілізованих війн ми бачимо в дії велику еволюційну гонитву озброєнь, результати якої для захисту проявляються в таких пристосуваннях, як швидкість, пильність, броня, колючки, норний спосіб життя, нічний спосіб життя, отруйні виділення, огидний смак, камуфляж та інші різновиди захисного забарвлення, а для нападу — в таких контрвластивостях, як швидкість, раптовість, влаштування засідок, заманювання, гострота зору, кігті, зуби, жала, отруйні ікла та спеціальні приманки. І так само, як більша швидкість переслідуваного розвивалась у зв'язку з більшою швидкістю переслідувача або захисна броня — у зв'язку з агресивною зброєю, розвивалась у відповідь на кращі можливості сприйняття й досконалість маскувальних пристосувань.

Гонитви озброєнь у людських технологіях вивчати легше, ніж їхні біологічні еквіваленти, бо вони відбуваються значно швидше. Їхній перебіг можна реально спостерігати з року в рік. У випадку ж біологічної гонитви озброєнь зазвичай можна побачити лише кінцеві продукти. Дуже рідко якась мертва тварина чи рослина кам'яніє, і тоді іноді вдається побачити прогресивні стадії гонитви озброєнь трохи більш безпосередньо. Один із найцікавіших прикладів цього стосується електронної гонитви озброєнь, яку ілюструють розміри мозку викопних тварин.

Самі мізки не кам'яніють, але це роблять черепи, і порожнина, у якій містився мозок, — черепна коробка — за акуратної інтерпретації може бути добрим індикатором розмірів мозку. Я сказав «за акуратної інтерпретації», і це є важливим застереженням. Адже серед багатьох інших проблем існує й така: великі тварини зазвичай мають великі мізки (почасти просто тому, що вони великі), але це не обов'язково означає, що вони є в якомусь цікавому сенсі «розумнішими». Слони мають більші мізки, ніж люди, але нам (можливо, з певною мірою справедливості) подобається думати, що ми розумніші за слонів і що «насправді» більшими є наші мізки, коли зважити на той факт, що ми значно менші тварини. Безумовно, наші мізки займають значно більшу *частку* тіла, ніж мізки слонів, про що свідчить опукла форма наших черепів. І це не *просто* наше видове марнославство. Можливо, значна частина будь-якого мозку необхідна для виконання рутинних операцій із догляду за тілом, а великому тілу автоматично потрібен для цього великий мозок. Треба знайти якийсь спосіб «вилучити» з наших розрахунків ту частину мозку, яку можна віднести просто на рахунок розмірів тіла, аби можна було порівняти те, що залишається, як справжню «мізкуватість» тварин. Іншими словами, нам потрібен якийсь добрий спосіб точного визначення того, що ми розуміємо під справжньою «мізкуватістю». Різні люди вільні пропонувати різні методи розрахунків, але, мабуть, найавторитетнішим показником є «коефіцієнт енцефалізації» (*EQ*), який використовує Гаррі Джерісон — провідний американський фахівець з історії розвитку мозку.

Взагалі-то *EQ* розраховується доволі складним шляхом, через логарифми маси мозку та тіла й нормування за середніми цифрами для основної групи, такої як ссавці загалом. Так само, як «коефіцієнт розумового розвитку» (*IQ*), який використовують (іноді неправильно) психологи, нормується за середнім для всієї популяції, *EQ*, скажімо, за середнім для всіх ссавців. Так само, як *IQ* 100 означає, за визначенням, ідентичний середньому для всієї популяції, *EQ* 1 означає, за визначенням, ідентичний середньому для, скажімо, ссавців такого

розміру. Деталі техніки здійснення розрахунків не мають значення. Коротше кажучи, *EQ* конкретного виду, такого як носоріг чи кіт, є мірилом того, наскільки більшим (або меншим) є мозок тварини, ніж варто було б від нього *очікувати*, зважаючи на розміри її тіла. Метод розрахунку цього очікування, безумовно, відкритий для суперечок і критики. Той факт, що люди мають *EQ* 7, а бегемоти — *EQ* 0,3, не може в буквальному сенсі означати, що люди в 23 рази розумніші за бегемотів! Однак виміряний *EQ*, можливо, говорить нам *дещо* про те, наскільки «обчислювальна потужність» у голові тварини перевищує нескоротний мінімум, необхідний для звичайного функціонування її великого чи малого тіла.

Виміряні *EQ* сучасних ссавців дуже сильно варіюють. Щури мають *EQ*, приблизно рівний 0,8 — трохи нижчий від середнього для всіх ссавців. У білок він дещо вищий — приблизно 1,5. Можливо, тривимірний світ життя на деревах вимагає додаткової обчислювальної потужності для контролю точності стрибків, а ще більше для вибудовування ефективних шляхів крізь лабіринт гілок, що можуть або не можуть сходитися далі. У мавп він добряче вищий від середнього, а у великих мавп (особливо в нас із вами) ще вищий. Виявляється, що в мавп одні види мають вищий *EQ*, ніж інші, і, що цікаво, існує певний зв'язок між цим показником і їхнім способом життя: комахоїдні та плодоїдні мавпи мають більші мізки відносно своїх розмірів, ніж листоїдні. Це дає деякі підстави стверджувати, що для пошуку листя, якого навколо повно, тварині потрібна менша обчислювальна потужність, ніж для пошуку плодів, які іноді знайти непросто, або ловлі комах, що активно намагаються втекти. На жаль, схоже на те, що насправді тут усе складніше і що важливішими можуть бути інші змінні, такі як рівень метаболізму. Загалом у ссавців м'ясоїдні зазвичай мають трохи вищий *EQ*, аніж травоїдні, на яких вони полюють. У читача можуть виникнути деякі ідеї щодо того, чому так відбувається, але перевірити їх буде доволі складно. У будь-якому разі, хоч якою б була причина, схоже, що це — факт.

Але годі про сучасних тварин. Джерісон відтворив імовірний *EQ* вимерлих тварин, що сьогодні існують лише у вигляді скам'янілостей. Оцінювати розміри їхнього мозку йому доводилося, роблячи гіпсові зліпки внутрішнього боку черепних коробок. Для цього знадобилося чимало здогадів та оцінних суджень, але межі похибки є не такими великими, щоб звести нанівець усю виконану роботу. Зрештою, методи знімання гіпсових зліпків можна перевірити на точність за допомогою сучасних тварин. Ми вдаємо, що висохлий череп — це все, що залишилося від якоїсь сучасної тварини, використовуємо гіпсовий зліпок для оцінювання розмірів її мозку на основі самого лише черепа, а потім порівнюємо зі справжнім мозком, аби побачити, наскільки точною була наша оцінка. Такі перевірки на сучасних черепах підтверджують правильність оцінок Джерісона щодо мізків давно вимерлих тварин. Насамперед його висновок полягає в тому, що з плином (мільйонів) років мізки мають тенденцію ставати більшими. У будь-який конкретно взятий час травоїдні зазвичай мали менші мізки, ніж сучасні їм м'ясоїдні, які на них полювали. Але більш пізні травоїдні зазвичай мали більші мізки, ніж більш ранні, і те саме можна сказати про більш пізніх м'ясоїдних. Схоже на те, що на прикладі скам'янілостей ми бачимо гонитву озброєнь (чи радше низку поновлюваних гонитв озброєнь) між м'ясоїдними і травоїдними тваринами. У цьому проглядається особливо цікава паралель із людськими гонитвами озброєнь, оскільки мозок — це «бортовий комп'ютер», використовуваний як м'ясоїдними, так і травоїдними, а електроніка є, мабуть, тим елементом людських технологій озброєння, що сьогодні вдосконалюється найшвидше.

Чим же закінчуються гонитви озброєнь? Іноді вони можуть призводити до вимирання однієї сторони, у разі чого друга, можливо, припиняє еволюціонувати в цьому конкретному напрямку й фактично починає навіть «регресувати» з економічних причин, які ми невдовзі розглянемо. В інших випадках економічні тиски можуть зумовлювати повну зупинку гонитви озброєнь, навіть попри те що одна сторона

у певному сенсі постійно випереджає другу. Візьмімо, наприклад, швидкість бігу. Має бути якась крайня межа швидкості, з якою здатні бігати гепард чи газель, — межа, встановлена законами фізики. Але ані гепарди, ані газелі цієї межі поки що не досягли. Обидва види тварин відштовхуються від якоїсь нижчої межі, яка, на мою думку, є економічною за своїм характером. Техніка високих швидкостей обходиться недешево. Вона вимагає довгих кісток ніг, потужних м'язів, об'ємистих легень. Ці речі може отримати будь-яка тварина, якій справді потрібно швидко бігати, але за них треба *платити*. Причому платити доводиться ціну, що різко зростає. Ця ціна вимірюється в тому, що економісти називають «альтернативними витратами». Альтернативні витрати чогось вимірюються як сума усіх інших речей, від яких треба відмовитись, аби це щось отримати. Витратами на відправлення дитини до приватної платної школи є всі ті речі, яких ви в результаті не можете собі дозволити купити: нова автівка, відпустка у теплих краях (якщо раптом ви настільки багаті, що можете легко собі дозволити всі ці речі, то альтернативні витрати на відправлення вашої дитини до приватної школи можуть бути близькими до нуля). Для гепарда ж ціною відрощування більших м'язів ніг є всі інші речі, які він *міг би зробити* з матеріалами та енергією, використаними на створення цих м'язів, — наприклад, виробництво більшої кількості молока для своїх дитинчат.

Ніхто, звісно, не припускає, що гепарди справді виконують у своїх головах якісь обчислення! Усе це робиться автоматично звичайним природним відбором. Конкурентний гепард, що не має таких великих м'язів ніг, бігає, можливо, не так швидко, але він має ресурси, які можна виділити на вироблення додаткової кількості молока й таким чином виростити ще одне дитинча. Більше дитинчат виростять ті гепарди, яких гени забезпечили оптимальним компромісом між швидкістю бігу, виробництвом молока і всіма іншими витратними статтями їхнього бюджету. Яким є оптимальний компроміс між, скажімо, виробництвом молока і швидкістю

бігу, не очевидно. Він, безумовно, буде різним для різних видів і може коливатися всередині кожного виду. Поза сумнівом лише, що такі компроміси будуть неминучими. Коли й гепарди, й газелі досягнуть максимальної швидкості бігу, яку вони «можуть собі дозволити» з урахуванням їхньої власної економіки, гонитва озброєнь між ними добіжить кінця.

Їхні відповідні економічні точки зупинки можуть залишити їх не на одному рівні. Здобич може зупинитися, витрачаючи на оборонне озброєння більшу частину свого бюджету, ніж хижаки на наступальне. Одна з причин цього виводиться в моралі байки Езопа: «Заєць бігає швидше за лисицю, бо ризикує своїм життям, тоді як лисиця ризикує лише обідом». З погляду економіки це означає, що окремо взяті лисиці, які перекидають ресурси на інші справи, можуть досягти більшого успіху, ніж окремо взяті лисиці, що витрачають практично всі свої ресурси на полювання. У популяції ж зайців, з другого боку, баланс економічної переваги зміщується в бік тих окремо взятих зайців, що багато витрачають на спорядження для швидкого бігу. Результат таких економічно збалансованих бюджетів *усередині виду* полягає в тому, що гонитва озброєнь *між видами* зазвичай добігає взаємно стабільного кінця, де одна сторона буде попереду.

Ми навряд чи станемо свідками гонитви озброєнь у динаміці, бо вона навряд чи розгортається в якийсь конкретний «момент» геологічного часу на кшталт нашого. Але тварин, що трапляються в наш час, можна інтерпретувати як кінцеві продукти гонитви озброєнь, що розгорталась у минулому.

Отже, підіб'ємо підсумок цього розділу. Гени відбираються не через притаманні їм якості, а з огляду на їхні взаємодії з навколишнім середовищем. Особливо важливою складовою навколишнього середовища того чи іншого гена є інші гени. Загалом причина такої важливості цієї складової полягає в тому, що інші гени теж змінюються з плином поколінь у процесі еволюції. Це передбачає два основні типи наслідків.

По-перше, це означає, що відбір надаватиме перевагу тим генам, які мають властивість «співпрацювати» з іншими ге-

нами, з якими вони ймовірно зустрінуться в обставинах, що сприяють співпраці. Це особливо, хоча й не виключно, справедливо для генів усередині одного виду, бо гени всередині одного виду часто розподіляють клітини між собою. Це привело до еволюції великих груп генів, які співпрацюють заради спільної мети, а згодом і до еволюції самих тіл як продуктів їхнього спільного підприємства. Тіло індивіда є великим засобом пересування — «машиною виживання», створеною кооперативом генів для збереження копій кожного члена цього кооперативу. Вони співпрацюють, бо всі виграють від одного результату (виживання та розмноження спільного тіла) і являють собою важливу частину навколишнього середовища, в якому над кожним із них працює природний відбір.

По-друге, обставини не завжди сприяють співпраці. У своєму русі крізь геологічний час гени стикаються один із одним також в обставинах, що сприяють антагонізму. Це особливо, хоча й не виключно, справедливо для генів різних видів. Суть різних видів полягає в тому, що їхні гени не змішуються, бо представники різних видів не можуть спаровуватись один з одним. Коли відібрані гени одного виду забезпечують навколишнє середовище, в якому відбираються гени іншого виду, результатом часто стає еволюційна гонитва озброєнь. Кожне нове генетичне покращення, відібране з однієї сторони гонитви озброєнь (скажімо, хижаків), змінює навколишнє середовище відбору генів з другої сторони (здобичі). Гонитва озброєнь такого типу якраз переважно й відповідає за помітно *прогресивну* якість еволюції, за еволюцію дедалі кращої швидкості бігу, вміння літати, чіткості зору, гостроти слуху тощо. Такі гонитви озброєнь не тривають вічно, а стабілізуються, коли, наприклад, подальші покращення стають надто економічно витратними для окремих тварин, про яких ідеться.

Це був складний розділ, але він мав потрапити до цієї книжки. Без нього в нас залишилося б відчуття, що природний відбір є лише деструктивним процесом чи у кращому разі процесом викорінення. Ми ж побачили тут два способи,

якими природний відбір може проявлятись як *конструктивна* сила. Один спосіб стосується відносин співпраці між генами всередині виду. Ми повинні виходити з фундаментального припущення, що гени є «егоїстичними» сутностями, які працюють лише на користь свого власного відтворення в генофонді виду. Але оскільки навколишнє середовище гена складається (такою значною мірою) з *інших* генів, які також відбираються в тому самому генофонді, генам корисно конструктивно співпрацювати з іншими генами в генофонді. Саме тому виникли великі тіла з клітин, що узгоджено працюють разом задля досягнення спільної мети. Саме тому й існують складні організми, а не окремі реплікатори, що змагаються один з одним у первісному бульйоні.

Організми виробили єдину й узгоджену цілеспрямованість, бо гени відбираються в навколишньому середовищі, забезпеченому іншими генами *всередині одного виду*. Але оскільки гени відбираються також у навколишньому середовищі, забезпеченому іншими генами різних видів, розвиваються гонитви озброєнь. А гонитви озброєнь являють собою іншу велику силу, що просуває еволюцію в напрямках, які ми розцінюємо як «прогресивний», складний «задум». Гонитви озброєнь створюють враження внутрішньої нестабільної «нестримності». Вони несуться в майбутнє способом, що для нас, спостерігачів, є, з одного боку, безглуздим і марним, а з іншого — прогресивним і нескінченно захопливим. У наступному розділі ми розглянемо конкретний, доволі особливий випадок такої вибухової, нестримної еволюції, який Дарвін називав статевим відбором.

РОЗДІЛ 8

ВИБУХИ Й СПІРАЛІ

Людський розум є невиправним любителем аналогій. Нам нестерпно кортить побачити якесь значення в незначних подібностях між дуже різними процесами. Якось у Панамі я багато годин спостерігав за битвою двох величезних колоній мурах-листорізів, а мій розум у цей час непереборно порівнював усіяне відірваними кінцівками поле бою з баченими раніше картинами однієї з найстрашніших битв Першої світової війни. Здавалось, ось-ось пролунають звуки гармат і я відчую запах диму. Невдовзі після виходу моєї першої книжки «Егоїстичний ген» до мене незалежно один від одного звернулися двоє священиків — вони обидва прийшли до однакової аналогії між ідеями, висловленими в книжці, й доктриною первородного гріха. Дарвін застосовував ідею еволюції виключно до живих організмів, форма тіла яких змінюється з плином незліченних поколінь. Його ж послідовники піддалися спокусі бачити еволюцію в усьому — мінливій формі Всесвіту, «стадіях» розвитку людської цивілізації, моді на довжину спідниць. Іноді такі аналогії можуть бути надзвичайно плідними, але з ними дуже легко зайти надто далеко, надмірно захопившись настільки примарними з них, що шкоди від цих аналогій буде більше, ніж користі. Я вже звик отримувати чимало листів із дивними ідеями й засвоїв, що надмірне захоплення аналогіями є однією з характерних ознак марнування часу та виставлення себе на посміховисько.

Однак найбільші прориви в науці відбулися саме тому, що якісь розумники помітили аналогії між одними предметами, що були уже зрозумілими, та іншими, на той момент іще загадковими. Увесь фокус у тому, щоб знайти баланс між занадто нерозбірливим проведенням аналогій, з одного боку, і повною сліпотою до плідних аналогій — з іншого. Успішного вченого від буйного дивака відрізняє якість натхнення. Але я підозрюю, що на практиці це зводиться до відмінності не так у здатності помічати аналогії, як у здатності *відкидати* безглузді аналогії та займатися корисними. Залишивши осторонь той факт, що ми маємо тут іще одну аналогію (що може бути безглуздою чи плідною, але, безумовно, не оригінальною) — між науковим прогресом і дарвінівським еволюційним відбором, перейдімо тепер до основної теми цього розділу. Зокрема, я збираюся детально розглянути дві тісно переплетені між собою аналогії, які вважаю такими, що надихають, але водночас можуть надто далеко завести, якщо не бути уважними. Першою є аналогія між різноманітними процесами, які об'єднує їхня схожість із вибухами. Другою ж є аналогія між справжньою дарвінівською еволюцією й тим, що було названо культурною еволюцією. Думаю, що ці аналогії можуть виявитися плідними, інакше я точно не присвятив би їм цілий розділ. Але попередити читача ніколи не зайве.

Ідеться про властивість вибухів, що відома інженерам як «позитивний зворотний зв'язок». Краще за все позитивний зворотний зв'язок можна осягнути в порівнянні з його протилежністю — негативним зворотним зв'язком. Негативний зворотний зв'язок лежить в основі більшості пристроїв автоматичного контролю та регуляції, а одним із його найяскравіших і найвідоміших прикладів є відцентровий регулятор пари Ватта. Корисний двигун має забезпечувати обертальний момент із постійною швидкістю, якраз такою, яка потрібна для роботи млинів, ткацьких верстатів, насосів і такого іншого. До появи регулятора Ватта проблема полягала в тому, що швидкість обертання залежала від тис-

ку пари: підкинеш палива в котел, і двигун запрацює швидше. Такий стан справ був аж ніяк не задовільним для млинарства чи ткацтва, що вимагають рівномірного приводу для своїх машин. Ватт же запропонував пристрій, що являв собою автоматичний клапан для регулювання потоку пари, що надходить до циліндру.

Хитрим трюком було зв'язати цей клапан із обертальним рухом, породжуваним двигуном, таким чином, що чим швидше працював двигун, тим більше клапан перекривав пару. І навпаки, коли двигун працював повільно, клапан відкривався. Відповідно, двигун, що працював надто повільно, дуже скоро пришвидшувався, а двигун, який працював надто швидко, дуже скоро сповільнювався. Конкретні засоби, якими регулятор вимірював швидкість, були простими, але ефективними, а запропонований принцип використовується й досі. На кінцях двох шарнірних важелів розташовані кульки, що обертаються двигуном. Коли вони обертаються швидко, то підіймаються на своїх важелях відцентровою силою. Коли ж вони обертаються повільно, то опускаються. Ці шарнірні важелі напряму під'єднані до дроселя пари. За відповідного тонкого налаштування регулятор Ватта здатен підтримувати майже постійну швидкість обертання парового двигуна навіть за умов суттєвих коливань температури в топці.

Базовим принципом дії регулятора пари Ватта є негативний зворотний зв'язок. Результат роботи, або вихід двигуна (в цьому випадку обертальний рух), подається назад до двигуна (через паровий клапан). Цей зворотний зв'язок є *негативним*, бо високий вихід (швидке обертання кульок) має негативний вплив на вхід (подавання пари). І навпаки, низький вихід (повільне обертання кульок) збільшує вхід (пари), знову даючи протилежний ефект. Але я представив ідею негативного зворотного зв'язку лише з метою протиставити її позитивному зворотному зв'язку. Візьмімо паровий двигун із регулятором Ватта і внесімо в нього одну надзвичайно важливу зміну. Ми змінимо знак відношення між відцентровим апаратом кульок і клапаном пари. Тепер, коли кульки

крутяться швидко, клапан не закривається, як він це робить у регуляторі Ватта, а *відкривається*. І навпаки, коли кульки крутяться повільно, клапан не збільшує потік пари, а зменшує його. Звичайний двигун із регулятором Ватта, що почав сповільнюватися, дуже скоро виправив би цю тенденцію і прискорився до бажаної швидкості знову. Але наш підкоригований двигун робить прямо протилежне. Якщо він починає сповільнюватись, це змушує його сповільнюватись дедалі більше. Дуже скоро він загальмується до повної зупинки. З іншого боку, якщо такий підкоригований двигун раптом починає прискорюватись, то замість виправлення цієї тенденції, як це було б зі звичайним регулятором Ватта, вона лише зростає. Інвертований регулятор підживлює незначне прискорення, і двигун працює швидше. Це дає позитивний зворотний зв'язок, і двигун прискорюється ще більше. Це триватиме доти, доки або двигун не розірветься від напруги, пробивши маховиком заводську стіну, або просто не вичерпаються можливості збільшення тиску пари й не встановиться максимальна швидкість.

Там, де оригінальний регулятор Ватта використовує негативний зворотний зв'язок, наш гіпотетичний підкоригований є прикладом протилежного процесу — позитивного зворотного зв'язку. Процеси позитивного зворотного зв'язку мають нестабільну, нестримну якість. Незначні початкові пертурбації зростають і розвиваються за дедалі більшою спіраллю, кульмінацією якої стає або катастрофа, або поступовий вихід на якийсь вищий рівень під дією інших процесів. Інженери вирішили, що варто об'єднати одне широке розмаїття процесів під єдиною назвою «негативний зворотний зв'язок», а друге — під назвою «позитивний зворотний зв'язок». Ці аналогії є плідними не просто в якомусь розпливчастому якісному сенсі, а й у тому, що в основі всіх процесів лежать однакові обчислення. Навіть біологи, що вивчають такі явища як контроль температури тіла та механізми насичення, що запобігають переїданню, вирішили, що корисно буде запозичити обчислення негативного зворот-

ного зв'язку в інженерів. Системи позитивного зворотного зв'язку використовуються рідше, ніж системи негативного, як інженерами, так і живими організмами, проте, хай там як, але предметом розгляду цього розділу є саме вони.

Причина того, що інженери та живі організми використовують активніше системи негативного, ніж позитивного зворотного зв'язку, полягає, звісно, в тому, що контрольоване регулювання близько до оптимуму є корисним. Нестабільні ж нестримні процеси є далеко не корисними, а можуть бути взагалі небезпечними. У хімії типовим процесом позитивного зворотного зв'язку є вибух, і ми зазвичай використовуємо слово «вибуховий» для опису будь-якого нестримного процесу. Наприклад, можна сказати, що хтось має вибуховий темперамент. Один із моїх шкільних учителів був культурним, чемним і зазвичай м'яким джентльменом, але час від часу в нього траплялися вибухи темпераменту, про що він чудово знав і сам. Коли хтось у класі починав його діставати, він спочатку нічого не казав, але з його обличчя було видно, що всередині в нього відбувається щось незвичайне. Потім, спочатку спокійним і розважливим тоном, він промовляв: «О Боже. Я вже не витримую. Мені уривається терпець. Ховайтеся під парти. Попереджаю вас, зараз почнеться». При цьому його голос постійно підвищувався, і на крещендо він раптом хапав усе, що під руку втрапить: книжки, губки з дерев'яною рамкою для витирання дошки, преспап'є, чорнильниці, — і жбурляв їх одне за одним із максимальною силою й люттю, але неприцільно у напрямку учня, який його спровокував. Після цього самовладання до нього поступово поверталося, і наступного дня він приносив тому самому учню найґречніші вибачення. Він усвідомлював, що втратив над собою контроль, і визнавав себе жертвою петлі позитивного зворотного зв'язку.

Але позитивний зворотний зв'язок приводить не лише до нестримних підвищень; він також може привести до нестримних знижень. Нещодавно я відвідав дебати Конгрегації — «парламенту» Оксфордського університету — щодо присво-

єння почесного ступеня одній людині. Усупереч звичаю прийняття цього рішення викликало чимало суперечок. Після голосування впродовж 15 хвилин, які зайняв підрахунок голосів, присутні ще ніяк не могли заспокоїтися, чекаючи оголошення результатів. А потім у якийсь момент усі розмови дивним чином припинилися, і в залі запанувала тиша. Причиною цього був особливий різновид позитивного зворотного зв'язку. Він працює таким чином. У будь-якому загальному гаморі спілкування неодмінно наявні випадкові коливання рівня галасу як угору, так і вниз, яких ми зазвичай не помічаємо. Одне з таких випадкових коливань, у напрямку тиші, виявилося трохи помітнішим, ніж зазвичай, унаслідок чого деякі люди його помітили. Оскільки всі напружено чекали на оголошення результатів голосування, то ті, хто почув випадкове зниження рівня галасу, підняли очі й припинили розмови. Це змусило загальний рівень галасу знизитися ще трохи, внаслідок чого його помітило ще більше людей, які теж припинили розмови. Був ініційований позитивний зворотний зв'язок, який доволі швидко поширювався, допоки в залі не запанувала повна тиша. Потім, коли ми усвідомили, що тривога була хибною, почувся сміх, на зміну якому поступово прийшло підвищення галасу до попереднього рівня.

Найяскравішими та найприголомшливішими прикладами позитивного зворотного зв'язку є ті, що приводять не до зниження, а до нестримного збільшення чогось: ядерний вибух, втрата самовладання вчителем, сварка в пивниці, ескалація образ в ООН (читач може звернути увагу на попередження, з якого я почав цей розділ). Побічним свідченням важливості позитивного зворотного зв'язку в міжнародних відносинах є спеціальне слово «ескалація», коли ми говоримо, що Близький Схід — це «порохова бочка», і коли позначаємо «вогнища напруженості». Один із найвідоміших прикладів ідеї позитивного зворотного зв'язку наводиться в Євангелії від Матвія: «Бо хто має, тому дасться і примножиться, а хто не має, у того відніметься й те, що має». Цей розділ розповідає про позитивний зворотний зв'язок

у процесі еволюції. Деякі властивості живих організмів мають такий вигляд, неначе вони є кінцевими продуктами чогось на кшталт вибухового, керованого позитивним зворотним зв'язком нестримного процесу еволюції. У м'якій формі прикладами цього є гонитви озброєнь із попереднього розділу, але справді дивовижні приклади слід шукати серед органів, що слугують для приваблення статевих партнерів.

Спробуйте переконати себе (як намагалися переконати мене у студентські роки), що хвіст павича є звичайнісіньким функціональним органом на кшталт зуба чи нирки, сформованим шляхом природного відбору для виконання всього лише утилітарної роботи — недвозначного позначення птаха як представника цього виду, — і квит. Мене в цьому так і не переконали, і я сумніваюся, що вас удасться переконати також. На мою думку, хвіст павича несе на собі безпомильний відбиток позитивного зворотного зв'язку. Він однозначно є продуктом якогось неконтрольованого, нестабільного вибуху, що стався в процесі еволюції. Те саме стверджував і Дарвін, викладаючи свою теорію статевого відбору, і так само (однозначно й багатослівно) вважав найвидатніший із його послідовників Р. А. Фішер. Після недовгих міркувань у своїй книжці «Генетична теорія природного відбору» він робить такий висновок:

> *...розвиток плюмажу в самців та статеві преференції такого розвитку в самиць, таким чином, мають відбуватися разом, а оскільки цей процес не контролюється жорстким контрвідбором, відбуватимуться з дедалі більшою швидкістю. За повної відсутності такого контролю легко побачити, що швидкість розвитку буде пропорційна розвитку вже досягнутому, який, відповідно, з часом збільшуватиметься по експоненті чи в геометричній прогресії.*

Для Фішера це типово: речі, які, як йому здається, «легко побачити», інші вчені не могли до кінця зрозуміти ще півстоліття. Він геть не переймався тим, аби пояснити своє

твердження, що еволюція статево привабливого плюмажу може відбуватися з дедалі більшою швидкістю, по експоненті, вибухово. Решті наукового світу знадобилося десь із 50 років, аби вловити й нарешті відтворити в повному вигляді той математичний аргумент, який, мабуть, використовував Фішер (на папері чи у своїй голові), аби довести цю думку самому собі. Я збираюся спробувати пояснити суто нематематичною прозою ці математичні ідеї, які в їхній сучасній формі здебільшого розробив молодий американський математичний біолог Расселл Ланде. Хоча я й не налаштований так песимістично, як сам Фішер, який у передмові до своєї книжки 1930 року сказав: «Жодні мої зусилля не допомогли зробити цю книжку легкою для читання», — однак, говорячи словами одного люб'язного рецензента моєї власної першої книжки, «читач попереджений, що розум треба взути у кросівки для бігу». Мені самому розуміння цих складних ідей далося геть не просто. Тут, попри його протести, я маю подякувати своєму колезі й колишньому студентові Алану Ґрафену, власні «крилаті сандалі розуму» якого знамениті по-своєму, але який має дедалі рідкіснішу здатність знімати їх і знаходити правильний спосіб пояснити складні моменти іншим. Без його настанов я просто не зміг би написати основну частину цього розділу, і саме тому я не бажаю обмежувати свою вдячність лише словами в передмові.

Перш ніж ми перейдемо до цих складних моментів, я мушу повернутися трохи назад і розповісти дещо про походження самої ідеї статевого відбору. Як і багато іншого в цій царині, вона пішла від Чарльза Дарвіна. Хоча Дарвін і зосередив основну увагу на виживанні та боротьбі за існування, він усвідомлював, що існування та виживання є лише засобами досягнення кінцевої мети. А цією кінцевою метою є розмноження. Фазан може дожити до поважного віку, але якщо він не розмножиться, то не передасть свої біологічні ознаки далі. Відбір сприятиме набуттю якостей, що роблять тварину успішною в розмноженні, і виживання є лише частиною битви за розмноження. В інших частинах цієї битви успіх

приходить до тих, хто є найпривабливішим для протилежної статі. Дарвін бачив, що якщо самець фазана, павича чи райського птаха набуває статевої привабливості, навіть за рахунок власного життя, то все ще може перед смертю передати свої статево привабливі якості завдяки дуже успішному розмноженню. Він усвідомлював, що хвіст павича має бути перешкодою для його власника, коли йдеться про виживання, і припустив, що це більш ніж переважується підвищенням статевої привабливості, яку той дає самцеві. З його любов'ю до аналогії з одомашненням Дарвін порівняв паву з людиною-селекціонером, яка спрямовує хід еволюції домашніх тварин згідно зі своїми естетичними примхами. Ми ж могли би порівняти її з особою, що відбирає комп'ютерних біоморфів, виходячи з їхньої естетичної привабливості.

Дарвін просто приймав примхи самиць як належне. Їхнє існування було аксіомою його теорії статевого відбору, апріорним припущенням, а не чимось, що потребує окремого пояснення. Почасти з цієї причини його теорія статевого відбору мала погану славу, аж поки 1930 року її не врятував Фішер. На жаль, багато біологів так само ігнорували або неправильно розуміли Фішера. Заперечення, висунуте Джуліаном Гакслі та іншими, полягало в тому, що примхи самиць не є вагомою основою для по-справжньому наукової теорії. Але Фішер врятував теорію статевого відбору, розглядаючи преференції самиць як законний об'єкт природного відбору, не менш повноправний, ніж хвости самців. Преференції самиць є проявом їхньої нервової системи. А нервова система самиць розвивається під впливом їхніх генів, через що на її властивості ймовірно впливає відбір, що відбувався впродовж минулих поколінь. Тоді як інші вважали, що окраси самців еволюціонували під впливом статичних преференцій самиць, на думку Фішера, преференції самиць динамічно еволюціонували синхронно з прикрасами самців. Можливо, ви вже починаєте здогадуватись, як це буде пов'язано з ідеєю вибухового позитивного зворотного зв'язку.

Під час розгляду складних теоретичних ідей часто буває корисно тримати в голові якийсь конкретний приклад з реального світу. Особисто я скористаюся прикладом хвоста африканського птаха — довгохвостого оксамитового ткача. Згодилась би будь-яка прикраса, що з'явилася внаслідок роботи статевого відбору, але мені захотілося внести невеличкі зміни й відійти від постійно згадуваного (коли говорять про статевий відбір) павича. Самець довгохвостого оксамитового ткача — невеликий чорний птах із помаранчевими плямами на плечах, розміром приблизно з англійського горобця, за винятком того, що довжина основного хвостового оперення в шлюбний період може сягати у нього 45 см. Його часто можна побачити під час виконання ефектного показового польоту над пасовищами Африки, коли він виконує фігури вищого пілотажу, немов літак із причепленим до нього довгим рекламним транспарантом. Не дивно, що вологу погоду він зазвичай перечікує на землі. Навіть сухий хвіст такої довжини тягати за собою скрізь, мабуть, важкувато. Нас же цікавить пояснення виникнення довгого хвоста, яке ми уявляємо собі як вибуховий еволюційний процес. Тому нашою відправною точкою буде якийсь предковий птах іще без такого довгого хвоста. Уявімо, що хвіст цього предкового птаха був завдовжки всього приблизно 3 дюйми — десь так ушестеро коротшим за хвіст сучасного самця в шлюбний період. Еволюційною зміною, яку ми намагаємося пояснити, є якраз шестикратне збільшення довжини хвоста.

Очевидним фактом є те, що під час вимірювання майже будь-чого у тварин більшість представників виду демонструють результати, доволі близькі до середнього значення, проте одні особини є трохи більшими, тоді як інші — трохи меншими. Можна бути впевненими, що у предкового оксамитового ткача існував цілий діапазон значень довжини хвостів, одні з яких були довшими, а інші коротшими за середні 3 дюйми. Легко припустити, що довжина хвостів регулювалася великою кількістю генів, ефект кожного

з яких був незначним, але підсумовувався з іншими разом із впливами особливостей харчування та інших умов навколишнього середовища, складаючись у фактичну довжину хвоста особини. Великі кількості генів, ефекти яких підсумовуються, називаються полігенами. Великі кількості полігенів впливають на більшість наших із вами вимірів, наприклад на зріст і вагу. Математичною моделлю статевого відбору, якої я дотримуюся найбільш близько, є модель полігенів Рассела Ланде.

Тепер ми мусимо звернути увагу на самиць, а також на те, як вони обирають статевих партнерів. Припущення, що саме самиці обирають собі партнерів, а не навпаки, може здатися доволі сексистським. Тим не менш є вагомі теоретичні причини очікувати саме цього (див. «Егоїстичний ген»), і, власне кажучи, на практиці це також є нормою. Сучасні самці довгохвостого оксамитового ткача зазвичай збирають навколо себе гареми, десь із півдюжини самиць. Це означає, що в популяції існує надлишок самців, що не розмножуються. Це, у свою чергу, означає, що самиці не мають проблем із пошуком партнерів і можуть собі дозволити «перебирати харчами». Самець може неабияк виграти від своєї привабливості для самиць. Самиця ж від привабливості виграє небагато, оскільки вона приречена на попит у будь-якому разі.

Отже, прийнявши припущення, що вибір здійснюють саме самиці, далі ми робимо надзвичайно важливий крок, який свого часу зробив Фішер для заплутування критиків Дарвіна. Замість того, щоб просто погодитися, що самиці мають примхи, ми розглядатимемо преференції самиць як змінну з генетичним впливом на кшталт будь-якої іншої. Преференції самиць є кількісною змінною, і можна припустити, що вона контролюється полігенами таким самим чином, як і довжина хвостів самців. Ці полігени можуть впливати на будь-яку з широкого розмаїття частин мозку самиці чи навіть на її очі — на щось, що має ефект зміни преференцій. Преференції самиць, безперечно, враховують

багато характеристик самця: колір плям на його плечах, форму дзьоба і т. ін., але нас тут цікавить саме еволюція довжини хвоста, а отже, преференції самиць щодо хвостів самців різної довжини. Тому ми можемо вимірювати преференції самиць у тих самих одиницях, що й довжину хвостів самців, — у дюймах. Полігени наглянуть за тим, аби одним самицям подобалися довші від середнього хвости самців, другим — коротші, а третім — хвости приблизно середньої довжини.

А тепер на сцену виходить один із ключових здогадів усієї теорії. Хоча гени преференцій самиць *проявляються* лише у їхній поведінці, тим не менше вони присутні також в організмах самців. Унаслідок цього гени довжини хвостів самців присутні в організмах самиць, проявляються вони там чи ні. В ідеї генів, нездатних проявитися, немає нічого складного. Наприклад, якщо якийсь чоловік має гени довгого пеніса, він з однаковою ймовірністю передасть ці гени як своєму синові, так і доньці. У сина ці гени можуть проявитися, тоді як у доньки, звісно ж, ні, бо вона взагалі не має пеніса. Але якщо цей чоловік урешті-решт матиме онуків, сини його доньки можуть успадкувати його довгий пеніс так само ймовірно, як і сини його сина. Гени можуть переноситися в тому чи іншому організмі, але не проявлятися. Таким самим чином Фішер і Ланде припускають, що гени преференцій самиць *переносяться* в організмах самців навіть попри те, що *проявляються* вони лише в організмах самиць. А гени хвостів самців переносяться в організмах самиць навіть попри те, що в самиць вони не проявляються.

Припустімо, що ми маємо спеціальний мікроскоп, що дає можливість зазирнути всередину клітин будь-якого птаха та проінспектувати його гени. Візьмімо самця, якому випало мати хвіст, довший від середнього, і подивімося на гени всередині його клітин. Шукаючи насамперед гени довжини хвоста як такі, буде не дивно виявити, що він має гени, які обумовлюють появу довгого хвоста, — це ж очевидно, бо він *має* довгий хвіст. А тепер подивимося на його гени *преференцій* щодо довжини хвоста. Тут у нас жодних підказок

ззовні немає, бо такі гени проявляються лише в самиць. Доведеться пошукати їх за допомогою нашого мікроскопу. Що ж ми побачимо? А побачимо ми гени, які змушують самиць віддавати перевагу довгим хвостам. І навпаки, якщо зазирнути всередину самця, який має короткий хвіст, ми побачимо там гени, що змушують самиць віддавати перевагу коротким хвостам. Це і є ключовим моментом нашого аргументу. Обґрунтування ж цього таке.

Якщо уявити, що я — самець із довгим хвостом, то мій батько, найімовірніше, теж мав довгий хвіст. Звичайна собі спадковість. Але оскільки мій батько був обраний для спаровування моєю матір'ю, моя матір також, найімовірніше, віддавала перевагу довгохвостим самцям. Таким чином, якщо я успадкував гени довгого хвоста від свого батька, я також, найімовірніше, успадкував гени віддавання переваги довгим хвостам від своєї матері. Виходячи з тих самих міркувань, можна стверджувати, що, якби ви успадкували гени короткого хвоста, ви також з високою ймовірністю успадкували б гени, що змушують самиць віддавати перевагу коротким хвостам.

Таких самих міркувань можна дотримуватись і для самиць. Якщо уявити, що я — самиця, яка віддає перевагу довгохвостим самцям, то існує висока ймовірність того, що моя матір теж віддавала їм перевагу. Таким чином, існує висока ймовірність того, що мій батько мав довгий хвіст, оскільки він був обраний моєю матір'ю. Відповідно, якби я успадкувала гени віддавання переваги довгим хвостам, то існувала б висока ймовірність того, що я також успадкувала б гени *наявності* довгого хвоста, проявлялися б насправді ці гени в моєму організмі самиці чи ні. А якби я успадкувала гени віддавання переваги коротким хвостам, то існувала б висока ймовірність того, що я також успадкувала б гени наявності короткого хвоста. Загалом висновок такий: будь-яка особина будь-якої статі ймовірно містить *як* гени, що змушують самців *мати* певну якість, *так і* гени, що змушують самиць *віддавати перевагу* тій самій якості, хоч якою б вона була.

Отже, гени якостей самців і гени, що змушують самиць віддавати перевагу цим якостям, не перетасовуватимуться випадковим чином по всій популяції, а зазвичай успадковуватимуться *разом*. Така «спайка», що відома під трохи бентежною технічною назвою «нерівноважне зчеплення», відіграє цікаву роль у рівняннях математичних генетиків. Вона має дивні й дивовижні практичні наслідки, не останнім з яких, якщо Фішер і Ланде мають рацію, є вибухова еволюція хвостів павича та оксамитового ткача, а також багатьох інших органів приваблення. Ці наслідки можна довести лише математично, але основну їхню суть цілком можливо передати словами, і ми спробуємо отримати певне уявлення про цей математичний аргумент за допомогою нематематичної мови. Тут нам знову знадобляться «кросівки для мозку», хоча насправді кращою метафорою тут будуть альпіністські черевики. Кожен крок цього аргументу є достатньо простим, але до вершини гори розуміння веде довгий ланцюжок кроків, і якщо пропустити хоч якийсь із більш ранніх, то зробити пізніші, на жаль, не вдасться.

Наразі ми вже усвідомили можливість існування широкого діапазону преференцій самиць: від тих, що віддають перевагу довгохвостим самцям, до тих, кому подобається цілком протилежне — короткохвості самці. Але якби ми насправді провели опитування серед самиць конкретної популяції, то виявили б, мабуть, що більшість із них мають однакові смаки щодо самців. *Діапазон* смаків самиць у популяції можна виразити в тих самих одиницях (дюймах), у яких ми виражали діапазон довжини хвостів самців. У тих же самих одиницях можна виразити й *середні* преференції самиць. Може виявитися, що середні преференції самиць є точно такими самими, як і середня довжина хвостів самців, — 3 дюйми в обох випадках. У цьому разі вибір самиць не буде еволюційною силою, що має тенденцію змінювати довжину хвостів самців. Або ж може виявитися, що середні преференції самиць передбачають хвіст, трохи довший від того середнього, що існує в реальності, — скажімо, 4 дюйми, а не 3. Ненадовго залишивши питання

про можливі причини такої невідповідності відкритим, просто приймімо той факт, що вона існує, і розгляньмо таке очевидне питання. Чому, якщо більшість самиць віддають перевагу самцям із 4-дюймовими хвостами, більшість самців насправді мають 3-дюймові хвости? Чому під впливом статевого відбору самиць середня довжина хвостів у популяції не зсунулася до 4 дюймів? Яким чином між середньою преференцією довжини хвоста й фактичною середньою довжиною хвоста може існувати невідповідність в 1 дюйм?

Річ у тім, що смаки самиць є не єдиним різновидом відбору, що впливає на довжину хвостів самців. Хвости відіграють важливу роль у польоті, і хвіст, що є надто довгим чи надто коротким, знижуватиме ефективність польоту. Більше того, довгий хвіст вимагає більших затрат енергії на його носіння й насамперед на відрощування. Самці з 4-дюймовими хвостами могли б добре приваблювати самиць, але ціною менш ефективного польоту, більших витрат енергії та більшої вразливості для хижаків. Можна сказати, що існує якийсь *утилітарний оптимум* довжини хвоста, що відрізняється від оптимуму статевого відбору, — якась ідеальна з погляду повсякденних критеріїв корисності довжина хвостів, ідеальна з усіх поглядів, крім приваблення самиць.

Чи слід очікувати, що фактична середня довжина хвостів самців (3 дюйми в нашому гіпотетичному прикладі) буде такою самою, як утилітарний оптимум? Ні, слід очікувати, що утилітарний оптимум буде меншим — скажімо, 2 дюйми. Причина в тому, що фактична середня довжина хвостів у 3 дюйми є результатом компромісу між утилітарним відбором, що має тенденцію робити хвости коротшими, і статевим відбором, що має тенденцію робити їх довшими. Можна припустити, що, якби не було жодної потреби приваблювати самиць, середня довжина хвостів знизилася б до 2 дюймів. Якби ж не було жодної потреби хвилюватися про ефективність польоту та витрати енергії, середня довжина хвостів «вистрілила» б до 4 дюймів. Фактична середня довжина 3 дюйми є компромісом.

Ми залишили осторонь питання, *чому* самиці могли б погодитися віддавати перевагу хвостам, що відхиляться від утилітарного оптимуму. На перший погляд сама ця ідея здається безглуздою. Самиці-«модниці» зі смаком до хвостів, довших, ніж мають бути за критеріями гарного задуму, матимуть погано пристосованих, неефективних, незграбних у польоті синів. Будь-яка ж мутантна самиця, що мала б «немодний» смак до самців із коротшими хвостами, — зокрема, мутантна самиця, смак якої до хвостів раптом збігся б із утилітарним оптимумом, — народжувала б ефективних синів, добре пристосованих для польоту, що, безумовно, перевершували б синів її більш «модних» конкуренток. Щоправда, тут є одна проблемка. Вона прихована в моїй метафорі про «моду». Сини мутантної самиці можуть бути ефективними літунами, але їх не вважатиме привабливими більшість самиць у популяції. Вони приваблюватимуть лише меншість самиць, що нехтують модою, — а меншість самиць, за визначенням, знайти важче, ніж більшість, з тієї простої причини, що трапляються вони рідше. У суспільстві, де загалом спаровується лише один із шести самців, а успішні самці мають великі гареми, потурання смакам більшості самиць даватиме величезні переваги, що цілком здатні виявитися значимішими за утилітарні критерії витрат енергії та ефективності польоту.

Але навіть якщо так, читач може закинути мені, що весь цей аргумент базується на одному довільному припущенні. З того, що більшість самиць віддають перевагу неутилітарним довгим хвостам, подумає він, випливає й решта. Але звідки взялися ці смаки більшості самиць? Чому більшість самиць не віддають перевагу хвостам, *меншим* чи точно таким завдовжки, як утилітарний оптимум? Чому б моді не збігатися з утилітарністю? Насправді будь-який із цих варіантів є можливим, і у багатьох видів їх, мабуть, можна побачити. Мій гіпотетичний випадок — самиці, що віддають перевагу довгим хвостам, — був, по суті, довільним. Але, хоч *якими б* були смаки більшості самиць і попри всю їхню можливу довільність, існує тенденція до підтримання більшості відбором, а за

деяких умов навіть її зростання, і значного. От на цьому етапі брак математичного обґрунтування моєї думки стає справді помітним. Я міг би попросити читача просто прийняти на віру, що цю думку доводять математичні міркування Ланде, і цим обмежитися. Це було б для мене найрозумнішим виходом, але я все ж спробую хоча б частково пояснити цю ідею словами.

Ключ до цього аргументу лежить у твердженні, яке ми прийняли раніше, — про «нерівноважне зчеплення», «спайку» генів хвостів конкретної довжини (будь-якої) й відповідних генів віддавання переваги хвостам тієї самої довжини. «Фактор спайки» можна уявити як якесь вимірюване число. Якщо цей фактор є дуже високим, це означає, що знання про гени довжини хвоста індивіда дає нам можливість із великою точністю передбачити його/її гени преференцій, і навпаки. Якщо ж фактор спайки є низьким, то це означає, що знання про гени індивіда в одній із двох сфер — преференції чи довжини хвоста — дає нам лише легкий натяк щодо його/її генів в іншій сфері.

На величину фактора спайки впливає така річ, як сила преференції самиць, — те, наскільки вони толерантні до самців, яких вважають недосконалими; наскільки мінливість довжини хвостів самців керується генами, а не умовами навколишнього середовища і т. ін. Якщо внаслідок всіх цих впливів фактор спайки (міцність зв'язку генів довжини хвоста і генів преференції довжини хвоста) є дуже високим, з цього можна зробити такий висновок. Щоразу, як самця обирають за його довгий хвіст, обирають не лише гени довгих хвостів. Водночас через спайку зчеплення обирають також гени *віддавання переваги* довгим хвостам. А це означає, що гени, які змушують самиць обирати хвости самців конкретної довжини, по суті, *обирають копії самих себе*. Це є основним компонентом самопідкріплюваного процесу: він має свій власний самопідтримуваний момент інерції. Після того, як вона почнеться в якомусь конкретному напрямку, еволюція здатна сама забезпечити собі стабільний рух у цьому напрямку й надалі.

Поглянути на це також можна, звернувшись до так званого «ефекту зеленої бороди». Це такий собі жарт учених-біологів. Ефект цей є чисто гіпотетичним, але тим не менш повчальним. Уперше він був запропонований як спосіб пояснити фундаментальний принцип, що лежить в основі важливої теорії родинного відбору В. Д. Гамільтона, яку я детально розглядав у книжці «Егоїстичний ген». Гамільтон, нині мій колега в Оксфорді, продемонстрував, що природний відбір сприятиме генам альтруїстичної поведінки щодо близького родича просто тому, що копії цих самих генів мали високу ймовірність опинитися в організмі цього родича. Гіпотеза «зеленої бороди» подає цю думку більш загально, хоча й менш практично. Вона стверджує, що спорідненість є єдиним можливим шляхом, яким гени можуть, по суті, виявити копії самих себе в інших організмах. Теоретично ген міг би виявити копії самого себе більш прямими засобами. Припустімо, що виник би якийсь ген, який проявляв би такі два ефекти (гени з двома чи більше ефектами доволі поширені): змушував би його власників мати якусь помітну ознаку на кшталт зеленої бороди, а також впливав би на їхні мізки таким чином, що вони поводилися б альтруїстично стосовно зеленобородих особин. Слід визнати, що такий збіг є доволі малоймовірним, але якби він колись таки виник, то еволюційний наслідок був би зрозумілим. Природний відбір зазвичай сприяв би гену зеленобородого альтруїзму з тих самих причин, що й генам альтруїзму стосовно дітей чи братів. Щоразу, як якась зеленоборода особина допомагала б іншій, ген обумовлення такого розбірливого альтруїзму сприяв би копії самого себе. Поширення гена зеленої бороди стало б автоматичним і неминучим.

Ніхто насправді не вважає (навіть я), що ефект зеленої бороди в такій надпростій формі колись буде виявлено в природі. У природі гени роблять вибір на користь копій самих себе за допомогою менш специфічних, але правдоподібніших міток, аніж зелені бороди. Саме такою міткою є спорідненість. «Брат» або, на практиці, щось на кшталт

«той, хто вилупився в гнізді, з якого я нещодавно вилетів», є статистичною міткою. У будь-якого гена, який змушує індивідів поводитись альтруїстично стосовно носіїв такої мітки, є добрі статистичні шанси допомогти копіям самого себе, адже брати мають добрі статистичні шанси успадкувати однакові гени. Теорію родинного відбору Гамільтона можна вважати одним зі способів зробити ефект типу зеленої бороди правдоподібним. Згадайте, до речі, що тут немає жодного припущення, що гени «хочуть» допомагати копіям самих себе. Припускається лише, що будь-який ген, який раптом проявляє *ефект* допомоги копіям самого себе, мимоволі матиме тенденцію ставати чисельнішим у популяції.

Відповідно, спорідненість можна вважати способом, який робить правдоподібним щось на кшталт ефекту зеленої бороди. Теорію статевого відбору Фішера можна трактувати як іще один спосіб, у який «зелена борода» може ставати правдоподібною. Коли самиці якоїсь популяції мають сильні преференції щодо певних характеристик самців, з цього випливає (з огляду на міркування, які ми вже розглядали), що організм кожного самця матиме тенденцію містити копії генів, які змушуватимуть самиць віддавати перевагу саме його характеристикам. Якщо самець успадкував від батька довгий хвіст, існує висока ймовірність того, що він також успадкував від матері гени, що змусили її обрати довгий хвіст його батька. Якщо ж він має короткий хвіст, існує висока ймовірність того, що він містить у собі гени, які змушують самиць віддавати перевагу коротким хвостам. Тож коли якась самиця обирає самця, хоч якими б були її преференції, існує висока ймовірність того, що гени, які спрямовують її вибір, *обирають копії самих себе* в самців. Вони обирають копії самих себе, використовуючи як мітку довжину хвостів самців, у складнішій версії способу, яким гіпотетичний «ген зеленої бороди» використовує як мітку зелену бороду.

Якби половина самиць у популяції віддавала перевагу довгохвостим самцям, а друга половина — короткохвостим, гени вибору самиць усе одно обирали б копії самих себе, але

загалом там не проявлялася б тенденція сприяння одному чи іншому типові хвоста. Там могла би виявитися тенденція до розподілу популяції на дві частини — довгохвостих, які віддають перевагу довгим хвостам, і короткохвостих, які віддають перевагу коротким хвостам. Але будь-яке подібне розходження «думки» самиць є нестабільним станом справ. Щойно серед самиць починає формуватися більшість, *хоч якою б незначною вона була*, що схиляється в бік одного типу преференцій, а не другого, ця більшість підсилюється і в наступних поколіннях. Це відбувається тому, що самцям, яким віддають перевагу самиці меншості, важче знайти собі партнерш; а тому самиці меншості матимуть синів, яким буде доволі важко відшукати собі пару, і, отже, ці самиці матимуть менше онуків. Щоразу, як незначні меншості мають тенденцію ставати ще більш незначними, а незначні більшості мають тенденцію ставати ще численнішими, ми маємо рецепт позитивного зворотного зв'язку: «Бо хто має, тому дасться і примножиться, а хто не має, у того відніметься й те, що має». Щоразу, як ми маємо нестабільний баланс, довільні, випадкові починання стають самопідкріплюваними. Так само, коли ми спилюємо стовбур дерева, то не можемо знати напевно, впаде він на північ чи південь; але щойно, завмерши на хвилинку в рівновазі, він починає падати в тому чи іншому напрямку, повернути його назад уже ніщо не може.

Зашнуруймо наші альпіністські черевики ретельніше і приготуймося забити в скелю черговий гак. Згадайте, що відбір самицями тягне хвости самців в одному напрямку, тоді як «утилітарний» відбір тягне їх у протилежному («тягне», ясна річ, в еволюційному сенсі), і фактична середня довжина хвостів є компромісом між цими двома «тягловими» силами. Спробуймо тепер усвідомити величину під назвою «невідповідність вибору». Це розбіжність між фактичною середньою довжиною хвоста самців у популяції та «ідеальною» довжиною хвоста, якій середньостатистична самиця в популяції справді віддавала б перевагу. Одиниці, в яких вимі-

рюється невідповідність вибору, є довільними, так само, як довільними є температурні шкали Фаренгейта й Цельсія. Так само, як за шкалою Цельсія здається зручним прив'язати нульову відмітку до точки замерзання води, для нас зручно прив'язати нуль до точки, де «тяглова сила» статевого відбору чітко збалансовує протилежну «тяглову силу» утилітарного відбору. Іншими словами, нуль невідповідності вибору означає, що еволюційна зміна припиняється через два протилежні типи відбору, що врівноважують один одного.

Очевидно, що чим більша невідповідність вибору, тим сильніша еволюційна «тяглова сила» самиць на противагу «тягловій силі» утилітарного природного відбору, що їй протидіє. Нас цікавить якраз не абсолютне значення невідповідності вибору в будь-який конкретний час, а те, як ця невідповідність *змінюється* в послідовних поколіннях. Унаслідок цієї конкретної невідповідності вибору хвости стають довшими, і водночас (згадайте, що гени вибору довгих хвостів відбираються спільно з генами наявності довгих хвостів) ідеальні хвости, яким віддають перевагу самиці, теж стають довшими. Через покоління такого подвійного відбору більшою стає й середня довжина хвостів, і середня довжина хвостів, яким віддають перевагу самиці, але яка з них більша? Говорячи іншими словами, що відбувається з невідповідністю вибору?

Невідповідність вибору може залишитися тією ж самою (якщо середня довжина хвостів і середня довжина хвостів, яким віддають перевагу, зростають однаковою мірою). Вона може стати меншою (якщо середня довжина хвостів зростає швидше, ніж довжина хвостів, яким віддають перевагу). Або, нарешті, вона може стати більшою (якщо середня довжина хвостів зростає, але середня довжина хвостів, яким віддають перевагу, зростає ще швидше). Можливо, ви вже починаєте розуміти, що, коли невідповідність вибору зменшується зі збільшенням хвостів, їхній розмір еволюціонуватиме в напрямку стабільної рівноважної довжини. Але якщо невідповідність вибору *зростає* зі збільшенням хвостів,

майбутні покоління теоретично побачать, як хвости «вистрілюватимуть» з дедалі більшою швидкістю. Саме це, без жодних сумнівів, Фішер, мабуть, і розрахував ще до 1930 року, хоча в той час його короткі висловлювання в публікаціях мало хто до кінця розумів.

Спочатку розгляньмо випадок, де невідповідність вибору стає дедалі меншою з плином поколінь. Урешті-решт вона стане настільки малою, що тяглова сила преференцій самиць в одному напрямку чітко врівноважуватиметься тягловою силою утилітарного відбору в протилежному. Еволюційна зміна тоді зупиниться, і система вважатиметься такою, що перебуває в стані рівноваги. Щодо цього Ланде довів цікаву річ: принаймні за деяких умов існує не одна-єдина точка рівноваги, а багато (теоретично нескінченна кількість, організована на графіку в пряму лінію, але то вже зайва для вас математика!). Існує не одна точка рівноваги, а багато: для будь-якої сили утилітарного відбору, що тягне в одному напрямку, сила преференцій самиць еволюціонує таким чином, аби досягти точки, де вона чітко її врівноважить.

Отже, якщо умови є такими, що невідповідність вибору має тенденцію зменшуватися зі зміною поколінь, популяція прийде в стан спокою на «найближчій» точці рівноваги. Там утилітарному відбору, що тягне в одному напрямку, чітко протистоятиме відбір самиць, що тягне в протилежному, і хвости самців залишатимуться незмінними незалежно від того, наскільки вони довгі. Читач, можливо, усвідомлює, що ми маємо тут систему негативного зворотного зв'язку, хоча й доволі химерний її різновид. Упізнати систему негативного зворотного зв'язку завжди можна за тим, що відбувається, якщо «збурити» її, віддаливши від ідеалу, «усталеної точки». Наприклад, якщо взимку збурити кімнатну температуру, відчинивши вікно, термостат відреагує вмиканням обігрівача для компенсації.

Яким же чином можна збурити систему статевого відбору? Не забувайте, що ми говоримо тут про еволюційну часову шкалу, тож провести прості експерименти (на кшталт

відчинення вікна) та побачити результати ще за нашого життя було б доволі проблематично. Але в природі, поза всяким сумнівом, ця система збурюється часто, наприклад спонтанними, хаотичними коливаннями числа самців через випадкові (сприятливі чи несприятливі) події. Щоразу, як це відбувається, за умов, які ми вже розглядали, комбінація утилітарного і статевого відбору повертає популяцію до найближчої з набору точок рівноваги. Можливо, це *не* буде та ж сама точка рівноваги, що раніше, але вона буде розташована трохи вище або нижче на лінії точок рівноваги. Отже, з плином часу популяція може зміщуватися вгору і вниз по лінії точок рівноваги. Зміщення вгору по цій лінї означає, що хвости стають довшими — теоретично безмежно. Зміщення ж по лінії вниз означає, що хвости стають коротшими — теоретично аж до нульової довжини.

Аналогія з термостатом часто використовується для пояснення ідеї точки рівноваги. Цю аналогію можна розвинути і для пояснення складнішої ідеї *лінії* рівноваги. Припустімо, що якесь приміщення має одночасно пристрій для обігріву та пристрій охолодження, кожен зі своїм власним термостатом. Обидва термостати налаштовані підтримувати в приміщенні однакову фіксовану температуру на рівні 70 градусів за Фаренгейтом (21 градуса за Цельсієм). Якщо температура падає нижче 70 градусів, обігрівач умикається, а охолоджувач вимикається. Якщо ж температура підіймається вище 70 градусів, умикається охолоджувач, а обігрівач вимикається. Аналогом довжини хвостів оксамитового ткача тут є не температура (що залишається приблизно незмінною на рівні 70 градусів), а загальний рівень споживання електроенергії. Річ у тім, що існує багато різних способів, якими можна досягти бажаної температури. Її можна досягти шляхом дуже інтенсивної роботи обох пристроїв, де обігрівач жене гаряче повітря, а охолоджувач щосили намагається нейтралізувати цей жар. Або шляхом нагнітання обігрівачем трохи меншого жару та, відповідно, менш інтенсивної роботи охолоджувача для його нейтралізації. Її також

можна досягти шляхом ледь помітної роботи обох пристроїв. Очевидно, останнє рішення є найбажанішим з погляду рахунків за електроенергію, але коли йдеться про підтримання фіксованої температури об'єкта на рівні 70 градусів, то кожен із великого асортименту робочих режимів є однаково задовільним. Ми маємо *лінію* точок рівноваги, а не окрему точку. Залежно від деталей налаштування системи, від затримок у системі та інших подібних речей, що цікавлять інженерів, теоретично можливо, що рівень споживання електроенергії в приміщенні зміщуватиметься вгору і вниз по лінії точок рівноваги, тоді як температура залишатиметься незмінною. Якщо температура в приміщенні опуститься трохи нижче 70 градусів, вона повернеться до того самого рівня, але не обов'язково до тієї самої комбінації робочих режимів обігрівача й охолоджувача. Вона може повернутися до якоїсь іншої точки на лінії рівноваги.

З погляду практичної інженерії було б доволі складно налаштувати якесь приміщення так, аби існувала справжня лінія рівноваги. На практиці ця лінія ймовірно «згорнеться в одну точку». Аргумент Рассела Ланде про лінію рівноваги у статевому відборі теж базується на припущеннях, що в природі цілком можуть і не бути правдою. Наприклад, він припускає, що відбуватиметься стабільне постачання нових мутацій. Він також припускає, що акт вибору для самиці є абсолютно незатратним. Якщо ж це припущення порушується (а це цілком можливо), «лінія» рівноваги згортається в одну-єдину точку. Але в будь-якому разі досі ми розглядали лише випадок, де невідповідність вибору стає *меншою* зі зміною послідовних поколінь відбору. За інших умов невідповідність вибору може ставати більшою.

Ми розглядаємо це питання вже доволі довго, тож пригадаймо, в чому тут річ. Ми маємо популяцію, самці якої зазнають еволюції якоїсь характеристики (на кшталт довжини хвостів у оксамитового ткача) під впливом преференцій самиць, що виявляють тенденцію робити хвости довшими, та утилітарного відбору, що тяжіє до їх укоро-

чення. Причина будь-якого імпульсу в бік довших хвостів у процесі еволюції полягає в тому, що кожного разу, як якась самиця обирає самця того типу, що їй «подобається», вона через невипадкову асоціацію генів обирає копії тих самих генів, що змусили її зробити цей вибір. Отже, в наступному поколінні не лише самці зазвичай матимуть довші хвости, а й самиці здебільшого матимуть сильніші преференції щодо довгих хвостів. І який із цих двох процесів, що наростають, матиме найвищу швидкість покоління за поколінням, не очевидно. Ми вже розглядали випадок, де довжина хвостів зростає з кожним поколінням швидше за преференції. Тепер же розгляньмо інший можливий випадок, де преференції з кожним поколінням зростають із більшою швидкістю, ніж довжина хвостів. Іншими словами, зараз ми розглянемо випадок, де невідповідність вибору з плином поколінь стає більшою, а не меншою, як у попередніх абзацах.

Тут теоретичні наслідки є ще химернішими, ніж раніше. Замість негативного зворотного зв'язку ми маємо позитивний. З плином поколінь хвости самців стають довшими, але потяг самиць до довгих хвостів зростає з більшою швидкістю. Це означає, що теоретично з плином поколінь хвости постійно ставатимуть іще довшими, причому з дедалі більшою швидкістю. Теоретично хвости подовжуватимуться далі навіть після того, як стануть завдовжки 10 миль. Звісно, на практиці правила гри зміняться задовго до досягнення такої абсурдної довжини, так само, як наш паровий двигун із його скоригованим регулятором Ватта *насправді* не продовжуватиме прискорюватися до мільйона обертів за секунду. Але хоча треба реально дивитися на висновки з математичної моделі, коли ми беремо крайні випадки, висновки цієї моделі цілком можуть виявитися правдою в низці практично правдоподібних умов.

Сьогодні, через 50 років по тому, вже можна зрозуміти, що мав на увазі Фішер, коли відкрито стверджував: «...легко побачити, що швидкість розвитку буде пропорційною роз-

виткові вже досягнутому, який через це збільшуватиметься з часом по експоненті або в геометричній прогресії». Його обґрунтування було точно таким самим, як у Ланде, коли той говорив: «Дві характеристики, на які впливає такий процес, а саме розвиток плюмажу в самців та статеві преференції такого розвитку в самиць, таким чином, мають іти разом, а оскільки цей процес не контролюється жорстким контрвідбором, розвиватимуться з дедалі більшою швидкістю».

Той факт, що обидва, Фішер і Ланде, шляхом математичних міркувань дійшли одного й того ж самого цікавого висновку, ще не означає, що їхня теорія є правильним відображенням подій у природі. Як сказав генетик із Кембриджського університету Пітер О'Дональд, один із провідних фахівців з теорії статевого відбору, нестримна властивість моделі Ланде могла бути «вбудованою» в його початкові припущення так, що просто не могла не проявитися доволі нецікавим чином на протилежному кінці математичних міркувань. Деякі теоретики, включно з Аланом Ґрафеном та В. Д. Гамільтоном, віддають перевагу альтернативним різновидам теорії, в яких вибір самиці насправді має корисний вплив на її потомство, причому в утилітарному, євгенічному сенсі. Теорія, над якою вони разом працюють, полягає в тому, що самиці птахів виступають у ролі лікарів-діагностів, відбираючи тих самців, що найменш уразливі до паразитів. Яскравий плюмаж, згідно з цією характерно винахідливою теорією Гамільтона, є способом, яким самець наочно рекламує своє здоров'я.

Аби повністю пояснити теоретичну важливість паразитів, знадобилося б занадто багато часу. Якщо ж коротко, то проблема з усіма «євгенічними» теоріями вибору самиць завжди була ось у чому. Якби самиці справді могли успішно обирати самців із найкращими генами, сам їхній успіх зменшував би діапазон вибору, доступний у майбутньому: урешті-решт, якби навколо були лише добрі гени, то у виборі просто не було б сенсу. Паразити ж знімають цю теоретично можливу проблему. Причина в тому, що, за словами

Гамільтона, паразити й господарі ведуть один з одним нескінченну *циклічну* гонитву озброєнь. Це, у свою чергу, означає, що «найкращі» гени в будь-якому поколінні птахів є не одним і тим самим, що й найкращі гени в майбутніх поколіннях. Те, що необхідно для перемоги над нинішнім поколінням паразитів, непридатне в боротьбі проти наступного покоління паразитів, що еволюціонують. Таким чином, завжди будуть якісь самці, що виявлятимуться генетично краще за інших спорядженими для перемоги над сучасним їм поколінням паразитів. Відповідно, самиці завжди можуть бути корисними своєму потомству, обираючи найздоровіших із нинішнього покоління самців. Єдиними *загальними* критеріями, які можуть використовувати послідовні покоління самиць, є ознаки, які міг би використовувати й будь-який ветеринар, — яскраві очі, лискучий плюмаж і т. п. Лише по-справжньому здорові самці можуть демонструвати ці ознаки здоров'я, тому відбір сприяє тим самцям, що демонструють їх максимально й навіть дещо перебільшують за допомогою довгих хвостів і широких віял.

Однак теорія паразитів, хоча вона й цілком може виявитися правильною, вибивається з теми мого «вибухового» розділу. Повертаючись до нестримної теорії Фішера/Ланде, наразі потрібно навести докази зі світу реальних тварин. Як же нам відшукати такі докази? Які методи можна для цього використовувати? Багатообіцяльний підхід був запропонований зоологом Мальте Андерссоном із Ґетеборзького університету. Так сталося, що він працював із тим самим птахом, якого я використовую тут для розгляду теоретичних ідей, довгохвостим оксамитовим ткачем, причому вивчав його у природному середовищі існування в Кенії. Експерименти Андерссона стали можливими завдяки нещодавньому технологічному прориву, а саме появі суперклею. Він розмірковував таким чином. Якщо це правда, що фактична довжина хвостів самців є компромісом між утилітарним оптимумом, з одного боку, і тим, чого справді хочуть самиці, з другого, то самця можна зробити суперпривабливим,

надавши йому надзвичайно довгий хвіст. Отут і виходить на сцену суперклей. Я коротко опишу експеримент Андерссона, бо він є чудовим прикладом експериментального задуму.

Андерссон зловив 36 самців оксамитового ткача й розподілив їх на дев'ять груп по чотири особини. Поводження з кожною групою було приблизно однаковим, але пір'я хвоста одного представника кожної групи з чотирьох самців (відібраного абсолютно навмання з метою уникнути будь-якої несвідомої упередженості) підрізалося до довжини 14 сантиметрів (приблизно 5,5 дюйма). Відрізана частина приклеювалася суперклеєм, що швидко застигає, до кінчика хвоста другого представника групи. Таким чином, перший самець мав штучно вкорочений хвіст, а другий — штучно подовжений. Третій птах залишався з незміненим хвостом — для порівняння. Четвертий птах також залишався з хвостом тієї самої довжини, але не незмінним: кінчики пір'я його хвоста підрізалися, а потім приклеювалися назад знову. Це заняття може здатися безглуздим, але воно є добрим прикладом того, наскільки уважним слід бути, розробляючи експерименти. Адже цілком могло виявитися, що на привабливість птаха впливає не сама фактична зміна довжини хвоста, а факт маніпуляції з пір'ям його хвоста чи факт його ловлі та обробки людиною. Четвертий птах групи був «контролем» саме щодо таких впливів.

Ідея полягала в тому, щоб порівняти успіх спаровування кожного з чотирьох самців та його по-різному оброблених колег із групи. Після обробки одним із чотирьох способів кожному самцеві дозволялось повернутися до колишнього місця існування на його власній території. Там він продовжував займатися своїми звичайними справами, намагаючись привабити на свою територію самиць, спаруватися, побудувати гніздо та завести потомство. Питання було в тому, котрий із представників кожної групи з чотирьох самців матиме найбільший успіх у приваблені самиць. Андерссон вимірював це, не буквально спостерігаючи за самицями, а вичікуючи якийсь час і потім підраховуючи кількість

гнізд із яйцями на території кожного самця. Він виявив, що самці зі штучно подовженими хвостами приваблювали майже в чотири рази більше самиць, аніж самці зі штучно вкороченими. Самці ж із хвостами звичайної, природної довжини мали проміжний успіх.

Результати цього експерименту були статистично проаналізовані на предмет можливості виникнення чисто випадковим чином. У висновку йшлося, що якби приваблення самиць було єдиним критерієм, то самцям жилося б краще з довшими хвостами, ніж вони насправді мають. Іншими словами, статевий відбір постійно тягне хвости (в еволюційному сенсі) у напрямку подовження. Той факт, що реальні хвости є коротшими за ті, яким віддають перевагу самиці, наводить на думку, що має бути якийсь інший тиск відбору, що не дозволяє їм подовжуватися. Це «утилітарний» відбір. Можливо, що самці з особливо довгими хвостами помирають імовірніше, ніж самці з хвостами середньої довжини. На жаль, Андерссон не мав часу простежити подальші долі його підкоригованих самців. Якби ж мав, то, за прогнозами, самці з додатково приклеєним хвостовим пір'ям у середньому мали б помирати молодшими, ніж звичайні самці, мабуть, через більшу вразливість до хижаків. З іншого боку, можна було очікувати, що самці зі штучно вкороченими хвостами житимуть довше за звичайних. Це тому, що звичайна довжина вважається компромісом між оптимумом статевого відбору й утилітарним оптимумом. Можливо, птахи зі штучно вкороченими хвостами є ближчими до утилітарного оптимуму, а тому живуть довше. Проте різних припущень щодо цього існує чимало. Якщо основною утилітарною вадою довгого хвоста виявляться насамперед економічні витрати на його відрощування, а не більша небезпека померти після того, як він відросте, то не слід очікувати, що самці, які отримали супердовгий хвіст «на блюдечку» як безкоштовний подарунок від Андерссона, унаслідок цього помиратимуть особливо молодими.

Я вже писав, що преференції самиць зазвичай тягнутимуть хвости та інші окраси в напрямку збільшення. Теоретично,

як ми бачили вище, немає жодних причин, чому б їм не тягти в абсолютно протилежному напрямку, наприклад у напрямку дедалі більшого скорочення, а не подовження хвостів. Невеличкий птах волове очко має хвіст настільки короткий і схожий на обрубок, що виникає спокуса поцікавитись, чи не є він часом коротшим, аніж «має» бути для строго утилітарних цілей. Як можна здогадатися з непропорційної гучності співу самців волового очка, конкуренція між ними є доволі жорсткою. Такий спів просто не може не бути затратним, і відомо, що самець цього птаха може навіть «заспіватися» буквально до смерті. Як і оксамитові ткачі, успішні самці зазвичай мають на своїй території більше однієї самиці. За таких конкурентних умов можна було б очікувати розгортання позитивних зворотних зв'язків. Але чи може короткий хвіст волового очка являти собою кінцевий продукт нестримного процесу еволюційного скорочення?

Залишивши волове очко осторонь, віяла павичів, хвости оксамитового ткача та райського птаха в їхній кричущій екстравагантності дуже легко уявити кінцевими продуктами вибухової, спіралеподібної еволюції шляхом позитивного зворотного зв'язку. Фішер і його сучасні наступники показали нам, як вона могла б розвиватися. Чи прив'язана ця ідея, по суті, до статевого відбору, чи переконливі аналогії можна знайти також в інших різновидах еволюції? Це запитання варто поставити хоча б з огляду на аспекти нашої власної еволюції, де існує більше ніж припущення про їхню вибуховість, — зокрема, надзвичайно швидке «роздування» наших мізків упродовж останніх кількох мільйонів років. Існує думка, що це через статевий відбір як такий, бо мізкуватість є статево бажаною ознакою (принаймні якийсь її прояв на кшталт здатності запам'ятовувати па довгого й складного ритуального танцю). Але могло також бути, що розміри мозку демонструють вибухове збільшення під впливом іншого різновиду відбору, аналогічного, але не ідентичного статевому. На мою думку, тут корисно буде розрізняти два рівні можливої аналогії зі статевим відбором — слабку й сильну.

Слабка аналогія зводиться до того, що будь-який еволюційний процес, в якому кінцевий продукт одного етапу готує сцену для наступного, є потенційно прогресивним, іноді вибуховим чином. Ми вже зустрічалися з цією ідеєю в попередньому розділі, коли говорили про «гонитву озброєнь». Кожне еволюційне покращення спорядження хижака змінює тиск на здобич, тим самим змушуючи її ставати кращою в уникненні хижаків. Це, у свою чергу, здійснює тиск на хижаків, спонукаючи їх удосконалюватись, тож ми маємо тут висхідну спіраль. Як ми вже бачили, імовірно, що ані хижаки, ані здобич не обов'язково досягнуть унаслідок такої еволюції більшого успіху, бо їхні вороги покращуватимуться одночасно з ними. Але тим не менш і здобич, і хижаки стають прогресивно краще *спорядженими*. Отже, це — слабка аналогія зі статевим відбором. Сильна аналогія зі статевим відбором зазначає, що суттю теорії Фішера/Ланде є явище на кшталт «зеленої бороди», за допомогою якого гени вибору самиць зазвичай автоматично обирають копії *самих себе*, тобто відбувається процес з автоматичною тенденцією до вибуховості. Чи існують інші приклади такого роду явища, крім самого статевого відбору, наразі не з'ясовано.

Підозрюю, що аналогії з вибуховою еволюцією типу статевого відбору добре шукати в культурній еволюції людини. І знову-таки, тому, що вибір визначається примхою, а на такий вибір може впливати «мода» чи принцип «Завжди перемагає більшість». Знову ж таки, треба звернути увагу на попередження, з якого я почав цей розділ. Культурна «еволюція» насправді не є еволюцією взагалі, якщо бути прискіпливими й відповідальними щодо слів, які ми вживаємо, але між ними може бути достатньо спільного, щоб виправдати певне порівняння принципів. При цьому не слід легковажно ставитися до відмінностей. З'ясуймо це питання, перш ніж повертатися до теми вибухових спіралей.

Часто вказується на те (по суті, це може побачити будь-який дурень), що щось квазіеволюційне є у багатьох аспектах людської історії. Якщо перевіряти якийсь конкретний

аспект людського життя з регулярними інтервалами, скажімо моніторити стан наукових знань, стилі виконуваної музики, моду на одяг чи транспортні засоби з інтервалами в століття чи хоча б десятиліття, то можна виявити певні *тенденції*. Якщо ми маємо три вибірки в послідовні періоди часу *A*, *B* і *C*, то говорити про існування якоїсь тенденції означає говорити, що показники, отримані в період часу *B*, будуть проміжними між показниками, отриманими в періоди *A* і *C*. Хоча бувають і винятки, всі погодяться, що такі тенденції характеризують багато аспектів життя цивілізованої людини. Слід визнати, що напрямки тенденцій іноді розвертаються в інший бік (наприклад, довжина спідниць), але це справедливо також для генетичної еволюції.

Багато тенденцій, особливо у сфері корисних технологій, на відміну від легковажної моди, можна без зайвих суперечок щодо їхньої користі визначити як *покращення*. Наприклад, не може бути жодних сумнівів, що засоби пересування світом неухильно й безповоротно вдосконалювалися впродовж останніх 200 років, пройшовши шлях від кінних до парових і досягши сьогодні кульмінації в надзвукових реактивних літаках. Я використовую слово «покращення» в нейтральному розумінні. Я не маю на увазі, що всі погодилися б, що внаслідок цих змін покращилась якість життя, — особисто я часто в цьому сумніваюсь. Я також не збираюся заперечувати популярну думку, що в міру витіснення вправних ремісників масовим виробництвом стандарти професійної майстерності пішли *вниз*. Але якщо дивитися на засоби пересування суто з погляду *транспорту*, що означає переміщення з однієї частини світу до іншої, не може бути жодних сумнівів щодо історичної тенденції в бік певного покращення, навіть якщо це лише покращення швидкості. Так само — в перспективі десятиліть чи навіть років — спостерігається прогресивне покращення якості високоточного звукопідсилювального обладнання, яке неможливо заперечувати, навіть якщо ви іноді погоджуєтеся зі мною в тому, що світ був би приємнішим місцем, якби звукопідсилювач ніколи не ви-

найшли. І річ не в тому, що смаки змінилися, — те, що сьогодні точність відтворення звуку краща, ніж вона була 1950 року (а 1950-го вона була кращою, ніж 1920-го), є об'єктивним, вимірюваним фактом. Якість відтворення зображення в сучасних телевізорах є, безперечно, кращою, ніж у більш ранніх моделях, хоча, ясна річ, те саме може не бути справедливим для якості трансльованих ними розважальних передач. Якість машин для вбивства на війні демонструє дивовижну тенденцію до покращення: рік за роком вони стають здатними вбивати дедалі більше людей дедалі швидше. Сподіваюся, що сенс, в якому це не є покращенням, очевидний для всіх і не потребує обговорення.

Поза жодним сумнівом, у вузькому технічному сенсі з плином часу речі дійсно стають кращими. Але це явно справедливо лише для речей, корисних з технічного погляду, таких як літаки та комп'ютери. Існує також багато інших аспектів людського життя, що демонструють тенденції, які не можна назвати покращеннями в якомусь очевидному сенсі. Мови очевидно еволюціонують у тому плані, що демонструють різні тенденції, розходяться і з плином століть після їхнього розходження стають дедалі незрозумілішими одна для одної. Чудовим об'єктом для вивчення мовної еволюції є численні острови Тихого океану. Мови різних островів дуже нагадують одна одну, а їхні відмінності можна точно виміряти за кількістю слів, якими вони відрізняються, — показником, що є близько аналогічним до молекулярних таксономічних показників, які ми розглянемо в розділі 10. Відмінність між мовами, вимірювану кількістю відмінних слів, можна зобразити на графіку відносно відстані між островами, вимірюваної в милях. При цьому виявиться, що точки на цьому графіку складаються в криву, точна математична форма якої дещо говорить нам про швидкості взаємопроникнення мов від острова до острова. Слова, що подорожували за допомогою каное, перестрибували з острова на острів з інтервалами, пропорційними ступеню віддаленості островів, про які йдеться. У межах будь-якого острова слова змінюються

з постійною швидкістю у спосіб, дуже подібний до того, у який час від часу мутують гени. Будь-який острів, якщо він цілком ізольований, з плином часу продемонструє певну еволюційну зміну в своїй мові, а отже, певне розходження з мовами інших островів. Острови ж, що розташовані поблизу один одного, очевидно мають вищу інтенсивність обміну словами (за допомогою каное), ніж острови, що віддалені один від одного. Їхні мови також мають ближчого спільного предка, ніж мови островів, що розташовані далеко один від одного. Ці явища, що пояснюють помітну схему подібності між близькими й далекими островами, є близькими аналогами фактів про зябликів на різних островах Ґалапагоського архіпелагу, що колись надихнули Чарльза Дарвіна. Гени перестрибують з острова на острів у тілах птахів, так само, як слова подорожують у каное.

Отже, мови еволюціонують. Але хоча сучасна англійська й еволюціонувала з чосерівської, я не думаю, що багато людей готові стверджувати, що вона є покращенням останньої. Ідеї покращення чи якості зазвичай не спадають нам на думку, коли ми говоримо про мову. Насправді, коли вони таки навідуються до нас, ми часто бачимо зміну як погіршення, як дегенерацію. Ми схильні вважати більш ранні версії правильними, а недавні зміни — спотвореннями. Але ми все одно виявляємо подібні до еволюції тенденції, що є прогресивними в чисто абстрактному, безоцінному сенсі. І ми можемо навіть знайти докази позитивних зворотних зв'язків у формі розширення (чи, якщо подивитися на це з іншого боку, знецінення) значення. Візьмімо, наприклад, слово «зірка». Раніше воно використовувалося для позначення кіноактора доволі виняткового рівня знаменитості. Потім воно знецінилося до позначення будь-якого актора, що зіграв одну з головних ролей у фільмі. Тому з метою повернути колишнє позначення виняткової знаменитості цьому слову довелося пережити розширення до «суперзірки». Згодом студійна реклама почала використовувати слово «суперзірка» для позначення акторів, про яких багато людей взагалі

ніколи не чули, тож відбулося подальше його розширення, до «мегазірки». Сьогодні є вже кілька розрекламованих «мегазірок», про яких я ніколи раніше не чув, тож, можливо, на нас чекає ще одне розширення. Чи почуємо ми невдовзі слово «гіперзірка»? Аналогічний позитивний зворотний зв'язок знецінює значення слова «шеф-кухар». Воно походить, звичайно, від французького *chef de cuisine*, що означає завідувача чи керівника кухні. Таке значення дає «Оксфордський словник англійської мови». Отже, за визначенням, на кухні може бути лише один шеф-кухар. Але, можливо, щоб задовольнити своє марнославство, звичайні кухарі (чоловіки) й навіть молодші нарізальники з часом почали також називати себе «шефами». Унаслідок цього сьогодні часто можна почути тавтологічне словосполучення «головний шеф-кухар»!

Але якщо це й аналогія зі статевим відбором, то в найкращому разі лише в тому сенсі, який я називаю «слабким». Дозвольте мені тепер перестрибнути напряму до найближчого підходу, який я можу віднести до «сильної» аналогії — до світу популярної музики. Якщо послухати обговорення серед фанатів «попу» чи увімкнути специфічно діджейське розпатякування на радіо, можна відкрити для себе дуже цікаву штуку. Тоді як інші жанри мистецтвознавства надають якесь значення стилю чи майстерності виконання, настрою, емоційному впливу, якостям і властивостям художньої форми, субкультура поп-музики майже виключно переймається *самою лише популярністю*. Цілком зрозуміло, що для музичних композицій важливо не те, як вони звучать, а те, *скільки людей їх купують*. Уся ця субкультура одержима рейтингами, так званими «топ-20» чи «топ-40», що базуються лише на цифрах продажів. Для музичних композицій значення насправді має лише те, чи входять вони до «топ-20». Якщо замислитись, то це дуже незвичайний факт і дуже цікавий з погляду теорії нестримної еволюції Р. А. Фішера. Мабуть, так само важливо й те, що ді-джеї рідко згадують нинішню позицію конкретної композиції (чи альбому) в чартах, не розповідаючи нам одночасно про її позицію на минулому

тижні. Це дає слухачам можливість оцінити не лише нинішню популярність композиції, а й швидкість і напрямок *зміни* її популярності.

Схоже, є фактом, що багато людей купують той чи інший музичний запис, не маючи для цього кращої причини, ніж та, що його вже придбала (чи готова це зробити) велика кількість інших людей. Приголомшливий доказ цього — дані про те, що компанії звукозапису посилають своїх представників до ключових магазинів для закупівлі великих партій своїх власних записів із метою підштовхнути вгору цифри продажів у місцях, де вони можуть «злетіти». (Це не так складно зробити, як здається, бо місце в рейтингу «топ-20» базується на цифрах продажів, отриманих від невеличкої вибірки магазинів звукозапису. Якщо знати, що це за ключові магазини, не потрібно купувати в них дуже багато композицій, аби суттєво вплинути на цифри в країні загалом. Відомі також цілком достовірні історії про підкуп продавців цих ключових магазинів.)

Меншою мірою таке саме явище використання популярності заради популярності добре відоме у сферах книговидавництва, жіночої моди та й реклами загалом. Одним із найкращих засобів реклами того чи іншого товару є повідомлення, що це — хіт продажів у своїй категорії. Переліки книжок-бестселерів видаються щотижня, і можна не сумніватися, що, щойно книжка продасться в достатній кількості примірників, аби з'явитися в одному з цих переліків, її продажі зростуть іще більше завдяки цьому факту. Видавці говорять, що книжка «злетіла», а ті, що трохи знаються на науці, навіть згадують «критичну масу для злету». Тут використовується аналогія з атомною бомбою. Речовина уран-235 є стабільною, допоки її не збереться надто багато в одному місці. Існує певна критична маса, після перевищення якої починається розгортання ланцюгової реакції — нестримного процесу з руйнівними наслідками. Атомна бомба містить у собі дві частки урану-235, обидві менші за критичну масу. Коли бомба детонує, ці дві частки з'єднуються, критична

маса перевищується — і це стає кінцем середнього розміру міста. Коли продажі якоїсь книжки доходять до «критичної» позначки, отримані цифри сягають точки, де усні рекомендації здатні змусити продажі раптом нестримно злетіти. Рівні продажів зненацька різко зростають порівняно з тим, якими вони були до досягнення критичної маси, і з цього може початися період експонентного зростання перед неминучим вирівнюванням і подальшим спадом.

Явища, які за цим стоять, нескладно зрозуміти. Переважно ми маємо тут чергові приклади позитивного зворотного зв'язку. Справжні якості книжки чи навіть музичного запису мають певний сенс для визначення рівнів продажів, але тим не менше скрізь, де ховається позитивний зворотний зв'язок, існує прив'язка до потужного довільного елемента, що й визначає, яка книжка/який запис досягне успіху, а яка/який провалиться. Якщо критична маса й злет є важливими елементами будь-якої історії успіху, то існує прив'язка до великої частки удачі, а також широкий простір для маніпуляції й експлуатації людьми, що знаються на цій системі. Наприклад, має сенс викласти значну суму грошей для просування книжки/запису до точки, де вона/він просто сягне критичної позначки, бо після цього для її/його просування вже не потрібно буде витрачати стільки грошей: позитивні зворотні зв'язки візьмуть гору і зроблять рекламну роботу за вас.

Позитивні зворотні зв'язки тут мають дещо спільне зі статевим відбором за теорією Фішера/Ланде, але є також відмінності. Відбір сприяє павам, що віддають перевагу довгохвостим павичам, лише тому, що такі самі преференції мають *інші* самиці. Якості самця як такі є довільними й несуттєвими. Любитель музики, який хоче придбати конкретний запис лише тому, що той посідає якесь місце в «топ-20», поводиться точнісінько як пава. Але точні механізми, за допомогою яких позитивні зворотні зв'язки працюють у цих двох випадках, відрізняються. І це, на мою думку, повертає нас туди, звідки ми почали в цьому розділі, — до попередження, що аналогії слід застосовувати лише до певної межі, але не далі.

РОЗДІЛ 9

ПУНКТИРУВАННЯ ПУНКТУАЛІЗМУ

У біблійній книзі Вихід розповідається, що синам Ізраїлевим знадобилося цілих 40 років, аби перетнути Синайську пустелю й досягти Землі обітованої. Тобто аби подолати відстань в якихось 200 миль (320 км). Виходить, що їхня середня швидкість становила приблизно 24 ярди (22 м) на день, або 1 ярд на годину, хай навіть буде 3 ярди на годину, якщо брати до уваги зупинки на ніч. Хоч як тут рахуй, ми маємо справу з абсурдно низькою середньою швидкістю пересування, значно нижчою, ніж у всім відомого своєю повільністю равлика (за даними «Книги рекордів Ґіннеса», світовим рекордом швидкості для равлика є неймовірні 55 ярдів на годину). Але, звісно, ніхто насправді не думає, що така середня швидкість підтримувалася постійно й на одному рівні. Очевидно, що ізраїльтяни пересувалися ривками, можливо надовго стаючи табором у різних місцях, перш ніж рухатися далі. Мабуть, багато з них не дуже чітко уявляли собі, що вони *рухаються* в якомусь конкретному незмінному напрямку, а не просто блукають від оази до оази, як це зазвичай роблять кочові скотарі пустель. Ніхто, я повторюю, ніхто насправді не думає, що така середня швидкість підтримувалася постійно й на одному рівні.

А тепер припустімо, що на сцені раптом з'являються двоє красномовних молодих істориків. І вони кажуть нам, що

в біблійній історії упродовж довгого часу панувала «ґрадуалістська» школа думки. Ми чуємо, що історики-«ґрадуалісти» в буквальному сенсі вірять, що ізраїльтяни долали всього лише по 24 ярди на день — щоранку складали свої намети, проповзали ті нещасні 24 ярди у східному напрямку, а потім розбивали табір на ніч знову. Єдиною альтернативою «ґрадуалізму», кажуть нам, є динамічна нова «пунктуалістська» історична школа. За словами радикальних молодих пунктуалістів, ізраїльтяни проводили більшу частину свого часу в «стазисі», не рухаючись узагалі, а стоячи табором на одному місці, часто роками. Потім вони таки рухалися, і доволі швидко, до нового місця отаборення, де знову залишалися на кілька років. Їхнє просування до Землі обітованої замість поступового й безперервного було рвучким і судомним: довгі періоди стазису переривалися короткими періодами швидкого руху. Більше того, їхні спалахи руху були не завжди в напрямку Землі обітованої, а відбувались у майже випадкових напрямках. Лише якщо подивитись ретроспективно, у великому масштабі *макроміграційної схеми*, у їхніх пересуваннях таки можна розгледіти тенденцію в напрямку Землі обітованої.

Красномовство цих пунктуалістських біблійних істориків є таким, що вони стають медійною сенсацією. Їхні портрети не сходять з обкладинок популярних видань. Жодна телепередача з біблійної історії не обходиться без інтерв'ю хоча б з одним таким провідним пунктуалістом. Люди, які не знають з біблійної науки нічого більше, запам'ятовують лише один факт: що в темні часи, перш ніж на сцені раптом з'явилися пунктуалісти, всі інші помилялися. Зверніть увагу на те, що «розкрученість» пунктуалістів аж ніяк не пов'язана з підтвердженням їхньої правоти. Вона пов'язана лише з їхнім голослівним твердженням, що попередні авторитети були «ґрадуалісти», а отже, не праві. До пунктуалістів дослухаються не через їхню правоту, а через їхню самоподачу як революціонерів.

Насправді моя історія про пунктуалістських біблійних істориків є, звісно, вигаданою. Вона навіяна розповідями про

аналогічну суперечку, приписувану тим, хто вивчає біологічну еволюцію. У деяких аспектах це несправедлива метафора, але не зовсім: у ній достатньо істини, щоб виправдати згадку про неї на початку цього розділу. Серед еволюційних біологів існує широко розрекламована школа думки, послідовники якої називають себе пунктуалістами, і вони справді винайшли термін «ґрадуаліст» для своїх найвпливовіших попередників. Вони мають величезну популярність серед публіки, що майже нічого більше не знає про еволюцію, і здебільшого це відбувається тому, що їхню позицію подають (не так вони самі, як журналісти) як радикально відмінну від позиції попередніх еволюціоністів, особливо Чарльза Дарвіна. У цьому моя біблійна аналогія справедлива.

У чому ця аналогія несправедлива, то це в тому, що в розповіді про біблійних істориків «ґрадуалісти» *явно* були підставними фігурами, вигаданими пунктуалістами. У випадку ж еволюційних «ґрадуалістів» той факт, що вони є підставними фігурами, яких ніколи не існувало, не такий явний. Це потребує демонстрації. Слова Дарвіна та багатьох інших еволюціоністів можна інтерпретувати як ґрадуалістські за характером, але тоді важливо усвідомлювати, що слово «ґрадуаліст» можна інтерпретувати по-різному, для позначення різних речей. По суті, я представлю таку інтерпретацію слова «ґрадуаліст», згідно з якою ґрадуалістом може бути мало не кожен. У випадку з еволюцією, на відміну від притчі про ізраїльтян, ховається непідробна суперечність, але стосується вона дрібних деталей, що й близько не є достатньо вагомими, аби виправдати весь цей галас у ЗМІ.

Серед еволюціоністів перші «пунктуалісти» вийшли з лав палеонтологів. Палеонтологія — вчення про викопні рештки, або скам'янілості. Це дуже важлива галузь біології, бо всі наші еволюційні предки давно померли, а викопні рештки надають нам єдині прямі свідчення про тварин і рослини далекого минулого. Якщо ми хочемо знати, який вигляд мали еволюційні предки сучасних живих організмів, то скам'янілості — наша головна надія. Одразу після того, як

люди усвідомили, чим скам'янілості є насправді (попередні школи дотримувалися думки, що ті є творіннями диявола або кістками бідних грішників, що потонули під час Усесвітнього потопу), стало зрозуміло, що будь-яка теорія еволюції повинна мати певні очікування щодо отриманих від них даних. Але виникли деякі суперечки стосовно точного значення цих очікувань, і з цим почасти й пов'язаний аргумент пунктуалізму.

Нам узагалі-то дуже пощастило, що ми маємо скам'янілості. Є дивовижно сприятливим той факт із геології, що кістки, мушлі та інші тверді частини тварин, перш ніж розпастися, можуть час від часу залишати відбитки, які пізніше відіграють роль форми для породи, що твердне, проносячи пам'ять про тварину крізь віки. Ми не знаємо, який відсоток тварин кам'яніє після смерті (особисто я вважав би за честь скам'яніти), але насправді він, безумовно, дуже малий. Тим не менш, хоч яким би малим він був, у даних про скам'янілості є певні речі, на достовірність яких сподівається будь-який еволюціоніст. Наприклад, ми дуже здивувалися б, виявивши в цих даних згадку про існування скам'янілих людей ще до того, як, згідно з нашими уявленнями, з'явилися ссавці! Якби в товщі порід віком 500 мільйонів років знайшовся хоч один достовірно засвідчений череп ссавця, то вся наша сучасна теорія еволюції була б зруйнована. До речі, це є достатньою відповіддю на облудну заяву креаціоністів та їхніх послідовників серед журналістів, що вся теорія еволюції є «непідробною» тавтологією. За іронією долі, це також є причиною, з якої креаціоністи так захоплюються фальшивими відбитками людських ніг, вирізьбленими за часів Великої депресії для обдурення туристів у скельних породах Техасу, де було знайдено рештки динозаврів.

У будь-якому разі, якщо розкласти справжні скам'янілості в порядку від найстаріших до наймолодших, то, згідно з теорією еволюції, можна сподіватися побачити певну впорядковану послідовність, а не хаотичну мішанину. Якщо ж підійти ближче до теми цього розділу, то, згідно з різними

версіями теорії еволюції, наприклад «ґрадуалізмом» і «пунктуалізмом», можна очікувати побачити різні типи послідовності. Перевірити такі очікування можна, лише якщо мати якісь засоби *датування скам'янілостей* чи хоча б розпізнавання порядку, в якому вони відкладалися. Проблеми датування скам'янілостей і відповіді на ці питання вимагають короткого відступу, першого з кількох, до яких я прошу читачів поставитися поблажливо. Вони необхідні для розкриття основної теми цього розділу.

Люди вже давно навчились організовувати скам'янілості в порядку їх відкладення. Цей метод нерозривно пов'язаний із самим словом «відкладення». Більш пізні скам'янілості очевидно відкладалися поверх більш ранніх, а не під ними, а отже, у скельних породах вони розташовані вище. Подекуди вулканічні зміщення шарів можуть перевертати великі масиви скельних порід знизу вгору, і тоді, звісно, порядок, у якому скам'янілості знаходять під час розкопок, буде зворотним, але це трапляється досить рідко й зазвичай добре помітно. Навіть попри те, що розкопки в якомусь одному місці рідко дають повну історичну картину, непогані дані можна отримати з шарів, що залягають в інших місцях, але частково перекриваються з потрібним (насправді, хоча я використовую слово «розкопки», палеонтологи рідко в буквальному сенсі прокопуються крізь шари землі; вони імовірніше знаходять скам'янілості, відкриті ерозією на різних глибинах). Ще задовго до того, як вони навчилися датувати скам'янілості у фактичних мільйонах років, палеонтологи розробили варту довіри схему геологічних ер і дуже детально знали, яка ера перед якою була. Надійними показниками віку скельних порід є певні типи мушель, що дуже активно використовуються в польових умовах нафторозвідниками. Однак самі по собі вони можуть розповісти нам лише про відносний вік геологічних шарів, а не про абсолютний.

Пізніше успіхи в галузі фізики подарували нам методи встановлення абсолютних дат (у мільйонах років) скельних порід і скам'янілостей, які вони містять. В основі цих методів

лежить факт розпаду конкретних радіоактивних елементів із точно відомою швидкістю. Це схоже на те, ніби у скельні породи було зручним чином зарито високоточні мініатюрні таймери. Кожен такий «таймер» був запущений у момент відкладення породи. Палеонтологам залишається лише викопати його і зчитати час на циферблаті. Різні типи геологічних «таймерів», що ґрунтуються на розпаді радіоактивних елементів, працюють із різними швидкостями. «Таймер» радіоактивного вуглецю, наприклад, веде свій відлік часу з такою шаленою швидкістю, що вже після кількох тисяч років у нього майже закінчується «завод», і він перестає бути надійним показником. Такі «таймери» корисні для датування органічного матеріалу за археологічною/історичною часовою шкалою, де ми маємо справу з сотнями чи кількома тисячами років, але не придатні для еволюційної часової шкали, коли йдеться про мільйони років.

Для еволюційної часової шкали придадуться інші типи «годинників», наприклад калій-аргонові. Калій-аргоновий «годинник» настільки повільний, що не годиться для археологічної/історичної часової шкали. Це було б усе одно що намагатися використовувати годинникову стрілку звичайного годинника для фіксації часу спринтера на стометрівці. З іншого боку, для засікання часу мегамарафону, яким є еволюція, щось на кшталт калій-аргонового «годинника» — саме те, що треба. Іншими радіоактивними «таймерами», кожен зі своєю характерною швидкістю відліку, є рубідій-стронцієві та уран-торій-свинцеві «годинники». Отже, цей невеличкий відступ розповів нам, що, коли палеонтолог бачить перед собою якусь скам'янілість, він зазвичай може визначити, коли ця тварина жила, за абсолютною часовою шкалою в мільйони років. Як ви пам'ятаєте, насамперед ми заглибилися в цей розгляд визначення дати й часу, бо цікавились очікуваннями щодо даних про скам'янілості, які можуть мати представники різних напрямків еволюційної теорії — «пунктуалісти», «ґрадуалісти» тощо. А тепер настав час розглянути, що ж це за різні очікування.

По-перше, припустімо, що природа була надзвичайно доброю до палеонтологів (чи, може, недоброю, якщо зважити на задіяні додаткові зусилля) й надала їм скам'янілості всіх тварин, що колись жили на світі. Якби ми справді могли подивитися на такі повні дані про скам'янілості, ретельно організовані в хронологічному порядку, що ми як еволюціоністи сподівалися б побачити? Що ж, коли ми — «ґрадуалісти» на кшталт тих, що карикатурно зображуються на прикладі історії про синів Ізраїлевих, то могли б очікувати, скажімо, що хронологічні послідовності скам'янілостей завжди демонструватимуть плавну еволюційну тенденцію з фіксованою швидкістю змін. Іншими словами, якщо ми маємо три скам'янілості *A*, *B* і *C*, де *A* є предковою для *B*, яка є предковою для *C*, то слід очікувати, що *B* буде за своєю формою пропорційно проміжною між *A* і *C*. Наприклад, якби *A* мала довжину ніг 20 дюймів, а *C* — 40 дюймів, то ноги *B* були би проміжними, а їхня точна довжина — пропорційною часу, що минув між періодами існування *A* і *B*.

Якщо довести цю карикатуру на ґрадуалізм до логічного завершення, то так само, як ми розрахували середню швидкість пересування ізраїльтян у 24 ярди на день, можна розрахувати й середню швидкість видовження ніг еволюційної лінії нащадків від *A* до *C*. Якщо, скажімо, *A* жила на 20 мільйонів років раніше за *C* (аби наблизити цю абстракцію до реальності, зазначу, що перші відомі нам представники родини конячих *Hyracotherium* жили приблизно 50 мільйонів років тому й були розміром із тер'єра), ми маємо еволюційну швидкість зростання 20 дюймів за 20 мільйонів років, або одну мільйонну дюйма на рік. Виходить, що карикатурний ґрадуаліст начебто вірить, що ноги постійно росли впродовж поколінь із цією дуже низькою швидкістю, скажімо чотири мільйонних дюйма за покоління, якщо взяти час чергування поколінь як у коней — приблизно 4 роки. Ґрадуаліст начебто вірить, що крізь усі ці мільйони поколінь особини з ногами, на чотири мільйонних дюйма довшими за середні, мали перевагу над особинами з ногами середньої довжини. Ві-

рити в це — все одно що вірити, що ізраїльтяни щодня проходили пустелею лише 24 ярди.

Те саме справедливо навіть для однієї з найшвидших із відомих нам еволюційних змін — роздування людського черепа з часів існування якогось давнього предка на кшталт австралопітека з об'ємом мозку приблизно 500 см^3 до черепа сучасної людини розумної з середнім об'ємом мозку приблизно 1400 см^3. Це збільшення приблизно на 900 см^3 — майже потроєння об'єму мозку — відбулося впродовж якихось трьох мільйонів років. За еволюційними мірками це висока швидкість змін: мозок, схоже, роздувався неначе повітряна кулька. І справді, якщо подивитися під деякими кутами, череп сучасної людини таки нагадує опуклу сферичну кулю порівняно з більш пласким, зі скошеним лобом черепом австралопітека. Але якщо порахувати кількість поколінь у трьох мільйонах років (скажімо, приблизно чотири на століття), то середня швидкість еволюції є меншою, ніж одна сота кубічного сантиметра за покоління. Карикатурний ґрадуаліст начебто вірить, що там відбувалися повільні й невблаганні зміни, покоління за поколінням, так, що в усіх поколіннях сини були трохи мізкуватішими за своїх батьків (на 0,01 см^3). Можливо, припускається, що кожне наступне покоління приносило додаткову одну соту кубічного сантиметра з суттєвою перевагою для виживання порівняно з попереднім.

Але ж одна сота кубічного сантиметра є просто крихітною величиною порівняно з діапазоном розмірів мозку, які ми спостерігаємо у сучасних людей. Наприклад, часто згадується той факт, що розмір мозку письменника Анатоля Франса — не якогось там дурника, а лауреата Нобелівської премії — був менший за 1000 см^3, тоді як на протилежному краю діапазону трапляються й мізки з об'ємом 2000 см^3. Як приклад часто згадують Олівера Кромвеля, хоча я не знаю, наскільки цьому можна вірити. Виходить, що середнє збільшення на 0,01 см^3 за покоління, яке, на думку карикатурного ґрадуаліста, дає суттєву перевагу для виживання, є лише однією

стотисячною частиною *відмінності* між мізками Анатоля Франса й Олівера Кромвеля! На щастя, в реальності такого карикатурного ґрадуаліста не існує.

Гаразд, якщо ґрадуаліст такого типу є лише карикатурою — вітряком для списів пунктуалістів, — то, можливо, є якийсь інший тип ґрадуаліста, який реально існує й дотримується логічних переконань? Я покажу, що відповідь на це питання ствердна і що до лав ґрадуалістів у цьому другому сенсі входять усі розсудливі еволюціоністи, серед яких, якщо доскіпливо розібратися у їхніх переконаннях, є й ті, що називають себе пунктуалістами. Але ми маємо розуміти, чому пунктуалісти *вважають*, що їхні погляди були революційними та захопливими. Відправною точкою для розгляду цього питання є існування явних «пробілів» у даних про скам'янілості, і саме до цих пробілів ми зараз і перейдемо.

Починаючи з Дарвіна, еволюціоністи усвідомили, що, коли організувати всі доступні нам скам'янілості в хронологічному порядку, вони *не* утворять плавну послідовність ледь відчутних змін. Там, безумовно, можна буде розпізнати довгострокові тенденції: ноги стають прогресивно довшими, черепи — прогресивно більш опуклими тощо, — але ці тенденції, як показують дані про скам'янілості, є зазвичай рвучкими, а не плавними. Разом із більшістю своїх послідовників Дарвін припускав, що головною причиною цього є недосконалість даних про скам'янілості. На думку Дарвіна, повні дані про скам'янілості, якби тільки вони в нас були, показали *би* поступові, а не різкі зміни. Але оскільки скам'яніння — справа непевна, а пошук потрібних скам'янілостей навряд чи менш непевний, ми отримуємо щось на зразок кіноплівки, в якій бракує більшості кадрів. Ми можемо, безумовно, побачити якийсь рух, коли прокручуємо наш фільм про скам'янілості, але він є ще судомнішим, ніж у картинах Чарлі Чапліна, бо навіть найстаріша та найподряпаніша з його стрічок не втратила дев'яти десятих своїх кадрів.

Коли американські палеонтологи Найлз Елдредж і Стівен Джей Ґулд 1972 року вперше запропонували свою теорію

переривчастої рівноваги, то висловили припущення, яке з тих пір подається як щось зовсім інше. Вони припустили, що насправді дані про скам'янілості можуть не бути такими вже недосконалими, як нам здається. Можливо, що «пробіли», які ми спостерігаємо, є правдивим відображенням того, що насправді відбувалося, а не дражливими, але неминучими наслідками неідеальних даних про скам'янілості. Можливо, що еволюція дійсно в певному сенсі відбувається шляхом раптових спалахів, які переривають довгі періоди «стазису», впродовж яких у конкретній спадковій лінії не відбувається жодних еволюційних змін.

Перш ніж розглядати, які саме раптові спалахи мали на увазі автори теорії, зазначимо, що існують певні значення «раптових спалахів», яких вони, безперечно, на увазі не мали. Їх необхідно прибрати з дороги, бо вони дають привід для серйозних непорозумінь. Елдредж і Ґулд, безумовно, погодилися б, що через недосконалість даних про скам'янілості справді виникають деякі дуже важливі пробіли. Причому дуже великі пробіли. Наприклад, кембрійські шари скельних порід віком приблизно 600 мільйонів років є найстарішими, в яких ми знаходимо більшість основних груп безхребетних. І багатьох із них ми знаходимо вже в доволі розвиненій стадії еволюції, починаючи з перших виявлених зразків. Немов їх просто підсадили туди без будь-якої еволюційної історії. Зайве говорити, що таке враження раптової підсадки захопило уяву креаціоністів. Однак еволюціоністи всіх мастей вважають, що насправді цей факт відображає дуже великий пробіл у даних про скам'янілості, пробіл, що існує просто через те, що з якоїсь причини дуже небагато скам'янілостей збереглися з часів приблизно до 600 мільйонів років тому. Однією з вагомих причин цього може бути те, що багато з цих тварин мали у своїх тілах лише м'які частини — жодних тобі мушель чи кісток для скам'яніння. Якщо ви — креаціоніст, то можете подумати, що це просто така відмовка. Моя ж позиція тут полягає в тому, що, коли ми говоримо про пробіли такої величини, в інтерпретаціях

«пунктуалістів» і «ґрадуалістів» немає жодної розбіжності. Обидві школи однаково не поважають так званих наукових креаціоністів і погоджуються в тому, що *великі* пробіли є справжніми, що вони справді є відображенням недосконалості даних про скам'янілості. Обидві школи погоджуються, що єдиним альтернативним поясненням раптової появи стількох складних видів тварин у кембрійську еру є божественне створення, і обидві заперечують таку альтернативу.

Є іще один можливий сенс, у якому можна сказати, що еволюція відбувається раптовими ривками, який не збігається із запропонованим Елдреджем і Ґулдом, принаймні в більшості їхніх праць. Можливо, що деякі явні «пробіли» в даних про скам'янілості справді відображають раптову зміну за одне-єдине покоління. Можливо, там справді ніколи не було жодних проміжних етапів; можливо, великі еволюційні зміни відбулися впродовж одного покоління. Син міг би народитися настільки відмінним від свого батька, що, по суті, належав би до іншого виду. Він був би мутантною особиною, і мутація ця була б такою значною, що називалася б макромутацією. Теорії еволюції, що базуються на макромутації, називають теоріями «сальтації», від латинського *saltus* — «стрибок». Оскільки теорію переривчастої рівноваги часто плутають із сальтацією, тут важливо детально розглянути останню й показати, чому вона не може бути суттєвим чинником еволюції.

Макромутації — мутації з великим ефектом, — безперечно, відбуваються. Питання ж не в тому, чи вони відбуваються, а в тому, чи відіграють вони якусь роль в еволюції. Іншими словами, чи долучаються їхні результати до генофонду видів, чи натомість завжди ігноруються природним відбором. Відомим прикладом макромутації є так звана «антенапедія» у плодових мушок дрозофіл. У нормальної комахи антени мають дещо спільне з ніжками й розвиваються в ембріона аналогічним чином. Але й відмінності також вражають, адже ці два типи кінцівок використовуються для зовсім різних цілей: ніжки — для ходіння; антени — для від-

чуття дотику, запаху та інших речей. Мушки з антенапедією — дивацтво природи, у них антени розвиваються точнісінько так само, як ніжки. Або, інакше кажучи, це мушки, що мають не антени, а зайву пару ніжок, які виростають із сегментів, де повинні бути антени. Це справжня мутація в тому сенсі, що вона є результатом помилки під час копіювання ДНК. І вона передається у спадок, якщо мушки з антенапедією утримуються в лабораторії настільки добре, щоб прожити достатньо довго для благополучного розмноження. У дикій природі вони довго не прожили б через незграбні рухи та гіршу роботу життєво необхідних органів чуття.

Отже, макромутації таки відбуваються. Але чи відіграють вони якусь роль в еволюції? Люди, що називають себе сальтаціоністами, вважають макромутації засобами, якими в еволюції можуть відбуватися великі стрибки впродовж одного покоління. Справжнім сальтаціоністом був Річард Ґолдшмідт, з яким ми вже зустрічалися в розділі 4. Якби сальтаціоністи були праві, то видимі «пробіли» в даних про скам'янілості не обов'язково мали б бути пробілами як такими. Наприклад, сальтаціоніст може вважати, що перехід від скошеного лоба австралопітека до опуклого лоба людини розумної відбувся одним-єдиним макромутаційним кроком, впродовж одного-єдиного покоління. Відмінність у формі тіла між цими двома видами є, мабуть, меншою, ніж відмінність між звичайною плодовою мушкою й мушкою з антенапедією, і теоретично можливо, що перша людина розумна була генетично видозміненою (можливо, гнаною й переслідуваною) дитиною двох нормальних батьків-австралопітеків.

Є дуже вагомі причини для заперечення всіх таких сальтаціоністських теорій еволюції. Однією, доволі прозаїчною причиною є те, що якби якийсь новий вид справді виник за один-єдиний мутаційний крок, то представникам цього нового виду було б, мабуть, важко знайти собі партнерів. Але мені ця причина здається менш промовистою й цікавою, ніж дві інші, які я вже згадував, розмірковуючи про те, чому слід відкинути можливість великих стрибків Землею біоморфів.

Першу з цих ідей висловив видатний статистик і біолог Р. А. Фішер, з яким ми вже зустрічалися, розглядаючи інші питання в попередніх розділах. Фішер був непохитним опонентом усіх форм сальтаціонізму за часів, коли той був значно більш модним, ніж сьогодні, й використовував таку аналогію. Уявіть собі мікроскоп, що майже, але не зовсім ідеально сфокусований, а в усьому іншому добре налаштований для чіткого бачення. Які шанси на те, що, коли ми внесемо в налаштування мікроскопа якусь випадкову зміну (відповідну мутації), це покращить фокус і загальну якість зображення? Фішер говорив:

> *Доволі очевидно, що ймовірність покращення налаштування внаслідок будь-якої великої випадкової зміни буде дуже мала, тоді як у випадку змін, значно менших за найменшу, але здійснених виробником чи оператором, шанс на покращення майже напевне був би 50 : 50.*

Я вже зазначав, що речі, які Фішеру вдавалося «легко побачити», могли вимагати від звичайних учених великих розумових зусиль, і те ж саме стосується того, що він вважав «доволі очевидним». Тим не менш подальші роздуми майже завжди показують, що він був правий, і в нашому випадку це можна довести без зайвих труднощів, отримавши від того задоволення. Не забувайте, що ми уявляємо собі мікроскоп із майже правильним фокусом перед початком роботи. Припустімо, що лінза знаходиться трохи нижче, ніж вона мала б бути для ідеального фокуса, — скажімо, на одну десяту частку дюйма ближче до предметного скельця. Тоді, якщо зсунути її зовсім трохи, скажімо на одну соту частку дюйма, у випадковому напрямку, які будуть шанси на покращення фокуса? Якщо випадково зсунути її на одну соту частку дюйма *вниз*, фокус погіршиться. Якщо ж випадково зсунути її на одну соту частку дюйма *вгору*, фокус покращиться. Оскільки зсув відбувається у випадковому напрямку, ймовірність кожного з цих двох можливих варіантів дорів-

нює 50 : 50. І що менший буде рух налаштування відносно початкової помилки, то більше ймовірність покращення наближатиметься до 50 : 50. Це завершує обґрунтування другої частини твердження Фішера.

А тепер припустімо, що трубка мікроскопа зсувається на велику відстань — еквівалент макромутації — також у випадковому напрямку; припустімо, що вона зсувається на цілий дюйм. Тепер уже не має значення, в якому напрямку відбувається зсув, угору чи вниз, — фокус однак стане гіршим, аніж він був до того. Якщо випадково зсунути її вниз, вона опиниться в одній цілій і одній десятій дюйма від свого ідеального положення (і може навіть продавити предметне скельце). Якщо ж випадково зсунути її вгору, вона розташується в дев'яти десятих дюйма від ідеального положення. До пересування вона перебувала від нього лише в одній десятій дюйма, тож, як не крути, наш «макромутаційний» великий зсув був поганою ідеєю. Ми зробили розрахунки для дуже великої зміни («макромутації») та для дуже малої («мікромутації»). Очевидно, що можна зробити такі самі розрахунки для низки проміжних розмірів змін, але в цьому немає жодного сенсу. Гадаю, тепер уже справді доволі очевидно, що чим менший зсув ми здійснюємо, тим ближче підходимо до межі, де шанси на покращення дорівнюють 50 : 50; а що більший зсув, то ближче ми до межі, де ці шанси дорівнюють нулю.

Читач неодмінно помітить, що цей аргумент базується на первинному припущенні, що мікроскоп уже був доволі близьким до чіткого фокуса, перш ніж ми почали здійснювати випадкові коригування. Якщо ж мікроскоп із самого початку перебуває за 2 дюйми від фокуса, то випадкова зміна на 1 дюйм має 50 % шансів на те, щоб привести до покращення, так само, як і випадкова зміна на одну соту дюйма. У цьому випадку «макромутація», схоже, має перевагу, бо наближає мікроскоп до фокуса швидше. Аргумент Фішера, звісно, стосуватиметься тут «мегамутацій» — скажімо, зсуву у випадковому напрямку на 6 дюймів.

Чому ж тоді Фішерові дозволили зробити його первинне припущення, що мікроскоп із самого початку перебуває майже у фокусі? Це припущення випливає з ролі мікроскопа в аналогії. Після його випадкового налаштування мікроскоп виступає в ролі мутантної тварини. А до цього випадкового налаштування мікроскоп був аналогом звичайного, не мутантного предка мутантної тварини. Оскільки він є предком, то явно прожив достатньо довго для розмноження, а тому не може бути надто далеким від доброго налаштування. Водночас мікроскоп до випадкового зсуву не може бути надто далеким від фокуса, бо інакше тварина, роль якої він відіграє в аналогії, не змогла б вижити взагалі. Це лише аналогія, і немає жодного сенсу сперечатися, означає це «надто далеким» дюйм, одну десяту чи одну тисячну частку дюйма. Важливо те, що, коли розглядати мутації дедалі більшої величини, там обов'язково буде точка, у якій що більша мутація, то менш імовірна користь від неї; тоді як, коли розглядати мутації дедалі меншої величини, там обов'язково буде точка, у якій імовірність користі мутації дорівнюватиме 50 %.

Таким чином, суперечка про те, чи могли б макромутації на кшталт антенапедії взагалі бути корисними (чи хоча б не бути шкідливими), а отже, чи могли б вони породити еволюційну зміну, впирається в те, *наскільки* вони «макро». Що більше мутація «макро», то ймовірніше, що вона буде шкідливою, і менш імовірно, що вона стане частиною еволюції виду. Власне кажучи, практично всі мутації, які вивчаються в генетичних лабораторіях, — доволі таки «макро», бо інакше генетики б їх просто не помітили, — є шкідливими для тварин, у яких вони виникли. (За іронією долі, я зустрічав людей, переконаних, що це є аргументом *проти* дарвінізму!) Тоді аргумент із мікроскопом Фішера дає одну причину для скептицизму щодо «сальтаційних» теорій еволюції, принаймні в їхній крайній формі.

Інша загальна причина для невіри в справжню сальтацію також є статистичною, і її сила також кількісно залежить від

того, *наскільки «макро»* є макромутація, яку ми приймаємо без доказів. У нашому випадку це пов'язано зі складністю еволюційних змін. Багато еволюційних змін, які нас цікавлять (хоча й не всі), є проривами з погляду складності задуму. Цю думку прояснює яскравий приклад ока, який ми розглядали в попередніх розділах. Тварини з очима як у нас еволюціонували від предків, що взагалі не мали очей. Запеклий сальтаціоніст міг би теоретично припустити, що ця еволюція відбулася за один-єдиний мутаційний крок. Предок не мав очей узагалі, лише голу шкіру там, де вони могли б бути. І от він породив химерне потомство з повністю розвиненими очима, оснащеними кришталиком змінного фокуса, ірисовою діафрагмою для затінення кришталика, сітківкою з мільйонами триколірних фотоклітин, — і все це з нервами, правильно під'єднаними до мозку для забезпечення його точним бінокулярним стереоскопічним кольоровим зором.

У моделі з біоморфами ми припускали, що такого типу багатовимірне покращення відбутися не могло. Згадаймо, що прийнятним це припущення було тому, що для створення ока з нічого потрібне не просто якесь одне покращення, а велика кількість покращень. Будь-яке з цих покращень є доволі неймовірним саме по собі, але не таким уже неймовірним, аби бути неможливим. Та що більша кількість одночасних покращень розглядається, то неймовірнішим є їх одночасне виникнення. Збіг їх одночасного виникнення є еквівалентом того, щоб зробити у Землі біоморфів дуже великий стрибок і випадково приземлитися в одному конкретному наперед визначеному місці. Якщо взяти до розгляду достатньо велику кількість покращень, то їх спільне виникнення стає настільки неймовірним, щоб бути неможливим з усіх поглядів. Цей аргумент наводився вже неодноразово, але, можливо, буде корисно наголосити на відмінності між двома типами гіпотетичної макромутації, обидва з яких, *схоже*, заперечуються аргументом про складність, але, по суті, він заперечує лише один із них. З причин, що стануть зрозумілими нижче, я називаю їх макромутаціями

типу *«Boeing 747»* та макромутаціями типу витягнутого *«DC8»*.

Макромутації типу *«Boeing 747»* справді заперечуються щойно наведеним аргументом від складності. Вони отримали свою назву від пам'ятного помилкового розуміння теорії природного відбору астрономом сером Фредом Гойлом. Він порівнював природний відбір у його позірній неймовірності з ураганом, що проноситься сміттєзвалищем і випадково збирає *«Boeing 747»*. Як ми вже бачили в розділі 1, це є абсолютно хибною аналогією для застосування до природного відбору, але це дуже добра аналогія для ідеї певних типів макромутації, що породжують еволюційні зміни. Насправді фундаментальною помилкою Гойла було те, що він фактично вважав (сам того не усвідомлюючи), що теорія природного відбору *справді* базується на макромутації. Ідея можливості однієї-єдиної макромутації, що породжує повністю функціональне око з переліченими вище властивостями там, де раніше була лише гола шкіра, по суті, є приблизно такою само неймовірною, як ураган, що збирає *«Boeing 747»*. Саме тому я й назвав цей різновид гіпотетичної макромутації макромутацією типу *«Boeing 747»*.

Макромутації ж типу витягнутого *«DC8»* — це мутації, що, попри можливу значну величину їхніх впливів, виявляються незначними з погляду їхньої складності. Витягнутий *«DC8»* — це авіалайнер, що був створений шляхом модифікації більш ранньої версії авіалайнера *«DC8»*. Він схожий на оригінальний *«DC8»*, але має видовжений фюзеляж. Він став покращенням як мінімум з одного погляду — в тому сенсі, що може перевозити більше пасажирів, аніж оригінальний *«DC8»*. Витягування є значним збільшенням довжини, і в цьому сенсі воно є аналогом макромутації. Ще цікавіше, що таке збільшення довжини на перший погляд видається складним. Для видовження фюзеляжу авіалайнера недостатньо просто вставити додаткову секцію салону. Потрібно також видовжити величезну кількість різних трубок, кабелів, повітропроводів та електричних з'єднань. По-

трібно вставити багато додаткових крісел, попільничок, лампочок для читання, 12-канальних музичних селекторів та форсунок подачі свіжого повітря. На перший погляд здається, що витягнутому *«DC8»* буде притаманна значно більша складність, аніж звичайному *«DC8»*, але чи справді це так? Відповідь заперечна, принаймні в тому плані, що «нові» об'єкти у витягнутому літаку є лише «збільшенням кількості старих». Макромутації типу витягнутого *«DC8»* нерідко можна побачити на прикладі біоморфів із розділу 3.

Як це пов'язано з мутаціями в реальних тварин? Відповідь полягає в тому, що деякі реальні мутації спричиняють великі зміни, дуже подібні до зміни *«DC8»* на витягнутий *«DC8»*, і деякі з них, хоча й у сенсі *макро*мутацій, стали частиною процесу еволюції. Усі змії, наприклад, мають значно більше хребців, аніж їхні предки. У цьому можна було би переконатися навіть без жодних скам'янілостей, бо змії мають значно більше хребців, аніж їхні нині живі родичі. Більше того, різні види змій мають різну кількість хребців, а це означає, що ця кількість, мабуть, змінювалася в процесі еволюції з часів їхнього спільного предка, причому доволі часто.

Наголосимо, що для зміни кількості хребців у тварини треба зробити більше, ніж просто запхати всередину додаткову кістку. Кожен хребець має тісно пов'язаний із ним набір нервів, кровоносних судин, м'язів тощо, так само, як кожен ряд крісел в авіалайнері має набір подушок, підголівників, роз'ємів для навушників, лампочок для читання з відповідними кабелями живлення й т. п. Середня частина тіла змії, як і середня частина корпусу авіалайнера, складається з низки *сегментів*, багато з яких є абсолютно однаковими, хоч якими б складними вони були кожен окремо. Тому для додавання нових сегментів треба лише виконати простий процес дуплікації. Оскільки вже існує генетична техніка для створення одного сегмента змії — генетична техніка великої складності, для побудови якої знадобилося багато поколінь покрокової, поступової еволюції, — нові ідентичні сегменти можна легко додати за один-єдиний мутаційний крок. Якщо

уявити гени «інструкціями для ембріона, що розвивається», то ген вставляння додаткових сегментів може читатися просто як «зробити тут іще раз те саме». Думаю, що інструкції зі створення першого витягнутого *«DC8»* були дещо подібними.

У цьому можна бути впевненими, адже у процесі еволюції змій кількість їхніх хребців змінювалася на цілі числа, а не на дробові. Неможливо уявити собі змію, що має 26,3 хребця. Вона має їх або 26, або 27, і очевидно, що траплялися випадки, коли потомство змії мало хоча б на один цілий хребець більше, ніж його батьки. Це означає, що воно мало весь додатковий набір нервів, кровоносних судин, м'язових блоків тощо. Тоді ця змія певною мірою була *макро*мутантом, але лише в слабкому сенсі витягнутого *«DC8»*. Легко повірити, що окремі змії, що мали аж на півдюжину більше хребців, ніж їхні батьки, могли виникнути за один-єдиний мутаційний крок. «Аргумент від складності» проти стрибкоподібної еволюції для макромутацій типу витягнутого *«DC8»* не придатний, бо, якщо уважно подивитися на природу задіяних змін, вони у прямому сенсі взагалі не є справжніми макромутаціями. Вони є макромутаціями, лише якщо наївно дивитися на кінцевий продукт — дорослу тварину. Якщо ж дивитися на *процеси* ембріонального розвитку, то вони виявляються мікромутаціями, в тому сенсі, що невеличка зміна ембріональних *інструкцій* привела до великого очевидного ефекту в дорослому організмі. Те саме справедливо для антенапедії у плодових мушок та багатьох інших так званих «гомеозисних мутацій».

На цьому завершу свій відступ щодо макромутацій і стрибкоподібної еволюції. Він був необхідним, бо теорію переривчастої рівноваги часто плутають зі стрибкоподібною сальтаційною еволюцією. Але це таки був *відступ*, бо основною темою цього розділу є теорія переривчастої рівноваги, і ця теорія насправді жодним чином не пов'язана з макромутаціями та справжньою сальтацією.

Виходить, що «пробіли», про які говорять Елдредж із Ґулдом та інші «пунктуалісти», не мають нічого спільного зі

справжньою сальтацією і є значно меншими пробілами, ніж ті, що викликають жвавий інтерес у креаціоністів. Більше того, Елдредж і Ґулд спочатку представили свою теорію *не* як таку, що радикально та революційно суперечить звичайному, «традиційному» дарвінізму (як це пізніше подавалося), а як щось, що *випливає* з давно прийнятого традиційного дарвінізму, трактованого належним чином. Для отримання такого належного розуміння, боюся, нам знадобиться ще один відступ, цього разу щодо питання походження нових видів — процесу, відомого як «видоутворення».

Відповідь Дарвіна на питання походження видів загалом полягала в тому, що одні види походять від інших. Більше того, генеалогічне дерево життя є розгалуженим, а це означає, що до одного предкового виду можна простежити більше одного сучасного. Наприклад, леви й тигри сьогодні є представниками різних видів, однак і ті, й інші вийшли з одного предкового виду, причому, мабуть, не дуже й давно. Можливо, цей предковий вид не відрізнявся від одного з двох сучасних різновидів. Це міг бути якийсь третій різновид або й узагалі нині вимерлий. Так само людей і шимпанзе як види сьогодні чітко розрізняють, але їхні предки кілька мільйонів років тому належали до одного виду. Видоутворення є процесом, в ході якого з одного виду постає два, один з яких може не відрізнятися від первинного.

Причина, з якої видоутворення вважається складною проблемою, полягає ось у чому. Усі представники окремо взятого потенційно предкового виду здатні схрещуватися між собою (по суті, багато людей саме це й *розуміють* під словосполученням «окремий вид»). Тому щоразу, як починає «відбруньковуватись» якийсь новий дочірній вид, цьому відбруньковуванню загрожує небезпека бути придушеним вільним схрещуванням. Можна уявити, як потенційним предкам левів і потенційним предкам тигрів ніяк не вдається розділитися, бо вони продовжують схрещуватися між собою, а отже, й далі залишаються схожими один на одного. До речі, не перебільшуйте значення вжитих мною слів на

кшталт «бути придушеним», немов предкові леви й тигри в певному сенсі «прагнули» відокремитись один від одного. Я просто хочу сказати, що зрештою види *таки розійшлися* в процесі еволюції і на перший погляд факт вільного схрещування заважає нам побачити, як ця дивергенція відбувалася.

Принципово правильна відповідь на це питання майже напевно здається очевидною. Жодної проблеми вільного схрещування не існуватиме, якщо предкові леви і предкові тигри опиняться в різних частинах світу, де вони не зможуть схрещуватися між собою. Звісно, вони не розходилися по різних континентах із метою реалізувати дивергенцію: вони не уявляли себе предковими левами чи предковими тиграми! Але, враховуючи, що окремий предковий вид так чи інакше поширився на різних континентах, скажімо в Африці та Азії, ті тварини, що опинилися в Африці, більше не могли схрещуватися з тими, яких занесло в Азію, бо вони ніколи з ними не зустрічалися. Якщо для тварин на цих двох континентах існувала якась тенденція еволюціонувати в різних напрямках (під впливом чи то природного відбору, чи то випадку), вільне схрещування більше не було перепоною для їхньої дивергенції і, зрештою, появи двох окремих видів.

Я говорю про різні континенти, щоб зробити приклад більш наочним, але принцип географічного відокремлення як перепони для вільного схрещування можна застосувати й до тварин по різні боки пустелі, гірського масиву, річки чи навіть швидкісної автомагістралі. Його можна також застосувати до тварин, єдиною перепоною для схрещування яких є велика відстань. Землерийки Іспанії не мають можливості схрещуватися з землерийками Монголії, а тому вони можуть розходитися з еволюційного погляду навіть за наявності безперервного ланцюжка вільного схрещування землерийок, що з'єднує Іспанію з Монголією. Тим не менше ідея географічного відокремлення як ключа до видоутворення стає зрозумілішою, якщо дивитися на неї з погляду справжньої фізичної перепони, такої як море чи гірський масив.

Ланцюжки островів є, мабуть, багатими розплідниками нових видів.

Отже, ось наша загальноприйнята неодарвіністська схема того, як типовий вид «народжується» шляхом дивергенції від предкового. Спочатку ми маємо предковий вид — велику популяцію доволі однорідних схрещуваних між собою тварин, поширених на великій території. Це можуть бути тварини будь-якої форми й типу, але ми й далі уявлятимемо собі землерийок. Їхню територію перерізає на дві частини якийсь гірський масив. Клімат на цій гористій території непридатний для життя, і землерийкам важко її перетнути, але не зовсім неможливо, а тому, хоч і зрідка, одна чи дві все ж досягають низовини по той бік гір. Там вони можуть чудово почуватися, а тому породжують окрему популяцію виду, ефективно відрізану від основної популяції. Після цього дві популяції продовжують схрещуватись окремо, змішуючи свої гени по різні боки гірського масиву, але не через нього. З плином часу будь-які зміни генетичного складу однієї популяції шляхом розмноження поширюються по всій цій популяції, але *не* переходять до іншої. Деякі з цих змін будуть спричинені природним відбором, який може відрізнятися з обох боків гірського масиву: навряд чи варто очікувати, що погодні умови, хижаки та паразити будуть однаковими в обох місцинах. Деякі з цих змін можуть виникнути внаслідок випадку. Хоч якими б були причини цих генетичних змін, схрещування має тенденцію поширювати їх *усередині* кожної з двох популяцій, але не *між* ними. Тому ці дві популяції генетично розходяться: вони стають дедалі більш несхожими одна на одну.

Вони стають настільки несхожими, що вже доволі скоро натуралісти починають розглядати їх як такі, що належать до різних «родин». Ще через деякий час вони розійдуться так далеко, що їх доведеться класифікувати як різні види. Тепер уявіть, що клімат у горах потеплішав настільки, що перехід через них став легшим і деякі з представників нового виду починають повертатися назад, на землі своїх предків.

Коли ж вони зустрічаються з нащадками своїх давно забутих родичів, виявляється, що вони розійшлися в своєму генетичному складі настільки далеко, що більше не можуть успішно схрещуватися з ними. Якщо ж гібридизація таки відбувається, отримане в результаті потомство виходить дуже хворобливим або й стерильним, неначе мули. Так природний відбір карає будь-яку схильність особин з обох боків до гібридизації з іншим видом чи навіть родиною. Тим самим він завершує процес «репродуктивної ізоляції», що почався з випадкового підкорення гірського масиву. «Видоутворення» можна вважати завершеним. Ми тепер маємо два види там, де раніше був один, і ці два види можуть співіснувати на одній території без проблеми вільного схрещування один з одним.

Насправді, скоріш за все, ці два види не співіснували б надто довго. І не через міжвидове схрещування, а через конкуренцію. Те, що два види з однаковим способом життя не співіснуватимуть довго в одному місці, бо конкуруватимуть, унаслідок чого один із них буде доведений до вимирання, є загальновизнаним принципом екології. Звісно, наші дві популяції землерийок могли б на момент зустрічі вже не мати однакового способу життя; наприклад, новий вид в процесі своєї еволюції по той бік гірського масиву міг би почати спеціалізуватися на харчуванні іншим різновидом комах. Але якщо між двома видами існує суттєва конкуренція, то більшість екологів очікуватиме, що на спільній території один з них вимре. Якщо станеться так, що вимре первинний, предковий вид, то можна буде говорити, що він був витіснений новим, іммігрантним видом.

Теорія видоутворення внаслідок первинного географічного відокремлення здавна була наріжним каменем головного напрямку, ортодоксального неодарвінізму, і все ще визнається з усіх сторін як основний процес, в якому виникають нові види (деякі люди вважають, що існують також інші). Своїм входженням до сучасного дарвінізму вона переважно завдячує впливові видатного зоолога Ернста Майра. Коли «пунктуалісти» запропонували свою теорію, то насамперед

запитали себе: «Враховуючи, що, подібно до більшості неодарвіністів, ми приймаємо ортодоксальну теорію, що видоутворення починається з географічної ізоляції, чого нам слід сподіватися від даних про скам'янілості?»

Згадайте гіпотетичну популяцію землерийок із дивергенцією нового виду на тому боці гірського масиву, що згодом повернувся на землі предків і, цілком можливо, довів до вимирання предковий вид. Припустімо, що ці землерийки залишили по собі скам'янілості. Припустімо навіть, що дані про ці скам'янілості були *досконалими*, без жодних пробілів унаслідок прикрих пропусків ключових стадій. Що нам слід очікувати побачити в даних про ці скам'янілості? Плавний перехід від предкового до дочірнього виду? Звісно ні, принаймні якщо копати на основній території, на якій мешкали первинні предкові землерийки й до якої повернувся новий вид. Подумайте про те, що насправді відбувалося на цій основній території. Там були предкові землерийки, що спокійно собі жили й розмножувалися без жодної конкретної причини змінюватися. Можливо, що їхні родичі по той бік гірського масиву були зайняті еволюцією, але їхні скам'янілості всі по той бік гір, тож ми не знаходимо їх на основній території, де копаємо. А потім зненацька (тобто зненацька за геологічними мірками) новий вид повертається, конкурує з основним видом і, можливо, витісняє його. Скам'янілості, які ми знаходимо, просуваючись крізь шари основної території, раптом змінюються. Раніше всі вони належали представникам предкового виду. Тепер же, різко й без видимих переходів, там з'являються скам'янілості нового виду, а скам'янілості старого зникають.

Виходить, що, коли ми серйозно сприймаємо нашу ортодоксальну неодарвіністську теорію видоутворення, нам, безумовно, слід очікувати «пробілів», далеких від прикрих недосконалостей чи незручних труднощів. Причина, з якої «перехід» від предкового до дочірнього виду здається різким і рвучким, полягає в тому, що коли ми дивимося на низку скам'янілостей з будь-якого місця, то, мабуть, просто взагалі

не бачимо *еволюційної* події — ми бачимо *міграційну* подію, прибуття нового виду з іншої географічної території. Безумовно, еволюційні події там відбувались і один вид справді еволюціонував, мабуть поступово, з іншого. Але щоб побачити еволюційний перехід, задокументований у скам'янілостях, слід копати десь в іншому місці — у цьому випадку по той бік гірського масиву.

Тоді ідею, яку відстоювали Елдредж і Ґулд, можна було скромно представити як порятунок Дарвіна та його наступників від того, що здавалося їм незручною складністю. По суті, саме так, принаймні частково, вона й *була* представлена — спочатку. Дарвіністи завжди переймались очевидною уривчастістю даних про скам'янілості й здавалися вимушеними звертатися до спеціального захисту від закидів щодо неідеальних доказів. Сам Дарвін писав:

> *Геологічні записи є надзвичайно недосконалими, і цей факт значною мірою пояснює, чому ми не знаходимо нескінченних різновидів, що з'єднують разом усі вимерлі та нині живі форми життя найдрібнішими поступовими кроками. Той, хто відкидає такі погляди на природу геологічних записів, справедливо відкине і всю мою теорію.*

Елдредж і Ґулд могли б зробити це своїм головним посланням: «Не хвилюйтеся, пане Дарвіне, навіть якби дані про скам'янілості *були* досконалими, ви не могли б сподіватися побачити поступову прогресію, якби копали лише в одному місці, з тієї простої причини, що більшість еволюційних змін відбувалася десь в інших місцях!» Можна було б узагалі піти далі й сказати:

> *Пане Дарвіне, говорячи, що дані про скам'янілості недосконалі, ви їх недооцінювали. Вони не просто недосконалі — існують вагомі причини очікувати, що вони будуть особливо недосконалими в найцікавіших місцях, а саме в тих, де відбувались еволюційні зміни. Причина*

цього почасти полягає в тому, що еволюція зазвичай відбувається не там, де ми знаходимо більшість скам'янілостей, а почасти в тому, що навіть якби нам пощастило копати в одному з тих невеличких віддалених місць, де відбувалися основні еволюційні зміни, ці еволюційні зміни (попри всю свою поступовість) займають такий короткий час, що нам знадобилися б надзвичайно багаті дані про скам'янілості, аби їх відстежити!

Але ж ні, замість цього вони вирішили (особливо в більш пізніх своїх статтях, за якими пильно стежили журналісти) подати свої ідеї як радикально *протилежні* дарвінівським і неодарвіністському синтезу. Вони зробили це, підкреслюючи «ґрадуалізм» дарвінівського бачення еволюції на противагу раптовому, рвучкому, спорадичному «пунктуалізму» їхнього власного. Вони, особливо Ґулд, навіть убачали аналогії між своїми поглядами і старими школами «катастрофізму» та «сальтаціонізму». Сальтаціонізм ми вже розглядали. Катастрофізм же являв собою спробу примирити у XVIII та XIX століттях певну форму креаціонізму з незручними фактами даних про скам'янілості. Катастрофісти вірили, що очевидна послідовність, яка простежується в даних про скам'янілості, насправді відображає низку окремих творінь, існування кожного з яких закінчилося катастрофічним масовим вимиранням. Останньою з таких катастроф був Усесвітній потоп.

Порівняння сучасного пунктуалізму, з одного боку, і катастрофізму чи сальтаціонізму, з іншого, мають виключно поетичну цінність. Вони, якщо мені дозволять вдатися до парадоксу, є глибоко поверховими. Вони здаються приголомшливими в художньому, літературному сенсі, але геть не допомагають серйозному розумінню, а можуть лише збити з пантелику й посприяти сучасним креаціоністам у їхній тривожно успішній боротьбі, спрямованій на підрив основ американської освіти та видання підручників. Річ у тім, що в найповнішому й найсерйознішому сенсі Елдредж і Ґулд є насправді такими самими ґрадуалістами, як Дарвін чи будь-хто

з його послідовників. Вони лише воліли б стиснути всі поступові зміни в короткі спалахи, а не дозволити їм розтягнутися в часі. Крім того, вони наголошують на тому, що більшість поступових змін відбуваються в географічних районах, що лежать далеко від місць, де з землі видобувають найбільше скам'янілостей.

Отже, пунктуалісти заперечують насправді не *ґрадуалізм* Дарвіна: ґрадуалізм означає, що кожне нове покоління є лише трохи відмінним від попереднього. Щоб заперечувати це, треба бути сальтаціоністом, а Елдредж і Ґулд сальтаціоністами не є. Радше вони та інші пунктуалісти виступають проти примарної віри Дарвіна в незмінність темпів еволюції. Вони виступають проти неї, бо вважають, що еволюція (усе ще безперечно ґрадуалістська еволюція) відбувається швидко під час відносно коротких спалахів активності (явищ видоутворення, що створюють своєрідну атмосферу кризи, в якій порушується нібито нормальний спротив еволюційним змінам) і дуже повільно (або й узагалі не відбувається) під час довгих проміжних періодів стазису. Коли ми говоримо «відносно коротких», то маємо на увазі, звісно, коротких відносно геологічної часової шкали загалом. Навіть тривалість еволюційних ривків пунктуалістів, хоча вони й можуть бути моментальними за геологічними мірками, обчислюється в десятках чи навіть сотнях тисяч років.

Світло на цю ідею проливає думка відомого американського еволюціоніста Джорджа Ледьярда Стеббінса. Він не надто переймається рвучкою еволюцією, а всіляко намагається підкреслити швидкість, з якою можуть відбуватись еволюційні зміни, якщо дивитися на них крізь призму часової шкали відомого нам геологічного часу. Він уявляє якийсь вид тварин розміром приблизно з мишу. Далі припускає, що природний відбір починає сприяти збільшенню розмірів тіла цієї тварини, але зовсім трохи. Можливо, більші самці отримують невеличку перевагу в конкуренції за самиць. У будь-який момент часу самці середнього розміру є дещо менш успішними, ніж ті, що хоч трішки більші за середньостатистичних. Стеббінс позначає математичну перевагу, яку мають більші осо-

бини в його гіпотетичному прикладі, точною цифрою. Він задає їй настільки крихітне значення, що її просто неможливо виміряти людям-спостерігачам. А швидкість еволюційної зміни, яку вона несе, є, відповідно, настільки низькою, що її ніяк не помітити впродовж людського життя. Учений, який вивчає еволюцію на основі таких даних, сказав би, що ці тварини взагалі не еволюціонують. Тим не менш вони еволюціонують, дуже повільно, зі швидкістю, заданою математичним припущенням Стеббінса, і навіть із цією низькою швидкістю вони здатні врешті-решт досягти розміру слона. Скільки б це зайняло часу? Очевидно, багато за людськими мірками, але людські мірки тут недоречні. Ми говоримо про геологічний час. Стеббінс розраховує, що з дуже низькою швидкістю еволюції, яку він припускає, тваринам знадобилося б приблизно 12 тисяч поколінь, аби еволюціонувати від середньої ваги 40 грамів (розміру миші) до середньої ваги понад 6 мільйонів грамів (розміру слона). Якщо припустити час зміни поколінь на рівні 5 років (що більше, ніж у миші, але менше, ніж у слона), зміна 12 тисяч поколінь зайняла б приблизно 60 тисяч років. Цього *замало* для вимірювання звичайними геологічними методами датування даних про скам'янілості. Як говорить Стеббінс, «походження нового типу тварин за 100 тисяч років і менше розцінюється палеонтологами як "раптове" чи "миттєве"».

Пунктуалісти не говорять про стрибки еволюції; вони говорять про епізоди відносно швидкої еволюції. Але навіть цим епізодам не треба бути швидкими за людськими мірками, щоб видаватися миттєвими за мірками геологічними. Хоч що б ми думали про теорію переривчастої рівноваги як таку, ґрадуалізм (переконання сучасних пунктуалістів, а також Дарвіна, що між поколіннями не існує раптових стрибків) надто легко сплутати з «постійним еволюційним спідизмом» (заперечуваним пунктуалістами й нібито, однак не насправді, підтримуваним Дарвіном). Це геть не одне й те саме. Переконання пунктуалістів правильно буде характеризувати так: «ґрадуалістські, але з довгими періодами "стазису"

(еволюційного застою), що перериваються короткими епізодами швидких поступових змін». Тобто наголос тут робиться на довгих періодах *стазису* як раніше недооцінюваному явищі, що насправді потребує пояснення. Справжнім внеском пунктуалістів в еволюційну теорію є саме наголос на стазисі, а не заявлене ними заперечення ґрадуалізму, бо насправді вони є такими самими ґрадуалістами, як і всі інші.

Наголос на стазисі, але не в такій перебільшеній формі, можна знайти навіть у теорії видоутворення Майра. Він вважав, що з двох географічно відокремлених родин первинна велика предкова популяція змінюється менш імовірно, ніж нова, дочірня (у випадку нашого прикладу з землерийками та, що мешкає по той бік гірського масиву). І річ не лише в тім, що саме дочірня популяція перемістилася на нові землі, де умови життя, як і тиск природного відбору, можуть бути іншими. Річ також у тому, що існують якісь теоретичні причини (на яких наголошує Майр, але про важливість яких можна посперечатися) вважати, що великим популяціям із вільним схрещуваннням властиво *опиратись* еволюційним змінам. Тут буде доречною аналогія з інертністю великого важкого предмета, який непросто зсунути з місця. Дрібним же, віддаленим популяціям, згідно з цією теорією, через їхні невеликі розміри від природи більш властиво змінюватися, еволюціонувати. Тому там, де я говорив про дві популяції, чи родини, землерийок як такі, що розходяться, Майр радше побачив би первинну, предкову популяцію як порівняно статичну, а нову — як таку, що від неї відходить. Тут не гілка еволюційного дерева розгалужується на дві однакові гілочки — радше ми бачимо основний стовбур із бічним пагоном, що від нього відростає.

Прихильники теорії переривчастої рівноваги взяли це припущення Майра й роздули його до твердого переконання, що «стазис», або відсутність еволюційних змін, є нормою для виду. Вони переконані, що у великій популяції існують якісь генетичні сили, що активно *опираються* еволюційним змінам. Еволюційні зміни для них є рідкісними подіями, що

збігаються з видоутворенням. На їхню думку, з видоутворенням зміни збігаються у тому сенсі, що умови формування нового виду — географічне відокремлення дрібних, ізольованих субпопуляцій — є тими самими, за яких сили, що в нормі опираються еволюційним змінам, послаблюються чи пригнічуються. Видоутворення є часом перевороту, революції. І саме в часи таких переворотів і відбуваються еволюційні зміни. А впродовж більшої частини своєї історії спадкова лінія перебуває в застої.

Неправда, що Дарвін вірив, нібито еволюційний процес відбувається з постійною швидкістю. Він точно не вірив у це в сміховинно утрируваному сенсі, який карикатурно зображується на прикладі історії про синів Ізраїлевих, і я не думаю, що він узагалі в це серйозно вірив. Наведена нижче цитата добре відомого уривка з четвертого (і більш пізніх) видання «Походження видів» дратує Ґулда, бо він вважає, що вона не відображає загальну думку Дарвіна:

> *Після свого виникнення багато видів уже не зазнають жодних подальших змін... а періоди, впродовж яких види зазнали модифікації, хоча й вимірюються довгими роками, мабуть, були короткими порівняно з періодами, протягом яких вони зберігають незмінну форму.*

Ґулд прагне відмахнутися від цього та інших схожих висловлювань, говорячи:

> *Не можна творити історію за допомогою вибіркових цитат і пошуку уточнювальних приміток. Належними критеріями є загальне спрямування та історичний вплив. Чи сприймали колись сучасники та послідовники Дарвіна його як сальтаціоніста?*

Ґулд, звісно ж, правий щодо загального спрямування та історичного впливу, але останнє речення цієї його цитати є вельми показовою нетактовністю. *Безумовно*, ніхто й ніколи

не сприймав Дарвіна як сальтаціоніста, і, безумовно, Дарвін ставився до сальтаціонізму послідовно негативно, але річ у тім, що, коли ми розглядаємо теорію переривчастої рівноваги, сальтаціонізм тут узагалі ні до чого. Як я вже наголошував, теорія переривчастої рівноваги, на думку Елдреджа та Ґулда, не є сальтаціоністською. Стрибки, які вона теоретично допускає, не є справжніми стрибками впродовж одного покоління. Вони розтягуються на велику кількість поколінь, що, за оцінкою Ґулда, займають, можливо, десятки тисяч років. Теорія переривчастої рівноваги є ґрадуалістською, хоча й наголошує на довгих періодах стазису, що перериваються *порівняно* короткими спалахами поступової еволюції. Своїм власним риторичним наголошенням на суто поетичній чи літературній подібності між пунктуалізмом, з одного боку, і справжнім сальтаціонізмом, з другого, Ґулд збив з пантелику самого себе.

Думаю, ситуацію вдасться прояснити, якщо резюмувати на цьому етапі весь діапазон можливих поглядів щодо швидкості перебігу еволюції. На одному його краю ми маємо справжній сальтаціонізм, який я вже достатньо розглядав. Серед сучасних біологів справжніх сальтаціоністів не існує. А кожен, хто не є сальтаціоністом, є ґрадуалістом, включно з Елдреджем і Ґулдом, подобається їм це чи ні. У межах ґрадуалізму виокремлюються різні переконання щодо швидкості (поступової) еволюції. Деякі з цих переконань, як ми вже бачили, мають чисто поверхову («літературну», або «поетичну») схожість зі справжнім, антиґрадуалістським сальтаціонізмом, через що їх іноді з ним плутають.

На іншому краї діапазону маємо той різновид «постійного спідизму», який карикатурно зображується на прикладі історії про синів Ізраїлевих на початку цього розділу. Запеклий послідовний спідист переконаний, що еволюція поступово й невблаганно просувається вперед увесь час незалежно від того, відбувається там якесь відгалуження (видоутворення) чи ні. Він переконаний, що величина еволюційних змін строго пропорційна плину часу. За іронією

долі, певна форма постійного спідизму нещодавно стала дуже популярною серед сучасних молекулярних генетиків. Можна обґрунтовано стверджувати, що еволюційні зміни на рівні білкових молекул справді відбуваються з постійною швидкістю, так само, як просувалися пустелею гіпотетичні сини Ізраїлеві; і то *навіть у тому випадку*, коли видимі ззовні характеристики на кшталт рук і ніг еволюціонують дуже переривчастим чином. Ми вже торкалися цієї теми в розділі 5, і я знову звернуся до неї в наступному. Але коли йдеться про адаптивну еволюцію великомасштабних конструкцій і поведінкових схем, майже всі еволюціоністи відкидають постійний спідизм, як безумовно відкидав би його і Дарвін. А кожен, хто не є постійним спідистом, є спідистом змінним.

У межах змінного спідизму можна виділити два типи переконань, позначені як «дискретний змінний спідизм» і «безперервно-змінний спідизм». Запеклий «дискретист» не лише переконаний, що еволюція варіює за своєю швидкістю. Він вважає, що швидкість різко перемикається з одного дискретного рівня на інший, ніби в автомобільній коробці передач. Наприклад, він може вірити, що еволюція має лише дві швидкості: «дуже швидко» і «стоп». (Тут я не можу втриматись, аби не згадати відчуття приниження від запису вихователька в першому звіті про мою, семирічного, успішність у складанні одягу, прийнятті холодних ванн та інших повсякденних заняттях із життя закритої школи: «Докінз має лише три швидкості: "повільно", "дуже повільно" і "стоп"».) Еволюція на швидкості «стоп» і є тим «стазисом», який, на думку пунктуалістів, характеризує великі популяції. Еволюція ж на вищій швидкості відбувається, на їхню думку, під час видоутворення в дрібних ізольованих популяціях за межами великих, еволюційно статичних. Згідно з такою думкою, еволюція завжди перебуває в тому чи іншому з двох швидкісних станів і ніколи між ними. Елдредж і Ґулд тяжіють до дискретизму, і в цьому сенсі вони щиро радикальні. Їх можна назвати «дискретними змінними спідистами». До речі, немає жодних *конкретних* причин, чому дискретний змінний спідист

має обов'язково робити акцент на видоутворенні як періоді, коли відбувається швидкісна еволюція. На практиці ж, однак, більшість із них саме це й роблять.

З іншого боку, «безперервно-змінні спідисти» переконані, що швидкість еволюції безперервно коливається від «дуже швидко» до «дуже повільно» й «стоп» з усіма можливими проміжними положеннями. Вони не бачать жодних конкретних причин віддавати перевагу якимось певним швидкостям перед іншими. Зокрема, стазис для них є лише крайнім випадком надповільної еволюції. Для пунктуаліста ж у стазисі є щось дуже особливе. Стазис для нього — не просто еволюція, настільки повільна, що має нульову швидкість, і не просто відсутність еволюції, зумовлена відсутністю рушійної сили для змін. Радше стазис відображає позитивний *спротив* еволюційним змінам. Це має майже такий вигляд, неначе вид робить активні кроки, аби *не* еволюціонувати, *всупереч* наявності рушійних сил для еволюції.

У тому, що стазис є реальним явищем, погоджується більше біологів, ніж у визначенні його причин. Візьмемо як крайній приклад целаканта латимерію. Целаканти — це така велика група «риб» (насправді, хоча їх і називають рибами, вони є ближчими родичами для нас із вами, ніж для форелі та оселедців), що процвітала понад 250 мільйонів років тому й буцімто вимерла приблизно одночасно з динозаврами. Я кажу «буцімто», бо 1938 року, на превеликий подив зоологічного світу, в улові одного глибоководного рибальського судна поблизу узбережжя Південної Африки опинилася химерна риба півтора ярди завдовжки і з незвичайними плавцями, схожими на ноги. Хоча ця риба й устигла майже зіпсуватися, перш ніж люди усвідомили її безцінне значення, її напіврозкладені рештки, на щастя, саме вчасно привернули увагу кваліфікованого південноафриканського зоолога. Насилу вірячи своїм очам, він ідентифікував її як сучасного целаканта й назвав латимерією. Відтоді в тій самій місцевості було виловлено ще кілька зразків такої риби, і на сьогодні цей вид уже належним чином вивчено та описано. Він є «живим ви-

копним» у тому сенсі, що майже зовсім не змінився з часів своїх викопних предків, що жили сотні мільйонів років тому.

Отже, ми маємо стазис. Що ж нам із ним робити? Як його пояснити? Деякі біологи сказали би, що спадкова лінія, яка веде до латимерії, залишилася без змін, бо її не підштовхував природний відбір. У певному сенсі їй не було «потреби» еволюціонувати, бо ці тварини успішно пристосувалися до життя глибоко в морі, де умови зовнішнього середовища не надто змінювалися. Можливо, вони ніколи не брали участі в жодних «гонитвах озброєнь». Їхні родичі, що вийшли на сушу, еволюціонували через природний відбір, який змушував їх до того різноманітними несприятливими умовами включно з «гонитвою озброєнь». Інші біологи, серед них і ті, що називають себе пунктуалістами, могли б сказати, що спадкова лінія, яка веде до сучасної латимерії, активно опиралася змінам *усупереч* будь-якому тиску природного відбору. Хто ж із них правий? У конкретному випадку латимерії важко сказати, але є один спосіб, яким, у принципі, ми могли би з'ясувати це хоча б приблизно.

Перестаньмо заради об'єктивності міркувати, орієнтуючись виключно на латимерію. Це, звісно, дивовижний приклад, але дуже вже крайній, і не той, на який пунктуалісти особливо прагнуть покладатися. На їхнє переконання, менш крайні й короткострокові приклади стазису є звичайною річчю — по суті, нормою, бо вид має генетичні механізми, що активно опираються змінам, навіть якщо до цих змін підштовхують сили природного відбору. А тепер розглянемо дуже простий експеримент, який (принаймні в принципі) може допомогти перевірити цю гіпотезу. Можна взяти дикі популяції й застосувати до них наші власні сили відбору. Згідно з гіпотезою, що вид активно опирається змінам, маємо виявити, що, коли ми спробуємо розводити тварин із тією чи іншою якістю, вид, так би мовити, «впреться рогом» і відмовиться змінюватися, хоча б упродовж певного часу. Якщо ми візьмемо, наприклад, корів і спробуємо вибірково розводити їх за принципом високої молочної продуктивності, то маємо зазнати невдачі. Генетичні механізми виду мають мобілізувати

свої антиеволюційні сили й перебороти тиск до змін. Якщо ми спробуємо змусити курей виробити вищу частоту відкладання яєць, то маємо зазнати невдачі. Якщо тореадори на догоду своєму мерзенному «спорту» спробують підвищити хоробрість биків шляхом вибіркового розведення, то мають зазнати невдачі. Звісно ж, ці невдачі мають бути тимчасовими. Урешті-решт, подібно до того, як греблю рве тиском води, нібито антиеволюційні сили будуть подолані, і тоді спадкова лінія може почати швидко рухатись до нової рівноваги. Але на початку запуску нової програми вибіркового розведення мав би відчуватися хоча б якийсь спротив.

На практиці ж ми не зазнаємо невдач, коли намагаємось сформувати еволюцію, вибірково розводячи тварин і рослини у неволі, як не переживаємо й періоду початкових труднощів. Види тварин і рослин зазвичай одразу ж піддаються вибірковому розведенню, і селекціонери не виявляють жодних ознак якихось внутрішніх антиеволюційних сил. Якщо на те пішло, селекціонери відчувають труднощі вже *після* низки поколінь успішного вибіркового розведення. Це відбувається тому, що після кількох поколінь вибіркового розведення доступна генетична мінливість вичерпується і доводиться чекати нових мутацій. Можливо, целаканти перестали еволюціонувати тому, що перестали мутувати (можливо, через те, що були захищені від космічних променів на дні моря!), але ніхто, наскільки мені відомо, всерйоз цього не припускав, і в будь-якому разі пунктуалісти мають на увазі не це, коли говорять, що види мають вбудований спротив еволюційним змінам.

Вони мають на увазі щось більш схоже на думку, яку я висловив у розділі 7, щодо генів, які «співпрацюють», — ідею про те, що групи генів настільки добре адаптовані одна до одної, що опираються вторгненню нових мутантних генів, які не є «членами клубу». Це доволі цікава ідея, і її можна зробити схожою на правду. По суті, це було одним із теоретичних обґрунтувань уже згадуваної ідеї інертності Майра. Тим не менш той факт, що, вдаючись до вибіркового розведення, ми ніколи не стикаємося з жодним початковим спротивом

цьому, наводить на думку, що коли спадкові лінії упродовж багатьох поколінь у дикій природі не зазнають змін, то це відбувається не тому, що вони опираються змінам, а тому, що на користь змін не існує жодного тиску природного відбору. Вони не змінюються, бо особини, які залишаються незміненими, виживають краще за тих, що зазнають якихось змін.

Тоді виходить, що пунктуалісти насправді є такими самими ґрадуалістами, як Дарвін або будь-який інший дарвініст; вони просто вставляють між ривками поступової еволюції довгі періоди стазису. Як я вже говорив, єдине, чим пунктуалісти насправді відрізняються від інших шкіл дарвінізму, — це їхній потужний наголос на стазисі як чомусь позитивному, як активному спротиві еволюційним змінам, а не просто відсутності цих змін. І це єдине, в чому вони цілком імовірно помиляються. Мені залишається тільки прояснити, чому вони *вважали* себе такими далекими від Дарвіна та неодарвінізму.

Причина полягає у змішуванні двох значень слова «поступова» в поєднанні з плутаниною між пунктуалізмом і сальтаціонізмом, яку я всіляко намагався тут розплутати, але яка міцно засіла у свідомості багатьох людей. Дарвін був пристрасним антисальтаціоністом, і це знову й знову підштовхувало його наголошувати на надзвичайній поступовості еволюційних змін. Сальтація для нього означала те, що я назвав макромутацією типу *«Boeing 747»*. Вона означала раптову появу, на кшталт Афіни Паллади з голови Зевса, абсолютно нових складних органів за одним помахом генетичної чарівної палички. Вона означала виникнення повністю сформованих складних робочих очей на місці голої шкіри впродовж одного-єдиного покоління. Причина того, що Дарвін розумів сальтацію саме так, полягає в тому, що саме так її трактували деякі найвпливовіші його опоненти, і вони справді вірили в неї як основний чинник еволюції.

Герцог Арґайл, наприклад, приймав свідчення на користь еволюції, але прагнув таємно просунути крізь задні двері й божественне творення. І в цьому прагненні він був не самотній. Багато мислителів вікторіанської епохи вважали, що

замість одного-єдиного, раз і назавжди, створення в Едемському саду божество неодноразово втручалося в процес еволюції на надзвичайно важливих її етапах. Вважалося, що складні органи на кшталт очей замість того, щоб еволюціонувати з простіших дуже поступово, як стверджував Дарвін, виникли в одну мить. Ці люди обґрунтовано вважали, що така миттєва еволюція, якщо вона відбувалася, мала б означати надприродне втручання. Ось у що вони вірили. Причини цього є статистичними, і я вже розглядав їх у зв'язку з ураганами та *«Boeing 747»*. Сальтаціонізм типу *«Boeing 747»* насправді є лише згладженою формою креаціонізму. Говорячи іншими словами, все у сальтації зводиться до божественного творення. Саме ним пояснюється стрибок від неживої глини до повністю сформованої людини. Дарвін також це відчував. У листі до сера Чарльза Лаєля, видатного геолога тих часів, він писав:

> *Якщо мене переконають, що теорія природного відбору потребує таких доповнень, я відкину її як мотлох... Якщо теорія природного відбору потребує чудесних доповнень на будь-якому низхідному етапі, я не дам за неї ламаного шеляга.*

І це не дрібниці. На думку Дарвіна, вся *суть* теорії еволюції шляхом природного відбору полягала в тому, що вона дає *не* чудесне пояснення існування складних адаптацій. До речі, в цьому полягає і вся суть цієї книжки. Для Дарвіна будь-яка еволюція, що потребує для стрибків допомоги Бога, не є еволюцією взагалі. Це перетворило б на маячню центральну ідею еволюції. З огляду на це легко зрозуміти, чому Дарвін постійно торочив про *поступовість* еволюції. Легко зрозуміти, чому він написав ті слова, які я цитував у розділі 4:

> *Якби можна було продемонструвати, що існує будь-який складний орган, який неможливо сформувати шляхом численних послідовних невеличких модифікацій, моя теорія геть розвалилася б.*

Можливим є також інший погляд на фундаментальну важливість поступовості для Дарвіна. Як і багато людей понині, його сучасники не надто вірили, що людське тіло та інші подібні складні сутності могли збагненним чином виникнути за допомогою еволюційних засобів. Якщо уявити одноклітинну амебу нашим далеким пращуром — як це було модно робити ще донедавна, — багатьом людям подумки важко подолати прірву між амебою й людиною. Вони вважають неможливим, що з настільки простого начала могло виникнути щось настільки складне. Дарвін звертався до ідеї низки дрібних поступових кроків як засобів подолання такої невіри. Згідно з його аргументами, вам може здаватися важко уявити перетворення амеби на людину, але вам не так уже й важко уявити перетворення амеби на дещо інакшу амебу. Звідси вже неважко уявити її перетворення на дещо інакшу з дещо інакшої... і т. д. Як ми вже бачили в розділі 3, цей аргумент долає нашу невіру, лише якщо наголосити, що на цьому шляху було зроблено надзвичайно велику кількість кроків і кожен крок був крихітним. Дарвін постійно боровся проти цього джерела невіри й постійно використовував ту саму зброю: наголошення на поступових, майже невідчутних змінах, що ширяться впродовж незліченних поколінь.

До речі, варто процитувати висловлювання Дж. Б. С. Голдейна — характерний зразок нестандартного мислення в боротьбі з тим самим джерелом невіри. Він зазначив, що щось на кшталт переходу від амеби до людини відбувається в утробі кожної матері всього за якихось дев'ять місяців. Слід визнати, що процес розвитку дитини дуже відрізняється від процесу еволюції, але тим не менш скептично налаштованим щодо самої *можливості* переходу від однієї-єдиної клітини до людини достатньо лише замислитись над тим, як розвивалися вони самі, щоб заспокоїти свої сумніви. Сподіваюся, мене не вважатимуть педантом, якщо я наголошу, між іншим, що вибір амеби на роль почесного пращура є виключно даниною дещо дивній традиції. Бактерія була б кращим вибором, але навіть бактерії як ми їх знаємо є сучасними організмами.

Підбиваючи підсумок цієї суперечки, можна сказати, що Дарвін усіляко наголошував на поступовості еволюції через те, *проти* чого він виступав, — через хибні уявлення про еволюцію, що панували в XIX столітті. У контексті тих часів слово «поступова» *означало* «протилежна сальтації». У контексті ж другої половини XX століття Елдредж і Ґулд використовують слово «поступова» зовсім в іншому сенсі. По суті, вони, хоча й не відкрито, вживають його у значенні «з постійною швидкістю» і протиставляють йому своє власне уявлення про «переривчастість». Вони критикують ґрадуалізм у цьому сенсі «постійного спідизму». Поза сумнівом, у цьому вони праві: у своїй крайній формі він є таким само абсурдним, як мій приклад про синів Ізраїлевих.

Однак поєднувати цю виправдану критику з критикою Дарвіна означає просто плутати два абсолютно окремих значення слова «поступова». У тому сенсі, в якому ґрадуалізму протистоять Елдредж і Ґулд, немає жодних конкретних причин сумніватися, що Дарвін погодився б із ними. У тому сенсі цього слова, в якому Дарвін був пристрасним ґрадуалістом, Елдредж і Ґулд також є ґрадуалістами. Теорія переривчастої рівноваги є легким відблиском дарвінізму, який цілком міг би схвалити сам Дарвін, якби це питання розглядалося за його часів. Як легкий відблиск, вона не заслуговує на особливо велику популярність. Причина того, що вона фактично набула такого розголосу і що я почувався зобов'язаним присвятити їй окремий розділ цієї книжки, полягає лише в тому, що ця теорія подавалася — деякими журналістами аж занадто — як буцімто радикально протилежна поглядам Дарвіна та його послідовників. Чому ж так сталося?

У світі вистачає людей, які відчайдушно прагнуть не мати потреби вірити в дарвінізм. Вони, схоже, поділяються на три основних класи. По-перше, це ті, хто з якихось релігійних причин хоче, аби вся еволюція як така виявилася неправдою. По-друге, ті, хто не має жодних причин заперечувати реальність еволюції, але, часто з політичних чи ідеологічних причин, вважає неприйнятною теорію Дарвіна про її *механізм*.

Одні вважають ідею природного відбору неприйнятно грубою й безжальною, другі плутають природний відбір із випадковістю, а отже, «безцільністю», що ображає їхню гідність, тоді як треті плутають дарвінізм із соціальним дарвінізмом, якому притаманні расистські та інші неприпустимі обертони. Крім того, існують люди, і серед них багато працівників так званих (часто в однині) «медіа», яким просто подобається підривати устої. Можливо, вони чинять так через те, що це дає чудовий журналістський матеріал, а дарвінізм є вже досить усталеним і поважним, аби спокушати їх до цього.

Хоч яким би був мотив, наслідком є те, що, коли якийсь поважний учений висловить хоч найменший натяк на критику якоїсь деталі нинішньої теорії Дарвіна, цей факт одразу ж буде зафіксовано й роздуто понад усяку міру. Так, немов якийсь потужний підсилювач із дуже чутливим мікрофоном вибірково вихоплює все, що хоч трохи схоже на заперечення дарвінізму. Це дуже прикро, бо серйозні суперечки та критика є життєво важливою частиною будь-якої науки, і було б трагічно, якби науковці відчували потребу стримуватися через такі от мікрофони. Зайве казати, що підсилювач, хоча й потужний, не гарантує точного відтворення інформації: трапляється чимало викривлень! Учений, який обережно прошепоче якісь незначні застереження щодо якогось поточного нюансу дарвінізму, ризикує почути свої викривлені й ледь упізнавані слова, що лунають із гучномовців, які тільки того й чекали.

Що ж до Елдреджа та Ґулда, то вони не шепочуть. Вони говорять на повний голос, красномовно і владно! Те, про що вони говорять, часто є доволі тонкою матерією, але головне їхнє повідомлення полягає в тому, що з дарвінізмом щось не так. Алілуя, «вчені» самі це сказали! Редактор *«Biblical Creation»* написав про це так:

> *...безумовно, твердість нашої релігійної та наукової позиції значно посилилася нещодавнім падінням бойового духу неодарвіністів. І ми просто зобов'язані скористатися цим на повну.*

Елдредж і Ґулд були відважними борцями проти вузьколобого креаціонізму. Вони просто криком кричали, скаржачись на неправильне тлумачення їхніх слів, — лише для того, аби виявити, що для *цієї* частини їхнього повідомлення мікрофони раптом поглухли. Можу їм поспівчувати, бо мав аналогічний досвід з іншим набором мікрофонів, у моєму випадку налаштованих радше політично, а не релігійно.

А тепер, гучно й виразно, треба сказати правду: теорія переривчастої рівноваги чітко вкладається в неодарвіністський синтез. І завжди вкладалася. Щоб нейтралізувати шкоду, заподіяну надмірно роздутою риторикою, знадобиться час, але вона неодмінно буде нейтралізована. Теорію переривчастої рівноваги почнуть сувимірно вважати цікавим, але незначним штрихом на поверхні неодарвіністської теорії. Вона, безумовно, не дає жодних підстав для будь-якого «падіння бойового духу неодарвіністів», як і для заяв Ґулда, що синтетична теорія (інша назва неодарвінізму) «є геть мертвою». Це як скористатися відкриттям, що Земля є не ідеальною сферою, а трохи сплющеним сфероїдом, і видати гучну заяву під заголовком:

> *КОПЕРНИК ПОМИЛЯВСЯ. ТЕОРІЮ ПЛАСКОЇ ЗЕМЛІ ДОВЕДЕНО!*

Однак заради справедливості слід зазначити, що зауваження Ґулда було націлене не так на буцімто «ґрадуалізм» дарвіністського синтезу, як на інше з тверджень Дарвіна. Елдредж і Ґулд виступають проти твердження, що вся еволюція, навіть на найбільшій геологічній часовій шкалі, є екстраполяцією подій, що відбуваються в межах популяції чи виду. На їхню думку, існує якась вища форма відбору, яку вони називають «видовим відбором». Цю тему я відкладаю до наступного розділу, в якому розгляну також іншу школу біологічної думки, що на однаково хитких підставах проходить у деяких випадках як антидарвіністська, — так званих «трансформованих кладистів». Ця школа належить до загальної галузі таксономії, науки про класифікацію.

РОЗДІЛ 10

ЄДИНО ПРАВИЛЬНЕ ДЕРЕВО ЖИТТЯ

Ця книжка переважно розповідає про еволюцію як розв'язання проблеми складного «задуму» — еволюцію як правдиве пояснення тих явищ, які, на думку Пейлі, доводять існування божественного годинникаря. Саме тому я весь час говорю про очі та ехолокацію. Але теорія еволюції пояснює й цілу низку інших речей. Це явища розмаїття — схеми розподілу по світу різних видів тварин і рослин, а також розподілу серед них характерних особливостей. Хоча я здебільшого зосереджуюся на очах та інших деталях складних механізмів, не слід нехтувати цим іншим аспектом ролі еволюції, що здатен допомогти нам зрозуміти природу. Тож цей розділ буде присвячений таксономії.

Таксономія є наукою про класифікацію. У деяких людей вона має незаслужену репутацію нудної, підсвідомо асоціюється з музейним пилом і запахом формаліну, ніби її майже переплутали з таксидермією. По суті ж, вона є якою завгодно, тільки не нудною. З причин, які мені до кінця не зрозумілі, вона є однією з найбільш саркастично суперечливих галузей у всій біології. Вона цікавить водночас філософів та істориків. Вона відіграє важливу роль у будь-якій дискусії стосовно еволюції. А з лав таксономістів вийшли деякі найвидатніші сучасні біологи, що називають себе антидарвіністами.

Хоча таксономісти здебільшого вивчають тварин чи рослини, класифікувати можна й будь-які інші об'єкти — гірські породи, військові кораблі, бібліотечні книжки, зорі, мови. Упорядкована класифікація часто подається як якесь мірило зручності, практична необхідність, і в цьому є частка правди. Велика бібліотека є майже непридатною для роботи, якщо вона не організована якимось невипадковим чином так, аби книжки з конкретного предмета можна було за потреби легко знайти. Наука (чи, може, мистецтво) бібліотечної справи якраз і є проявом прикладної таксономії. З аналогічних міркувань життя здається біологам легшим, якщо вони можуть розподілити тварин і рослини по узгоджених категоріях із відповідними назвами. Але сказати, що це — єдина причина для класифікації тварин і рослин, означало б випустити з уваги головне. На думку еволюційних біологів, із класифікацією живих організмів пов'язане щось дуже особливе, не притаманне жодному іншому виду систематизації. Воно випливає з еволюційного уявлення, що існує лише одне унікально правильне розлоге генеалогічне дерево, яке охоплює всі живі організми й на якому можна базувати нашу таксономію. На додачу до її унікальності така таксономія має надзвичайну властивість, яку я називатиму *ідеальною вкладеністю*. Власне, що це означає й чому це так важливо, і є основною темою цього розділу.

Скористаймося бібліотекою як прикладом небіологічної таксономії. Одного-єдиного, унікально правильного рішення для проблеми класифікації книжок у бібліотеці чи книгарні не існує. Один бібліотекар може розподілити свої фонди на такі основні категорії, як «наука», «історія», «література», «інші види мистецтва», «іншомовні видання» тощо. Кожен із цих основних розділів бібліотеки, у свою чергу, поділятиметься на менші. Наукове крило бібліотеки можна поділити на відділи біології, геології, хімії, фізики та інші. Книжки в біологічній секції наукового крила можна розставити по полицях, присвячених фізіології, анатомії, біохімії, ентомології тощо. Нарешті, на кожній полиці книжки можуть бути вишикувані в алфавітному порядку. Інші основні відділи бібліотеки — іс-

торичний, літературний, іншомовних видань тощо — упорядковуватимуться за аналогічним принципом. Бібліотека, таким чином, ієрархічно організовується у спосіб, що дає читачу можливість знаходити потрібну книжку. Ієрархічна класифікація зручна, бо вона дає змогу відвідувачу швидко зорієнтуватись у наявних книжкових фондах. З тих самих міркувань в алфавітному порядку розташовані слова у словниках.

Однак єдиної ієрархії, за якою обов'язково мають бути організовані книжки в бібліотеці, не існує. Інший бібліотекар може упорядкувати ті самі книжкові фонди в інший (але так само ієрархічний) спосіб. Він може, наприклад, не відводити окреме крило під іншомовні видання, а віддати перевагу розподілу книжок незалежно від мови друку за тематикою: німецькомовні біологічні книжки помістити в розділ біології, німецькомовні історичні — в розділ історії і т. д. Третій бібліотекар може дотримуватися радикальної політики і розставити всі книжки із будь-якого предмета в хронологічному порядку видання, покладаючись у пошуку на картотеки (або їх комп'ютерні еквіваленти).

Ці три плани організації бібліотеки суттєво відрізняються один від одного, але всі вони, мабуть, працювали б непогано, і їх вважали б прийнятними багато читачів. Звісно, за винятком одного холеричного літнього члена лондонського клубу, що його я якось почув по радіо, коли він лаяв керівництво свого клубу за рішення найняти на роботу бібліотекаря. Їхня бібліотека впродовж сотні років існувала без жодної організації, і він не бачив причини, чому б то їй знадобилась організація тепер. Ведучий передачі м'яко поцікавився, як же, на його думку, слід упорядкувати книжки. «Найбільші — ліворуч, найменші — праворуч!» — без вагань прогарчав він. Популярні книгарні зазвичай класифікують свої книжки за темами, що відображають попит покупців. Замість науки, історії, літератури, географії й т. п. основними розділами в них є садівництво, кулінарія, телепередачі, окультизм... А одного разу я взагалі побачив полицю з яскравим написом «РЕЛІГІЯ ТА НЛО».

Отже, не існує жодного *правильного* рішення проблеми класифікації книжок. Бібліотекарі можуть не погоджуватись один з одним щодо класифікаційної політики, але серед критеріїв, за якими їхні аргументи виграють чи програють у суперечці, не буде таких, як «істинність» чи «правильність» однієї системи класифікації відносно іншої. Критеріями, що застосовуватимуться до таких аргументів, будуть радше «зручність для користувачів», «швидкість пошуку книжок» і т. п. У цьому сенсі таксономію книжок у бібліотеці можна назвати довільною. Це не означає, що розроблення доброї системи класифікації не важливе — зовсім ні. Насправді це означає, що не існує якоїсь однієї системи класифікації, яка у світі ідеальної інформації сприймалася б усіма як єдино правильна. З іншого боку, таксономія живих істот, як ми побачимо нижче, якраз має ту чітку особливість, якої бракує таксономії книжок, — принаймні якщо дивитися на неї з еволюційного погляду.

Звісно, можна розробити будь-яку кількість систем для класифікації живих істот, але я покажу вам, що всі вони, за винятком однієї, є так само довільними, як і будь-яка бібліотечна таксономія. Якщо потрібна лише зручність, хранитель музею може класифікувати свої експонати згідно з розміром і умовами зберігання: великі набиті опудала; дрібні й засушені, пришпилені до коркових дощечок у коробках; законсервовані у скляних колбах; мікроскопічні на предметних скельцях і т. п. Такий тип групування за принципом зручності часто можна побачити в зоопарках. У Лондонському зоопарку, наприклад, носороги утримуються в слонячому будинку лише з тієї простої причини, що для них потрібні такі самі потужні загородки, як і для слонів. Фахівець із прикладної біології може класифікувати тварин на шкідливих (підрозділяються на медичних шкідників, сільськогосподарських шкідників і безпосередньо небезпечних кусючих чи жалких), корисних (підрозділяються аналогічним чином) і нейтральних. Дієтолог може класифікувати тварин згідно з харчовою цінністю їхнього м'яса для людей, знову ж таки,

зі складним розподілом на підкатегорії. Моя бабуся колись вишила дитячу тканинну книжечку про тварин, де ті класифікувалися за формою лап. Антропологи ж задокументували численні складні системи таксономії тварин, використовувані різними племенами в усьому світі.

Але з усіх систем класифікації, які тільки можна собі уявити, є лише одна унікальна — унікальна в тому сенсі, що слова на кшталт «правильна» та «неправильна», «істинна» й «хибна» можна застосувати до неї з ідеальним узгодженням усієї наявної інформації. Ця унікальна система заснована на еволюційних зв'язках. Задля уникнення плутанини я дам цій системі назву, якою біологи називають її найсуворішу форму, — кладистична таксономія.

У кладистичній таксономії головним критерієм групування організмів є близькість спорідненості чи, іншими словами, відносна недавність їхнього спільного предка. Птахи, наприклад, відрізняються від нептахів тим, що всі вони походять від спільного предка, який не є предком жодного нептаха. Усі ссавці походять від спільного предка, який не є предком жодного нессавця. Птахи і ссавці мають більш далекого спільного предка, який також є предком багатьох інших тварин на кшталт змій, ящірок і гатерій. Усіх тварин, що походять від цього спільного предка, називають амніотами. Отже, птахи та ссавці є амніотами. На думку кладистів, «рептилії» — неправильний таксономічний термін, бо визначається методом вилучення: усі амніоти, крім птахів і ссавців. Іншими словами, найближчий спільний предок усіх «рептилій» (змій, черепах тощо) є також предком деяких «нерептилій», а саме птахів і ссавців.

Серед ссавців недавнього спільного предка мають щури й миші, леопарди й леви, а також шимпанзе й люди. Тварини, що мають близького спільного предка, є близькоспорідненими. Більш віддалено споріднені тварини мають більш далекого спільного предка. Дуже віддалено споріднені тварини на кшталт людей і слимаків мають дуже далекого спільного предка. Абсолютно ж неспорідненими між собою

організми просто не можуть бути, бо життя у відомому нам вигляді майже напевно зародилося на Землі лише раз.

Справжня кладистична таксономія є жорстко ієрархічною, і далі я використовуватиму цей вислів у тому сенсі, що її можна уявити у вигляді дерева, гілки якого завжди тільки розходяться й ніколи не сходяться знову. На мою думку (деякі школи таксономістів, які ми розглянемо пізніше, із цим би не погодились), вона є жорстко ієрархічною *не* тому, що ієрархічна класифікація на кшталт бібліотечної зручна, і не тому, що все у світі природним чином укладається в ієрархічну схему, а лише тому, що ієрархічною є схема еволюційного походження. Після того, як дерево життя розгалужується на певну мінімальну відстань (переважно за межі виду), його гілки вже більше не сходяться разом знову (за дуже рідкісними винятками, як у випадку походження еукаріотичної клітини, згадуваного в розділі 7). Птахи та ссавці походять від спільного предка, але тепер вони є окремими гілками еволюційного дерева і вже ніколи не зійдуться разом: гібрида між птахом і ссавцем ніколи не існуватиме. Група організмів, яка має цю властивість — що всі її представники походять від спільного предка, який не є предком жодного непредставника групи, називається *клада,* від грецького «гілка дерева».

Представити цю ідею жорсткої ієрархії по-іншому можна з погляду «ідеальної вкладеності». Ми пишемо назви будь-якої підбірки тварин на великому аркуші паперу і обводимо колами споріднені групи. Наприклад, маленьким колом були б поєднані між собою щур і миша в тому сенсі, що вони є близькими родичами, з близьким спільним предком. Іншим маленьким колом були б об'єднані морська свинка й капібара. Кола «Щур/миша» і «Морська свинка/капібара», у свою чергу, були б об'єднані (між собою, а також із бобрами, дикобразами, білками та багатьма іншими тваринами) більшим колом, позначеним своєю власною назвою — «Гризуни». Внутрішні кола немовби «вкладені» в більші, зовнішні. Десь в іншому місці на цьому аркуші паперу маленьким колом були б поєднані між собою лев і тигр. Разом з іншими це коло

було би вписане в більше коло, позначене як «Котячі». Усі «Котячі», «Собачі», «Куницеві», «Ведмежі» тощо були б поєднані низкою менших кіл усередині більших в одне велике коло, позначене як «М'ясоїдні». Після цього кола «Гризуни» й «М'ясоїдні» увійшли б до більш глобальної низки кіл усередині кіл у дуже великому колі, позначеному як «Ссавці».

Важливою особливістю такої системи кіл усередині кіл є те, що вона є *ідеально вкладеною*. Кола, які ми малюємо, за жодних умов, без винятків, не перетнуться одне з одним. Якщо взяти будь-які два кола, що накладаються одне на одне, то завжди буде справедливо сказати, що одне з них лежить повністю всередині другого. Площа, охоплена внутрішнім колом, завжди повністю охоплюється зовнішнім: часткових перекриттів просто не буває. Таку властивість ідеальної таксономічної вкладеності не демонструють книжки, мови, типи ґрунтів чи філософські школи. Якщо бібліотекар обведе одним колом книжки з біології, а іншим — книжки з теології, то виявить, що ці два кола перекриваються. У зоні перекриття опиняться видання з назвами на кшталт «Біологія та християнська віра».

На перший погляд можна було б очікувати, що властивість ідеальної вкладеності продемонструє класифікація мов. Як ми вже бачили в розділі 8, мови еволюціонують доволі схожим із тваринами чином. Мови, які нещодавно утворилися від спільного предка, на кшталт шведської, норвезької та данської, є значно більш схожими між собою, ніж із тими, що відгалузилися від нього раніше, на кшталт ісландської. Але мови не лише розходяться, вони також сходяться між собою. Сучасна англійська є гібридом германських і романських мов, що розійшлися значно раніше, а тому англійська не вписується чітко в жодну діаграму ієрархічної вкладеності. Виявилося б, що кола, які охоплюють англійську, перетинаються між собою й частково перекриваються. Кола ж біологічної класифікації ніколи не перетинаються в такий спосіб, бо біологічна еволюція вище видового рівня завжди є дивергентною.

Повертаючись до прикладу з бібліотекою, слід зазначити, що жоден бібліотекар не може повністю уникнути проблеми проміжних форм чи перекриттів. Немає жодного сенсу розміщувати розділи біології та теології по сусідству й виставляти проміжні книжки в проході між ними; бо що тоді накажете робити з книжками, проміжними між біологією й хімією, фізикою й теологією, історією й теологією, історією й біологією? Гадаю, я не помилюся, сказавши, що проблема проміжних форм є неминучою, невіддільною складовою всіх таксономічних систем за винятком породжених еволюційною біологією. Між нами кажучи, ця проблема викликає в мене відчуття майже фізичного дискомфорту, коли я намагаюся розв'язатити скромні завдання з упорядкування, що виникають у моєму професійному житті, — розставити на полицях свої власні книжки та передруки наукових статей, які (з найкращими намірами) мені надсилають колеги, систематизувати ділові папери, старі листи й т. п. Хоч які б категорії людина використовувала для своєї системи класифікації, завжди трапляються незручні речі, що їй не відповідають, а некомфортна непевність призводить до того, що я, соромно сказати, залишаю не віднесені до жодної категорії папери на столі, де вони лежать іноді роками, допоки їх не можна буде спокійно викинути. Нерідко той чи інший із них знаходить не надто задовільний прихисток у категорії «різне», що одразу ж після її заведення виявляє загрозливу тенденцію до розростання. Іноді мені стає цікаво, чи не є бібліотекарі та хранителі усіх музеїв за винятком біологічних особливо схильними до виразки шлунка.

У таксономії живих істот такі проблеми з систематизацією не виникають. Серед тварин жодних категорій «Різне» просто бути не може. Якщо триматися вище видового рівня й вивчати лише сучасних тварин (або тварин будь-якого конкретного часового зрізу; див. нижче), то жодних незручних проміжних форм не спостерігається. Якщо якась тварина раптом виявляється схожою на якусь незручну проміжну форму, скажімо на щось, розташоване чітко посередині між ссавцем і птахом, то

еволюціоніст може бути певний, що це точно *має* бути одне або інше. Позірність проміжної форми має бути ілюзією. Бібліотекареві ж у цьому не пощастило. Адже та чи інша книжка цілком може одночасно належати до двох розділів, наприклад історії та біології. Кладистично налаштовані біологи ніколи не дозволяють собі вдаватися до жодних бібліотекарських аргументів щодо «зручності» класифікації китів як ссавців, риб чи чогось проміжного між ссавцями й рибами. Єдиний аргумент, який ми маємо, є фактичним. У цьому випадку сталося так, що факти приводять усіх сучасних біологів до одного й того самого висновку. Кити є ссавцями, а не рибами, і вони не є навіть у крихітній мірі чимось проміжним. До риб вони не ближчі, ніж люди, качкодзьоби чи будь-які інші ссавці.

По суті, важливо розуміти, що всі ссавці — люди, кити, качкодзьоби та решта — є *абсолютно однаково* близькими до риб, оскільки всі ссавці пов'язані з рибами одним спільним предком. Міф про те, що ссавці, наприклад, утворюють якусь драбину, чи «шкалу», де «нижчі» є ближчими до риб, аніж «вищі», є проявом снобізму, що не має нічого спільного з еволюцією. Це лише давнє, доеволюційне уявлення, подекуди відоме як «великий ланцюжок буття», що мало бути розвінчане еволюцією, але загадковим чином просочилось у погляди на еволюцію багатьох людей.

На цьому етапі я не можу не звернути увагу на іронію виклику, який креаціоністи полюбляють кидати еволюціоністам: «Пред'явіть ваші проміжні форми. Якщо еволюція — це правда, то мають існувати тварини, що стоять на півдорозі між котом і собакою чи між жабою й слоном. Але чи бачив хтось колись жабослона?» Мені якось прислали креаціоністські брошури зі спробами висміяти еволюцію за допомогою зображень гротескних химер — наприклад, задньої частини коня, приставленої до передньої частини собаки. Їхні автори, схоже, уявляють, що еволюціоністи мають вірити в існування таких проміжних тварин. Такі закиди не просто не відповідають істині, вони є її повними антитезами. Одне з головних очікувань, які дає нам теорія еволюції, полягає в тому, що

проміжних форм такого типу *не* має існувати. У цьому-то й суть мого порівняння тварин і бібліотечних книжок.

Отже, таксономія живих істот, що виникли шляхом еволюції, має унікальну властивість створювати ідеальну узгодженість у світі ідеальної інформації. Саме це я й мав на увазі, кажучи, що слова на кшталт «істинна» й «хибна» можуть застосовуватися до принципів кладистичної таксономії, але не бібліотечної. Тут необхідно зробити два застереження. По-перше, у реальному світі немає ідеальної інформації. Біологи можуть сперечатися щодо фактів про походження видів, і ці суперечки буває непросто розв'язати через неідеальну інформацію — скажімо, надто малу кількість скам'янілостей. Я ще повернуся до цього. По-друге, інша проблема виникає, якщо скам'янілостей надто *багато*. Струнка й чітка дискретність класифікації схильна випаровуватись, якщо спробувати вводити в неї всіх тварин, що колись жили, а не лише сучасних. Адже, хоч якими б далекими були одна від одної дві сучасні тварини — скажімо, птах і ссавець, — вони все ж мали колись давно спільного предка. Якщо ж спробувати втулити в нашу сучасну класифікацію ще й цього предка, зробити це може бути доволі складно.

Щойно ми починаємо розглядати вимерлих тварин, твердження про відсутність проміжних форм перестає бути істинним. Навпаки, нам тепер доводиться мати справу з потенційно безперервною низкою проміжних форм. Відмінність між сучасними птахами й сучасними нептахами на кшталт ссавців є чіткою лише тому, що всі проміжні форми, які сходяться в минулому до спільного предка, вже померли. Аби надати цій думці найбільшої переконливості, подумайте знову про гіпотетично «добру» природу, що надає нам повні дані про скам'янілості — скам'янілості кожної тварини, що колись жила на Землі. Коли я запропонував вдатися до цієї фантазії в попередньому розділі, то згадав, що з одного погляду природа насправді була б недоброю. Я тоді думав про тяжку працю з вивчення та опису всіх скам'янілостей, але тепер ми переходимо до іншого аспекту цієї парадоксальної недобро-

зичливості. Повні дані про скам'янілості дуже ускладнили б класифікацію тварин на дискретні іменні групи. Маючи повні дані про скам'янілості, довелося б облишити дискретні назви і звернутися до якоїсь математичної чи графічної системи позначок змінних шкал. Людському розуму дуже до вподоби дискретні назви, тож у певному сенсі неповні дані про скам'янілості — це не так уже й погано.

Якщо розглядати всіх тварин, що колись жили на Землі, замість просто сучасних тварин, такі слова як «людина» і «птах» стають так само розпливчастими й нечіткими на краях як слова на кшталт «високий» і «гладкий». Зоологи можуть безрезультатно сперечатися про те, чи належить конкретна скам'янілість птахові. По суті, вони часто обговорюють саме це питання в контексті відомих викопних решток археоптерикса. Виявляється, якщо відмінність «птах/нептах» є чіткішою, ніж «високий/низький», то лише тому, що у випадку птаха/нептаха всі незручні проміжні форми вже померли. Якби звідкись узялася дивна вибіркова пошесть, що повбивала б усіх людей проміжного зросту, слова «високий» і «низький» набули б такого самого точного значення, як «птах» чи «ссавець».

Зручний факт, що більшість проміжних форм наразі є вимерлими, рятує від незручної невизначеності не лише зоологічну класифікацію. Те саме справедливо для людської етики та закону. Наші правові й моральні системи є глибоко видоспецифічними. Директор зоопарку має законне право «приспати» шимпанзе, що не відповідає визначеним вимогам, тоді як будь-яке припущення стосовно того, що він може «приспати» зайвого доглядача чи касира, було б зустрінуте лементом про нечуване неподобство. Шимпанзе є власністю зоопарку. Люди ж у наші дні не вважаються чиєюсь власністю, однак обґрунтування дискримінації шимпанзе в такий спосіб почуєш нечасто, і я сумніваюся, що такі виправдані обґрунтування взагалі існують. Видоспецифічність нашого ставлення до тварин, натхненна християнською вірою, є настільки приголомшливою, що аборт однієї-єдиної людської зиготи

(при тому, що більшість із них у будь-якому разі приречені на спонтанний аборт) може викликати більше морального занепокоєння та праведного гніву, ніж вівісекція будь-якої кількості розумних дорослих шимпанзе! Мені доводилося чути добропорядних ліберальних учених, які не мали жодного наміру справді різати живих шимпанзе, однак пристрасно обстоювали своє *право* робити це за бажанням, без перешкод з боку закону. При цьому такі люди часто першими повстають проти найменшого порушення прав *людини*. Єдиною причиною, чому нам може бути комфортно жити з такими подвійними стандартами, полягає в тому, що всі проміжні форми між людьми й шимпанзе вже померли.

Останній спільний предок людей і шимпанзе жив десь із п'ять мільйонів років тому, явно пізніше, ніж спільний предок шимпанзе й орангутангів, і десь на 30 мільйонів років пізніше, ніж спільний предок шимпанзе та інших мавп. З шимпанзе ми маємо понад 99 % спільних генів. Якби на якихось забутих островах у всьому світі були знайдені дивом збережені всі проміжні форми на шляху до спільного предка шимпанзе й людини, то навряд чи можна сумніватися в тому, що наші закони та моральні засади зазнали б глибоких потрясінь, особливо якби десь у цьому спектрі збереглася можливість схрещування. Довелося б або надати всім представникам спектру повноцінні права людини («Право голосу для шимпанзе!»), або запровадити якусь складну апартеїдну систему дискримінаційних законів, де суди вирішували б, є конкретна особина юридично «шимпанзе» чи «людиною», а люди непокоїлись би через бажання їхніх доньок вийти заміж за одного з «них». Гадаю, наш світ уже надто добре досліджений, аби можна було сподіватися, що ця фантазія, яка дисциплінує, колись здійсниться. Але тим, хто вважає, що у «правах» людини є щось очевидне та самоочевидне, слід замислитися над тим, яка це чистої води удача, що цим бентежним проміжним формам не судилося вижити. Можливий також інший варіант: якби шимпанзе не були відкриті донині, то сьогодні вони самі могли би вважатися бентежними проміжними формами.

Ті, хто прочитав попередній розділ, можуть зауважити: твердження, що категорії стають розмитими, якщо не обмежуватися сучасними тваринами, передбачає, що еволюція відбувається з постійною швидкістю, а не є переривчастою. Що більше наше уявлення про еволюцію наближається до крайнощів плавних безперервних змін, то песимістичніше слід ставитись до самої можливості застосування таких слів, як «птах» чи «нептах», «людина» чи «нелюдина», до всіх тварин, які колись жили. Запеклий же сальтаціоніст може вважати, що колись справді існувала перша людина, мутантний мозок якої вдвічі перевищував розміри мозку її батька та шимпанзеподібних братів.

Як ми вже бачили, прихильники теорії переривчастої рівноваги здебільшого не є справжніми сальтаціоністами. Тим не менш їм проблема невизначеності назв зазвичай здається менш гострою, ніж прихильникам більш «безперервного» погляду на еволюцію. От якби буквально кожна тварина, що колись жила, збереглась у вигляді скам'янілості, то проблема назв постала б навіть перед пунктуалістами, бо, якщо заглибитись у деталі, пунктуалісти насправді є ґрадуалістами. Але оскільки вони припускають, що дуже малоймовірно знайти скам'янілості, які документують короткі періоди швидкого переходу, тоді як дуже ймовірно знайти скам'янілості, які документують довгі періоди стазису, то з позиції пунктуаліста «проблема назв» буде видаватися менш гострою, ніж з погляду на еволюцію непунктуаліста.

Саме з цієї причини пунктуалісти, особливо Найлз Елдредж, приділяють велику увагу трактуванню «виду» як справжньої «сутності». Для непунктуаліста «вид» піддається визначенню лише тому, що незручні проміжні форми вже померли. Запеклий антипунктуаліст, навіть уважно розглянувши всю еволюційну історію, взагалі не здатен сприйняти «вид» як дискретну сутність. Він здатен побачити лише в'язкий континуум. На його думку, вид ніколи не має чітко визначеного початку й лише іноді має чітко визначений кінець (вимирання); дуже часто вид не закінчується остаточно, а по-

ступово перетворюється на якийсь новий вид. З іншого ж боку, пунктуаліст вважає, що вид виникає в конкретний момент часу (строго кажучи, там є перехідний період тривалістю в десятки тисяч років, але за геологічними мірками це доволі недовго). Більше того, він розглядає вид як такий, що має визначений або хоча б швидкий кінець, а не поступово перетворюється на якийсь новий вид. Оскільки більша частина життя виду, на думку пунктуаліста, минає в постійному стазисі й оскільки вид має дискретні початок і кінець, то для пунктуаліста це означає, що вид начебто має якусь визначену, вимірювану «тривалість життя». Непунктуаліст не побачив би, що вид має якусь «тривалість життя», як окремий організм. Запеклий пунктуаліст розглядає «вид» як дискретну сутність, що справді заслуговує на свою власну назву. Запеклий же антипунктуаліст дивиться на нього як на довільно взяту ділянку безперервно плинної річки без жодних конкретних причин для проведення ліній розмежування між його початком і кінцем.

У пунктуалістській книжці з історії якоїсь групи тварин, скажімо з історії коней за останні 30 мільйонів років, усі дійові особи можуть бути видами, а не окремими організмами, бо автор-пунктуаліст уявляє види як реальні «об'єкти» з їхньою власною дискретною ідентичністю. Види раптово з'являтимуться на сцені й так само раптово зникатимуть, витіснені наступними видами. Це буде історія спадковості, за якої один вид дає дорогу іншому. Але якщо таку саму історію напише антипунктуаліст, він використовуватиме видові назви лише для якоїсь розпливчастої зручності. Коли ж він дивиться вперед крізь час, то перестає бачити види як дискретні сутності. Справжніми акторами в його драмі будуть окремі організми у змінних популяціях. У його книжці саме окремі тварини даватимуть дорогу наступним окремим тваринам, а не види даватимуть дорогу видам. Тож не дивно, що пунктуалісти зазвичай вірять у такий собі природний відбір на видовому рівні, який вони вважають аналогічним дарвінівському відбору на звичайному індивідуально-

му рівні. Непунктуалісти ж, з іншого боку, розглядають природний відбір як такий, що працює на рівні, не вищому за окремий організм. Ідея «видового відбору» є для них менш привабливою, бо вони не вважають види сутностями з дискретним існуванням упродовж геологічного часу.

Настав зручний момент, аби розібратися з гіпотезою щодо видового відбору, яка в певному сенсі залишилася з попереднього розділу. Я не витрачатиму на неї багато часу, бо вже висловив свої сумніви щодо її уявної важливості для процесу еволюції в книжці «Розширений фенотип». Це правда, що переважна більшість видів, які колись жили на Землі, вже вимерли. Правда й те, що нові види виникають з частотою, що як мінімум компенсує вимирання, тож існує своєрідний «видофонд», склад якого весь час змінюється. Невипадкове входження видів до видофонду та невипадкове вилучення з нього справді могли б теоретично являти собою своєрідний природний відбір на вищому рівні. Можливо, що певні характеристики видів впливають на ймовірність їх вимирання чи відбрунькування нових видів. Види, які ми бачимо у світі, зазвичай матимуть усе необхідне, аби насамперед виникнути — «видоутворитися», — а також аби не вимерти. Якщо хочете, можете називати це формою природного відбору, хоча я підозрюю, що вона є ближчою до однокрокового, ніж до накопичувального відбору. Та я скептично ставлюся до припущення про велику важливість цього різновиду відбору для пояснення процесу еволюції.

Можливо, це лише відображення моєї упередженої думки про те, що слід вважати справді важливим. Як я вже писав на початку цього розділу, від теорії еволюції я переважно очікую пояснення складних, добре задуманих механізмів на кшталт сердець, рук, очей і ехолокації. Ніхто, навіть найполум'яніший видовий селекціонер, не думає, що це до снаги здійснити видовому відбору. Деякі люди справді вважають, що видовий відбір може пояснити певні довгострокові тенденції в даних про скам'янілості, такі як доволі часто помітна тенденція до збільшення розмірів тіла з плином століть. Сучасні коні,

як ми вже бачили, є більшими за своїх предків, що жили 30 мільйонів років тому. Видові селекціонери заперечують ідею, що це збільшення розмірів відбувалося завдяки послідовній індивідуальній перевазі: вони не вважають, що ця тенденція скам'янілостей свідчить про послідовний більший успіх великих особин усередині виду порівняно з маленькими. На їхню думку, усе було інакше. Колись існувало багато видів — видофонд. Деякі з цих видів мали середні розміри тіла, тоді як інші були маленькими (можливо, тому, що в одних видів найкраще почувалися великі особини, а в інших — маленькі). Імовірність вимирання видів із великим розміром тіла була меншою (або вищими були шанси на відбрунькування нового виду, схожого на них самих), аніж для видів із маленьким розміром тіла. На думку видового селекціонера, хоч що б відбувалося всередині виду, тенденція до збільшення розміру тіла, яку можна побачити, вивчаючи скам'янілості, була наслідком сукцесії (безперервного ряду) *видів* із прогресивно більшим середнім розміром тіла. Можливо навіть, що в більшості видів відбір сприяв *меншим* особинам, однак скам'янілості все ще могли демонструвати тенденцію до збільшення розміру тіла. Іншими словами, *міжвидовий* відбір міг сприяти меншості видів, у яких перевага віддавалася більшим особинам. Саме таку думку висловив (як було загальновизнано, у дусі адвоката диявола) видатний теоретик неодарвінізму Джордж К. Вільямс ще задовго до появи на сцені сучасних видових селекціонерів.

Можна сказати, що тут і, можливо, в усіх надуманих прикладах видового відбору ми маємо не стільки еволюційну, скільки *сукцесійну* послідовну тенденцію на кшталт тенденції в бік збільшення рослин у міру того, як клаптик голої землі послідовно колонізується дрібними бур'янами, більшими травами, чагарями й, нарешті, зрілими лісовими деревами, що живуть у рівновазі з навколишнім середовищем. У будь-якому разі, називаєте ви цю тенденцію сукцесійною чи еволюційною, видові селекціонери цілком можуть мати слушність, вірячи, що саме з такою тенденцією вони як палеонтологи часто стикаються при вивченні послідовних ша-

рів скам'янілостей. Але, як я вже говорив, ніхто не має на увазі, що міжвидовий відбір є важливим поясненням еволюції складних адаптацій. І ось чому.

У більшості випадків складні адаптації притаманні не видам, а окремим особинам. Види не мають очей і сердець — їх мають особини всередині них. Якщо вид вимирає через поганий зір, це переважно означає, що кожна особина всередині цього виду померла через поганий зір. Якість зору є властивістю окремих тварин. Про які ж властивості можна сказати, що вони притаманні саме *виду*? Це властивості, що впливають на виживання та розмноження виду способами, які не можна звести до суми їхніх впливів на виживання та розмноження особини. У гіпотетичному прикладі з кіньми я висловив думку, що меншість видів, усередині яких відбір сприяв більшим особинам, вимирали менш імовірно, ніж більшість видів, усередині яких відбір сприяв меншим особинам. Але це твердження є доволі непереконливим. Важко уявити причини, з яких життєздатність виду слід відділяти від суми життєздатностей окремих його представників.

Кращий гіпотетичний приклад властивостей на рівні виду буде таким. Припустімо, що всередині якогось виду всі особини ведуть однаковий спосіб життя. Усі коали, наприклад, живуть на евкаліптових деревах і харчуються лише евкаліптовим листям. Вид на кшталт цього можна назвати однорідним. Інший вид може охоплювати розмаїття особин, що ведуть різні способи життя. Кожна особина може бути так само спеціалізована, як окремо взята коала, але вид загалом характеризується розмаїттям харчових звичок. Одні представники цього виду харчуються виключно евкаліптовим листям, другі — виключно пшеницею, треті — виключно ямсом, четверті — виключно шкіркою лайма і т. д. Назвемо цей другий тип виду неоднорідним. Тепер, мені здається, нескладно буде уявити обставини, за яких однорідний вид вимер би ймовірніше, ніж неоднорідний. Коали цілковито залежні від запасів евкаліпту, і евкаліптова пошесть, аналогічна голландській хворобі в'язів, покінчила би з ними. З іншого боку,

деякі представники неоднорідного виду пережили б будь-яку конкретну пошесть кормових рослин, після чого вид зміг би продовжити своє існування. Легко також повірити, що неоднорідний вид імовірніше відбруньковує нові, дочірні види, ніж однорідний. Тут, мабуть, і можна було б знайти приклади справжнього відбору на видовому рівні. На відміну від короткозорості чи далекозорості, «однорідність» і «неоднорідність» є справжніми властивостями видового рівня. Проблема в тому, що приклади таких властивостей видового рівня є поодинокими й дуже розрізненими.

Існує цікава теорія американського еволюціоніста Еґберта Лі, яку можна інтерпретувати як приклад справжнього відбору на рівні видів, хоча вона була запропонована ще до того, як у моду ввійшла фраза «міжвидовий відбір». Лі цікавився одвічною проблемою — еволюцією «альтруїстичної» поведінки в індивідів. Він абсолютно правильно усвідомив, що якщо індивідуальні інтереси конфліктують із видовими, то перші — короткострокові інтереси — мають превалювати. Ніщо, здається, не здатне завадити поступу егоїстичних генів. Але Лі висунув цікаве припущення. Мають існувати якісь групи аби види, всередині яких найкраще для індивіда доволі значною мірою збігається з найкращим для виду. А також мають існувати інші види, всередині яких інтереси індивіда випадковим чином особливо сильно відхилилися від інтересів виду. За інших рівних умов види другої категорії цілком могли би вимерти з більшою ймовірністю. Тоді якась форма видового відбору могла би сприяти не індивідуальній самопожертві, а тим видам, усередині яких від індивідів не *вимагається* жертвувати власним добробутом. Тоді б можна було побачити еволюцію очевидно неегоїстичної поведінки індивідів, бо видовий відбір сприяв би тим видам, усередині яких власні інтереси індивідів найкраще задовольняються їхнім очевидним альтруїзмом.

Мабуть, найприголомшливішим прикладом справжньої властивості видового рівня є статевий спосіб розмноження порівняно з безстатевим. З причин, заглиблюватись у які тут

я не маю можливості за браком місця, існування статевого розмноження є для дарвіністів великою теоретичною головоломкою. Багато років тому Р. А. Фішер, зазвичай ворожий до будь-яких ідей відбору на рівнях вище окремого організму, був готовий зробити виняток для особливого випадку — статевого розмноження як такого. Він стверджував, що види зі статевим розмноженням з причин, у які я знову не заглиблюватимусь (вони не такі очевидні, як можна було б подумати), здатні еволюціонувати швидше за види з безстатевим розмноженням. Еволюціонують саме види, а не окремі організми — говорити про еволюцію організму неправильно. Відповідно, Фішер вважав, що саме відбір на видовому рівні є почасти відповідальним за факт такого поширення статевого розмноження серед сучасних тварин. Але якщо так, то ми маємо справу з випадком однокрокового, а не накопичувального відбору.

Згідно з цим аргументом, безстатеві види, коли вони виникають, мають тенденцію до вимирання, бо не еволюціонують достатньо швидко, аби не відставати від змін навколишнього середовища. Види ж зі статевим розмноженням не демонструють схильності вимирати, бо здатні еволюціонувати достатньо швидко, аби не відставати. Тому ми й бачимо навколо здебільшого види зі статевим розмноженням. Однак «еволюція», темпи якої варіюють між цими двома системами, є, ясна річ, простою дарвінівською еволюцією шляхом накопичувального відбору на індивідуальному рівні. Видовий відбір, як він тут описаний, є простим однокроковим вибором між двома властивостями — безстатевим і статевим розмноженням, повільною і швидкою еволюцією. Механізми статевого розмноження: статеві органи, статева поведінка, техніка статевого поділу клітин — усе це, мабуть, було зведено разом стандартним, дарвінівським накопичувальним відбором низького рівня, а *не* міжвидовим відбором. У будь-якому разі, як це буває, сучасні вчені одностайно виступають проти старої теорії, що статеве розмноження підтримується якимось відбором на груповому чи видовому рівні.

На завершення розгляду видового відбору скажу, що він міг би пояснити структуру видів, що існують у світі в будь-який конкретний час. Звідси випливає, що він міг би також пояснити зміну структури видів у міру того, як геологічні епохи поступаються більш пізнім, тобто зміну структури даних про скам'янілості. Але він не є суттєвою силою в процесі еволюції складних механізмів життя. Максимум, на що він здатен, — це вибір між різноманітними альтернативними складними механізмами за умови, що ці складні механізми вже були зібрані разом справжнім дарвінівським відбором. Як я вже говорив раніше, видовий відбір може відбуватися, але він, схоже, не *робить* чогось великого! А тепер повернімося до предмета таксономії та її методів.

Я вже писав, що кладистична таксономія має перед бібліотечними типами таксономії ту перевагу, що в природі існує одна унікальна, справжня ієрархічна схема вкладеності, що чекає свого відкриття. Усе, що потрібно, — це розробити методи її відкриття. На жаль, тут існують труднощі практичного характеру. Найцікавішим джерелом страхів таксономістів є еволюційна конвергенція. Це настільки важливе явище, що я вже присвятив йому половину розділу. У розділі 4 ми бачили, як знову й знову знаходяться тварини, що нагадують неспоріднених їм тварин в інших частинах світу тим, що мають аналогічний спосіб життя. Бродячі мурахи Нового Світу нагадують кочових мурах Старого Світу. Надприродна схожість виробилася між доволі неспорідненими електричними рибами Африки й Південної Америки, а також між справжніми вовками й сумчастим «вовком» *Thylacinus* Тасманії. У всіх цих випадках я просто стверджував без обґрунтування, що спостережувані подібності є конвергентними, що вони виникли незалежним чином у неспоріднених тварин. Але звідки ми знаємо, що вони є неспорідненими? Якщо таксономісти використовують подібності для вимірювання близькості спорідненості, то чому ж їх не ввела в оману надприродна схожість, яка начебто об'єднує ці пари тварин? Або, повертаючи це запитання більш незручним чином, коли таксономісти

говорять нам, що дві тварини — скажімо, кролики та зайці — справді *є* близько спорідненими, то звідки ми знаємо, що таксономістів не ввела в оману масштабна конвергенція?

Це питання дійсно викликає тривогу, бо історія таксономії сповнена випадків, коли більш пізні таксономісти заявляли про помилки своїх попередників саме з цієї причини. У розділі 4 ми бачили, що один аргентинський таксономіст проголосив літоптернів пращурами справжніх коней, тоді як сьогодні їх вважають конвергентними зі справжніми кіньми. Африканського дикобраза довго вважали близьким родичем американських дикобразів, але сьогодні вважається, що ці дві групи надбали свої колючі шуби незалежним чином. Імовірно, голки були корисними для обох груп на двох континентах з аналогічних причин. А хто дасть гарантії, що майбутні покоління таксономістів не змінять свою думку знову? Чи можна довіряти таксономії, якщо конвергентна еволюція є таким потужним джерелом оманливої подібності? Головною причиною, з якої особисто я дивлюся на це з оптимізмом, є поява потужних нових технік, що базуються на молекулярній біології.

Пригадаймо з більш ранніх розділів, що всі тварини, рослини та бактерії, хоч якими б різними вони здавалися, є напрочуд однорідними, якщо заглибитися до молекулярних основ. Найвиразніше це можна побачити на прикладі самого генетичного коду. Генетичний словник складається з 64 ДНК-слів по три літери в кожному. Кожне з цих слів має точний переклад мовою білків (воно означає або конкретну амінокислоту, або розділовий знак). Ця мова, схоже, є довільною в тому самому сенсі, в якому довільною є людська мова (у звучанні слова «дім», наприклад, немає нічого такого, що могло б хоч якось навести слухача на думку про помешкання). Зважаючи на це, надзвичайно цікаво, що всі живі істоти, хоч як би вони відрізнялися від інших своїм зовнішнім виглядом, «говорять» майже точно тією самою мовою на рівні генів. Генетичний код є універсальним. Я розцінюю це як майже незаперечний доказ того, що всі організми походять від одного-єдиного спільного предка. Шанси на те, що такий самий словник довільних

«значень» міг виникнути двічі, є майже неймовірно малими. Як ми вже бачили в розділі 6, колись, можливо, й існували інші організми, що використовували іншу генетичну мову, але більше їх з нами немає. Усі організми, що дожили до сьогоднішнього дня, походять від одного-єдиного предка, від якого вони успадкували майже ідентичний, хоча й довільний, генетичний словник, ідентичний майже в кожному з його 64 ДНК-слів.

Подумайте лишень про вплив цього факту на таксономію. До початку епохи молекулярної біології зоологи могли бути впевненими у спорідненості лише тих тварин, що мали дуже велику кількість спільних анатомічних ознак. Молекулярна ж біологія раптом відкрила нову скарбницю подібностей на додачу до малого переліку, пропонованого анатомією та ембріологією. 64 ідентичності («подібності» є надто слабким словом) спільного генетичного словника є лише початком. Таксономія стала геть іншою. Те, що було колись розпливчастими здогадами про спорідненість, перетворилося на майже безсумнівні статистичні факти.

Майже повна, дослівна, універсальність генетичного словника є для таксономістів аж занадто великим подарунком. Він розповідає нам, що всі живі організми є родичами, але не може сказати, які пари є більш спорідненими, ніж інші. А от інша молекулярна інформація може, бо тут ми знаходимо різні ступені подібності, а не загальну ідентичність. Згадайте, що продуктом механізму трансляції генів є білкові молекули. Кожна білкова молекула є реченням, ланцюжком амінокислотних слів зі словника. Ці речення можна читати або в перекладі мовою білків, або в їхній первинній формі ДНК. Хоча всі живі істоти мають однаковий словник, не всі вони утворюють однакові речення за допомогою свого спільного словника. Це дає нам можливість працювати з різними ступенями спорідненості. Білкові речення, хоча й різні в деталях, часто є аналогічними в загальній схемі. Для будь-якої пари організмів завжди можна знайти речення, що є достатньо аналогічними, аби бути очевидно лиш трохи «викривленими» версіями одного й того самого предкового речення.

Ми вже спостерігали це на прикладі незначних відмінностей між послідовностями гістонів у корів і гороху.

Таксономісти тепер можуть порівнювати молекулярні речення так само, як вони могли б порівняти між собою черепні коробки чи кістки ніг. Можна припустити, що дуже подібні між собою білкові чи ДНК-речення належать близьким родичам, тоді як більш різні — більш далеким. Усі ці речення побудовані на основі універсального словника, що складається лише з 64 слів. Краса сучасної молекулярної біології в тому, що можна точно виміряти відмінність між двома тваринами — як точну кількість слів, що відрізняє їхні версії конкретного речення. З погляду генетичного гіперпростору розділу 3 можна точно виміряти, скільки кроків відділяють одну тварину від іншої, хоча б відносно конкретної білкової молекули.

Додаткова перевага використання в таксономії молекулярних послідовностей полягає в тому, що, згідно з постулатами однієї впливової школи генетиків — «нейтралістів» (ми знову зустрінемося з ними в наступному розділі), більшість еволюційних змін, які відбуваються на молекулярному рівні, є *нейтральними*. Це означає, що вони є не наслідком природного відбору, а практично випадковими, а тому, крім випадків випадкових невдач, проблема конвергенції не збиватиме таксономістів з пантелику. Крім того, як ми вже бачили, будь-який тип молекул, схоже, еволюціонує з приблизно постійною швидкістю у дуже різних груп тварин. Це означає, що кількість відмінностей між порівнюваними молекулами двох тварин, скажімо між цитохромами людини й бородавочника, є добрим мірилом часу, що минув з доби існування їхнього спільного предка. Ми маємо доволі точний «молекулярний годинник». Цей «годинник» дає нам змогу оцінити не лише які пари тварин мають найближчих спільних предків, а й *коли* приблизно ті спільні предки жили.

Тут читача може спантеличити позірна непослідовність. Уся ця книжка наголошує на надзвичайній важливості природного відбору. То як же можна тепер робити акцент на випадковості еволюційних змін на молекулярному рівні?

У розділі 11 ми побачимо, що насправді щодо еволюції адаптацій, яка є основним предметом розгляду цієї книжки, немає жодних суперечок. Навіть найзапекліший нейтраліст не вважає, що складні робочі органи на кшталт очей і рук еволюціонували шляхом випадкового дрейфу. Кожен біолог при здоровому глузді погодиться, що вони можуть еволюціонувати лише шляхом природного відбору. Нейтралісти лише вважають (на мою думку, справедливо), що такі адаптації є верхівкою айсберга: більшість еволюційних змін, якщо розглядати їх на молекулярному рівні, можливо, нефункціональні.

Якщо тільки існування «молекулярного годинника» є фактом (а схоже на правду, що всі типи молекул змінюються, кожен приблизно зі своєю власною характерною швидкістю на мільйон років), його можна використовувати для датування точок розгалуження еволюційного дерева. І якщо дійсно правда, що більшість еволюційних змін на молекулярному рівні є нейтральними, це чудовий подарунок для таксономістів. Це означає, що проблему конвергенції можна відкинути, озброївшись статистикою. Кожна тварина є носієм великих обсягів записаної в її клітинах генетичної інформації, більша частина якої, згідно з нейтралістською теорією, не має нічого спільного з пристосуванням до конкретного способу життя і яка є текстом, що здебільшого не зачіпається відбором і, як правило, не зазнає конвергентної еволюції, крім як унаслідок випадкових збігів. Шанси на те, що дві великі частини нейтральної для відбору інформації можуть випадково нагадувати одна одну, можна розрахувати, і вони є справді дуже низькими. Ще краще те, що постійна швидкість молекулярної еволюції дає нам можливість *датувати* точки розгалуження еволюційної історії.

Додаткові можливості, якими нові техніки прочитання молекулярної послідовності збагатили арсенал таксономістів, важко переоцінити. Звісно, поки що розшифровані не всі молекулярні речення й не в усіх тварин, але вже можна піти до бібліотеки й переглянути точну — слово до слова й літера до літери — фразеологію, скажімо, речень α-гемоглобіну

собаки, кенгуру, єхидни, курки, гадюки, тритона, коропа та людини. Не всі тварини мають гемоглобін, але є інші білки, наприклад гістони, та чи інша версія яких існує в кожній тварині та рослині, і, знову ж таки, багато з них уже можна знайти в бібліотеці. І це не якісь там розпливчасті виміри на кшталт довжини ніг чи об'єму черепа, що можуть залежати від віку, стану здоров'я зразка чи навіть гостроти зору вимірювача. Це чітко виписані однією мовою альтернативні версії одного речення, які можна покласти поруч і порівняти між собою так само детально й точно, як якийсь прискіпливий фахівець із давньогрецької міг би порівнювати два пергаменти з текстом одного й того самого Євангелія. Послідовності ДНК є документальними євангеліями всього життя, і ми навчились їх розшифровувати.

Базове припущення таксономістів полягає в тому, що близькі родичі матимуть більш подібні версії конкретного молекулярного речення, ніж віддалені. Це називається «принцип парсимонії». Парсимонія — інша назва економічної ощадливості, або скнарості. За наявності набору тварин, речення яких відомі (скажімо, восьми тварин, перелічених у попередньому абзаці), нашим завданням буде виявити, яка з усіх можливих деревоподібних діаграм, що з'єднують ці вісім тварин, є найощадливішою. Найощадливішим деревом вважається «економічно найскнаріше» стосовно припущень у тому сенсі, що воно передбачає мінімальну кількість змін слів у процесі еволюції та мінімальний обсяг конвергенції. Нам дозволено передбачити мінімальний обсяг конвергенції на підставі чистої неймовірності. Адже малоймовірно, особливо якщо більша частина молекулярної еволюції є нейтральною, що дві неспоріднені тварини зійдуться на одній і тій самій послідовності, слово в слово й літера в літеру.

За спроби розглянути всі можливі дерева виникають труднощі з обчисленням. Якщо треба класифікувати лише трьох тварин, то кількість можливих дерев дорівнює трьом: *A*, з'єднане з *B* в обхід *C*; *A* з *C* в обхід *B*; *B* з *C* в обхід *A*. Якщо ж треба класифікувати більшу кількість тварин, можна виконати

такі самі розрахунки, але кількість можливих дерев різко зросте. Якщо треба розглянути лише чотирьох тварин, то загальна кількість можливих дерев спорідненості є все ще контрольованою й дорівнює лише 15. Комп'ютеру не знадобиться багато часу, щоб обчислити, яке з цих 15 є найощадливішим. Але якщо треба розглянути вже 20 тварин, то, за моїми підрахунками, кількість можливих дерев дорівнює 8 200 794 532 637 891 559 375 (див. рис. 9). Було розраховано, що найшвидшому з сучасних комп'ютерів, аби виявити найощадливіше дерево всього з 20 тварин, знадобилося б 10 000 мільйонів років, що приблизно дорівнює вікові Всесвіту. А таксономісти часто прагнуть побудувати дерева з понад 20 тварин.

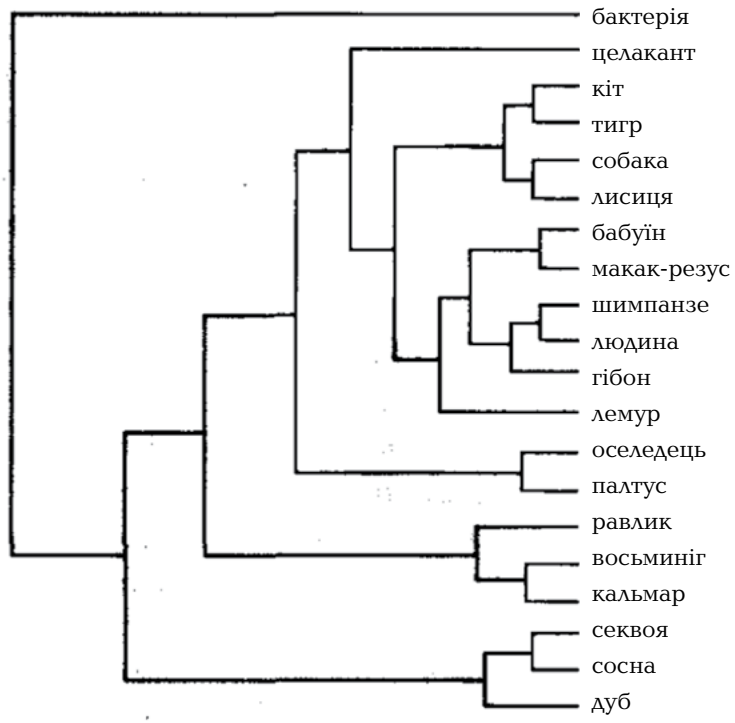


Рис. 9. Це генеалогічне дерево є правильним. Існує 8 200 794 532 637 891 559 374 інші способи класифікації цих 20 організмів, і всі вони є неправильними.

Хоча молекулярні таксономісти були першими, хто почав про неї говорити, проблема вибухових великих цифр насправді прихована по всій немолекулярній таксономії. Немолекулярні таксономісти просто уникали її, роблячи інтуїтивні здогади. З усіх можливих генеалогічних дерев, які можна було б випробувати, величезну кількість можна відкинути одразу — наприклад, усі ті мільйони можливих генеалогічних дерев, де люди розміщуються ближче до земляних червів, аніж до шимпанзе. Таксономісти навіть не переймаються тим, аби звернути увагу на такі очевидно абсурдні дерева спорідненості, а натомість зосереджуються на порівняно небагатьох деревах, що не надто різко суперечать їхнім сталим уявленням. Це, мабуть, справедливо, хоча завжди існує небезпека, що по-справжньому найощадливішим деревом виявиться одне з тих, які були відкинуті без розгляду. Комп'ютери теж можна запрограмувати йти навпростець, і масштаби проблеми вибухових великих цифр, на щастя, можна зменшити.

Молекулярна інформація є настільки багатою, що нашу таксономію можна будувати окремо, знову й знову, для різних білків. Після цього можна використовувати наші висновки, зроблені з вивчення однієї молекули, для перевірки наших висновків, що базуються на дослідженні іншої. Якщо нас турбує, що історія, яку розповідає одна білкова молекула, заплутується конвергенцією, можна одразу ж перевірити її, подивившись на іншу білкову молекулу. Конвергентна еволюція насправді є особливим різновидом збігу. Проблема ж зі збігами полягає в тому, що, навіть якщо вони виникають один раз, вони значно менш імовірно стаються двічі. А ще менш імовірно — тричі. Розглядаючи дедалі більше окремих білкових молекул, можна практично убезпечити себе від будь-яких збігів.

Наприклад, в одному дослідженні групою новозеландських біологів 11 тварин були класифіковані, і не раз, а п'ять разів, незалежним чином із використанням п'яти різних білкових молекул. Цими тваринами були вівця, макак-резус, кінь, кенгуру, щур, кролик, собака, свиня, людина, корова й шимпанзе. Ідея полягала в тому, аби спочатку розробити

дерево взаємозв'язків серед цих 11 тварин із використанням одного білка, а потім подивитися, чи буде отримане *таке саме* дерево взаємозв'язків для іншого білка. Після цього зробити те саме для третього, четвертого та п'ятого білків. Теоретично припускалося, що, наприклад, коли теорія еволюції є хибною, можливо, кожен із п'яти білків дасть зовсім інше дерево «родинних зв'язків».

Усі п'ять білкових послідовностей для всіх 11 тварин були доступні для перегляду в бібліотеці. Для 11 тварин треба розглянути 654 729 075 можливих дерев взаємозв'язків, а тому довелося застосувати звичайні обхідні шляхи. Для кожної з п'яти білкових молекул комп'ютер роздрукував найощадливіше дерево родинних зв'язків. Це дало п'ять кращих незалежних здогадів щодо можливого єдино правильного дерева взаємозв'язків між цими 11 тваринами. Найкращим результатом, на який тільки можна сподіватися, було б, якби всі ці п'ять дерев виявились ідентичними. Імовірність отримання такого результату завдяки чистій удачі насправді дуже мала: після коми в цьому числі аж 31 нуль. Не слід дивуватись, якщо нам не вдасться отримати такий ідеальний збіг: очікувати можна лише певного обсягу конвергентної еволюції та збігу. Але нас мало би стурбувати, якби серед різних дерев не було виявлено значної міри збігу. Фактично всі п'ять дерев виявилися не зовсім ідентичними, але дуже схожими. Усі п'ять молекул збігаються в тому, що розміщують людину, шимпанзе та макака-резуса поблизу одне одного, а от щодо того, яка тварина є наступною найближчою до цієї групи, існують деякі розбіжності: гемоглобін *B* стверджує, що це собака; фібринопептид *B* — що щур; фібринопептид *A* наполягає на тому, що це група «щур + кролик»; а гемоглобін *A* — що це група «щур, кролик і собака».

Ми маємо чітко визначеного спільного з собакою предка, а також іншого чітко визначеного предка, спільного зі щуром. Ці два предки справді існували в якийсь конкретний період історії. Один із них мав жити раніше за другого, тож один із двох — гемоглобін *B* або фібринопептид *B* — має

помилятись у своїй оцінці еволюційних взаємозв'язків. Як я вже говорив, такі незначні невідповідності не повинні нас турбувати. Певна частка конвергенції та збігу є очікуваною. Якщо насправді ми є ближчими до собаки, це означає, що зі щуром ми розійшлися один від одного відносно нашого фібринопептиду *B*. Якщо ж насправді ми ближчі до щура, це означає, що з собакою ми розійшлися один від одного відносно нашого гемоглобіну *B*. Щоб отримати певне уявлення про те, яке з цих двох припущень є ймовірнішим, треба подивитися на ще якісь молекули. Але я не продовжуватиму розгляд цього питання далі — головне вже було сказано.

Я вже говорив, що таксономія була однією з найзлостивіше суперечливих галузей біології. Стівен Ґулд влучно охарактеризував її фразою «назви та злостивість». Таксономісти, схоже, відчувають щодо власної школи таку пристрасть, яку можна було б очікувати зустріти в політології чи економіці, але аж ніяк не в академічній науці. Таке враження, що представники школи таксономії вважають себе переслідуваним ворогами братством на кшталт перших християн. Уперше я усвідомив це, коли один знайомий таксономіст з білим від жаху обличчям розповів мені «новину», що такий-то (ім'я тут не має значення) «*переметнувся* до кладистів».

Наступний короткий огляд шкіл таксономічної думки може роздратувати деяких їхніх представників, але не більше, ніж вони зазвичай розлючують один одного, тож якоїсь надмірної шкоди від того не буде. З погляду їхньої фундаментальної філософії таксономісти поділяються на два головних табори. З одного боку стоять біологи, які відкрито визнають той факт, що їхньою метою є виявлення еволюційних взаємозв'язків. Для них (та й для мене) добрим таксономічним деревом *якраз і є* генеалогічне дерево еволюційних взаємозв'язків. Займаючись таксономією, вони використовують усі доступні методи, щоб зробити найкраще з усіх можливих припущень щодо близькості спорідненості тварин між собою. Для таких таксономістів важко дібрати назву, бо та, що проситься на язик, — «еволюційні таксономісти» — вже узурпована одним

конкретним напрямом. Іноді їх називають «філетиками». Досі я писав цей розділ саме з філетичної позиції.

Але існує також багато таксономістів, що йдуть іншим шляхом, маючи на те доволі вагомі причини. Хоча вони, дуже ймовірно, погоджуються з тим, що єдиною кінцевою метою заняття таксономією є відкриття еволюційних взаємозв'язків, вони наполягають на відділенні *практики* таксономії від теорії — очевидно, еволюційної теорії, — що пояснює схему подібностей. Ці таксономісти вивчають схеми подібностей як такі. Вони не роблять попередніх припущень щодо того, чи зумовлена схема подібностей еволюційною історією й чи є близька подібність наслідком близької спорідненості. Вони віддають перевагу побудові таксономії за допомогою самої лише схеми подібностей.

Одна з переваг такого підходу полягає в тому, що за наявності якихось сумнівів стосовно істинності еволюції схему подібностей можна використати для її перевірки. Якщо еволюція є правдою, подібності серед тварин мають відповідати певним передбачуваним схемам — зокрема, схемі ієрархічної вкладеності. Якщо ж еволюція є вигадкою, то можна очікувати *невідьякої* схеми, однак немає жодних очевидних причин очікувати вкладеної ієрархічної схеми. Представники цієї школи наполягають, що коли під час *побудови* таксономії прийняти як слушну ідею еволюції, то результати таксономічної роботи не можна використовувати для підтвердження істинності еволюції — це було би порочне коло. Такий аргумент тиснув би на того, хто має серйозні сумніви в істинності еволюції. І знову-таки, для цієї другої школи таксономічної думки важко дібрати вдалу назву. Я називатиму їх «вимірювачами чистої подібності».

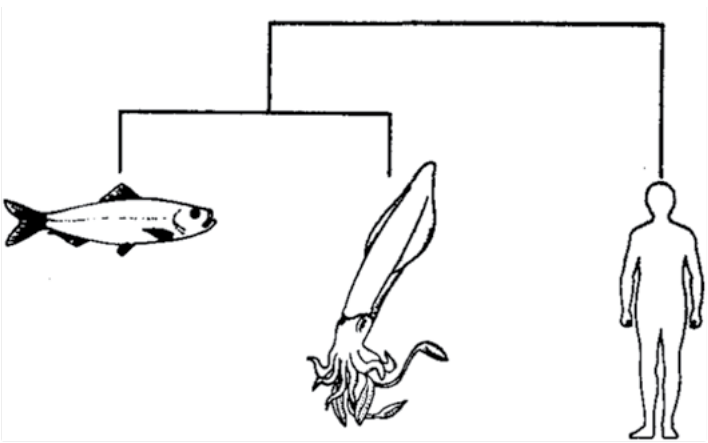
Філетики — таксономісти, що відкрито намагаються виявити еволюційні взаємозв'язки й поділяються ще на дві школи: кладистів, які дотримуються принципів, викладених у відомій книжці Віллі Генніґа «Філогенетична систематика», та «традиційних» еволюційних таксономістів. Кладисти одержимі розгалуженнями. Для них метою таксономії є виявлення порядку, в якому спадкові лінії відділяються одна від одної

в процесі еволюції. Їх не цікавить, наскільки сильно чи наскільки мало ці спадкові лінії змінилися з моменту розгалуження. «Традиційні» ж (*не* вважайте цю назву зневажливою) еволюційні таксономісти відрізняються від кладистів переважно тим, що їх цікавить еволюція не лише розгалужень. Вони беруть до уваги також загальний масштаб змін, що відбуваються впродовж еволюції, а не тільки розгалуження.

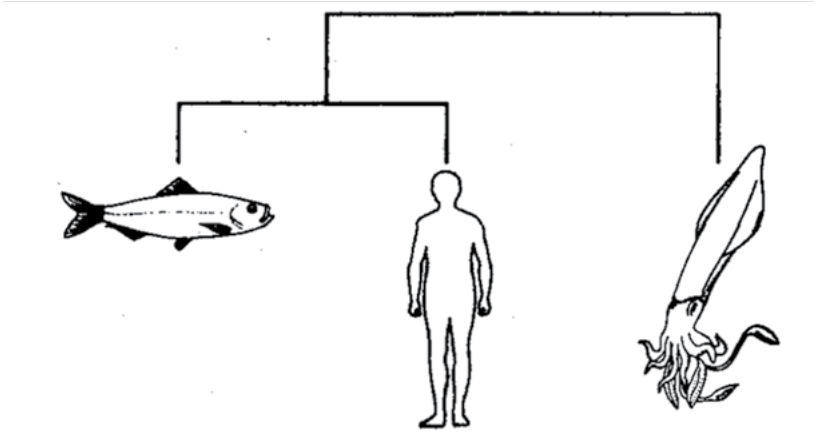
З самого початку роботи кладисти будують свої міркування, виходячи з розгалужених дерев. В ідеалі вони починають з того, що виписують усі можливі розгалуження дерев для тих тварин, із якими мають справу (лише двосторонні розгалуження, бо будь-яке терпіння має свої межі!). Як ми вже бачили, коли розглядали молекулярну таксономію, це може бути непросто, якщо намагатися класифікувати багато тварин, бо тоді кількість можливих дерев стає астрономічно великою. Але, як ми також уже бачили, на щастя, існують обхідні шляхи та корисні наближення, а це означає, що такого типу таксономічну систему все ж можна побудувати на практиці.

Якщо, наприклад, спробувати класифікувати лише трьох тварин: кальмара, оселедця та людину, — то можна отримати лише такі три двосторонні розгалуження:

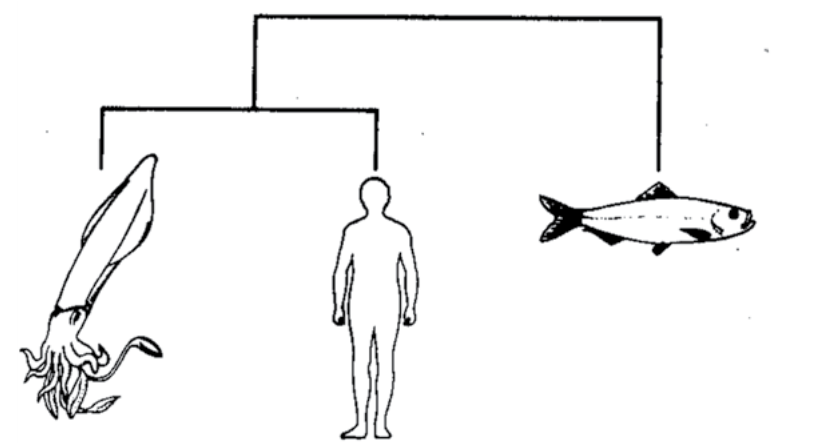
1. Кальмар і оселедець близькі один одному, людина — «чужий».



2. Людина й оселедець споріднені, кальмар — «чужий».



3. Кальмар і людина близькі один одному, оселедець — «чужий».



Кладисти подивилися б на кожне з цих трьох можливих дерев по черзі й обрали б найкраще. Як же його впізнати? Загалом це дерево, що поєднує тварин, які мають найбільше спільних ознак. «Чужим» ми називаємо тварину, що має найменше спільних ознак із двома іншими. З наведеного

вище переліку дерев перевага була б віддана другому, бо людина й оселедець мають значно більше спільних ознак, аніж кальмар і оселедець чи кальмар і людина. Кальмар тут є «чужим», бо він не має багато спільних ознак ані з людиною, ані з оселедцем.

Насправді все не зводиться до простого підрахунку спільних ознак, бо деякі типи ознак умисно ігноруються. Особливу увагу кладисти зазвичай приділяють тим, які виникли нещодавно. Наприклад, давні ознаки, які всі ссавці успадкували від спільного предка, є непридатними для побудови класифікації ссавців. Методи, які кладисти використовують для визначення того, які ознаки є давніми, доволі цікаві, але вони завели б нас далеко від теми цієї книжки. На цьому етапі головне — запам'ятати, що кладист (хоча б у принципі) розглядає всі можливі роздвоєні дерева, які *можуть* поєднувати тварин, із якими він має справу, й намагається обрати одне правильне. А ще справжній кладист не боїться визнати той факт, що він розглядає ці розгалужені дерева, або «кладограми», як генеалогічні — дерева близькості еволюційної спорідненості.

Доведена до крайнощів, одержимість самими лише розгалуженнями може давати дивні результати. Теоретично можливо, що вид виявиться в усіх деталях *ідентичним* своїм далеким родичам і при цьому цілковито відрізнятиметься від ближчих. Наприклад, припустімо, що 300 мільйонів років тому на Землі жили два дуже подібних види риб, — назвемо їх Яків та Ісав. Обидва ці види заснували династії нащадків, що збереглися до сьогодні. Нащадки Ісава зупинились у своєму розвитку. Вони продовжують жити в глибоких морях, але не еволюціонують. Як наслідок, той чи інший сучасний нащадок Ісава, по суті, є таким самим, як Ісав, а отже, дуже схожим на Якова. Нащадки ж Якова еволюціонували й ширились. Урешті-решт вони породили всіх сучасних ссавців. Але одна спадкова лінія нащадків Якова також зупинилась у своєму розвитку в глибоких морях і також залишає сучасних нащадків. Ці сучасні нащад-

ки є рибами, настільки схожими на сучасних нащадків Ісава, що їх важко розрізнити.

То як же тоді класифікувати цих тварин? Традиційний еволюційний таксономіст розпізнав би велику подібність між примітивними глибоководними нащадками Якова та Ісава і класифікував би їх разом. Суворий кладист не міг би цього зробити. Глибоководні нащадки Якова, попри те, що на вигляд вони такі самісінькі, як і глибоководні нащадки Ісава, тим не менш є ближчими родичами ссавців. Їхній спільний із ссавцями предок жив пізніше, навіть якщо лише трохи пізніше, ніж їхній спільний предок із нащадками Ісава. Відповідно, їх треба класифікувати разом із ссавцями. Такий підхід може здаватися дивним, але особисто я сприймаю його цілком спокійно. Принаймні він є абсолютно логічним і зрозумілим. По суті, свої позитивні моменти мають і кладизм, і традиційна еволюційна таксономія, тож я не надто переймаюся тим, як люди класифікують тварин, якщо вони чітко пояснюють мені, як це робиться.

Час повернутися до іншої основної наукової школи — вимірювачів чистої подібності, яких, знов-таки, можна розподілити на два напрямки. Обидва ці напрямки погоджуються прибрати еволюцію зі своїх повсякденних міркувань під час побудови таксономії. Але вони не погоджуються щодо самого процесу побудови цієї повсякденної таксономії. Один із напрямків цих таксономістів іноді називають «фенетиками», а іноді — «числовими таксономістами». Я називатиму їх «вимірювачами середньої відстані». Представники ж другого напрямку вимірювачів подібності називають себе «трансформованими кладистами». Це невдала назва хоча б тому, що загалом ці люди — *не* кладисти! Коли Джуліан Гакслі винайшов термін «клада», то визначив його чітко й недвозначно з погляду еволюційного розгалуження та еволюційного розвитку. Клада — це сукупність усіх організмів, що походять від конкретного предка. Оскільки головною ідеєю «трансформованих кладистів» є уникнення будь-якої згадки про еволюцію та розвиток,

називати себе кладистами з їхнього боку нерозсудливо. Причина ж, з якої вони це роблять, корениться в історії: вони починали як справжні кладисти і зберегли деякі методи кладистів, хоча й відкинули їхню фундаментальну філософію та обґрунтування. Думаю, що не маю іншого вибору, крім як називати їх трансформованими кладистами, хоча мені це й не подобається.

Вимірювачі середньої відстані не лише відмовляються брати до уваги еволюцію в своїй таксономії (хоча всі вони вірять в еволюцію). Вони послідовні в тому, що навіть не припускають, що схема подібності обов'язково буде просто розгалуженою ієрархією. Вони намагаються задіяти методи, які виявлять ієрархічну схему, якщо вона справді існує, і не виявлять, якщо її там немає. Вони намагаються умовити Природу розповісти їм, чи справді вона організована ієрархічно. Це не є легким завданням, і буде, мабуть, чесно визнати, що способів досягнення цієї мети насправді поки що немає. Тим не менш ця мета здається мені різновидом гідного поваги прагнення уникати упереджень. Їхні методи часто є доволі витонченими й математичними, і вони так само придатні для класифікації неживих об'єктів, наприклад скельних порід чи археологічних знахідок, як і для систематизації живих організмів.

Зазвичай вони починають із вимірювання у своїх тварин усього, що тільки можна. Інтерпретувати ці вимірювання зуміє не кожен, але детально я на них не зупинятимусь. Зрештою всі вимірювання комбінуються разом для виведення індексу подібності (або його протилежності, індексу відмінності) між усіма тваринами. За бажання можна візуально уявити цих тварин як розсипи точок у просторі. Щури, миші, хом'ячки тощо — усі розташовувалися би в одній частині простору. Значно далі, в іншій його частині, був би інший невеличкий розсип — група левів, тигрів, леопардів, гепардів тощо. Відстань між будь-якими двома точками у просторі є мірилом того, наскільки близько ці дві тварини подібні одна до одної, коли великі кількості їхніх властивостей

комбінуються разом. Відстань між левом і тигром мала. Такою ж є відстань між щуром і мишею. А от відстань між щуром і тигром чи мишею й левом велика. Комбінування властивостей зазвичай виконується за допомогою комп'ютера. Простір, у якому «сидять» ці тварини, на перший погляд трохи нагадує Землю біоморфів, але «відстані» тут відображують подібності радше між тілами тварин, аніж між їхніми генами.

Після обчислення індексу середньої подібності (або відстані) між усіма тваринами комп'ютер запрограмований на сканування набору відстаней/подібностей і спробу вмістити їх в ієрархічну схему групування. На жаль, існує багато суперечливих думок щодо того, який саме метод обчислення слід використовувати для пошуку цих груп. Одного очевидно правильного методу не існує, і не всі методи дають однакову відповідь. Гірше те, що деякі з цих комп'ютерних методів можуть бути надто «готовими» «побачити» ієрархічно організовані групи всередині груп, навіть якщо їх там насправді немає. Останнім часом школа вимірювачів відстані, або «числових таксономістів», дещо вийшла з моди. На мою думку, це явище тимчасове, як часто буває з модою, і такого типу «числову таксономію» аж ніяк не легко списати з рахунків. Я очікую на її повернення.

Друга школа вимірювачів чистої подібності — ті, хто з історичних причин, які ми вже розглядали, називають себе трансформованими кладистами. Саме від цієї групи переважно й походить «злостивість». Я не дотримуватимуся звичайної практики пошуку їхніх історичних витоків у лавах справжніх кладистів. В основі своєї філософії так звані трансформовані кладисти мають більше спільного з другою школою вимірювачів чистої подібності — тими, кого часто називають «фенетиками» або «числовими таксономістами», — яку я щойно розглядав під назвою «вимірювачі середньої відстані». Спільною для них є антипатія до введення еволюції в практику таксономії, хоча вона й не *обов'язково* означає ворожість до самої ідеї еволюції.

Зі справжніми кладистами трансформовані мають багато спільних методів практичної роботи. І ті, й інші з самого початку мислять у категоріях дерев, що роздвоюються. І ті, й інші розрізняють одні типи характеристик як таксономічно важливі, а решту як таксономічно непридатні. Щоправда, вони відрізняються в логічному обґрунтуванні такого розрізнення. Подібно до вимірювачів середньої відстані, трансформовані кладисти не ставлять перед собою мету виявлення генеалогічних дерев. Вони шукають дерева чистої подібності. Вони погоджуються з вимірювачами середньої відстані в тому, що слід залишити відкритим питання, чи відображає схема подібності еволюційну історію. Але на відміну від вимірювачів середньої відстані, які хоча б у теорії готові дозволити Природі сказати їм, чи справді вона ієрархічно організована, трансформовані кладисти *припускають*, що так і є. Для них є аксіомою, символом віри, що всі об'єкти слід класифікувати у формі розгалужених ієрархій (або вкладених вкладень). Оскільки розгалужене дерево не має нічого спільного з еволюцією, його не обов'язково застосовувати лише до живих організмів. За словами їхніх прихильників, методи трансформованих кладистів можна використовувати для класифікації не лише тварин і рослин, а й скельних порід, планет, бібліотечних книжок і черепків бронзового віку. Іншими словами, вони не підписалися б під висновком, який я зробив зі свого порівняння з бібліотекою, — що еволюція є єдиною надійною основою для унікально ієрархічної класифікації.

Як ми вже бачили, вимірювачі середньої відстані вимірюють те, наскільки всі тварини далекі одна від одної, де «далекі» означає «неподібні», а «близькі» — «подібні». Лише потім, після обчислення якогось сумарного середнього індексу подібності, вони починають намагатися інтерпретувати отримані результати з погляду розгалуженої, група всередині групи, ієрархії, або «деревної» діаграми. Трансформовані ж кладисти, як і справжні, якими вони колись були, мислять у категоріях груп і розгалужень із

самого початку. Подібно до справжніх кладистів, вони би почали, принаймні в принципі, зі створення переліку всіх можливих роздвоєних дерев, а потім обрали б із них найкраще.

Але про що вони насправді говорять, коли розглядають усі можливі дерева, і що мають на увазі під найкращим? Якому гіпотетичному стану речей у світі відповідає кожне дерево? Для справжнього кладиста, послідовника В. Геннігa, відповідь є дуже чіткою. Кожне з 15 можливих дерев, що об'єднують чотирьох тварин, являє собою можливе генеалогічне дерево. З усіх 15 можливих генеалогічних дерев, що з'єднують між собою чотирьох тварин, правильним має бути лише одне-єдине. Історія походження цих тварин цілком реальна. Якщо зробити припущення, що всі розгалуження є двосторонніми, то це дає 15 можливих історій. Чотирнадцять із них мають бути хибними. Реальному розгортанню історії може відповідати лише одна. З усіх 135 135 генеалогічних дерев, які можна скласти для 8 тварин, 135 134 мають бути хибними. Історичну правду відображає лише одне. Визначити, *котре* саме є правильним, буває нелегко, але справжній кладист принаймні може бути впевнений, що правильним є не більше одного.

Але що відповідає цим 15 (135 135 чи скільки їх там) можливим деревам і одному правильному в нееволюційному світі трансформованих кладистів? Як зазначив у своїй книжці «Еволюція та класифікація» мій колега та колишній студент Марк Рідлі, нічого особливого. Трансформовані кладисти відмовляються допускати поняття *предків* до своїх міркувань. «Предок» для них є якоюсь лайкою. Але, з іншого боку, вони наполягають на тому, що класифікація має являти собою розгалужену ієрархію. Тож якщо 15 (або 135 135) можливих ієрархічних дерев не є деревами історії предків, то чим вони взагалі є? Не залишається нічого іншого, крім як запозичити в античної філософії таке собі розмите ідеалістичне уявлення, що світ є просто ієрархічно організованим — усе в ньому має свою «протилежність»,

свій містичний «інь» чи «ян». До чогось відчутно конкретнішого за це справа не доходить. У нееволюційному світі трансформованих кладистів, безумовно, неможливі потужні й зрозумілі твердження на кшталт «правильним може бути лише одне з 945 можливих дерев, що поєднують 6 тварин; усі інші мають бути хибними».

Чому ж «предок» є для кладистів лайкою? Річ не в тім (сподіваюся), що, на їхню думку, жодних предків узагалі ніколи не існувало. Радше вони вирішили, що предкам немає місця в таксономії. Це виправдана позиція, коли йдеться про повсякденну *практику* таксономії. Жоден кладист насправді не малює на генеалогічних деревах предків із плоті й крові, хоча традиційні еволюційні таксономісти іноді це роблять. Кладисти усіх мастей розцінюють зв'язки між реальними тваринами, яких можна побачити, як *спорідненість*, як формальність. Це абсолютно розумно. Нерозумно ж перетворювати це на табу проти самого *поняття* предків, проти його використання в розробленні фундаментального обґрунтування прийняття ієрархічно розгалужених дерев як основи для таксономії.

Наостанок я приберіг найдивніший аспект таксономічної школи трансформованих кладистів. Не задовольняючись абсолютно розумною вірою, що можна багато чого сказати на користь вилучення еволюційних і спадкових припущень із *практики* таксономії, — вірою, яку вони поділяють із «вимірювачами відстані» фенетиками, — деякі трансформовані кладисти зовсім пустилися берега й дійшли висновку, що має бути щось хибне в самій еволюції! Цей факт є настільки дивним, що в нього важко повірити, але деякі з провідних «трансформованих кладистів» сповідують ворожість до самої ідеї еволюції, особливо до дарвінівської теорії. Двоє з них, Ґ. Нельсон і Н. Платнік з Американського музею природознавства в Нью-Йорку, дійшли до того, що написали: «Дарвінізм... якщо коротко, є теорією, що була піддана перевірці й визнана хибною». Дуже хотілося б дізнатися, що то була за «перевірка», а ще більше — якою альтернативною

теорією Нельсон із Платніком пояснили б явища, які пояснює дарвінізм, особливо адаптивну складність.

Це не означає, що всі трансформовані кладисти є переконаними креаціоністами. Особисто я вважаю, що вони схильні перебільшувати важливість таксономії в біології. Вони вирішили (можливо, не без підстав), що результати таксономії будуть кращими, якщо вони забудуть про еволюцію, а особливо якщо за жодних обставин не використовуватимуть поняття «предок» у таксономічних міркуваннях. У такий самий спосіб людина, що вивчає, скажімо, нервові клітини, могла б вирішити, що думки про еволюцію їй ні до чого. Фахівець із нервів погоджується, що нервові клітини є продуктами еволюції, але не мусить використовувати цей факт у своїх дослідженнях. Йому треба добре знати фізику та хімію, а от дарвінізм, на його думку, не має стосунку до його повсякденних досліджень нервових імпульсів. Це виправдана позиція. Але ж нерозважливо твердити, що, позаяк вам не треба використовувати конкретну теорію в повсякденній практиці конкретної галузі науки, ця теорія є *хибною*. Говорити так ви можете, лише якщо схильні надзвичайно перебільшувати важливість своєї галузі.

І навіть у такому випадку це нелогічно. Фізику, безумовно, не потрібен дарвінізм для його наукових занять. Він може вважати, що біологія є незначним предметом порівняно з фізикою. З чого, на його думку, випливатиме, що дарвінізм має незначну цінність для науки. Але він не може обґрунтовано зробити з цього висновок, що дарвінізм є *хибним*! По суті ж, саме це деякі лідери школи трансформованих кладистів, схоже, й зробили. Зверніть увагу: Нельсон і Платнік використали саме це слово — «хибний». Зайве говорити, що їхні слова були підхоплені чутливими мікрофонами, які я згадував у попередньому розділі, й набули широкого розголосу. Вони посіли почесне місце у фундаменталістській, креаціоністській літературі. Коли нещодавно один провідний трансформований кладист приїжджав

із лекцією до мого університету, він зібрав більше слухачів, аніж будь-який інший лектор, спеціально запрошений того року! Неважко здогадатися чому.

Не може бути жодних сумнівів, що зауваження на кшталт «Дарвінізм... якщо коротко, є теорією, що була піддана перевірці й визнана хибною» з вуст визнаних біологів у штаті поважного загальнонаціонального музею стануть ласим шматочком для креаціоністів і всіх інших, хто активно зацікавлений у поширенні неправди. Тільки тому я взагалі потурбував своїх читачів темою трансформованого кладизму. Марк Рідлі в рецензії на книжку, в якій Нельсон і Платнік зробили це зауваження про хибність дарвінізму, висловився м'якіше: «Хто б міг подумати, що насправді вони *мали на увазі* лише те, що предкові види дуже непросто відобразити у кладистичній класифікації?» Ясна річ, визначити точну ідентичність предків нелегко, і є вагомі причини навіть не намагатися це зробити. Але робити заяви, які підштовхують інших до висновку, що жодних предків ніколи *не було*, означає безвідповідально грати словами та грішити проти істини.

А тепер я краще піду поратись у саду або займусь іще чимось.

РОЗДІЛ 11

ПРИРЕЧЕНІ КОНКУРЕНТИ

Той факт, що еволюція відбувається (як і те, що всі живі істоти є родичами), не ставить під сумнів жоден серйозний біолог. Однак деякі біологи все ж висловлюють сумніви щодо конкретної дарвінівської теорії про те, *як саме* відбувається еволюція. Часом це виливається в суперечки навколо тих чи інших слів. Наприклад, теорію переривчастої еволюції подекуди представляють як антидарвінівську. Тим не менше, як я стверджував у розділі 9, насправді вона є лише незначною варіацією дарвінізму й жодним чином не належить до конкурентних теорій. Але існують також інші теорії, які абсолютно точно *не є* версіями дарвінізму, — ті, що категорично виступають проти самого духу дарвінізму. Такі конкурентні теорії я й збираюся розглянути в цьому розділі. До них належать різноманітні версії того, що зветься ламаркізмом, а також інші погляди на кшталт нейтралізму, мутаціонізму та креаціонізму, що час від часу подаються як альтернативи дарвінівському відбору.

Очевидним способом обрати з усіх конкурентних теорій правильну є вивчення доказів. Різновиди теорії Ламарка, наприклад, традиційно відкидаються — причому справедливо, — бо на їхню користь не було знайдено жодних вагомих доказів (і аж ніяк не через брак енергійних зусиль, зважаючи на готовність фанатиків у деяких випадках підтасовувати факти). У цьому розділі я скористаюсь іншою тактикою, зде-

більшого тому, що дуже багато інших дослідників уже вивчили всі докази й дійшли висновку на користь дарвінізму. Замість того, щоб вивчати докази «за» і «проти» конкурентних теорій, я застосую більш кабінетний підхід. Я доведу, що дарвінізм — це єдина відома нам теорія, в принципі *здатна* пояснити певні аспекти життя. Якщо я маю рацію, це означає, що, навіть якби на користь теорії Дарвіна не було жодних фактичних доказів (а вони, звісно, є), ми все одно мали б повне право віддавати їй перевагу перед усіма конкурентами.

Один зі способів підкріпити цю думку — зробити деяке передбачення. Я передбачаю, що якщо колись в іншій частині Всесвіту буде відкрито якусь форму життя, то, хоч якою б неземною й химерно чужою вона здавалась у деталях, вона все ж виявиться схожою на земну в одному ключовому аспекті — еволюції шляхом якогось із різновидів дарвінівського природного відбору. На жаль, скоріш за все, ми не зможемо перевірити це передбачення за відведений нам час, але воно залишається способом підтвердження важливої істини про життя на нашій із вами планеті. Теорія Дарвіна в принципі здатна пояснити існування життя. Жодна інша теорія з тих, що будь-коли були запропоновані, на це не здатна. Я продемонструю це шляхом розгляду всіх відомих нині конкурентних теорій, причому розглядатиму не докази «за» чи «проти» них, а їхню принципову придатність для пояснення життя.

По-перше, слід зазначити, що мається на увазі під «поясненням» життя. Звісно, можна перелічити багато властивостей живих організмів, деякі з яких доволі легко пояснюються конкурентними теоріями. Як ми вже бачили, багато фактів щодо розповсюдження білкових молекул можуть бути наслідками не дарвінівського відбору, а нейтральних генетичних мутацій. Однак є одна властивість живих організмів, яку я хочу виділити як таку, що пояснюється *лише* дарвінівським відбором. Ця властивість, що є наскрізною темою книжки, яку ви тримаєте в руках, — адаптивна складність. Живі організми добре пристосовані виживати та розмножуватись

в умовах навколишнього середовища, що їх оточує, причому надто численними і статистично неймовірними способами, аби можна було припустити, що вони виникли за рахунок одного-єдиного випадкового збігу. Слідом за Пейлі я скористаюся прикладом ока. Дві чи три добре «задуманих» властивості ока, може, й могли б виникнути внаслідок одного-єдиного щасливого випадку. Однак величезна кількість взаємозалежних частин, добре пристосованих для бачення й припасованих одна до одної, вимагає особливого пояснення, що виходить за межі простого випадку. Дарвінівське пояснення, звісно, теж включає в себе випадок — у формі мутації. Але цей випадок проходить фільтр накопичувального відбору — крок за кроком, упродовж багатьох поколінь. Попередні розділи вже показали, що ця теорія здатна надати задовільне пояснення адаптивної складності. У цьому ж розділі я збираюся довести, що всі інші відомі теорії цього зробити *не* здатні.

Передусім розгляньмо найвідомішого в історії конкурента дарвінізму — ламаркізм. Коли ця теорія була вперше запропонована на початку XIX століття, то не позиціонувалась як конкурентна дарвінізму, бо про дарвінізм тоді ще ніхто не думав. Шевальє де Ламарк випередив свій час. Він був одним із тих інтелектуалів XVIII століття, що виступали на користь еволюції. У цьому він мав рацію і вже тільки за це заслуговує пошанування нарівні з дідом Чарльза Дарвіна Еразмом та іншими. Ламарк також запропонував найкращу теорію механізму еволюції, яка тільки могла з'явитися на той час, але немає жодних причин припускати, що, якби тоді вже була оприлюднена дарвінівська теорія цього механізму, він би її відкинув. Але її не було, і, на превелику шкоду для Ламарка (принаймні в англомовному світі), його ім'я стало асоціюватися з помилкою — його теорією *механізму* еволюції, а не з його слушною вірою в той *факт*, що еволюція відбувається. Це не книжка з історії, і я не намагатимусь із педантичною точністю розбирати те, що постулював сам Ламарк. Загалом же в його словах була частка містики — наприклад, він твердо вірив у просування вгору сходами життя, які багато людей

уявляють собі навіть сьогодні, і говорив про прагнення тварин так, неначе вони в певному сенсі свідомо *хочуть* еволюціонувати. Я збираюся виділити з ламаркізму ті немістичні елементи, які хоча б на перший погляд, здається, мають шанси запропонувати реальну альтернативу дарвінізму. По суті, таких елементів — єдиних, що визнаються сучасними «неоламаркістами», — всього два: спадковість набутих характеристик і принцип використання й невикористання.

Принцип використання й невикористання стверджує, що ті частини організму, які використовуються, стають більшими. Ті ж, які не використовуються, поступово атрофуються й відмирають. Відомий факт: якщо тренувати якісь конкретні м'язи, вони ростуть, а якщо ні — всихають. Подивившись на тіло людини, можна сказати, які саме м'язи вона використовує, а які ні. Можна навіть приблизно вгадати її професію чи улюблений вид відпочинку. Ентузіасти бодібілдингу застосовують принцип використання й невикористання для «будівництва» своїх тіл практично так само, як скульптор у своїй роботі, надаючи їм тієї чи іншої неприродної форми, якої вимагає мода цієї специфічної субкультури. М'язи є не єдиними частинами тіла, що реагують на використання таким чином. Якщо ходити босоніж, ви матимете грубішу шкіру на підошвах. Фермера й банківського клерка легко розрізнити, просто поглянувши на руки одного й другого. У фермера вони жорсткі, загрубілі від тяжкої праці та тривалого контакту з землею. У клерка ж єдиною загрубілістю є невеличкий мозоль від ручки на пальці.

Принцип використання й невикористання допомагає тваринам ставати кращими у справі виживання в їхньому світі, прогресивно кращими ще за їхнього життя внаслідок самого життя в цьому світі. У людей унаслідок прямого впливу сонячного світла чи його нестачі виробляється той колір шкіри, який сприяє кращому виживанню в умовах конкретної місцевості. Надлишок сонячного світла є небезпечним. У любителів засмаги з дуже світлою шкірою ризик захворіти на рак більший. Тимчасом брак сонячного світла призводить до

дефіциту вітаміну *D* та розвитку рахіту, що іноді спостерігається в чорношкірих дітей, які мешкають у Скандинавії. Коричневий пігмент меланін, що синтезується під впливом сонячного світла, створює екран для захисту підшкірних тканин від шкідливих наслідків впливу сонячного світла в подальшому житті. Якщо засмагла людина переїде до менш сонячних країв, меланін з її шкіри зникне, і організм зможе максимально ефективно використовувати той мінімум сонця, що там є. Це можна представити як приклад принципу використання й невикористання: шкіра темнішає, коли «використовується», і світлішає аж до білого, коли «не використовується». Деякі тропічні народи, щоправда, успадковують щільний меланіновий екран незалежно від того, чи піддаються активному впливові сонячного світла окремі особини.

Тепер звернімося до другого основного принципу ламаркізму — ідеї, що набуті характеристики згодом успадковуються майбутніми поколіннями. Усі докази вказують на те, що ця ідея є просто хибною, але впродовж більшої частини своєї історії люди вірили в її правильність. Ламарк її не вигадував, а просто залучив народну мудрість свого часу. У деяких колах і досі в неї вірять. Моя мама колись мала пса, який час від часу прикидався кульгавим, підгинаючи задню лапу і шкандибаючи на інших трьох. А її сусідка мала старшого пса, який, на жаль, втратив задню лапу, потрапивши під машину. Так от, вона була переконана, що її пес має бути батьком пса моєї матері, що «наочно доводила» «успадкована» ним кульгавість. Усна народна творчість та байки рясніють аналогічними легендами. Багато людей або вже вірять, або готові повірити у спадковість набутих характеристик. Теорія спадковості аж до цього століття панувала і в середовищі серйозних біологів. У неї вірив сам Дарвін, але вона не стала частиною його теорії еволюції, тож його ім'я не пов'язане з нею в нашій свідомості.

Якщо поєднати ідею спадковості набутих характеристик із принципом використання й невикористання, то ми отримаємо щось схоже на непоганий рецепт еволюційного по-

кращення. Саме цей рецепт зазвичай і сприймають як теорію еволюції Ламарка. Згідно з цією теорією, якщо люди послідовно підвищуватимуть жорсткість своїх підошов, ходячи босоніж по голій землі, то кожне наступне покоління матиме трохи жорсткішу шкіру, ніж була до нього. Кожне покоління матиме перевагу перед своїми попередниками. Зрештою немовлята почнуть народжуватись одразу з жорсткими підошвами (що, власне кажучи, вони й роблять, хоча і з інших причин, як ми побачимо нижче). Якщо покоління за поколінням насолоджуватимуться тропічним сонцем, то ставатимуть дедалі більш коричневими в міру того, як, згідно з теорією Ламарка, кожне наступне покоління успадковуватиме частку засмаги попереднього. З часом вони почнуть народжуватись уже чорними (що, знову-таки, вони вже роблять, але не з ламаркістських причин).

Легендарними прикладами є руки коваля та шия жирафа. У тих селах, де ковалі переймали свою справу від батьків, дідів і прадідів, вважалося, що вони успадковують заразом і добре треновані м'язи своїх предків. Причому не просто успадковують, а ще й розвивають їх власною працею, після чого передають ці покращення своїм синам. Предкові жирафи з короткими шиями мали нагальну потребу діставати листя високо на деревах. Вони щосили витягувалися вгору, тим самим розтягуючи м'язи та кістки шиї. У результаті кожне нове покоління отримувало трохи довшу шию, ніж його попередники, і передавало цю фору наступному поколінню. Згідно з теорією Ламарка в чистому вигляді, всі еволюційні вдосконалення дотримуються цієї схеми: тварина тягнеться до чогось, чого вона потребує. У результаті частини її тіла, які при цьому використовуються, стають більшими або змінюються у відповідному напрямку якимось іншим чином. Ця зміна успадковується наступним поколінням, а отже, процес триває. Перевага цієї теорії в тому, що вона є накопичувальною, а, як ми вже бачили, це є необхідним компонентом будь-якої теорії еволюції для виконання нею відповідної ролі у формуванні нашого світогляду.

Теорія Ламарка, схоже, має велику емоційну привабливість, причому не лише для дилетантів, а й для певного типу інтелектуалів. Якось до мене підійшов один колега, уславлений історик марксизму, людина надзвичайно культурна й начитана. Він сказав, що розуміє: всі факти, схоже, свідчать проти теорії Ламарка... Але чи справді немає жодної надії, що вона може виявитися правдою? Я відповів йому, що, на мою думку, її таки немає, і він сприйняв це зі щирим жалем, сказавши, що з ідеологічних міркувань йому б хотілося, аби ламаркізм був правдою. Адже це давало б велику надію на покращення людства. Джордж Бернард Шоу присвятив пристрасному захисту ідеї спадковості набутих характеристик одну зі своїх довжелезних передмов (у книжці «Назад до Мафусаїла»). Його аргументи базувалися не на знаннях з біології, яких, як він охоче визнав би, він не мав зовсім. Вони базувались на емоційній відразі до висновків дарвінізму, цього «непередбачуваного збігу обставин»:

> *...це здається простим, бо спершу ви не усвідомлюєте всього, що він передбачає. Але коли для вас прояснюється все його значення, в грудях розливається лунка порожнеча. Адже там прихований відразливий фаталізм, жахливе й огидне приниження краси та розуму, сили й волі, честі й прагнень.*

Іншим видатним майстром слова, який не міг змиритися з тим, що він вважав висновками дарвінізму, був Артур Кестлер. Як сардонічно, але точно висловився Стівен Ґулд, упродовж усіх своїх останніх шести книжок Кестлер проводив «кампанію проти свого власного неправильного розуміння дарвінізму». Він шукав прихистку в альтернативі, у якій я ніколи не міг до пуття розібратися, але яку можна інтерпретувати як своєрідну розпливчасту версію ламаркізму.

Кестлер і Шоу були індивідуалістами, що думали лише про себе. Їхні ексцентричні погляди на еволюцію, мабуть, не були дуже впливовими (хоч я все ж пригадую, на свій сором, що

моє власне сприйняття дарвінізму в підлітковому віці щонайменше рік стримувалося захопливою риторикою Шоу в книжці «Назад до Мафусаїла»). Часом же емоційна привабливість ламаркізму та супутня їй емоційна ворожість до дарвінізму мали згубніший вплив, особливо коли наукова думка підмінювалась потужною ідеологією. Згадаймо лиш Т. Д. Лисенка — такого собі другорядного селекціонера сільськогосподарських рослин без жодних талантів, окрім як у сфері політики. У більшості цивілізованих країн його антименделівський фанатизм і пристрасну, догматичну віру в спадковість набутих характеристик просто проігнорували б та й по всьому. На жаль, йому судилося жити в країні, де ідеологія ставилася вище за наукову істину. 1940 року його призначили директором Інституту генетики Радянського Союзу, і він став надзвичайно впливовим. Його безграмотні погляди на генетику стали єдиними, дозволеними для викладання в радянських школах, на ціле покоління. Радянському сільському господарству було завдано величезної шкоди. Багато видатних радянських генетиків зазнали утисків, заслань і ув'язнень. Наприклад, М. І. Вавилов, генетик зі світовим ім'ям, помер від недоїдання в тюремній камері без вікон після тривалого судового процесу за безглуздими сфабрикованими звинуваченнями на кшталт «шпигунства на користь британської розвідки».

Звісно, довести, що набуті характеристики ніколи не успадковуються, неможливо. Але з тієї ж самої причини неможливо довести, що не існує фей. Наразі можна говорити лише про те, що жоден із випадків, коли люди їх бачили, так і не був підтверджений, а нібито зроблені їхні фотографії є очевидними підробками. Те саме справедливо й для сумнівних відбитків людських ніг у скельних породах Техасу, де було знайдено рештки динозаврів. Будь-яке моє категоричне твердження, що фей не існує, є вразливим до можливості, що одного дня я раптом побачу в кінці свого саду маленьку істоту з прозорими крильцями. Ситуація з теорією про спадковість набутих характеристик аналогічна. Майже всі спроби продемонструвати цей ефект просто провалились. З тих же,

що начебто вдалися, деякі виявились фейками — наприклад, відома історія з уведенням туші під шкіру жаби-повитухи, викладена Артуром Кестлером у його однойменній книжці. Решту не змогли відтворити інші дослідники. Тим не менше так само, як одного дня хтось може побачити фею в кінці саду, будучи абсолютно тверезим і маючи при собі камеру, одного дня хтось може довести, що набуті характеристики можна успадкувати.

Щоправда, можна додати ще дещо. Деякі речі, яких ніхто достеменно не бачив, усе ж є доволі правдоподібними, бо не ставлять під сумнів усе інше, що нам відомо. Я не бачив жодних вагомих доказів теорії, що сьогодні в шотландському озері Лох-Несс живуть плезіозаври, але мій світогляд не розлетівся б на друзки, якби такі були знайдені. Я був би просто здивований (і втішений), бо за останні 60 мільйонів років не відомо жодних скам'янілостей плезіозавра, а це, схоже, чималий час, аби невеличка реліктова популяція могла вижити. Проте жодні великі наукові принципи тут на карту не поставлені. Це було би сприйнято просто як факт. З іншого боку, наука вже виробила непогане розуміння того, як влаштовано Всесвіт, яке добре працює для величезної низки явищ, і певні голослівні твердження були б несумісними чи принаймні дуже важко узгоджувалися б із цим розумінням. Наприклад, це справедливо для голослівного твердження, що базується на фіктивних біблійних даних, яке іноді можна почути, — буцімто Всесвіт був створений лише приблизно 6 тисяч років тому. Така теорія є не просто неперевіреною. Вона несумісна не лише з загальноприйнятими даними біології та геології, а і з фізичною теорією радіоактивності та космологією (якби не існувало нічого, старшого за 6 тисяч років, неможливо було б побачити небесні тіла на відстані понад 6 тисяч світлових років; неможливо було би помітити ані Чумацький Шлях, ані жодну зі 100 тисяч мільйонів інших галактик, існування яких визнає сучасна космологія).

В історії науки були часи, коли всі загальноприйняті уявлення на законних підставах перевертались з ніг на голову

через один-єдиний незручний факт. Стверджувати, що такі перевороти більше ніколи не повторяться, було б великою самовпевненістю. Але ми цілком природно і справедливо потребуємо вищих стандартів перевірки, перш ніж приймемо факт, який переверне догори дриґом добре розроблену й успішну наукову доктрину, ніж перед прийняттям факту, навіть дивного, що легко узгоджується з сучасною наукою. Для плезіозавра в озері Лох-Несс я спокійно прийняв би як доказ побачене на власні очі. Якби ж я побачив людину, що левітує без жодної сторонньої допомоги, то, перш ніж відкидати всі закони фізики, запідозрив би, що став жертвою галюцинації чи якогось хитрого трюку. Існує континуум теорій: від тих, що, мабуть, не є правдою, але легко могли б бути, до тих, що могли б виявитися правдою лише ціною перевороту великих доктрин успішної традиційної науки.

То яке ж місце посідає в цьому континуумі ламаркізм? Зазвичай його уявляють значно ближчим до того краю, де теорії «не є правдою, але легко могли би бути». Я ж маю намір довести, що ламаркізм, а точніше, спадковість набутих характеристик, хоча й не належить до того ж класу, що й левітація силою молитви, ближчий до «левітації», ніж до «лохнесського чудовиська». Спадковість набутих характеристик не належить до тих речей, що легко могли б бути правдою, але, мабуть, не є. Я доведу, що вона могла б виявитися правдою лише за умови перевороту одного з найзаповітніших і найуспішніших принципів ембріології. Ламаркізм, таким чином, слід піддавати більшому рівню скептицизму, ніж звичайне «лохнесське чудовисько». То що ж це за широко прийнятий і успішний ембріологічний принцип, який доведеться перевернути, перш ніж можна буде прийняти ламаркізм? Тут знадобиться невеличке пояснення. Воно буде схоже на відступ, але його доречність незабаром стане зрозумілою. І пам'ятайте: ми ще й не бралися до аргументу, що ламаркізм, навіть якби він *був* правдою, все одно не здатен пояснити еволюцію адаптивної складності.

Отже, шлях наших міркувань веде в царину ембріології. Там традиційно існує глибоке розмежування між двома різними позиціями щодо способу перетворення однієї-єдиної клітини на дорослу істоту. Офіційні назви цих позицій — преформізм і епігенез, але в їхніх сучасних формах я називатиму їх теорією креслення й теорією рецепта. Ранні преформісти вірили, що дорослий організм *заздалегідь формується* в одній-єдиній клітині, з якої він потім розвивається. Один із них уявив, що може побачити у свій мікроскоп мініатюрну людину — «гомункулуса», — згорнуту клубком усередині сперматозоїда (але не яйцеклітини!). Ембріональний розвиток, на його думку, був просто процесом зростання. Всі частини дорослого організму вже закладені, сформовані заздалегідь. Можливо, кожен чоловічий гомункулус має свої власні ультрамініатюрні сперматозоїди, в яких згорнуті клубками його власні діточки, а всередині кожного з них згорнуті його онуки... Навіть якщо не звертати уваги на цю проблему безкінечного регресу, наївний преформізм нехтує тим фактом (який у XVII столітті навряд чи був менш очевидним, ніж сьогодні), що діти успадковують свої властивості не лише від батька, а й від матері. Правду кажучи, були й інші преформісти — їх називали «овістами», — навіть чисельніші за «спермістів», які вірили, що дорослий організм заздалегідь формується саме в яйцеклітині, а не у сперматозоїді. Але овізму були властиві ті самі дві проблеми, що й спермізму.

Сучасний преформізм не має жодної з цих проблем, але все одно є хибним. Сучасний преформізм — теорія креслення — стоїть на тому, що ДНК в запліднений яйцеклітині є еквівалентом «креслення» дорослого організму. Креслення — це зменшена в масштабі копія реального об'єкта. Реальний об'єкт — будівля, автівка чи будь-що інше — є тривимірним, тоді як креслення двовимірне. Тривимірний об'єкт на кшталт будівлі можна представити за допомогою набору двовимірних зрізів — горизонтальних планів кожного поверху, різноманітних вертикальних проекцій тощо. Таке зменшення розмірності зумовлене зручністю. У принципі, архітектори

могли б надавати будівельникам тривимірні моделі будинків із сірників і пробкового дерева, але набір двовимірних моделей на пласкому папері (креслень) легше носити в портфелі, легше правити й використовувати в роботі.

Якщо ж креслення планується зберігати у вигляді комп'ютерного імпульсного коду й, наприклад, передавати по телефонній лінії на інший кінець країни, необхідне подальше зменшення розмірності до *одного* виміру. Його легко зробити, перекодувавши кожне двовимірне креслення як одновимірний «скан». У такий спосіб кодується телевізійна картинка для передавання за допомогою повітряних хвиль. І знову ж таки, просторове стискання, по суті, є тривіальним засобом кодування. Важливо, що при цьому зберігається відповідність один до одного між кресленнями й будівлею. Кожна частина креслення відповідає своїй частині будівлі. У певному сенсі креслення є мініатюрною «заздалегідь сформованою» будівлею, хоча цю мініатюру можна перекодувати в меншій кількості вимірів, аніж будівлю.

Причина згадки про зменшення розмірності креслень до одного виміру, безумовно, в тому, що одновимірним кодом є ДНК. Так само, як точну модель будівлі теоретично можливо передавати за допомогою одновимірної телефонної лінії (у формі оцифрованого набору креслень), зменшений організм теоретично можливо передавати за допомогою одновимірного цифрового коду ДНК. Насправді цього не відбувається, але якби відбувалося, було б справедливо говорити, що сучасна молекулярна біологія підтвердила давню теорію преформізму. Тепер перейдемо до розгляду іншої великої теорії ембріології — епігенезу, теорії рецепта, або «кулінарної книги».

Рецепт із кулінарної книги в жодному сенсі не є кресленням кексу, який врешті-решт з'явиться з духовки. І це не тому, що рецепт являє собою одновимірну вервечку слів, тоді як кекс — тривимірний об'єкт. Як ми вже бачили, масштабну модель цілком можливо шляхом процедури сканування перевести в одновимірний код. Але рецепт — це не масштабна

модель, не опис готового кексу і в жодному сенсі не його точкове відображення. Це набір *інструкцій*, за дотримання яких у правильному порядку в результаті можна отримати готовий кекс. Справжнє одновимірно кодоване креслення кексу мало б складатися з низки його сканів, неначе кекс з усіх боків у чітко визначеному порядку багато разів попроштрикували зубочисткою. З міліметровими інтервалами безпосереднє оточення вістря зубочистки було б записане у вигляді коду; із серійних даних, наприклад, можна було б відтворити точне місце розташування кожної родзинки та крихти тіста. Кожна частина кексу й відповідна частина креслення були б точним відображенням одна одної. Очевидно, що це геть не схоже на рецепт. Жодної відповідності один до одного між «бітами» кексу й словами чи літерами рецепта немає. Якщо слова рецепта щось і відображають, то не окремі частини готового кексу, а окремі кроки процедури його приготування.

Наразі ми поки що не розуміємо всіх і навіть більшості деталей того, як тварини розвиваються з запліднeної яйцеклітини. Тим не менш є вагомі причини вважати, що гени значно більше схожі на рецепт, аніж на креслення. По суті, аналогія з рецептом є справді доволі вдалою, тоді як аналогія з кресленням, хоча й часто бездумно використовується в підручниках для початківців, особливо останнім часом, є хибною мало не в усіх аспектах. Ембріональний розвиток — це процес. Це впорядкована послідовність подій на кшталт процедури приготування кексу, за винятком того, що цей процес має в мільйони разів більше кроків, причому різні кроки здійснюються одночасно в багатьох різних частинах «страви». Більшість цих кроків передбачають примноження клітин, породження неймовірної кількості клітин, одні з яких помирають, а інші об'єднуються між собою, формуючи органи, тканини та інші багатоклітинні структури. Як ми вже бачили в одному з попередніх розділів, поведінка *конкретної* клітини залежить не від генів, які вона в собі містить (адже всі клітини організму містять однаковий набір генів),

а від того, які саме гени в цій клітині вмикаються. У будь-якому місці організму, що розвивається, в будь-який час упродовж розвитку вмикаються лише деякі з генів. В інших частинах ембріона та в інші моменти часу впродовж розвитку вмикатимуться інші набори генів. Які саме гени вмикаються в будь-якій клітині в будь-який момент часу, залежить від хімічних умов у цій клітині. А це, у свою чергу, залежить від попередніх умов у цій частині ембріона.

Більш того, вплив, який чинить ген, коли він *таки* вмикається, залежить від того, на що він може впливати в конкретній частині ембріона. Ген, увімкнений в клітинах нижньої частини спинного мозку на третьому тижні розвитку, матиме зовсім інший вплив, аніж такий самий ген, увімкнений у клітинах плеча на шістнадцятому тижні. Отже, вплив (якщо він узагалі буде) є *не* простою властивістю самого гена, а властивістю гена у взаємодії з недавньою історією його конкретного оточення в ембріоні. Це робить безглуздою ідею, що гени є для організму чимось на кшталт креслення. Те ж саме, якщо пам'ятаєте, було справедливо й для комп'ютерних біоморфів.

Отже, між генами й частинами тіла не існує жодної простої відповідності один до одного — більшої, ніж відповідність між словами рецепта і крихтами кексу. Узяті разом, гени можна розглядати як набір інструкцій для здійснення якогось процесу, так само, як набором інструкцій для виконання якогось процесу є взяті разом слова рецепта. У читача може виникнути запитання: як же тоді генетикам удається заробляти собі на прожиття? Як узагалі можна говорити (не кажучи вже про дослідження) про ген синіх очей чи ген дальтонізму? Чи не наводить сам факт здатності генетиків вивчати такі одногенні впливи на думку, що насправді *таки* існує якась відповідність на кшталт «один ген — одна частина тіла»? Чи не спростовує він усі мої міркування про набір генів і рецепт розвитку організму? Аж ніяк, він точно цього не робить, і тут важливо зрозуміти, чому.

Мабуть, найкращим способом побачити це буде повернутися до аналогії з рецептом. Усі погодяться, що не можна розділити кекс на крихти, з яких він складається, й сказати: «Ця крихта відповідає першому слову в рецепті, ця — другому» і т. д. В цьому сенсі важко сперечатися з тим, що весь рецепт відповідає всьому кексу й ніяк інакше. А тепер припустімо, що ми змінимо в рецепті одне слово: наприклад, «розпушувач» буде видалено взагалі чи замінено на «дріжджі». І от ми випікаємо 100 кексів за новою версією рецепта і 100 кексів за старою. Між цими двома наборами зі 100 кексів існує ключова відмінність, і ця *відмінність* є наслідком відмінності в одному слові рецепта. Хоча жодної відповідності один до одного між словом рецепта і крихтою кексу немає, існує відповідність один до одного між *відмінністю* слова й *відмінністю* всього кексу. Наприклад, «розпушувач» не відповідає жодній конкретній частині кексу: вплив цього інгредієнта проявляється в тому, щоб підняти тісто, а отже, надати остаточну форму всьому кексу. Якщо слово «розпушувач» видалити з рецепта чи замінити на «борошно», то кекс не підніметься. Якщо ж його замінити на «дріжджі», кекс підніметься, але на смак нагадуватиме хліб. Між кексами, спеченими за первинною й за «мутантною» версіями рецепта, буде явно помітна відмінність навіть попри те, що не існує жодного конкретного «біта» жодного кексу, що відповідав би якомусь певному слову. Це гарна аналогія того, що відбувається під час мутації гена.

Ще кращою аналогією, оскільки гени виявляють кількісні впливи, а мутації змінюють кількісну величину цих впливів, була б зміна температури випікання зі 180 градусів до 230. Кекси, випечені за «мутантною» версією рецепта, з вищою температурою, виходитимуть не такими — і не просто в одній якійсь частині, а в усій своїй консистенції, — як кекси, випечені згідно з версією, що передбачає нижчу температуру. Але ця аналогія є все ще надто простою. Щоб змоделювати «випікання» дитини, слід уявити не один-єдиний процес в одній-єдиній духовці, а плетиво конвеєрних стрічок,

що проносять різні частини страви через 10 мільйонів різних мініатюрних духовок, послідовно й паралельно, причому кожна духовка утворює іншу комбінацію смаків із 10 тисяч базових інгредієнтів. Сутність цієї аналогії — що гени є не кресленнями, а рецептами процесу, — в її складній версії проявляється ще яскравіше, ніж у простій.

Настав час застосувати цей урок до питання спадковості набутих характеристик. Цікаво, що у разі створення чогось за кресленням, на відміну від рецепта, процес є *зворотним*. Якщо ви маєте будівлю, то можете легко відтворити її креслення. Просто виміряйте всі розміри будівлі та зменште їхній масштаб. Очевидно, що коли будівля «набула» якоїсь характеристики — скажімо, в ній була знесена якась внутрішня стіна, щоб надати нижньому поверху відкритого планування, — то у «зворотному кресленні» точно відобразиться ця зміна. Те саме відбувалося б, якби гени були описом дорослого організму. Якби гени були кресленням, то було б легко уявити, як будь-яка характеристика, набута організмом упродовж його життя, точно транскрибується назад у генетичний код, а отже, передається наступному поколінню. Син коваля справді міг би успадкувати наслідки тяжкої праці його батька. Але це неможливо, бо гени є не кресленням, а рецептом. Уявити собі успадкування організмом набутих характеристик не легше, ніж повірити в таку історію: від кексу відрізали шматок, і опис цієї зміни повернувся назад до рецепта, внаслідок чого той змінився таким чином, що наступний кекс, випечений згідно зі зміненим рецептом, вийшов із духовки без одного шматка.

Ламаркісти традиційно полюбляють приклади з мозолями, тож скористаймось і ми таким. Наш гіпотетичний банківський клерк мав м'які, зніжені руки, за винятком твердої мозолі від ручки на середньому пальці правої руки. Якщо всі покоління його нащадків багато писатимуть, то ламаркісти очікують, що гени контролю розвитку шкіри в цьому місці зміняться таким чином, що клерки-немовлята народжуватимуться з затвердінням на відповідному пальці. Якби гени були

кресленням, це було б легко. Існував би окремий ген для кожного квадратного міліметра (чи іншої маленької одиниці вимірювання) шкіри. Вся поверхня шкіри дорослого банківського клерка «сканувалася» б, інформація про твердість кожного квадратного міліметра ретельно записувалася б і поверталася б назад, до генів цього конкретного квадратного міліметра, — зокрема до відповідних генів у сперматозоїдах.

Але гени не є кресленням. Гена кожного квадратного міліметра в жодному сенсі не існує. Дорослий організм аж ніяк не можна сканувати, повернувши його опис назад до генів. «Координати» мозолі не можна «відшукати» в генетичній інформації, змінивши «відповідні» гени. Ембріональний розвиток є процесом, в якому беруть участь усі робочі гени, — процесом, який за правильного перебігу в потрібному напрямку дає в результаті дорослий організм, але цей процес за самою своєю природою є глибоко незворотним. Успадкування набутих характеристик не лише *не* відбувається — воно *не може* відбуватись у жодної життєвої форми, ембріональний розвиток якої є епігенетичним, а не преформістським. Будь-який біолог, що обстоює ідеї ламаркізму (хоча він може бути шокований, почувши це), опосередковано обстоює також ідеї атомістичної, детерміністської, редукціоністської ембріології. Я не хотів навантажувати пересічного читача цією вервечкою претензійних жаргонних слівець, але просто не міг стримати іронію, бо біологи, що сьогодні найближче підійшли до співчуття ламаркізму, також надзвичайно полюбляють використовувати ті самі жаргонізми, критикуючи інших.

Це не означає, що десь у Всесвіті не може існувати якоїсь інопланетної системи життя, в якій ембріологія *таки* є преформістською, — життєвої форми, що справді має «генетику за принципом креслення», а тому справді здатна успадковувати набуті характеристики. Наразі я лише показав, що ламаркізм несумісний із відомою нам ембріологією. Моє твердження на початку цього розділу було глибшим: навіть якби набуті характеристики *могли* успадковуватись, теорія

Ламарка все одно була б не здатна пояснити адаптивну еволюцію. Це твердження є настільки потужним, що може бути застосоване до всіх життєвих форм у всьому Всесвіті. Воно базується на двох лініях міркувань, одна з яких пов'язана з труднощами щодо принципу використання й невикористання, а друга — з подальшими проблемами зі спадковістю набутих характеристик. Я розгляну їх у зворотному порядку.

У самій своїй основі проблема з набутими характеристиками полягає ось у чому. Успадкування набутих характеристик — це, звісно, добре, але не всі набуті характеристики є покращеннями. По суті, переважна більшість із них є ушкодженнями й погіршеннями. Очевидно, що якби успадковувались усі набуті характеристики без розбору (зламані ноги та шрами від віспи передавалися б із покоління в покоління так само, як загрубілі підошви та засмагла шкіра), то еволюція не просувалася б у загальному напрямку адаптивного покращення. Більшість характеристик, які будь-яка машина набуває з віком, зазвичай є накопиченням руйнівних впливів часу — зношуванням. Якби вони збиралися разом якимось процесом сканування й поверталися до креслення наступного покоління, то наступні покоління ставали б дедалі немічнішими. Замість того, щоб стартувати зі свіжого, нового креслення, кожне нове покоління починало б життя обтяженим і наляканим накопиченим ослабленням і ушкодженнями попередніх поколінь.

Ця проблема не обов'язково нездоланна. Не можна заперечувати, що деякі набуті характеристики є покращеннями, і теоретично можливо, що механізм спадковості міг би якимось чином розрізняти покращення й погіршення. Але замислившись над тим, як це розрізнення могло би працювати, ми підходимо до питання, чому набуті характеристики іноді *бувають* покращеннями. Чому, наприклад, ділянки шкіри, що використовуються, на кшталт підошов тих, хто бігає босоніж, стають товстішими та грубішими? На перший погляд здається ймовірнішим, що шкіра стала б тоншою: у більшості машин у процесі зношування деталі тоншають

з тієї очевидної причини, що дрібні частинки матеріалу при цьому втрачаються, а не додаються.

Дарвіністи, звісно, мають на це готову відповідь. Шкіра при зношуванні стає товстішою, бо природний відбір у предковому минулому сприяв тим індивідам, шкіра яких випадково реагувала на зношування таким корисним чином. Так само природний відбір сприяв тим представникам предкових поколінь, які випадково реагували на сонячне світло, стаючи коричневими. Дарвіністи стоять на тому, що єдина причина, чому хоча б меншість набутих характеристик є покращеннями, полягає в існуванні підмурків попереднього дарвінівського відбору. Іншими словами, теорія Ламарка здатна пояснити адаптивне покращення в процесі еволюції, лише, так би мовити, сидячи на спині дарвінівської теорії. За умови наявності на задньому плані дарвінівського відбору, який гарантує корисність деяких набутих характеристик і надає механізм розрізнення корисних і шкідливих надбань, спадковість набутих характеристик теоретично могла би привести до якогось еволюційного покращення. Але *покращення*, хоч яким би воно було, відбувається виключно за рахунок дарвінівських підмурків. Для пояснення адаптивного аспекту еволюції доводиться повертатися до дарвінізму.

Те саме справедливо й для набагато важливішого класу набутих покращень — тих, що групуються під назвою «навчання». Упродовж свого життя тварина стає досвідченішою у справі виживання. Вона засвоює, що для неї добре, а що ні. Її мозок зберігає цілу бібліотеку спогадів про світ, а також про те, які дії зазвичай приводять до бажаних наслідків, а які до небажаних. Відповідно, багато що у поведінці тварини є набутими характеристиками і багато що з цих надбань — «навчання» — насправді заслуговує на те, щоб називатися покращенням. Якби батьки могли якимось чином транскрибувати мудрість життєвого досвіду в свої гени так, аби їхнє потомство народжувалось із уже вбудованою бібліотекою чужого досвіду, готовою для використання, це потомство могло би починати життя на один стрибок попереду. По суті,

можна було б прискорити еволюційний прогрес, оскільки в гени автоматично вбудовувались би засвоєні вміння, навички й мудрість.

Але все це передбачає, що зміни поведінки, які ми називаємо навчанням, по суті, є покращеннями. Чому ж вони обов'язково *мають* бути покращеннями? Тварини дійсно вчаться робити те, що є для них добрим, а не поганим, але чому? Вони зазвичай уникають дій, що в минулому призводили до болю. Але біль не є чимось матеріальним. Біль — це лише те, що мозок розцінює як біль. На щастя, події, що розцінюються як болісні, наприклад насильницьке ушкодження поверхні тіла, випадковим чином водночас є подіями, що зазвичай загрожують виживанню тварини. Але можна легко уявити собі якусь родину тварин, що *насолоджувалися* б ушкодженнями та іншими подіями, що загрожують їхньому виживанню, — родину тварин, мозок яких влаштований так, що отримує задоволення від ушкоджень і вважає болісними стимули на кшталт смаку поживної їжі, що провіщають добро для їхнього виживання. Насправді ми не бачимо таких тварин-мазохістів у світі лише з тієї дарвіністської причини, що мазохістські предки з очевидних причин не дожили до того, щоб залишити нащадків, які успадкували б їхній мазохізм. Можливо, за допомогою штучного відбору в оббитих повстю клітках, у тепличних умовах, де виживання забезпечують цілі команди ветеринарів і доглядачів, нам і вдалося б вивести родину спадкових мазохістів. Але в природі такі мазохісти не вижили б, і це є фундаментальною причиною того, що зміни, які ми називаємо навчанням, зазвичай будуть покращеннями, а не навпаки. Ми знову дійшли висновку, що має існувати дарвінівський підмурок, який гарантуватиме, що набуті характеристики будуть корисними.

Звернімося тепер до принципу використання й невикористання. Для деяких аспектів набутих покращень цей принцип, схоже, працює доволі добре. Існує ж загальне правило, що не залежить від конкретних деталей: «Будь-яка частина тіла, що часто використовується, має вирости більшою,

а будь-яка частина, що не використовується, має стати меншою, якщо взагалі не атрофуватися». Оскільки можна очікувати, що загалом збільшити корисні (а отже, очевидно використовувані) частини тіла буде вигідно, тоді як непотрібних (а отже, очевидно невикористовуваних) частин могло б узагалі не бути, це правило, схоже, має деякий сенс. Тим не менше з принципом використання й невикористання пов'язана велика проблема: навіть якби щодо нього не було жодних інших заперечень, він є занадто грубим інструментом для створення надзвичайно витончених адаптацій, які ми фактично бачимо у тварин і рослин.

Раніше приклад ока вже ставав нам у пригоді, то чому б не скористатися ним знову? Подумайте про складні взаємодії всіх цих робочих частин: кришталика з його надзвичайною прозорістю, корекцією кольору та сферичного викривлення; м'язів, що здатні миттєво фокусувати кришталик на будь-якій цілі від кількох дюймів до безкінечності; ірисової діафрагми чи механізму затемнення, що безперервно тонко налаштовує апертуру ока на кшталт камери із вбудованим експонометром і швидким спеціальним комп'ютером; сітківки з її 125 мільйонами фотоклітин кодування кольору; тонкої мережі кровоносних судин, що живлять кожну деталь цієї машини; ще тоншої мережі нервів — еквівалента з'єднувальних провідків і електронних чипів. А тепер, тримаючи в голові всю цю ювелірну складність організації, спитайте себе, чи могла вона бути зведена разом за допомогою принципу використання й невикористання. Відповідь, як на мене, є очевидно заперечною.

Кришталик є прозорим і відкоригованим проти сферичної та хроматичної аберації. Чи могли такі властивості виникнути виключно завдяки *використанню*? Чи може кришталик промитися до прозорості потоками фотонів, що крізь нього ллються? Чи стане він кращим через те, що використовується, лише з тієї причини, що крізь нього проходить світло? Звісно ж ні. З якого б дива йому це робити? Чи розсортуються клітини сітківки на три кольорочутливі класи лише тому, що їх бомбардує світло різних кольорів? Знову ж

таки, з якого б то дива їм це робити? Коли м'язи для фокусування кришталика вже існують, тренування справді змушує їх ставати дедалі більшими й сильнішими; але саме по собі це не змусить зображення ввійти в точніший фокус. Правда в тому, що принцип використання й невикористання не здатен сформувати нічого, крім найгрубіших і найменш разючих адаптацій.

Дарвінівський відбір, з іншого боку, не має жодних проблем із поясненням кожної крихітної детальки. Наявність гарного зору, точного й достовірного до найменших дрібниць, може бути для тварини питанням життя і смерті. Кришталик, належним чином сфокусований і відкоригований проти аберації, може бути для швидкокрилого птаха на кшталт стрижа головним чинником, що дає йому змогу зловити муху, а не вліпитись у скелю. Добре змодульована ірисова діафрагма, що швидко затемнює кришталик, коли виходить сонце, може бути тим, що допомагає вчасно побачити хижака, щоб утекти, а не бути засліпленим на якусь фатальну мить. Будь-яке покращення ефективності ока, хоч яким би незначним і глибоко захованим у внутрішніх тканинах воно було, може посприяти виживанню та репродуктивному успіхові тварини, а отже, поширенню генів, що обумовлюють це покращення. Таким чином, дарвінівський відбір здатен пояснити еволюцію покращень. Теорія Дарвіна пояснює еволюцію успішного апарату виживання як прямий наслідок самого його успіху. Взаємозв'язок між поясненням і тим, що треба пояснити, є прямим і детальним.

Теорія ж Ламарка, з іншого боку, покладається на хитке й дуже непевне правило: усе, що активно використовується, виграло б, якби стало більшим. Усе зводиться до покладання на кореляцію між розміром того чи іншого органа і його ефективністю. Якщо така кореляція й існує, то вона, безумовно, є надзвичайно слабкою. Дарвінівська теорія, по суті, покладається на кореляцію між *продуктивністю* того чи іншого органа і його ефективністю — кореляцію просто ідеальну! Ця слабкість теорії Ламарка не залежить від деталь-

них фактів про конкретні форми життя, які ми бачимо на цій планеті. Це загальна слабкість, що стосується будь-якого типу адаптивної складності, і я думаю, що вона має стосуватися життя в будь-якому місці Всесвіту, хоч якими б чужими й дивними були його особливості.

Отже, наше спростування ламаркізму вийшло доволі спустошливим. По-перше, його ключове припущення про спадковість набутих характеристик, схоже, є хибним для всіх відомих нам життєвих форм. По-друге, воно не лише є хибним, а й *має* бути хибним для будь-якої життєвої форми, що покладається на епігенетичний («рецепт»), а не преформістський («креслення») тип ембріології, і це стосується всіх досліджених життєвих форм. По-третє, навіть якби припущення теорії Ламарка було правдою, ця теорія в принципі, причому з двох зовсім різних причин, не здатна пояснити еволюцію серйозної адаптивної складності, і не лише на нашій Землі, а й у будь-якому місці Всесвіту. Таким чином, не можна сказати, що ламаркізм є теорією, конкурентною дарвінівській, що виявилася хибною. Ламаркізм взагалі не є конкурентом дарвінізму. Він навіть не є серйозним *кандидатом* на роль пояснення еволюції адаптивної складності. Як потенційний конкурент дарвінізму він був приречений із самого початку.

Існує також кілька інших теорій, що пропонувались (і навіть час від часу досі пропонуються) як альтернативи дарвінівському відбору. І знову я покажу, що насправді вони не є серйозними альтернативами взагалі. Я продемонструю (це насправді очевидно), що всі ці «альтернативи» — «нейтралізм», «мутаціонізм» і т. ін. — можуть відповідати чи не відповідати за якусь частину помітних еволюційних змін, але вони не можуть відповідати за *адаптивні* еволюційні зміни в напрямку створення вдосконалених пристосувань для виживання, таких як очі, вуха, ліктьові суглоби та інструменти ехолокації. Звісно, значна кількість еволюційних змін можуть бути неадаптивними, і в такому випадку ці альтернативні теорії цілком можуть мати важливе значення в деяких аспектах еволюції, але лише в нецікавих, а не в пов'язаних із

особливостями, що відрізняють життя від нежиття. Зокрема, це помітно у випадку нейтралістської теорії еволюції. Вона має довгу історію, але найзрозумілішою є у своєму сучасному, молекулярному вигляді, в якому її активно просуває видатний японський генетик Мотоо Кімура, чий стиль викладу англійською, до речі, може присоромити багатьох носіїв цієї мови.

Із нейтралістською теорією ми вже побіжно зустрічалися. Її суть, як ви пам'ятаєте, полягає в тому, що різні версії однієї молекули, наприклад молекули гемоглобіну, що відрізняються нюансами амінокислотної послідовності, працюють однаково добре. Це означає, що з погляду природного відбору мутації від однієї альтернативної версії гемоглобіну до іншої є *нейтральними*. Нейтралісти вважають, що переважна більшість еволюційних змін на рівні молекулярної генетики є нейтральними — *випадковими* щодо природного відбору. Представники ж альтернативної школи генетики, яких називають селекціоністами, вважають, що природний відбір є потужною силою навіть на рівні найменшої деталі в усіх точках молекулярного ланцюжка.

Тут важливо розрізняти два абсолютно різних питання. Перше має стосунок до теми цього розділу: чи є нейтралізм альтернативою природному відбору як пояснення адаптивної еволюції? Друге ж питання зовсім інше: чи є більшість еволюційних змін, що насправді відбуваються, адаптивними? За умови, що ми говоримо про еволюційні зміни від однієї форми молекули до іншої, яка ймовірність того, що ці зміни здійснюються шляхом природного відбору, і яка ймовірність того, що це будуть нейтральні зміни унаслідок випадкового дрейфу? Навколо другого питання серед молекулярних генетиків точаться запеклі баталії, гору в яких бере то одна сторона, то друга. Але якщо ми зосередимо увагу на адаптації (першому питанні), то побачимо, що все це — буря у склянці води. Для нас нейтральна мутація може взагалі не існувати, бо ані ми, ані природний відбір не здатні її побачити. Коли ми розмірковуємо про ноги, руки, крила, очі та поведінку, нейтральна мутація — то взагалі *не* мутація!

Повертаючись до аналогії з рецептом, страва смакуватиме так само, навіть якщо якісь слова рецепта «мутують» і почнуть писатися іншим шрифтом. Для тих, кого цікавить готова страва, рецепт залишається тим самим, хоч у якому б вигляді його надрукували: так, *так* чи **так**. Молекулярні генетики схожі на педантичних друкарів. Вони переймаються фактичною формою слів, якими написано рецепти. Природний же відбір цим не переймається, як не слід цього робити й нам, коли ми говоримо про еволюцію адаптацій. Коли ж ідеться про інші аспекти еволюції, наприклад про швидкість еволюції в різних спадкових ліній, нейтральні мутації мають викликати значно більший інтерес.

Навіть найпалкіший нейтраліст доволі легко погодиться, що за всі адаптації відповідає природний відбір. Він стверджуватиме лише те, що більшість еволюційних змін не є адаптаціями. Він цілком може мати рацію, хоча одна школа генетиків із цим явно не згодна. Не втручаючись у цю суперечку, особисто я сподіваюся, що нейтралісти переможуть, бо це значно полегшить виявлення еволюційних взаємозв'язків і темпів еволюції. Обидві сторони погоджуються в тому, що нейтральна еволюція не може привести до адаптивного покращення з тієї простої причини, що вона є, за визначенням, випадковою, тоді як адаптивне покращення є, за визначенням, невипадковим. І знову, ми не змогли знайти якоїсь альтернативи дарвінівському відбору як поясненню тієї особливості життя, що відрізняє його від нежиття, а саме адаптивної складності.

Тепер перейдімо до іншого відомого з історії конкурента дарвінізму — теорії «мутаціонізму». Сьогодні нам важко її осягнути, але на початку XX століття, коли явище мутації вперше отримало свою назву, вона розцінювалася не як необхідна частина дарвінівської теорії, а як *альтернативна* теорія еволюції! Існувала школа генетиків, так звані мутаціоністи, до якої належали такі відомі вчені, як Гуґо де Фріз і Вільям Бейтсон (одні з перших перевідкривачів принципів спадковості Менделя), Вільгельм Йоганнсен (винахідник

слова «ген») і Томас Гант Морґан (автор хромосомної теорії спадковості). Де Фріз був особливо вражений масштабами змін, які може викликати мутація, і вважав, що нові види завжди породжуються однією-єдиною великою мутацією. На пару з Йоганнсеном він вірив, що більшість змін *усередині* виду є негенетичними. Усі мутаціоністи були переконані, що відбір у найкращому разі відіграє в еволюції роль прополювача. Справжньою ж творчою силою є мутація й лише вона. Менделівська генетика вважалася не головною опорою дарвінізму, як сьогодні, а його антитезою.

Сучасному біологу може бути дуже важко не посміятися з такої ідеї, але нам геть не слід вдаватися до зверхнього тону самого Бейтсона: «Ми звертаємося до Дарвіна через його незрівнянне зібрання фактів, [але] він для нас більше не є філософським авторитетом. Ми читаємо його схему еволюції, як читали б Лукреція чи Ламарка». А ось іще: «...як сьогодні багато хто з нас розуміє, трансформація мас населення невідчутними кроками, керованими відбором, настільки не відповідає дійсності, що можна лише дивуватись як браку проникливості, демонстрованому прихильниками цієї ідеї, так і вмінню переконувати, завдяки якому її зробили схожою на прийнятну хоча б на деякий час». Ситуацію змінив головним чином Р. А. Фішер, який показав, що менделівська дискретна спадковість насправді є далеко не антитезою дарвінізму, а його невіддільною складовою.

Мутації необхідні для еволюції, але як комусь узагалі могло спасти на думку, що вони є достатніми її умовами? Еволюційна зміна є *покращенням* значно більшою мірою, ніж можна було б очікувати від самого лише випадку. Проблема з мутацією як єдиною еволюційною силою звучить просто: з якого б то дива мутація *«знала»*, що саме для тварини буде добре, а що ні? Переважна більшість усіх можливих змін, які тільки могли б відбутися з уже наявним складним механізмом на кшталт якогось органа, зроблять його тільки гіршим. Лише крихітна меншість змін його покращать. Усі, хто хоче довести, що мутація без відбору є рушійною силою

еволюції, мають пояснити, як так виходить, що мутації зазвичай бувають на краще. За допомогою якої такої загадкової внутрішньої мудрості організм вирішує мутувати в напрямку саме покращення, а не погіршення? Як бачите, насправді це те саме питання, тільки сформульоване іншими словами, яке ми порушували щодо ламаркізму. Зайве говорити, що мутаціоністи на нього так і не відповіли. Дивно те, що вони взагалі, схоже, не переймалися цим питанням.

У наші дні (причому несправедливо) це здається нам іще абсурднішим, бо ми виховані в переконанні, що мутації є «випадковими». Якщо мутації є випадковими, то вони, за визначенням, не можуть вести до покращення. Але ж представники школи мутаціоністів, ясна річ, мутації випадковими не вважали. Вони були переконані, що організм має вбудовану тенденцію змінюватися в одних напрямках, а не в інших, хоча й залишали відкритим питання про те, як організм «знає», які зміни були б добрими для нього в майбутньому. Хоча ми й відкидаємо це як містичну маячню, для нас важливо точно визначити, що ми маємо на увазі, коли говоримо, що мутації є випадковими. Випадковість буває різною, і багато людей плутають різні значення цього слова. Насправді в багатьох аспектах мутації не випадкові. Я лише наполягатиму, що ці аспекти *не* містять жодного еквівалента передбачення того, що покращить життя тварини. А якийсь еквівалент передбачення був би справді необхідним, якби мутація без відбору використовувалася для пояснення еволюції. Тому буде повчально подивитися трохи уважніше на те, в якому сенсі мутації є випадковими, а в якому ні.

Перший аспект, в якому мутації є невипадковими, буде таким. Мутації не відбуваються спонтанно, а спричиняються певними фізичними подіями. Вони викликаються так званими «мутагенами» (небезпечними, бо з них часто починається рак) — рентгенівськими й космічними променями, радіоактивними речовинами, різноманітними хімічними сполуками й навіть іншими генами, які називаються «гени-мутатори». По-друге, не всі гени будь-якого виду мутують з однаковою

ймовірністю. Кожен локус хромосом має свою власну характерну для нього *частоту мутацій*. Наприклад, частота, з якою мутація створює ген хореї Гантінґтона (хвороби, аналогічної танцю святого Віта), що вбиває людей на початку середнього віку, становить приблизно 1 на 200 тисяч. Відповідна частота для ахондроплазії (знайомого багатьом синдрому карликовості, характерного для басет-гаундів і такс, коли кінцівки виростають занадто короткими для тіла) приблизно в 10 разів вища. Ці частоти вимірюються за звичайних умов. За умови ж впливу мутагенів на кшталт рентгенівських променів частоти мутацій зростають. Деякі частини хромосоми є так званими «гарячими точками» з високим оборотом генів — дуже високою локальною частотою мутацій.

По-третє, в кожному локусі хромосом, «гаряча» це точка чи ні, мутації в певних напрямках можуть бути ймовірнішими, ніж у зворотних. Це породжує явище, відоме як «мутаційний тиск», що може мати еволюційні наслідки. Навіть якщо, наприклад, дві форми молекули гемоглобіну (форма 1 і форма 2) є нейтральними з погляду відбору в тому сенсі, що вони обидві однаково добре переносять кисень у крові, мутації від першої до другої все одно можуть бути поширенішими, ніж зворотні мутації від другої до першої. У цьому випадку мутаційний тиск матиме тенденцію робити форму 2 поширенішою, ніж форму 1. Мутаційний тиск у конкретному локусі хромосоми вважається нульовим, якщо частота прямих мутацій у цьому локусі точно врівноважується частотою зворотних мутацій.

Тепер ми бачимо, що питання про те, чи є мутації насправді випадковими, аж ніяк не тривіальне. Відповідь на нього залежить від того, в якому значенні розуміти слово «випадкові». Якщо говорити про «випадкові мутації» в тому сенсі, що на них не впливають зовнішні умови, то ця заява спростовується рентгенівськими променями. Якщо думати, що вислів «випадкові мутації» означає однакову ймовірність мутації всіх генів, то на невипадковість мутацій указують «гарячі точки». Якщо ж вважати, що поняття «випадкові мутації» означає нульовий мутаційний тиск у всіх локусах

хромосом, то мутації знову не є випадковими. По-справжньому випадковими мутації є, лише якщо вживати слово «випадкові» у значенні «жодного загального зсуву в бік покращення організму». Усі три типи справжньої невипадковості, які ми розглянули, безсилі зсунути еволюцію в напрямку адаптивного покращення на противагу будь-якому іншому (функціонально) «випадковому» напрямку. Існує й четвертий тип невипадковості, для якого це також справедливо, але трохи менш очевидно. Доведеться приділити йому деякий час, бо він усе ще збиває з пантелику навіть деяких сучасних біологів.

Є люди, для яких слово «випадкові» має, на мою думку, доволі химерне значення. Я процитую висловлювання двох опонентів дарвінізму, П. Сондерса та М.-В. Го, щодо їхнього уявлення про погляди дарвіністів на «випадкові мутації»: «Неодарвіністська концепція випадкової мінливості несе в собі ту велику помилку, що все збагненне є можливим». «*Усі* зміни вважаються можливими, причому всі *однаково ймовірними*» (курсив мій). Аж ніяк не поділяючи таку віру, я взагалі не розумію, як можна було б почати в це вірити, навіть *теоретично*! Як узагалі можна було б вважати, що «всі» зміни є однаково ймовірними? *Усі* зміни? Щоби дві речі чи більше були «однаково ймовірними», необхідно, аби ці речі можна було визначити як окремі події. Наприклад, можна сказати: «Голови і хвости є однаково ймовірними», бо розвиток голів і розвиток хвостів є двома окремими подіями. Але «всі можливі» зміни тіла тварини не є окремими подіями такого типу. Візьмімо дві можливі події: «видовження коров'ячого хвоста на один дюйм» і «видовження коров'ячого хвоста на два дюйми». Чи є вони окремими подіями, а тому «однаково ймовірними»? Чи, може, вони є просто кількісними варіантами однієї й тієї самої події?

Очевидно, що перед нами своєрідна карикатура на дарвініста, уявлення якого про випадковість є надзвичайно абсурдним, якщо не вкрай безглуздим. Мені навіть знадобився деякий час, аби усвідомити, що це карикатура, настільки вона була чужою відомому мені способу мислення дарвіністів. Але

тепер я таки, здається, в ній розібрався і спробую пояснити її, бо вважаю її корисною для нашого розуміння того, що стоїть за доволі багатьма нібито запереченнями дарвінізму.

Мінливість і відбір працюють разом, породжуючи еволюцію. Дарвіністи кажуть, що мінливість є випадковою в тому сенсі, що вона не спрямована на покращення і що за тенденцію до покращення в процесі еволюції відповідає відбір. Можна уявити своєрідний континуум еволюційних доктрин із дарвінізмом на одному його краю та мутаціонізмом на іншому. Запеклий мутаціоніст вважає, що відбір не відіграє в еволюції жодної ролі. Напрямок еволюції визначається напрямком запропонованих мутацій. Наприклад, візьмемо збільшення головного мозку людини, що відбулося за останні кілька мільйонів років нашої еволюції. Дарвіністи кажуть, що мінливість, запропонована відбору мутацією, охоплювала особин із меншими мізками та з більшими й відбір віддав перевагу останнім. Мутаціоністи ж кажуть, що зсув на користь більших мізків був закладений уже в мінливості, запропонованій мутацією, — жодного відбору (або потреби в ньому) після запропонованої мінливості не було, а мізки стали більшими через зсув мутаційних змін у напрямку більших мізків. Якщо підсумувати, то ідея тут така: в еволюції стався зсув на користь більших мізків, який міг бути викликаний самим лише відбором (дарвіністський погляд) або самою лише мутацією (мутаціоністський погляд), причому між цими двома поглядами можна уявити континуум, своєрідний компроміс між двома можливими джерелами еволюційного зсуву. Проміжний погляд полягав би в тому, що стався *якийсь* зсув у мутаціях у бік збільшення мозку й відбір збільшував цей зсув у популяціях, які виживали.

Певна карикатурність спостерігається в уявленні про те, що мають на увазі дарвіністи, коли говорять, що в мутаційній мінливості відбору не пропонується жодного зсуву. Для мене як реального дарвініста це означає лише, що мутація не зсувається систематично в напрямку адаптивного покращення. Але для перебільшеного, карикатурного дарвініста

це означає, що всі збагненні зміни є «однаково ймовірними». Якщо відкласти вбік логічну неможливість такої віри, на що вже вказувалось, ця карикатура на дарвініста начебто вірить, що організм є безмежно піддатливою глиною, готовою бути виліпленою всемогутнім відбором у будь-яку форму, якій той сприятиме. Важливо усвідомлювати відмінність між реальним дарвіністом і карикатурним. Для цього ми скористаємося конкретним прикладом того, чим відрізняються пристосування до польоту в кажанів і ангелів.

Ангелів зазвичай зображують із крилами, що ростуть зі спини, залишаючи їхні руки не вкритими пір'ям. Кажани, з іншого боку, так само, як птахи та птеродактилі, окремих передніх кінцівок не мають. Передні кінцівки їхніх предків переросли в крила й не можуть використовуватись (або можуть, але вони будуть при цьому дуже незграбними) для інших цілей, таких як утримання їжі. А тепер подивимось, якою могла би бути розмова між реальним дарвіністом і карикатурою на нього.

Дарвініст Цікаво, чому кажани не розвинули в себе ангельські крила. Адже вільна пара передніх кінцівок їм би явно не завадила. Миші ж постійно використовують свої передні кінцівки для утримання їжі та її обгризання, а в кажанів вони відсутні, і на землі ці тварини мають жахливо незграбний вигляд. Припускаю, однією з причин може бути те, що мутація не забезпечила необхідну для цього мінливість. В історії так і не з'явився якийсь мутантний предковий кажан, що мав би зачатки крил у вигляді відростків посеред спини.

Карикатура Маячня. За все відповідає відбір. Якщо кажани не отримали крил як у ангелів, це може означати лише, що відбір не сприяв крилам як у ангелів. Безумовно, існували мутантні кажани з зачатками крил у вигляді відростків посеред спини, але відбір просто їм не сприяв.

Дарвініст Гаразд, я абсолютно згоден, що відбір міг би не сприяти їм, якби вони *таки* виросли. З тієї простої причини, що вони збільшили б загальну вагу тварини, а зайва вага є розкішшю, яку не може собі дозволити жоден літальний апарат. Але ж ви, сподіваюся, не думаєте, що, *хоч чому б там* відбір, у принципі, сприяв, мутація завжди пропонує необхідну мінливість?

Карикатура Звісно ж, думаю. За все відповідає відбір. Мутації є випадковими.

Дарвініст Ну, добре, мутації є випадковими, але це означає лише, що вони не можуть зазирнути в майбутнє і спланувати, що було б добре для тварини. Це не означає, що можливо абсолютно *все*. Чому ви вважаєте, жодна тварина не дихає вогнем із ніздрів, як дракон, наприклад? Чи це не було б корисно для вловлювання й приготування здобичі?

Карикатура Все просто. За все відповідає відбір. Тварини не дихають вогнем, бо їм би це не окупилося. Природний відбір усунув вогнедишних мутантів, можливо, тому, що виробництво вогню було надто енерговитратним.

Дарвініст Не думаю, що вогнедишні мутанти взагалі існували. А якби й існували, то, мабуть, сильно ризикували б попалити самих себе!

Карикатура Маячня. Якби це було єдиною проблемою, то відбір посприяв би еволюції ніздрів, вимощених азбестом.

Дарвініст Я не вірю, щоб якась мутація взагалі дала ніздрі, вимощені азбестом. У те, що мутантні тварини

здатні виробляти азбест, я вірю не більше, ніж у те, що мутантні корови здатні стрибати вище Місяця.

Карикатура Природний відбір одразу б усунув будь-яку мутантну корову, що стрибає вище Місяця. Щоб ви знали, там немає кисню.

Дарвініст Дивно, що ви не припускаєте існування мутантних корів із генетично обумовленими космічними скафандрами та кисневими масками.

Карикатура Цікава думка! Як на мене, справжнім поясненням має бути те, що вміння стрибати вище Місяця просто не окупилося б коровам. Адже не треба забувати про енергозатрати задля досягнення другої космічної швидкості.

Дарвініст Та це абсурд.

Карикатура Ви — явно не справжній дарвініст. Хто ви? Якийсь прихований мутаціоніст-девіаціоніст?

Дарвініст Якщо ви так думаєте, то ще не зустрічалися зі справжнім мутаціоністом.

Мутаціоніст У вас тут суперечка тільки між дарвіністами чи приєднатися може будь-хто? Ваша проблема в тому, що ви обидва занадто велику вагу надаєте відбору. Але ж він здатен лише викорінювати значні дефекти й дивацтва. Він не здатен породжувати справді конструктивну еволюцію. Повернімося до еволюції кажанячих крил. Насправді сталося те, що в якійсь давній популяції сухопутних тварин почали відбуватися мутації з видовженням пальців і появою складок шкіри між ними. З плином поколінь ці мутації

ставали дедалі частішими, допоки врешті-решт уся популяція не отримала крила. Це не має нічого спільного з відбором. Крила еволюціонували виключно через внутрішню тенденцію в будові тіла предкового кажана.

Дарвініст та Карикатура (в один голос) Дрімучий містицизм! Повертайтесь у минуле століття, де вам і місце.

Сподіваюся, з мого боку буде не надто самовпевнено припустити, що читач не симпатизує ані мутаціоністові, ані карикатурі на дарвініста. Думаю, він погоджується з реальним дарвіністом, як, звісно, і я сам. Насправді такого карикатурного дарвініста в природі не існує. На жаль, деякі люди *думають*, що він існує, і вважають, що оскільки вони не згодні з ним, то не згодні й із самим дарвінізмом. Існує ціла школа біологів, які взяли моду говорити щось на кшталт того, що проблема дарвінізму полягає в його нехтуванні обмеженнями, які накладає ембріологія. Дарвіністи (і тут на сцені з'являється карикатура) думають, що якби відбір сприяв якійсь збагненній еволюційній зміні, то необхідна мутаційна мінливість неодмінно знайшлася б. Мутаційна зміна є однаково ймовірною в будь-якому напрямку: зсув забезпечується виключно відбором.

Але будь-який реальний дарвініст визнав би, що, хоча будь-який ген будь-якої хромосоми може мутувати в будь-який час, наслідки мутації для *організмів* жорстко обмежені процесами ембріології. Якби я колись у цьому засумнівався (а такого жодного разу не було), мої сумніви розвіяла б моя ж власна комп'ютерна модель біоморфів. Не можна просто теоретично припускати мутацію у вигляді відростання крил посеред спини. Крила або щось інше можуть з'явитися, лише якщо їм це дозволяє процес розвитку. Магічним чином

нічого не «відростає». Це робиться виключно за рахунок процесів ембріонального розвитку. Усталений порядок процесів розвитку насправді дозволяє еволюцію лише меншості збагнених речей. Шляхом розвитку передніх кінцівок мутації можуть збільшити довжину пальців і спричинити зростання складок шкіри між ними. Але в ембріології спини може не виявитись нічого, що дозволило б «відростити» ангельські крила. Гени можуть мутувати хоч до посиніння, але жоден ссавець ніколи не відростить собі крила, як у ангела, допоки його процеси ембріологічного розвитку не допускатимуть такого типу змін.

А поки ми не знаємо всіх подробиць розвитку ембріонів, залишається простір для суперечок щодо ймовірності існування чи неіснування конкретної уявної мутації взагалі. Наприклад, може виявитись, що в ембріології ссавців не існує нічого, що забороняло б ангельські крила, і що карикатурний дарвініст мав рацію у цьому *конкретному* випадку, припускаючи, що відростки ангельських крил виникали, але відбір їм не сприяв. Або може виявитись, що, дізнавшись про ембріологію трохи більше, ми побачимо, що ангельські крила завжди були чимось нездійсненним, а тому відбір просто не мав шансу їм посприяти. Існує й третя можливість, яку слід згадати для повноти картини, — що ембріологія ніколи не дозволяла появи ангельських крил, а відбір ніколи не сприяв би їм, навіть якби вони з'явилися. Але на чому варто наполягати, так це на тому, що ми не можемо собі дозволити ігнорувати обмеження, які накладає на еволюцію ембріологія. Усі серйозні дарвіністи з цим погодяться, однак деякі люди зображують дарвіністів як таких, що це заперечують. Виходить, що люди, які зчиняють галас з приводу «ембріональних обмежень» як нібито антидарвінівської сили, плутають дарвінізм із карикатурою на нього, яку я висміював вище.

Усе це почалося з дискусії про те, що ми маємо на увазі, коли говоримо, що мутації є «випадковими». Я перерахував три аспекти, в яких мутації не є випадковими: їх викликають

рентгенівські промені абощо; частота мутацій є різною для різних генів; частота прямих мутацій не має обов'язково дорівнювати частоті зворотних. Тепер додамо до цього списку четвертий аспект, у якому мутації також не є випадковими. Мутації є невипадковими в тому сенсі, що вони здатні вносити зміни лише до *наявних* процесів ембріонального розвитку. Вони не здатні знічев'я вичаклувати будь-яку збагненну зміну, якій міг би посприяти відбір. Доступна для відбору мінливість обмежена ембріологічними процесами в їхньому фактичному вигляді.

Існує також п'ятий аспект, в якому мутації *могли би* бути невипадковими. Можна уявити (всього лише) якусь форму мутації, що систематично зсувалась у напрямку покращення адаптованості тварини до умов її життя. Але хоча її можна уявити, ніхто й ніколи навіть близько не припускав існування якихось механізмів, за рахунок яких міг би виникнути такий зсув. Лише в цьому п'ятому, «мутаціоністському» аспекті реальний дарвініст наполягає, що мутації є випадковими. У цьому п'ятому сенсі мутації несистематично зсуваються в напрямку адаптивного покращення, і нам не відомий жодний механізм (м'яко кажучи), який міг би скеровувати мутації в напрямках, що є невипадковими. Мутації випадкові щодо адаптивних переваг, однак невипадкові в будь-яких інших аспектах. У напрямках, що є невипадковими стосовно переваги, еволюцію скеровує відбір і лише відбір. Мутаціонізм не просто не має рації у цьому випадку. Він узагалі ніколи не міг би мати рацію. Він у принципі не здатен пояснити еволюцію покращень. Нарівні з ламаркізмом мутаціонізм є не спростованим конкурентом дарвінізму, а взагалі не конкурентом.

Те саме справедливо для мого наступного уявного конкурента дарвінівського відбору, за якого ратує кембриджський генетик Ґабріель Довер, під дивною назвою «молекулярний двигун». (Зважаючи на те, що все складається з молекул, незрозуміло, чому гіпотетичний процес Довера заслуговує на назву *молекулярний* двигун хоч трохи більше за будь-який

інший еволюційний процес. Мені це нагадує одного знайомого, який любив напустити туману, а потім сміливо шукав шлях крізь нього.) Як ми вже бачили, Мотоо Кімура та інші прихильники нейтралістської теорії еволюції не роблять щодо своєї теорії якихось хибних заяв. Вони не мають ілюзій щодо випадкового дрейфу як можливого конкурента природного відбору в справі пояснення адаптивної еволюції. Вони усвідомлюють, що лише природний відбір може рухати еволюцію в адаптивних напрямках. Вони лише стверджують, що багато еволюційних змін (у тому вигляді, як їх бачать молекулярні генетики) не є адаптивними. Довер же щодо своєї теорії робить зовсім не такі скромні заяви. Він вважає, що може пояснити *всю* еволюцію без участі природного відбору, хоча допускає великодушно, що і в природному відборі може бути *частка* істини!

Упродовж усієї цієї книжки нашим першим ресурсом у розгляді таких питань служив приклад ока, хоча він, ясна річ, є лише одним із представників великого набору органів, надто складних і добре задуманих, аби вони могли виникнути випадковим чином. Я неодноразово повторював, що ніщо, крім природного відбору, навіть близько не пропонує правдоподібного пояснення виникнення людського ока та подібних до нього органів надзвичайної досконалості й складності. На щастя, Довер відкрито взяв на себе сміливість запропонувати власне пояснення еволюції ока. Припустімо, каже він, що для появи ока з нічого необхідна тисяча кроків. Це означає, що для перетворення ділянки голої шкіри на око необхідна послідовність із тисячі генетичних змін. Мені це здається прийнятним припущенням заради суперечки. З погляду Землі біоморфів це означає, що тварину з ділянкою голої шкіри на писку від тварини з очима відділяє тисяча генетичних кроків.

А тепер як ми пояснимо той факт, що було зроблено саме той, правильний, набір із тисячі кроків, що привів до появи відомого нам ока? Пояснення на основі природного відбору добре відоме. Якщо звести його до найпростішої форми, то

на кожному з цієї тисячі кроків мутації пропонували низку альтернатив, з яких відбір сприяв лише одній, бо вона допомагала виживанню. Тисяча кроків еволюції відображують тисячу послідовних точок вибору, на кожній з яких більшість можливих альтернатив вели до смерті. Адаптивна складність сучасного ока є кінцевим продуктом тисячі успішних несвідомих «виборів». Вид пройшов конкретним шляхом через лабіринт усіх можливостей. На цьому шляху була тисяча точок розгалуження, і на кожній виживали ті особини, що випадково обирали поворот, який вів до кращого зору. Узбіччя цього шляху всіяне мертвими тілами невдах, що обрали не той поворот на кожній із тисячі послідовних точок вибору. Відоме нам сьогодні око є кінцевим продуктом послідовності з тисячі успішних селективних «виборів».

Це було пояснення еволюції ока за тисячу кроків з погляду природного відбору (один зі способів його висловити). А як щодо пояснення з погляду теорії Довера? По суті, він стверджує, що не має особливого значення, який вибір робила спадкова лінія на кожному кроці: заднім числом вона однаково знайшла б застосування отриманому органу. За його словами, кожен крок, який робила спадкова лінія, був випадковим. На першому кроці, наприклад, на весь вид поширилась якась випадкова мутація. Оскільки свіжоотримана характеристика була функціонально випадковою, вона не допомагала виживанню тварин. Тому тварини почали шукати в світі нове місце існування чи новий спосіб життя, де вони могли б використовувати цю нову випадкову властивість, що була нав'язана їхнім тілам. Знайшовши нові умови існування, які відповідали цій випадковій частині їхніх тіл, вони жили там упродовж певного часу, допоки не виникла нова випадкова мутація, що поширилась на весь вид. Тоді тваринам довелося шукати у світі нове місце існування чи новий спосіб життя, де вони могли би застосувати цю нову випадкову частину тіла. Коли ж вони його знайшли, це стало завершенням другого кроку. Після цього на весь вид поширилася випадкова мутація третього кроку... І так далі

впродовж тисячі кроків, наприкінці якої було сформовано відоме нам сьогодні око. Довер наголошує, що людське око використовує світло, яке ми називаємо «видимим», а не інфрачервоне. Але якби випадкові процеси раптом надали нам очі, чутливі до інфрачервоного світла, то ми, безперечно, використовували б їх на повну і знайшли спосіб життя, за якого були б максимально задіяні інфрачервоні промені.

На перший погляд у цій ідеї є певна приваблива правдоподібність, але лише на дуже побіжний перший погляд. Ця привабливість породжена чітко симетричним способом, яким природний відбір перевертається з ніг на голову. У своїй найпростішій формі природний відбір припускає, що саме умови навколишнього середовища нав'язуються виду, після чого виживають ті генетичні варіанти, які найкраще пристосовані до цього навколишнього середовища. Нав'язуються умови середовища, а вид еволюціонує, щоб їм відповідати. Теорія ж Довера подає все це з точністю до навпаки. Тут «нав'язується» саме природа виду, в цьому випадку чергуванням мутацій, а також іншими внутрішніми генетичними силами, до яких він має особливий інтерес. Після цього вид обирає з набору всіх умов навколишнього середовища ті, які найкраще підходять нав'язаній йому природі.

Але привабливість симетрії є насправді поверховою. Варто лише поглянути на ідею Довера з позиції чисел, як її фантастична нездійсненність постає в усій своїй красі. Суть його схеми полягає в тому, що на кожному з тисячі еволюційних кроків не мало значення, який шлях обирав вид. Кожна інновація, якої набував вид, була функціонально випадковою, а вже потім вид знаходив навколишнє середовище, яке їй відповідало. Суть у тому, що вид *знайшов би* придатне навколишнє середовище на будь-якій гілці, обраній на кожній розвилці свого довгого шляху. А тепер поміркуйте, скільки можливих навколишніх середовищ це дає нам для теоретичного припущення. Там була тисяча точок розгалуження. Якщо кожна точка розгалуження була просто роздвоєнням (обережне припущення, на відміну від 3-стороннього чи

18-стороннього розгалуження), то загальна кількість придатних для життя навколишніх середовищ, що повинні в принципі існувати, аби уможливити роботу схеми Довера, становить цифру 2 в тисячному ступені (перше розгалуження дає два шляхи; потім кожен із них розгалужується ще на два, утворюючи загалом чотири; потім кожен із них розгалужується, даючи 8; потім 16, 32, 64... і так аж до 2^{1000}). Це число можна записати як 1 із 301 нулем, що набагато більше, ніж загальне число атомів у всьому Всесвіті.

Доверівський уявний конкурент природному відбору просто не міг би запрацювати — не те що за мільйон років, а й за час, у мільйон разів довший за існування Всесвіту, навіть у мільйоні всесвітів, кожен з яких існував би ще в мільйон разів довше. Зверніть увагу, що на цей висновок суттєво не вплинула б навіть зміна початкового припущення Довера, що для створення ока знадобилася б тисяча кроків. Якщо зменшити це число лише до 100 кроків, що було б, мабуть, недооцінюванням, ми все одно доходимо висновку, що набір можливих придатних для життя навколишніх середовищ, які мають чекати свого часу, щоб відповісти тому випадковому кроку, який може зробити спадкова лінія, є більшим, ніж мільйон мільйонів мільйонів мільйонів мільйонів. Це число менше за попереднє, але воно все ще означає, що кожне з переважної більшості «навколишніх середовищ» Довера, які чекають свого часу, мало б складатися менш ніж з одного-єдиного атома.

Варто пояснити, чому теорія природного відбору невразлива до симетричного спростування тією чи іншою версією «аргументу великих чисел». У розділі 3 ми уявляли, що всі реальні та збагненні тварини сидять у гігантському гіперпросторі. Тут ми також робимо щось подібне, але спрощуємо, уявляючи точки еволюційного розгалуження 2-сторонніми, а не 18-сторонніми. Таким чином, набір з усіх можливих тварин, що могли б виникнути за тисячу еволюційних кроків, розташовується на величезному дереві, що розгалужується й розгалужується, причому загальна кількість гілочок

становить зрештою 1 із 301 нулем. Будь-яку фактичну еволюційну історію можна представити як конкретний шлях через це гіпотетичне дерево. З усіх можливих еволюційних переходів за весь час фактично відбулася лише меншість. Більшу частину цього «дерева всіх можливих тварин» можна уявити прихованим у темряві небуття. То тут, то там на цьому темному дереві висвітлюється доволі обмежена кількість траєкторій. Це й є еволюційні переходи, що фактично відбулися, і хоч якими б численними були ці висвітлені гілки, вони все одно є безкінечно малою частиною набору всіх розгалужень. Природний відбір є процесом, здатним обирати свій шлях через дерево усіх збагненних тварин і знаходити саме ту меншість переходів, що є придатними для життя. Теорію природного відбору не можна атакувати тим різновидом аргументу великих чисел, яким я атакував теорію Довера, бо сутність теорії природного відбору якраз і полягає в тому, що вона безперервно обрізає більшість гілок дерева. Саме це природний відбір і робить. Він покроково обирає свій шлях через дерево усіх збагненних тварин, уникаючи майже нескінченно великої більшості непридатних для життя розгалужень (тварин з очима на підошвах ніг тощо), які теорія Довера зобов'язана допускати згідно з природою її своєрідної перевернутої з ніг на голову логіки.

От ми й розібралися з усіма нібито альтернативами теорії природного відбору, крім найстарішої. Це теорія, що життя було створене (або його еволюція керувалась) якимось свідомим проектувальником. Очевидно, було б до нечесного легко розвінчати якусь конкретну версію цієї теорії на кшталт тієї (чи, може, тих двох), що викладена в біблійній книзі Буття. Майже всі народи понавигадували собі міфів про створення світу, і біблійна історія — лише одна з них, що випадково була прийнята одним конкретним племенем близькосхідних скотарів. Тож вона має не більше права на якийсь особливий статус, ніж віра якогось конкретного західноафриканського племені, що світ був створений з екскрементів мурах. Спіль-

ним же для всіх цих міфів є те, що вони базуються на свідомих намірах якоїсь надприродної істоти.

На перший погляд між тим, що можна назвати «миттєвим створенням», і «керованою еволюцією» існує важлива відмінність. Сучасні теологи всіх рівнів більше не вірять у миттєве створення. Адже докази реальності еволюції стали надто нездоланними. Тим не менше багато теологів, що називають себе еволюціоністами, наприклад єпископ Бірмінгемський, цитований у розділі 2, просовують Бога крізь задні двері: вони відводять йому роль такого собі наглядача за перебігом еволюції, що або впливає на ключові моменти еволюційної історії (особливо, ясна річ, *людської* еволюційної історії), або навіть усебічно втручається у повсякденні події, з яких і складаються еволюційні зміни.

Такі вірування неможливо спростувати, особливо якщо вони передбачають, що Бог подбав, аби його втручання завжди підлаштовувались під те, що було б очікуваним від еволюції шляхом природного відбору. Про такі вірування можна лише сказати, що, по-перше, вони є надмірними, а по-друге, вже з самого початку *допускають* існування головної речі, яку ми хочемо *пояснити*, а саме — організованої складності. Концепцію еволюції робить стрункою теорією хоча б те, що вона пояснює виникнення організованої складності з первісної простоти.

Якщо ми маємо намір теоретично допускати існування якогось божества, здатного створити всю організовану складність у світі (миттєво або шляхом скерування еволюції), то насамперед це божество має вже бути вкрай складним. Креаціоністи (чи то якийсь наївний святенник, чи освічений єпископ) просто-напросто *теоретично допускають*, що у світі вже існує якась сутність дивовижного інтелекту та складності. Якщо ми збираємося дозволити собі розкіш теоретичного допущення існування організованої складності, не пропонуючи пояснення, то могли б так само зразу припустити існування життя у відомому нам вигляді! Якщо коротко, то божественне створення (чи то миттєве, чи у фор-

мі керованої еволюції) долучається до інших теорій, які ми вже розглянули в цьому розділі. Усі вони створюють якесь поверхове враження альтернативи дарвінізму, переваги якої можна перевірити, звернувшись до доказів. За уважнішого ж вивчення всі вони виявляються взагалі не конкурентами дарвінізму. Теорія еволюції шляхом накопичувального природного відбору є єдиною відомою нам теорією, що в принципі *здатна* пояснити існування організованої складності. Навіть якби її не підтверджували докази, вона *все одно* була б найкращою з наявних теорій! Фактично ж докази її підтверджують. Але це — інша історія.

Час зробити висновок з усього сказаного вище. Суттю життя є статистична неймовірність просто колосального масштабу. Отже, хоч чим би пояснювалося виникнення життя, це точно не міг бути простий випадок. Справжнє пояснення існування життя має втілювати якраз антитезу випадку. Антитезою ж випадку є невипадкове виживання, що розуміється належним чином. Невипадкове виживання, що розуміється неналежним чином, є не антитезою випадку, а самим випадком. Існує континуум, що з'єднує ці дві крайні позиції, і це спектр від однокрокового до накопичувального відбору. Однокроковий відбір є просто іншою назвою чистого випадку. Саме це я й маю на увазі під невипадковим виживанням, що розуміється належним чином. Натомість *накопичувальний відбір*, що діє дуже повільно й поступово, є поясненням (єдиним прийнятним поясненням, що коли-небудь було запропоноване) існування складного задуму життя.

У цій книжці домінує ідея випадку з астрономічно великими шансами проти спонтанного виникнення порядку, складності й очевидного задуму. Ми шукали спосіб приборкати випадок, вирвати йому ікла. «Неприборканий випадок» у його чистому, голому вигляді означає проростання впорядкованого задуму з нічого, одним-єдиним стрибком. Неприборканим випадком було б раптове, за коротку мить життя одного покоління, виникнення досконалого й повністю сформованого ока там, де раніше його й близько

не було. Загалом це можливо, але щоб записати в числовому вигляді шанси проти цього, нам довелося б виводити нулі до закінчення часів. Те саме стосується шансів проти спонтанної появи будь-яких повністю сформованих, досконалих і завершених істот включно — не бачу жодного способу уникнути цього висновку — з божествами.

«Приборкати» випадок означає розкласти щось дуже неймовірне на менш неймовірні дрібні складові, організовані в послідовності. Хоч яким неймовірним було б виникнення *X* із *Y* за один-єдиний крок, завжди можна збагнути послідовність нескінченно малих ступінчастих проміжних етапів між ними. Хоч би якою неймовірною була якась великомасштабна зміна, менші зміни є менш неймовірними. І якщо теоретично допустити можливість достатньо великих послідовностей достатньо тонко градуйованих проміжних етапів, то можна вивести щось із чогось іще, не звертаючись до астрономічних неймовірностей. Нам дозволено зробити це лише за умови, що часу для перебігу всіх проміжних етапів достатньо, а також що існує механізм скерування кожного кроку в якомусь конкретному напрямку. Інакше послідовність кроків перейде в якесь безкінечне блукання манівцями.

Дарвіністський погляд на світ стверджує, що обидві ці умови дотримуються і що остаточним поясненням нашого існування є повільний поступовий накопичувальний природний відбір. Якщо існують версії еволюційної теорії, які заперечують повільний ґрадуалізм і центральну роль природного відбору, вони можуть бути правдою в конкретних окремо взятих випадках. Але вони не можуть бути всією правдою, бо відкидають саму суть еволюційної теорії, яка дає їй силу зменшувати масштаби астрономічних неймовірностей і пояснювати яскраві приклади очевидного дива.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Watson, J. D. (1983) *Molecular Biology of the Cell*. New York: Garland.
2. Anderson, D. M. (1981) Role of interfacial water and water in thin films in the origin of life. У збірці під ред. J. Billingham. *Life in the Universe*. Cambridge, Mass: MIT Press.
3. Andersson, M. (1982) Female choice selects for extreme tail length in a widow bird. *Nature*, 299: 818—820.
4. Arnold, S. J. (1983) Sexual selection: the interface of theory and empiricism. У збірці під ред. P. P. G. Bateson. *Mate Choice*, стор. 67—107. Cambridge: Cambridge University Press.
5. Asimov, I. (1957) *Only a Trillion*. London: Abelard-Schuman.
6. Asimov, I. (1980) *Extraterrestrial Civilizations*. London: Pan.
7. Asimov, I. (1981) *In the Beginning*. London: New English Library.
8. Atkins, P. W. (1981) *The Creation*. Oxford: W. H. Freeman.
9. Attenborough, D. (1980) *Life on Earth*. London: Reader's Digest, Collins & BBC.
10. Barker, E. (1985) Let there be light: scientific creationism in the twentieth century. У збірці під ред. J. R. Durant. *Darwinism and Divinity*, стор. 189—204. Oxford: Basil Blackwell.
11. Bowler, P. J. (1984) *Evolution: the history of an idea*. Berkeley: University of California Press.
12. Bowles, K. L. (1977) *Problem-solving using Pascal*. Berlin: Springer-Verlag.
13. Cairns-Smith, A. G. (1982) *Genetic Takeover*. Cambridge: Cambridge University Press.
14. Cairns-Smith, A. G. (1985) *Seven Clues to the Origin of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
15. Cavalli-Sforza, L. & Feldman, M. (1981) *Cultural Transmission and Evolution*. Princeton, N. J.: Princeton University Press.
16. Cott, H. B. (1940) *Adaptive Coloration in Animals*. London: Methuen.
17. Crick, F. (1981) *Life Itself*. London: Macdonald.
18. Darwin, C. (1859) *The Origin of Species*. Передрук. London: Penguin.
19. Dawkins, M. S. (1986) *Unravelling Animal Behaviour*. London: Longman.
20. Dawkins, R. (1976) *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press.
21. Dawkins, R. (1982) *The Extended Phenotype*. Oxford: Oxford University Press.
22. Dawkins, R. (1982) Universal Darwinism. У збірці під ред. D. S. Bendall. *Evolution from Molecules to Men*, стор. 403—425. Cambridge: Cambridge University Press.
23. Dawkins, R. & Krebs, J. R. (1979) Arms races between and within species. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 205: 489—511.
24. Douglas, A. M. (1986) Tigers in Western Australia. *New Scientist*, 110 (1505): 44—47.

25. Dover, G. A. (1984) Improbable adaptations and Maynard Smith's dilemma. Неопублікований рукопис і дві публічні лекції, Oxford, 1984.
26. Dyson, F. (1985) *Origins of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
27. Eigen, M., Gardiner, W., Schuster, P., & Winkler-Oswatitsch. (1981) The origin of genetic information. *Scientific American*, 244 (4): 88—118.
28. Eisner, T. (1982) Spray aiming in bombardier beetles: jet deflection by the Coander Effect. *Science*, 215: 83—85.
29. Eldredge, N. (1985) *Time frames: the rethinking of Darwinian evolution and the theory of punctuated equilibria*. New York: Simon & Schuster (включає в себе передрук оригінальної статті Елдреджа й Ґулда).
30. Eldredge, N. (1985) *Unfinished synthesis: biological hierarchies and modern evolutionary thought*. New York: Oxford University Press.
31. Fisher, R. A. (1930) *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Clarendon Press, 2-е видання в паперовій обкладинці. New York: Dover Publications.
32. Gillespie, N. C. (1979) *Charles Darwin and the Problem of Creation*. Chicago: University of Chicago Press.
33. Goldschmidt, R. B. (1945) Mimetic polymorphism, a controversial chapter of Darwinism. *Quarterly Review of Biology*, 20: 147—164 та 205—230.
34. Gould, S. J. (1980) *The Panda's Thumb*. New York: W. W. Norton.
35. Gould, S. J. (1980) Is a new and general theory of evolution emerging? *Paleobiology*, 6: 119—130.
36. Gould, S. J. (1982) The meaning of punctuated equilibrium, and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution. У збірці під ред. R. Milkman. *Perspectives on Evolution*, стор. 83—104. Sunderland, Mass: Sinauer.
37. Gribbin, J. & Cherfas, J. (1982) *The Monkey Puzzle*. London: Bodley Head.
38. Griffin, D. R. (1958) *Listening in the Dark*. New Haven: Yale University Press.
39. Hallam, A. (1973) *A Revolution in the Earth Sciences*. Oxford: Oxford University Press.
40. Hamilton, W. D. & Zuk, M. (1982) Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites? *Science*, 218: 384—387.
41. Hitching, F. (1982) *The Neck of the Giraffe, or Where Darwin Went Wrong*. London: Pan.
42. Ho, M.-W. & Saunders, P. (1984) *Beyond Neo-Darwinism*. London: Academic Press.
43. Hoyle, F. & Wickramasinghe, N. C. (1981) *Evolution from Space*. London: J. M. Dent.
44. Hull, D. L. (1973) *Darwin and His Critics*. Chicago: Chicago University Press.
45. Jacob, F. (1982) *The Possible and the Actual*. New York: Pantheon.
46. Jerison, H. J. (1985) Issues in brain evolution. У збірці під ред. R. Dawkins & M. Ridley. *Oxford Surveys in Evolutionary Biology*, 2: 102—134.
47. Kimura, M. (1982) *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
48. Kitcher, P. (1983) *Abusing science: the case against creationism*. Milton Keynes: Open University Press.

49. Land, M. F. (1980) Optics and vision in invertebrates. У збірці під ред. H. Autrum. *Handbook of Sensory Physiology*, стор. 471—592. Berlin: Springer.
50. Lande, R. (1980) Sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in polygenic characters. *Evolution*, 34: 292—305.
51. Lande, R. (1981) Models of speciation by sexual selection of polygenic traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78: 3721—3725.
52. Leigh, E. G. (1977) How does selection reconcile individual advantage with the good of the group? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74: 4542—4546.
53. Lewontin, R. C. & Levins, R. (1976) The Problem of Lysenkoism. У збірці під ред. H. & S. Rose. *The Radicalization of Science*. London: Macmillan.
54. Mackie, J. L. (1982) *The Miracle of Theism*. Oxford: Clarendon Press.
55. Margulis, L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution*. San Francisco: W. H. Freeman.
56. Maynard Smith, J. (1983) Current controversies in evolutionary biology. У збірці під ред. M. Grene. *Dimensions of Darwinism*, стор. 273—286. Cambridge: Cambridge University Press.
57. Maynard Smith, J. (1986) *The Problems of Biology*. Oxford: Oxford University Press.
58. Maynard Smith, J. та ін. (1985) Developmental constraints and evolution. *Quarterly Review of Biology*, 60: 265—287.
59. Mayr, E. (1963) *Animal Species and Evolution*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
60. Mayr, E. (1969) *Principles of Systematic Zoology*. New York: McGraw-Hill.
61. Mayr, E. (1982) *The Growth of Biological Thought*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
62. Monod, J. (1972) *Chance and Necessity*. London: Fontana.
63. Montefiore, H. (1985) *The Probability of God*. London: SCM Press.
64. Morrison, P., Morrison, P., Eames, C. & Eames, R. (1982) *Powers of Ten*. New York: Scientific American.
65. Nagel, T. (1974) What is it like to be a bat? *Philosophical Review*, передрук у збірці під ред. D. R. Hofstadter & D. C. Dennett. *The Mind's I*, стор. 391—403. Brighton: Harvester Press.
66. Nelkin, D. (1976) The science textbook controversies. *Scientific American,* 234 (4): 33—39.
67. Nelson, G. & Platnick, N. I. (1984) Systematics and evolution. У збірці під ред. M. W. Ho & P. Saunders. *Beyond Neo-Darwinism*. London: Academic Press.
68. O'Donald, P. (1983) Sexual selection by female choice. У збірці під ред. P. P. G. Bateson. *Mate Choice*, стор. 53—66. Cambridge: Cambridge University Press.
69. Orgel, L. E. (1973) *The Origins of Life*. New York: Wiley.
70. Orgel, L. E. (1979) Selection in vitro. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 205: 435—442.
71. Paley, W. (1828) *Natural Theology*, 2-е видання. Oxford: J. Vincent.

72. Penney, D., Foulds, L. R. & Hendy, M. D. (1982) Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences. *Nature*, 297: 197—200.
73. Ridley, M. (1982) Coadaptation and the inadequacy of natural selection. *British Journal for the History of Science*, 15: 45—68.
74. Ridley, M. (1986) *The Problems of Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
75. Ridley, M. (1986) *Evolution and Classification: the reformation of cladism*. London: Longman.
76. Ruse, M. (1982) *Darwinism Defended*. London: Addison-Wesley.
77. Sales, G. & Pye, D. (1974) *Ultrasonic Communication by Animals*. London: Chapman & Hall.
78. Simpson, G. G. (1980) *Splendid Isolation*. New Haven: Yale University Press.
79. Singer, P. (1976) *Animal Liberation*. London: Cape.
80. Smith, J. L. B. (1956) *Old Fourlegs: the story of the Coelacanth*. London: Longmans, Green.
81. Sneath, P. H. A. &. Sokal, R. R. (1973) *Numerical Taxonomy*. San Francisco: W. H. Freeman.
82. Spiegelman, S. (1967) An *in vitro* analysis of a replicating molecule. *American Scientist*, *55*: 63—68.
83. Stebbins, G. L. (1982) *Darwin to DNA, Molecules to Humanity*. San Francisco: W. H. Freeman.
84. Thompson, S. P. (1910) *Calculus Made Easy*. London: Macmillan.
85. Trivers, R. L. (1985) *Social Evolution*. Menlo Park: Benjamin-Cummings.
86. Turner, J. R. G. (1983) 'The hypothesis that explains mimetic resemblance explains evolution': the gradualist-saltationist schism. У збірці під ред. M. Grene. *Dimensions of Darwinism*, стор. 129—169. Cambridge: Cambridge University Press.
87. Van Valen, L. (1973) A new evolutionary law. *Evolutionary Theory*, 1: 1—30.
88. Watson, J. D. (1976) *Molecular Biology of the Gene*. Menlo Park: Benjamin-Cummings.
89. Williams, G. C. (1966) *Adaptation and Natural Selection*. New Jersey: Princeton University Press.
90. Wilson, E. O. (1971) *The Insect Societies*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
91. Wilson, E. O. (1984) *Biophilia*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
92. Young, J. Z. (1950) *The Life of Vertebrates*. Oxford: Clarendon Press.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК І КЛЮЧ ДО БІБЛІОГРАФІЇ

Цю книжку треба уважно читати від початку до кінця. Це не довідник, з якого можна вихоплювати по слову. Багато позицій алфавітного покажчика означатимуть щось лише для людей, які вже прочитали книжку й хочуть знайти конкретне місце знову. У виданнях такого типу примітки лише дратують і відвертають увагу. Поданий нижче покажчик на додачу до виконання звичайної функції покликаний замінити примітки, працюючи як ключ до бібліографії. Цифри в дужках є порядковими номерами книжок або статей у бібліографії. Інші цифри — посилання на сторінки цієї книжки. Там, де зазначене в покажчику слово трапляється на кількох сторінках, зазвичай наводиться лише перша або ж та, на якій можна знайти його визначення.

Asdic 45
Biblical Creation 341 (цитується в 10)
Boeing 747, випадкова збірка 28, 318, 338 (43)
DC8, витягнутий 318 (22)
Escherichia coli 183 (70, 88)
Hyracotherium 308
Myotis (кажани) 47
Rousettus (кажани) 46, 52, 138 (77)
Smilodon (шаблезуб) 151
Tadarida (кажани) 51
Thylacinus (сумчастий вовк) 151, 362 (24)
Thylacosmilus (сумчастий шаблезуб) 151 (78)
Австралійська фауна 147 (78)
Австралопітек 309, 313
Адаптація 69, 243, 404 (19, 89)
Адресація, пам'ять та гени 165
Азімов А. 73—74 (5)
Альтруїзм 359 (20, 52)
Амеба 163, 339
Амніоти 347 (92)
Ангельські крила 414
Андерсон Д. М. 217 (2)
Андерссон М. 291 (3)
Антенапедія 312
Аргумент від задуму 23, 25 (71)
Арґайл, герцог 337 (73)
Археоптерикс 353
Аткінс П. 37 (8)
Багдад, прогулянка до 69
Бактерії 164, 183, 235
Бейтсон В. 408 (цитується в 22)
Беннетт Ґ. 67 (цитується в 63)
Біоморфи 87, 126, 417, 420
Біохімічні ланцюжки 232
Бобри 189, (21)
«Британська енциклопедія» 41, 163

Вавилов М. І. 391
Вайнберґ В. 162
Ван Вален Л. 250, (87)
Веґенер А. 145, (39)
Верба, дощ із ДНК 157
Вертикальне передавання генів 172
Вибір самиць 278
Вибух, аналогія 266
— невдача з гідрохіноном 125
Види
— як сутності 355 (30, 56, 74)
— селекція 357 (21)
Видоутворення 321, 330, 333 (59, 74)
Вимерлі тварини, реконструкція 111
Виправлення помилок, ДНК 177 (1)
Відбір
— накопичувальний 71, 74, 79, 180
— однокроковий 74, 361
— природний 96
— родинний 282
— статевий 271
— штучний 90, 100
Вілсон Е. О. 155 (90)
Вільямс Дж. К. 10, 358, (89)
Вірус 183
Вкритий галькою пляж, аналогія 71
Влада, ген 180
— непряма 188
Вовчий посвист, кажани 55, 57
Волове очко 294
Восьминіг 124
Всесвітній ефір 158
Вухо
— кісточки 51
— зовнішнє 57
— походження 130
Газель 246
Гакслі Дж.
— клада 376
— рушійна сила 33
— статевий відбір 272
Гамільтон В. Д.
— родинний відбір 283 (20)
— паразити 291 (40)
Гарді Ґ. Г. 162, 222
Гемоглобін 73, 175, 407 (5)
Генетичний переворот 218 (13, 14)
Гени
— комп'ютерні біоморфи 87
— співпраця 262, 264, 336
— як середовища один одного 231, 242 (21)
— вибору самиць 276, 290 (50, 51)
Генна інженерія 164
Генніґ В. 372, 380 (75)
Гепарди 246
Гідрохінон, неспроможність підірвати автора 125
Гіпосульфіт, кристали 208 (14)
Гістон 173
Гітчинґ Ф. 115, 125 (41)
Глина 210, 212, 215 (13, 14)
Глобігериновий мул 158
Глобіни 238 (1)
Го М.-В. 412 (41, 42)
Годинник
— Пейлі 23 (71)
— таймер 307
Гойл, сер Ф. 65, 318 (43)
Гонитва озброєнь 231, 246, 251 (21, 23)
— циклічна 291
— економіка, як чинник 271
— між статями 242, 251 (85)
Горизонтальне передавання генів 172
Гра в шахи 101
Грибні ферми 153 (90)
Гучність, проблема для кажанів 43
Ґаламбос Р. 61 (38)

Ґолдшмідт Р. 119, 313 (33)
Ґондвана 145 (39)
Ґрадуалізм 303, 306, 327
Ґрафен А. 272, 290
Ґріффін Д. 45, 61 (38)
Ґулд С. Дж. 118, 132, 310, 390
— про дарвінівський ґрадуалізм 331 (36)
— про комах, що мімікрують 118 (цитується в 41)
— п'ять відсотків ока 117 (цитується в 41)
— «Великий палець панди» 132 (34)
— переривчаста рівновага 310—342 (36)
— синтетична теорія 342 (35)
Дарвін Е. 386
Дарвін Ч. 12, 408 (11, 18, 32)
— та аргумент від особистої невіри 65 (63)
— складні органи 132
— пробіли у даних скам'янілостей 310, 326—327
— успадкування набутих характеристик 388
— сальтації 338 (32, 73)
— та пунктуалісти 304 (22)
— статевий відбір 272
— види 321
— стазис 331
Дарвінізм, противага 341 (10, 48, 66, 76)
Дарвініст, карикатура 414
Датування, скам'янілості 306
Де Фріз Г. 408
Дельфіни, ехолокація 137
Дерева, гонитва озброєнь у лісі 251
Дженкін Ф. 160 (цитується в 44)
Джерісон Г. 258 (46)
Диво 192, 219, 427
Дикобраз 363
Динозаврів рештки, фальшиві відбитки людських ніг 305, 391 (76)
ДНК, інформаційна технологія 137—191 (1, 57, 88)
— комп'ютерний диск, аналогія 236
— консерватизм 175
— походження 193
— як ПЗП 165
— егоїстична 163 (20, 21)
Довгохвостий оксамитовий ткач 274
Довер Ґ. 419 (25)
Дойл, сер А. К. 158
Доплерівський зсув 53, 137
Другий закон термодинаміки 136
Дуплікації генів 235 (1, 88)
Езоп 262 (21)
Ейґен М. 186 (26, 27)
Екзони 237 (1)
Елдредж Н., переривчаста рівновага 310—342 (29)
Електролокація 141
Ембріологія 114, 115, 231, 400
— обмеження на еволюцію 418 (58)
Ембріональний розвиток 82, 231, 396 (57)
Епігенез 395
Еукаріоти 239 (1, 55)
Ефект «швидкої» 53
Ефект зеленої бороди 282 (20, 21)
Ефект Чорної Королеви 250 (87)
Ехолокація 45—64 (38, 77)
— порівняно з зором 46
Єзекіїль 180
Єпископ Бірмінгемський 65—69, 114, 425 (63)
Жаба-повитуха 392

Життя
— цикл у глині 213
— походження 192—230 (13, 14, 26, 69)
— унікальне на Землі 196
— у Всесвіті 196, 227 (17)
Жук-бомбардир 125 (28)
Загата бобра 190 (21)
— глина 213
Заглушення, проблема для кажанів 57
Закон Долло 136
Заратустра 93, 99
Збіг 317
Зброя 252
Зворотний зв'язок 266
Звукопідсилювач, аналогія 296
Землерийки 322
Зір, поступове погіршення 117
Змії
— походження отрути 130
— кількість хребців 319
Змінний спідизм 333
Зозуля 69
Йоганнсен В. 408
Ідеальна вкладеність 344
Ієрархія 344, 347
Інженер 35, 45
Інтрони 237 (1)
Інформаційні технології 159
Кажани 39—64 (38, 77)
— конференція 61
— детектор 47
— різноманіття 46
— доплерівська чутливість 55
— вушні м'язи 50
— економіка 48
— частотно-модульовані крики 53
— відсутність ангельських крил 418
— проблеми 43, 50, 57 (19)
Кальмар 373
Камбала 134
Камера-обскура 123
Карикатура на дарвініста 412
Катаракта 117
Катастрофізм 327—328
Квітки, еволюція 91
Кейрнс-Сміт Ґ. 205—229 (13, 14)
Кестлер, А. 65, 390
Кити, ехолокація 138—140 (77)
Кімура М. 407, 420 (47)
Клада 376, 382
Кладизм 342, 347, 376—382 (75)
Класифікація 343—383 (60, 75, 81)
— довільність небіологічної 346
— кладистична 347, 362 (75)
— молекулярна 364, 369 (37, 72)
— числова 376 (81)
— «традиційна» 376 (81)
— унікальність біологічної 347 362
Книга Буття 424 (7)
Книга Вихід, притча 302
Коадаптація 230
Коваль 389
Ковчег Заповіту 156
Кодовий замок 28
Коефіцієнт енцефалізації (EQ) 258 (46)
Коефіцієнт розумового розвитку (IQ) 258
Комахи, комп'ютер 93, 95
— втрачені й знову отримані 99
— як чинники відбору 97
Компакт-диск 159, 211
Конвергенція, еволюційна 136 (92)
— РНК у пробірках 186 (27)
Коні, південні еквіваленти 147
Коні, південноамериканські еквіваленти 362 (78)
Конструктивна еволюція 230
Континентальний дрейф 145 (39)
Коперник М. 342

Котт Г. Б. 256 (16)
Краплі роси, аналогія 178
Креаціонізм 327, 338, 342, 384, 425 (10, 48, 66, 76)
Кремній 206
Крило, половина 129 (9, 41)
Кристал 207
Кромвель О. 309
Лавразія 145 (39)
Лаєль, сер Ч. 338
Ламарк Ж. Б. 388
Ламаркізм 88, 393 (22)
Ланде Р. 272—290 (4, 50, 51)
Латимерія 334 (80)
Легеня, половина 126 (41)
Ленд М. 124 (49)
Леслі О. 186
Лисенко Т. Д. 391 (53)
Лицьовий зір 44 (38)
Лі Е. Ґ. 360 (52)
Лохнесське чудовисько 393
Мавпа, друк 75, 196
Майр Е.
— критик математичної генетики 116
— видоутворення 324, 330, 336 (59)
— недобрий до фізиків 160 (61)
Макромутації 312, 313
Марґуліс Л. 239 (55)
Математичний простір 111, 136
Машина, почесна жива істота 31
Машиністка, аналогія 174
Меланін 388
Мем 218 (20)
Мендель Ґ. 159, 409
Мікроскоп, аналогія (Фішер) 314 (31)
Мімікрія 118 (33, 86)
Мітохондрії 240
Мода 280
Мозок, еволюція 258, 294, 308 (46)
Мозолі 399
Молекулярний годинник 365 (37)
Молекулярний двигун 419
Монтефіоре Г. 65—69 (63)
Морґан Т. Г. 409
Морріс Д. 87
Мурахи 151—159 (90)
— у Панамі, 155, 265
Мурахоїд 151—153
Мутаціонізм 384, 419
Мутація 190 (57)
— у моделі біоморфи 81
— у моделі Гамлета 70
— макро 312
— тиск 410
— випадковість, значення 410
— частота 175
Набуті характеристики, успадкування 387, 399 (22)
Наґель Т. 58 (65)
Накладання імпульсів як проблема для кажанів 48 (77)
Наутілус 123 (49)
Нейтральна теорія 384, 407, 419 (47, 74)
Нельсон Ґ. 381 (67)
Нерівноважне зчеплення 278
Нестримний статевий відбір 271, 291 (4, 31, 50, 51)
Несуча частота 52
Новий Заповіт 164
О'Дональд П. 290 (68)
Обмеження еволюції 418 (58)
Озброєння 245, 253
ОЗП 164
Око
— фантастична нездійсненність 422
— «задумане» 39 (71)
— поступова еволюція 112, 317
— частини 115, 386
— зображення 40
— вада 134

— використання та невикористання 404 (22)
Органічна хімія 205
Орджел Л. 186 (26, 69, 70)
Оселедець 133 373
Офрис бджолоносний 98
Оцінювання ймовірності 224
Оцінювання ризику 224
Павич 271
Павутиння 67
Палеонтологія 304 (29)
Паразити та статевий відбір 290 (40)
Парсимонія 367
Пейлі, В. 23—25, 39, 42, 64, (71)
ПЗП 164
— ДНК як 165
Пиріг, аналогія 397
Південноамериканська фауна 137 (78)
Платнік Н. 381 (67)
Погода як ворог 243
Поліцейські радари 55
Половина крила 129 (9, 41)
Половина легені 126 (41)
Полярні ведмеді 66 (63)
Поп-музика 299
Поппер, сер К. 65
Постійний еволюційний спідизм 329, 332, 333, 340
Поттер С. 98
Походження життя 187—229 (13, 14, 17, 26, 27, 69)
Преференції самиць 273
Преформізм 394 (57)
Приймально-передавальний радар 50
Принцип використання й невикористання 387, 403
Пробіли у даних скам'янілостей 320 (29)
Пробірка, еволюція 185 (27, 70)
Прокаріоти 240 (55, 88)
Проміжні форми, еволюційні 352
Протоплазма 158
Птахи, ехолокація 137
Пунктуалізм 305—342 (29, 36, 56)
Ракета 253
Регулятор пари Ватта 266
Рейвен Ч. Е. 69
Рекурсія 82, 171 (12)
Реплікатор 180 (20, 21)
Репродуктивна ізоляція 324 (59)
Реттрей-Тейлор Ґ. 65
Рецепт, теорія ембріології 395
Риби
— електричні 139
— пласкі 132
Рідлі М. 380, 383 (75)
РЛС із внутрішньоімпульсною лінійною частотною модуляцією 52
Роздальйон — одиниця неймовірності 223
«Розширений фенотип» 191 (21)
Рушійна сила 33
Сальтації 312, 316, 321
Світло, створюване тваринами 43
Сітківка, ззаду наперед 116
Скам'янілості
— датування 306
— пробіли у даних 320 (29)
— гени 237
Скат 133
Складність
— елегантна ефективність 12
— як гетерогенність форми 12
— як статистична неймовірність 13
Сміт Дж. М. 116
Сноу Ч. П. 136
Собака, еволюція 19, 68
Сонар 42—70 (38, 77)
Сонар 43—64 (38, 77)

Сондерс П. 412 (42)
Сонячна система 72
Соціальний дарвінізм 341
Ссавці, конвергентна еволюція 144—153 (92)
Стазис 303, 329, 332
Статуя, що махає рукою 220
Стеббінс Дж. Л. 328 (83)
Сукцесія, екологічна 358
Сумчасті 147 (92)
Таймер 307
Таксономія, 343, 364, *див. також класифікація* (60, 75, 81)
Тасманійський вовк 151
Тасманія 150, 362
Творець 37, 194, 230
Тектоніка плит 145 (39)
Терміти 153 (90)
Тилацин, (сумчастий «вовк») 150, 362 (24)
Томпсон С. 103 (84)
Трава 248
Транспорт 296
Трикутник 103
Удача, вимірювання 195
Ультразвук 46 (77)
Утилітарний оптимум 279
Феї, недоказове неіснування 391
Фенотип 171, 216 (21, 57)
Фібринопептид 175, 370 (1)
Фізика
— закони 19
— простота 8
Філетицизм 372
Фільтр дивності 58
Фішер, сер Р. А. (31)
— еволюція статевого розмноження 361
— засновник неодарвінізму 159, 409
— необхідність ґрадуалізму 313
— дискретна спадковість 159
— нестримний статевий відбір 271
Франс А. 309
Хмаринки 74, 80
Хорея Гантінґтона 411
Целаканти 334 (80)
Цифрові коди 159
Часові межі 226 (91)
Шаблезуб, та сумчастий еквівалент 150 (78)
Швидкість метаболізму 152, 259
Шекспір В. 75, 77
Шимпанзе 19, 166, 347, 353
Шпіґельман С. 184 (82)
Юм Д. 25 (54)

Науково-популярне видання

ДОКІНЗ Річард

Сліпий годинникар:
як еволюція доводить відсутність задуму у Всесвіті

Керівник проекту *С. І. Мозгова*
Відповідальний за випуск *О. В. Приходченко*
Редактор *Т. О. Небесна*
Художній редактор *А. В. Бєлякова*
Технічний редактор *В. Г. Євлахов*
Коректор *О. Є. Шишацький*

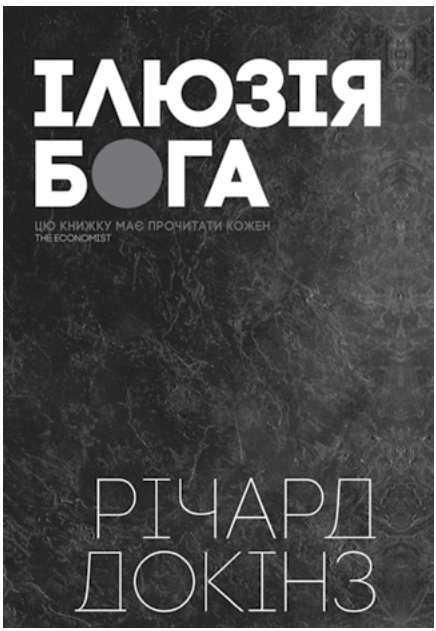
Підписано до друку 01.11.2018. Формат 60x90/16.
Друк офсетний. Гарнітура «Baltica». Ум. друк. арк. 27,5.
Наклад 4000 пр. Зам. № .

Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля»
Св. № ДК65 від 26.05.2000
61140, Харків-140, просп. Гагаріна, 20а
E-mail: cop@bookclub.ua

Віддруковано з готових діапозитивів на ПП «ЮНІСОФТ»
Свідоцтво ДК №3461 від 14.04.2009 р. www.unisoft.ua
61036, м. Харків, вул. Морозова, 13Б
UNISOFT

«Егоїстичний ген» — перша і водночас визначна книжка Річарда Докінза, що досі залишається найвідомішою його працею і навіть через 40 років інтригує та не втрачає своєї актуальності. «Ми є машинами для виживання — самохідними роботами, що сліпо запрограмовані на збереження егоїстичних молекул, відомих як гени», — проголошує автор.

У чому ж полягає «егоїстичність» генів? Чому вчений так безжально висловлюється про людей? Які погляди відстоює? Річард Докінз наполягає на тому, що саме ген, а не особина є одиницею природного добору. Несподівано, чи не так? Але це ще не все. Альтруїзм автор пояснює не підсвідомим намагання зберегти вид, а саме егоїстичністю генів: вони вдаються до найвигіднішої стратегії, щоб залишити у вічності часточку себе.



Річард Докінз спонукає читача неупереджено поглянути на сенс релігії, не нав'язуючи власної думки, а заохочуючи до самостійних роздумів і висновків. Автор розглядає особливості так званої «ейнштейнівської релігії», за якою Бог — це метафора на позначення загадковості Всесвіту, критикує «гіпотезу про Бога», осмислює, чи дійсно релігія є регулятором моральності, розкриває значення еволюції та природного добору. Кожну свою тезу науковець підкріплює цікавими історичними фактами.