

Сліпий годинникар. Як еволюція доводить відсутність задуму у Всесвіті

Автор:

[Річард Докінз](#)

Сліпий годинникар. Як еволюція доводить відсутність задуму у Всесвіті

Річард Докінз

«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 угоду чомусь чи комусь...»

Річард Докінз

Сліпий годинникар. Як еволюція доводить відсутність задуму у Всесвіті

© Richard Dawkins, 1996, 1987, 1986

© Hemiro Ltd, видання українською мовою, 2018

© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», переклад і художнє оформлення, 2018

* * *

Присвячується моїм батькам

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 угоду 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»[1 - Книжка під цією назвою була видана у Нортоні 1996 року. (Прим. ред.)]. 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 перепошую 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 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 знали 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 хоробрості 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 люблять, 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, засвоені 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 годинникарь» уперше вийшов у Сполучених Штатах, видавці відправили мене в короткий тур країною, і я став учасником багатьох прямих ліній на радіо. Мене попереджали, що можна очікувати неприємних 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 млядоземельного 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 такі розкрити таємницю, пояснивши її.

Пояснення – складне мистецтво. Можна пояснити щось так, аби ваш читач зрозумів слова, а можна так, аби він усім еством 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 пристрасстю, 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 слухним, 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 пристрассть 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 молоді 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 відхилити 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 наддивовижу 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 не випадкове розмноження там, де є спадкова мінливість, має далекосяжні наслідки за наявності часу для їх накопичення. Однак ми маємо вагомні 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 пристрасною 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 необхідним 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 роботу 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 звикли до ідеї, 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 скороминучою, зовсім не варто з поваги не лише до критиків, 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, Грема Кейрнса-Сміта, Джеффри Левінтона, Майкла Р'юза, Ентоні Геллема та Девіда Пая. Річард Грегорі по-доброму розкритикував розділ 12, і остаточна версія книжки тільки виграла від його повного видалення. Марк Рідлі та Алан Графен, 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 Аткинс і Джон Докінз, конструктивно критикували на моє прохання різні розділи. Сара Банней внесла численні покращення, а Джон Гріббін виправив суттєву помилку. Алан Графен і Вілл Аткинсон були моїми радниками з комп'ютер-них 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 педаль 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, черв'яків, 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. Машина 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 досягнення дуже малого й дуже великого; явищ, тривалість яких вимірюється в пікосекундах чи гігараках; 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 досягнути 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 досягнути деталі самої цієї складності. Якщо вдається до аналогії, більшість із нас не розуміють у деталях, як працює авіалайнер. Можливо, його виробники також не досягнули цього до кінця: фахівці з двигунів не розуміють у деталях конструкції крил, а фахівці з крил мають доволі розпливчате 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 знали 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 кожен 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 досягнули 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 вірити 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 обгрунтувати. 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 досягнув 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 подекують, 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 обгрунтованим 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 нас 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, ймовірність 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, згодом, такою само неймовірною, як і будь-яка інша. Купа металобрухту на звалищі літаків унікальна. Жодні дві такі купи не є однаковими. Якщо почати складати

фрагменти літаків у купі, шанси, що вам вдасться 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, згодом, однаково неймовірних комбінацій кодового замка відмикає його лише одна. Так само і з усіх мільйонів унікальних і, згодом, 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 згодом. 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 дверцят 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 кришталіки 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, рие, бігає чи робить щось (хоча б погано), що можна було б віддалено трактувати як роботу з підтримання свого життя.

Це був доволі довгий, зтяжний 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 відрізняється 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 приходять 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 поводить 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 повітря. 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 непоясненими. 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 співвіднівши 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 злуцяти 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 пояснювати 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 досягнути 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 II 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 читаете 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 напряду 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 «великочроковий 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 Аткинс 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.

Аткинс 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 досягнути 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.

Аткинс 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. Насправді 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. Мое 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 фізікам.

Я усвідомлюю, що моя характеристика складного об'єкта – статистично-неймовірного в напрямку, заданому наперед, – може видатися своєюрідною. 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, окрім законів фізики. Але він застосовуватиме ці закони в особливий спосіб, який зазвичай не обговорюється в підручниках фізики. Цей особливий спосіб є шляхом Дарвіна. Я представляю 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 кришталіка 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 захищені 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.

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 розрізняваних 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 годинником – 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 відрізаний 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 поклалися 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 Гріффін, 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 розшифрування світу відлунь у реальному часі. Їхні писки часто викривлені в гаргульяхчі 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 нічних (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 «безперервному» 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 нічних 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 імпульси, 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 впливає 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, розходитьсь від мухи дедалі більшим сферичним хвильовим фронтом. З цієї 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 впливає з законів фізики.

Яке інше рішення могло б спасти на думку інженерів? Коли з аналогічною проблемою зіткнулися розробники радару під час Другої світової війни, вони знайшли рішення, яке назвали приймально-передавальним радаром. Сигнали

радару 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 перемикачання» 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 перемикачання» 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 внутрішньоімпульсною 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 завдання – 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 розходить 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 проходять 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 подекуди, 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 підковони 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 підковоню, 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 інженерів, 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 кришталік.

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 чути 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 поведуться 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 Нагеля під назвою «Як воно – бути кажаном?». У статті йдеться не так про кажанів, як про філософську проблему уявлення (осягнення) 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 почуете 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 сине 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 дивимось 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.

Мое 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 відрізнятись від мого зорового відчуття фламінго не більше, ніж моє зорове відчуття фламінго відрізняється від зорового відчуття одного фламінго, що дивиться на іншого.

Дональд Гріффін розповідає історію, що трапилася, коли вони зі своїм колегою Робертом Галамбосом 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 Галамбоса 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 досягнути 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

е майже повністю глухими (гарзд, 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 «кришталік», 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, кожнасінька найменша деталь подібна нутроцям 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, Гордона 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 ведмедам 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 нецтві чи браку винахідливості. Одна з форм цього аргументу напряду 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 Г. 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'явилося 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 перетворилися 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 ймовірності 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 не випадковим виживанням. Мета цього розділу – продемонструвати силу такого накопичувального відбору як фундаментально не випадкового 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 хвилі. 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 не випадковість. 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 не випадковим 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 не випадковості 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 не випадкового порядку, які ми бачимо в живих організмів. Явно недостатньо. Згадайте аналогію з кодовим замком велосипеда. Різновид не випадковості, який можна породити простим відсіюванням, є грубим еквівалентом відкриття кодового замка лише з одним диском: його легко відкрити завдяки простій удачі. З іншого боку, різновид не випадковості, 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 $20 \times 20 \times 20$, 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 «покоління», 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 до купи 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 DS DSKSM

S SS FMCV PU I DDRGLKDXRRDO

RDTE QDWFDVIOY UDSKZWDCCVYT

H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D

RCDFYYRM 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 обгрунтовано 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 – М, становить 1 із 27. Імовірність того, що вона правильно надрукує перші дві літери – МЕ, складається з імовірності того, що вона правильно поставить другу літеру – Е (1 із 27), за умови, що вона також правильно поставила першу літеру – М, тобто $1/27 \cdot 1/27$, що дорівнює $1/729$. Імовірність того, що вона правильно набере перше слово – METHINKS, становить $1/27$ для кожної з 8 літер цього слова, тобто $(1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27) \cdot (1/27)$... 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 $1/27^{28}$, 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 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 теорією 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 змодельовати 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. 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.

Рис. 2

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

Рис. 3

Кожне з цих дерев має свою власну, унікальну «генетичну формулу» – числові значення його дев'яти генів. Я не випишував 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 напряду 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 необгрунтовану, 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 відбраного 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 чорно-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 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 одісея 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.

Рис. 5

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-кілобайтного 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 не випадкової 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 невідповідної смерті. Біоморфи в комп'ютері мають взаємодіяти з імітацією ворожого навколишнього середовища. Вживуть 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 озброень» (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 джойстик, 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 озброень» 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 відобразити 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 відобразатиме 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 орхідеї самці бджіл спричинили появу бджолоподібної форми, намагаючись спаруватися з квітами, а отже, розносячи пилок. Уявіть собі квітку офрису 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 реконструкцією. 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 виявилось 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 біоморфів. 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, здогадалися, 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 комах 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 пересунути 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 бджолоношений, 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 строем. 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 відвертає 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, урахувуючи 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.

Рис. 8

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 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-едине 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-едине 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 лисиці, 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 не випадковий «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

траекторій руху крізь генетичний простір. Переважна більшість теоретичних траекторій 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 трубокзуби, 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 мое!

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 Х, 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 Х. Ви, можливо, думаєте, що тисячі Х досить, але якщо вам потрібно більше кроків, аби зробити весь перехід правдоподібним у своїй голові, просто дозвольте собі припустити 10 тисяч Х. 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 Х 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 Х, 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 Х, 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 Х існувала насправді. Нам потрібно відповісти ще на два запитання.

4. Якщо зосередитися на кожній ланці низки гіпотетичних Х, 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 напрямках 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

Кінець ознакомительного фрагмента.

notes

Сноски

1

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

Купить: https://tellnovel.me/dok-nz_r-chard/sl-piy-godinnikar-yak-evolyuc-ya-dovodit-v-dsutn-st-zadumu-u-vsesv-t

надано

Прочитайте цю книгу цілком, купивши повну легальну версію: [Купити](#)