

RICHARD DAWKINS  
WSPINACZKA NA SZCZYT NIEPRAWDOPODOBIENSTWA

Przełożyła Małgorzata Pawlicka-Yamazaki  
Tytuł oryginału angielskiego: CLIMBING MOUNT IMPROBABLE



Robertowi Winstonowi  
- dobremu lekarzowi i dobremu człowiekowi

## SPIS TREŚCI

### Podziękowania

- 1 U stóp góry Rushmore
- 2 Jedwabne pęta
- 3 Pośłanie ze Szczytu
- 4 Podbój przestworzy
- 5 Czterdzieści dróg do oświecenia
- 6 Muzeum wszystkich muszelek
- 7 Kalejdoskopowe zarodki
- 8 Ziarnka pyłku i czarodziejskie pociski
- 9 Robot powielający
- 10 „Ukryty ogród”

### Bibliografia

### Źródła ilustracji

## PODZIĘKOWANIA

Książka ta powstała na podstawie moich bożonarodzeniowych wykładów w Instytucie Królewskim, które były pokazywane przez BBC pod wspólnym tytułem Dorastając we Wszechświecie [Growing up in Universe]. Musiałem z niego zrezygnować, ponieważ ostatnio ukazały się już co najmniej trzy podobnie zatytułowane pozycje. Co więcej, książka wyszła znacznie poza oryginalne wystąpienia - nie w porządku więc byłoby nazwać ją tak samo. Tak czy owak, składałem serdeczne podziękowania dyrektorowi Instytutu Królewskiego za zaszczyt włączenia mnie do grona wielkich prowadzących słynne wykłady bożonarodzeniowe, zapoczątkowane wystąpieniem Michaela Faradaya. Bryson Gore z Instytutu Królewskiego, razem z Williamem Woollardem i Richardem Melmanem z Telewizji Inca, wywarli duży wpływ na ostateczny kształt moich wykładów, ciągle widoczny także w tej dużo obszerniejszej i poważnie zmienionej książce.

Michael Rodgers przeczytał i opatrzył wnikliwymi komentarzami pierwsze szkice dużo obszerniejszej wersji niż ostatecznie opublikowana i przekonał mnie do zmiany całego układu pracy. Fritz Vollrath i Peter Fuchs przeczytali rozdział drugi jako eksperci w poruszanych w nim dziedzinach, tak samo jak rozdział piąty Michael Land i Dan Nilsson. Wszyscy ci specjaliści dzielili się ze mną szczerze swoją wiedzą, kiedy tylko tego potrzebowałem. Mark Ridley, Matt Ridley, Charles Simonyl i Lalla Ward Dawkins przeczytali ostateczną wersję książki i obdarzyli mnie sprawiedliwą porcją uwag krytycznych i napawających otuchą słów zachęty. Mary Cunnane z wydawnictwa W. W. Norton oraz Ravi Mirchandani z Viking Penguin wykazali się wielką wyrozumiałością i wspańiałością w ocenach mojej pracy, kiedy książka rosła, zaczynała żyć własnym życiem, aż wreszcie nabrała właściwych, łatwiejszych do opanowania proporcji. John Brockman pozostawał zawsze w odwodzie, nigdy nie narzucając swojej pomocy, ale zawsze gotowy jej udzielić. Specjaliści komputerowi to bohaterowie zbyt rzadko opiewani za swoje dokonania. Pisząc tę książkę, korzystałem z programów Petera Fuchsa, Thiemo Krinka i Sama Zschokke'a. Ted Kaehler pomógł mi w opracowaniu i napisaniu złożonego programu artropomorfów. Przy moim własnym zestawie programów „zegarmistrza” często korzystałem z pomocy Alana Grafena i Aluna ap Rhisiarta. Pracownicy Zbiorów Zoologicznych i Entomologicznych Muzeum Uniwersyteckiego w Oksfordzie wypożyczyli mi potrzebne okazy i udzielali fachowych wyjaśnień. Josine Meijer niezwykle sprawnie wyszukiwała ilustracje. Moja

żona, Lalla Ward Dawkins, sporządziła rysunki (choć nie ona decydowała o ich układzie) - jej wielką miłość do Darwinowskiego Świata widać w każdej z jej prac.

Dziękuję serdecznie Charlesowi Simonyi'emu nie tylko za niezwykłą wielkoduszność i ufundowanie Katedry Upowszechniania Nauki, którą obecnie piastuję w Oksfordzie, ale również za przedstawienie swojej wizji - która zgadza się z moją - sztuki udostępniania wiedzy rzeszom odbiorców. Nie trywializuj. Staraj się zarazić innych poezją nauki, używając wyjaśnień na tyle prostych, na ile uczciwość pozwala, ale nie pomijaj rzeczy trudnych. Staraj się jeszcze bardziej, jeśli widzisz, że jest ktoś, kto naprawdę chce cię zrozumieć.

## ROZDZIAŁ 1

### U STÓP GÓRY RUSHMORE

Wysłuchałem właśnie wykładu o figie. Nie, nie botanicznego - był to wykład z literatury. Nie brakuje nam fig w literaturze - mamy figę jako metaforę, zmieniającą się percepcję figi, figę jako symbol sromu niewieściego i listek figowy jako jego okrycie, figę jako obraźliwy gest, konstrukcję społeczną figi, uwagi L. H. Lawrence'a o tym, jak jeść figi w towarzystwie, odczytywanie figi, czy też - o ile pamiętam - „figę jako tekst”. Wykładowca przywołał wreszcie *Księgę Rodzaju* i opowieść o Ewie, która namówiła Adama, by skosztował owocu drzewa wiadomości. Przypomniawszy, że w biblijnej księdze nazwa tego owocu nie pada. Przyjęło się brać go za jabłko. Zdaniem wykładowcy jednak była to figa, i tą smaczną uwagą skończył wywód.

Takie swobodne rozważania to codzienność dla umysłów humanistycznych, mnie jednak skłoniły do zastanowienia się nad ich dosłownym znaczeniem. O co w tym wszystkim chodziło? Przecież mówca nie miał wątpliwości, że nigdy nie istniał ani rajski ogród, ani drzewo wiadomości dobrego i złego. Cóż więc chciał przez to powiedzieć? Chyba to, że „w pewnym sensie”, „choć może to brzmi dziwnie” i „jeśli dobrze się zastanowić”, to tak naprawdę „właściwym” owocem byłaby tu figa. Ale dość o tym. Nawet kiedy przestaniemy się czepiać literalnego pojmowania rzeczy, okaże się, że przeoczył on wiele ciekawszych aspektów figi. Jest tyle wspaniałych paradoksów i prawdziwej poezji figi, której subtelności mogłyby zachwycić najbardziej wymagający umysł i zniewolić najbardziej wytrawnego estety. W książce tej chciałbym osiągnąć punkt, z którego zdołam opowiedzieć prawdziwą historię figi. Chociaż to tylko jedna z milionów opowieści zbudowanych na tych samych Darwinowskich zasadach gramatyki i logiki - dzieje figi są jednym z najlepszych przykładów zawikłanych dróg ewolucji. Odwołując się do najważniejszej metafory tej książki, można powiedzieć, że drzewo figowe osiągnęło jeden z najwyższych wierzchołków Góry Nieprawdopodobieństwa. Tak wysoki szczyt można jednak zdobyć dopiero na samym końcu wspinaczki. Wcześniej trzeba rozwinąć i objaśnić całą wizję życia, rozwiązać wiele zagadek i uporać się z licznymi paradoksami.

Jak powiedziałem, historia figi, na podstawowym poziomie, niczym nie odbiega od historii każdego innego organizmu żyjącego na Ziemi. Chociaż różnią się one od siebie już na pierwszy rzut oka, wszystkie są wariacjami na temat tego samego DNA i rezultatem 30 milionów sposobów, na jakie związek ten sam siebie odtwarza. Na naszym szlaku będziemy mieli okazję

przyjrzeć się pajęczym sieciom - przejawom prawdziwego, choć nieuświadomionego geniuszu - w konstrukcji i działaniu. Odtworzymy powolny proces stopniowego rozwoju skrzydeł oraz pojawienia się trąby u słoni. Przekonamy się, że oko - legendarny przykład, mający być problemem nie do rozwiązania dla ewolucjonistów - pojawiło się w świecie zwierząt co najmniej czterdzieści, a prawdopodobnie nawet sześćdziesiąt razy, całkiem od siebie niezależnie. Zaprzęgniemy do pomocy programy komputerowe, aby pomogły nam w wędrówce po gigantycznym muzeum niezliczonych istot, jakie kiedykolwiek na Ziemi żyły i wyginęły, oraz, co więcej, także wśród tych znacznie liczniejszych potencjalnych ich kuzynów, którzy nigdy nie przyszli na świat. Będziemy przemierzać drogi prowadzące na szczyty Góry Nieprawdopodobieństwa, z daleka podziwiając jej strome zbocza, niestrudzenie wyszukując jednak jak najłagodniejszych podejść od przystępniejszej strony. Z czasem wyjaśni się znaczenie paraboli Góry Nieprawdopodobieństwa, a przy okazji i dużo więcej. Muszę zacząć od objaśnienia, jak konstruowane są obiekty przyrodnicze w stosunku do obiektów zaplanowanych przez człowieka i jaka jest rola przypadku. Taki jest cel rozdziału pierwszego.

Muzeum Historii Naturalnej w Londynie ma dziwną kolekcję kamieni, których kształty przypominają but, rękę, czaszkę dziecka, kaczkę, rybę. Nadesłali je ludzie przeświadczeni, że podobieństwo takie musi coś oznaczać. Wietrzenie skał daje jednak takie bogactwo kształtów, że nie powinien dziwić kamień podobny do buta czy kaczki. Spośród wszystkich dostrzeganych pod stopami kamieni muzeum przechowuje tylko te, które ktoś uznał za ciekawostkę. Tysiące innych pozostaje na swoich miejscach dlatego, że są zwykłymi kamieniami. Podobieństwo elementów tej kolekcji do konkretnych przedmiotów jest nieistotne, choć zabawne. Dokładnie tak samo nieważne, jak wtedy, gdy dopatrujemy się twarzy czy kształtów zwierząt w chmurach czy skalnych zboczach. Jest czysto przypadkowe.

Skalisty ustęp góry na rycinie 1.1 to wypisz wymaluj profil Kennedy'ch. Jeśli tylko komuś zwróci się na to uwagę, dopatry się podobieństwa do Johna lub Roberta Kennedy'ego. Ale nie wszyscy to dostrzegą i łatwo zgodzić się z twierdzeniem, że podobieństwo to jest dziełem przypadku. Może być jednak inaczej - nie da się na przykład przekonać racjonalnie myślącej osoby, że głowy prezydentów Waszyngtona, Jeffersona, Lincolna i Teodora Roosevelta na zboczach góry Rushmore w Południowej Dakocie są przypadkowym efektem procesów wietrzenia skał. I nie musi nam nikt mówić, że zostały one specjalnie wyrzeźbione (pod kierunkiem Gutzona Borgluma). Są w oczywisty sposób nieprzypadkowe - projekt przeziara z

każdego ich fragmentu.

Różnicę między górą Rushmore a będącym skutkiem erozji atmosferycznej podobieństwem skał do profilu Johna Kennedy'ego (albo Mont St Pierre na Mauritiusie lub innych podobnych dzieł przyrody) można sprowadzić do stopnia prawdopodobieństwa. Po prostu liczba szczegółów, pod względem których rzeźba na stokach Rushmore przypomina rzeczywiste obiekty, jest zbyt wielka, aby była przypadkowa. Twarze są łatwo rozpoznawalne, nawet gdy się je ogląda pod różnym kątem. Natomiast przypadkowe podobieństwo widoczne na rycinie 1.1 do prezydenta Kennedy'ego jest widoczne tylko wówczas, gdy patrzy się na stok pod określonym kątem i przy odpowiednim oświetleniu.



Ryc. 1.1 Czysty przypadek. Profil prezydenta Kennedy'ego w zboczu hawajskiego



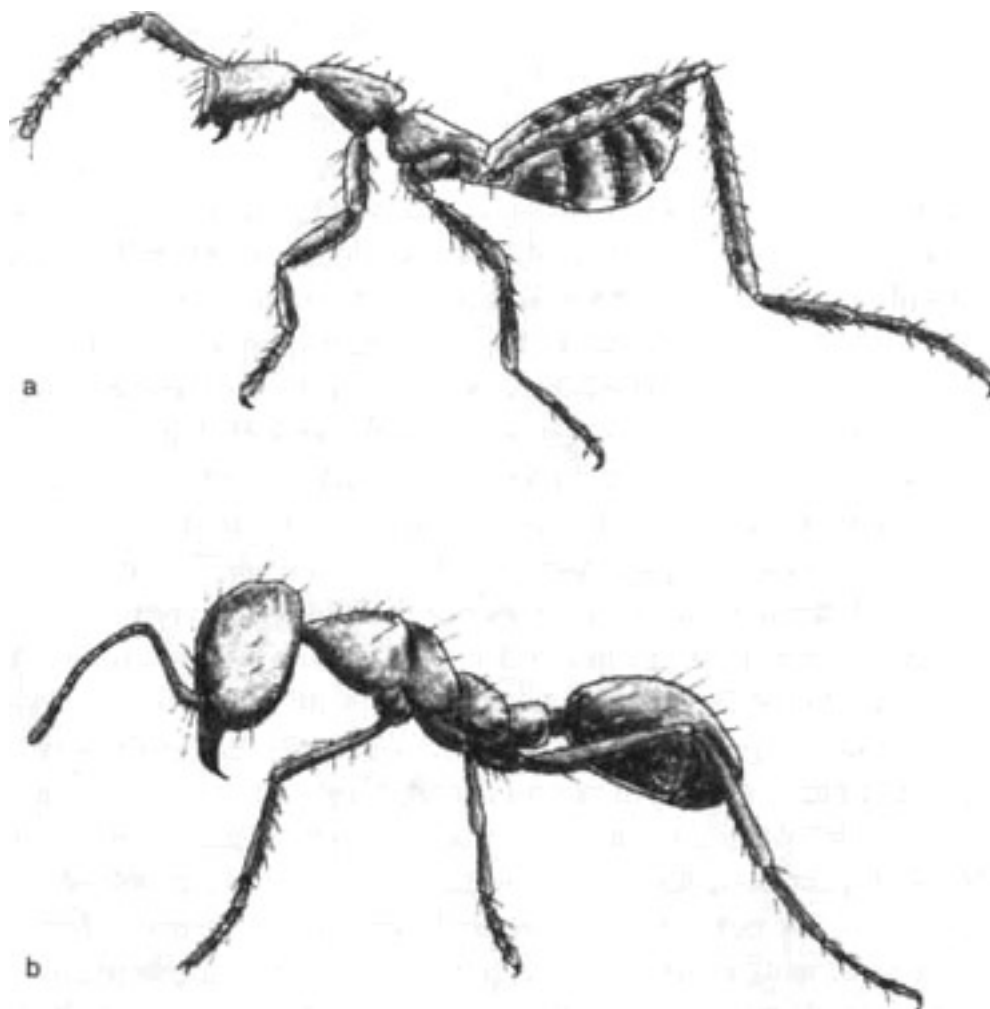
wzgórza

Tak, skała może pod wpływem czynników atmosferycznych uformować się w kształt, który będzie przypominał nos, jeśli oglądać ją z odpowiedniego miejsca, a inne skały mogą razem utworzyć coś podobnego do ust. Nietrudno wyobrazić sobie podobny zbieg okoliczności, zwłaszcza jeśli fotograf znajdzie tylko jedno miejsce, z którego podobieństwo da się dostrzec (przy czym trzeba uwzględnić szczególną właściwość ludzkiego mózgu, który - o czym trochę szerzej powiemy nieco później - aktywnie doszukuje się w oglądanych obiektach podobieństw do ludzkich twarzy). Ale góra Rushmore to zupełnie inna sprawa. Te cztery twarze zostały po prostu zaprojektowane. Rzeźbiarz wymyślił je, narysował na papierze, dokonał precyzyjnych obliczeń względem całej skały i nadzorował pracę ludzi, którzy posługiwali się młotami pneumatycznymi i dynamitem, aby wyźłobić w kamieniu wszystkie cztery twarze, o wysokości blisko 20 metrów każda. Deszcz, mróz i wiatr mogłyby dokonać tego samego co dynamit stosowany przez zręcznego robotnika. Ale spośród wszystkich możliwych kształtów, jakie mogłyby przybrać skały ulegające erozji, bardzo niewiele dałoby w efekcie rozpoznawalne podobieństwo do czterech wybranych osób. Nawet gdybyśmy nie znali historii góry Rushmore, łatwo dostrzec, że szanse na to, by te cztery głowy pojawiły się dzięki przypadkowym procesom wietrzenia skał, są astronomicznie małe - podobnie jak szanse, że czterdziestokrotnie rzucając monetą, za każdym razem otrzymamy orła.

Myślę, że różnica między przypadkiem a projektem jest jasna - w teorii przynajmniej, bo może nie zawsze od razu oczywista w praktyce. W rozdziale tym jednak wprowadzę jeszcze jedną kategorię obiektów, trudniejszych do rozpoznania. Będę je nazywał projektoidami. Projektoidy to żywe organizmy oraz ich produkty. Wyglądają, jakby były zaprojektowane, do tego stopnia, że zapewne, niestety, większość ludzi tak sądzi. Osoby te są w błędzie. Ale mają rację, że projektoidy nie mogą być dziełem przypadku. Projektoidy nie powstały przypadkowo. Były w rzeczywistości uformowane przez najczęściej zupełnie nieprzypadkowe procesy, które tworzą niemal doskonałą iluzję zamierzonego projektu.

Rycina 1.2 pokazuje żyjącą rzeźbę. Chrząższe na ogół nie wyglądają jak mrówki. Kiedy więc widzę chrząszcza, który do złudzenia przypomina mrówkę, co więcej - chrząszcza, który całe życie spędza w mrowisku, od razu podejrzewam, że za podobieństwem tym coś się kryje. Owad pokazany na następnej stronie to właśnie chrząszcz - jego bliscy krewni to chrząszcze

ogrodowe - ale wygląda jak mrówka, chodzi jak mrówka i żyje razem z mrówkami w ich mrowisku.

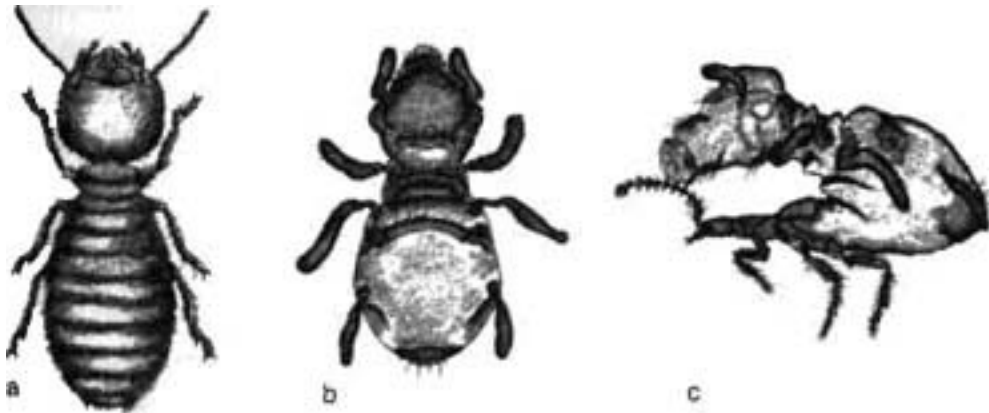


Ryc. 1.2 Nie zaprojektowane, ale nieprzypadkowe podobieństwo. Przypominający mrówkę chrząszcz *Labidus praedator* (a) i mrówka *Mimeciton antennatum* (b)

Owad poniżej to prawdziwa mrówka. Tak samo jak w każdej rzeźbie realistycznej, podobieństwo do modelu nie jest przypadkowe. Wymaga wyjaśnienia innego niż powoływanie się na czysty przypadek. Skąd się zatem bierze? Wszystkie chrząszcze, które z wyglądu uderzająco przypominają mrówki, żyją w mrowiskach lub przynajmniej w bliskich związkach z mrówkami, może więc działa tu jakaś substancja chemiczna pochodząca od mrówek albo chrząszcze zaraziły się czymś od mrówek, co wpływa na ich rozwój? Nie, rzeczywista odpowiedź - Darwinowski dobór naturalny - jest zupełnie inna i dojdziemy do niej nieco później. Na razie wystarczy, jeśli sobie uświadomimy, że takie podobieństwo, a także i inne przykłady

mimikry, nie jest przypadkowe. Musi być zaprojektowane albo powstawać w wyniku procesów, które dają efekty do złudzenia przypominające rzeczywisty projekt. Przyjrzyjmy się innym przykładom mimikry wśród zwierząt, pozostawiając na razie otwartą kwestię, skąd bierze się owo podobieństwo.

Poprzedni przykład pokazuje, jak świetną robotę może wykonać ciało chrząszcza, jeśli nastawi się na naśladowanie innego owada. Teraz przyjrzyjmy się stworzeniu pokazanemu na rycinie 1.3. Wygląda jak termit. Prawdziwego termita, dla porównania, przedstawia rycina 1.3a. Okaz na rycinie 1.3b to wcale nie termit. To chrząszcz. Przyznaję, że znam lepsze przykłady mimikry w świecie owadów, jak choćby wspomniany przed chwilą chrząszcz naśladujący mrówkę. Bo ten jest trochę dziwny. Wydaje się, że jego odnóża nie mają właściwych połączeń stawowych, sprawiają wrażenie wygiętych baloników. Ponieważ, tak jak wszystkie inne owady, chrząszcze dysponują odnóżami zaopatrzonymi w ruchome stawy, można by tu oczekiwać jakiegoś lepszego przybliżenia stawowych odnóży termita. Skąd więc ta nieudolna imitacja przypominająca raczej nadmuchiwaną zabawkę niż prawdziwe owadzie odnóże? Odpowiedź można znaleźć na rycinie 1.3c - a jest to zaiste jeden z najbardziej zdumiewających popisów w świecie żywych stworzeń.



Ryc. 1.3 Prawdziwy termit *Amitermes hastatus* (a); chrząszcz *Coatonachthodes ovambolandicus* przypominający termity (b); sposób, w jaki podobieństwo to jest osiągnięte (c).

Przyjrzyjmy się temu chrząszczowi z boku: prawdziwa głowa chrząszcza to ten niewielki drobiazg (jego oko znajduje się tuż pod normalnymi wieloczłonowymi czułkami), przyczepiony do smukłego tułowia, od którego odchodzą trzy pary normalnych, członowanych odnóży służących mu naturalnie do poruszania się. Całą sztuczkę wykonał odwłok: jest on wygięty w łuk

ku grzbietowi, tak że zawisa nad głową, tułowiem i odnóżami, całkowicie je nakrywając -jak parasol. „Termit” powstaje zatem z (anatomicznie) tylnej części odwłoka chrząszcza. „Głowa termita” to wysunięty kraniec odwłoka chrząszcza, a termicie „odnóża” i „czułki” to swobodnie zwieszające się z odwłoka jego wyrostki. Nie ma żadnych wątpliwości, że jakość tego naśladownictwa nie dorównuje doskonałości osiągniętej przez chrząszcza upodabniającego się do mrówki. Warto przy okazji zaznaczyć, że ten naśladowujący termity chrząszcz żyje w termitierach jako pasożyt, podobnie jak żerujący w mrowiskach chrząszcz naśladowujący mrówki. Chociaż stopień osiągniętego podobieństwa jest niższy, uzyskany efekt budzi większy podziw, jeśli weźmie się pod uwagę materiał wyjściowy. Mrówkopodobny chrząszcz zmienia każdy kawałek swojego ciała tak, by przypominał odpowiedni fragment ciała mrówki, podczas gdy termitopodobny zmienia tylko odwłok, by przypominał wszystkie części ciała termita.

Moim ulubieńcem wśród zwierzęcych rzeźb-podobizn jest liściasty pławikonik pokazany na rycinie 1.4. Jest to gatunek ryby, jeden z wielu koników morskich. Jego ciało przypomina wodorosty. Wygląd ten zapewnia mu ochronę - żyje bowiem wśród roślin wodnych i dzięki takim kształtom bardzo trudno go od nich odróżnić. Jego mimikra jest zbyt doskonała, aby mogła być dziełem jakkolwiek rozumianego przypadku. Podobieństwo to bliższe jest górze Rushmore niż zbocz z profilem Kennedy’ego. Moje przekonanie wynika po części z wielości sposobów, na jakie łądzi nas coś, udając coś, czym nie jest, a częściowo z faktu, że ryby zazwyczaj nie mają żadnych podobnych jak u tego konika morskiego wyrostków. Pod tym względem wyczyn owych stworzeń plasuje je bliżej termitopodobnych niż mrówkopodobnych chrząszczy.



Ryc. 1.4 Perfekcyjny kamuflaż. Samica pławikonika *Phycodorus eques* z Australii

Dotychczas przyglądaliśmy się twórcom, które zdumiewają nas podobieństwem do rzeczywistych obiektów, tak wielkim, że nie sposób uznać go za przypadkowe. Liściasty pławikonik i mrówkopodobne chrząszcze to rzeźby-projektoidy: sprawiają nieodparte wrażenie, że zostały specjalnie zaprojektowane przez artystę po to, by przypominać coś innego. Ale rzeźby to tylko jeden z rodzajów twórców projektowanych przez człowieka. Inne wytwarzane przez ludzi przedmioty zachwycają nas nie z powodu podobieństwa do czegośkolwiek, ale ze względu na swoją niezwykłą użyteczność do określonych zadań. Samolot świetnie nadaje się do latania. Dzbane - do przechowywania wody. Nóż do cięcia i krajania.

Jeśli wyznaczyłoby się nagrodę za kamień, którego naturalne krawędzie są wystarczająco ostre, by coś przeciąć, a także za kamień, w który można nalać wody, dostałoby się prawdopodobnie sporo niezłych okazów. Krzemień często pęka w taki sposób, że powstają

dostatecznie ostre krawędzie i jeśli przejdziecie się po kamieniołomach i piargach, z pewnością znajdziecie niejedno naturalne ostrze. Wśród wielkiego bogactwa kształtów, jakie przybierają wietrzejące kamienie, na pewno nie brakuje takich z zagłębieniami zdolnymi z łatwością zatrzymać wodę. Niektóre kryształy rosnące wewnątrz pustek skalnych tworzą kule, które - podzielone na pół - mogą służyć za naczynia. Takie kamienie mają nawet swoją nazwę: geody. Mam jeden taki okaz na biurku - używam go jako przycisku do papierów i chętnie zrobiłbym z niego kubek, gdyby nie był w środku tak porowaty, że nie sposób go porządnie umyć.

Łatwo wymyślić miarę umożliwiającą stwierdzenie, że naturalnie powstające dzbanki są dużo mniej efektywne niż twory rąk ludzkich. Efektywność to rodzaj stosunku między uzyskiwanymi korzyściami a poniesionymi nakładami. Korzyść z dzbanka może być równoznaczna z objętością wody, jaką może on pomieścić. Nakłady zaś można wygodnie wyznaczać w odpowiednich jednostkach: ilości materiału tworzącego to naczynie. Efektywność będzie wówczas określona ilością wody, jaką naczynie może pomieścić, podzieloną przez ilość materiału, z którego jest ono zrobione. Do pustej geody leżącej na moim biurku mogę nalać 87,5 cm<sup>3</sup> płynu. Objętość samego naczynia (którą zmierzyłem, korzystając ze słynnego z wydanego w wannie okrzyku „Eureka!” prawa Archimedesesa) wynosi 130 cm<sup>3</sup>. Efektywność takiego „kubka” wynosi więc 0,673. Jest to bardzo niski współczynnik, co wcale nie dziwi - skała bowiem nigdy nie została zaprojektowana do tego celu. Może pomieścić wodę, ale to czysty przypadek. Przeprowadziłem takie same obliczenia z kieliszkiem i jego współczynnik efektywności okazał się sięgać 3,5. Srebrny dzbanuszek do śmietanki mojej znajomej jest jeszcze bardziej efektywny - można do niego nalać 250 cm<sup>3</sup> wody, podczas gdy objętość srebra, z którego jest zrobiony, wynosi zaledwie 20 cm<sup>3</sup>. Jego współczynnik efektywności wynosi więc aż 12,5.

Nie wszystkie naczynia stworzone ludzką ręką mają podobny współczynnik efektywności. Masywne naczynie stojące w mojej kuchennej szafce ma pojemność 190 cm<sup>3</sup>, podczas gdy na jego wykonanie zużyto 400 cm<sup>3</sup> marmuru. Jego efektywność wynosi więc zaledwie 0,475, jeszcze mniej niż przypadkowego, wydrążonego kamienia. Jak to możliwe? Odpowiedź jest prosta. Marmurowe naczynie to móżdziej. Nie zrobiono go po to, by przechowywał wodę. Jest rodzajem ręcznego młynka, służącego do rozdrabniania przypraw i innych składników potraw za pomocą tłuczka: grubego trzonka, którym rozciera się ziarna, uderzając z dużą siłą w ścianki naczynia. Kieliszek do wina nie nadaje się do tego celu: gdyby spróbować go tak użyć, rozprysnąłby się na kawałki w jednej chwili. Współczynnik

efektywności, jaki ustanowiliśmy dla pojemników na wodę, nie ma więc do mózdzierzy zastosowania. Musimy wymyślić inny sposób mierzenia stosunku między nakładami a korzyściami, przy czym korzyści są miarą siły, jakiej można użyć bez groźby zniszczenia naczynia. Czy geoda może służyć jako doskonały mózdzierz? Z pewnością przeszlaby test wytrzymałości, ale gdybyśmy spróbowali jej użyć, natychmiast okazałoby się, jak wielką wadą jest jej chropowate wnętrze - w drobnych szczelinach gromadziłyby się ziarna, unikając skutecznie roztarcia. Musimy więc udoskonalić nasz współczynnik efektywności dla mózdzierzy, włączając weń także wskaźnik gładkości wewnętrznej powierzchni naczynia. To, że mój mózdzierz jest przedmiotem celowo zaprojektowanym, widać także z innych jego własności: doskonale okrągłego przekroju, znakomicie wyprofilowanego brzegu i stabilnej podstawy.

Możemy zaproponować podobne miary efektywności dla noży i nie mam żadnych wątpliwości, że naturalnie wyostrzony krzemień, jaki wpadłby nam w rękę w czasie gorącej sprzeczki, nie wytrzymałby porównania nie tylko ze stalowymi ostrzami z Sheffield, ale nawet z muzealnymi okazami starannie obrobionych narzędzi z epoki kamiennej.

Jeszcze w innym sensie naturalnie powstałe, przypadkowe naczynia lub noże są nieefektywne w porównaniu z zaprojektowanymi przedmiotami. Aby znaleźć jeden odpowiednio wyostrzony kamień albo jeden nie przeciekający wydrążony kawałek skały, trzeba przejrzeć i odrzucić wiele nieużytecznych kamieni. Kiedy mierzymy pojemność naczynia i dzielimy ją przez objętość materiału, z którego zostało sporządzone, powinniśmy również uwzględnić koszt odrzuconego kamienia lub gliny. Dla naczynia powstającego na kole garncarskim koszty te są znikome i można je pominąć. Dla przedmiotu wyrzeźbionego, którego powstawaniu towarzyszy usuwanie niepotrzebnego materiału, byłyby one większe, ale ciągle niezbyt duże. Jeśli jednak chodzi o poszukiwanie przypadkowo powstałych obiektów (*objet trouvé*), które mogłyby pełnić funkcję noża lub naczynia, koszty odrzuconego surowca byłyby kolosalne. Znakomita większość kamieni nie jest ostra ani nie nadaje się do przechowywania wody. Przemysł, który opierałby się na przygodnych znaleziskach (*objets trouvés*) mających pełnić funkcję narzędzi i innych elementów niezbędnego wyposażenia, miałby ogromnie wysoki wskaźnik nieefektywności i najpewniej upadłby pod zwalami kompletnie nieprzydatnych odpadów. Dużo efektywniejsze niż poszukiwanie jest projektowanie.

Zainteresujmy się teraz projektoidami - organizmami, które wyglądają jak zaprojektowane, choć stały się tym, czym są za pośrednictwem zupełnie innych procesów -

poczynając od projektoidów przypominających naczynia. Liść dzbanecznika (*Nepenthes pervillei* - ryc. 1.5) można uznać za jeszcze jedno naturalnie powstałe naczynie, ale ma on bardzo wysoki współczynnik efektywności w porównaniu z kieliszkiem do wina, jeśli nawet nie ze srebrnym dzbanuszkami na śmietankę. Sprawia wrażenie znakomicie zaprojektowanego pod każdym względem, nie tylko aby przechowywać wodę, ale także przyciągać i trawić owady. Rozsiewa delikatny zapach, dla nich wręcz zniewalający. Woń ta, razem ze szczególnym ubarwieniem pułapki, zwabia ofiary na brzeg „dzbanuszka”. Lądują na krawędzi stromo opadającej ścianki - której powierzchnia jest niewątpliwie nieprzypadkowo wyjątkowo śliska - otoczonej u góry sterczącymi w dół włoskami skutecznie uniemożliwiającymi wszelkie próby ucieczki. Kiedy nieszczęsne stworzenia spadają, co zdarza się prawie zawsze, w głąb tego ciemnego wnętrza, spotykają na jego dnie coś więcej niż czystą wodę. Szczegóły, na które zwrócił mi uwagę Barrie Juniper, są niezmiernie interesujące, pozwolę więc sobie pokrótce je przedstawić.





Ryc. 1.5 Projektoide przypominający naczynie. Pułapka dzbanecznika *Nepenthes pervillei* z Seszeli

Złapanie owada to dopiero początek, dzbanecznik nie ma wszak szczęk ani mięśni i zębów, by go rozdrobnić na kęsy nadające się do strawienia. Być może rośliny mogły wykształcić zęby i żujące szczęki, ale w naturze spotyka się prostsze rozwiązanie. Woda zebrana w pułapce dzbanecznika jest znakomitym środowiskiem dla najrozmaitszego robactwa.

Stworzenia te żyją wyłącznie w maleńkich zbiornikach wodnych zamkniętych właśnie w liściach dzbanecznika i są wyposażone w szczęki, których roślinie brakuje. Ciało złapanych w pułapkę ofiar zostają pożarte przez owadzieh współników i rozłożone przez ich soki trawienne. A roślina korzysta ze składników odżywczych pochodzących z rozkładających się resztek oraz z wydaliny żarłocznych stworzeń - związki te przenikają bez przeszkód z wody do tkanek rośliny przez cienką wyściółkę pojemnika.

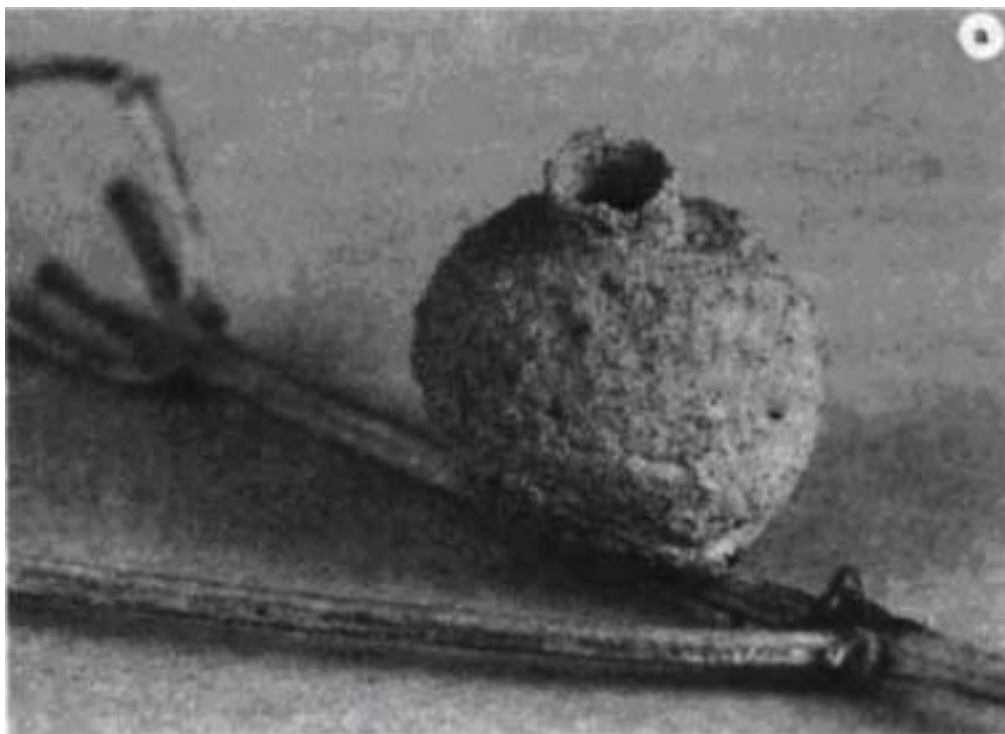
Dzbanecznik nie ogranicza się do biernego przyjmowania usług żarłocznych organizmów, którym zdarzy się wpaść do jego małego prywatnego basenu. Roślina ta dokłada starań, by otrzymały one w zamian to, co im potrzebne do życia. Wystarczy zbadać wodę w „dzbanuszkach”, by stwierdzić uderzający fakt. Nie jest ona wcale stęchła, czego można by oczekiwać po stojącym zbiorniku, ale wyjątkowo bogata w tlen. Bez tlenu te tak ważne dla dzbanecznika organizmy nie mogłyby tu przetrwać. Skąd jednak się on bierze? Okazuje się, że to sam dzbanecznik jest źródłem tlenu; zupełnie jakby został zaprojektowany tak, by wzbogacać wodę w tlen. Komórki wyściełające „dzbanuszek” od wewnątrz zawierają więcej chlorofilu niż leżące po zewnętrznej stronie - wystawione na promienie słoneczne i świeże powietrze. Tę dziwną na pierwszy rzut oka sytuację da się jednak wytłumaczyć: komórki warstwy wewnętrznej wyspecjalizowały się w wytwarzaniu tlenu uwalnianego wprost do wody zgromadzonej w „dzbanuszkach”. Dzbanecznik nie wyzyskuje niezbędnych mu szczęk, on je zatrudnia, wypłacając się uczciwie tlenem.

Jest wiele innych projektoidów-pułapek. Muchołówka jest równie imponująca jak dzbanecznik, a przy tym udoskonalona przez elementy ruchome. Owad uruchamia pułapkę, dotykając włosków czuciowych, co powoduje zamknięcie się bezlitosnych „szczęk”. Pajęczyna to najbardziej znany rodzaj pułapek sporządzanych przez zwierzęta - poświęćmy im należną uwagę w następnym rozdziale. Podwodnym odpowiednikiem pajęczyn są siatki zakładane przez zamieszkujące strumyki larwy chrzączek. Są one również słynne jako budowniczości niezwykle domków. Poszczególne gatunki wykorzystują kamyczki, liście lub niewielkie muszle ślimaków.

Często spotykanym widokiem w różnych częściach świata są lejkowate pułapki mrówkolwów. Ten budzący grozę stwór jest larwą - czyż można sobie wyobrazić subtelniejsze imię? - owada siatkoskrzydłego. Mrówkolew czatuje, ukryty pod cienką warstwą piasku na dnie swojego dotka, na mrówki i inne owady wpadające w jego pułapkę. Dołek ten ma niemal idealnie

stożkowaty profil, co sprawia, że ofiarom niezmiernie trudno się z niego wydostać. Kształt ten powstaje wcale nie dzięki przyjętemu z góry projektowi, ale pewnym prostym prawom fizyki związanym ze sposobem, w jaki kopią mrówkolwy. Z dna zagłębienia wyrzucają piasek na jego krawędź gwałtownymi ruchami głowy. Piasek zachowuje się tak samo jak ten w górnej części odwróconej klepsydry: formuje idealny stożek o łatwym do wyliczenia nachyleniu ścian.

Rycina 1.6 pokazuje kolejne naczynia. Wiele os samotnic składa jaja na ciele żywych ofiar i żądli je, by sparaliżować ich układ nerwowy, a następnie przenosi do kryjówki - jest nią zazwyczaj jakaś norka. Następnie zamyka wejście do niej tak, aby była niewidoczna; pozostająca we wnętrzu wykluta z jaja larwa odżywia się zawsze świeżym pokarmem, aż wreszcie jako uskrzydłony dorosły osobnik wyfruwa z ukrycia, by dopełnić cyklu życiowego. Wiele gatunków os samotnic kopie norki w ziemi. Osa kopolka lepi swoją „norkę” z gliny - niewielki, nie rzucający się w oczy, pękaty pojemnik, przytwierdzony do gałązki. Podobnie jak pułapka dzbanecznika, zająłby on z pewnością korzystne miejsce w naszej punktacji za efektywność wykonania. Pszczoły samotnice wykazują podobne zachowanie - również składają jaja w pojedynczych norkach, tyle że karmią swoje larwy nie ciałem gąsienic, lecz pyłkiem roślin. Podobnie jak osy kopolki, wiele gatunków pszczół miesierek buduje własne komórki lęgowe. Jedną z nich widać na rycinie 1.6a - okrągłe naczynie sporządzone jednak nie z gliny, ale z drobnych, spojonych ze sobą kamieni.



Ryc. 1.6 Projektoidy przypominające naczynia wykonane przez zwierzęcych artystów: osę kopułkę (a) i pszczołę miesierkę (b)

Oprócz tego, że przypomina do złudzenia twór rąk ludzkich, coś jeszcze decyduje o jego niezwykłości. Otóż choć na zdjęciu widać tylko jedno naczynie, w istocie są tam jeszcze trzy inne. Pszczoła zamknęła je i starannie oblepiła utwardzonym błotem tak, by nie odróżniały się od skały, na której zostały umieszczone. Żaden drapieżnik nigdy nie znajdzie rozwijających się w takim ukryciu larw. Pojemniki widoczne na zdjęciu odkrył w Izraelu mój znajomy Christopher O'Toole tylko dlatego, że ostatniego pszczoła z jakichś przyczyn nie dokończyła.

Takie owadzie „naczynia” noszą nieodparte piętno projektu. W przeciwieństwie do pułapek dzbanecznika, zostały rzeczywiście starannie wykonane przez niezwykle sprawnego - choć nieświadomego swoich umiejętności - twórcę. Naczynia osy kopułki i pszczoły miesierki są więc, w pewnym sensie, bliższe naczyniom wytwarzanym przez człowieka niż „dzbankom” dzbanecznika. Tyle że ani osy, ani pszczoły nigdy nie zastanawiały się nad projektem swoich wytworów. Choć powstały one z gliny lub kamyków w efekcie instynktownych zachowań owadów, proces ten nie różni się znacząco od procesów formowania się ciał tych owadów w czasie rozwoju zarodkowego. Wiem, że to brzmi dziwnie, ale postaram się wszystko wyjaśnić. Układ nerwowy osy rozwija się w taki sposób, by mięśnie, odnóża i żuwaczki wykonywały określone ciągi skoordynowanych ruchów. Odnóża osy wykonują szczególne, zgodne z kierunkiem ruchu zegara ruchy, czego konsekwencją jest zgarnianie gliny i układanie jej w kształt naczynia. Owad najprawdopodobniej nie wie, co robi, ani po co to robi. Nie ma najmniejszego pojęcia o naczyniu jako dziele sztuki, pojemniku, bądź komorze lęgowej. Jego mięśnie po prostu poruszają się tak, jak każą im nerwy, a naczynie jest tego rezultatem. Właśnie dlatego bez wahania - choć z uczuciem zdumienia - zaliczamy naczynia os i pszczół do niezaprojektowanych projektoidów: nie będących efektem zamierzonego aktu twórczego wytwarzających je owadów. W istocie, by pozostać w zgodzie z prawdą, muszę wyznać, że nie mogę wiedzieć na pewno, że osy nie są obdarzone wolą twórczą i zdolnością tworzenia projektów. Jeśli jednak moje wyjaśnienia wystarczą, by opisać omawiane zjawiska, to można je przyjąć, nawet gdyby owe owady takie cechy posiadały. Tak samo jest z ptasimi gniazdami (ryc. 1.7) i altankami, domkami chruścików i ich sieciami łownymi, ale już nie popiersiami wyrzeźbionymi na stokach góry Rushmore lub narzędziami do tego wykorzystywanymi - te były rzeczywiście zaprojektowane.

Karl von Frisch, słynny austriacki zoolog, który odczytał taniec pszczół, kiedyś napisał: „Jeśli wyobrazimy sobie termity wielkości człowieka, to ich najwyższe termitiery sięgałyby na

wysokość większą niż półtora kilometra - czterokrotnie więcej, niż mierzy Empire State Building w Nowym Jorku”. Wieżowce na rycinie 1.8 zbudowały australijskie termyty Kompasowe. Zostały one tak nazwane dlatego, że ustawiają swoje termitiery zawsze na osi północ-południe, dzięki czemu mogą służyć za Kompas zagubionym wędrowcom (podejrzewam, że tak samo jest z antenami satelitarnymi - w Wielkiej Brytanii wszystkie zdają się zwrócone na południe).



Ryc. 1.7 Projektoidy - prawdziwe cuda rzemiosła: gniazdo ptasiego tkacza - wikłacza (a) i krawca (b) razem ze swoim wytwórcą, krawczykiem cejlońskim *Orthotomus sutorius*.

Dzięki takiemu usytuowaniu szeroką ścianę termitiery ogrzewa poranne i wieczorne słońce. Pałace promienie południowego słońca nie wyrządzają jej natomiast szkody - ku północy (skąd świeci słońce w południe na półkuli południowej) wystawiona jest bowiem tylko jej wąska krawędź, łatwo o wrażenie, że termyty musiały to wszystko starannie przemyśleć. Jednak zasada decydująca o tym, że gniazda termitów wydają się nam bardzo inteligentnie skonstruowane, jest dokładnie taka sama jak przy pozornie przemyślanej konstrukcji ich szczęk i odnóży. Nic z tego nie zostało zaprojektowane. Wszystko to tylko projektoidy.

Wytwory zwierząt takie jak domki chruścików, gniazda ptaków czy pojemniki pszczoł miesierek nie tylko fascynują - zajmując specjalne miejsce wśród innych projektoidów, budzą prawdziwą ciekawość. Określenie „projektoid” odnosi się pierwotnie do żywych organizmów i ich części.



Ryc. 1.8 Owadzie wieżowce wyznaczające kierunek północ-południe. Termitiery australijskich termitów kompasowych

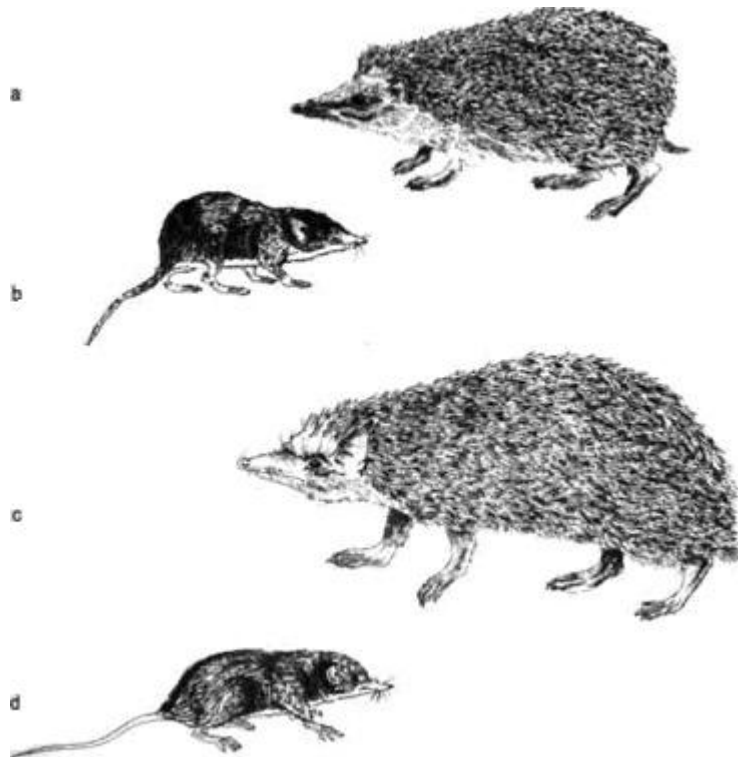
To nie wprawne ręce, dzioby czy odnóża składają je ze sobą, ale zawikłane procesy rozwoju zarodkowego. Umysł lubujący się w rozbudowanych klasyfikacjach może uznać takie wytwory zwierząt jak naczynia osy za „projektoidy drugiego rzędu” lub kategorię pośrednią między obiektami zaprojektowanymi a projektoidami, ale moim zdaniem byłoby to tylko mylące. Naczynie osy jest oczywiście zrobione z błota, a nie z żywych komórek, i ukształtowane przez ruchy odnóży przypominające pracę rąk ludzkiego garncarza. Ale jego „wzornictwo”, elegancja i doskonałość dostosowania kształtu do przeznaczenia ma - w obu tych przykładach - zupełnie inne źródła. Przedmiot wytworzony przez człowieka jest efektem procesu twórczego: powstał najpierw jako zamysł, starannie przemyślany i zaprojektowany w ludzkim umyśle, bądź też jest celowym naśladownictwem prac innego garncarza. Elegancja i doskonałość naczynia osy bierze się natomiast z tego samego procesu, który decyduje o elegancji i doskonałości całego ciała osy i poszczególnych jego części. Twierdzenie to stanie się jaśniejsze, gdy rozważymy żywe organizmy jako przykład projektoidów.

Jednym ze sposobów ustalenia, że mamy do czynienia z rzeczywiście zaprojektowanymi

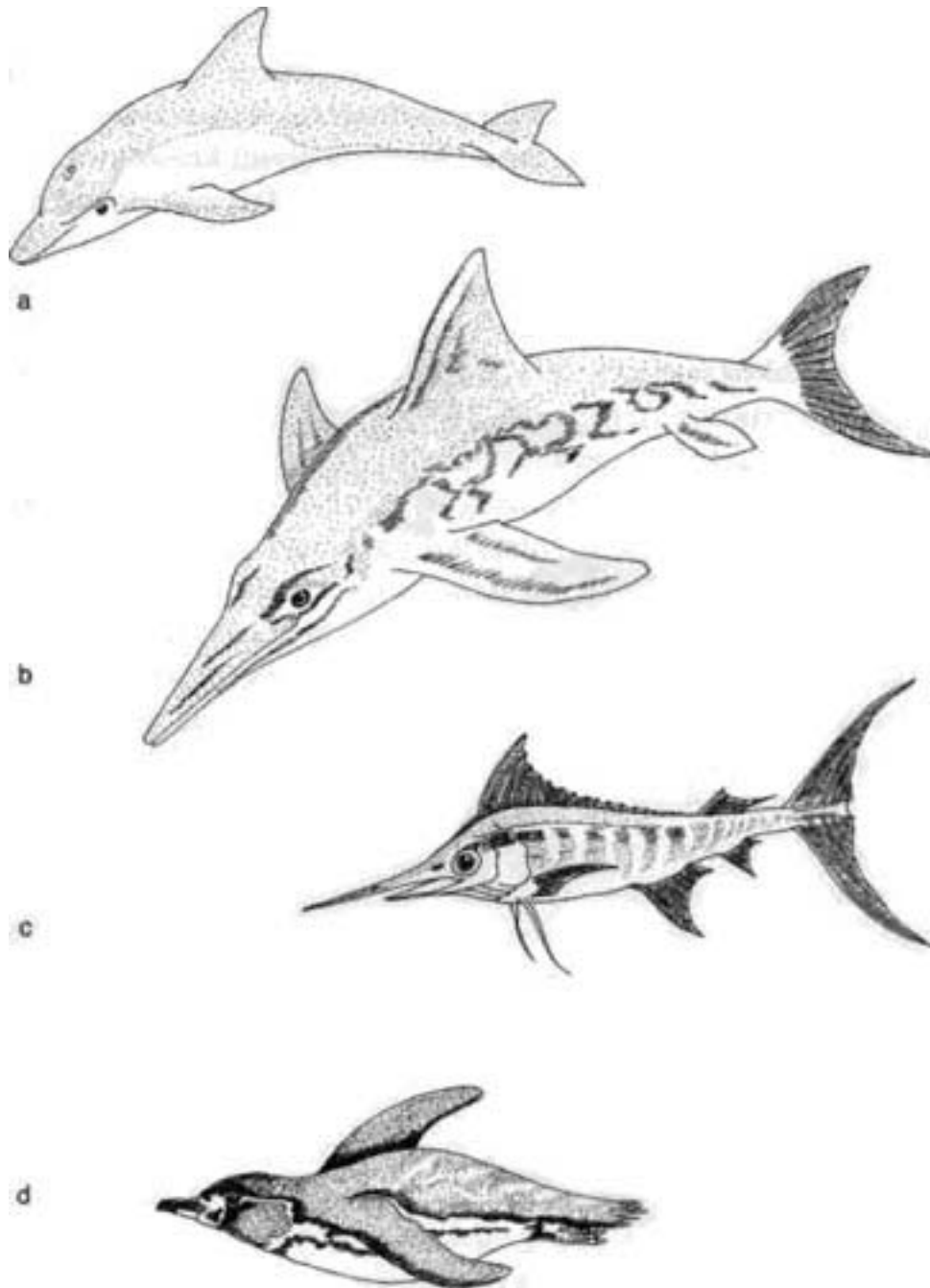
obiektami, a nie projektoidami, jest stwierdzenie podobieństwa do „pierwowzoru”. Popiersia wykute w skalistym zboczu góry Rushmore to oczywiście obiekty zaprojektowane, ponieważ wykazują uderzające podobieństwo do prezydentów. Podobieństwo liściastego pławikonika do wodorostów również nie budzi wątpliwości i z pewnością jest nieprzypadkowe. Właśnie tego rodzaju mimikra, tak samo jak podobieństwo chrząszcza do termita czy patyczaka do kawałka gałązki, robi na nas największe wrażenie. Często też zdumiewa podobieństwo istniejącego w przyrodzie rozwiązania do dzieła człowieka, spełniającego podobną funkcję. „Mimikra” ludzkiego oka i aparatu fotograficznego jest zbyt dobrze znana, by wymagała szczegółowego opisu. Najlepiej przygotowani do studiów nad zasadami funkcjonowania organizmów zwierzęcych lub roślinnych są inżynierowie - sprawne mechanizmy stosują się wszak do tych samych praw, niezależnie od tego, czy są zaprojektowane, czy też należą do kategorii projektoidów.

Różne organizmy często przybierają takie same kształty nie dlatego, że naśladują siebie wzajemnie. Po prostu określony kształt najlepiej każdemu z nich służy. Jeż i kolczasty tenrek jeżowaty przedstawione na rycinie 1.9 są tak podobne do siebie, że niemal stratą czasu wydaje się rysowanie każdego z nich z osobna. Oba należą do rzędu owadożernych [*Insectivora*], inne cechy dowodzą jednak, że są dość odległymi krewnymi. Możemy więc być pewni, że ich kolczasty wygląd wyewoluował niezależnie, prawdopodobnie jednak z tego samego powodu: kolce skutecznie bronią przed drapieżnikami.





Ryc. 1.9 Różne zwierzęta, które mają podobne potrzeby, są bardziej podobne do siebie nawzajem niż do swoich bliższych krewnych. Algierski jeż *Erinaceus algirus* (a) jest bliskim krewnym szczurojeża chińskiego *Neotetracus sinensis* (b). Nieco większy tenrek jeżowaty *Setifer setosus* (c) natomiast jest blisko spokrewniony z tenrekiem długoogoniastym *Microgale melanorrachis* (d).

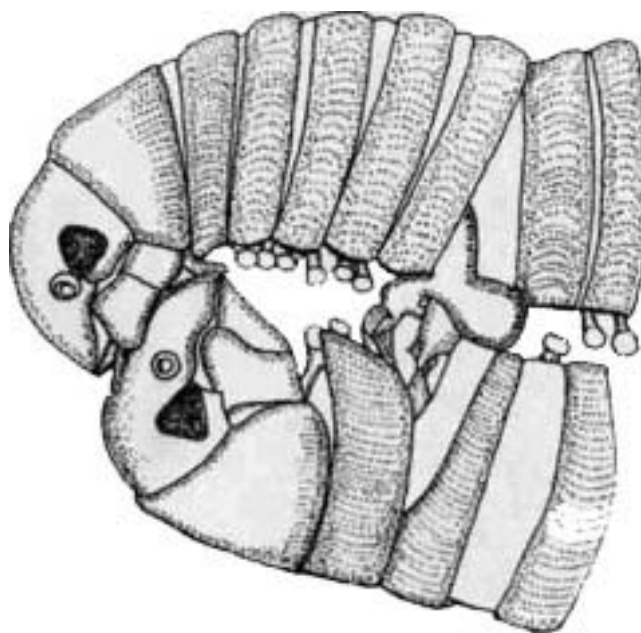


Ryc. 1.10 Konwergencja ewolucyjna - niezależne wykształcenie się opływowych kształtów ciała: delfin butlonosy *Tursiops truncatus* (a), rybojaszczur *Ichthyosaurus* (b), makaira błękitna *Makaira nigricans* (c) i pingwinek równikowy z wysp Galápagos *Spheniscus mendiculus*

Jeża i tenreka jezowatego przedstawiono na ilustracji razem z podobnymi do ryjówek zwierzętami, które są ich bliższymi krewnymi niż oba kolczaste stworzenia względem siebie. Rycina 1.10 pokazuje inny przykład. Zwierzęta morskie pływające szybko na niewielkich

głębokościach często mają podobny kształt, który inżynier nazwałby opływowym. Rysunki przedstawiają delfina (ssaki), wymarłego ichtiozaura (którego można uważać za gadziego odpowiednika współczesnych delfinów), marlina (ryby kostne) i pingwina (ptaki). Takie zjawisko określa się mianem ewolucji zbieżnej (konwergencji).

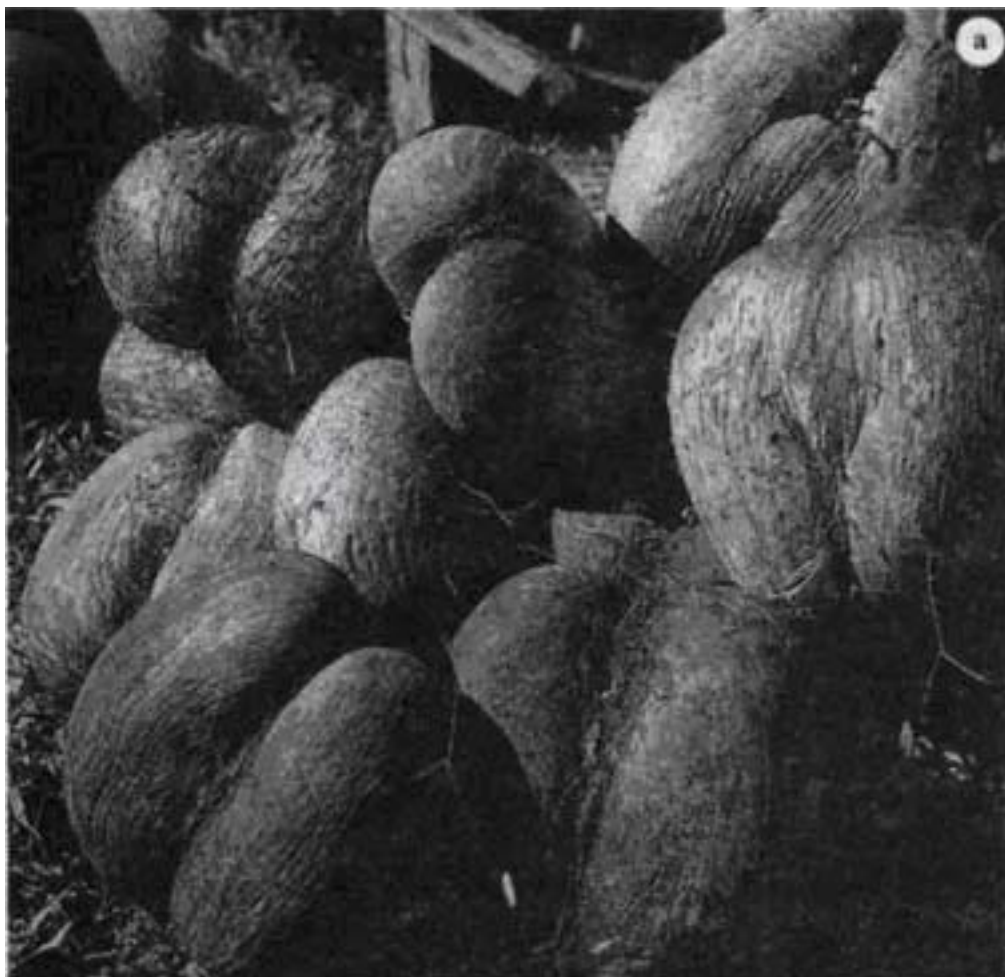
Pozorna konwergencja nie zawsze ma głębsze znaczenie. Tych - niekoniecznie misjonarzy - którzy uznają pozycję twarzą w twarz za oznakę wyższego człowieczeństwa, urzeknie niewątpliwie widok kopulujących krocionogów przedstawionych na rycinie 1.11. Możemy nazwać to konwergencją, ale nie jest to najpewniej wynik podobnych potrzeb - raczej faktu, że na tak niewiele sposobów samiec i samica mogą do siebie przywrzeć - łatwo więc wyobrazić sobie najrozmaitsze przyczyny, dla których na jeden z nich przypadkowo wpadły.



Ryc. 1.11 Kopulujące krocionogi *Cylindroiulus punctatus* w pozycji misjonarskiej

I tak zatoczyliśmy koło, powracając do wyjściowej opowieści o czystym przypadku. Są takie stworzenia, które przypominają inne obiekty, ale nie dość silnie, by doszukiwać się w tym nieprzypadkowości. Gołąb zboczony ma na piersi kępkę czerwonych piór, przez co wygląda tak jakby przed chwilą został śmiertelnie ranny, ale najpewniej nic to nie znaczy. Przypadkowe jest także podobieństwo orzechów lodoicji seszelskiej do kobiecego łona (ryc. 1.12a). Tak samo jak w przypadku profilu prezydenta Kennedy'ego wpisanego w hawajski stok, przyczyna takiego podobieństwa ma charakter statystyczny. U gołębia zboczonego „rana” to zaledwie pęczek piór.

„Mimikra” orzechów lodoicji natomiast rzeczywiście robi wrażenie. Podobieństwo obejmuje bowiem więcej niż jedną cechę.





Ryc. 1.12 Przypadkowe podobieństwo w naturze: orzechy (lodoicji seszelskiej) (a) i zmierzchnica trupia główka *Acherontia atropos* (b)

Można się w nim dopatrzeć nawet odpowiednika owłosienia łonowego. Ale to nasz mózg dokłada wszelkich starań, by odnaleźć podobieństwa, zwłaszcza do tych części ciała, które uważamy za szczególnie interesujące. Podejrzewam, że tak właśnie ich szuka w wyglądzie orzechów kokosowych i profilu Kennedy'ego na zboczu wzgórza.

To samo dotyczy zmierzchnicy trupiej główki (ryc. 1.12b). Nasz mózg ma rzeczywiście wręcz nieznośną potrzebę dopatrzeń się twarzy, jest to zresztą przyczyną jednego z uderzających złudzeń świetnie znanego psychologom. Jeśli maskę, którą można znaleźć choćby na stoisku ze strojami karnawałowymi, pokaże się innej osobie stroną wklęsłą na tle, które sprawi, że otwory na oczy staną się bardzo wyraźne, to osoba ta najpewniej spostrzeże ją jako normalną, wypukłą twarz. Ma to bardzo dziwne konsekwencje, jeśli maskę tę zacznie się obracać. Trzeba pamiętać, że mózg bierze ją za normalną twarz, podczas gdy jest ona wklęsłą stroną maski. Kiedy więc maską poruszy się w lewo, jedynym sposobem na pogodzenie informacji docierającej od oka z założeniem, jakie czyni mózg, jest przyjęcie, że rusza się ona w

przeciwnym kierunku. I tak właśnie się dzieje. Osoba obserwująca ruch maski ma wrażenie, że obraca się ona wcale nie w lewo, ale w prawo.

Bardzo więc możliwe, że wzór na grzbiecie ómy trupiej główki pojawił się zupełnie przypadkowo. Muszę jednak dodać, że jeden z najbardziej znanych teoretyków ewolucji Robert Trivers, pracujący obecnie w Uniwersytecie Rutgersa w stanie New Jersey, uważa, że deseń twarzy na ciele owadów ma odstraszać napastników, na przykład ptaki (my widzimy na tej ómie ludzką czaszkę, ale może to być równie dobrze małpia twarz). Niewykluczone, że to on ma rację, a wtedy zaliczyłbym ubarwienie tego motyla do kategorii projektoidów. Tak samo, choć prawdopodobnie z nieco innych powodów, może być z pewnym japońskim krabem. Krab ten nosi na plecach podobiznę (choć niezbyt przekonującą) japońskiego wojownika z charakterystyczną groźną miną. Być może w ciągu wielu stuleci japońscy rybacy, wyposażeni w naturalną skłonność mózgu do doszukiwania się twarzy, zauważyli na pancerzu pojedynczych krabów podobieństwo do zarysu twarzy. Ze względu na przesady albo szacunek nie chcieli zabijać krabów z ludzką twarzą (niewykluczone, że zwłaszcza wtedy, gdy przypominała samuraja), wrzucali je więc z powrotem do morza. Wielu takim krabom, zgodnie z ową hipotezą, ludzka twarz ocaliła życie i te, których rysunek na pancerzu był najbardziej zbliżony do pierwowzoru, dawały nieproporcjonalnie dużo potomstwa w stosunku do innych krabów tego samego gatunku. Ich następne pokolenie miało więc pod tym względem przewagę i podobieństwo do ludzkiej twarzy stopniowo się pogłębiało.

Kiedy rozważaliśmy możliwość uzyskania kamiennego noża przez poszukiwanie, zgodziliśmy się, że można „zrobić” ostry nóż, sprawdzając wszystkie kamienie na Ziemi i odrzucając tępe - czyli znakomitą ich większość. Jeśli przejrzymy wystarczająco dużo piargów i kamieniołomów, z pewnością znajdziemy nie tylko nóż o dobrym ostrzu, ale i o wygodnym uchwycie. Nie jest przesadnym uproszczeniem mówienie o poszukiwaniach nowych leków jako o niesłychanie żmudnym testowaniu mnóstwa stworzonych na oślep związków, by wybrać niewielką grupkę obiecujących. Zgodziliśmy się wcześniej, że poszukiwanie jako metoda uzyskiwania potrzebnych przyborów jest wyjątkowo nieefektywne. Już lepiej wziąć odpowiedni materiał, na przykład kamień, i wyostrzyć go lub wyrzeźbić zgodnie z projektem. Nie tak jednak powstają projektoidy - żywe stworzenia mające pozór projektu,. Tworzą się one w procesie bardzo przypominającym poszukiwanie, ale różniącym się od niego pod jednym zasadniczym względem.

To, co teraz powiem, być może zabrzmie dziwnie, ale warto to sobie uzmysłowić. Kamień nie ma dzieci. Gdyby kamienie miały dzieci podobne do siebie, to ich dzieci odziedziczyłyby po swoich rodzicach zdolność wydawania na świat potomstwa - pojawiałyby się kolejne pokolenia: wnuki, prawnuki. Moglibyśmy tak gdybać dalej, ale co z tego wynika? By odpowiedzieć na to pytanie, rozpatrzmy przykład czegoś, co jest równie przypadkowo ostre, ale rzeczywiście ma potomstwo.

Twarde, podługowate liście niektórych trzciny mają naprawdę ostre krawędzie. Cecha ta jest prawdopodobnie przypadkowym skutkiem innych ich własności. Można się boleśnie skaleczyć liściem takiej trzciny, nie na tyle jednak głęboko, by doszukiwać się w nim znamion celowości. Niewątpliwie nie wszystkie są jednakowo ostre - można przeszukać cały brzeg jeziora w poszukiwaniu najostrzejszego. I właśnie tutaj rozstajemy się z kamieniami. Nóż z trzciny można wykorzystać nie tylko do cięcia, da się go także rozmnożyć. Czy też - dokładniej - rozmnożyć roślinę, z której pochodzi. Trzeba tylko doprowadzić do krzyżowego zapylenia roślin o najostrzejszych krawędziach liści, a usunąć te, które uzna się za nieprzydatne. Nieważne, jak się to robi, ważne, by osobniki o najostrzejszych krawędziach liści miały w każdym następnym pokoleniu największy udział. Z czasem będzie można zauważyć, że wciąż jedne trzciny mają bardziej, a inne mniej ostre krawędzie liści, ale przeciętna trzcina staje się coraz bardziej ostra. Po około stu pokoleniach prawdopodobnie okaże się, że udało się wyhodować coś, co umożliwia całkiem przyzwoite golenie. Jeśli wraz z ostrością krawędzi zwracać się będzie uwagę również na twardość, niewykluczone, że w końcu takim liściem będzie można poderznąć sobie gardło.

W pewnym sensie przedmiot o własności, na której nam zależało, został znaleziony - nie było żadnego rzeźbienia, strugania, formowania, ostrzenia, po prostu wyszukano ten najlepszy. Ostre liście zostały odnalezione, tępe - odrzucone. Wygląda to na historię z zaostrzonymi kamieniami z jedną wszakże różnicą - jest to proces kumulatywny. Kamienie się nie rozmnażają, podczas gdy liście, a raczej rośliny, które liście te wytwarzają - tak. Po znalezieniu najlepszego ostrza w określonym pokoleniu nie używa się go po prostu tak długo, dopóki się nie stępi. Pomnaża się swój zysk, hodując taką roślinę, by przekazywała pożądaną cechę przyszłym pokoleniom, w których może zostać spotęgowana. Jest to proces kumulatywny i powtarzający się bez końca. Nawet jeśli ciągle wyłącznie się szuka, to i tak dzięki prawom genetyki okaz, jaki można znaleźć w późniejszych pokoleniach, jest dużo lepszy niż najlepszy okaz z pokoleń wcześniejszych. Na tym właśnie, jak się przekonamy w rozdziale trzecim, polega wspinaczka na

Szczyt Nieprawdopodobieństwa.

Posłużyłem się opowieścią o trzcinie, by przedstawić swój tok rozumowania. Przykładów działania podobnej zasady nie brakuje w naszym codziennym otoczeniu. Wszystkie rośliny pokazane na rycinie 1.13 pochodzą od jednego przodka, dzikiej kapusty *Brassica oleracea*. Jest to niepozorna roślina, niespecjalnie przypominająca kapustę. Ludzie wybrali ją i po zaledwie kilkuset latach wyhodowali z niej kilka zupełnie niepodobnych do siebie odmian uprawnych. Tak samo jest z psami (ryc. 1.14).

Spotyka się czasem krzyżówki psów i szakali lub psów i kojotów, większość specjalistów jednak obecnie przyjmuje, że wszystkie rasy psów domowych pochodzą od wilka, który żył prawdopodobnie kilka tysięcy lat temu. Trochę to tak, jakbyśmy to my, ludzie, ugnietli wilcze mięso i kości i uformowali je podobnie jak garncarz glinę. Ale oczywiście nie ugniataliśmy ich w sposób dosłowny, by otrzymać - dajmy na to - jamnika czy charta. Dokonaliśmy tego przez kumulatywne wyszukiwanie, czy też - używając popularniejszego określenia - stosując dobór sztuczny. Hodowcy chartów wyszukiwali osobniki, które miały bardziej zbliżone do charta kształty niż inne. Krzyżowali je, w następnym pokoleniu znowu wyszukiwali najbardziej chartopodobne osobniki i proces ten powtarzali wielokrotnie.

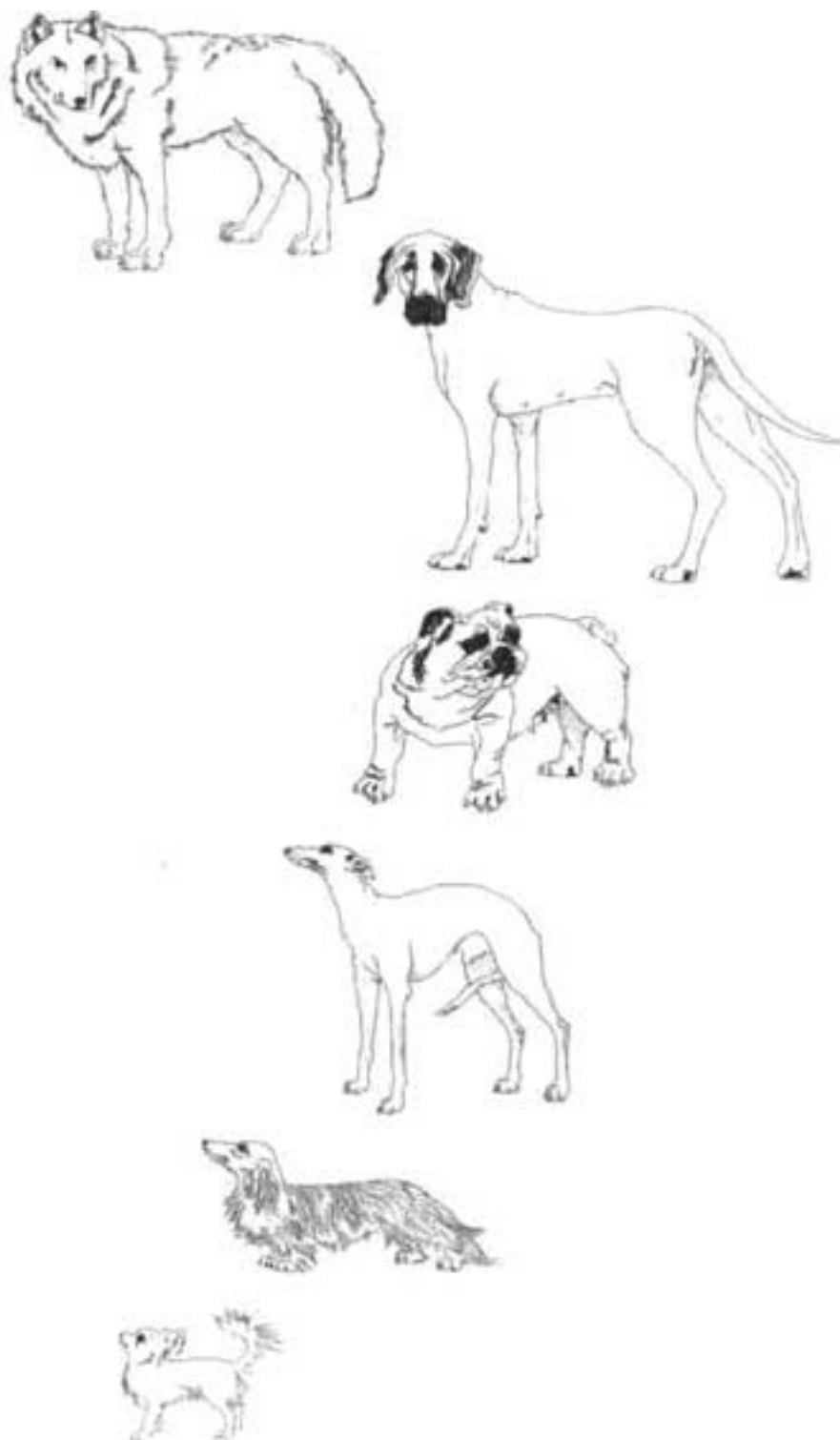




Ryc. 1.13 Wszystkie te rośliny wyhodowano z jednego przodka, dzikiej kapusty *Brassica oleracea*: (zgodnie z ruchem zegara, poczynając od lewej) brukselka, kalarepa, rzepa, kapusta głowiasta, kalafior i jarmuż.

Oczywiście nie było to aż tak proste, jak mówię, i hodowcy nie mieli założonego ideału współczesnego charta jako swojego celu. Prawdopodobnie podobały im się te cechy psiej

sylwetki, które my, dzisiaj nazywamy charcimi.



Ryc. 1.14 Dzięki selekcji można dokonać cudów. Człowiek wyhodował najróżniejsze rasy psów, wychodząc od wilka (na górze): dog niemiecki, buldog angielski, chart angielski,

Jamnik długowłosa i długowłosa chihuahua.

Nie jest też wcale wykluczone, że psy tej rasy uzyskały charakterystyczny wygląd niejako przypadkowo, jako swojego rodzaju skutek uboczny hodowania ze względu na inne cenne cechy, na przykład sprawność w łapaniu królików. Mimo wszystko charty i jamniki, dogi niemieckie i buldogi powstały w efekcie procesów przypominających bardziej wyszukiwanie niż modelowanie z gliny. Ale nie jest to czyste wyszukiwanie, towarzyszy mu bowiem proces kumulowania się cech w kolejnych pokoleniach. Właśnie dlatego nazywam je wyszukiwaniem kumulatywnym.

Na obiekty przypadkowe łatwo natrafić. Na obiekty zaprojektowane w ogóle się nie natrafia - są one kształtowane, formowane, ugniatane, konstruowane, składane z części, rzeźbione: tak czy inaczej, nadaje się im formę. Projektoidy natomiast są rezultatem kumulatywnego wyszukiwania albo przez ludzi, jak różne rasy psów czy odmiany kapusty, albo przez samą naturę, jak, powiedzmy, rekiny. Dziedziczność decyduje o tym, że przypadkowe ulepszenia w każdym pokoleniu się gromadzą. Aż w końcu pojawia się jako odległe pokolenie projektoid, wprawiający nas w największy podziw swoją doskonałością. Nie jest to jednak rzeczywisty projekt - perfekcja została bowiem osiągnięta dzięki zupełnie innym procesom.

Byłoby ogromnie miło zawsze móc zademonstrować przebieg tych procesów. Zwykle jednak nie jest to możliwe - pokolenie psów trwa nieco krócej od ludzkiego, jednak aby uzyskać dostrzegalne rezultaty ich ewolucji, nie starczyłoby nam życia. Ludzie wyhodowali rasę chihuahua w czasie bliskim jednej tysięcznej okresu, jaki zabrało naturze otrzymanie wilków z ich owadożernych przodków (o wielkości, choć nie kształcie, chihuahua), którzy żyli na Ziemi wówczas, gdy wyginęły dinozaury. Mimo to sztuczny dobór żywych stworzeń - a w każdym razie organizmów większych od bakterii - przynosi rezultaty po zbyt długim czasie, by były dostrzegalne dla krótko żyjących i niecierpliwych ludzi. Proces ten można natomiast niezmiernie przyspieszyć, jeśli posłużyć się symulacją komputerową. Komputery, przy wszystkich swoich ograniczeniach, są szalenie szybkie i mogą symulować wszelkie procesy, które tylko uda się precyzyjnie zdefiniować, a więc także procesy rozmnażania roślin i zwierząt. Jeśli symuluje się dziedziczenie, najbardziej podstawową cechę życia, dopuszczając przypadkowe mutacje, to rezultaty, jakie w efekcie doboru hodowlanego pojawiają się przed naszymi oczami już po kilkuset pokoleniach, są naprawdę zdumiewające. Pierwsze opisy takich badań zamieściłem w

książce Ślepy zegarmistrz [Wydanie polskie, w przekładzie Antoniego Hoffmana, ukazało się nakładem Państwowego Instytutu Wydawniczego w 1994 roku.] - wykorzystywałem wówczas program komputerowy o takiej samej nazwie. Można dzięki niemu wyhodować, stosując selekcję, twory, które nazwałem komputerowymi biomorfami. Wszystkie te biomorfy są potomkami wspólnego przodka, w dokładnie tym samym sensie, w jakim wszystkie rasy psów pochodzą od wilka. Kiedy na ekranie pojawiają się kolejne „mioty” biomorfów - niektóre z nich niosą przypadkowe mutacje - zadaniem człowieka jest wybranie tego, który będzie dalej hodowany. To wymaga wyjaśnień. Co w odniesieniu do owych komputerowych tworów oznaczają słowa: potomstwo, geny, mutacje? Otóż wszystkie biomorfy przechodzą taki sam rozwój. Powstają w zasadzie tak jak rozgałęziające się drzewo lub jako szereg takich drzew-segmentów połączonych ze sobą. Szczegóły owego drzewa (lub drzew) - a więc liczba gałęzi, ich długość i kąt, pod jakim wyrastają - kontrolowane są przez „geny” będące po prostu liczbami w komputerze. Geny prawdziwych drzew, podobnie jak nasze własne geny czy geny bakterii, to zakodowane przekazy zapisane w języku DNA. Częsteczki DNA są kopiowane z pokolenia na pokolenie z wysoką, choć nie doskonałą, wiernością. W każdej generacji DNA jest odczytywany i decyduje o kształcie zwierzęcia lub rośliny. Rycina 1.15 pokazuje, jak zmiana zaledwie kilku genów może wpłynąć zarówno w przypadku prawdziwych drzew, jak i komputerowych biomorfów na kształt całego drzewa, decydując o pewnym odstępstwie od wyjściowych reguł rozgałęziania się. Geny biomorfów nie są zapisane w DNA, ale jest to teraz bez znaczenia. Informacja zawarta w DNA ma postać zapisu cyfrowego, tak samo jak informacja komputerowa - „cyfrowe geny” są więc przekazywane przez kolejne pokolenia biomorfów swojemu potomstwu w taki sam sposób, w jaki przekazywany jest DNA zwierząt i roślin.



jesion wyniosły *Fraxinus excelsior*



jesion wyniosły, odmiana zwisająca *Fraxinus excelsior* „*Pendula*”



wierzba biała *Salix alba*, wierzba płacząca *Salix alba* „*Tristis*” ,  
buk zwyczajny *Fagus sylvatica*, buk zwyczajny odmiana zwisająca *Fagus sylvatica* „*Pendula*”



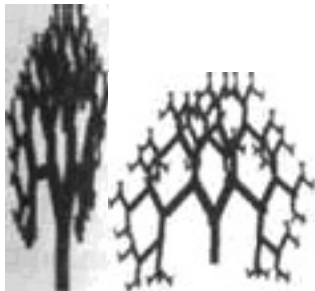
Topola czarna *Populus nigra*



buk zwyczajny odmiana stożkowata *Fagus sylvatica* „*Dawyck*”



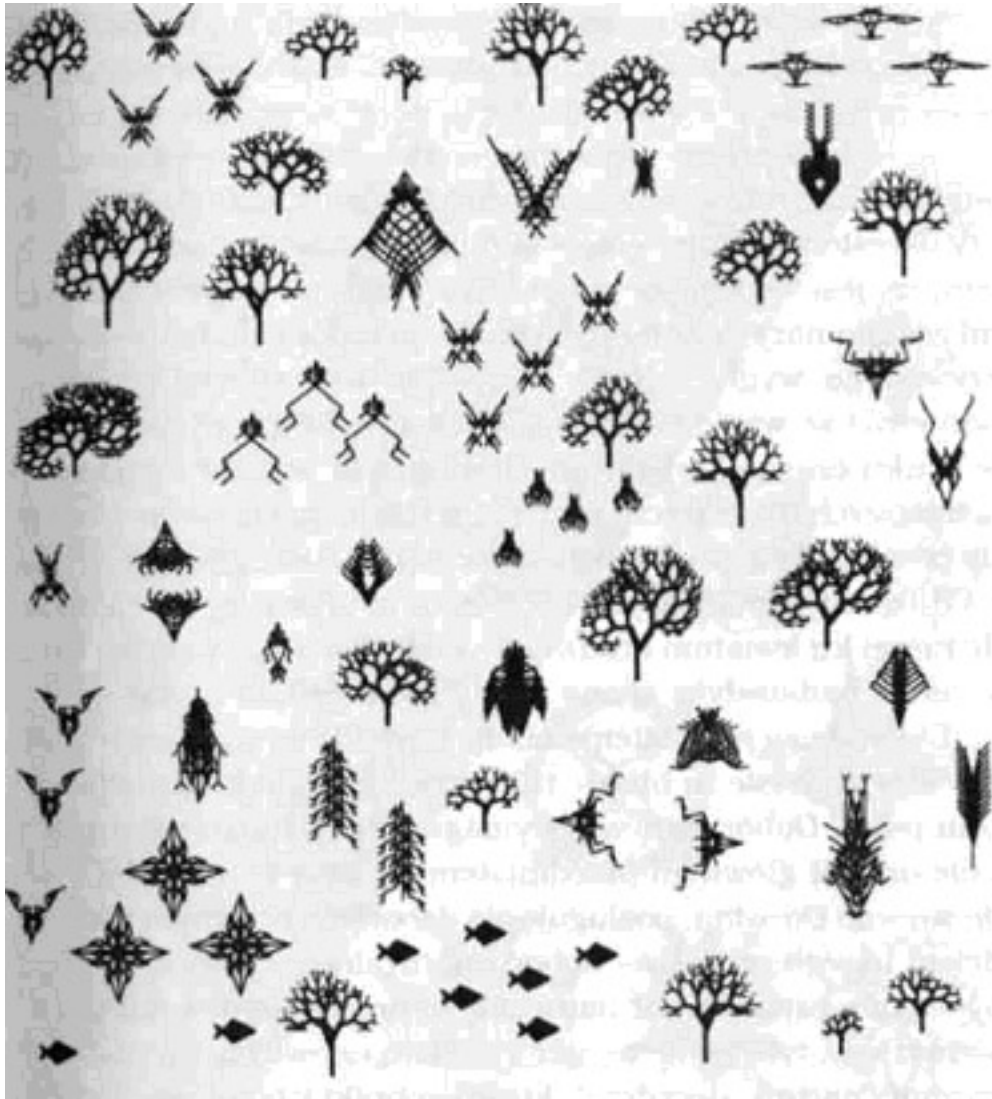
topola [czarna] włoska *Populus nigra* „*Italica*”



1.15 Sylwetki prawdziwych drzew i komputerowych biomorfów wskazują, jak różne

odmiany tego samego gatunku mogą istotnie różnić się kształtem, chociaż zmiana ogólnych zasad rozwoju jest stosunkowo niewielka. Różne gatunki drzew mają odmiany „płaczące”, są też takie, które osiągnęły wysmukły kształt.

Dziecko biomorfa dziedziczy wszystkie geny swojego rodzica (ma tylko jednego rodzica, ponieważ biomorfy są bezpłciowe), ale zdarzają się wśród nich czasem przypadkowe mutacje. Mutacja polega na niewielkim przypadkowym wzroście lub spadku wartości przyporządkowanych danemu genowi liczb. Dziecko może więc bardzo przypominać rodzica, z tą tylko różnicą, że jedna z jego gałęzi wyrasta pod nieco ostrzejszym kątem, ponieważ wartość liczbowa genu 6 wzrosła z 20 do 21. Komputer mający wyrysować potomstwo biomorfa w środku ekranu umieszcza biomorf rodzicielski, a dookoła - jego „dzieci”, niektóre niosące przypadkowe mutacje. Ponieważ ich geny uległy bardzo niewielkim zmianom, noszą one zawsze ślad rodzinnego podobieństwa zarówno do rodzica, jak i do rodzeństwa, często jednak nieco różnią się od siebie. Obsługujący komputer człowiek wybiera myszką jeden z wypełniających cały ekran biomorfów do dalszej „hodowli”. Ekran gaśnie, zostawiając tylko wskazany kształt, który przesuwa się na środkową, rodzicielską pozycję i płodzi nowy „miot” mutantów. Wraz z pojawianiem się kolejnych pokoleń osoba dokonująca selekcji ukierunkowuje ewolucję - podobnie jak ludzie, którzy decydowali o wyewoluowaniu poszczególnych ras psów domowych, tylko dużo szybciej. Najbardziej, kiedy napisałem ten program, zaskoczyło mnie właśnie szybkie tempo ewoluowania od wyjściowego kształtu drzewa. Stwierdziłem, że mogę dotrzeć do „owada”, „nietoperza”, „pajaka” lub „samolotu Spitfire”. Każdy z biomorfów widocznych na rycinie 1.16 jest produktem końcowym setek pokoleń hodowanych na drodze sztucznego doboru. Dzięki hodowli komputerowej przemknięcie przez wiele pokoleń jest zaledwie kwestią minut. Już po kilku minutach działania tego programu na szybkim, nowoczesnym komputerze można poczuć, czym jest Darwinowski dobór naturalny. Biomorfy na rycinie 1.16 to prawdziwy park safari - można tu, moim zdaniem, dostrzec kształty przypominające osy, motyle, pająki, skorpiony, wszy i inne „stworzenia” wyglądające dziwnie biologicznie, nawet jeśli nie przypominają żadnego konkretnego gatunku zamieszkującego Ziemię.



Ryc. 1.16 Komputerowe biomorfy, powstałe dzięki programowi „Ślepy zegarmistrz”, tworzą prawdziwy park safari.

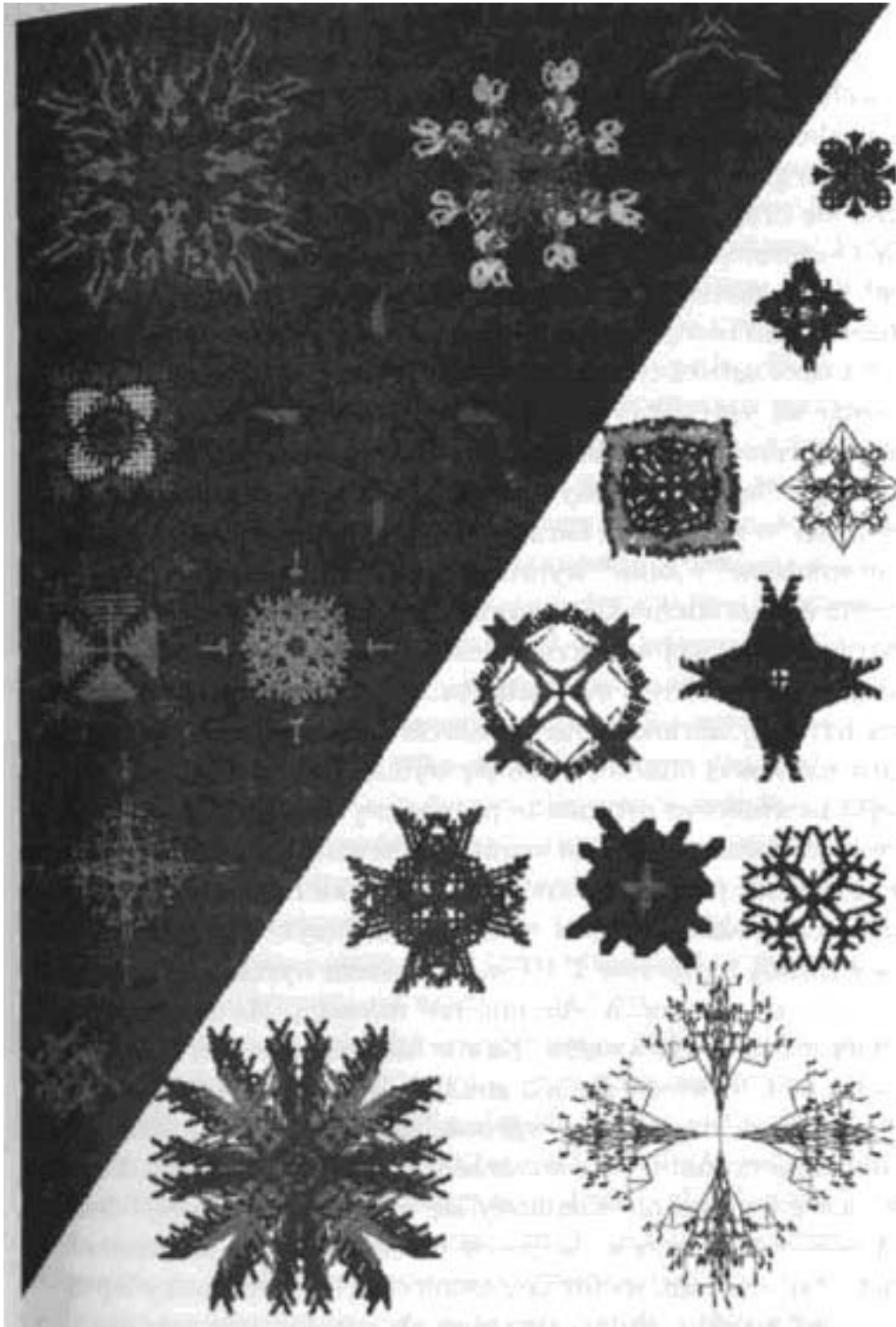
A wszystkie są kuzynami drzew, w pobliżu których się znajdują, jak również szwadronu samolotów Spitfire obecnych w prawym górnym rogu ryciny. Są całkiem bliskimi krewnymi. Wszystkie mają tyle samo genów (szesnaście). Różnią się tylko zakodowanymi cyfrowo wartościami tych genów. Można dotrzeć od każdego biomorfa na tej rycinie do każdego innego, lub też do bilionów innych biomorfów, stosując po prostu hodowlę selekcyjną.

Najnowsza wersja tego programu pozwala na hodowlę biomorfów różniących się również ubarwieniem. Jej podstawą jest stary program, który został uzupełniony nieco bardziej wyszukaną „embriogenezą” i nowymi genami determinującymi barwę odgałęzień. Zawiera on

także dodatkowe geny, decydujące o tym, czy określone odgałęzienie jest linią, prostokątem, czy też owalem, czy jest wypełnione czy puste w środku, i jak grubymi liniami zostało narysowane. Rycina 1.17 nie pozwala na ocenę rzeczywistego wyglądu tych niezwykle barwnych biomorfów, ponieważ ze względów oszczędnościowych przedstawiono ją w druku czarno-białym, umożliwiającym jedynie zaznaczenie jaśniejszych (tu szarych) miejsc. Przyłapałem się na tym, że kiedy posługuję się programem kolorowym, podążam ewolucyjnymi drogami prowadzącymi nie tyle ku owadom czy skorpionom, ile raczej ku kwiatom i rodzajom abstrakcyjnych wzorów, które świetnie nadawałyby się na tapety lub kafelki w łazience.

Biomorfy są rezultatem doboru prowadzonego przez człowieka. W tym sensie są bliskie różnym odmianom kapusty lub rasom psów. Dobór sztuczny wymaga jednak ludzkiego udziału, i nie on jest głównym przedmiotem tej książki. Odwołując się do samego Darwina, posługuję się doborem sztucznym jako modelem innego procesu - doboru naturalnego. Najwyższy czas, by się nim zająć. Dobór naturalny to proces bardzo zbliżony do sztucznego, tyle że nie wymaga udziału człowieka. Zamiast niego sama natura „decyduje”, które osobniki z potomstwa muszą zginąć, a które będą się rozmnażać. Cudzysłów ma tu istotne znaczenie, ponieważ natura nie posiada świadomości umożliwiającej podejmowanie decyzji. Zdanie to może się wydawać zbyt oczywiste, by wymagało podkreślenia, sądzę jednak, że nie wszyscy zdajemy sobie sprawę, jak wiele osób, myśląc o doborze naturalnym, wiąże go z jakąś formą osobistego wyboru. Są w bardzo głębokim błędzie. Dobór naturalny polega po prostu na tym, że jedne osobniki są bardziej narażone na wymarcie, podczas gdy inne posiadają to, czego trzeba, by przeżyć i wydać potomstwo. Właśnie dlatego wraz z pojawianiem się kolejnych pokoleń typowy przedstawiciel danej populacji staje się coraz biegłyjszy w sztuce przetrwania i rozmnażania się. Coraz biegłyjszy, powinienem dodać, względem pewnego stałego wskaźnika.





Ryc. 1.17 Park safari biomorfów powstałych dzięki programowi „Kolorowy zegarmistrz” - tutaj, ze względów oszczędnościowych, pokazanych w różnych odcieniach szarości. Podział tła na część czarną i białą ma znaczenie czysto dekoracyjne.

Co niekoniecznie musi mieć odbicie w praktyce, ponieważ równolegle ewoluują i doskonalą się przedstawiciele innych gatunków, coraz skuteczniej przeszkadzające mu w codziennym bytowaniu. Pewien gatunek może stawać się coraz sprytniejszy w wymykaniu się drapieżcom, ale drapieżcy mogą również doskonalic się w skutecznym łowieniu, a wtedy ostateczne rezultaty zbytnio się nie zmieniają. Ten rodzaj ewolucyjnego wyścigu zbrojeń jest bardzo interesujący, ale wybiegamy zanadto do przodu.

Dobór sztuczny dość łatwo zilustrować na komputerze i biomorfy są jego dobrym przykładem. Moim marzeniem jest jednak stworzenie również komputerowej symulacji doboru naturalnego. Najlepiej byłoby określić warunki ewolucyjnego wyścigu zbrojeń, w którym na ekranie pojawiałyby się kolejne pokolenia „drapieżców” i „ofiary” wymuszających wzajemnie swoje ewolucyjne doskonalenie się, a samemu wygodnie sobie siedzieć i obserwować rozwój wydarzeń. Jest to niestety bardzo trudne z takiej oto przyczyny. Powiedziałem, że niektóre osobniki potomne są bardziej narażone na wymarcie; stworzenie symulacji nieprzypadkowej śmierci może się wydać dość łatwe. Żeby jednak była to właściwa symulacja naturalnej śmierci, zgon komputerowego stworzenia musi wynikać z pewnej znaczącej niedoskonałości, na przykład odnóży zbyt krótkich, by umknąć przed drapieżcą. Komputerowe biomorfy, na przykład te przypominające owady na rycinie 1.16, mają czasem wyrostki, które możemy uznać za odnóża. Ale one nie używają ich do niczego, nie mają też żadnych wrogów. Na nic nie polują, nie żywią się roślinami. W ich świecie nie ma zmian pogody ani groźnych chorób. Teoretycznie moglibyśmy wprowadzić symulację wszystkich tych niebezpieczeństw. Ale stworzenie modelu działania każdego z nich z osobna nie różniłoby się wiele od sztucznego doboru. Musielibyśmy przyjąć w gruncie rzeczy podobne założenia - na przykład że długi, wysmukły biomorf ucieka drapieżcy lepiej niż biomorf krótki i gruby. To żaden kłopot nakazać komputerowi zmierzenie wszystkich biomorfów i wybranie najchudszeo z nich do dalszej hodowli. Ich ewolucja nie da jednak niczego interesującego. Kolejne pokolenia będą po prostu coraz smuklejsze. Nie uzyskamy więc niczego ponadto, co uzyskalibyśmy w efekcie boru sztucznego, wybierając najchudszeo na oko. Proces ten, ma więc emergentnego charakteru doboru naturalnego, co każda dobra symulacja powinna zapewnić.

Dobór naturalny w prawdziwych warunkach działa na znacznie subtelniejsze sposoby. Jest to również z jednej strony proces dużo bardziej skomplikowany, a z drugiej - dużo prostszy. I tak na przykład ulepszenia jednej własności, powiedzmy długości odnóży, zachodzą tylko w

pewnych granicach. W rzeczywistym życiu może się przydarzyć, że będą za długie. Bardzo długie odnóża łatwiej się łamią i mogą się zaplątać w gęstym poszyciu. Przy odrobinie pomysłowości można wpisać w komputer programy opisujące zarówno łamliwość, jak i skłonność do plątania się odnóży. Możemy też wprowadzić dane o ich własnościach fizycznych: znaleźć sposób na przedstawienie przebiegu naprężeń, wytrzymałości na rozciąganie, współczynników sprężystości - wszystko można poddać symulacji, jeśli tylko wiemy, jak to działa. Problemem są te rzeczy, których nie znamy, a nawet nie wyobrażamy ich sobie, czyli prawie wszystko. Na optymalną długość odnóży wpływają nie tylko niezliczone czynniki, o których nawet nie pomyśleliśmy. Co gorsza, długość to zaledwie jedna z ogromnie wielu własności odnóży; inne to na przykład grubość, sztywność, łamliwość, liczba stawów lub kształt. My braliśmy pod uwagę wyłącznie odnóża, a przecież wszystkie części ciała zwierzęcia wzajemnie na siebie oddziałują i razem z innymi zjawiskami wpływają na szanse przeżycia.

Dopóki, tworząc model komputerowy, próbujemy znaleźć wszystkie elementy wpływające na teoretyczne możliwości przetrwania określonego zwierzęcia, dopóty każdy, kto układa taki program, musi dokonywać arbitralnych, ludzkich decyzji. Najlepiej byłoby prowadzić symulację całej fizyki, całej ekologii, z symulowanymi drapieżnikami, ofiarami, roślinami i pasożytami. Wszystkie te modelowe stworzenia powinny podlegać ewolucji. Być może najlepszym sposobem uniknięcia arbitralnych decyzji byłoby puszczenie naszego komputera z dymem i skonstruowanie owych sztucznych stworzeń w postaci trójwymiarowych robotów goniących się nawzajem w rzeczywistym, trójwymiarowym świecie. Może się jednak okazać, że dużo tańszym rozwiązaniem będzie wyrzucenie wszystkich naszych robotów na szmelc i przyjrzenie się prawdziwym zwierzętom, żyjącym w prawdziwym świecie, wracając tym samym do naszego punktu wyjścia! Jest to znacznie mniej niepoważna propozycja, niż się teraz wydaje. Wróć do niej w następnych rozdziałach. Na razie powiem o jeszcze jednej rzeczy, którą możemy zrobić z komputerem, choć nie z biomorfami.

Biomorfy są niewdzięcznym obiektem badań procesu doboru naturalnego, głównie dlatego, że zbudowane są z fluoryzujących pikseli na dwuwymiarowym ekranie. Ten płaski świat nie podlega pod wieloma względami prawom fizyki obowiązującym w prawdziwym świecie. Cechy takie jak ostrość zębów drapieżcy, wytrzymałość tarcz obronnych ofiar, siła mięśni umożliwiająca odparcie ataku czy zjadliwość trucizn nie pojawiają się w sposób naturalny jako emergentne własności tworów świata dwuwymiarowych pikseli. Czy możemy wyobrazić sobie

prawdziwy przykład drapieżcy i ofiary, który dałby się przedstawić - w sposób naturalny i bez wbudowanej sztuczności - jako symulacja na płaskim ekranie? Na szczęście możemy. Wspominałem już o pajakach i ich sieciach, gdy omawiałem projektoidy-pułapki. Pajaki, jak wszystkie inne zwierzęta, mają trójwymiarowe ciała i żyją w świecie, w którym obowiązują powszechne prawa fizyki. Jest jednak coś w sposobie, w jaki pewne pajaki prowadzą swoje łowy, co sprawia, że nadaje się on świetnie do symulacji dwuwymiarowej. Typowa sieć łowna jest, zgodnie z jej przeznaczeniem, płaska. Owady w nią wpadające poruszają się w świecie trójwymiarowym, ale w krytycznym momencie, gdy owad zostaje złapany lub udaje mu się uwolnić, wszystko rozgrywa się na dwuwymiarowej płaszczyźnie pajęcznej sieci. Pajęczyna jest dobrym kandydatem do badań, o które mi chodzi - ciekawej symulacji doboru naturalnego na płaskim ekranie komputera. Następny rozdział jest w dużej mierze poświęcony sieciom pajęczym, poczynając od historii naturalnej prawdziwych sieci, poprzez komputerowe modele pajęczyn, aż po ich ewolucję na drodze „doboru naturalnego” przebiegającą w komputerze.

## ROZDZIAŁ 2

### JEDWABNE PĘTA

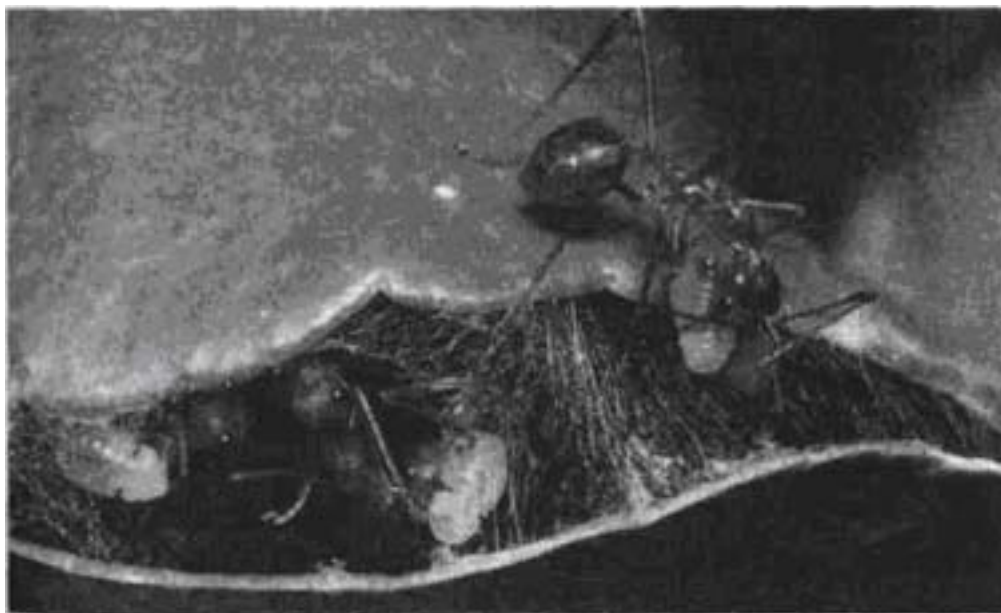
Dobrym sposobem uporządkowania naszych wyobrażeń o życiu jakiegoś stworzenia jest przyjęcie - bardzo umowne, na co ledwie pozwala *licentia poetica* - że stworzenie to (albo, jeśli kto woli, jego „projektant”) staje przed ciągiem różnych problemów lub wyzwań. Stawiamy najpierw problem wyjściowy, potem zastanawiamy się nad różnymi jego sensownymi rozwiązaniami. Następnie przyglądamy się, co też stworzenie to w rzeczywistości robi. Wtedy z pewnością pojawi się nowy problem i ciąg będzie się systematycznie wydłużał. Postąpiłem tak w drugim rozdziale Ślepego zegarmistrza, opowiadając o nietoperzach i ich niezwykle wymyślnych systemach echolokacyjnych. Tutaj powtórzę ten zabieg na sieciach pajęczych. Warto zwrócić uwagę, że przewycięzania kolejnych problemów nie powinniśmy traktować jako wędrówki przez życie jednego zwierzęcia. Jeśli w ogóle można mówić o jakimś postępie w czasie, to ma on wymiar ewolucyjny, może to jednak wcale nie być postęp chronologiczny, lecz jedynie uporządkowanie logiczne wyvodu. Naszym podstawowym zadaniem jest zatem znalezienie metody efektywnego łapania owadów służących jako pokarm. Jedno z rozwiązań, które wybrały na przykład jerzyki, może polegać na zdobyciu umiejętności latania. Wznieść się w powietrze, jak czyni to łup. Latać bardzo szybko z otwartym dziobem i kierować się dokładnie tam, gdzie wskażą oczy. Metoda ta sprawdza się u jerzyków i jaskółek, ale wiąże się z wysokimi nakładami na wyposażenie umożliwiające bardzo szybkie latanie i manewrowanie oraz niezawodny system naprowadzania. Tak samo jest z rozwiązaniem, które zastosowały nietoperze wykorzystujące w nocy echo zamiast światła laserowego naprowadzającego pociski bojowe.

Zupełnie czym innym jest strategia czatowania. Modliszki, a także kameleony i pewne inne jaszczurki, które wyewoluowały niezależnie i wykazują konwergencyjne podobieństwo do kameleona, wybrały maksymalne upodobnienie się do otoczenia i ogromne zwalnianie wszelkich ruchów aż do ostatniej chwili, kiedy błyskawiczny wyrzut języka lub przednich odnóży odbiera ofierze wszelkie szanse. Język kameleona ma tak duży zasięg, że umożliwia mu złapanie muchy w rejonie o promieniu równym niemal długości jego ciała. Podobne są proporcje „ramion” modliszki. Komuś mogłoby się wydawać, że projekt takich urządzeń chwytnych powinien być udoskonalony poprzez wydłużenie promienia ich zasięgu. Ale język czy odnóża dużo dłuższe od całego ciała byłyby zbyt kosztowne w konstrukcji i utrzymaniu - dodatkowa mucha, jaką dzięki

temu można by złapać, nie zrównoważyłaby nakładów na to przedsięwzięcie. Czy możemy sobie wyobrazić inny sposób na zwiększenie promienia zasięgu polowań?

A może zbudować sieć? Wymaga to co prawda jakiegoś materiału i również będzie miało swoją cenę, ale w przeciwieństwie do języka kameleona, sieć nie musi się poruszać, nie potrzebuje więc pękających włókien mięśniowych. Może być cienka jak pajęczyna i rozciągać się - przy stosunkowo niewielkich nakładach - na dużym obszarze. Gdybyśmy białko tkanki mięśniowej, które normalnie utworzyłoby muskularne „ramiona” i język, przetworzyli na jedwab, udałoby się nam wykroczyć daleko poza granice, których sięga język kameleona. Nie ma żadnych przeszkód, by siatka była ponad stukrotnie większa od budującego ją zwierzęcia, chociaż jest wytworem niewielkich, ukrytych wewnątrz jego ciała gruczołów przednich. To z ich wydzieliny powstaje ta niezwykle ekonomiczna pułapka.

Jedwab spotyka się często wśród stawonogów (to jedna z większych kategorii systematycznych świata zwierzęcego, do których zalicza się między innymi owady i pajęczaki). Gąsienice patyczaków przytwierdzają się do drzewa za pomocą pojedynczej jedwabnej nitki. Mrówki tkacze spajają poszczególne liście jedwabiem wydzielanym przez ich larwy, które trzymają w szczękach jak prawdziwe czółenka (ryc. 2.1). Wiele gąsienic owija się wielokrotnie jedwabną nitką, tworząc oprzęd, w którym pozostają aż do chwili przekształcenia się w uskrzydloną postać dorosłą. Siateczki namiotników zagłuszają drzewa, na których zwierzęta te żyją. Jedna gąsienica jedwabnika, budując swój kokon, wysnuwa nić o długości bliskiej półtora kilometra. Ale chociaż podstawą naszego przemysłu jedwabniczego są jedwabniki, to w królestwie zwierząt wirtuozami w tej dziedzinie są pająki. Dziwne więc, że człowiek nie wykorzystuje powszechniej pajęczego jedwabiu. Sporządza się z niego zaledwie celownik (nici pajęcze) w mikroskopach. Jonathan Kingdon, zoolog i artysta, w swojej pięknej książce *Self-made Man* zastanawia się, czy sieci pajęcze nie natchnęły rodzaju ludzkiego do jednego z najważniejszych wynalazków techniki - sznurka. Ptaki także doceniają zalety pajęczyn jako materiału budowlanego: o 165 gatunkach (należących do 23 niezależnych rodzin, co wskazuje, że odkrycia tego dokonywały wielokrotnie niezależnie od siebie) wiadomo, że wykorzystują jedwab pajęczy, budując swoje gniazda.



Ryc. 2.1 Jedwabne robotnice. Mrówki tkacze posługują się własnymi larwami jak żywymi czółenkami. *Oecophila smaragdina* z Australii

Typowy pająk tkający koliste sieci, krzyżak *Araneus diadematus*, wytwarza sześć rodzajów nici uwalniających się z otworów umieszczonych z tyłu jego odwłoka. Znajduje się tam sześć osobnych gruczołów przednich (tzw. kądziółków), które pająk „włącza” i „wyłącza”, snując poszczególne rodzaje nici. Pająki wytwarzały jedwabne nici na długo, zanim wyewoluowały ich gatunki, które potrafiły sporządzać sieci. Nawet pająki skaczące, nigdy nie przędać sieci, wzbijają się w powietrze, ciągnąc za sobą jedwabną linę bezpieczeństwa, jak alpinieści przywiązani do ostatniego pewnego uchwytu.

Nie taka od dawna więc należy do wyposażenia pająków i znakomicie nadaje się do sporządzania sieci na owady. Możemy uznać sieć za sposób na przebywanie w wielu miejscach naraz. Pająk jest jak jaskółka z paszczą wielkości wieloryba, jeśli ująć to w odpowiedniej skali. Albo jak kameleon z piętnastometrowym jęzorem. A przy tym jest to urządzenie niezwykle oszczędne. Podczas gdy język kameleona z pewnością stanowi istotną część jego masy, ciężar jedwabiu tworzącego pajęczynę - o długości 20 metrów w sporej sieci - nie stanowi nawet jednej tysięcznej ciężaru ciała pająka. Co więcej, jedwab podlega powtórnemu uzdatnianiu - pająk zjada zniszczoną sieć, niewiele więc się marnuje. Technika ta wiąże się jednak ze specyficznymi problemami.

Wcale nie błahym problemem, przed jakim staje pająk wykorzystujący sieć do łapania

owadów, jest uzyskanie pewności, że owad, który wpadł w pajęczynę, utkwii w niej na dobre. Pojawiają się tu bowiem dwa niebezpieczeństwa. Po pierwsze, owad może rozerwać sieć i spaść swobodnie w dół. Można temu zaradzić, zwiększając sprężystość pajęczyny, ale wtedy wzrasta drugie niebezpieczeństwo: owad będzie mógł odbić się od niej jak od trampoliny i z łatwością umknąć w nieznaną. Idealny jedwab, włókno, o jakim marzą twórcy włókien sztucznych, powinien znacznie się rozciągać, by wytlumić energię szybko lecącego owada, a następnie bardzo łagodnie powracać do kształtu pierwotnego. Co najmniej kilka rodzajów sieci pajęczych ma takie właściwości dzięki niezwykle skomplikowanej strukturze samego jedwabiu, co wykrył Fritz Vollrath (obecnie pracujący w Aarhus, w Danii) ze współpracownikami z Oksfordu. Nic pokazana w powiększeniu na rycinach 2.2 i 2.3 jest w istocie dużo dłuższa, niż się wydaje, ponieważ znaczna jej część pozostaje zwinięta w wilgotnych paciorkach. Wygląda to trochę jak naszyjnik, którego koraliki zawierają zwinięte nadprogramowe fragmenty nici. Mechanizm tego zwijania nie został jeszcze poznany. [Pewne wyjaśnienia zawiera artykuł F. Vollratha zamieszczony w „Świecie Nauki” 5, 1992, s. 65 (przyp. tłum.).] Funkcja jego pozostawia jednak niewiele wątpliwości. Nici takiej sieci mogą rozciągać się przeszło dziesięciokrotnie w porównaniu z długością spoczynkową, a także powracać do pierwotnego kształtu wystarczająco powoli, by nie odrzucić łupu z powrotem.

Następną niezbędną własnością, jaką powinna posiadać jedwabna sieć, by uniemożliwić ofierze ucieczkę, jest duża lepkość. Substancja, o której przed chwilą wspomnieliśmy mówiąc o systemie zwiniętych wewnątrz paciorków nici, jest nie tylko wodnista. Jest także lepka. Wystarczy, że owad lekko zawadzi o pajęczynę i już trudno będzie mu uciec. Nie wszystkie pająki w ten sam sposób dbają, by sieć była lepka. Grupa pajaków zaopatrzonych w specjalne „dysze przędzalnicze”, zwane półkiem przędnym (*kribellum*), wytwarza jedwab wieloniciowy. Następnie wyczesują go one specjalnym grzebieniem umieszczonym na goleni własnego odnóży. Zmierzwione wieloniciowe włókno rozdyma się w poplątany gąszcz (ryc. 2.4). Plątanina ta, zbyt drobna, byśmy mogli ją dostrzec gołym okiem, jest jednak doskonała do zaczepienia odnóży owadów. Sieci pajaków z półkiem przędnym działają dokładnie tak samo jak klejące się pajęczyny, o których wspominaliśmy przed chwilą, tyle że ich kleistość zostaje osiągnięta w inny sposób. Pod pewnym względem twory tych pajaków są doskonalsze - dłużej zachowują swe właściwości. Nie wyczesujące nici pająki każdego ranka muszą budować swoją klejącą się sieć od nowa. Co prawda - choć trudno w to uwierzyć - nie trwa to dłużej niż godzinę, każda minuta

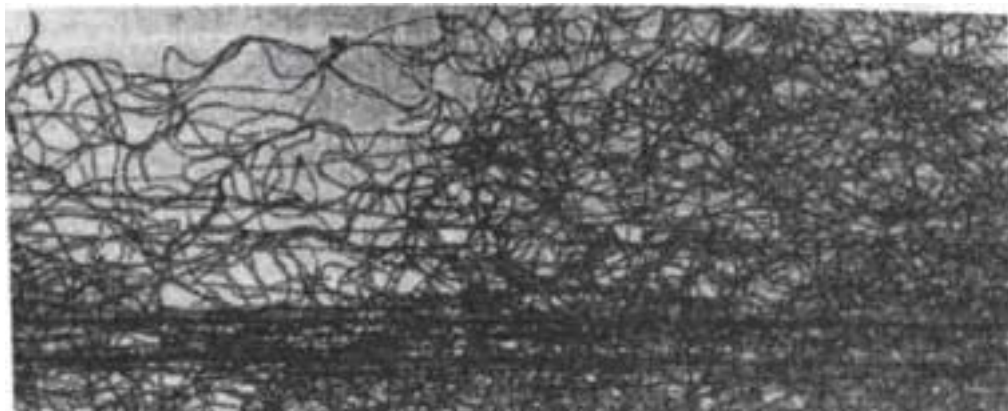


jednak jest cenna, gdy w grę wchodzi dobór naturalny.

Z lepкими sieciami wiąże się kolejny, i to dość paradoksalny problem. Otóż jeśli sieci takie, niezależnie od tego, czy przez splątanie nici, czy przez powleczenie kleistą substancją są dostatecznie lepkie, by unieruchomić ofiarę, to stają się jednocześnie przeszkodą dla samej pajęczycy. [Samce pająków również budują sieci. Przyczyny, dla których moja opowieść zatęcza o seksizm, podaję na str. 62.]



Ryc. 2.2 (pierwsza z lewej) Paciorki wzdłuż jedwabnej nici pajęczej Ryc. 2.3 Jeden z takich paciorków w powiększeniu - wewnątrz widoczna jest zwinięta nić, zachowująca się jak lina kołowrotu



Ryc. 2.3 Inny sposób, by sieć była lepka: zmierzwiona nić pająka z półkiem przędnym

Zwierzęta te nie mają jakiegś cudownej mocy uodporniającej je na prawa fizyki, ewolucja pomogła im jednak uporać się z niebezpieczeństwem wpadnięcia we własne sidła. Otóż odnóża pajaków powleczone są specjalnym olejkiem, który częściowo chroni przed lepkością sieci. Dowiedziono tego, zanurzając końce odnóży w eterze, który rozpuścił olejek pozbawiając je tym samym warstwy ochronnej. Inne rozwiązanie polega na wytwarzaniu niektórych, a dokładnie mówiąc, głównych, promieniście odchodzących od centrum, nici wolnych od kleistej powłoki. Pajęczycyca porusza się wówczas wyłącznie po nich, chwytając się cieniutkiej nici kończynami o specjalnych, pazurkowatych zakończeniach. Unika lepkich nici biegnących wielokrotnie dokoła w poprzek promieni stanowiących rusztowanie sieci. Nie jest to dla niej specjalnie trudne, ponieważ zwykle czatuje w środku pajęczyny, najkrótsza droga do każdego miejsca sieci prowadzi więc i tak wzdłuż owych promieni.

Powróćmy do rozlicznych problemów, przed jakimi staje pajęczycyca, budując swoją sieć. Nie wszystkie pająki są takie same, wybiorę więc jako przykład dobrze znanego z ogrodów pająka krzyżaka *Araneus diadematus*. [Posługuję się nazwami łacińskimi i mam nadzieję, że zostanie mi wybaczona szkolna uwaga na temat ich znaczenia - zadziwia bowiem, jak wiele dobrze wykształconych osób (być może te same, które bez mrugnięcia okiem rozprawiają o Darwinowskim dziele *O powstawaniu gatunków*) niewłaściwie je rozumie. Nazwy łacińskie składają się z dwóch części: nazwy rodzajowej (na przykład Homo jako rodzaj) i gatunkowej (na przykład sapiens jako jedyny żyjący gatunek tego rodzaju), oba pisane kursywą. Nazwy określające jednostki systematyczne wyższej rangi nie są pisane kursywą {tak w języku angielskim - przyp. red.}. Rodzaj Homo należy do rodziny człowiekowatych - Hominidae.

Nazwy rodzajowe są niepowtarzalne: jest tylko jeden rodzaj *Homo*, jeden rodzaj *Vespa*. Nazwy gatunkowe natomiast często się powtarzają, nie powoduje to jednak nieporozumień dzięki unikalności nazw rodzajowych: *Vespa vulgaris* to osa i nie ma żadnych obaw, że ktoś pomyli ją z ośmiornicą, *Octopus vulgaris*. Nazwy rodzajowe zawsze pisane są wielką literą, a gatunkowe nigdy (tak jest teraz, choć kiedyś bywało inaczej, jeśli pochodziły od czyjegóż nazwiska; obecnie nawet *Darwinii* pisze się - *darwinii*). Jeśli kiedykolwiek natkniemy się (a zdarza się to nieraz) na *Homo Sapiens* lub *homo sapiens*, to zawsze jest to błąd. Łacińska nazwa gatunku *species* w języku angielskim oznacza zarówno liczbę pojedynczą, jak i mnogą tego rzeczownika. Liczba mnoga od łacińskiego słowa *genus* (rodzaj) brzmi *genera*. {W języku polskim natomiast nagminny błąd polega na odmienianiu nazw łacińskich - na przykład pisaniu o „Vespie” czy „Octopusie” (przyp. red.)} Najpierw musi zdecydować, jak przerzucić pierwszą nić przez dogodną przestrzeń, na przykład między drzewem a kamieniem. Kiedy zostanie już rozpięta, pajęczycza może wykorzystywać ją jako most. Jak go jednak zbudować? Istota poruszająca się na nogach poszłaby w dół, następnie skręciła i wróciła tą samą drogą, ciągnąc za sobą linę. Pająki czasem tak postępują, ale czy nie ma sprytniejszej metody?

A może puścić latawiec? Czy nie moglibyśmy wykorzystać tego, że jedwab jest lekki i unosi się w powietrzu? Ależ tak. Spójrzmy, co robi pajęczycza, jeśli wiatr jest dostatecznie silny. Wypuszcza pojedynczą nić ze specjalnym zakończeniem - małym płaskim jedwabnym żagielkiem czy też latawcem. Latawiec ów łapie wiatr i żegluje w powietrzu. Jest lepki, jeśli więc wylądnie na stałym podłożu po drugiej stronie, przylepia się do niego. Jeśli niczego nie dotknie, pajęczycza wciąga nić z powrotem, zjada i próbuje od początku. W końcu wygodny most zawisa i pajęczycza zabezpiecza swój koniec nici, przytwierdzając go do wybranego miejsca. Most ów zwykle nie jest mocno napięty, ponieważ nić nie jest idealnie wymierzona - chodzi tylko o to, by sięgnęła drugiego brzegu. Pajęczycza mogłaby ją teraz albo skrócić, by służyła jako krawędź sieci, albo pociągnąć w dół i nadać jej kształt litery V - by stała się dwoma głównymi promieniami sieci. Problem w tym, że rzadko owo V jest dostatecznie głębokie, by utworzyło dwa odpowiednio długie promienie. Pajęczycza stosuje więc inne rozwiązanie: nie udoskonala samego mostu, ale używa jako rusztowania, aby wymienić go na nową i dłuższą nić. A oto jak to robi. Stojąc na jednym końcu mostu, zaczyna wypuszczać ze swojego odwłoka nić, którą starannie przymocowuje do podłoża. Następnie „odłącza” istniejący most, przegryzając go - mocno przytrzymując zarazem ucięty koniec odnóżami. Przechodzi na drugą stronę wybranej przestrzeni

podtrzymywana z przodu przez pozostałości przerwane mostu, a z tyłu przez nową nić, którą rozwija za sobą. Jest wtedy żywym przesłem, posuwającym się powoli po moście. Kolejne fragmenty starej nici, po których już przeszła, zjada. W ten właśnie zaskakujący sposób, pożerając stary most, a jednocześnie rozwijając nowy, pajęczycyca przechodzi z jednego brzegu na drugi. Co więcej, jej tylna część wytwarza nić szybciej, niż jej część przednia pochłania starą. Nowy most jest więc w starannie dobranych proporcjach dłuższy od poprzedniego. Dobrze przymocowana z obu stron do podłoża nić zwisa dokładnie tak, by można ją wyciągnąć w kształt litery V, tworzącej promienie o właściwej długości i wyznaczającej środek pajęczyny.

Aby to uczynić, pajęczycyca cofa się na środek mostu i ciężarem własnego ciała wyciąga nić w sprężyste V. Oba ramiona są tak umiejscowione, by stać się głównymi promieniami sieci. Wtedy nie ma wątpliwości, gdzie umieścić następny promień. Oczywisty wydaje się pomysł spuszczenia go prostopadle w dół od środka V, aby zabezpieczyć położenie środka pajęczyny z drugiej strony i utrzymać napięcie owego V nawet wówczas, gdy nie będzie go napinał ciężar pajęczycy. Przymocowuje więc nową nić do środka V i zjeżdża w dół, jakby była ciężarkiem pionu używanego przez budowniczych. Po wylądowaniu na ziemi lub innym odpowiednim gruncie przytwierdza do niego tę pionową nić. Trzy ważne promienie sieci przypominają teraz literę Y.

Następne dwa kroki to uzupełnienie brakujących promieni oraz sporządzenie zewnętrznych ram sieci. Pajęczycyca najczęściej przemyślnie przeprowadza obie te operacje jednocześnie - trzymając zdumiewająco zręcznie dwie lub trzy nici. Następnie przeciąga każdą z nich z osobna, krocząc po umocowanych promieniach. W pierwszej wersji tego rozdziału starałem się dokładnie wytłumaczyć, jak ona taką kocią kołyskę robi, ale od próby opisanie całej tej magicznej wręcz sztuczki zaczęło mi się kręcić w głowie. Kiedy jedna z redaktorek tej książki poskarżyła się na to samo, dałem to sobie wyperswadować.

Mamy już pełne koło z 25 lub 30 promieniami (ich liczba różni się u poszczególnych gatunków i osobników), kompletny szkielet sieci jest więc gotowy. Sieć taka jest jednak - podobnie jak koło rowerowe - w gruncie rzeczy pusta, każda mucha mogłaby swobodnie przez nią przelecieć. A nawet gdyby uderzyła w jeden z promieni, nic by jej się nie stało, ponieważ nie są one lepkie. Potrzebne są więc teraz liczne nici przechodzące w poprzek promieni. Można je wbudować na wiele sposobów. Pajęczycyca mogłaby na przykład zajmować się każdą przerwą między promieniami z osobna przemierzając ją zygzakiem od brzegu do brzegu, od środka do

ramy sieci, następnie czyniąc to samo z następną przerwą itd. To jednak wymagałoby wielu zmian kierunku, a zmiany kierunku są marnotrawstwem energii i czasu. Lepszym rozwiązaniem jest wędrówka prosto przed siebie i wielokrotne obejście sieci dookoła po linii spiralnej. I to właśnie zazwyczaj czynią pajęczycy, choć niekiedy prowadzą jakiś odcinek z powrotem.

Niezależnie od tego, w jaki sposób, zygzakiem czy spiralnie, przerwy zostają wypełnione, pojawiają się kolejne problemy. Układanie lepkich nici, które mają spełniać ważne zadanie, wymaga wielkiej precyzji. Oczka sieci muszą być bardzo dokładnie wyliczone, a połączenia z promieniami znaleźć się na właściwych miejscach - inaczej całość stanie się bezładną płataniną z otworami dostatecznie dużymi, by owady mogły przez nie przelecieć bez kłopotów. Gdyby pajęczycy próbowała przeprowadzić tę operację, balansując na samych promieniach, rozciągałyby się one pod jej ciężarem i w końcu lepkie spiralne nici, połączone z promieniami w złych miejscach, miałyby niewłaściwe napięcie. Co więcej, odległości między promieniami na obrzeżu sieci są zwykle zbyt duże, by pajęczycy mogła je pokonać jednym krokiem. Oba te problemy uda się jednak zmniejszyć, jeśli spiralną nić rozpocznie się od środka sieci i będzie rozwijać stopniowo do samego brzegu. Blisko środka przerwy są wąskie, a promienie mniej podatne na odkształcenia, ponieważ wszystkie wzajemnie się podtrzymują. Dalej od środka przerwy między promieniami stają się coraz szersze, ale to w niczym nie przeszkadza: przy układaniu każdego kręgu spiralnej nici krąg poprzedni, bliższy środka, można wykorzystać jako pomost ułatwiający to zadanie. Kłopot z tym tylko, że nić przeznaczona do łapania owadów jest bardzo cienka i elastyczna. Kiedy cała sieć jest skończona, staje się dość wytrzymała, ale teraz mówimy o sieci jeszcze nie ukończonej, a więc dość słabej.

Taki jest główny problem z układaniem cienkiej, chwytającej łup spiralnej nici, ale nie jedyny. Trzeba sobie uświadomić, że chociaż promienie nie są lepkie i dość łatwo po nich chodzić pajęczym stopom, to kłopotów przysparza nić kleista, zaprojektowana tak, by raz złapana ofiara nie mogła się od niej uwolnić. Wiemy z wcześniejszych wyjaśnień, że pajęczycy nie są całkiem odporne na lepkość własnych sieci. A nawet gdyby były, wykorzystywanie świeżo położonych poprzecznych nici mogłoby je pozbawić znacznej ilości cennej klejącej się substancji. Dlatego, choć pomysł układania sieci spiralnej od środka ku brzegom sieci wydaje się bardzo trafny, mogłoby się okazać, że pajęczycy - dosłownie i metaforycznie zarazem - same wpadną w swoje sidła.

Pajęczycy staje jednak na wysokości zadania. Takie rozwiązanie zapewne wybrałby

ludzki konstruktor: tymczasowe rusztowanie. Istotnie nakłada spiralną nić od środka ku brzegom sieci. Ale nie jest to ostateczna, przeznaczona do łapania owadów lepka pajęczyna. To specjalna, pomocnicza spirala, która służy jej tylko jako podpórka przy stopniowym układaniu właściwej. Pomocnicza nić nie lepi się, jest też nieco szerzej ułożona niż ostateczna. Nie nadawałaby się do łapania owadów. Ale jest mocniejsza niż właściwa lepka spirala. Wzmacnia i podtrzymuje sieć, umożliwiając pajęczycy bezpieczne poruszanie się, kiedy nakłada nić-pułapkę. Nić pomocnicza okrąży sieć zaledwie 7-8 razy od środka do brzegu. Po jej rozciągnięciu pajęczyna wyłącza gruczoły produkujące nici nie lepzące się i wyciąga swój prawdziwy oręż - kądziółki dające wyłącznie morderczą lepka jedwabną nić. Wracając od brzegu do środka sieci, pozostawia za sobą ciaśniejsze i bardziej regularne kręgi niż w czasie wędrówki w przeciwnym kierunku. Wykorzystuje wówczas tymczasową nić nie tylko jako rusztowanie i podpórkę, ale także jako drogowskaz (nie tyle widziany, ile wyczuwany dotykiem). Posuwając się do przodu, odcina zarazem stopniowo te fragmenty pomocniczego pomostu, które już spełniły swoje zadanie. Przekraczając każdy promień, starannie przymocowuje do niego lepka spiralną nić, tworząc często eleganckie połączenia występujące w siatce ogrodowej lub sieciach rybackich. Tymczasowe rusztowanie wcale nie jest marnotrawstwem jedwabiu, jeśli to kogoś niepokoi - jego resztki są bowiem zjadane później, razem z całą siecią, kiedy pajęczyna ją demontuje. Nie zjada ich od razu prawdopodobnie dlatego, żeby nie tracić czasu na żmudne odłączanie ich od poszczególnych promieni na całej ich długości.

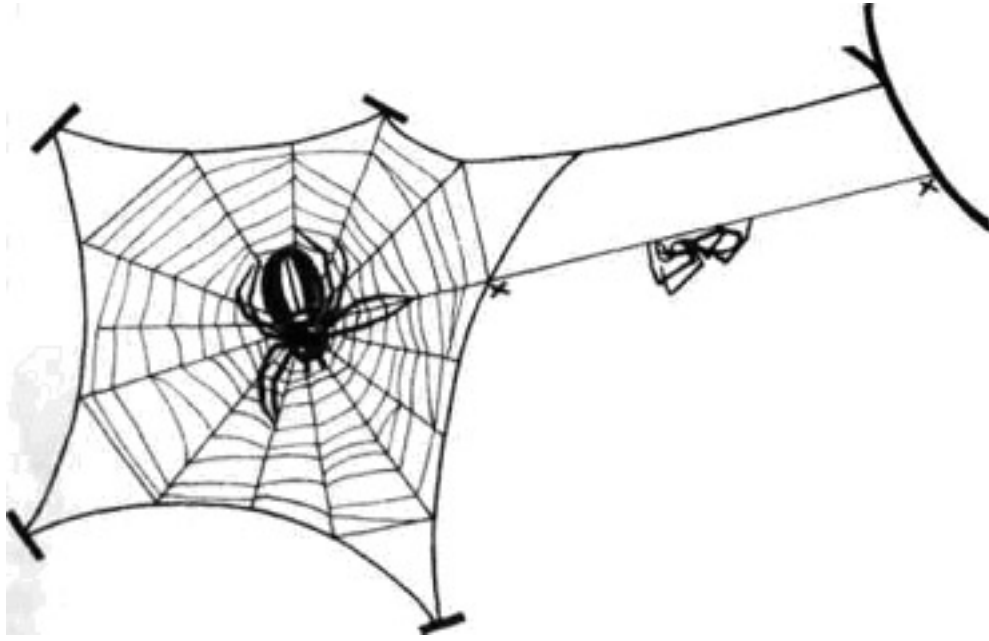
Kiedy pajęczyna osiąga środek sieci, sieć ta nie jest jeszcze gotowa. Trzeba jej bowiem nadać właściwe napięcie: precyzją przypomina to pracę stroiciela instrumentów strunowych. Stoi więc w środku pajęczyny i delikatnie szarpie nici odnóżami, by wyczuć ich napięcie i nieco je wydłużyć lub skrócić zależnie od potrzeby, po czym obraca się i powtarza tę operację pod innym kątem. Niektóre pajęczycy plotą dookoła środka sieci skomplikowane widelki, ułatwiające im prawdopodobnie regulację jej napięcia.

Uwaga na temat instrumentów strunowych skłania mnie do męskiej dygresji. W opowieści o pająkach używam zwykle rodzaju żeńskiego nie dlatego, że samce nie budują sieci - budują, nawet świeżo wyklute pajaczątka robią miniaturowe pajęczyny. Samice są po prostu większe i łatwiej je dostrzec. Wystarczy połączyć ze sobą informacje, że samice są większe od samców, a pająki, w każdym wieku i każdej płci, pożerają wszystko, co jest od nich mniejsze, by zdać sobie sprawę z kłopotów, na jakie narażone są samce. Pająki są pokarmem chrząszczy,

mrówek, wijów, ropuch, jaszczurek, ryjówek i wielu ptaków. Ale prawdopodobnie największym zagrożeniem dla pajaków są inne pająki, i to bez żadnych ograniczeń gatunkowych. Każdy pająk, który trafi w sieć większego pająka, jest w śmiertelnym niebezpieczeństwie, i właśnie wobec takiego niebezpieczeństwa staje każdy pajęczy samiec, kiedy ma czynić swoją powinność.

Samce różnych gatunków różnie sobie z tym radzą. Czasami owijają muchę w jedwabny pakunek i obdarowują nim samicę. Odczekują, aż zatopi swe szczękoczułki w owada i dopiero wtedy przystępują do niej z interesem. Te nie przynoszące muchy mogą zostać pożarte. Zdarza się, że samiec wykpiwa się, oferując samicy pustą paczuszkę, lub wyrywa jej przyniesiony pokarm i znika natychmiast po zakończeniu kopulacji - prawdopodobnie po to, by zanieść go następnej. Inne gatunki wykorzystują fakt, że samica tuż po linieniu, zanim jej nowy pancerz stwardnieje, jest mniej lub bardziej bezbronna. Właśnie wtedy, jeśli w ogóle, następuje okres męskich zalotów - u wielu gatunków kopulacja odbywa się wyłącznie od razu po linieniu, kiedy samica jest miękka i uległa, a w każdym razie w pełni rozbrojona.

Inne uciekają się do jeszcze innych wybiegów; to jeden z nich skłonił mnie do tej dygresji. Pająki tkające sieci zamieszkują świat rozpiętego jedwabiu. Jedwabne nici są jak dodatkowe odnóża, badające świat czułki: niemal jak oczy i uszy. Informacje o różnych zdarzeniach docierają do nich w języku napinania się lub rozluźniania nici, zmiany ich naprężenia. Serdeczne struny samicy są mocno napięte i dobrze nastrojone. Jeśli samiec chce ją przywołać i uniknąć gwałtownej śmierci, musi zagrać na tych strunach po mistrzowsku. Sam Orfeusz nie miał trudniejszego zadania. Czasem sadowi się na skraju siatki samicy i trąca sieć jak harfista (ryc. 2.5). Rytmiczne szarpnięcia, jakich nigdy nie wykonuje złapany w sieć owad, wydają się zjednywać mu przychyłność samicy. Samce niektórych gatunków usadawiają się dalej, przeciągając do jej siatki własną nić „matrymonialną” i szarpia ją - jak muzyk jazzowy grający na jednostrunowym basie.

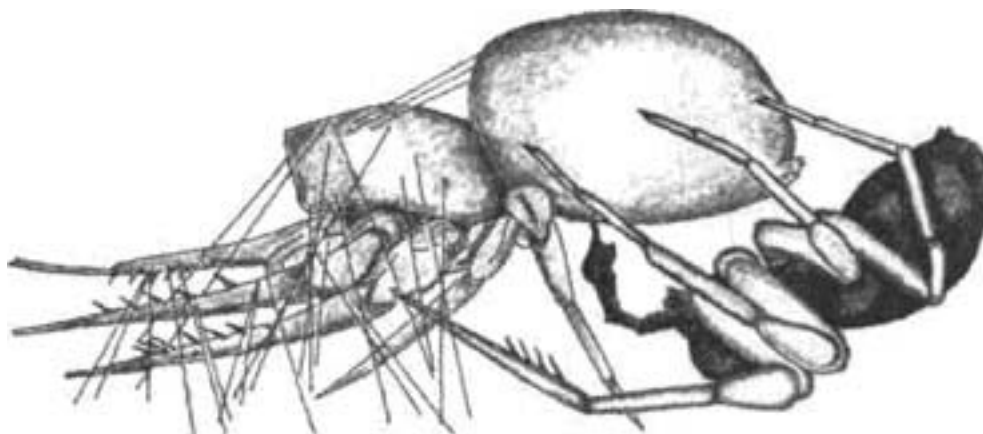


Ryc. 2.5 Ostrożność: samiec pająka na swojej nici „matrymonialnej” połączonej z siecią samicy

Drgania przenoszą się wzdłuż tej nici i wprawiają w wibrację całą pajęczynę samicy. Zdają się tłumić jej nieposkromiony apetyt i sprawiają, że wędruje po rozciągniętej przez samca nici aż do ich źródła, gdzie dochodzi do kopulacji. Historia ta nie zawsze kończy się pomyślnie dla jego doczesnej powłoki, ale jego nieśmiertelne geny są już bezpieczne. Świat jest pełen różnych pająków, których samce giną po kopulacji. Ale też nie ma na nim ani jednego, którego przodkowie nigdy na kopulację się nie zdecydowali.

Zanim zakończymy historię o seksie i sieciach, jeszcze jedna opowieść - zinterpretujcie ją sobie jak chcecie: są takie gatunki pająków, których samce, zanim przystąpią do kopulacji, związują samicę jedwabną nicią, jak liliputy Guliwera (ryc. 2.6). Przypuszcza się, że wykorzystują moment, kiedy nad jej krwiożerczymi instynktami górę bierze popęd płciowy, by bezpiecznie umknąć, kiedy tylko jej przemożna potrzeba zdobywania pokarmu powróci. Opowiadam historię, którą sam usłyszałem: w istocie samica nie ma po kopulacji żadnych kłopotów z pozbyciem się pęt i spokojnym oddaleniem się. Być może ten rytuał jest symboliczną pozostałością podobnego krępowania u dalekich przodków owych pająków. Albo chodzi o to, żeby powstrzymać samicę tylko na chwilę, wystarczająco długą, by samiec miał szansę na wcześniejszy start.





Ryc. 2.6 Samiec pająka zakładający większej od siebie samicy jedwabne pęta

Nie może przecież skazywać samicy na wieczne uwięzienie - musi być wolna, by złożyć jaja, inaczej całe to ryzykowne przedsięwzięcie z genetycznego punktu widzenia pójdzie na marne.

Powróćmy jednak do głównego tematu: kolistych sieci oraz sposobu, w jaki są budowane i wykorzystywane. Pozostawiliśmy samicę w samym środku pajęczyny, kiedy dostrajała niemal już gotową sieć. I oto na naszej liście problemów pojawia się kolejny: okazuje się, że jest zbyt delikatna dla samej pajęczycy - nie może ona tak po prostu przejść z jednego końca sieci na drugi. Musiałaby długo i zawile krążyć po kolejnych promieniach, by dotrzeć do brzegu, gdyby nie prosty pomysł - tzw. wolna strefa. Jest to zwykle pierścień umiejscowiony blisko środka sieci, pozbawiony klejących się nici. Pajęczyny niektórych gatunków, na przykład z rodzaju *Zygiella*, mają jeden wycinek sieci pusty. Mówię o tej dziurze tak, jakby była pasażem prowadzącym z jednej strony sieci na drugą, może się jednak okazać, że ma pod tym względem mniejsze znaczenie, niż byśmy oczekiwali - *Zygiella* bowiem zazwyczaj nie siedzą w środku sieci, jak czyni to wiele pająków. Siedzą one natomiast w rurkowatym schronieniu na uboczu, co prowadzi do następnego problemu na naszej liście.

Pająki, jak już wiemy, łatwo mogą paść łupem, na przykład ptaków. Sieć pajęcza jest tak delikatna, że zwykle trudno ją dostrzec, chyba że pokrywa ją rosa lub patrzy się na nią pod specjalnym kątem. Jej twórca, siedzący odważnie w samym środku, najbardziej rzuca się w oczy. Jeśli jest się tłustym i widocznym dla ptaków, lepiej trzymać się z boku. Z drugiej strony, taka jest natura pajęczych polowań - polegają one na długim wyczekiwaniu, a środek sieci jest do tego najlepszy: tu przecież zbiegają się wszystkie główne magistrale zbudowane z nie lepiących się

nici. Taki problem wymaga kompromisu i różne gatunki różnie go rozumieją. Samice rodzaju *Zygiella* mogą pozostawać poza siecią, ale nigdy poza centrum wydarzeń. Wiedzą o wszystkim dzięki specjalnej nici sygnałowej prowadzącej od ich kryjówki do środka sieci. Nici sygnałowa jest napięta i przekazuje drgania siedzącej w ukryciu pajęczycy. Gdy pojawi się sygnał, rusza ona wzdłuż tej nici do środka sieci, a potem po promieniu, który doprowadzi ją najszybciej do szamoczącego się celu. Nici sygnałowa biegnie przez środek owej otwartej przestrzeni, o której już wspominałem. Być może to jest właśnie odpowiedź na nasze pytanie o powody, dla których przestrzeń ta pozostaje pusta - drabinka lepkich nici prawdopodobnie opóźniałaby dotarcie przesyłanej błyskawicznie informacji. Być może też przenoszenie drgań byłoby znacznie utrudnione, gdyby nici tę przecinały gęste poprzeczne włókienka.

Pozostawanie cały czas poza siecią - ten kompromis wybrały *Zygiella*, które z pewnością ponoszą koszty nieco wolniejszej reakcji na pierwsze ruchy złapanej ofiary (jeśli powody, dla których szybkość reakcji jest tak ważna, nie są oczywiste, już niedługo dokładnie je wyjaśnię). Inny to pozostawanie mimo wszystko w środku sieci, ale uczynienie siebie możliwie najmniej widocznym. Pająki wybierające takie rozwiązanie często sporządzają tutaj gęstą jedwabną zasłonkę, za którą mogą się schować, lub na której tle stają się mniej widoczne. Pewne sieci mają pasmo lub pasma bardzo gęstego, zygzakowato tkanego jedwabiu, którego zadaniem jest odciąganie uwagi od pająka, przyczajonego w samym środku takiego ukrycia (choć zgodnie z alternatywną hipotezą owe pasma są częścią aparatu ułatwiającego właściwe ustawienie napięć w całej sieci). Inne pająki z kolei wbudowują w sieci rodzaj dekoracji, jedwabne ornamenty przypominające nieco fałszywe pająki, które - zdaniem niektórych - mają ściągać na siebie dzioby ptaków. Niewykluczone jednak, że - jak twierdzą inni badacze - spełniają one odmienną funkcję. Być może odbijają promienie ultrafioletowe (dla nas niewidoczne) w taki sposób, że w oczach owadów wyglądają jak fragmenty nieba, czyli mówiąc wprost - dziury.

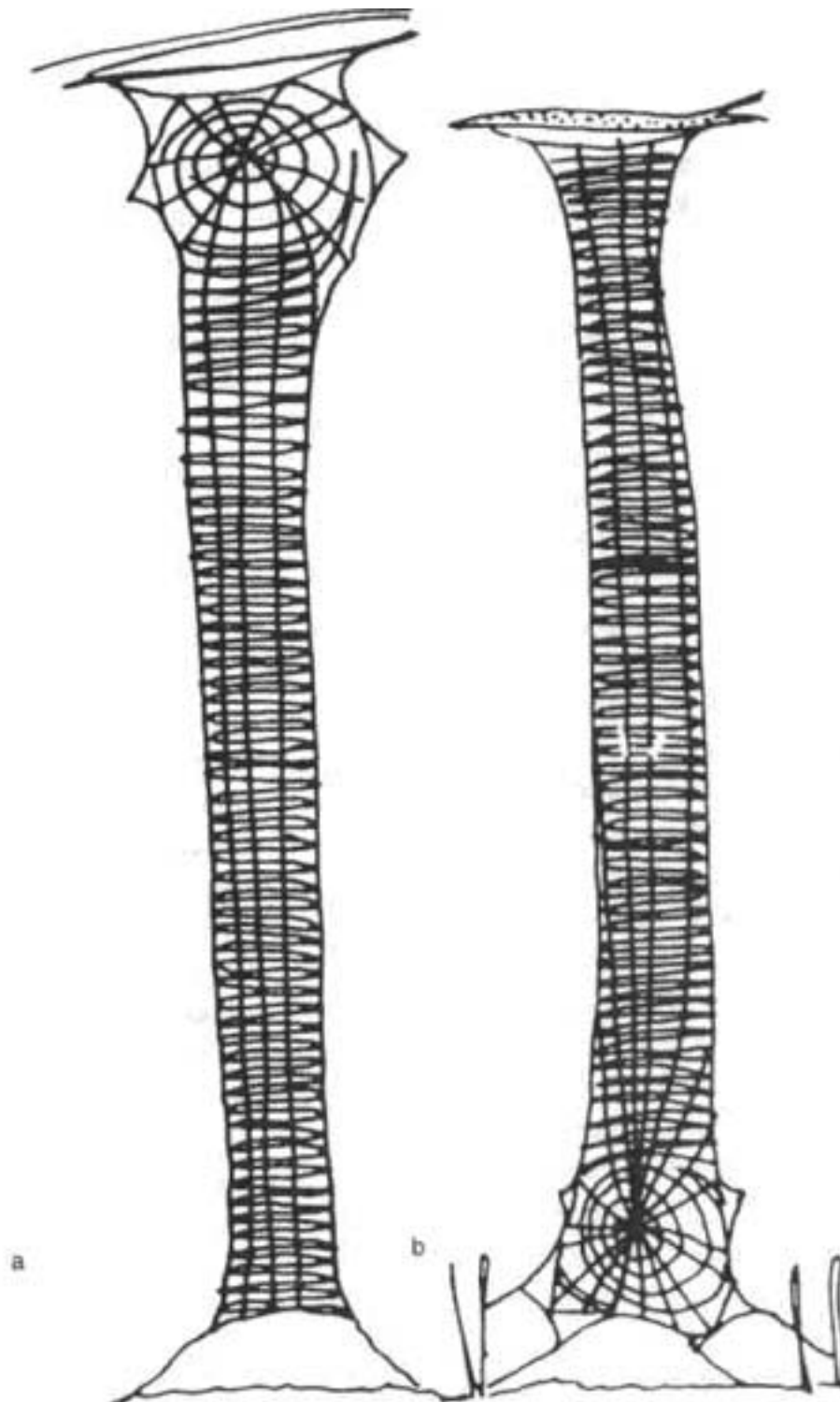
Wspomniałem o konieczności błyskawicznego dotarcia do miejsca, w które właśnie wpadł jakiś owad. Dlaczego to takie ważne? Czy nie można by spokojnie poczekać, aż przestanie się szamotać? Otóż nie, ponieważ szamotanina jest bardzo często skuteczna. Owadom rzeczywiście nieraz udaje się uwolnić - zwłaszcza tak dużym i silnym jak osy. A nawet jeśli nie powiedzie im się ucieczka, to próbując się wyrwać, niszczą pajęczynę. Sposoby zapobiegania takim wydarzeniom to kolejny problem, z jakim pająki muszą sobie poradzić.

Najbardziej oczywiste rozwiązanie jest brutalnie proste. Szamotanina ofiary w postaci

drgań przenoszonych przez nić sygnałową bezbłędnie doprowadzi do celu. A nawet jeśli złapany owad na chwilę znieruchomieje - łatwo się zorientować o jego położeniu, szarpiąc promienie sieci i wyczuwając ze zmian napięcia różnych nici, które z nich obciążone są dodatkowym ciężarem. Trzeba dobiec do ofiary i zagryźć ją. Mając już łup przed sobą, trzeba się z nim zmierzyć i zrobić wszystko, by wstrzyknąć mu porcję śmiertelnośnego lub paraliżującego jadu działającego na jego układ nerwowy. Większość pajaków ma ostre szczękoczułki połączone kanalikami z gruczołami jadowymi (kilka gatunków, na przykład sławna czarna wdowa, [Jest to gatunek północnoamerykański, w Europie nie występuje (przyp. red.)] jest dla nas niebezpiecznych, ale większość powszechnie spotykanych pajaków nie może przebić naszej skóry, a nawet gdyby mogły, to i tak nie mają dosyć trucizny, by zaszkodzić dużemu przeciwnikowi). Kiedy tylko pajęczycy uda się zatopić szczękoczułki w ciele ofiary, zwykle zastyga na pewien czas, do kilku minut, czekając aż ustaną konwulsje.

Przedstawiłem jadowite ukąszenie jako sposób na obezwładnienie walczącej ofiary, ale nie jest to metoda jedyna. Większość innych - czego można się spodziewać po pajakach - wykorzystuje jedwabną nić. Często nawet przed ukąszeniem pająki zakładają dodatkowe pęta - poza tymi, które już i tak krępują ciało i odnóża owada, zamotane w sieci. Jeśli zdobycz jest niebezpieczna - jak osa - to pająk zazwyczaj szczelnie owija ją wielokrotnie dokoła, po czym przekłuwa ten biały całun, ostatecznie dobijając skazańca.

Motyle, wyposażone w wielkie, łuskowate skrzydła, to osobny problem. Łuski łatwo odpadają. Jeśli uchwyci się ćmę, na palcach pozostanie drobny pył - są to właśnie łuski pokrywające jej skrzydła. Odpadanie łusek ułatwia ćmom uwalnianie się z pajęczych sieci, pył ten wydaje się neutralizować lepkość pajęczyny. Ćma w niebezpieczeństwie zwykle składa skrzydła i opada na ziemię. Czy to z tego powodu, czy też dlatego, że ich skrzydła są przecieź częściowo spętane, ćmy uciekające z pajęczej pułapki zwykle spadają w dół. Co z kolei stwarza nową okazję dla pajaków - i została ona skrzętnie wykorzystana.



Ryc. 2.7 Sieci drabinkowe wyewoluowały niezależnie w (a) Nowej Gwinei i (b) Kolumbii.

Michael Robinson, pełniący obecnie funkcję dyrektora waszyngtońskiego ogrodu

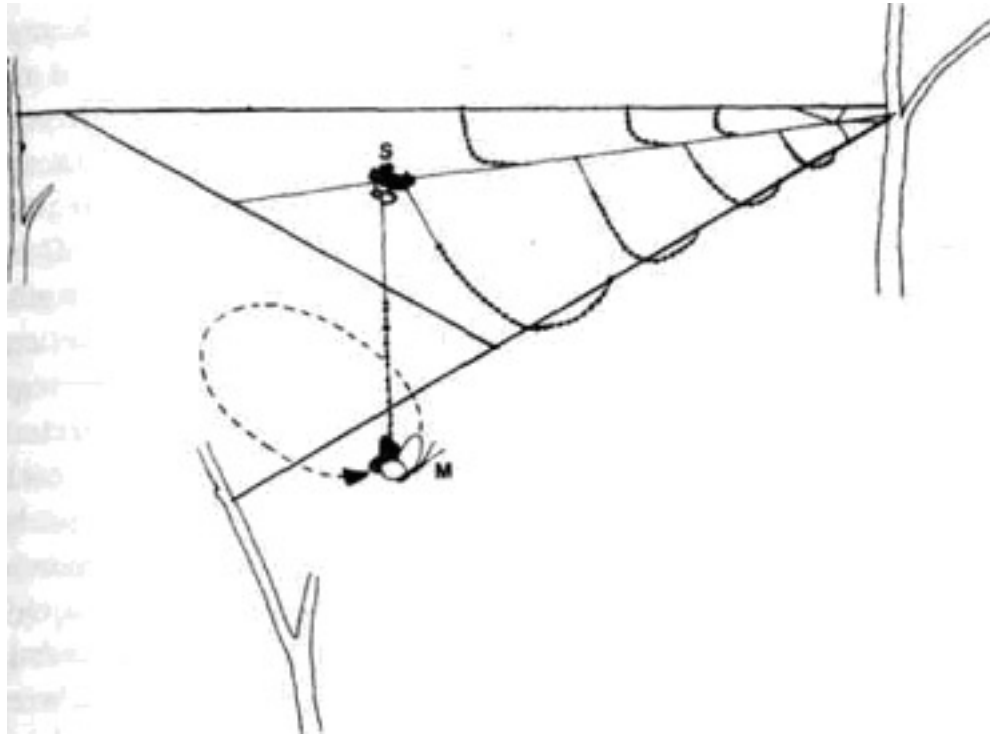
zoologicznego, wraz z żoną Barbarą odkryli w dżungli Nowej Gwinei niezwykle interesującą sieć (ryc. 2.7a). Drabinkowa sieć zamieszkujących te rejony pajaków jest odmianą sieci kolistej, z tym że jej dolna część wyciąga się w długie na blisko metr pionowe pasmo. Pająk siedzi w środku sieci, na górze. Kiedy w pułapkę trafi ćma, ma duże szanse swobodnego spadnięcia w dół. Ale długa sieć ciągnie się w dół i łatwo w niej ugrzęznąć. Trzepotanie skrzydłami pozbawiają kolejnych porcji pyłku i zatrzymuje owada przez czas wystarczająco długi, by pająk zdążył zbiec po drabinie i zadać mu śmiertelny cios. Niedługo po odkryciu Robinsonów w Nowej Gwinei ich kolega po fachu William Eberhard natrafił w Kolumbii na odpowiednik takiej sieci w Nowym Świecie (ryc. 2.7b). O ich niezależnej ewolucji świadczą różnice konstrukcyjne: sieci kolumbijskie mają środek na dole, a nowogwinejskie - u góry. Ale działanie ich jest takie samo i prawdopodobnie z tych samych przyczyn: oba gatunki wytwarzające sieci drabinkowe specjalizują się w łapaniu nocnych motyli.

Sieci takie są więc jednym z rozwiązań problemu zatrzymania uciekającego łupu - najbardziej skutecznym wobec ciem. Innym są opadające sidła. Sieć pajaków z rodzaju *Hyptiotes* nie jest pełnym kołem - została zredukowana do trójkąta o zaledwie czterech promieniach. Jest w niej jeszcze jedna, dodatkowa nić, przyczepiona do wierzchołka tego trójkąta, która utrzymuje całą sieć w odpowiednim naprężeniu. Ale owa główna „cuma” nie jest przymocowana do żadnego podłoża - trzymają sama pajęczycy. Napinają przednią parą odnóży, podczas gdy para trzecia trzyma pętlę „luzu”. Samica zastyga złowieszczo w tej pozycji i czeka. Kiedy jakiś owad nieopatrznie trafi w sieć, reakcja jest błyskawiczna. Zwolnione sidła opadają na owada, przyciągając zarazem pajęczycę do ofiary. Luzowanie pułapki może przebiegać w dalszych dwóch lub trzech etapach - pajęczycy wybiera wtedy luźną linę, a z tyłu wydziela nową. Owad jest kompletnie omotany zapadniętą siecią. Pajęczycy owija ofiarę dodatkową porcją jedwabiu i kiedy już wygląda jak grubo opakowana paczuszka, unosi z miejsca walki. Dopiero wtedy częstuje to nieszczęsne stworzenie śmiertelnym ukąszeniem, wstrzykując jej soki trawienne, po czym wysysa rozpuszczoną zawartość przez białe opakowanie. Trójkątna sieć nie nadaje się oczywiście do ponownego użycia i trzeba ją zbudować od początku.

Sieć pajaka z rodzaju *Hyptiotes* jest napięta odpowiednio do łapania owadów. Przestaje to być zaletą, gdy zaczyna się gwałtowna szamotanina. Z lepkiej nici łatwiej wyrwać się na wolność, gdy nici są napięte, niż kiedy są luźne. Przy luźnych niciach na nic starania, gdyż nie ma jak się zaprzeć - przeciwnie: im gwałtowniej szamocze się ofiara, tym ściślej ją oblepiają. Jak

w samolocie odrzutowym, którego optymalny kształt skrzydeł przy starcie jest inny niż podczas lotu, tak optymalne napięcie sieci pajęczej w momencie łapania łupu i w czasie jego pętania jest różne. W jednych samolotach problem ten rozwiązano kompromisowo: ich skrzydła sprawdzają się nie najgorzej zarówno w czasie startu, jak i lotu z pełną prędkością. W innych - zmiennopłatach - umożliwiają dobór najlepszego kształtu dzięki zmiennej geometrii skrzydeł, choć za cenę skomplikowanej konstrukcji. Pająki z rodzaju *Hyptiotes* budują sieć o zmiennym napięciu.

Pająki konstruujące koliste sieci decydują się zwykle na silne naprężenie nici, najlepsze dla chwytania owadów, i liczą, że same okażą się dość szybkie, by obezwładnić ofiarę, zanim uda się jej wyrwać na wolność. Inne zdają się preferować sieci, których nici są przede wszystkim luźne (ryc. 2.8). Pająki z rodzaju *Pasilobus* budują trójkątną sieć z pojedynczą nicią biegnącą po dwusiecznej głównego kąta. Lepkich, przeznaczonych do łapania owadów nici jest w niej zaledwie kilka i mają postać luźno zwisających pętli. Sztuczka - co jest kolejnym eleganckim odkryciem Michaela i Barbary Robinsonów w Nowej Gwinei - polega na tym, że odłączają się one szczególnie łatwo na jednym końcu. Jeśli owad natrafi na taką nić i przylepi się do niej, to bez trudu zerwie ją z jednej strony w specjalnym, słabym miejscu, ale będzie wciąż do niej przytwierdzony. Może wtedy latać dookoła jak samolocik na uwięzi. Wybranie nici i dobiecie ofiary nie jest już dla pająka skomplikowanym zadaniem. Rozwiązanie to jest kolejnym przykładem zastosowania tak luźnej nici, że owad nie ma jak się uwolnić - nie znajduje on bowiem żadnego oparcia.



Ryc. 2.8 Nici trójkątnej sieci pajaków z rodzaju *Pasilobus* łatwo urywają się na jednym końcu.

A może główną zaletą takiej szybko zwalnającej się sieci jest uporanie się z problemem, który pojawił się na samym początku naszej listy: jak zneutralizować energię szybko lecącego owada, a zarazem nie dać mu szans na odbicie się od sieci jak od trampoliny. Przypuszczalnie sieć pajaków z rodzaju *Pasilobus*, podobnie jak omawiana wcześniej trójkątna pajęczyna, jest zredukowaną formą kolistych sieci jego przodków. W każdym razie inny rodzaj pajaków - *Poecilopachys* - wykorzystuje w swych kolistych sieciach ten sam mechanizm łatwego urywania się nici. A są one - w przeciwieństwie do większości sieci kolistych - budowane poziomo, a nie pionowo.

Jeśli potraktujemy trójkątne sieci pajaków z rodzaju *Pasilobus* jako zredukowaną wersję kolistych sieci, budowanych przez pajęczycy z rodzaju *Poecilopachys*, to przykładem ostatecznej redukcji idącej w tym kierunku byłyby pojedyncza nić pajaka z rodzaju *Mastophora* (ryc. 2.9). Angielska nazwa tego pajaka - *bolas spider* - pochodzi od nazwy specjalnego rodzaju broni, wynalezionej przez Indian południowoamerykańskich i do dziś wykorzystywanej przez *gauchos* (tamtejszych pasterzy) do łapania na przykład strusi nandu, wielkich nietlotnych ptaków charakterystycznych dla pampasów. Bolas to długi rzemień zakończony obciążnikami, na

przykład parą kul lub kamieni. Ciska się nim w ofiarę, by spętać jej nogi i powalić na ziemię. Młody Karol Darwin próbował tej broni jadąc konno i skończyło się na tym, że złapał własnego konia - ku uciechu obserwujących go *gauchos*, choć zapewne nie samego wierzchowca. Łupem pajaków tego rodzaju są wyłącznie samce sówek - ciem z rodziny *Noctuidae*, i to nie bez przyczyny. Samice tej rodziny ciem wabią swoich partnerów z dalekich odległości, uwalniając specyficzny zapach. Pająki zwabiają ich w śmiertelne objęcia wydzielając substancję o bardzo podobnym zapachu. Pajęczy bolas to zakończona ciężarkiem pojedyncza jedwabna nić, którą pajak trzyma przednimi odnóżami. Kręci nim dookoła, dopóki nie oplącze ćmy, a wtedy ściąga go ku sobie. Wynalazek pajaka jest dużo bardziej skomplikowany niż prosty worek z kamieniami doczepiany przez *gauchos*. Ciężarek jest bowiem w istocie ściśle zwiniętą nicią jedwabną otoczoną wodnistą substancją - podobnie jak lepkie „perełki” na kolistej pajęczynie. Kiedy pajak rzuca swój bolas, jedwab automatycznie rozwija się, jak żyłka z kołowrotka, kiedy zarzuca się wędkę. Jeśli ćma zostanie trafiona, przyklepa się do niego i lata na uwięzi. Dalszy rozwój wydarzeń znamy już



Ryc. 2.9 Pajak z rodzaju *Mastophora* posługujący się pojedynczą nicią jak bolasem

z opowieści o łatwo urywających się sieciach. Pajak wciąga nić, do której przyklepił się owad, i nakłuwa go szczękoczułkami, kończąc jego żywot. Pajaki tego rodzaju żyją w Ameryce Południowej i miło jest przypuścić, że tamtejsi Indianie wpadli na pomysł takiej broni, obserwując ich zachowanie.

Przyglądaliśmy się różnym wersjom zredukowanej sieci kolistej. Czas powrócić do jej wersji standardowej. Pod koniec poprzedniego rozdziału postawiliśmy pytanie, jak z komputerowego modelu doboru sztucznego na przykład biomorfów stworzyć model doboru naturalnego, w którym wyborów dokonywałoby nie ludzkie oko, ale ślepa natura. Zgodziliśmy



się, że trudność z biomorfami polega na tym, że nie mają one niczego, co odpowiadałoby prawdziwemu, rządzonemu prawami fizyki, światu, w którym miałyby przetrwać - niczego, co decydowałoby o ich sukcesie lub niepowodzeniu. Możemy sobie wyobrazić, że pewne biomorfy zachowują się jak drapieżcy - prawdopodobnie ścigałyby inne biomorfy, które z kolei zachowywałyby się jak ofiary. Nie ma jednak, jak się wydaje, naturalnego sposobu wybierania cech decydujących o tym, że jedne biomorfy są lepsze, a inne gorsze w polowaniu lub w ucieczce. Ludzkie oko może co prawda dopatrzeć się na jednym z biomorfów (ryc. 1.16, str. 45) czegoś, co przypomina groźne, ociekające śliną kły. Te rozwarte szczęki, choćby robiły na nas przerażające wrażenie, nie mogą się jednak sprawdzić w praktyce. Nie poruszają się, nie są elementem realnego świata, w którym ich ostrość wystawiona by była na próbę w zetknięciu z pancerzem lub skórą rzeczywistego zwierzęcia. Zarówno kły, jak i pokrywa ciała to zaledwie układy pikseli na płaskim świecącym monitorze. Czy są to szczęki ostre czy tępe, łatwo łamiące się czy jadowite - na ekranie nie ma to żadnego znaczenia, chyba że wymyśli je programista, przypisując poszczególnym cechom arbitralnie wybrane liczby. Można rozpocząć grę komputerową, w której liczby walczą z liczbami, ale graficzna postać tych liczb ma sens czysto kosmetyczny i tak naprawdę nie jest do niczego potrzebna. „Arbitralny” i „wymyślony” to słowa, które opisywanemu przez nas graczowi odbierają chęć do dalszych starań. W takim właśnie punkcie znaleźliśmy się pod koniec poprzedniego rozdziału, kiedy to wylądowaliśmy z ulgą na pajęczej sieci. Tutaj znaleźliśmy wytwór natury, którego symulacja nie wiąże się z arbitralnością wyborów.

Koliste sieci pajęcze spełniają swoje zadanie głównie w dwóch wymiarach. Jeśli oczka jej są zbyt grube, muchy przelecą przez nią bez przeszkód. Jeśli są zaś zbyt małe, inny pajak, budujący sieci osiągające bardzo podobne rezultaty z mniejszej ilości jedwabiu, zdobędzie przewagę w tej konkurencji, a tym samym pozostawi więcej potomstwa przenoszącego jego geny decydujące o większej oszczędności. Dobór naturalny ustala najlepszy kompromis. Sieć narysowana na ekranie ma własności odpowiadające - ze względów, które trudno nazwać arbitralnymi - cechom much przedstawionych na tym samym monitorze. Wielkość oczek takiej pajęczyny ma zaiste określone znaczenie, w porównaniu z rozmiarami komputerowego owada. Całkowita długość linii („koszty jedwabiu”) jest kolejną taką wielkością. Stosunek między tymi wielkościami, wyznaczający efektywność całego przedsięwzięcia, można obliczyć, dopuszczając nie za wiele założeń arbitralnych. Można nawet wbudować do tego komputerowego modelu dane

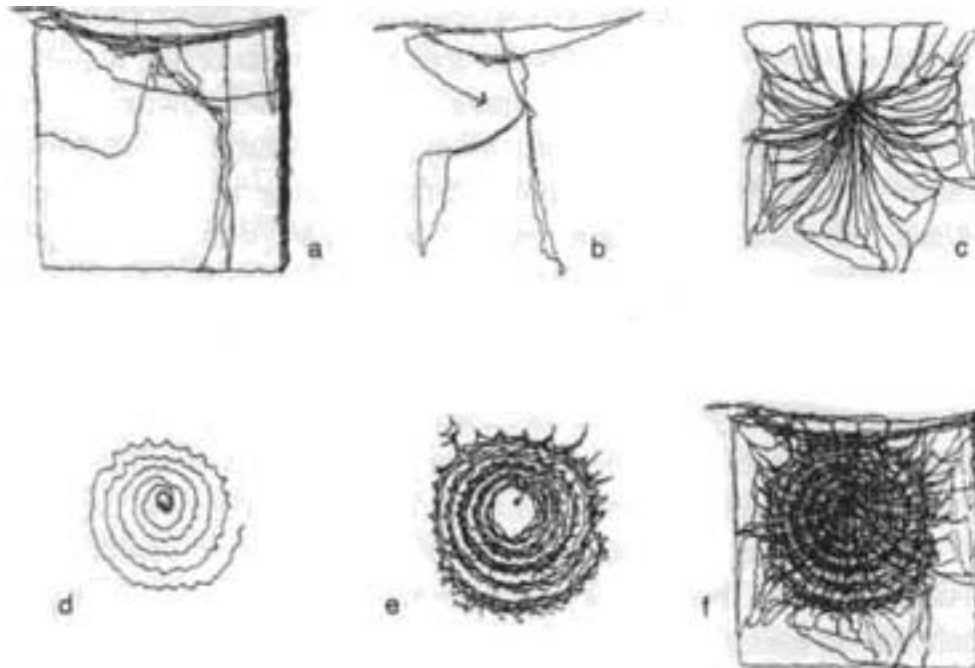
o nieco bardziej złożonych własnościach fizycznych. Fritz Vollrath, od którego wiele się dowiedziałem w czasie pisania tego rozdziału, wraz ze współpracującymi z nim fizykami Lorraine Lin i Donaldem Edmondsem, zrobili dobry początek. Łatwiej przeprowadzić symulację sprężystości i granicznego naprężenia komputerowego jedwabiu niż, powiedzmy, zręczności w wymykaniu się komputerowym drapieżcom lub czujności w dostrzeganiu jednego z nich. W tym rozdziale skoncentrujemy się jednak tylko na modelach zachowań związanych z budowaniem sieci.

Programista opracowujący reguły rządzące zachowaniem komputerowego pająka korzysta z wyników wielu badań dostarczających informacji o regułach przestrzeganych przez prawdziwe pająki oraz o najważniejszych rozstrzygnięciach, wyznaczających kolejne czynności składające się na jego zachowanie. Vollrath wraz ze swoją międzynarodową grupą badaczy pajaków stanowi czołówkę w tej dziedzinie, dlatego im właśnie najłatwiej jest przelać szeroką wiedzę na ten temat w program komputerowy. W istocie pisanie programu jest najlepszym sposobem na zebranie wiedzy o jakimkolwiek zestawie reguł. Sam Zschokke jest członkiem grupy, której zadaniem jest streszczenie, w postaci komputerowej, informacji opisowej o zaobserwowanych ruchach pajaków budujących sieci. Swoją program zatytułował „MoveWatch”. Peter Fuchs i Thiemo Krink, bazując na pracy Nicka Gottsa i Aluna ap Rhisiarta, podjęli odwrotną próbę - zaprogramowania komputerowych pajaków łapiących komputerowe muchy. Nazwali swój program „NetSpinner”.

Rycina 2.10 pochodzi z programu „MoveWatch” i przedstawia ruchy pajęczycy *Araneus diadematus* podczas budowania jednej sieci. Trzeba pamiętać, że nie jest to obraz sieci, choć na to wygląda. Jest to złożenie w czasie kolejnych ruchów pajęczycy. Zarejestrowano je za pomocą kamery wideo w czasie konstruowania sieci. Położenie pajęczycy na kolejnych etapach wprowadzano do komputera w postaci pary współrzędnych. Następnie komputer rysował linie łączące te poszczególne punkty. „Lepka spirala” (ryc. 2.10e) na przykład reprezentuje tor, po którym poruszała się pajęczycy, nakładając spiralne klejące się nici. Nie przedstawiają one dokładnego położenia samych nici żadnego rodzaju. Gdyby tak było, rozłożone byłyby bardziej równomiernie. A tak ułożone są faliście, co odzwierciedla fakt, że pajęczycy wykorzystuje tymczasową, pomocniczą spiralę jako pomost przy nakładaniu właściwej spiralnej nici (ryc. 2.10d).

Nie są to schematy przedstawiające zachowanie komputerowych pajaków. Przeciwnie,

jest to komputerowy opis zachowania pajaków rzeczywistych. Przyjrzyjmy się teraz komplementarnemu programowi „NetSpinner”, który opisuje zachowanie jakiegoś wyidealizowanego, teoretycznego pająka. „NetSpinner” umożliwia symulację w taki sam sposób, jak program tworzący biomorfy umożliwiał symulację budowy stworzeń podobnych do owadów. Konstruuje „sieci” na ekranie komputera, zgodnie z regułami zachowania, pozostającymi pod wpływem „genów”. Tak samo jak u biomorfów geny te to po prostu liczby w pamięci komputera, przekazywane z pokolenia na pokolenie. W obrębie jednej generacji decydują o „zachowaniu” sztucznego pająka, a tym samym o kształcie „sieci”. Jeden z genów może na przykład przesądzać o kącie między promieniami: mutacja w tym genie mogłaby wpływać na zmianę liczby promieni, w zależności od reguł, jakich przestrzega komputerowy pająk.



Ryc. 2.10 Zapis komputerowy położenia pewnej pajęczycy (*Araneus diadematus*) podczas budowania sieci. Program „MoveWatch” opracowany przez Sama Zschokkego: (a), (b) przygotowania; (c) promienie; (d) spirala pomocnicza; (e) lepka spirala; (f) wszystkie nałożone na siebie ruchy

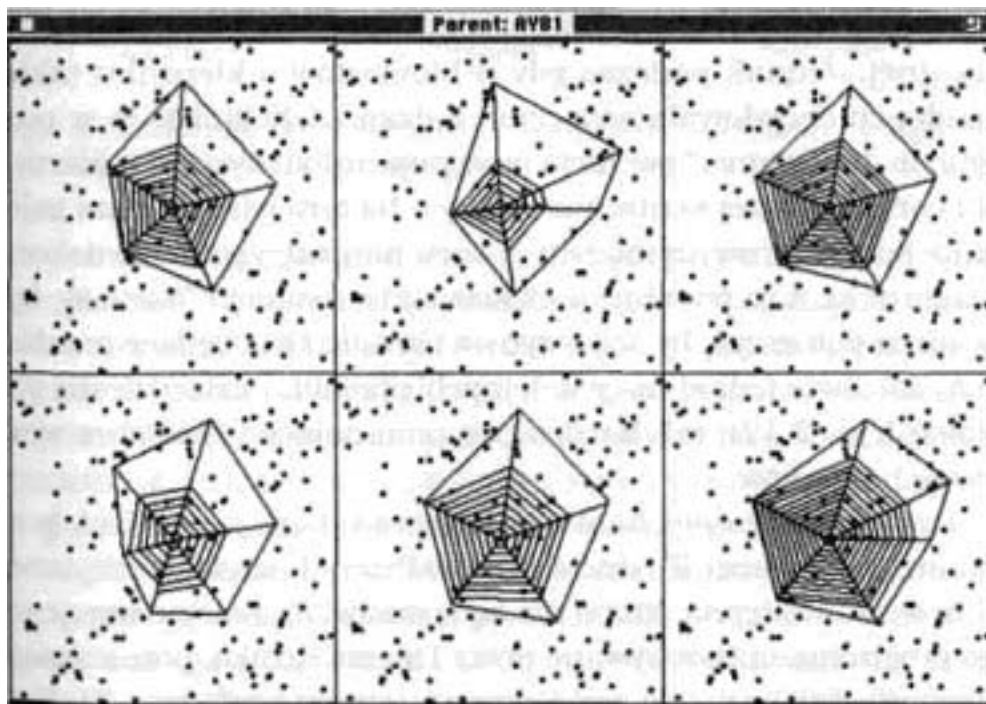
Podobnie też jak w programie opisującym powstawanie biomorfów, wartości genów mogą się nieco zmieniać w sposób losowy, wraz z upływem kolejnych pokoleń. Mutacje te przejawiają się w zmianie kształtu sieci, a tym samym podlegają doborowi naturalnemu.

Rozważmy sześć sieci przedstawionych na rycinie 2.11, tak jakby były one biomorfami

(pomińmy na chwilę rozrzucone bezładnie punkty). Sieć po lewej stronie u góry to sieć macierzysta. Pozostała piątka to jej zmutowane potomstwo. Oczywiście w rzeczywistości sieci nie wydają na świat potomstwa, to pająki (które budują sieci) dają życie innym pająkom (które także budują sieci). Jest jednak coś ważnego, co można powiedzieć zarówno o sieciach, jak i o organizmach. Geny (decydujące o rozwoju na przykład ludzkich rodziców) dają początek genom (decydującym o rozwoju na przykład ludzkich dzieci). W omawianym modelu komputerowym geny, które przesądziły o budowie sieci macierzystej, widocznej w górnym lewym okienku (wpływając na zachowanie niewidocznego na ekranie pająka), ulegając mutacjom, dały w efekcie geny, które przesądziły o budowie sieci potomnych, widocznych w pięciu pozostałych okienkach.

Oczywiście moglibyśmy wybrać na oko, jak wówczas, gdy dotyczyło to biomorfów, jedną z sześciu siatek do dalszej hodowli. Oznaczałoby to, że właśnie jej geny zostaną przekazane następnemu pokoleniu i będą podlegać mutacjom. Ale byłby to dobór sztuczny. Powodem, dla którego zrezygnowaliśmy z biomorfów na rzecz sieci pajęczych, była nadzieja na stworzenie symulacji doboru naturalnego: selekcji, o której decyduje sprawdzona efektywność sieci jako narzędzi łapiących muchy, a nie ludzkie widzimisię.

Popatrzmy teraz na punkty bezładnie rozrzucone na tych rysunkach. Są to „muchy”, które komputer zaznaczył w losowych miejscach sieci. Jeśli przyjrzymy się uważnie, dostrzeżemy, że na każdym z sześciu rysunków występuje identyczny losowy rozkład much.

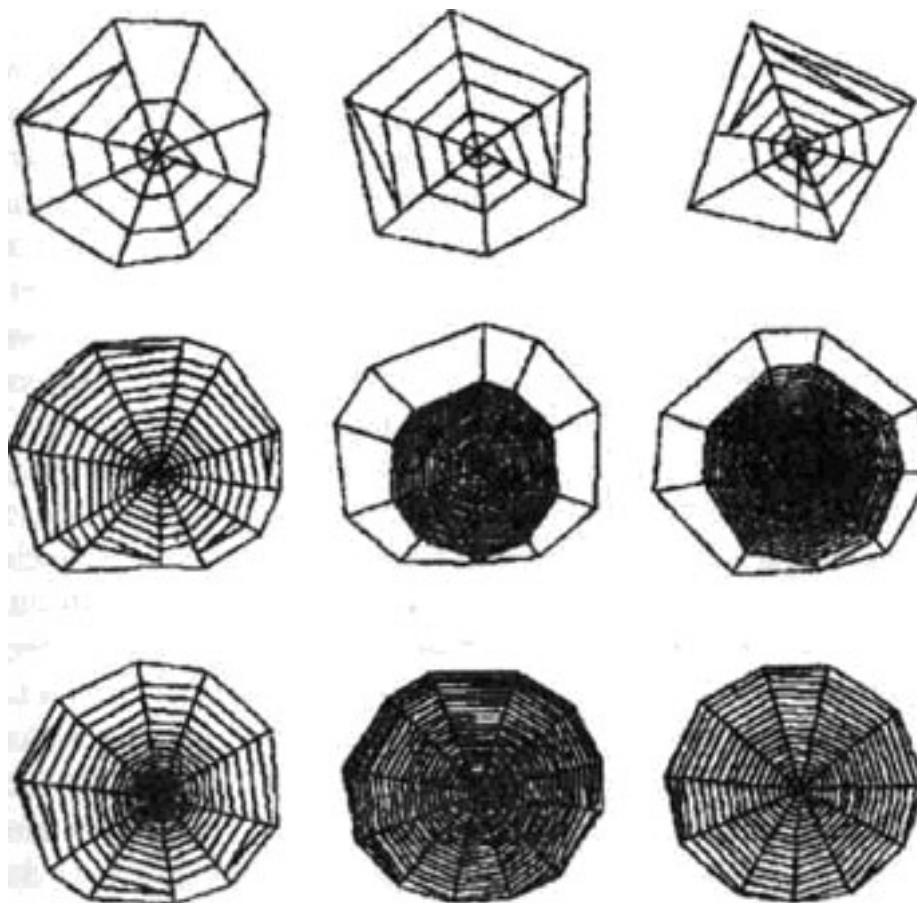


Ryc. 2.11 Komputerowe pajęczyny pod gradem komputerowych much. Program „NetSpinner” opracowali Peter Fuchs i Thiemo Krink.

Takie właśnie rzeczy, bardzo odległe od rzeczywistego życia, robi zawsze komputer, jeśli nie pofatygujemy się, by mu tego zakazać. Tutaj to nie przeszkadza, a nawet ułatwia porównanie poszczególnych sieci. Porównanie polega na podliczeniu przez komputer liczby much „złapanych” przez każdą pajęczynę. Jeśli na tym by się już kończyło, zwycięzcą okazałaby się sieć narysowana na dole po prawej, ponieważ na jej spiralnej lepkiej nici leży najwięcej owadów. Ale sama liczba much nie jest jedyną ważną zmienną. Jest nią także koszt zużytego jedwabiu. Sieć na górze pośrodku zbudowana jest z najmniejszej ilości jedwabiu; gdyby to było jedyne kryterium, to ona właśnie by zwyciężyła. Prawdziwym zwycięzcą jest jednak ta sieć, która łapie najwięcej much przy najmniejszych kosztach wyliczonych na podstawie długości jedwabnej nici, z której została zbudowana. W efekcie tych nieco bardziej skomplikowanych obliczeń zwycięzcą okazuje się sieć narysowana na dole pośrodku. I ta właśnie zostaje wybrana do dalszej hodowli, a geny, które ją stworzyły, przekazywane są następnemu pokoleniu. Podobnie jak w programie biomorfów, taka hodowla kolejnych zwycięzców sprzyja stopniowemu pojawianiu się określonej tendencji ewolucyjnej. Jednak podczas gdy u biomorfów o kierunku takiej tendencji decydowała wyłącznie ludzka zachcianka, to w programie „NetSpinner” ewolucja postępuje automatycznie w

kierunku coraz większej skuteczności sieci. Na tym właśnie nam zależało: komputerowym modelu doboru naturalnego, a nie doboru sztucznego. A co powstaje w efekcie takiej ewolucji? Warto się było nieco pomęczyć, by zobaczyć na ekranie sieci będące rezultatem zaledwie jednej nocy kolejnych przemian czterdziestu pokoleń (ryc. 2.12), tak bardzo przypominające prawdziwe sieci żywych pajaków.

Ryciny, które dotychczas zaprezentowałem, pochodzą z programu „NetSpinner II”, dzieła głównie Petera Fuchsa („NetSpinner I” to wersja wstępna, której nie będę omawiał). Kolejne wersje tego programu, opracowywane przez Thiemo Krinka, pozostawiają biomorfy daleko w tyle pod jednym istotnym względem. W „NetSpinner III” wbudowane zostało rozmnażanie płciowe. Biomorfy i pająki „NetSpinner II” rozmnażały się bezpłciowo. Co to znaczy, że komputerowe pająki z „NetSpinner III” podejmują rozmnażanie płciowe?



Ryc. 2.12 Ewolucja, jakiej uległy sieci w programie „NetSpinner” w ciągu jednej nocy. Pokazano co piąte pokolenie.

Nie jest tak, że widać na ekranie kopulujące pająki, choć niewątpliwie można by to zrobić,

razem z wieńczącym niekiedy ten akt pokazem kanibalizmu. Program komputerowy uwzględnia natomiast genetyczne połączenia powstające w efekcie rozmnażania płciowego, będące mieszanką genów pochodzących w połowie od jednego i w połowie - od drugiego rodzica.

A oto jak się to dzieje. W każdym pokoleniu jest populacja - nazwijmy ją „dem” - składająca się z kilku pajaków, z których każdy buduje sieć. O jej kształcie decyduje „chromosom”, czyli ciąg genów. Każdy gen wpływa na wybraną regułę budowania sieci, jak mówiliśmy wcześniej. Sieci są bombardowane muchami. Następnie oblicza się wartość każdej sieci w taki sam sposób jak poprzednio, jako funkcję liczby złapanych much minus funkcja zużytego jedwabiu. Ustalona część populacji pajaków wymiera w każdym pokoleniu - te, których sieci okazały się najmniej skuteczne. Pozostałe kojarzą się ze sobą w sposób losowy i wydają nowe pokolenie. Kojarzenie się polega na tym, że chromosomy obu pajaków ustawiają się wzdłuż siebie i wymieniają się fragmentami. Brzmi to dziwnie i wygląda na sytuację wymyśloną, dopóki nie uświadomimy sobie, że tak właśnie zachowują się prawdziwe chromosomy - zarówno nasze, jak i pajęcze - podczas rzeczywistego rozmnażania płciowego.

Procesy te postępują i populacja ewoluuje, pokolenie za pokoleniem, z pewnym dodatkowym udoskonaleniem. Zamiast jednego demu sześciu pajaków są (powiedzmy) trzy częściowo odseparowane od siebie demy (ryc. 2.13). Każda z tych populacji ewoluuje niezależnie, chociaż od czasu do czasu pojedynczy osobnik migruje do innej, przynosząc ze sobą swoje geny. Powrócimy do tej koncepcji w rozdziale czwartym. Na razie możemy w skrócie powiedzieć, że wszystkie trzy demy ewoluują w kierunku ulepszonych sieci: takich, które łapią więcej much mniejszym kosztem. Niektóre demy wpadają w ślepe zaułki ewolucyjne. Migrujące geny pajęcze można uznać za zastrzyk świeżych pomysłów, wypracowanych przez inną populację. Jest niemal tak, jakby populacja, która sobie lepiej radzi, wysyłała geny „podpowiadające” populacji, która radzi sobie gorzej, lepsze rozwiązania problemów pojawiających się przy konstruowaniu sieci.

W pierwszym pokoleniu, we wszystkich trzech demach, występuje wielka różnorodność kształtów sieci, z których większość nie jest specjalnie skuteczna. Podobnie jak przy rozmnażaniu bezpłciowym, wraz z upływem kolejnych pokoleń liczba rozmaitych kształtów stopniowo się zmniejsza, pozostawiając te, które prowadzą do zapewniającego najlepsze i najbardziej skuteczne spełnianie przez sieć swojej funkcji. Można jednak dostrzec, że w efekcie rozmnażania płciowego sieci należące do poszczególnych demów wykorzystują te same

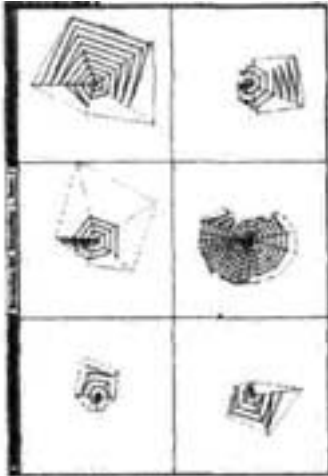
koncepteje, przypominają więc inne sieci tego samego zestawu. Są zarazem genetycznie odcięte od innych populacji, dlatego łatwo zauważyć istotne różnice między odrębnymi zestawami. W pewnym momencie w jedenastym pokoleniu geny dwóch sieci przeszły z demu 3 do demu 2, „zarazając” tym samym zespół 3 pomysłami zespołu 2. Przed dotarciem do pokolenia pięćdziesiątego - a czasem nawet dużo wcześniej - stopniowa ewolucja pajęczych sieci doprowadza do powstania dobrego, pewnego, skutecznie łapiącego muchy urządzenia.

Tak więc można w komputerze przedstawić proces bardzo podobny do doboru naturalnego, prowadzący do otrzymania sztucznych sieci łapiących muchy skuteczniej niż rzeczywiste pajęczyny. Nie jest to całkiem prawdziwy dobór naturalny, ale bliższy doborowi zachodzącemu w realnym świecie niż zupełnie sztuczna selekcja biomorfów. „NetSpinner” dokonuje obliczeń, która sieć jest wystarczająco dobra, aby stała się punktem wyjścia dla dalszej hodowli, a która nie. Od programisty zależy natomiast określenie kosztu ustalonego odcinka jedwabnej nici w tej samej walucie co wartość muchy. Programista może dowolnie zmieniać kursy wymiany. Może na przykład podwoić „cenę” jedwabiu. Taka decyzja zmniejszyłaby sukces rozrodczy większych lub gęstszych sieci, które łapią wprawdzie więcej much, ale zużywają więcej jedwabiu. Programista musi więc sam wybrać obowiązujący kurs wymiany, i tylko od niego zależy, jaki czynnik weźmie pod uwagę. Zwrócę uwagę na zaledwie jedną z wielu takich wzajemnych zależności, które nie są na pierwszy rzut oka oczywiste. Myślę o wymianie muszkiego mięsa na pajęczę potomstwo. O tym też decyduje programista. A w prawdziwym życiu mogą obowiązywać inne stawki. Ustalenie proporcji wymierających pajaków, ginących z przyczyn zupełnie nie związanych z jakością ich sieci, także należy do osoby układającej program. Są to wszystko arbitralne decyzje, przyjęcie innych może dać zupełnie inne wyniki ewolucji.

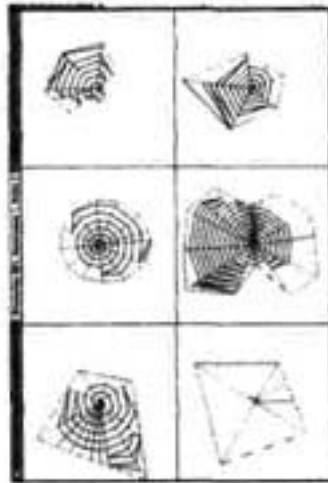
W prawdziwym życiu żadna z tych decyzji nie zapada arbitralnie. Żadna z nich nie jest w istocie decyzją i nie wymaga żadnego mechanizmu obliczeniowego. Tak się po prostu dzieje, w sposób naturalny i bez rozgłosu. Musze mięso jest po prostu przetwarzane na mięso pajęczego potomstwa, i współczynnik takiej wymiany po prostu istnieje. Jeśli chcemy zadać sobie trud i śledząc wydarzenia od początku, spróbować ustalić jego wartość, to jest to nasza sprawa.



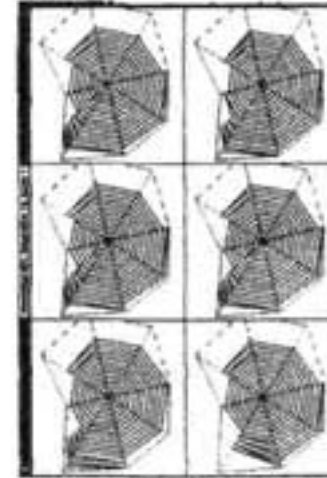
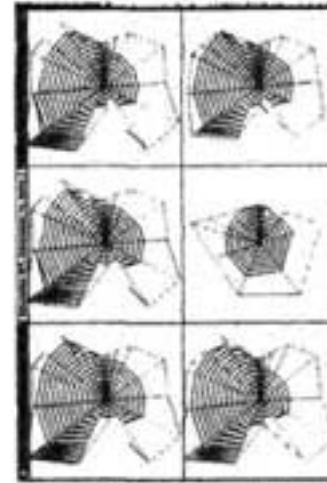
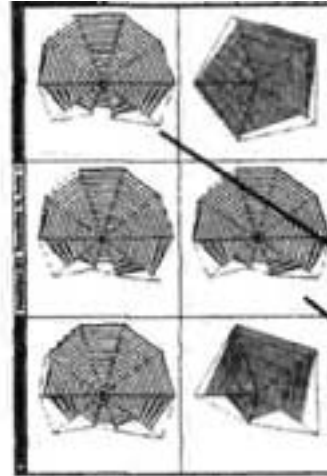
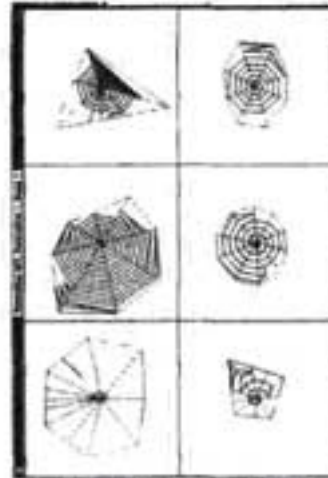
Dem 3

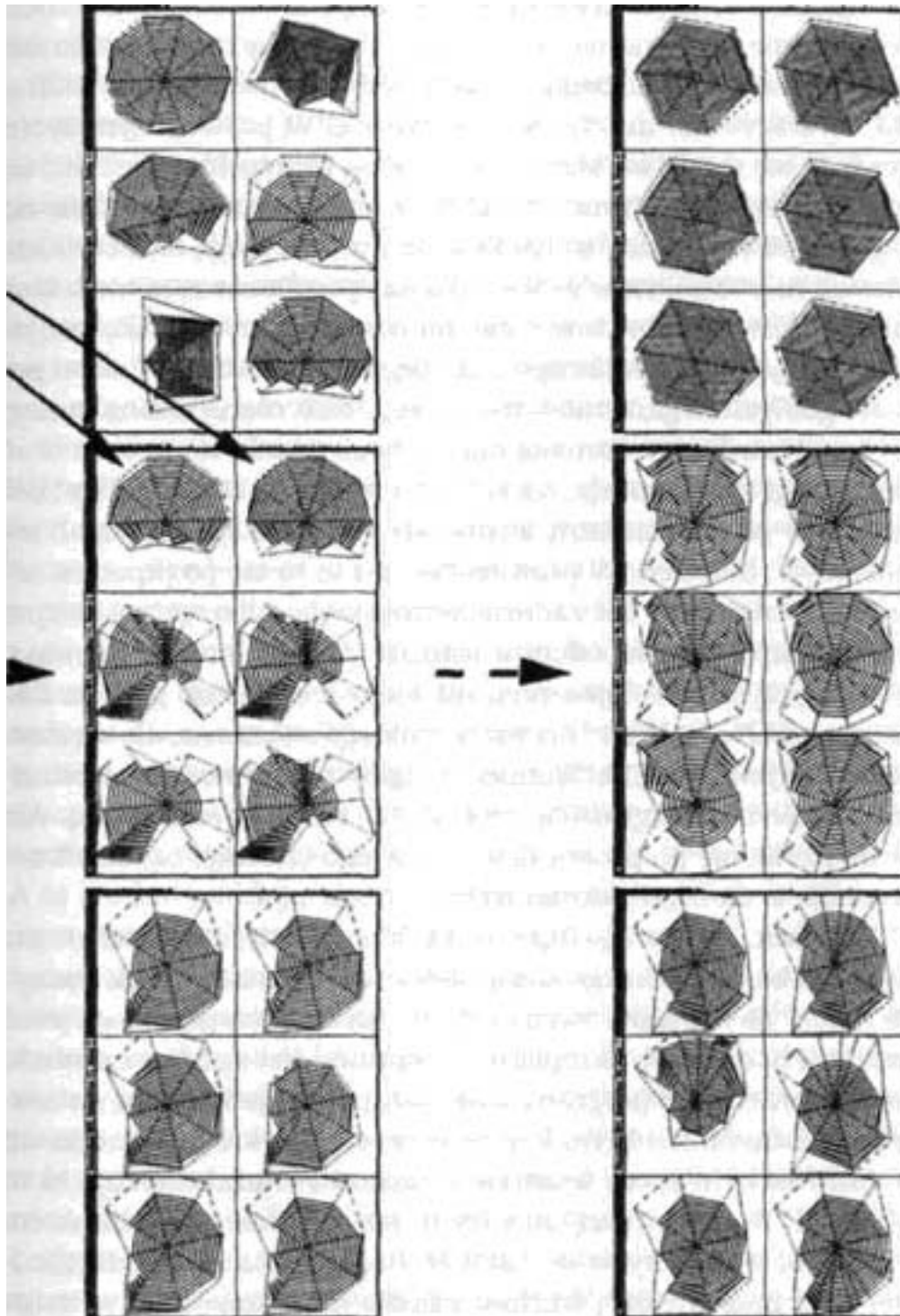


Dem 2



Dem 1





Ryc. 2.13 Pięćdziesiąt pokoleń trzech populacji (demów) płciowo rozmnażających się komputerowych pajaków ewoluujących na drodze „doboru naturalnego” - efekt programu „NetSpinner”. W jedenastym pokoleniu dwa komplety genów z demu 3 zostały przeniesione do demu 2, gdzie uczestniczyły w procesach genetycznej rekombinacji (przeniesienie i jego efekty

wskazują długie strzałki).

Wymiana taka zachodzi automatycznie, niezależnie od tego, czy ktokolwiek znajdzie dla niej postać matematycznego równania ekonometrycznego czy nie. To samo dotyczy wymiany owadziego mięsa na jedwab. „NetSpinner” zakłada, że wszystkie muchy są identyczne. W prawdziwym życiu pojawia się mnóstwo skomplikowanych szczegółów, ale i one są czymś oczywistym i nie wywołują zamieszania. Niezależnie od tego, że pewne owady są większe od innych, mogą się one także okazać nierównocenne ze względu na specyficzne zapotrzebowania pająków. Wyobraźmy sobie na przykład, że wytwarzanie jedwabiu wymaga określonego, rzadkiego aminokwasu. W skład poszczególnych organizmów mogą wchodzić różne aminokwasy. Ocena prawdziwej wartości określonego owada musi więc brać pod uwagę zarówno jego rodzaj, jak i wielkość. „NetSpinner” bez kłopotów poda ostateczny wynik, ale jest to kolejny przykład arbitralnych obliczeń. W prawdziwym życiu to się po prostu dzieje, automatycznie i bez żadnego wymyślania. Albo weźmy kolejną komplikację. Prawdopodobnie wartość złapanej muchy jest inna, gdy pajęczycza jest najedzona, niż kiedy jest bardzo głodna. Dla programu „NetSpinner” nie ma to żadnego znaczenia, ale w prawdziwym życiu ma. „NetSpinner” mógłby przeprowadzić arbitralne obliczenia uwzględniające czynnik zaspokojenia głodu. Ale w życiu tak się po prostu dzieje, czy tego chcemy, czy nie. I nie wymaga to żadnych formalnych obliczeń.

Wniosek, do którego dążę, jest tak oczywisty, że właściwie nie wymaga bezpośredniego sformułowania, ale zarazem tak ważny, że należy go wyraźnie wypowiedzieć. Kiedy tylko pojawi się jakiś szczegół dodatkowo komplikujący sprawę, ten sprytny człowiek, który opracowuje program, musi uzupełnić go kilkoma stronami zapisanymi trudnym komputerowym językiem. Tymczasem w prawdziwym życiu wszelkie zależności charakteryzuje brak obliczeń. Kurs wymiany między muszym mięsem a jedwabiem ustala się automatycznie. Fakt, że złapana mucha ma dla głodnej pajęczycy większą wartość niż dla najedzonej, nie wymaga żadnych kalkulacji. Byłoby dziwne, gdyby pożywienie nie było cenniejsze dla głodnego pająka. Przyzwyczajaliśmy się traktować model komputerowy jako uproszczenie rzeczywistego świata.

W sensie, o jaki nam chodzi, komputerowy model doboru naturalnego jednak nie upraszcza, ale komplikuje procesy zachodzące w rzeczywistości.

Dobór naturalny to proces skrajnie prosty - wymaga bardzo skromnej aparatury, by mógł

postępować. Oczywiście jego rezultaty i konsekwencje są w końcu bardzo złożone. Ale jego zapoczątkowanie na jakiegokolwiek planecie wymaga tylko jednego: istnienia dziedziczącej się informacji. Aby zapoczątkować taki sam proces w komputerze, potrzeba natomiast znacznie więcej. Konieczna jest skomplikowana aparatura obliczająca najrozszańsze koszty i najrozszańsze zyski oraz posługująca się przyjętą walutą umożliwiającą przekładanie jednych na drugie.

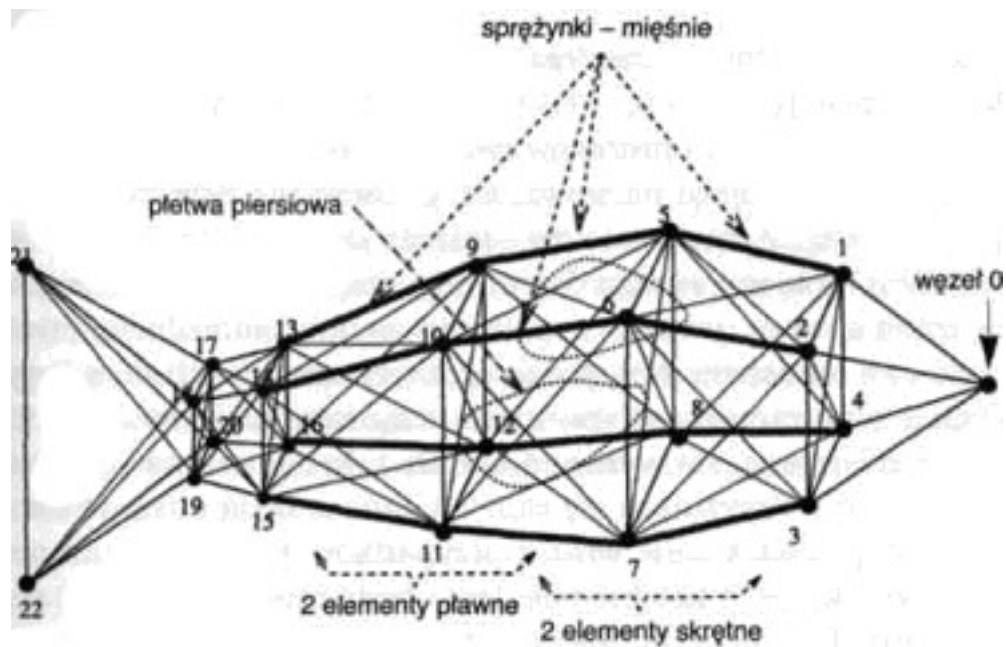
Co więcej, konieczne jest stworzenie sztucznych praw fizyki. Wybraliśmy sieci pajaków, ponieważ je właśnie najłatwiej - spośród ogromnego bogactwa naturalnych wytworów prawdziwego świata - przedstawić w postaci skomputeryzowanej. Można by w zasadzie opracować modele komputerowe skrzydeł, kręgosłupa, zębów, szczęk, płetw czy piór i oceniać ich efektywność w zależności od kształtu. Ale byłoby to nieznośnie skomplikowane zadanie dla osoby tworzącej program. Skrzydło, płetwa czy pióro nie dowiodą swoich walorów, dopóki nie umieści się ich w określonym środowisku - powietrzu lub wodzie - o konkretnych własnościach, takich jak opór, sprężystość czy układ zawirowań. A te trudno poddają się symulacji. Kręgosłupa lub kości kończyn nie sposób ocenić, dopóki nie umieści się ich w konkretnym układzie fizycznym sprawdzającym ich reakcje na napięcia i tarcie czy działanie jako dźwigni. Twardość, kruchość, wytrzymałość na skręcanie i ściskanie - wszystkie te własności muszą zostać przedstawione w komputerze. Symulacja stale zmieniającego się współdziałania wielu kości zestawionych ze sobą pod różnymi kątami i połączonych więzadłami i ścięgnami jest ogromnym zadaniem obliczeniowym, wymagającym na każdym kroku podejmowania arbitralnych decyzji. Symulacja przepływu powietrza i turbulencji powstających wokół skrzydła jest tak trudnym problemem, że projektanci samolotów często wolą obserwacje w tunelu aerodynamicznym niż opracowywanie symulacji komputerowych.

Nie powinienem jednak umniejszać zasług tych, którzy tworzą modele komputerowe. W 1987 roku zajmującej się nimi dziedzinie nadano nazwę „sztuczne życie” (ang.: Artificial Life) - miałem zaszczyt otrzymać zaproszenie na tę uroczystość do Los Alamos: miejsca, w którym powstała bomba atomowa, wykorzystywanego teraz dla bardziej konstruktywnych celów. Christofer Langton, pomysłodawca i przewodniczący konferencji założycielskiej oraz następnych, otworzył właśnie pismo poświęcone sztuczemu życiu, którego pierwszy numer niedawno do mnie dotarł. Zawiera artykuły, które nieco rozjaśniają pesymizm poprzedniego akapitu. Trzej Amerykanie, Demetri Terzopoulos, Xiaoyuan Tu i Radek Grzeszczuk, stworzyli

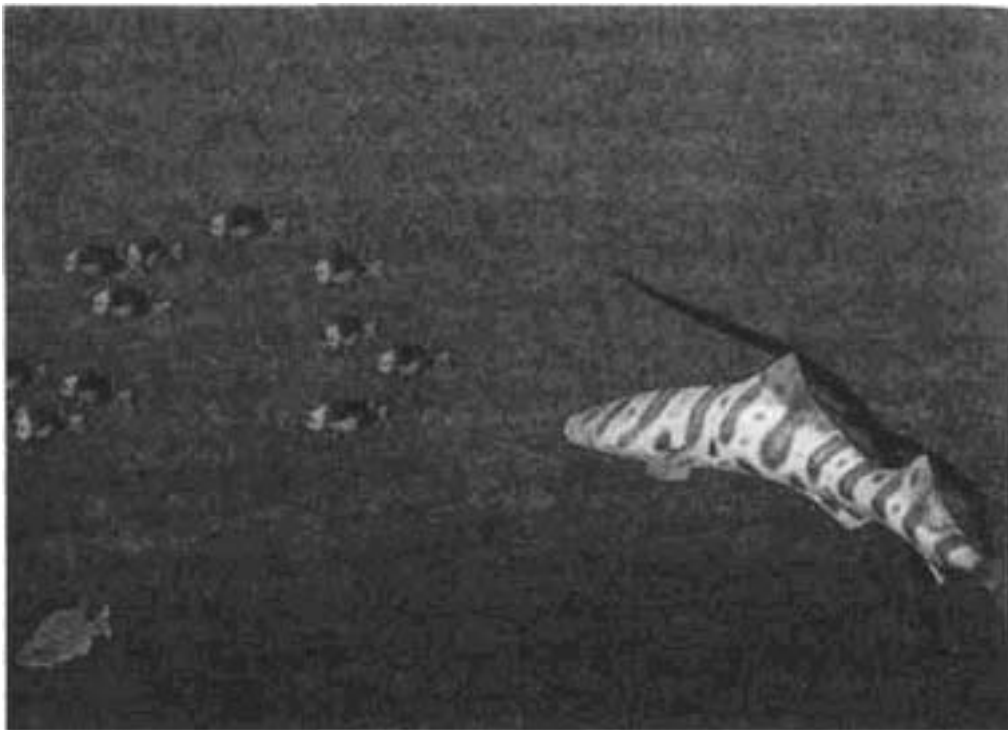
imponującą symulację komputerowych ryb, które zachowują się jak prawdziwe i współdziałają w symulowanej komputerowej wodzie. Komputerowy świat, w którym mogą one pływać, rządzi się swoimi prawami fizyki, których podstawą są rzeczywiste prawa hydrodynamiki. Najwięcej starań kosztuje programistę opracowanie symulacji jednej ryby i jej właściwego zachowania. Kiedy się to powiedzie, rybę taką wielokrotnie powiela się, dodając pewne modyfikacje. Następnie wszystkie wpuszcza się do „wody”, w której „zauważają się” nawzajem i reagują na swoją obecność. Na przykład unikają „zderzeń” i grupują się w „ławice”.

Na anatomię każdej komputerowej ryby składają się dwadzieścia trzy węzły, tworzące symulowany układ przestrzenny i połączone z sąsiednimi 91 sprężynkami (ryc. 2.14). Dwanaście spośród tych sprężynek może się kurczyć - są one mięśniami sztucznej ryby. Symulację falujących ruchów, jakie wykonuje prawdziwa ryba, a także zmian kierunku, osiąga się za pomocą kontrolowanych fal „skurczów” przebiegających wzdłuż kolejnych „mięśni”. Zwierzę to może się uczyć na podstawie doświadczeń, doskonaląc sekwencję skurczów umożliwiających pływanie, zmiany kierunku czy podążanie za celem. Komputerowym rybom przypisano trzy zmienne ich „stanu umysłu”, nazwano je: głód, popęd płciowy i strach; ich kombinacje warunkują powstawanie „zamiarów”. Zamiary zaś to: jeść, znaleźć partnera, płynąć bez celu, oddalić się, uniknąć zderzenia. Ryby te wyposażone są w dwa narządy zmysłów - jeden mierzy temperaturę wody, a drugi z grubsza przypomina oko - umożliwia ustalenie miejsca, koloru i wielkości obiektu znajdującego się w świecie tych zwierząt. Ze względów kosmetycznych, szkielet złożony z węzłów i sprężynek osłonięty jest litą powłoką w kolorach przypominających skórę ryb. Poszczególne rodzaje ryb, na przykład drapieżcy i ofiary, różnią się nie tylko wyglądem, ale także zachowaniem (ryc. 2.15). Drapieżcy są inni od ofiar nie tyle pod względem wielkości, ile predyspozycji do określonych zachowań, wag przypisanych poszczególnym zmiennym określających ich „stany umysłu” oraz różnych zamiarów. Swoją drogą, nawet obecnie, kiedy dysponujemy bardzo szybkimi komputerami, symulacje tego rodzaju wymagają tak wiele komputerowego czasu, że nie sposób otrzymać satysfakcjonującego obrazu sztucznego świata mieszczącego wiele reagujących na siebie wzajemnie ryb w czasie rzeczywistym. Ryby płyną, gonią się, uciekają i zalecają się do siebie w dużo wolniejszym tempie niż w prawdziwym świecie i trzeba posłużyć się filmem poklatkowym, by mieć przyjemność z oglądania tych wydarzeń w normalnym tempie. Ale to przecież szczegół, bez znaczenia dla teoretycznych rozważań, który zniknie wraz z pojawieniem się następnych generacji

komputerów.



Ryc. 2.14 Komputerowa ryba



Ryc. 2.15 Komputerowy rekin zbliża się ku ławicy komputerowych ryb.

Sztuczny świat ryb zamieszkujących komputerowe wody, jaki stworzyli Terzopoulos, Tu

i Grzeszczuk, jest wystarczająco bogaty do symulacji procesów ewolucyjnych. Na razie, choć ryby znajdują swojego partnera, ich zachowania ograniczają się pod tym względem do zalotów - jeszcze się nie rozmnażają. Następnym krokiem, z czego twórcy tego programu doskonale zdają sobie sprawę, jest wprowadzenie „genów” umożliwiających ilościowe określenie wag poszczególnych zmiennych decydujących o konkretnych zachowaniach i rządzących skurczami mięśni, a następnie, na wyższym etapie, także „stanami umysłu” i zamiarami. Krzyżujące się samce i samice będą mieszać swoje geny, przekazywane wraz z przypadkowymi mutacjami potomstwu, których kolejne pokolenia będą miały inny skład genetyczny. Ewolucja na drodze doboru naturalnego, choć w tak skrajnie sztucznym środowisku, będzie więc postępować. Być może nie okaże się konieczne nazywanie jednego rodzaju ryb drapieżnikami, a innego - ofiarami. Można przecież zacząć od dwóch gatunków różniących się wyłącznie wielkością i dostosowaniem rozrodczym, ale nie zwyczajami, i sam dobór naturalny może, z upływem wielu pokoleń, doprowadzić do tego, że gatunek większy rozwinie zachowanie drapieżne względem przedstawicieli mniejszego gatunku. Któż wie, jak intrygujące zakrety ewolucji wyłonią się z tej sztucznej historii naturalnej?

Przewiduję, i oczekuję tego z niecierpliwością, pojawienie się kwitnącego pola badań, którym można by nadać nieco przewrotną nazwę badań w dziedzinie sztucznego doboru naturalnego. Mimo wszystko, najłatwiejszą w pewnym sensie symulacją prawdziwego świata jest sam prawdziwy świat. Kości rzeczywiście różnią się pod względem wytrzymałości na zginanie i ściskanie, a także pod względem twardości, rozłożenia linii sił oraz zużycia wapnia. Można poddać te dane analizie, czy jednak obliczenia takie przeprowadzi się, czy nie, pozostanie faktem, że niektóre łamią się łatwiej, oraz że jedne pobierają duże ilości wapnia, podczas gdy inne mniej i może się on znaleźć w mleku. Prawdziwe życie jest w tym sensie niezmiernie proste. Pewne zwierzęta wymierają, a inne nie. Najszybszemu komputerowi w Ameryce obliczenia wszystkich szczegółów mogłyby zabrać cały rok kosztownej pracy. W przyrodzie fakty są brutalne: jedni giną, a inni nie. To wszystko.

Można, dlaczegoż by nie, uznać geny wszystkich populacji na świecie za elementy gigantycznego komputera, kalkulującego wszelkie koszty i zyski i ustalającego kursy wymiany oraz zmieniającego wzorce częstości genów pełniących rolę przełączników w elektronicznym procesorze danych. Jest to dość odkrywcze spojrzenie, do którego powrócę w dalszych częściach tej książki. Teraz jednak nadszedł czas, by odkryć znaczenie jej tytułu. Czym jest Góra

Nieprawdopodobieństwa i co może nam uświadomić?



## ROZDZIAŁ 3

### POŚLANIE ZE SZCZYTU

Góra Nieprawdopodobieństwa wznosi się majestatycznie nad równiną, a jej niebotyczne szczyty sięgają wysokich, rzadziejących już warstw atmosfery. Ostre, strome jak ściany twierdzy urwiska wydają się nie do pokonania. Skarlali do wielkości owadów alpiniści, zmęczeni nieudanymi próbami, gromadzą się u jej stóp i wznoszą wzrok ku ostrym, niedostępnym wierzchołkom. Kręcąc bezradnie maleńkimi głowami, zapewniają, że wspinaczka jest nadaremna, a szczyty - nieosiągalne.

Są oni nazbyt ambitni. Tak ich zafascynowała stromizna ścian, że nie pomyślą nawet o spojrzeniu na przeciwległy stok góry. A tam zamiast groźnych urwisk i kanionów, po których tylko niesie echo, znaleźliby łagodne, pokryte kobiercem łąk stoki, wznoszące się stopniowo ku odległym wysokim szczytom. Miejscami na tej nietrudnej drodze pojawiają się drobne, kamieniste turnie, ale zwykle można znaleźć obejście nie nazbyt strome dla zwykłego wędrowca odpowiednio obutego i swobodnie dysponującego czasem. Wysokie szczyty nie są groźne, dopóki nie chce się na nie dostać jednym skokiem. Trzeba znaleźć niezbyt stromą ścieżkę i jeśli ma się do dyspozycji nieograniczony czas, wspinaczka jest tylko tak trudna jak każdy kolejny krok. Opowieść o Górze Nieprawdopodobieństwa to oczywiście tylko parabola. Będę powracał do niej wielokrotnie w następnych rozdziałach.

Przytaczam poniżej list, jaki został opublikowany w londyńskim „The Times” kilka lat temu. Autor, którego nazwiska nie podaję, by oszczędzić mu zakłopotania, jest fizykiem, ocenianym na tyle wysoko przez swoich kolegów, by zostać wybranym na członka Towarzystwa Królewskiego, najbardziej szacowanej instytucji naukowej w Wielkiej Brytanii.

Szanowny Panie,

Jestem fizykiem [...], który wątpi w prawdziwość Darwinowskiej teorii ewolucji. Moje wątpliwości nie mają żadnego podłoża religijnego; nie wynikają też z chęci wzmocnienia którejkolwiek ze stron nieustającego sporu, ale głównie z przekonania, że darwinizmu nie da się obronić z pozycji naukowych.

[...] Nie mamy wyjścia - musimy uznać istnienie ewolucji - dowodzą jej wszelkie wydobywane z ziemi skamieniałe resztki zwierząt i roślin. Darwin twierdzi, że przyczyną

wszystkiego był przypadek: wraz z pojawianiem się kolejnych pokoleń zdarzały się niewielkie, losowe zmiany, z których te dające pewną przewagę utrzymywały się, a pozostałe - zanikały. W ten sposób żywe istoty stawały się stopniowo coraz doskonalsze, coraz lepiej na przykład dając sobie radę ze zdobywaniem pożywienia i eliminowaniem wrogów. Proces ten Darwin określił mianem doboru naturalnego. Będąc fizykiem, nie mogę się z tym zgodzić. Wydaje mi się niemożliwe, by losowe zmiany mogły doprowadzić do powstania tak wspaniałej maszyny, jaką jest ludzkie ciało. Weźmy choćby jeden przykład - oko. Darwin przyznał się pod tym względem do porażki: nie wiedział, w jaki sposób mogłoby ono wyewoluować z prostego światłoczułego narządu, (...) Nie widzę żadnej innej hipotezy ponad tę, że żywa materia została zaprojektowana. Powstanie życia jest nie do wytłumaczenia w kategoriach naukowych, podobnie jak cudowny ciąg żywych stworzeń powstających na naszej planecie w czasie kilku miliardów lat jej istnienia. Kim jednak był ów Projektant?

Z poważaniem

Autor tego listu stara się jak może, byśmy wiedzieli, że jest fizykiem - powtarza to dwukrotnie - fakt ten najwyraźniej ma nadać jego poglądom wagę szczególną. Inny przyrodnik - profesor chemii pracujący na Uniwersytecie stanu Kalifornia w San Jose - wdarł się do biologii artykułem zatytułowanym „Figi potrzebują Boga, by wydawać owoce” („The Smyrna Fig requires God for its Production”). Opisuje w nim niezwykle skomplikowane związki łączące figi z zapyłającymi je błonkówkami (o czym piszę w rozdziale dziesiątym) i dochodzi do następującego wniosku: „Młoda błonkówka pozostaje w uśpieniu w zawiązku figi przez całą zimę, ale wykluwa się w odpowiednim momencie, by złożyć jaja w letnim zbiorze zawiązków, co jest konieczne, żeby doszło do zapylenia i powstania owoców. Wszystko to wymaga niezwykle zgrania w czasie, a to oznacza, że jest kontrolowane przez Boga”! (wykrzyknik pochodzi ode mnie) „Uznawanie podobnych wydarzeń za wynik ewolucyjnego przypadku jest niedorzecznością. Nic podobnego do figi nie mogłoby istnieć bez Boga. [...] Ewolucjoniści udają, że wszystko powstaje przez przypadek, bez określonego celu i dokładnie przemyślanego planu”.

Jeden z najwybitniejszych brytyjskich fizyków sir Fred Hoyle (a zarazem autor *The Black Cloud* [Czarna chmura] - chyba jednej z najlepszych powieści z gatunku science-fiction, jakie kiedykolwiek powstały), często wyraża podobne przekonanie względem wielkich cząsteczek, takich jak enzymy, których „wrodzone nieprawdopodobieństwo” - czyli prawdopodobieństwo, że

powstały spontanicznie w efekcie przypadku - łatwiej wyliczyć niż na przykładzie oczu czy fig. Enzymy to niezliczone komórkowe narzędzia umożliwiające wszelkie molekularne procesy produkcyjne. Skuteczność enzymów zależy od ich kształtu przestrzennego, kształt od zwiłania się, a zwiłanie od kolejności aminokwasów, które tworzą je, łącząc się w łańcuchy. Kolejność tę zaś ściśle wyznaczają geny i tylko to tak naprawdę się liczy. Czy mogło do tego dojść przez przypadek?

Hoyle twierdzi, że nie, i ma rację. Aminokwasów jest dwadzieścia. Typowy enzym to łańcuch kilkuset aminokwasów pochodzących z owej dwudziestki. Podstawowe obliczenia dowodzą, że prawdopodobieństwo samorzutnego powstania określonej sekwencji złożonej z, powiedzmy, stu aminokwasów wynosi  $20 \times 20 \times 20 \dots$  1 tak sto razy, czyli jak 1 do  $20^{100}$ . Jest to niewyobrażalnie duża liczba, dużo większa niż liczba cząstek elementarnych w całym Wszechświecie. Sir Fred, skłaniając się uprzejmie (niepotrzebnie, jak zaraz się przekonamy) ku swoim, jak sądził, wyznającym darwinizm oponentom, łaskawie zmniejsza tę proporcję i mówi o 1 do  $10^{20}$ . Jest to oczywiście dużo mniejsza liczba, ale prawdopodobieństwo wciąż nieprzytomnie małe. Współautor Hoyle'a - astrofizyk Chandra Wickramasinghe, cytuje go, że prawdopodobieństwo spontanicznego powstania takiego enzymu jest takie samo, jak to, że huragan wiejący przez złomowisko pozostawi po sobie spontanicznie złożonego Boeinga 747. Hoyle i Wickramasinghe nie zwracają jednak uwagi na to, że darwinizm nie jest teorią losowego przypadku. Jest teorią losowych zmian i nielosowego kumulatywnego doboru naturalnego. Dlaczego, nie mogę tego zrozumieć, jest to tak trudne do uchwycenia nawet dla bardzo wyćwiczonych umysłów?

Już sam Darwin musiał spierać się z poprzednim pokoleniem przyrodników wykrzykujących słowo „przypadek” jako rzekomo świadczące o fatalnej ułomności jego teorii. William Thomson, lord Kelvin, był chyba największym fizykiem swoich czasów i najznakomitszym oponentem Darwina. Jednym z jego osiągnięć było obliczenie wieku Ziemi na podstawie tempa stygnięcia - przyjął on bowiem, że była częścią ognistego Słońca. Doszedł do wniosku, że Ziemia liczy dziesiątki milionów lat. Współczesne szacunki obliczają jej wiek na miliardy lat. Fakt, że wynik podany przez lorda Kelvina był prawdziwy w jednej setnej, w niczym nie podważa jego osiągnięcia. W tamtych czasach o metodzie datowania wykorzystującej procesy rozpadu izotopów promieniotwórczych nie mogło jeszcze być mowy, podobnie jak o reakcjach termojądrowych, będących prawdziwym źródłem słonecznych „płomieni” - jego

kalkulacje stygnięcia były więc skazane na niepowodzenie. Trudno jednak wybaczyć mu co innego: fakt, że „będąc fizykiem”, wyniośle odrzucał przedstawiane przez Darwina świadectwa biologiczne: Ziemia była nie dość stara, nie było dość czasu na Darwinowską ewolucję prowadzącą do rezultatów, jakie możemy wszędzie dostrzec, świadectwa biologiczne są po prostu fałszywe, wszak dowody fizyki są niewątpliwe. Darwin mógł równie dobrze powiedzieć (nie zrobił tego), że przecież świadectwa biologiczne jasno dowodzą procesu ewolucji, musiało być więc dość czasu, aby proces ten zachodził, z czego należy wnosić, że to dowody fizyki są nieprawdziwe!

Wracając do sprawy „przypadku”, lord Kelvin wykorzystał wyjątkową okazję - swoje wystąpienie jako przewodniczącego Brytyjskiego Towarzystwa Naukowego - aby zacytować, za zgodą autora, słowa innego uznanego przyrodnika, sir Johna Herschela, który, nawiasem mówiąc, nazywał darwinizm zasadą „grochu z kapustą”:

Nie możemy zgodzić się na zasadę samowolnych i przypadkowych zmian oraz dobór naturalny jako dostateczne wyjaśnienie, *per se*, istnienia obecnego i wcześniejszego świata organicznego bardziej niż na twierdzenie, że metoda Lapucjan tworzenia ksiąg (powstających *à l'outrance*) wystarczy, by otrzymać dzieła Szekspira i *Principia* Newtona.

Aluzja Herschela odnosiła się do Podróży Guliwera, w których Swift zażartował sobie, pisząc o sposobie, w jaki Lapucjanie pisali książki, łącząc ze sobą przypadkowe słowa. Herschel i Kernn, Hoyle i Wickramasinghe, cytowany wcześniej anonimowy fizyk i nieprzeliczone publikacje roznoszone przez Świadków Jehowy - zawsze popełniają ten sam błąd: traktują Darwinowski dobór naturalny za równoznaczny z lapucjańską twórczością. Do dzisiaj, i to nawet wśród tych, którzy powinni wiedzieć lepiej, darwinizm jest odbierany jako „teoria przypadku”.

Jest miażdżąco, przytłaczająco, przeraźliwie oczywiste, że gdyby darwinizm był rzeczywiście teorią przypadku, to nie mógłby się sprawdzić. Nie trzeba być matematykiem ani fizykiem, aby obliczyć, że tworzenie się oka czy hemoglobiny ciągnęłoby się w nieskończoność, gdyby miały one powstać tak po prostu, z elementów przemieszanych jak groch z kapustą, w efekcie szczęśliwego zbiegu okoliczności. Nie będąc wcale jakimś szczególnie trudnym dla darwinizmu problemem, astronomiczne nieprawdopodobieństwo oczu i kolan, enzymów i stawów łokciowych, a także innych żywych cudów świata jest kwestią, z którą musi się zmierzyć

każda teoria wyjaśniająca fenomen życia, a tak się składa, że Darwinowska teoria ewolucji jako jedyna tę kwestię rzeczywiście rozwiązuje. Rozwiązanie owo polega na rozbiciu nieprawdopodobieństwa na maleńkie, łatwiejsze do opanowania części, rozłożenie niezbędnego łutu szczęścia, obejście od tyłu Góry Nieprawdopodobieństwa i wpełzanie na jej łagodne zbocza po jednym centymetrze na milion lat. Tylko sam Bóg poważyłby się na szaloną próbę pokonania przepaści jednym skokiem. I jeśli uznamy, że to on jest Projektantem Wszechświata, znajdziemy się w dokładnie tym samym miejscu, z którego wystartowaliśmy. Każdy Projektant zdolny do wykreowania oszałamiającego bogactwa żywych stworzeń musi być istotą niewyobraźalnie inteligentną i skomplikowaną. Skomplikowany to po prostu inne określenie czegoś nieprawdopodobnego - wymaga więc wyjaśnienia. Teologowie odpowiadający, że Bóg jest najwyższą prostotą, uchylają się (niezbyt) sprytnie od tej kwestii, ponieważ odpowiednio nieskomplikowany Bóg, niezależnie od wszystkich swoich pozostałych zalet, byłby zbyt prosty, aby zaprojektować Wszechświat (nie mówiąc już o przebaczeniu grzechów, odpowiadaniu na modlitwy, błogosławieniu zawartym związkom, przemienianiu wody w wino i wielu innych dokonaniach, których się po nim oczekuje). Nie można mieć wszystkiego naraz. Albo nasz Bóg jest w stanie zaprojektować świat i czynić wszelkie inne boże powinności - a wtedy sam wymaga wyjaśnienia, albo nie - a wtedy nie jest żadnym wyjaśnieniem. Bóg powinien być dla Freda Hoyle'a owym Boeingiem 747.

Zawrotna wysokość Góry Nieprawdopodobieństwa odpowiada tej kombinacji doskonałości i nieprawdopodobieństwa, której reprezentacją może być oko i cząsteczki enzymu (i bogowie mogący je zaprojektować). Twierdzenie, że obiekty takie jak oko czy cząsteczka białka są nieprawdopodobne ma dość precyzyjne znaczenie. Składają się one z dużej liczby części połączonych ze sobą w bardzo szczególny sposób. Sposobów innego połączenia tych części jest nieprzysłownie wiele. Dla cząsteczki białka liczbę innych połączeń możemy dokładnie wyliczyć. Isaac Asimov zrobił to dla pewnego białka - hemoglobiny, i otrzymaną wielkość nazwał liczbą hemoglobinową. Miała 190 zer. Na tyle właśnie sposobów można połączyć ze sobą elementy składowe hemoglobiny, by otrzymać coś, co nią nie jest. Dla oka nie sposób przeprowadzić podobnych obliczeń bez przyjmowania mnóstwa założeń, ale wystarczy intuicja, by zdać sobie sprawę, że liczba ta będzie znowu oszałamiająco wielka. Ten układ części składowych, z jakim akurat mamy do czynienia, jest nieprawdopodobny w tym sensie, że jest on tylko jednym z trylionów możliwych.

Zauważmy zarazem, że w pewnym, niespecjalnie może ciekawym sensie, każdy konkretny układ części jest równie nieprawdopodobny jak inny. Nawet złomowisko jest równie nieprawdopodobne, patrząc *post factum*, jak Boeing 747, bo przecież wszystkie składające się nań elementy mogą być ułożone na ogromnie wiele innych sposobów. Problem w tym, że większość z nich da w efekcie podobne złomowisko. I tu właśnie pojawia się pojęcie jakości. Znakomita większość ułożeń części Boeinga na złomowisku nie da niczego, co mogłoby unieść się do góry. Bardzo niewiele - da. Z wielu trylionów możliwych ułożeń części oka tylko maleńka mniejszość da coś, co będzie mogło widzieć. Ludzkie oko tworzy na siatkówce ostry obraz, skorygowany względem aberracji sferycznej i chromatycznej; automatycznie zamyka się i otwiera, tak zmieniając wielkość otworu zwanego źrenicą, by intensywność odbieranego światła była w zasadzie stała, niezależnie od stosunkowo dużych wahań oświetlenia z zewnątrz; automatycznie zmienia ogniskową soczewki, w zależności od tego, czy oglądany przedmiot znajduje się blisko czy daleko; ustala kolory, porównując częstość wyładowań trzech rodzajów komórek wrażliwych na światło. Niemal wszystkie przypadkowe połączenia części oka nie przyniosłyby w efekcie nic, co mogłoby spełniać te niezwykle delikatne i trudne zadania. W tym konkretnym, istniejącym połączeniu części jest coś absolutnie niezwykłego. Wszystkie konkretne ułożenia są równie mało prawdopodobne. Ale spośród wszystkich konkretnych ułożeń tych, które są kompletnie nieużyteczne, jest dużo, dużo więcej niż tych, które pełnią jakąś funkcję. Użyteczne rozwiązania są nieprawdopodobne i wymagają specjalnego wyjaśnienia.

R. A. Fisher, wielki genetyk posługujący się metodami matematycznymi i twórca podstaw nowoczesnej statystyki, w 1930 roku sformułował taką oto uwagę - z charakterystyczną dla siebie skrupulatnością (nigdy go nie spotkałem, ale wydaje mi się, że słyszę jego nieznośnie poprawne zdania, które dyktuje swojej cierplivej, schorowanej żonie):

Uznajemy organizm za przystosowany do określonej sytuacji, lub wszelkich sytuacji, jakie składają się na jego środowisko, tylko na tyle, na ile możemy sobie wyobrazić nieco inne sytuacje lub środowiska, do jakich zwierzę to byłoby nieco gorzej przystosowane; oraz - odpowiednio - tylko na tyle, na ile możemy sobie wyobrazić zbiór nieco innych form życia organicznego, które byłyby nieco gorzej przystosowane do danego środowiska.

Oczy, uszy i serce, podobnie jak skrzydła sępa czy sieć pająka, robią na nas wielkie wrażenie - zachwyca nas ich niezwykła, inżynierska wręcz doskonałość niezależnie od tego, gdzie się na nie natkniemy: nie musimy oglądać ich w naturalnym otoczeniu, by dostrzec, że

znakomicie nadają się do określonego celu i że gdyby niektóre ich części poprzestawiać lub pozamieniać w jakikolwiek sposób, stałyby się dużo gorsze. Tę „nieprawdopodobną doskonałość” mają wręcz wpisana w siebie. Każdy inżynier uznałby je za coś, co sam mógłby zaprojektować, gdyby poproszono go o rozwiązanie konkretnego problemu.

To jest tylko inny sposób na powiedzenie, że podobne obiekty nie mogły zaistnieć w wyniku przypadku. Jak widzieliśmy, przywoływanie przypadku jako jedynego wytłumaczenia jest odpowiednikiem próby osiągnięcia samego szczytu Góry Nieprawdopodobieństwa jednym skokiem - od jej podnóża wzdłuż najbardziej stromych ścian. A co odpowiada stopniowemu podchodzeniu po łagodnych, trawiastych stokach z drugiej strony tej góry? Jest to powolne, kumulujące się, wymagające tylko jednego kroku naraz, nieprzypadkowe przeżywanie przypadkowo zmienionych osobników - czyli to, co Darwin nazwał doborem naturalnym. Metafora Góry Nieprawdopodobieństwa służy udratyzowaniu błędu, jaki popełniają sceptycy cytowani na początku tego rozdziału. Nie mieli racji, zatrzymując wzrok na pionowych ścianach wznoszących się na niebotyczną wysokość. Uznali, że strome zbocza to jedyna droga na szczyty, na których ulokowały się oczy i białkowe cząsteczki oraz inne, w najwyższym stopniu nieprawdopodobne połączenia różnych elementów. Wielkim osiągnięciem Darwina było odkrycie łagodnych stopni wiodących ku górze po drugiej stronie szczytów.

Czy nie jest to jednak jedna z tych rzadkich sytuacji, w których sprawdza się powiedzenie, że nie ma dymu bez ognia? Darwinizm jest powszechnie mylnie rozumiany i uznawany za teorię czystego przypadku. A może pozwolił sobie na coś, co ściągnęło na niego to nieczne podejrzenie? No tak, rzeczywiście, za tymi mylącymi pogłoskami coś się kryje - bardzo wątpliwe podstawy takiego przeinaczenia. Jeden etap Darwinowskiej ewolucji istotnie polega na przypadku: jest to mutacja. Mutacja to proces, z którego dobór naturalny czerpie nowe kombinacje genetyczne, i o którym zwykle mówi się, że ma charakter przypadkowy. Darwiniści podkreślają jednak przypadkowość mutacji tylko po to, by tym większą uwagę zwrócić na zupełnie nieprzypadkowe działanie doboru naturalnego. Mutacje wcale nie muszą być przypadkowe, by działał dobór naturalny. Dobór spełni swoją funkcję niezależnie od tego, czy mutacje są ukierunkowane, czy nie. Mówiąc, że mutacje mogą być przypadkowe, staramy się zwrócić uwagę na ten niezwykle ważny fakt, że dobór jest - zupełnie przeciwnie - z konieczności nieprzypadkowy. To doprawdy ironia, że przez podkreślanie zasadniczej różnicy między mutacjami a nieprzypadkowością doboru większość ludzi uznała całą tę teorię za teorię

losowości.

Prawdę mówiąc, nawet mutacje są, w pewnym sensie, nieprzypadkowe, choć sens ten jest nieistotny dla naszych rozważań, ponieważ nie ma zasadniczego znaczenia dla nieprawdopodobnego doskonalenia się organizmów. Mutacje są na przykład wywoływane przez dobrze znane czynniki fizyczne - pod tym względem nie są więc przypadkowe. Technik obsługujący aparat rentgenowski nosi ołowiany fartuch i wycofuje się na zaplecze, zanim naciśnie przycisk, dlatego że promienie rentgenowskie powodują mutacje. Zmiany takie częściej pojawiają się w określonych genach. Pewne rejony chromosomów to tzw. gorące miejsca, w których mutacje występują z wyjątkowo wysoką częstością. To inny rodzaj nieprzypadkowości. Mutacje mogą ulec odwróceniu (mutacje wsteczne). Większość genów mutuje z równym prawdopodobieństwem w obu kierunkach. W niektórych mutacje w jednym kierunku są częstsze niż mutacje wsteczne, w kierunku przeciwnym. Jest to przyczyną tzw. presji mutacyjnej - kiedy procesy ewolucyjne bieżą w pewnym kierunku niezależnie od doboru naturalnego. Także w tym sensie można mówić o nieprzypadkowości mutacji. Warto pamiętać, że presja mutacyjna nie musi prowadzić ku ulepszeniu określonych rozwiązań. Ani wpływ promieni rentgenowskich. Wręcz przeciwnie - większość mutacji, niezależnie od tego, co je spowodowało, jest przypadkowa pod względem jakości, a to zwykle oznacza zmiany na gorsze, ponieważ jest zawsze dużo więcej sposobów popsucia niż usprawnienia czegokolwiek.

Można sobie wyobrazić świat, w którym większość mutacji powodowałaby doskonalenie. Mutacje w takim wymyślonym świecie byłyby nieprzypadkowe w innym sensie niż te wywoływane przez promienie rentgenowskie. Owe hipotetyczne mutacje byłyby ukierunkowane na systematyczne wyprzedzanie o krok procesów selekcji (skutków działania doboru naturalnego) i przewidywanie potrzeb organizmu. Jest to jednak ten jedyny rodzaj nieprzypadkowości, który - mimo wielkich tęsknot licznych teoretyków - niemal na pewno nie ma żadnego odbicia w rzeczywistości: mutacje nie wydają się systematycznie przewidywać potrzeb organizmu, a także zupełnie nie wiadomo, jak takie przewidywanie mogłoby zachodzić. Co owo przewidywanie miałoby oznaczać? Wyobraźmy sobie, że na terenach o umiarkowanym klimacie zaczyna się straszliwa epoka lodowcowa i zamieszkujące je jelenie kostnieją z zimna w swoich nazbyt cienkich okryciach. Większość osobników zginie, ale gatunek może przetrwać, jeśli tylko uda mu się w porę wykształcić w procesie ewolucji grube futro, na przykład takie, jakie ma wół piżmowy. Można by sobie w zasadzie wyobrazić mechanizm uruchamiania



pożądanych mutacji w odpowiedniej chwili. Wiemy na przykład, że promienie rentgenowskie zwiększają ogólne tempo mutowania, a mutacje mogłyby prowadzić zarówno do powstawania cieńszych, jak i grubszych futer. A gdyby tak wielkie zimno w jakiś sposób powodowało wzrost częstości mutacji prowadzących do wytwarzania wyłącznie futer grubszych? A wielkie upały - lżejszej sierści?

Darwiniści nie mieliby nic przeciwko takim opatrnościowym mutacjom. W niczym nie umniejszą to znaczenia darwinizmu, chociaż odebrałyby mu prawa do wyłączności: pomyślny wiatr z pewnością skróci nieco lot przez Atlantyk, co nie zmienia naszego przeświadczenia, że czynnikiem odpowiedzialnym za przeniesienie nas za ocean jest odrzutowy napęd samolotu. Darwiniści byliby jednak ogromnie zaskoczeni (i zaintrygowani), gdyby odkryto jakikolwiek mechanizm mutacyjny tego rodzaju, a to z trzech powodów.

Po pierwsze, mimo bardzo energicznych poszukiwań żadnego takiego mechanizmu nie stwierdzono (przynajmniej ani u roślin, ani u zwierząt; doniesiono o szczególnym, nie dającym się uogólnić przypadku indukowanych mutacji u bakterii, ale i tu same fakty pozostają wciąż sporne). Po drugie, nie sformułowano żadnej hipotezy tłumaczącej, skąd organizm miałby „wiedzieć”, jaką mutację wywołać. Moim zdaniem, gdyby w ciągu ostatnich wielu milionów lat było kilkadziesiąt cykli zlodowaceń, stanowiących coś w rodzaju wielokrotnych identycznych „wyścigów doświadczeń”, to można sobie wyobrazić, że jakiś nie odkryty jeszcze rodzaj doboru naturalnego wyższego rzędu wbudowałby w organizmy zdolność mutowania we właściwym kierunku już przy pierwszych oznakach zbliżania się epoki lodowcowej. Powtarzam jednak: nie ma żadnych dowodów istnienia takich zjawisk ani - co więcej - żadnej hipotezy mogącej je wyjaśnić. Po trzecie, i powracam tym samym do moich wcześniejszych rozważań, dla niektórych darwinistów, nie wyłączając mnie, taki mechanizm ukierunkowanych mutacji sprawia wrażenie czegoś niepotrzebnego, nadmiarowego, burzącego elegancję teorii. Jest to oczywiście czysto estetyczna reakcja, nie należy więc do niej przywiązywać nadmiernej wagi. Mój niezbyt przychylny stosunek do koncepcji ukierunkowanych mutacji wynika z tego, że jej zwolennikami są zwykle osoby, które błędnie uważają ją za konieczną. Nie rozumieją, że sam dobór naturalny jest wystarczająco potężny, by wypełnić to zadanie - nawet jeśli mutacje mają charakter losowy. Jednym ze sposobów uwydatnienia tego, że wystarczy nielosowy dobór, jest podkreślanie, że teoria dopuszcza, aby mutacje były przypadkowe. Jak jednak mówiłem wcześniej, teoria nie wymaga, by mutacje były losowe, tym bardziej nie ma żadnego powodu, żeby całą teorię

piętnować jako przypadkową. Mutacje mogą być przypadkowe, ale dobór nie jest przypadkowy ani odrobinę.

Zanim pozostawimy nasze jelenie w coraz bardziej przenikliwym chłdzie, zwróćmy uwagę, że lektura ostatnich trzech akapitów mogła nasunąć pewną odmianę hipotezy mutacji opatrnościowych. Rzeczywiście, niełatwo byłoby wytłumaczyć, skąd organizm „wie”, że kiedy robi się zimno, potrzebne są mutacje warunkujące grubsze futro, w upały natomiast wręcz przeciwnie. Nieco łatwiej jednak wyobrazić sobie, że tempo mutacji jest tak zaprogramowane, by rosło - tak samo we wszystkich kierunkach - gdy warunki stają się szczególnie trudne. Intuicyjnie dałoby się to tak wytłumaczyć: kryzys, taki jak epoka lodowcowa lub okres wielkich upałów organizm odczuwa jako sytuację stresową. Duży stres - niezależnie od tego, czy powodem jego jest dotkliwie zimno, gorąco, susza czy jakieś inne czynniki - dowodzi, że ciało jest pod jakimś względem niewłaściwie dostosowane do panujących warunków. Dla konkretnego osobnika może już być za późno na cokolwiek, ale być może jego dzieci będą miały łatwiejsze życie, jeśli podda on intensywnym mutacjom, we wszystkich możliwych kierunkach, geny komórek obecnych w swych narządach rozrodczych. Niezależnie od przyczyn tej dotkliwej sytuacji (mróz, upał, susza czy powódź) potomstwo niosące mutacje, które dadzą niewłaściwe skutki (przypuszczalnie będzie ich większość), zginie. Ale zwierzęta te i tak by zginęły, gdyby warunki były skrajnie trudne. Wydawanie na świat licznych niewydarzonych mutantów i potworków prawdopodobnie zwiększa szanse, że pojawi się wśród nich ten jeden potomek, który lepiej poradzi sobie w nowych warunkach niż pokolenie rodziców.

Są, rzeczywiście, geny, które regulują tempo, z jaką zachodzą mutacje innych genów. Można by się upierać, że owe „geny mutatorowe” uruchamiają stres i że własność taka mogłaby być faworyzowana przez jakiegoś rodzaju dobór naturalny wyższego rzędu. Niestety, na poparcie tej hipotezy nie sposób znaleźć argumentów silniejszych niż na rzecz poprzedniej o korzystnych, ukierunkowanych mutacjach. Przede wszystkim nie ma na to żadnych dowodów. Co gorsza, jest poważny problem natury teoretycznej - nie da się dowieść, że dobór naturalny faworyzuje szybsze tempo mutacji. Najważniejszy argument przeciwko tej koncepcji sprowadza się do tego, że geny mutatorowe będą wykazywać zawsze tendencję do zanikania z danej populacji, na przykład z populacji naszych hipotetycznych zwierząt poddanych warunkom stresowym.

W skrócie argumentacja wygląda tak. Każde zwierzę, które dożyło wieku rozrodczego, musi być całkiem udanym przedstawicielem swojego gatunku. Jeśli ma się coś naprawdę

niezłego i zaczyna się to w przypadkowy sposób zmieniać, najprawdopodobniej tylko się to zepsuje. I rzeczywiście, znakomita większość mutacji pogarsza istniejący stan rzeczy. Prawdą jest, że bardzo niewielka ich część poprawia to, co już było - właśnie dzięki temu jest w ogóle możliwa ewolucja na drodze doboru naturalnego. Jest również prawdą, że gen mutatorowy, powodując wzrost tempa mutacji, może pomóc swojemu właścicielowi w uzyskaniu tego niezwykle rzadkiego osiągnięcia: mutacji niosącej udoskonalenie. Kiedy tak się stanie, ten konkretny gen mutatorowy sam na tym przez chwilę korzysta, znajduje się bowiem w organizmie zawierającym korzystną mutację, do której powstania się przyczynił. Można by sądzić, że oznacza to faworyzowanie przez dobór naturalny genu mutatorowego i tym samym zwiększenie tempa mutacji. Przyjrzyjmy się jednak uważnie dalszemu biegowi wydarzeń.

W organizmach przyszłych pokoleń rozmnażanie płciowe spełni swoją misję tasowania materiału genetycznego, przedstawiając poprzez rekombinację i rearanżację geny poszczególnych osobników. Nie ma takiej siły, która zapobiegłaby oddzieleniu z czasem genu mutatorowego od tego, którego dobrą mutację spowodował - część kolejnych potomków będzie przychodziła na świat tylko z tym dobrym genem, część - tylko z mutatorem.

Korzystny gen może być faworyzowany przez dobór naturalny i zyskiwać na znaczeniu w przyszłych pokoleniach. Nieszczęsny gen mutatorowy, który go stworzył, został jednak odeń oddzielony wskutek przetasowań towarzyszących rozmnażaniu płciowemu. Losy mutatora, podobnie jak każdego innego genu, wyznaczają jego „średnie” skutki, czyli takie, jakie wywiera on średnio na różne osobniki, w których przypadkowo się znajdzie. Średnie skutki dobrego genu, powstałego dzięki mutatorowi, są dobre, dlatego dobry gen będzie przeżywał wraz z coraz licześniejszymi przenoszącymi go osobnikami. Ale średnie skutki genu mutatorowego będą złe, dlatego niezależnie od rzadkich, niezwykle wartościowych efektów jego działania generalnie gen ten będzie karnie usuwany przez dobór naturalny. Większość organizmów, w jakich się znajdzie, będzie pokraczna lub urodzi się martwa.

Argumentacja ta, wymierzona przeciwko pozytywnej selekcji genu mutatorowego, zakłada, że uczestniczy on w rozmnażaniu płciowym. Przy rozmnażaniu bezpłciowym argument związany z przetasowaniami genów traci rację bytu. Geny mutatorowe mogą być faworyzowane przez dobór naturalny dłuższy czas, ponieważ - gdy brak płci - nie są one odłączane od owych rzadko pojawiających się dobrych genów (które dzięki nim powstają) i na ich plecach wędrują poprzez kolejne pokolenia. Nowa dobra mutacja pojawiająca się u organizmów rozmnażających

się bezpłatnie daje nowy klon dobrze rozwijających się osobników. Nowa zła mutacja natomiast szybko znika, pogrążając się w niebyt razem z grupą powstałych na jej skutek potworków. Jeśli jakaś mutacja jest naprawdę dobra, niosący ją klon będzie znakomicie sobie radził i skorzysta na tym wszystkie jego geny - nawet złe. Niedobrym genom - mimo ich złych skutków - będzie się dobrze powodziło, dlatego że w sumie wszystkie geny tego klonu będą dobre. A wśród tych wędrujących na przyczepkę genów znajdują się przede wszystkim owe mutatory, dzięki którym dobre geny się pojawiły. Z punktu widzenia dobrych genów nic nie byłoby bardziej pożądane niż pozbycie się balastu niekorzystnych genów, a zarazem i mutatorów. Można więc sobie wyobrazić, że dobra mutacja wręcz marzy o jakimś niezłym, oczyszczającym rozmnażaniu płciowym. Gdyby tylko ciało, w którym się znajduję - tak mogłaby sądzić - zdecydowało się na odrobinę seksu, uwolniłabym się od tego całego tłumu nieznośnych pasażerów na gapę. Wtedy dopiero mogłabym pokazać, co jestem naprawdę warta. Pewne osobniki, w których bym się znalazła, byłyby kiepskie, inne świetne, ale w sumie mogłabym swobodnie cieszyć się korzystnymi efektami, które są moją zasługą. Złe geny natomiast nie mają żadnych powodów, by „tęsknić” za rozmnażaniem płciowym. Gdyby miały podlegać genetycznej zasadzie „wolność dla wszystkich”, jaką stwarza pojawienie się płci, szybko poszłyby na dno.

Rozumowanie to, samo w sobie, nie stanowi pełnego wyjaśnienia powszechności rozmnażania płciowego, choć może stać się podstawą takich wyjaśnień. Stwierdzenie, jak to właśnie zrobiłem, że dobre geny zyskują na istnieniu płci, podczas gdy złe na jej braku, nie jest równoznaczne z wytłumaczeniem powodów, dla których płęć się w ogóle pojawiła. Sformułowano na ten temat wiele hipotez, ale żadna z nich nie rzuca na kolana. Jedną z najwcześniejszych, zwana „zapadką Mullera”, jest bardziej zwartą wersją koncepcji, którą przedstawiłem w dość swobodnej postaci „tęsknot” dobrych i złych genów. Rozważania nad genami mutatorowymi można uznać za dodatkowe popchnięcie dla hipotezy zapadki Mullera. Jeśli przy rozmnażaniu bezpłatnym złe geny nie gromadzą się w populacji, to być może jest to zasługą genów zwiększających częstość mutacji. Może to przyspieszać działanie zapadki Mullera, a tym samym prowadzić do wymierania bezpłatnych klonów. Ale pytanie o płęć i o to, dlaczego w ogóle się pojawiła, razem z ową zapadką i całą resztą, to zupełnie inna i trudna do opowiedzenia historia. Być może kiedyś zbiorę się w sobie i zmierzę z tym problemem, ale wtedy opowiem o tym od początku i na temat ewolucji płci napiszę całą książkę.

To jednak tylko dygresja. Chodziło mi o to, że w rozmnażaniu płciowym mutowanie jest

karane przez dobór naturalny, nawet jeśli poszczególne zmiany materiału genetycznego (zdecydowana ich mniejszość) bywają przez niego faworyzowane. Dzieje się tak nawet w sytuacjach stresowych, chociaż mogłoby się wydawać, że są to najlepsze okazje do przyspieszenia tempa mutacji. Skłonność do mutowania jest zawsze niedobra, mimo że niekiedy mutacje okazują się korzystne. Najlepiej uznać, że dobór naturalny - czyż nie jest to paradoksalne - faworyzuje tempo mutacji równe zero. Na szczęście dla nas, i nieprzerwanego procesu ewolucji, do osiągnięcia takiego genetycznego stanu nirwany nigdy nie dochodzi. Dobór naturalny, drugi etap Darwinowskiego procesu, jest siłą działającą w sposób nieprzypadkowy, prowadzącą ku stopniowemu doskonaleniu pożądanых cech. Mutacje, etap pierwszy, są przypadkowe w tym sensie, że nie prowadzą ku doskonaleniu. Wszelkie ulepszenia są zatem, przede wszystkim, efektem szczęśliwego trafu, co sprawia, że wiele osób błędnie uważa darwinizm za teorię przypadku. Tu się jednak mylą.

Przekonanie, że dobór naturalny faworyzuje zerowe tempo mutacji i że mutacje są nieukierunkowane, nie wyklucza interesującej możliwości, którą nazwałem ewolucją ewoluowalności i omówiłem w artykule pod takim właśnie tytułem. Wytlumaczę nową wersję tej koncepcji - kalejdoskopową embriogenezę - w rozdziale siódmym tej książki. Na razie powróćmy do samego doboru naturalnego, drugiego z dwóch etapów Darwinowskiego procesu. Chociaż mutacje mogą być przypadkowe i pod pewnym bardzo ważnym względem niemal na pewno takie są, cała istota doboru naturalnego polega na tym, że nie jest przypadkowy. Spośród wszystkich wilków całkiem nieprzypadkowa grupa - najszybszych, najsprytniejszych, o najbardziej wyostrzonych zmysłach i zębach - przetrwa i przekaże dalej swoje geny. Tak więc geny, które spotykamy dzisiaj, są kopiami nieprzypadkowej części genów, które istniały w przeszłości. Każde pokolenie jest jak sito przesiewające wszystkie geny. Te, które ciągle istnieją po milionach przesiewających je pokoleń, muszą mieć coś, co pozwala im przedostawać się przez owe sita. Uczestniczyły w embrionalnym konstruowaniu miliona ciał i nie popełniły ani jednego błędu. Każdy z tego miliona osobników żył wystarczająco długo, by osiągnąć wiek dojrzały. Żaden nie był tak nieatrakcyjny, by nie znaleźć sobie partnera - nieatrakcyjność oznacza w tym przypadku cokolwiek, co dla ewentualnego partnera określonego gatunku mogłoby okazać się niedostatecznie pociągające. Każdy wykazał się zdolnością urodzenia bądź splodzenia co najmniej jednego dziecka. Owo sito jest wymagające. Geny, które dostały się do przyszłości, nie są jakąś przypadkową próbką - to ich sama elita. Przetrwały epoki lodowcowe i susze, epidemie i

ataki drapieżników, załamania i rozkwity populacji. Przeżyły nie tylko zmiany „zwykłego” klimatu z deszczami, mrozami czy suszami - ale i klimatu tworzonego przez stale zmieniające się układy towarzyszących genów, ponieważ w rozmnażaniu płciowym większość genów zmienia swoich towarzyszy w każdym kolejnym pokoleniu. Przeżywają te, które mają się świetnie, współdziałając z kolejnymi zestawami genów istniejących w obrębie całego gatunku - a więc genów znakomicie współpracujących z innymi genami tego samego gatunku. Najistotniejsza atmosfera dla przetrwania określonego genu zależy od jego współtowarzyszy podążających razem z nim nurtem „rzeki wypływającej z Edenu” śladem kolejnych pokoleń następujących po sobie organizmów. Myśląc o różnych gatunkach jak o rozdzielających się odnogach rzek, możemy też wyobrazić je sobie jako odrębne „mikroklimaty”, w których muszą przetrwać różne zestawy genów.

Nazywamy mutacje pierwszym, a dobór naturalny drugim etapem Darwinowskiego procesu ewolucji dla uproszczenia. Byłoby ono jednak mylące, gdyby miało doprowadzić do wniosku, że dobór zawiesza swoje działanie w oczekiwaniu na mutację, którą będzie można odrzucić lub skwapliwie wykorzystać. Niewykluczone, że jest gdzieś we Wszechświecie dobór naturalny w ten sposób działający. Ale na naszej planecie mamy raczej do czynienia z rozległym rozlewiskiem odmian, zasilanym przez drobne strumyczki mutacji, ale intensywnie mieszanym i pobudzonym do tworzenia kolejnych odmian dzięki procesom rozmnażania płciowego. Podstawową przyczyną pojawiania się nowych odmian są mutacje, mutacje te jednak mogą być już dość stare, kiedy stają się przedmiotem działania doboru naturalnego.

Słynne badania mojego kolegi z Oksfordu, nieżyjącego już Bernarda Kettlewella, opisują wyewoluowanie ciemnych, niemal czarnych ciem z form, które wcześniej miały jasne ubarwienie.

Ciemne osobniki należące do gatunku, którego badaniu poświęcił najwięcej czasu - krępaka brzozowego, *Biston betularia* - są zwykle nieco odporniejsze niż jasne, ale w nie zanieczyszczonym środowisku spotyka się je rzadko, ponieważ są dobrze widoczne dla ptaków i szybko przez nie usuwane. Na terenach przemysłowych, gdzie pnie drzew są ciemniejsze wskutek osadzania się zanieczyszczeń, stają się mniej widoczne niż formy jasno ubarwione. Prawdopodobieństwo, że zginą pożarte przez ptaki, jest więc wówczas mniejsze. Pozwala im to zarazem odnosić korzyści z wrodzonej większej odporności. Stały wzrost liczby ciemnych form tych ciem, który doprowadził do ich ogromnej przewagi liczebnej na terenach

uprzemysłowionych od połowy XIX wieku, był zaiste dramatyczny - melanizm przemysłowy to najlepiej udokumentowany przykład działania doboru naturalnego. I oto dochodzimy do powodu, dla którego przykład ten tutaj omawiam. Często błędnie się sądzi, że po nastaniu ery przemysłowej dobór naturalny zajmował się świeżo powstałymi mutacjami. Tymczasem jest wręcz przeciwnie - osobniki o ciemnym zabarwieniu istniały zawsze, tyle że nie utrzymywały się przez dłuższy czas w populacji. Jak wszelkie mutacje, tak i ta pojawiała się najpewniej wielokrotnie, ale silnie wyróżniające się osobniki były szybko wyłapywane przez ptaki. Kiedy, wraz z nadejściem rewolucji przemysłowej, warunki się zmieniły, dobór naturalny znalazł znakomity, gotowy już materiał - w postaci mniejszości wyposażonej w geny decydujące o ciemnym ubarwieniu.

Wyróżniliśmy elementy, jakie muszą zaistnieć, by zachodziły procesy ewolucyjne: są nimi mutacje i dobór naturalny; Oba pojawią się automatycznie na każdej planecie, na której znajdzie się element o jeszcze bardziej podstawowym znaczeniu, trudny, ale z całą pewnością nie niemożliwy do znalezienia. Tym wyjątkowym składnikiem jest dziedziczenie. Żeby gdziekolwiek we Wszechświecie pojawił się dobór naturalny, konieczne są linie rodowe obiektów, które przypominają swoich bezpośrednich przodków bardziej niż wszystkich innych członków tej samej populacji. Dziedziczenie to nie to samo co rozmnażanie. Można wyobrazić sobie rozmnażanie bez dziedziczenia. Ogień na przykład mnoży się, niczego nie dziedzicząc.

Wyobraźmy sobie suchą, spieczoną łąkę, ciągnącą się kilometrami w każdym kierunku. Niech tam, w dowolnym miejscu, jakiś nieuważny palacz upuści zapaloną zapałkę, a cała trawa zajmie się ogniem rozprzestrzeniającym się w mgnieniu oka. Nieszczęsny palacz ucieka tak szybko, jak tylko pozwalają mu zduszone wszechobecnym dymem płuca, nas jednak bardziej interesuje sposób rozprzestrzeniania się ognia. Nie tylko zagarnia on coraz większe połacie trawy. Strzela także płomieniami w niebo. Iskry te, czy też płonące źdźbła, wiatr przenosi daleko od miejsca wybuchu pożaru. Kiedy w końcu opadną w dół, stają się zarzewiem nowych płomieni w odległym punkcie wyschniętej na pieprz prerii. Potem nowe płomienie wysyłają kolejne iskry, rozniecające następne ogniska jeszcze dalej. Można powiedzieć, że jest to rodzaj niepohamowanego rozmnażania. Każde nowe ognisko ma swoje ognisko macierzyste - to, które rozsiewało płonące iskry dające początek owemu ognisku potomnemu. Ma też swoje ognisko będące względem niego „dziadkiem”, a także „pradziadka” i tak dalej, aż do ogniska-przodka, roznieconego przez niefrasobliwego palacza. Nowe ognisko ma tylko jedną matkę, ale więcej niż

jedną córkę - może bowiem wysyłać iskry w kilku kierunkach. Gdyby patrzyło się na to wszystko z góry, można by zarejestrować historię każdego ogniska i wyrysować kompletne drzewo rodowe wszystkich tych płonących na prerii ogni.

Opowiadam o tym, by zwrócić uwagę, że chociaż można mówić o mnożeniu się ognisk, to nie ma tutaj prawdziwego dziedziczenia. Żeby było, każde potomne ognisko musiałoby być bardziej podobne do swojego rodzica niż do wszystkich innych ognisk. Nie ma nic dziwnego w oczekiwaniu, że ogień będzie przypominał rodzica. Mogłoby tak być. Są różne ich rodzaje o własnych, charakterystycznych cechach - tak samo jak ludzie. Płomienie mogą być określonej wielkości i koloru, podobnie różną barwę może mieć dym, towarzyszyć mu mogą różne rodzaje odgłosów i tak dalej. Mogłby więc przypominać swojego rodzica pod którymkolwiek z tych względów. I jeśliby tak było, to moglibyśmy powiedzieć, że mamy do czynienia z prawdziwym dziedziczeniem. Jednak w rzeczywistości ogniska nie przypominają swoich rodziców bardziej niż wszystkich innych rozrzuconych po prerii. Indywidualne cechy każdego ogniska - wielkość jego płomieni, kolor dymu, hałas, jaki powoduje i inne - zależą od miejsca, w jakim się znajduje: rodzaju traw, które rosną akurat na tym terenie, stopnia ich wysuszenia oraz prędkości i kierunku wiatru. Wszystko to są cechy otoczenia, do którego trafiają iskry, a nie własności ognia, z którego one pochodzą.

Żeby mogło zachodzić dziedziczenie, każda iskra powinna przenosić odrobinę najistotniejszych cech rodzicielskiego ognia. Przyjmijmy, że jeden ogień ma żółte płomienie, inny czerwone, a jeszcze inny niebieskie. A gdyby iskry z ogniska o żółtych płomieniach rozniecały żółtopłomienne ogniska, iskry z ogniska o czerwonych płomieniach - czerwonepłomienne ogniska i tak dalej, wtedy moglibyśmy mówić o prawdziwym dziedziczeniu. Ale tak się wcale nie dzieje. Jeśli widzimy niebieski płomień, mówimy: „Muszą tu gdzieś być sole miedzi”. A nie: „Ten ogień musiała rozniecić iskra pochodząca z ognia o niebieskich płomieniach”.

Pod tym właśnie względem króliki, ludzie i stokrotki różnią się od ognisk. I bez znaczenia jest, że króliki mają po dwoje rodziców i czworo dziadków, podczas gdy ognisko tylko jednego rodzica i dziadka. To ważne, ale nie o tym teraz mówimy. Może wygodniej jest pomyśleć nie o króliku, lecz o patyczakach lub mszycach, których samice mają córki, wnuczki i prawnuczki i nie są im do tego potrzebne samce. Na kształt, ubarwienie i usposobienie patyczaka ma niewątpliwie wpływ miejsce, w którym się rozwija i panujący tam klimat. Zależy to jednak także od owej



iskry, która przechodzi tylko od rodzica do potomstwa.

Czymże jest owa tajemnicza iskra - inna od tej, która przeskakuje z ognia na ogień? Na naszej planecie jest nią DNA - najbardziej zdumiewająca cząsteczka na świecie. Można sobie wyobrazić DNA jako informację, zgodnie z którą jeden organizm buduje inny, bardzo do niego podobny. Bardziej stosowne byłoby postrzeganie ciała jako wehikułu wykorzystywanego przez DNA, aby przetransportować - więcej takiego samego DNA. Wszystek DNA, jaki jest dzisiaj na świecie, przeszedł przez nieprzerwany łańcuch kolejnych pokoleń pomyślnie się rozmnażających przodków. Nie ma dwóch osobników, które posiadałyby identyczny DNA (z wyjątkiem bliźniąt jednojajowych). Możliwości przeżycia i rozmnażania się poszczególnych osobników zależą w dużej mierze od różnic między ich DNA. Warto powtórzyć, bo to bardzo ważne: DNA, który przepłynął całą rzekę czasu, jest tym DNA, który przez setki milionów lat zamieszkiwał ciała przodków, którym się powiodło. Mnóstwo niedoszłych przodków wymarło w młodości lub nie zdołało znaleźć partnerów. Ani grama ich DNA nie ma teraz na świecie.

Łatwo byłoby w tym miejscu błędnie uznać, że jest coś - jakiś stygmat sukcesu czy odblask świętości bijący od tego, komu się udało - co osadza się na DNA i pochodzi od ciał świetnie radzących sobie w życiu przodków, do których trafił. Nic z tych rzeczy. Rzeka DNA płynąca przez nas ku przyszłości to czysty nurt, który (pomijając mutacje) opuszcza nas dokładnie w takiej samej postaci, w jakiej do nas dotarł. Dokładnie rzecz biorąc, DNA jest nieustannie mieszany w procesie rekombinacji towarzyszącym rozmnażaniu płciowemu. Połowa naszego DNA pochodzi od ojca, a połowa od matki. Każdy plemnik i każde jajo zawiera różną mieszankę ułożoną z genetycznych strumyków - ojcowskiego i matczyne. Dla kwestii zasadniczej nie ma to jednak znaczenia. Nic z pomyślnie żyjących przodków nie „osadza się” na genach podążających swoją drogą ku odległej przyszłości.

Darwinowskie wyjaśnienie, dlaczego żyjące organizmy są tak doskonale przygotowane do swoich zadań, jest bardzo proste. Są doskonałe, ponieważ gromadzą w sobie mądrość swoich przodków. Nie jest to jednak mądrość wyuczona, ale nabyta. Mądrość tę udało im się zgromadzić dzięki przypadkowym mutacjom, które szczęśliwie okazały się dać pożądanе skutki; mądrość ta jest następnie selektywnie, nieprzypadkowo zapisywana w genetycznym banku danych określonego gatunku. Porcja szczęścia w każdym pokoleniu nie jest zbyt wielka - dostatecznie mała, by mogli jej dać wiarę najbardziej sceptyczni przyrodniczy, podobni do tych, których cytowałem wcześniej. Ponieważ jednak owe łuty szczęścia kumulowały się przez bardzo wiele

pokoleń, zdumiewa nas teraz doskonałość ich wytworu granicząca z nieprawdopodobieństwem. Całe to darwinowskie koło zależy od - i jest konsekwencją - istnienia dziedziczności. Kiedy nazwałem dziedziczenie najbardziej zasadniczym składnikiem, miałem na myśli fakt, że Darwinowski proces, a więc i samo życie, mniej lub bardziej nieuchronnie, pojawi się na każdej planecie, na której znajdzie się coś, co jest odpowiednikiem dziedziczenia.

Dotarliśmy znowu do Góry Nieprawdopodobieństwa i „rozdrabniania” niezbędnego szczęścia. Do tego, co wygląda na zupełnie niewiarygodne powodzenie - konieczne na przykład, by powstało oko w miejscu, w którym nigdy go wcześniej nie było - i do rozdzielania owego powodzenia na mnóstwo małych porcji, dodających się systematycznie do tego, co wcześniej już istniało. Widzieliśmy właśnie, jak się to odbywa - przez akumulację wielu drobnych łutów szczęścia towarzyszących zdarzeniom dotyczącym całego ciągu przodków i obejmującym to DNA, któremu udaje się przeżyć. Razem z mniejszością dobrze genetycznie wyposażonych osobników, które świetnie sobie radzą, występuje zawsze wiele takich, które startują z gorszych pozycji i znikają bez śladu. Każde pokolenie ma swoje darwinowskie słabości, ale każdy osobnik jest potomkiem wyłącznie owej świetnie sobie radzącej we wcześniejszych pokoleniach mniejszości.

Posłanie ze szczytu jest trojaki. Pierwszą wiadomość już znamy - nie może być żadnych gwałtownych skoków w górę: uporządkowana złożoność nie rośnie skokowo. Po drugie - nie ma mowy o schodzeniu w dół: gatunki nie mogą najpierw stawać się gorsze, by potem być lepsze. Po trzecie - istnieć może więcej niż jeden szczyt, więcej niż jeden sposób rozwiązania określonego problemu, i bogactwo tych sposobów pojawiło się na świecie.

Weźmy dowolną część jakiegoś zwierzęcia lub rośliny - sensowne jest pytanie o to, w jaki sposób powstała w procesie powolnej transformacji innych części ich przodków. Niekiedy da się zaobserwować ten proces dzięki ciągłemu następstwu skamieniałości. Słynnym przykładem jest formowanie się kosteczek ucha środkowego ssaków - trzech kostek, które przenoszą dźwięk (ze znakomicie dobraną impedancją, żeby posłużyć się technicznym żargonem) z bębniaka do ucha wewnętrznego. Świadczenia kopalne jasno dowodzą, że kostki te, zwane młoteczką, kowadełkiem i strzemiączkiem, powstały w prostej linii z trzech kości, które u naszych gadzich przodków tworzyły połączenie żuchwy z czaszką (staw żuchwowy). [Młoteczek i kowadełko tworzyły staw żuchwowy, strzemiączko już u gadów było kosteczką słuchową (kolumienką - przyp. red.).]

Zazwyczaj jednak świadectwa kopalne nie są tak wygodne. Musimy domyślać się, jak wyglądały różne stadia pośrednie, co niekiedy wymaga odwoływania się do współcześnie istniejących zwierząt, które mogą, ale nie muszą, być z tamtymi spokrewnione. Trąba słonia nie ma kości i nie ulega fosylizacji, nie potrzebujemy jednak skamieniałości, by zdawać sobie sprawę, że jej historia zaczęła się od zwykłego nosa. A dzisiaj... pozwolę sobie zacytować książkę, która nieodmiennie doprowadza mnie do łez: *Battle for the Elephants* [Walka o słonie], napisaną przez dwoje dzielnych ludzi - Iaina i Orię Douglas-Hamilton. Pisali na zmianę kolejne rozdziały i oto wstrząsający opis Orii, na stronie 220, odstrzałów słoni, których była świadkiem w Zimbabwie:

Spoglądałam na jedną z odciętych trąb i zastanawiałam się, jak wiele milionów lat trwało powstawanie takiego wspaniałego cudu ewolucji. Wyposażona w 50 tysięcy mięśni i pozostająca pod kontrolą mózgu o odpowiednio wielkiej złożoności, może pchać lub ciągnąć ciężary ważące po kilka ton. A jednocześnie zdolna jest do wykonywania tak delikatnych zadań jak zerwanie drobnego strączka i wsadzenie go bezbłędnie do pyska. Ten wszechstronny narząd to także syfon mogący pomieścić cztery litry wody zaczerpniętej dla wypicia lub spryskania ciała; to wydłużony palec i trąbka i głośnik zarazem. Trąba pełni też funkcje społeczne - rozdaje pieszczoty, zaleca się, zapewnia o przychylności, pozdrawia i wymienia uściski. Dla samców bywa bronią - zadają nią razy i podejmują zmagania podobne zapasom - kiedy ciosy uderzają o ciosy i każdy samiec dąży do uzyskania przewagi na żarty lub na serio. A teraz leży tu pod moimi nogami, amputowana tak samo jak tyle innych trąb słoniowych, które widziałam w Afryce.

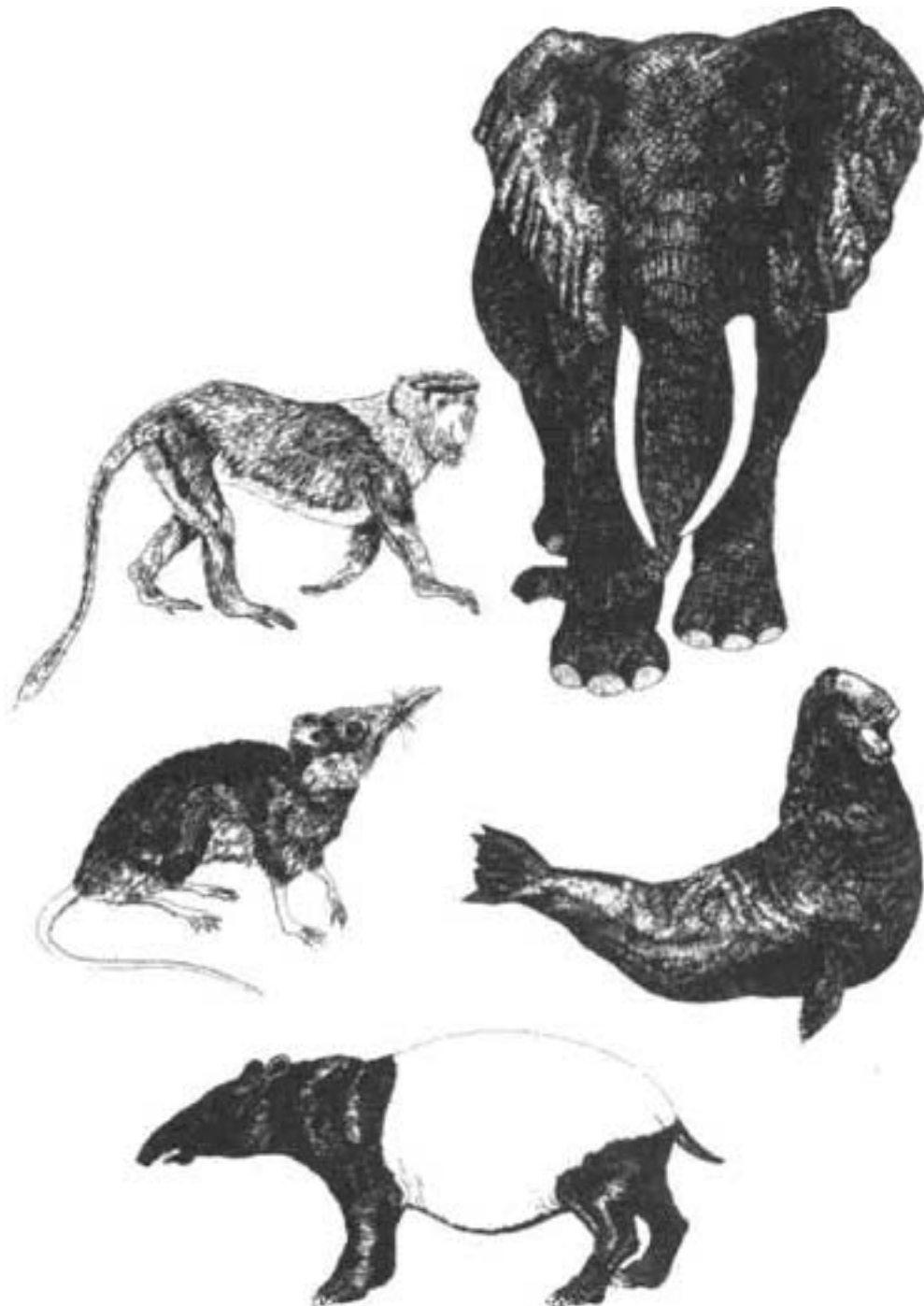
Nie mogę tego czytać spokojnie...

Posłanie ze szczytu tutaj wskazuje, że przodkowie słoni musieli stale gromadzić ciąg przejściowych zmian - od nosów takiej mniej więcej wielkości, jakie mają tapiry lub ryjkonosy czy nosacze, bądź też słonie morskie. Żadne z tych stworzeń nie jest blisko spokrewnione ze słoniem (ani wzajemnie ze sobą). Ich długie nosy wyewoluowały niezależnie i prawdopodobnie z różnych przyczyn (ryc. 3.1).

Ewolucja słoni od ich krótkonosych przodków musiała polegać na powolnym, stopniowym następowaniu po sobie systematycznie nieco dłuższych nosów, łagodnym wzroście grubości mięśni i coraz bardziej skomplikowanym przebiegu łączących je nerwów. Musiało być

tak, że z każdym następnym centymetrem długości trąba coraz lepiej spełniała swoje zadania. Nie wolno nigdy mówić: „Trąba średniej wielkości jest do niczego, ponieważ nie jest ani krótka, ani długa - mieści się między tymi dwiema skrajnościami - ale to nie szkodzi, wystarczy kilka milionów lat i będzie taka jak trzeba”. Żadne zwierzę nigdy nie żyło po to, by stanowić jakieś stadium pośrednie ku czemuś lepszemu. Zwierzęta żyją po to, by jeść, by uniknąć zostania pożartym, i by się rozmnażać. Gdyby trąba średniej wielkości sprawdzała się w ich życiu gorzej niż mały nos czy długa trąba, ta druga nigdy by nie wyewoluowała.

Z tego, że trąba ma być użyteczna we wszystkich swoich stadiach pośrednich, wcale nie wynika, że ma być wtedy tak samo użyteczna w tych samych rodzajach zadań. Zalety najwcześniej wydłużonego nosa nie miały prawdopodobnie nic wspólnego z podnoszeniem czegokolwiek. Być może nosy dlatego zaczęły się wydłużać, że większe poprawiały powonienie (ryjkonosy mają znakomicie rozwinięty zmysł węchu); bądź lepiej spełniały funkcję rezonatora głosu (jak u słonia morskiego); czy też były bardziej atrakcyjne dla ewentualnych partnerów seksualnych - jakkolwiek dziwne z estetycznego punktu widzenia nam się to może wydawać (a tak chyba jest w przypadku nosaczy). Z drugiej strony wcale nie jest wykluczone, że trąba zaczęła się sprawdzać jako „ręka” dość wcześnie w toku ewolucji słoni, kiedy narząd ten był jeszcze dość krótki. Przypuszczenie to wspierają obserwacje tapirów - chwytają one swymi krótkimi nosami liście i pchają je do pyska.



Ryc. 3.1 Słoń afrykański *Loxodonta africana* i nie spokrewnione z nim ssaki, których długie nosy powstały prawdopodobnie z niezależnych przyczyn (od lewej, w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara): nosacz *Nasalis larvatus*; ryjkonos [tu z rodzaju sorkonos] *Rhynchocyon petersi*; tapir malajski *Tapirus indicus* i południowy słoń morski *Mirounga leonina*.

Badając niezależną ewolucję podobnych rozwiązań u różnych zwierząt, łatwiej je wszystkie zrozumieć.

W konkretnym przykładzie trąby słonia dysponujemy przekonującymi dowodami w postaci skamieniałych twardych części czaszek - zwłaszcza ciosów i towarzyszących im kości. Do dzisiejszych czasów udało się przetrwać zaledwie dwóm gatunkom słoni spośród niegdyś bujnej radiacji tych wyposażonych w ciosy zwierząt pomyślnie bytujących na wszystkich kontynentach. Ciosy współczesnego słonia to w istocie powiększone do ogromnych rozmiarów górne siekacze, jednak wiele form kopalnych, na przykład niektóre mastodonty, miały również wielkie dolne siekacze wystające do przodu. Były one niekiedy równie duże jak dzisiejsze ciosy, wyrastające wyłącznie z górnej szczęki. Niekiedy były płaskie, a wtedy oba wielkie zęby tworzyły szeroką łopatę z kości słoniowej stanowiącą przedłużenie dolnej szczęki, używaną prawdopodobnie do wygrzebywania korzeni i bulw. Łopata owa była tak długa, że dolna warga nie mogła sięgnąć do wydobytego pożywienia. Wydaje się prawdopodobne, że trąby początkowo wydłużały się, by zgarniać wykopane jedzenie. Potem, jak możemy się domyślać, tak się wyspecjalizowały w tej czynności, że nie potrzebowały już łopaty - zaczęły działać niezależnie. Następnie, a przynajmniej w tych liniach rodowych, które przetrwały, łopaty zaczęły zanikać, ale trąby pozostały, jakby wyrzucone na brzeg przez fale odpływu. Dolna szczęka powróciła do wcześniejszych proporcji, pozostawiając w spadku po sobie całkowicie już niezależną trąbę. Warto zajrzeć do pracy *The Theory of Evolution* [Teoria ewolucji] Johna Maynarda Smitha, strony 291-294, po dokładniejsze wyjaśnienia ewolucji trąby słoni.

Słowo „preadaptacja” stosuje się do opisu narządów, które początkowo wykorzystywane były do określonych funkcji, po czym w toku ewolucji zostały przystosowane do czego innego. Jest to bardzo pożyteczne pojęcie, ponieważ oszczędza zakłopotania nierzadko towarzyszącego poszukiwaniom ewolucyjnych początków jakiegoś twor. Kolce jeżozwierza są dziś potężną bronią. Nie wyrosły z niczego - jest to zmodyfikowana sierść, której zadanie, jako preadaptacji, polegało na utrzymywaniu ciepła. Wiele ssaków ma dobrze rozwinięte, specyficzne gruczoły zapachowe. Może się wydawać zagadką, skąd się wzięły, dopóki nie obejrzymy ich dobrze pod mikroskopem i nie stwierdzimy, że są po prostu modyfikacją dużo mniejszych gruczołów, których przeznaczeniem było wydzielanie chłodzącego ciała potu. Niezmienione gruczoły potowe często pozostają w innych rejonach skóry tego samego zwierzęcia, łatwo więc dokonać porównań. Są też takie gruczoły zapachowe, które powstały jako modyfikacja gruczołów

łojowych, wytwarzających pierwotnie tłuszczową wydzielinę chroniącą włosy. Często preadaptacje i ich współcześni następcy pozostają ze sobą w związku. Pot zwykle ma swój zapach i jest często wydzielany przez zwierzę w stanie pobudzenia (ludzie zwykle pocą się ze strachu, a i ja doskonale wiem, kiedy wykład przebiega nie po mojej myśli). Było więc naturalne, gdy preadaptacja zmieniała się w swój wyspecjalizowany odpowiednik.

Czasami nie jest oczywiste, co było najpierw - co jest wczesną preadaptacją, a co późniejszą specjalizacją. Darwin, zastanawiając się na ewolucją płuc, szukał odpowiedzi w pęcherzu pławnym ryb. Jest to wypełniony powietrzem zbiornik, który ryby kostne wykorzystują do regulowania swojego zanurzenia na zasadzie nurka kartezyjańskiego (mała, pływająca w wypełnionej całkowicie płynem butelce figurka, która opada w dół lub wznosi się w górę, kiedy lekko naciska się na korek). Ryba może ustalać głębokość, na jakiej pozostaje w równowadze, regulując ciśnienie w pęcherzu pławnym za pomocą mięśni. Ale tak jest tylko u ryb kostnych. Rekiny (które zresztą, niezależnie od swego rybiego wyglądu, są odległej spokrewnione z rybami kostnymi niż my) nie mają pęcherza pławnego i dlatego muszą stale intensywnie pływać, by utrzymać się na pożądanej głębokości. Pęcherz pławny przypomina płuca, dlatego Darwin uznał, że mogła to być preadaptacja, z której one wyewoluowały. Współcześni zoolodzy najczęściej odwracają kota ogonem, twierdząc, że to pęcherz pławny jest późną modyfikacją jakichś prymitywnych płuc (ryby oddychające powietrzem atmosferycznym są także dzisiaj dosyć powszechne). Cokolwiek byłoby bardziej prymitywne, musimy się zastanowić, co mogło to poprzedzać. Być może płuca bądź pęcherz pławny powstały z uchyłka jelita i spełniały jakieś pierwotne funkcje trawienne. Na każdym etapie swej ewolucji, na każdym stopniu wiodącym na szczyty Góry Nieprawdopodobieństwa, ów uchyłek, jama czy płuco musiały być użyteczne dla swojego posiadacza.

Czy trąba słońca nie mogłaby wykonać jednego, wielkiego kroku? Dlaczego któryś potomek nie mógłby mieć trąby jak słoń, podczas gdy jego rodzice - trąb jak tapiry? Są to tak naprawdę trzy pytania. Po pierwsze, czy mutacje o wielkim wymiarze - makromutacje - mogą się w ogóle wydarzyć. Po drugie, czy gdyby tak się stało, dobór naturalny faworyzowałby je. Trzecie pytanie natomiast dotyczy nieco subtelniejszej kwestii, mianowicie tego, jak rozumiemy słowo „duża”, kiedy mówimy o dużych zmianach mutacyjnych. Powrócę do rozróżnienia, którego dokonałem w jednej z moich wcześniejszych książek, między „makromutacją Boeinga 747” i „makromutacją Przedłużonego DC8”. [Ich opis można znaleźć w Ślepych zegarmistrzu, dzieło

cyt., s. 367.]

Odpowiedź na pierwsze pytanie brzmi: tak. Makromutacje rzeczywiście się zdarzają. Potomstwo czasami przychodzi na świat radykalnie, przeraźliwie inne niż każde z rodziców i innych przedstawicieli określonego gatunku. Ropucha z ryciny 3.2 została znaleziona - jak mówi Scott Gardner z gazety „Hamilton Spectator”, fotograf, który zrobił to zdjęcie - przez dwie dziewczynki w ogrodzie w mieście Hamilton, w stanie Ontario. Powiedział, że przyniosły ją i położyły na stole kuchennym, żeby ją sfotografował. Nie miała wcale oczu na głowie. Kiedy otworzyła gębę, wydawała się - zgodnie z relacją Gardnera - bardziej świadoma swojego otoczenia. Twierdzi, że zaniósł ją na oględziny na Wydział Weterynaryjny Uniwersytetu Guelpha, nie udało mi się jednak znaleźć na ten temat żadnej obszerniejszej notatki. Takie nieszczęsne potworki są bardzo interesujące, ponieważ pozwalają zrozumieć przebieg normalnych procesów rozwojowych. Nie wszystkie defekty wrodzone występujące u ludzi mają podłoże genetyczne (na przykład spowodowane przez talidomid - nie), ale wiele ma. Jeden gen dominujący powoduje tzw. achondroplazję, powodującą poważne skrócenie kości długich, a w rezultacie bardzo niski wzrost i nienormalne proporcje ciała. Mutacje o tak istotnych skutkach, a więc makromutacje, czasami nazywa się mutacjami skokowymi, czyli saltacjonizmem. Gen warunkujący achondroplazję dziedziczy się zwykle od jednego rodzica, bardzo rzadko jednak pojawia się on także w efekcie spontanicznej mutacji, i tak właśnie musiał powstać w przeszłości. Inna mutacja o podobnie dramatycznych skutkach mogłaby w teorii - choć bardzo wątpię, czy i w praktyce - spowodować gwałtowne wydłużenie się nosa z wielkości charakterystycznej dla tapira do wielkości spotykanej u słoni, w czasie jednego pokolenia.

Przechodząc do drugiego pytania - czy dobór naturalny będzie faworyzował takie dziwaczne makromutacje - można by sądzić, że nie ma na niej jednej ogólnej odpowiedzi. Czy nie jest różnie w zależności od konkretnego przypadku? Na przykład: tak dla achondroplazji, ale nie dla dwugłowych cieląt?





Ryc. 3.2 Makromutacje naprawdę się zdarzają. Tę dziwną ropuchę, mającą oczy na górnej ścianie jamy gębowej, ponoć znaleziono żyjącą na wolności w jednym z ogrodów w Kanadzie. Zdjęcie to opublikowano po raz pierwszy w miejscowej gazecie „Hamilton Spectator”.

Psi odpowiednik ludzkiego genu achondroplazji podlegał w istocie pozytywnej selekcji, kiedy w procesie hodowli ludzie dążyli do uzyskania ras psów, które nie tyle mogłyby zaspokoić kapryśne gusta nabywców, ile dobrze służyć człowiekowi, spełniając różne użyteczne funkcje. Jamniki hodowano po to, by dostawały się do jam borsuków, i znaczna część starań poszła w kierunku wbudowania genu warunkującego achondroplazję. Być może zdarza się w naturze, że jakaś makromutacja, tak jak decydująca o achondroplazji, nieoczekiwanie otwiera nowy sposób życia lub umożliwia korzystanie z nowych źródeł pokarmu: osobniki karłowate, choć dotkliwie karane, gdy podejmują próbę schwytania zwierzyny na wolnej przestrzeni, nagle odkrywają, że w przeciwieństwie do swoich pobratymców mogą dobrać się do ofiary w jej własnej jamie.

Ewolucjoniści niekiedy twierdzą, że większe mutacje skokowe są wbudowane w zmiany ewolucyjne. Słynny amerykański genetyk niemieckiego pochodzenia Richard Goldschmidt głosił hipotezę znaną z chwytliwego sformułowania o „obiecujących potworkach”. Jeden z ich przykładów omówię w rozdziale siódmym. Hipoteza ta jednak nigdy nie zyskała szerszego poparcia i są bardzo zasadnicze powody, dla których znaczenie makromutacji, czy też wybryków

natury, dla procesu ewolucji jest podawane w wątpliwość. Żywe organizmy to niezwykle skomplikowane i znakomicie nastawione maszyny. Jeśli weźmie się złożony fragment takiego urządzenia, nawet taki, który wcale nie działa aż tak dobrze, i dokona jakiejś dużej, przypadkowej zmiany w jego wnętrzu, to szansa, że zostanie w ten sposób ulepszony, jest naprawdę niewielka. Jeśli zaś dokona się jakiejś bardzo niewielkiej przypadkowej przeróbki, może się zdarzyć, że będzie to zmiana na lepsze. Jeśli antena odbiornika telewizyjnego nie jest dość dobrze nastawiona, szansa, że bardzo niewielkie jej obrócenie spowoduje poprawę odbioru, jest jak jeden do jednego. A to dlatego, że niezależnie od tego, w którą stronę powinna być nastawiona, mamy 50 procent szans, że lekko ją przekręcając, zrobimy to we właściwym kierunku. Ale mocne szarpanie i kręcenie raczej sprawę pogorszy. Nawet jeśli obróci się ją we właściwym kierunku, najprawdopodobniej minie się ten najlepszy kąt nastawienia. Mówiąc bardziej ogólnie: jest wiele sposobów, by ustawić ją źle, a mało, by zrobić to odpowiednio. Skomplikowany mechanizm, który w ogóle działa, jest prawdopodobnie niezbyt odległy od doskonałego ustawienia. Drobną przypadkową zmianą może go poprawić, a jeśli nawet nie, to nie odwiedzie zbyt daleko od właściwej pozycji. Wprowadzanie dużych przypadkowych zmian natomiast przypomina próbowanie jednego z gigantycznej liczby możliwych ustawień. Z których olbrzymia większość jest niewłaściwa.

Także codzienne doświadczenie, które dowodzi, że można naprawić jakieś nie całkiem sprawne urządzenie palnięciem pięścią, nie kłóci się z moją argumentacją. Choć może to być naprawdę solidne uderzenie, odbiornik telewizyjny jest dość odpornym pudłem, i wstrząs ten może nie mieć żadnego wpływu na układ jego elementów. Może tylko co nieco zmienić położenie którejś odrobinę obluzowanej części i jest bardzo prawdopodobne, że właśnie to obluzowanie było przyczyną trudności w odbiorze programu. [Judith Flanders zwróciła mi uwagę na tę oto zabawną historyjkę z książki Roberta X. Cringely'ego *Accidental Empires* [Przypadkowe imperia]. Opowiada ona o Apple III, komputerze osobistym, należącym do generacji pozostającej między słynnym Apple II a jeszcze słynniejszym Macintoshem, opracowanym w 1980 roku: „...automatyczne urządzenie, które składa dziesiątki układów scalonych płyty głównej, nie wkładało ich we właściwe miejsca wystarczająco solidnie. Producenci tego komputera zaproponowali 90 tysiącom swoich klientów takie oto rozwiązanie: należy ostrożnie podnieść komputer na wysokość 40-50 centymetrów, po czym opuścić go, mając nadzieję, że siła uderzenia spowoduje właściwe osadzenie się wszystkich chipów”.]

Wracając do żywych stworzeń - napisałem w Ślepych zegarmistrzu, że: „liczba rozmaitych sposobów śmierci jest nieporównanie większa od liczby sposobów życia”. (Nie byłbym człowiekiem, gdybym nie wyznał, jak wielką radość sprawiło mi stwierdzenie, że uwaga ta znalazła się w Oksfordzkim słowniku cytatów!) [R. Dawkins: Ślepy zegarmistrz, dzieło cyt., s. 126.] Kiedy pomyśli się o wszystkich możliwych sposobach zestawienia ze sobą poszczególnych części zwierzęcia, to staje się jasne, że większość doprowadziłaby je do śmierci; a mówiąc dokładniej, zwierzę takie po prostu nigdy by się nie urodziło. Większość gatunków zwierząt i roślin to wysepki skuteczności na wielkim morzu różnych zestawień ich części, których większość - nawet gdyby umożliwiła im zaistnienie, to i tak doprowadziłaby je do śmierci. Ten ogromny ocean wszystkich możliwych zwierząt obejmuje takie, które mają oczy na podeszwach stóp, i takie, u których soczewki znalazły się w uszach, oraz takie, które mają po prawej stronie skrzydło, a po lewej płetwę, a także takie, których żołądek okolony jest czaszką, mózg natomiast niczym. Nie ma po co dalej wymyślać. Powiedziałem dość, by udowodnić, że wysepki przetrwania, niezależnie od tego, jak są wielkie i jak jest ich dużo, okazują się maleńkie i nieskończenie nieliczne w porównaniu z ogromem martwej nieskuteczności.

Rodzic zmutowanego dziecka, skoro jest żywy, z pewnością znalazł bezpieczne schronienie na jednej z wysepek. Niewielka mutacja - drobne wydłużenie kości udowej w jednym miejscu, delikatna zmiana kąta ustawienia żuchwy w innym - przesuwa tylko dziecko do innej części tej samej wyspy. Albo może ono zająć niewielki fragment piaszczystej ławicy wychodzącej w morze i łączącej ją ze stałym lądem. Wielka mutacja jednak, drastyczna, dziwaczna, rewolucyjna zmiana, to jak szalony skok gdzieś daleko w nieznanne. Makromutant zostaje wyrzucony jak z katapulty w przypadkowym kierunku, wiele mil morskich od rodzinnej wyspy. Jest zaledwie możliwe, że szczęśliwie wyląduje na innej wyspie. Ponieważ jednak wysepki są tak małe, a ocean tak ogromny, jego szanse są naprawdę niewielkie. Zdarza się tak raz na kilka milionów lat, a jeśli już, to może wyrzucić dramatyczny wpływ na przebieg ewolucji.

Nie powinniśmy posługiwać się metaforą wysp zbyt długo. Jest ona wysoce niedoskonała. Wszystkie gatunki są ze sobą spokrewnione, co znaczy, że muszą być jakieś sposoby wzajemnego odwiedzania się, poprzez ocean różnych możliwości, jednych form życia przez inne. Porównanie z wyspami niespecjalnie się nam tu przyda, ale Góra Nieprawdopodobieństwa - tak. Wyspy sprawdzają się, gdy chcemy pokazać, że im drastyczniejsza i bardziej dziwaczna jest jakaś mutacja, tym mniej prawdopodobne, że będzie faworyzowana.

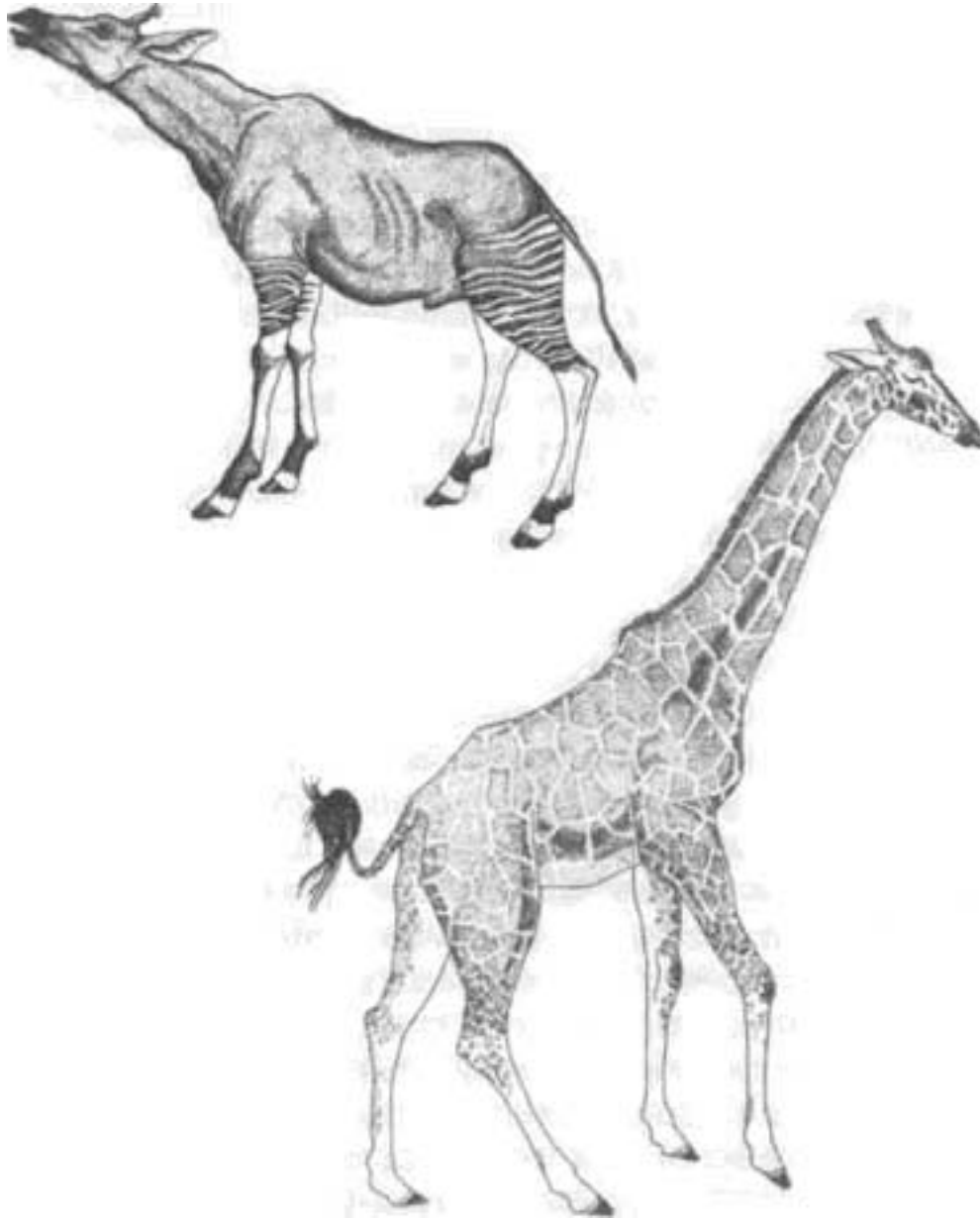
Powinniśmy również odróżnić rodzaje makromutacji. Przywołując wizje zwierząt z oczami na podszwach stóp i soczewkami w uszach, skoncentrowałem się na zmianach w zestawieniu ze sobą poszczególnych części. W przypadku wielkich tego rodzaju zmian szanse, że okażą się one pomyślne i przetrwają, są oczywiście bardzo małe. Wielkie zmiany mogą jednak dotyczyć również samych rozmiarów poszczególnych części, bez wpływu na ich ułożenie. Mogłoby to być na przykład nagłe pojawienie się nosa jak u tapira czy trąby jak u słonia - jeśli wydłużenie się byłoby jedynym zjawiskiem, jakie nastąpiło. O takiej zmianie trudno powiedzieć, że jest to szalony skok w ocean niepraktyczności lub śmierci.

Obiecałem powrócić do makromutacji typu Boeing 747 i Przedłużony DC8. Czy pamiętamy argumentację sir Freda Hoyle'a o złomowisku i powstaniu samolotu? Miał on powiedzieć, że wyewoluowanie na drodze doboru naturalnego tak złożonej struktury jak cząsteczka białka (czy też oko lub serce) jest równie prawdopodobne jak to, że wiejący przez złomowisko huragan złoży przez przypadek całego Boeinga 747. Gdyby zamiast określenia „dobór naturalny” użył słowa „przypadek”, miałby zupełną rację. Przykro mi, że wskazuję na niego osobiście, jako na jednego z myślicieli, którzy uporczywie a mylnie utożsamiają dobór naturalny z przypadkiem. Każda hipoteza, której twórca sądzi, że ewolucja złoży nowe, skomplikowane urządzenie - jak oko czy cząsteczkę hemoglobiny - w jednym etapie, poczynając od zera, oczekuje zbyt wiele od przypadku. Wtedy dobór naturalny nie ma wiele do powiedzenia. Całą pracę „projektanta” ma wykonać mutacja - jedna wielka mutacja. Jest to ten rodzaj makromutacji, który zasługuje na porównanie do powstawania Boeinga 747 z przypadkowych części zgromadzonych na złomowisku, dlatego nazywam ją makromutacją typu Boeing 747. Mutacja taka nie istnieje w rzeczywistości i nie ma nic wspólnego z teorią Darwina.

Wracając do moich samolotowych analogii, Przedłużony DC8 przypomina zwykły DC8, jest tylko od niego nieco dłuższy. Podstawowy kształt DC8 pozostaje taki sam, ma on zaledwie trochę wydłużony kadłub. Ma także więcej siedzeń, schowków na bagaż i tych różnych rzeczy, które pojawiają się regularnie w każdym fragmencie samolotu. Ma także oczywiście dodatkowe kable, rurki i chodniczki, biegnące wzdłuż kadłuba. W samolocie takim trzeba również - choć to może już nieco mniej oczywiste - zmodyfikować inne jego części, od których zależy możliwość dźwignięcia większego ciężaru z ziemi. Zasadniczo jednak różnica między zwykłym DC8 a jego następną wersją sprowadza się do jednej makromutacji: kadłub tego samolotu staje się nagle dużo dłuższy. I nie ma tu żadnego ciągu stadiów pośrednich. Żyrafy wyewoluowały ze zwierząt

przypominających żyjące współcześnie okapi (ryc. 3.3). Zmianą najbardziej rzucającą się w oczy jest poważne wydłużenie szyi. Czy mogła ona wystąpić dzięki jednej dużej mutacji? Jestem przekonany, że tak się nie stało. Ale to nie to samo, co powiedzieć, że tak się stać nie mogło. Mutacja typu Boeing 747, podobnie jak złożonego oka - wyposażonego w doskonale działającą źrenicę i odpowiednio zmieniającą swoją ogniskową soczewkę, wyłaniającego się nagle jak Atena z głowy Zeusa - nie może zdarzyć się nigdy, nawet za miliardy miliardów lat. Szyja żyrafy jednak, podobnie jak przedłużony kadłub DC8, mogła wydłużyć się w wyniku pojedynczej mutacji (choć mogę się założyć, że tak się nie stało). Na czym polega różnica między nimi? Nie chodzi o to, że szyja jest czymś wyraźnie mniej skomplikowanym niż oko. Bo z tego, co wiem, może być nawet bardziej skomplikowana. Nie chodzi tu o różnicę złożoności między szyją wyjściową a ostateczną. I ta różnica jest stosunkowo niewielka, przynajmniej gdy porównamy ją z różnicą między kompletnym brakiem oka a okiem znanym współcześnie. Szyja żyrafy ma taki sam układ poszczególnych części jak szyja okapi (a także, prawdopodobnie, jak rzeczywisty krótkoszyi przodek żyraf). Jest to ta sama kolejność siedmiu kręgów, i każdy z nich jest połączony z naczyniami krwionośnymi, nerwami, więzadłami i wiązkami mięśni. Różnica polega na tym, że każdy kręg jest dużo dłuższy, i wszystkie połączone z nimi elementy są odpowiednio wydłużone i powiększone.

Chodzi o to, że wystarczy zmienić jedną rzecz w rozwijającym się zarodku zwierzęcia, by urodziło się ono z czterokrotnie dłuższą szyją. Powiedzmy, że trzeba zmienić tempo, w jakim rosną zawiązki kręgów, a cała reszta odbywa się automatycznie.



Ryc. 3.3 Wydłużanie szyi. Okapi *Okapia johnstoni* przypomina zapewne przodka współczesnych żyraf [na ryc. podgatunek *Giraffa camelopardalis reticulata*].

Aby jednak z gołej skóry rozwinęło się oko, trzeba by nie jednej zmiany tempa, ale setek takich zmian (patrz rozdział piąty). Jeśli mutacja okapi dała żyrafie szyję, to jest to makromutacja typu Przedłużony DC8, ale nie typu Boeing 747. Jest więc taka możliwość i nie powinniśmy jej całkiem przekreślać. Nic nowego się nie pojawiło, jeśli chodzi o stopień komplikacji. Kadłub został wydłużony, ze wszystkimi wiążącymi się z tym konsekwencjami, ale jest to wydłużenie już istniejącej, a nie wprowadzenie nowej złożoności. I byłoby tak, nawet gdyby żyrafa miała

więcej niż siedem kręgów. Inne zwierzęta - na przykład różne gatunki węży - mają od 200 do 350 kręgów. Ponieważ wszystkie węże są ze sobą spokrewnione, a kręgi nie mogą występować jako połówki lub ćwiartki, należy wnosić, że czasami pojawiają się węże, które mają o jeden kręg mniej lub więcej niż ich rodzice. Tego rodzaju mutacje z pewnością zasługują na to, by nazwać je makromutacjami i zostały one najwyraźniej włączone w proces ewolucji, skoro wszystkie takie węże rzeczywiście spotykamy w przyrodzie. Są to makromutacje typu Przedłużony DC8, wiążą się bowiem z powieleniem już istniejącej złożoności, a nie pojawieniem się złożoności całkiem nowej - jak w makromutacji typu Boeing 747.

Efekt, jaki wywiera określony gen, zależy od innych genów tego samego organizmu. I to jest ewolucyjna pomoc dla owych dziwacznych makromutantów. Wpływu genu, czyli jego tzw. efektu fenotypowego, nie da się przewidzieć na podstawie jego wyglądu. Nic w sekwencji DNA genu warunkującego achondroplazję nie pozwala biologom molekularnym stwierdzić, że jest to gen karłowatości. Powoduje on skrócenie kończyn, tylko gdy współdziała z wieloma innymi genami, nie wspominając już o innych uwarunkowaniach środowiskowych. Znaczenie genów zależy od ich kontekstu. Zarodek rozwija się w atmosferze, jaką tworzą wszystkie geny. Wpływ określonego genu na procesy rozwoju zarodkowego zależy od reszty czynników decydujących o owej atmosferze. R. A. Fisher, którego już cytowałem, dawno mówił, że pewne geny działają jako modyfikatory efektów wywieranych przez inne geny. Warto przy tym zwrócić uwagę, że nie chodzi tu o modyfikację samego DNA. Nie, modyfikatory wpływają po prostu na zmianę owej atmosfery, i to powoduje, że pozostałe geny wywierają na dany organizm nieco inny efekt - sekwencja DNA pozostaje natomiast nienaruszona.

Jak widzieliśmy, nie jest tak zupełnie niewyobrażalne, że rodzicom posiadającym trąby długie na około 20 centymetrów, podobne do takich, jakie mają tapiry, mógłby się urodzić potomek z półtorametrową trąbą, jak u słonia. I że stałoby się to w jednym pokoleniu, nagle, w wyniku zmiany jednego genu - jego makromutacji. Jest bardzo mało prawdopodobne, by trąba taka od razu sprawdziła się jako przydatne narzędzie. Tutaj właśnie mogłyby teoretycznie pomóc owe geny modyfikatory i uwagi o atmosferze tworzonej przez pozostałe geny. Dopóki makromutacja jest choć trochę do czegoś przydatna i osobnik, którego dotknęła, nie zginie, określony zestaw genów modyfikatorów może dopracować szczegóły i wyrównać wszelkie ostre brzegi. Spróbujmy potraktować pojawienie się wielu rozmaitych poważnych mutacji jako coś w rodzaju wyzwania stawianego przez kataklizmy - na przykład epokę

lodowcową. Nadejście zlodowacenia powoduje selekcję całego zestawu genów i to samo dzieje się przy drastycznej zmianie mutacyjnej normalnego organizmu, jak choćby nagłego wydłużenia się nosa.

Geny dopracowujące szczegóły po pojawieniu się nowej dużej mutacji wpływają nie tylko na główny, powodowany przez nią efekt. Mogą także działać w zupełnie nieoczekiwanych częściach organizmu, kompensując lub osłabiając jej niekorzystne konsekwencje lub, przeciwnie, wzmacniając korzyści, jakie mutacja ta ze sobą niesie. Kiedy nos ulegnie wydłużeniu - jak na przykład u słonia - głowa staje się cięższa, kości szyi powinny więc ulec wzmocnieniu. Przesunąć się też może środek ciężkości całego ciała, a to z kolei pociągnie za sobą zmiany w budowie kręgosłupa i miednicy. Zachodząca wówczas selekcja obejmuje dziesiątki genów wpływających na wiele różnych części ciała.

Chociaż pojęcie „dopracowywania szczegółów” wprowadziłem przy okazji makromutacji, to tego rodzaju selekcja odgrywa oczywiście bardzo ważną rolę w procesie ewolucji także wtedy, gdy proces ten przebiega w bardziej łagodnym tempie. Nawet konsekwencje mikromutacji często wymagają podobnego docierania się. Każdy gen może być modyfikatorem efektów innego genu. Wiele genów wzajemnie wpływa na swoje działanie. Niektórzy naukowcy twierdzą nawet, że większość genów, które w ogóle wywierają jakiś efekt (bo bardzo wiele genów nie wpływa na nic), modyfikuje działanie innych. Jest to nieco inne sformułowanie dotyczące owej atmosfery, tworzonej przez pozostałe geny danego organizmu, w której - jak już mówiłem - musi utrzymać się nasz gen.

Ryzykując, że poświęcę makromutacjom więcej uwagi, niż na to zasługują, muszę wspomnieć o ważnym źródle nieporozumień. Doskonale nagłościona i wcale interesująca jest teoria punktualizmu. [Zwana też teorią równowag przestankowych (ang.: *punctuated equilibrium* - przyp. tłum.).] Szczegółowe omówienie jej wykroczyłoby poza problematykę tej książki. Ponieważ jednak koncepcja ta jest szeroko propagowana i najczęściej źle rozumiana, podkreślam tutaj z całą mocą, że nie ma ona - i nie powinno się jej przedstawiać w taki sposób, jakby miała - żadnego rzeczywistego związku ze zjawiskiem makromutacji. Zgodnie z tą hipotezą pewne linie rodowe pozostają przez dłuższy czas w stadium zastoju (stazy); okresy te przerywane są od czasu do czasu przez gwałtowne wybuchy zmian ewolucyjnych, znaczących pojawienie się nowego gatunku. Chociaż mogą być one raptowne, zdarzają się jednak w czasie wielu pokoleń, są więc mimo wszystko stopniowe. Stadia pośrednie zwykle następują po sobie zbyt szybko, by



zachowały się w formie skamieniałości. Ów „punktualizm jako raptowny gradualizm” jest zupełnie czymś innym niż saltacjonizm (makromutacja), czyli natychmiastowa zmiana następująca w jednym pokoleniu. Nieporozumienie wynika częściowo z faktu, że jeden z dwóch rzeczników tej hipotezy - Stephen Gould (drugim jest Niles Eldredge) - ma najwyraźniej słabość do pewnego rodzaju makromutacji i czasami mówiąc o raptownym gradualizmie i makromutacjach, niedostatecznie je od siebie odróżnia (choć, spieszę zapewnić, nie ma na myśli cudownych makromutacji w rodzaju Boeinga 747). Eldredge'a i Goulda denerwuje, że koncepcje ich są nadużywane przez zwolenników kreacjonizmu, którzy - gdybyśmy chcieli to opisać, posługując się moją terminologią - sądzą, że równowagi przestankowe są równoznaczne z ogromnymi makromutacjami typu Boeing 747, które, jak słusznie uważają, wymagałyby prawdziwego cudu. Gould pisze:

Ponieważ sformułowaliśmy teorię punktualizmu, aby wyjaśnić tendencje ewolucyjne, ogromnie drażni nas, że jesteśmy nieustannie przywoływani - rozmyślnie czy z głupoty, nie umiem tego ocenić - jako twierdzący, że zapis kopalny nie zawiera form pośrednich. Form pośrednich rzeczywiście w zasadzie nie ma w przejściach na poziomie gatunków, jest ich jednak pod dostatkiem, gdy bada się przejścia na wyższym poziomie.

Gould zmniejszyłby ryzyko owych nieporozumień, gdyby dobitniej określił zasadniczą różnicę między raptownym gradualizmem a saltacjonizmem (czyli makromutacjami). W zależności od tego, jaką przyjmie się definicję, raptowny gradualizm albo jest procesem łagodnym i prawdopodobnym, albo ma charakter rewolucyjny i staje się niemożliwy. Jeśli rozróżnienie między nim a saltacjonizmem zostanie zatarte, teoria punktualizmu może wydać się bardziej radykalna. Jest to jednak równoznaczne z zaproszeniem do nieporozumień, z którego kreacjoniści z pewnością natychmiast skorzystają.

Powód, dla którego właściwie brak form pośrednich na poziomie przejść między gatunkami, jest banalnie prosty. Najłatwiej wyjaśnić to za pomocą analogii. Dzieci stale, choć stopniowo przekształcają się w dorosłych, za początek dorosłości przyjęto jednak, z przyczyn formalnych, datę osiągnięcia określonego wieku, zwykle osiemnastu lat. Można by więc powiedzieć: „W Wielkiej Brytanii mieszka 55 milionów osób, ale żadna z nich nie jest w wieku pośrednim między wiekiem nie uprawniającym a wiekiem uprawniającym do udziału w

wyborach”. Podobnie jak z przyczyn formalnych nastolatek zamienia się w wyborcę, z chwilą gdy o północy zegar wybije godzinę jego osiemnastych urodzin, tak zoolodzy zawsze klasyfikują jakiś okaz jako przedstawiciela jednego lub innego gatunku. Nawet gdy badany okaz reprezentuje formę przejściową (często tak właśnie jest), obowiązująca zoologów konwencja zmusza ich do przeskoczenia jakoś tej przeszkody, jeśli chcą go oznaczyć, czyli nadać mu nazwę gatunkową. Stąd więc twierdzenie kreacjonistów, że nie ma form pośrednich, jest z samej definicji prawdziwe dla przejść między gatunkami, nie ma to jednak żadnego odniesienia do rzeczywistego świata, ale wynika z konwencji obowiązującej zoologów.

Aby nie sięgać dalej niż nasza własna przeszłość: przejście od australopiteka [*Australopithecus*] do człowieka zręcznego [*Homo habilis*], a następnie do człowieka wyprostowanego [*Homo erectus*], „archaicznego człowieka rozumnego” i w końcu do współczesnego człowieka rozumnego [*Homo sapiens*] jest tak płynne, że paleontolodzy ciągle spierają się, do jakiego gatunku przypisać określone skamieniałości. Przyjrzyjmy się jednak następującemu rozumowaniu, pochodzącemu z propagandowej książki przeciwników ewolucjonizmu: „...znaleziska zaliczono albo do australopiteków, a więc małp, albo do rodzaju *Homo*, czyli ludzi. Pomimo całego stulecia energicznych wykopalisk i gorących sporów szklana gablota zarezerwowana dla hipotetycznego przodka ludzkości pozostaje pusta. Brakującego ogniwa ciągle brak”. Czytelnikowi pozostawia się rozstrzygnięcie, jakie cechy powinna mieć skamieniałość, aby można ją uznać za stadium pośrednie. Tymczasem w rzeczywistości cytowany ustęp nie mówi zupełnie nic o prawdziwym świecie. Wszystko, co mówi (a nie jest to zbyt odkrywczym) dotyczy konwencji określającej zasady nadawania nazw. Żadnemu „brakującemu ogniwu”, choćby nie wiem jak dokładnie plasowało się pośrodku, nie uda się uniknąć terminologicznej pułapki - zawsze zostanie ono umieszczone albo po jednej, albo po drugiej stronie granicy. Jeśli chce się szukać stadiów pośrednich, trzeba zapomnieć o nadawaniu im nazw i zwracać uwagę wyłącznie na ich wielkość i kształt. Łatwo wtedy dostrzec, że zapis kopalny jest pełen wspaniale stopniowych przejść, choć oczywiście pojawiają się pewne luki - niektóre bardzo duże, ale i łatwe do przyjęcia, jak na przykład u zwierząt, których ciało nie ulega fosylizacji. W pewnym sensie reguły naszego nazewnictwa gatunkowego pozostały spuścizną okresu przed ewolucjonizmem, gdy podziały były wszystkim, i kiedy nie spodziewano się znaleźć stadiów pośrednich.

Spojrzeliliśmy po raz pierwszy na Górę Nieprawdopodobieństwa i dostrzegliśmy różnicę

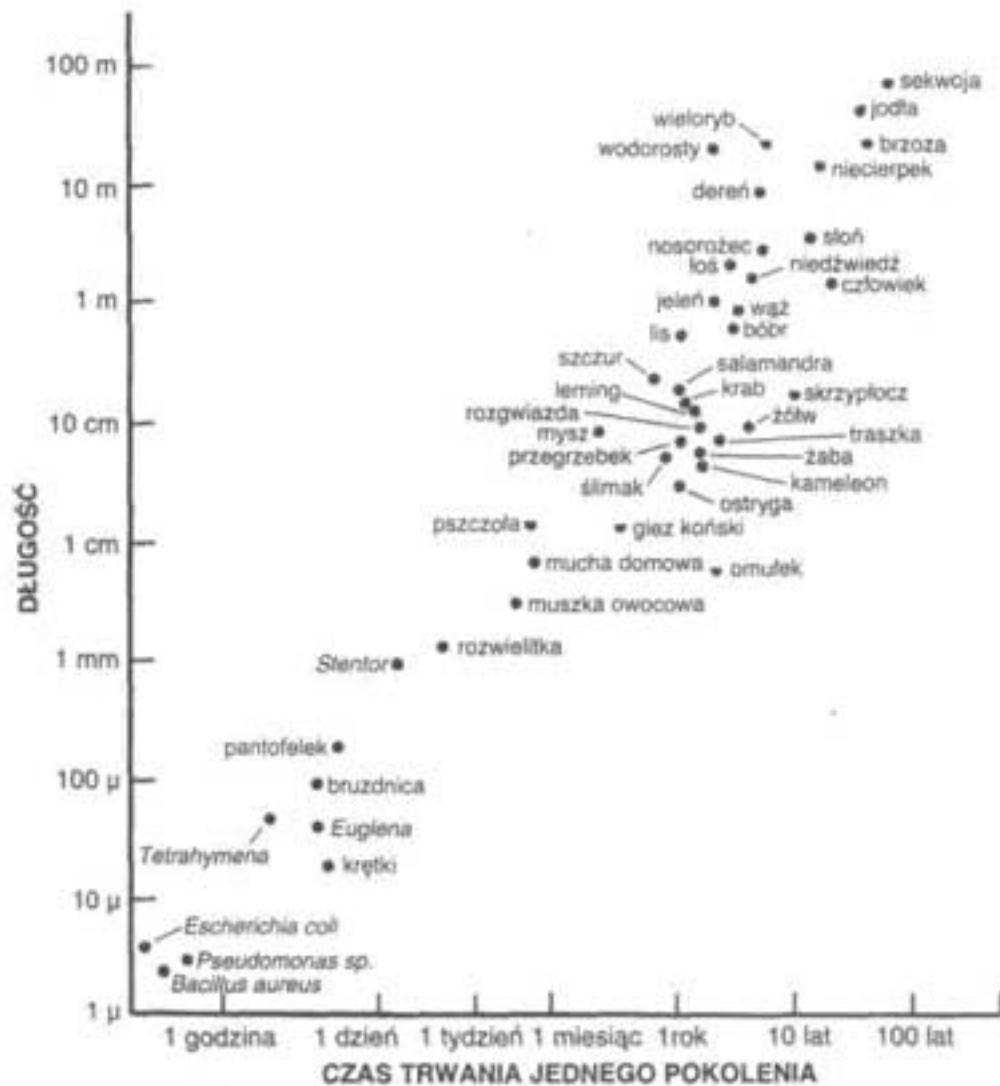
między jej niedostępnymi ścianami z jednej a łagodnym podejściem z drugiej strony. W następnych dwóch rozdziałach przyjrzymy się dokładniej dwóm ulubionym przez kreacjonistów jej szczytom, ich zbocza bowiem są wyjątkowo strome: skrzydłom („do czego mogłoby się przydać pół skrzydła?”), a następnie oczom („oko nie będzie działać, dopóki wszystkie jego części nie znajdą się na właściwym miejscu, nie mogło więc wyewoluować stopniowo”).

## ROZDZIAŁ 4

### PODOBÓJ PRZESTWORZY

Latanie było od dawna wielkim marzeniem człowieka, a kiedy wreszcie udało mu się je spełnić, wznosi się w powietrze z takim trudem, że łatwo przekonać słuchających o niezwykłości tego przedsięwzięcia. Tymczasem fruwanie jest czymś najzupełniej oczywistym dla większości gatunków zwierząt. Jeśli sparafrazować powiedzenie mojego kolegi Roberta Maya, można uznać, że w pierwszym przybliżeniu wszystkie gatunki zwierząt latają. Jest to prawdą przede wszystkim dlatego, że - jak powiedział - w pierwszym przybliżeniu wszystkie gatunki zwierząt to owady. A nawet jeśli weźmiemy pod uwagę stałocieplne kręgowce, to i tak ponad połowa ich gatunków potrafi latać: gatunków ptaków jest dwukrotnie więcej niż ssaków, a jedna czwarta wszystkich gatunków ssaków to nietoperze. Latanie wydaje się nam zdumiewającym wyczynem głównie dlatego, że sami należymy do dużych zwierząt. Jest kilka od nas większych - słonie i nosorożce na przykład - o czym doskonale wiemy, ale i tak można powiedzieć, że w pierwszym przybliżeniu wszystkie zwierzęta są od nas mniejsze (rycina 4.1).

Jeśli jest się bardzo małym stworzeniem, wzniesienie się w powietrze nie stanowi żadnego problemu; trudniejsze może się okazać pozostanie na ziemi. Różnica między dużymi a małymi zwierzętami wynika z pewnych nieuniknionych praw fizyki. Ciężar obiektu o określonym kształcie rośnie niewspółmiernie z jego długością (a mówiąc dokładniej, rośnie proporcjonalnie do długości podniesionej do trzeciej potęgi). Jeśli przyjmiemy, że jajo strusia jest trzykrotnie dłuższe od jaja kury, które ma przecież bardzo podobny kształt - to jego ciężar nie będzie trzy razy większy, ale  $3 \text{ razy } 3 \text{ razy } 3$ , czyli 27 razy większy.



Ryc. 4.1 Żywe organizmy różnią się pod względem rozmiarów - między najmniejszymi a największymi różnica ta sięga ośmiu rzędów wielkości. Aby uporządkować tę zmienność, na wykresie przedstawiono zależność wielkości ciała od czasu trwania jednego pokolenia (między wartościami tymi zachodzi ścisła korelacja, ale nie będę tego szerzej wyjaśniał). Obie osie przedstawiono w skali logarytmicznej - inaczej potrzeba by płachty papieru o boku równym około 1,5 tysiąca kilometrów, aby w tej samej skali zaznaczyć sekwoję i bakterię.

Prawidłowość ta, dopóki się z nią nie oswoimy, wydaje się dość intrygująca. Jeśli jedno jajko kury wystarczy na śniadanie dla jednego człowieka, to jajko strusia nasyci cały pluton. Objętość, a tym samym ciężar, rośnie z sześcianiem wymiarów liniowych. Powierzchnia

natomiast z ich kwadratem. Najłatwiej pokazać to na przykładzie pudełka o kwadratowych ściankach, ale zasada ta obowiązuje względem wszelkich kształtów.

Wyobraźmy sobie duży sześcian. Ile mniejszych sześciątów, o krawędzi równej połowie dużego, może się w nim zmieścić? Łatwo stwierdzić, szkicując takie pudełka na papierze, że liczba ta wynosi osiem. Większe pudełko pomieści nie dwa razy więcej jabłek, ale osiem razy więcej, nie dwa razy więcej puszek z farbą, ale osiem razy więcej niż mniejsze. A gdyby chcieć pomalować większe pudło, to ile razy więcej farby będzie trzeba zużyć niż do pomalowania mniejszego? I tym razem pomoże naszkicowanie obu pudełek - od razu widać, że poprawna odpowiedź brzmi nie dwa i nie osiem, ale cztery razy.

Różnica między powierzchnią a objętością stanie się bardziej wyraźna, gdy przyjrzymy się przedmiotom bardzo różniącym się rozmiarami. Przypuśćmy, że producent zapalek postanawia zrobić - dla celów reklamowych - pudełko wielkości człowieka: wysokie na dwa metry, gdy leży na ziemi. Zwykle pudełko zapalek ma dwa centymetry wysokości; aby osiągnąć dwa metry, trzeba więc ułożyć jedno na drugim 100 pudełek, które wyznaczą jedną krawędź takiego pudła. Szereg kolejnych stu ułożonych poziomo wyznaczy jego szerokość. Ile pudełek zapalek znajdzie się w takim dwumetrowym pudle? Otóż będzie ich  $100 \times 100 \times 100$ , czyli milion. W pewnym sensie pudło to jest tylko sto razy większe od zwykłego pudełka zapalek i prostoduszny obserwator z pewnością tak właśnie pomyśli. W innym jednak sensie jest ono milion razy większe i mogłoby pomieścić co najmniej milion razy więcej zapalek niż zwykłe małe pudełko (a w rzeczywistości jeszcze więcej, ponieważ stosunkowo mniej miejsca zajmuje opakowanie).

Jeśli przyjmiemy, że gigantyczne pudełko zapalek zrobione jest z takiej samej tektury, jak małe, to o ile wyższy będzie jej koszt? Ten zależy nie od objętości ani długości, ale od powierzchni. Do zrobienia gigantycznego pudełka potrzeba będzie nie milion, ale 10 tysięcy razy więcej tektury. Powierzchnia standardowego pudełka jest dużo większa względem swojego ciężaru niż powierzchnia wielkiego pudła. Jeśli rozetnie się małe pudełko, to poskładana tektura ledwie zmieści się do pudełka o takich samych rozmiarach. Tymczasem tektura opakowania gigantycznego pudła zaledwie pokryje podstawę innego, podobnie wielkiego. Stosunek między powierzchnią a objętością to bardzo ważna wielkość. Podczas gdy objętość rośnie do trzeciej potęgi, powierzchnia - zaledwie do drugiej. Można przedstawić to w postaci matematycznej -jeśli obiekt powiększa się w określonej skali, zachowując kształt, to stosunek powierzchni do

objętości rośnie z długością podniesioną do potęgi dwie trzecie. Stosunek powierzchni do objętości jest większy dla małych niż dużych przedmiotów. Mniejsze ciała są bardziej „powierzchniowe” niż większe o tym samym kształcie.

W życiu pewne ważne rzeczy zależą od powierzchni, inne od objętości, a jeszcze inne od wymiarów liniowych; są także takie, które zależą od różnych kombinacji wszystkich tych trzech wartości. Wyobraźmy sobie doskonale pomniejszonego hipopotama wielkości pchły. Wysokość (a także długość i szerokość) prawdziwego hipcia byłaby prawdopodobnie z tysiąc razy większa. Jego ciężar więc - miliard razy większy, a powierzchnia - milion razy większa niż hipopotama o pchlich rozmiarach. Mały hipopotam ma więc tysiąc razy większą powierzchnię względem swojego ciężaru niż wielki. Wydaje się rozsądne przypuszczenie, że mały hipopotam będzie łatwiej unosił się w podmuchach wiatru niż ten o normalnych rozmiarach, warto jednak czasem sprawdzić, co się kryje za zdrowym rozsądkiem.

Wielkie zwierzęta nigdy oczywiście nie są tylko potężniejszą wersją swoich miniaturowych odpowiedników i możemy się domyślić, dlaczego tak jest. Dobór naturalny nie pozwala im się tak po prostu proporcjonalnie zwiększyć, ponieważ musiałyby one znaleźć sposób na zrekompensowanie zmienionego współczynnika między powierzchnią a objętością. Normalny hipopotam miałby miliard razy więcej komórek niż hipopotam wielkości pchły, ale tylko około miliona razy więcej komórek skóry pokrywającej z zewnątrz jego ciało. Każda komórka potrzebuje tlenu i substancji odżywczych i musi pozbywać się produktów przemiany materii - wielki hipopotam będzie miał więc miliard razy większe zapotrzebowanie na jedno, drugie i trzecie. Do wymiany tlenu i pozbywania się metabolitów hipopotam mały jak pchła może wykorzystywać swoją skórę stanowiącą znaczną część powierzchni kontaktującej się ze światem zewnętrznym. Skóra wielkiego hipopotama jest jednak tak mała w stosunku do jego rozmiarów, że musi on bardzo poważnie rozbudować swoją powierzchnię wymiany z otoczeniem. Stąd długie, pofałdowane jelita, gąbczaste płuca i pełne mikroskopijnych kanalików nerki - a wszystko to stale opływane przez krew znajdującą się w całej masie ogromnie porozgałęzionych naczyń krwionośnych. W rezultacie powierzchnia wewnętrzna dużego zwierzęcia jest dużo większa niż jego powierzchnia zewnętrzna. Im zwierzę jest mniejsze, tym mniejszych potrzebuje płuc, jelit i naczyń krwionośnych: zewnętrzne powłoki jego ciała stanowią wystarczająco dużą powierzchnię, by bez dodatkowych rozwiązań poradzić sobie z pobieraniem jednych a wydalaniem innych substancji przez stosunkowo niewielką liczbę komórek. Można to samo

powiedzieć w nieco mniej precyzyjny sposób: małe zwierzę ma stosunkowo więcej komórek kontaktujących się bezpośrednio z otaczającym światem. Wielkie zwierzę, takie jak normalnych rozmiarów hipopotam, ma ich stosunkowo tak niewiele, że musi zwiększyć ten współczynnik - stąd narządy o bardzo rozbudowanej powierzchni: płuca, nerki, drobne naczynia krwionośne. Tempo, z jakim różne substancje mogą wnikać do organizmu i go opuszczać, zależy od wielkości powierzchni, przez którą procesy te zachodzą. Ale od wielkości powierzchni ciała zależy coś jeszcze - możliwość swobodnego utrzymywania się w powietrzu. Hipopotam mały jak pchła zostałby porwany przez najbliższy podmuch wiatru. Mógłby zostać wzniesiony na sporą wysokość przez prądy ciepłego powietrza, po czym powolutku opadałby z powrotem, by miękko wylądować na ziemi. Normalny hipopotam spuszczonej z tej samej wysokości spadałby jak kamień i lądowanie skończyłoby się katastrofą, a spuszczonej z wysokości proporcjonalnej względem swojej wielkości - wykopałby sobie własny grób. Bo dla hipopotama normalnej wielkości latanie na zawsze pozostanie tylko marzeniem. Hipopotamowi małemu jak pchła nietrudno byłoby latać, gdyby tylko spróbował. Ale żeby wielki hipopotam wzbił się w powietrze, musiałby mieć parę skrzydeł wielkich na... nie, ten pomysł skazany jest na niepowodzenie. Aby hipopotam rzeczywiście mógł poruszać takimi skrzydłami, musiałby mieć mięśnie tak masywne, że skrzydła te nigdy by ich nie udźwignęły. Tak, jeśli chce się stworzyć zwierzę, które mogłoby latać, lepiej zacząć od czegoś mniejszego niż hipopotam.

Problem polega na tym, że jeśli wielkie zwierzę ma unieść się w powietrze, to muszą mu wyrosnąć skrzydła o ogromnej powierzchni, tak samo jak potrzebuje rozbudowanych nerek i płuc. Kiedy jednak rzecz dotyczy małego zwierzęcia, najczęściej nie musi mu nic wyrastać, by mogło oderwać się od ziemi. Bo samo jego ciało ma już wystarczająco dużą powierzchnię. Zwierzęta takie tworzą tak zwany plankton powietrzny, na który składają się miliony drobniutkich owadów i innych stworzeń unoszących się wysoko w powietrzu i rozpowszechnionych na całym świecie. Wiele z nich oczywiście ma skrzydła. Ale są wśród nich także małe bezskrzydłe zwierzęta unoszące się swobodnie w powietrzu, chociaż nie wykształciły żadnych specjalnych powierzchni nośnych. Utrzymują się w górze po prostu dlatego, że są małe - dla bardzo małych zwierząt utrzymywanie się w powietrzu jest równie łatwe jak dla nas utrzymywanie się na wodzie. Porównanie to jest w istocie jeszcze bardziej dosłowne - nawet małe owady posiadające skrzydła nie poruszają nimi specjalnie energicznie, by pomóc sobie w „pływaniu” w powietrzu. Słowo „pływać” jest tu bardzo stosowne, bo jeśli się jest



bardzo małym, pojawia się jeszcze inne dziwne zjawisko. Otóż przy takiej skali napięcie powierzchniowe jest już dość znaczącą siłą i dla naprawdę małych stworzeń powietrze staje się bardzo lepkie. Machając skrzydłami, muszą się czuć trochę tak, jak my byśmy się czuli, pływając nie w wodzie, ale w gęstym syropie.

Można się zastanawiać, cóż za pożytek z unoszenia się w powietrzu, jeżeli nie panuje się nad wysokością i kierunkiem lotu. Nie będę się wdawał w szczegóły, powiem tylko, że możliwość rozprzestrzeniania się sama w sobie może z perspektywy genów okazać się zaletą, zwłaszcza gdy jakaś istota wiedzie w zasadzie osiadły tryb życia. Najbardziej dotyczy to roślin: każdy skrawek gruntu staje się co jakiś czas niezamieszkały - gdy, powiedzmy, przez las przejdzie pożar albo powódź. Dla rośliny, która potrzebuje dużo światła, leśny grunt nie nadaje się do osiedlenia, chyba że zwali się jakieś drzewo i wpuści nieco słońca. W zasadzie każda roślina lub zwierzę okazuje się potomkiem wcześniejszych roślin lub zwierząt, które, bytowały gdzieś indziej, i zapewne jest ona (lub ono) wyposażona w geny decydujące o rozprzestrzenianiu się w jakieś inne miejsca. Właśnie dlatego mniszek lekarski (popularnie zwany dmuchawcem) wysyła swoje nasiona na puszystych parasolkach. Dlatego też rzepy łopianu mają haczyki, którymi przyczepiają się do sierści zwierząt. I dlatego wiele owadów wybiera się w dalekie podróże jako plankton powietrzny, by opaść gromadnie na nieznanym terenie.

Robią to z wielką łatwością, więc jeśli tylko przyjmiemy, iż latanie pojawiło się w toku ewolucji najpierw wśród małych zwierząt, odpowiedni szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa od razu wyda się nieco mniej niedostępny. Bardzo drobne zwierzęta latają, choć nie mają żadnych skrzydeł. Nieco większe korzystają z drobnej pomocy małych wyrostków, by złapać wiatr - i już okazuje się, że znaleźliśmy się na miłym, łagodnym wzniesieniu prowadzącym ku Szczytowi Nieprawdopodobieństwa doskonałych skrzydeł. Tylko że w rzeczywistości wcale nie musiało to być takie proste, czego dowodzą niezwykle pomysłowe badania Joel Kingsolver i Mimi Koehl przeprowadzone na Uniwersytecie stanu Kalifornia w Berkeley. Sprawdzały one hipotezę, zgodnie z którą pierwotnie skrzydła owadów były preadaptacją pełniącą zupełnie inną funkcję - mianowicie kolektorów słonecznych służących do ogrzewania organizmu. Na samym początku oczywiście nie można było nimi machać. Były, to zaledwie niewielkie wyrostki tułowia.

Metoda badań była bardzo sprytna. Posłużyły do nich drewniane modele najwcześniejszych znanych ze skamieniałości owadów. Niektóre z tych modeli nie miały skrzydeł. Inne były wyposażone w wyrostki o różnej długości - wiele zbyt krótkich, by uznać je

za skrzydła lub by mogły służyć do latania. Same modele owadów też miały różną wielkość; aby ocenić ich właściwości lotne, badano je w tunelu aerodynamicznym. Wewnątrz modeli umieszczono małe termometry - chodziło o to, by sprawdzić, na ile skutecznie grzeją się w sztucznym świetle reflektora.

Zgodnie z tym, co zostało już powiedziane, okazało się, że bardzo drobne owady unoszą się świetnie w powietrzu, nawet jeśli nie mają żadnych skrzydeł. Mój ufny spacer po niewielkim wzniesieniu prowadzącym ku Szczytowi Nieprawdopodobieństwa przerwało stwierdzenie, że u owadów o naprawdę małych rozmiarach małe skrzydła wcale nie poprawiają parametrów aerodynamiczności. Okazywały się nieużyteczne, jeśli nie były wystarczająco długie. Modele owadów o długości 2 centymetrów musiały mieć skrzydła co najmniej tak samo długie, żeby miały jakiegokolwiek znaczenie. Jeśli ich długość wynosiła zaledwie 20 procent długości ciała - w niczym nie pomagały. W świetle tego, co powiedzieliśmy wcześniej, wygląda to na przepaść dzielącą nas od Szczytu Nieprawdopodobieństwa - bo czyż nie oznacza to, że konieczna byłaby jedna wielka mutacja, by od razu przeskoczyć do skrzydeł o pożądanej długości? O tym, że nie jest to jednak przepaść nieprzebyta, świadczą dwa następujące fakty.

Po pierwsze, wyrostki dostatecznie długie, by dać aerodynamiczną korzyść, konieczne są tylko u odpowiednio małych owadów. Większym drobne wyrostki rzeczywiście nieco ułatwiają uniesienie się w górę. Przy dziesięciocentymetrowym ciele pojawienie się takich wyrostków i każde ich wydłużenie natychmiast przynosi korzyści aerodynamiczne.

Aby przedstawić drugi fakt, powróćmy do bardzo małych modeli owadów. Dla nich niewielkie wyrostki okazały się mieć znaczący dodatni skutek termiczny. Kiedy małe skrzydła trochę rosną, nie pomagają, co prawda, w unoszeniu się w powietrze, ale coraz skuteczniej wylapują promienie słoneczne. Skuteczność owych kolektorów rośnie, jak się wydaje, stopniowo, jeśli owad jest wystarczająco mały. Jednomilimetrowe wyrostki są lepsze niż nic, dwumilimetrowe lepsze od jednomilimetrowych, i tak dalej. „Tak dalej” nie znaczy jednak „bez końca”. Powyżej pewnej długości dalsze doskonalenie owych urządzeń nagrzewczych powoli zanika. Można by z tego wnosić, że samo stopniowe udoskonalanie „paneli słonecznych” nie mogło wydłużyć wyrostków na tyle, by ważniejsza stała się już ich funkcja aerodynamiczna. Kingsolver i Koehl znaleźli jednak dobre rozwiązanie tego problemu. Kiedy tylko wyrostki bardzo małych owadów nieco urosły (dzięki doborowi faworyzującemu coraz skuteczniejsze „urządzenia nagrzewcze”), część owadów stała się większa z zupełnie niezależnych powodów.

Powody te mogły być różne - bardzo często w efekcie ewolucji zwierzęta stają się z czasem większe. Być może korzyść z powiększenia rozmiarów ciała polega na tym, że nie jest się tak łatwo zjadany. Jeśli rzeczywiście owady te urosły w czasie ewolucyjnym z jakiegokolwiek powodu, uzasadnione wydaje się założenie, że ich wyrostki zbierające promienie słoneczne również automatycznie stały się większe. A w konsekwencji owego ogólnego powiększenia owady te, razem ze swoimi wyrostkami, znalazły się tym samym w przedziale wielkości, w którym korzyści aerodynamiczne stają się znaczące i decydują o stopniowym, ale ciągłym wspinaniu się na Górę Nieprawdopodobieństwa - choć nieco innym zboczem i na nieco już inny szczyt.

Nie mamy oczywiście żadnej pewności, że to, co można zaobserwować w tunelu aerodynamicznym, wiernie odpowiada wydarzeniom z okresu dewońskiego sprzed około 400 milionów lat. Może być prawdą, że owadzie skrzydła pojawiły się najpierw jako wyrostki tułowia wylapujące promienie słoneczne i były zupełnie nieużyteczne przy unoszeniu się w powietrzu, dopóki owady te nie osiągnęły większych rozmiarów z innych przyczyn. Ale wcale tak być nie musiało. Być może modele nie oddają w pełni zachowania rzeczywistych stworzeń w określonych warunkach i niewykluczone, że powiększające się wyrostki od samego początku sprawdzały się coraz lepiej również pod względem unoszenia się w powietrzu. Z badań Kingsolvera i Koehl wypływa dla nas bardzo interesująca nauka. Pokazują one, w jaki sposób, nie pomijając nawet okrzęznych ścieżek, należy szukać dróg wiodących na Szczyt Nieprawdopodobieństwa.

Kręgowce najpewniej osiągnęły umiejętność latania inaczej, są one bowiem zwykle dużo większe niż owady. Prawdziwy aktywny lot pojawił się niezależnie u ptaków, nietoperzy (które - jak się wydaje - należy podzielić na dwie grupy) i pterozaurów. Jego początki mogą się wiązać z szybowaniem między koronami drzew, co czyni wiele zwierząt, nawet jeśli nie umieją latać. Na poziomie wierzchołków drzew toczy się burzliwe życie. Dla nas las jest czymś, co wyrasta z ziemi. Kiedy wędrujemy wśród drzew, patrzymy na las oczami dużego, ciężkiego, niezgrabnego zwierzęcia pędzącego życie na dole. Dla nas las jest jak ogromna, mroczna katedra pełna łuków i sklepień rozpościerających się od ziemi aż po niedosięgły zielony strop. Ale większość mieszkańców lasu żyje wśród koron drzew i widzą go zupełnie inaczej. Dla nich las to rozległa, łagodnie falująca, zalana słońcem zielona łąka, która - czego jednak pewnie prawie nie zauważają - wyrosła na szczudłach. Niezliczone gatunki zwierząt spędzają tam całe swoje życie. Owa łąka

to miejsce, gdzie można znaleźć dużo zielonych liści, a liście rosną tam dzięki obfitości promieni słonecznych - podstawowego źródła energii i wszelkiego życia na Ziemi.

Pejzaż ten nie jest jednak doskonale jednolity. Powietrzną łąkę znaczą puste miejsca, przez które można spaść w dół - i przerwy takie trzeba umieć pokonać. Wiele różnych zwierząt opanowało rozmaite sposoby radzenia sobie z tym zadaniem. Różnica między udanym a nieudanym skokiem przez pustą przestrzeń może być sprawą życia lub śmierci. Każda zmiana ciała umożliwiająca bezpieczne pokonanie nieco większej odległości, choćby nawet bardzo niewiele większej, może zadecydować o przewadze zwierzęcia. Szczur i wiewiórka różnią się od siebie przede wszystkim ogonem. Ogon to nie skrzydło - nie da się na nim polecieć. Ale dzięki długiej sierści wydatnie zwiększa się jego powierzchnia i może on złapać wiatr. Szczur z ogonem wiewiórki mógłby z całą pewnością bezpiecznie skakać na większą odległość niż szczur z normalnym ogonem. I jeśli przodkowie wiewiórki mieli ogony podobne do szczurzych, to podlegali oni ustawicznym zmianom prowadzącym do coraz większej „pierzastości” ogona, aż stał się on taki, jaki mają współczesne wiewiórki.

Nazwałem ogon wiewiórki pierzastym, ale określenie to jest dużo bardziej stosowne w odniesieniu do zupełnie nie spokrewnionego z nią małego ssaka - akrobatki karliczki (ryc. 4.2). Jest to torbacznik, bliższy krewniak dydelfów i kangurów niż szczurów czy wiewiórek. Zamieszkuje piętro koron australijskich lasów eukaliptusowych. Jej ogon nie jest oczywiście pokryty prawdziwymi piórami, które - ze swoim systemem promieni z listewkami i haczykami - są wyłącznym wynalazkiem ptaków. Ale ogon tego zwierzęcia wygląda jak pióro i pełni podobną funkcję.

Akrobatka karliczka ma również płat skóry rozciągający się między łokciami a kolanami, który umożliwia jej dwudziestometrowe opadające loty ślizgowe. Inna rodzina australijskich torbaczników nadrzewnych (lotopałanek) potrafi jeszcze lepiej wykorzystywać owe dodatkowe płaty skóry. Największe z tych zwierząt, wolatuchy, choć mają błony również sięgające zaledwie do łokci, potrafią przemierzyć odległość około 100 metrów i zmieniać kierunek lotu aż do 90 stopni. Inne, lotopałanki żółtobrzucho, są jeszcze sprawniejsze. Ich błony rozciągają się od nadgarstków do kostek, podobnie jak u workolota karłowatego czy lotopałanki pośredniej.



Ryc. 4.2 Akrobatka karliczka *Acrobates pygmaeus*, torbacz z Australii

Niemal identyczny wygląd mają zupełnie z nimi nie spokrewnione: taguan zamieszkujący lasy Dalekiego Wschodu i szybownica północna z Ameryki Północnej. Są to latające wiewiórki, gryzonie, tyle że mają równie szerokie płaty skóry jak najszczodrzej obdarzone przez Naturę podobnie przemieszczające się torbacze, błony ich bowiem sięgają aż od nadgarstków do stępu. Poruszają się lotem ślizgowym równie zręcznie jak ich workowate odpowiedniki. W Afryce żyją jeszcze inne gryzonie, które opanowały podobną sztuczkę. Chociaż zwane są wiewiórolotkami, nie są to prawdziwe wiewiórki, a umiejętność lotu uzyskały niezależnie od amerykańskich assapanów czy szybownic. Jeszcze większą błonę - obejmującą także szyję, ogon i kończyny aż po czubki palców - ma tajemnicze stworzenie zwane kolugo (ryc. 4.3) lub kaguan i żyjące w lasach porastających Filipiny. Nie wiadomo, czym jest ten tak zwany lotokot czy - po angielsku - „latający lemur”, poza tym, że z całą pewnością nie jest ani kotem, ani lemurem (prawdziwe lemury żyją tylko na Madagaskarze i żaden z nich nie lata ani nie porusza się lotem ślizgowym, choć niektóre wykonują naprawdę imponujące skoki). Czymkolwiek jest, kolugo na pewno nie należy ani do gryzoni, ani do torbaczy. [Zalicza się go do odrębnego rzędu latawców (przyp. red.)] I znowu, wynalazł on sztukę przemieszczania się lotem ślizgowym i umożliwiającą to

błonę zupełnie niezależnie od innych omawianych zwierząt.

Zarówno kolugo, jak i różne latające wiewiórki oraz latające torbacze poruszają się w powietrzu porównywalnie dobrze. Ponieważ jednak błona lotokota rozciąga się między palcami, podczas gdy u innych sięga co najwyżej nadgarstków, dalsza ich ewolucja doprowadziłaby zapewne do powstania dwóch odmiennych typów skrzydeł. Jeszcze bardziej oczywiste jest to u jaszczurki noszącej piękną nazwę *Draco volans* - smok latający. Pędzi ona nadrzewny tryb życia i zamieszkuje lasy Filipin i Indonezji. Jej dodatkowe płaty skóry nie obejmują - jak u poruszających się lotem ślizgowym ssaków - kończyn, ale rozciągają się między wydłużonymi żebrami, które może rozpościerać, kiedy tego potrzebuje. Moją ulubienicą wśród tego rodzaju stworzeń jest jednak nogolotka. Jest to nadrzewna żaba z wilgotnych lasów równikowych Azji Południowo-Wschodniej.



Ryc. 4.3 Przykłady kręgowców, które przemieszczają się lotem ślizgowym między koronami drzew, choć nie potrafią aktywnie latać (od prawej u góry, zgodnie ze wskazówkami zegara): kolugo *Cynocephalus volans*; smok latający *Draco volans*; nogolotka *Rhacophorus nigropalmatus*; workolot karłowaty *Petaurus breviceps*; węzółot *Chrysopelea paradisi*

Płaty skóry między palcami wszystkich kończyn umożliwiają jej przenoszenie się z drzewa na drzewo.

W każdym z tych przykładów nietrudno byłoby znaleźć łagodną ścieżkę prowadzącą na sam szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa. W rzeczy samej, już sam fakt, że poruszanie się lotem ślizgowym tyle razy pojawiło się w toku ewolucji, dowodzi łatwości, z jaką można na tę ścieżkę natrafić. Być może jeszcze silniejszym dowodem jest przykład węzolota - również z lasów równinowych Azji Południowo-Wschodniej. Wąż ten całkiem dobrze przemieszcza się z drzewa na drzewo, rzucając się na odległość około 20 metrów, chociaż nie ma żadnego żagielka, płata nośnego czy innej powierzchni ułatwiającej unoszenie się w powietrzu. Sam jego wyciągnięty kształt zapewnia mu odpowiednio dużą względem ciężaru ciała powierzchnię - zwierzę wciąga także brzuch, dzięki czemu powstaje wklęsłość dodatkowo ułatwiająca mu lot ślizgowy. Mogłoby to być znakomitym pierwszym krokiem ku czemuś na kształt smoka latającego, posiadającego prawdziwą błonę nośną. Wąż nigdy nie wykonał następnego kroku, być może dlatego, że wydłużone żebra przeszkadzałyby mu w czym innym.

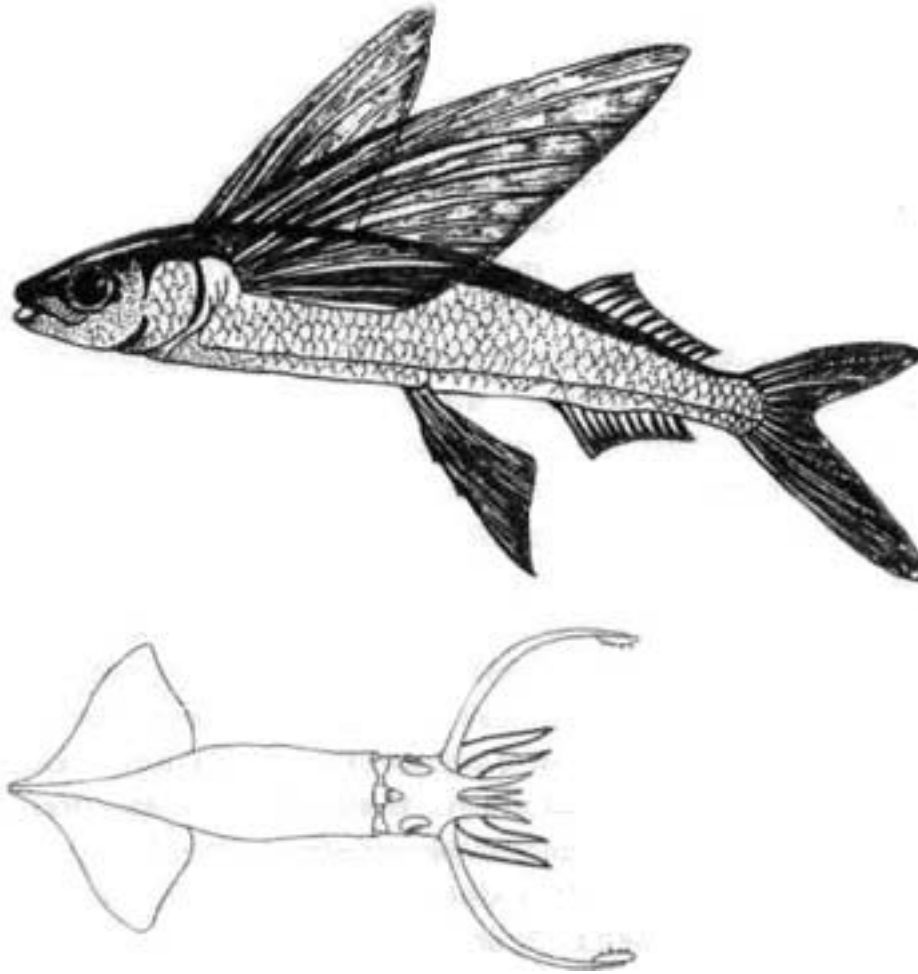
Stopniową ewolucję czegoś podobnego do latającej wiewiórki można sobie wyobrazić. Na początku zwykła wiewiórka, żyjąca wśród drzew, ale nie mająca żadnych dodatkowych płatów skóry, skacze po drzewach, pokonując niewielkie odległości. Niezależnie od tego, jak daleko może skoczyć bez pomocy płaszczyzn nośnych, przeskoczyłaby nieco większą odległość - i być może ocaliła sobie tym samym życie, jeśli pokonywana przestrzeń była odrobinę za duża - gdyby miała choćby mały kawałek dodatkowej skóry lub nieco bardziej puszysty ogon. Dobór naturalny faworyzuje więc osobniki z nieco luźniejszą skórą wokół stawów kończyn przednich lub tylnych i taka staje się normą. Zasięg skoku zwiększa się tym samym o kilka centymetrów. Teraz znowu osobnik posiadający nieco więcej skóry od innych będzie miał przewagę. Ponowne rozrośnięcie się skóry staje się normą w następnych pokoleniach i tak dalej. Zawsze, niezależnie od wielkości owej błony nośnej, można sobie wyobrazić taką odległość, której pokonanie staje się niemożliwe bez niewielkiego powiększenia rozmiarów błony. Średnia wielkość błony osobników należących do określonej populacji rośnie więc stopniowo, podobnie jak dystans, który może pokonać przeciętny osobnik. Po upływie wielu pokoleń pojawiły się lotopałanki i polatuchy, przenoszące się swobodnie na odległość kilkudziesięciu metrów i wybierające miejsce swojego lądowania.

Loty ślizgowe to jednak nie to samo co prawdziwe fruwanie. Żadne z tych szybujących stworzeń nie macha skrzydłami i nie może pozostawać w powietrzu bez końca. Wszystkie spadają w dół, choć mogą się nieco wznieść w górę, jeśli odrobinę zmienią swoje ustawienie tuż



przed lądowaniem na pniu drzewa rosnącego poniżej. Niewykluczone, że przodkowie aktywnie latających zwierząt - nietoperzy, ptaków, a dawno temu także pterozaurów - niegdyś poruszali się lotem ślizgowym. Większość takich zwierząt zawiaduje kierunkiem i szybkością swego lotu, a także ląduje na wybranym miejscu. Łatwo sobie wyobrazić, że lot trzepoczący wyewoluował z powtarzalnych ruchów mięśni decydujących o kierunku ślizgu, tak że średni czas przelotu w czasie ewolucyjnym systematycznie się wydłużał.

Niektórzy, biolodzy sądzą jednak, że długodystansowe opadające loty ślizgowe to ślepa uliczka ewolucji przeskakiwania z drzewa na drzewo. Prawdziwy lot ich zdaniem rozpoczął się nie na drzewach, ale na ziemi. Szybowce skonstruowane przez człowieka wznoszą się w górę, jeśli zostaną zepchnięte z urwiska lub będą szybko ciągnięte po ziemi. Ryba latająca (ryc. 4.4) wznosi się w górę w ten drugi sposób, choć z morza, a nie z lądu, i może przemierzyć równie dużą odległość jak najlepsze latające torbacze startujące z drzew. Ryby takie płyną z dużą prędkością pod wodą, po czym wyskakują w górę, zdumiewając tym prawdopodobnie goniące je drapieżniki, dla których niemal dosłownie znikają bez śladu, jakby rozplynęły się w powietrzu. A spadają z powrotem do wody dopiero około 100 metrów dalej. Czasami, kiedy dotkną powierzchni wody, uderzają o nią kilkakrotnie mocno ogonem i odzyskawszy prędkość, znowu wzbijają się w górę. Ich „skrzydła” to znacznie powiększone płetwy piersiowe oraz - jak u wylotka - również płetwy brzuszne.



Ryc. 4.4. Zwierzęta poruszające się lotem ślizgowym po wyskoczeniu do góry. Wylotek *Cypselurus heterurus* i latająca kałamarnica *Onychoteuthis*.

Tych ryb latających (z rodziny ptaszorowatych, *Exocoetidae*) nie należy mylić (jak czynią to dwie książki leżące na moim stoliku) z zupełnie z nimi nie spokrewnionymi serwołotkami (należącymi do rodziny *Dactylopteridae*). One nie tyle latają, ile pełzają po dnie. Różnie się pisze o ich „skrzydłach”: że są to stateczniki albo odstraszacze nagle rozkładane tuż przed nosem jakiegoś drapieżnika, czy też wzburzacze piasku służące odsłonięciu chowających się w nim ofiar. Kiedy ryby te są zaniepokojone, wznoszą się w górę na kilkadziesiąt centymetrów od dna, po czym rozpościerają swoje „skrzydła” i ześlizgują się w dół. Z całą pewnością natomiast „skrzydła” owe nie służą im do latania w powietrzu. Nie bardzo wiadomo, jak powstała legenda o ich lataniu - być może dzięki wielkim rozmiarom ich płetw piersiowych, które tak bardzo przypominają płetwy u prawdziwych ryb latających. A te z pewnością nie wyewoluowały z ryb

żyjących na dnie, ich przodkami były zapewne ryby szybko pływające, które spędzają swoje życie tuż pod powierzchnią wody. Wiele ryb wyskakuje z wody, mimo że nie pomagają im w tym żadne specjalnie rozwinięte płetwy piersiowe. Nie byłoby wcale trudne dla takich zwinnych skoczków skorzystać nieco z niewielkiego choćby odstawania tych płetw, a w kolejnych pokoleniach - powiększania się ich powierzchni, aż osiągną rozmiary skrzydeł. Trochę szkoda, że delfiny, mimo swoich spektakularnych skoków, nigdy nie osiągnęły takiego stadium, do jakiego doszły latające ryby. Może aby proces ten miał szanse powodzenia, delfiny musiałyby być mniejsze od żyjących obecnie? Różne powody związane z izolacją cieplną i własnościami ich tłuszczu decydują o tym, że stałocieplnym delfinom trudno utrzymać małe rozmiary ciała. Znane są jednak tak zwane latające kalmary, które zachowują się tak samo jak ryby latające, kiedy ściga je podobny drapieżca, na przykład tuńczyk. Kałamarnice z rodzaju *Onychoteuthis* rozpędzają się pod wodą i kiedy osiągną prędkość około 80 kilometrów na godzinę, wyskakują w powietrze i przelatują odległość około 40 metrów, osiągając wysokość niemal dwóch metrów nad wodą. Tę zdumiewającą szybkość uzyskują, płynąc na zasadzie odrzutu; lecą tyłem, ponieważ - jak u wszystkich głowonogów - ich syfony (wodne dysze) znajdują się tuż przy głowach. Kiedy wytrysną ostatnią porcję wody, nie dysponują już żadną inną siłą napędową. Ryby latające są więc pod tym względem uprzywilejowane - mówiliśmy już o tym, że nie muszą wracać do wody, by znowu wzbić się w powietrze, wystarczy im kilka uderzeń ogona o powierzchnię wody i ponownie nabierają dużej szybkości.

Fascynująca jest pewna grupa ryb, słodkowodnych pstrążeńi zamieszkujących rzeki Ameryki Południowej, które, jak się pisze, wprawiają swoje płetwy piersiowe w gwałtowne i głośnie drgania pozwalające im na prawdziwy aktywny lot w powietrzu, choć trwa on krótko. Nie są bliskimi krewniakami ptaszorów (ani serwolotek). Muszę przyznać, że bardzo chciałbym zobaczyć taką rybę przelatującą mi z brękiem przed nosem. Nie mówię, że w to nie wierzę - potwierdza to wiele książek, ale jak dobrze wiedzą wędkarze, i jak przekonał się sam na przykładzie serwolotek, czasami dobrze jest sprawdzić samemu cudze opowieści o rybach.

W każdym razie uczyniłem z owych ryb latających (czy też raczej szybujących) wstęp do hipotezy, że prawdziwy lot, wiążący się z machaniem skrzydłami, wyewoluował nie z lotu ślizgowego, jakim poruszają się zwierzęta zamieszkujące drzewa, ale z tego, którego próbowały zwierzęta mieszkające na ziemi - biegające bardzo szybko i mające uwolnione przednie kończyny. Latające ryby i latające kalmary, chociaż żyją w wodzie, są znakomitą ilustracją

zasady, że jeśli zwierzę, które potrafi szybować w powietrzu, będzie poruszało się wystarczająco szybko po powierzchni, to może wzbić się w górę, nawet gdy nie znajdzie się na brzegu urwiska czy wysoko na drzewie. Zasada ta mogła obowiązywać ptaki, ponieważ wyewoluowały z dwunożnych dinozaurów (w rozumieniu specjalistycznym ptaki są dinozaurami) - niektóre z nich prawdopodobnie bardzo szybko biegały, tak jak robią to dziś strusie. Aby pozostać jeszcze przez chwilę przy porównaniu z latającymi rybami, można uznać, że tylne kończyny to odpowiednik rybiego ogona, napędzającego zwierzę do przodu, a kończyny przednie to płetwy, wykorzystywane początkowo zapewne jako stateczniki lub elementy sterujące, które następnie rozwinęły się w powierzchnie nośne. Są takie ssaki, jak na przykład kangury, które posuwają się szybko do przodu za pomocą dwóch kończyn tylnych, podczas gdy ich kończyny przednie są wolne i mogą ewoluować w różnych kierunkach. Nasz gatunek jest chyba jedynym, który chodzi na dwóch nogach, stawiając je na przemian - podobnie jak czynią to ptaki. Nie robimy tego jednak bardzo szybko, a poza tym nie wykorzystujemy naszych ramion do latania, ale do noszenia i wykonywania różnych rzeczy. Wszystkie szybko biegające ssaki dwunożne poruszają się jak kangury - obie nogi pracują razem, a nie na przemian. Taki sposób poruszania się wynika w sposób naturalny z przystosowania kręgosłupa typowego biegającego czworonoga - na przykład psa - do wygięć w płaszczyźnie pionowej. (Wieloryby i delfiny też pływają w sposób typowy dla ssaków, wyginając kręgosłup w górę i w dół, podczas gdy ryby i krokodyle wyginają go na boki, tak samo jak robiły to pierwotne ryby. Swoją drogą, moglibyśmy poświęcić więcej uwagi owym bezimiennym bohaterom należącym do gadów ssakokształtnych, którzy zapoczątkowali sposób poruszania się za pomocą wyginania kręgosłupa w górę i w dół, który dzisiaj tak podziwiamy u gepardów i chartów. A pozostałości wicia się dawnych ryb można zapewne dostrzec u psów machających ogonem, zwłaszcza gdy ruch ten obejmuje całe ciało, kiedy zwierzę aż skręca się z pokory).

Kangury i inne torbacze nie mają wśród zwierząt naziemnych monopolu na „kangurzy” chód. Mój kolega Stephen Cobb powiedział kiedyś w trakcie wykładu dla studentów zoologii Uniwersytetu w Nairobi, że walabie, małe kangury, żyją wyłącznie w Australii i Nowej Gwinei. „Ależ proszę pana - powiedział jeden ze studentów - widziałem takiego w Kenii”. Tymczasem widział on najprawdopodobniej to:



Ryc. 4.5 Postrzałka *Pedetes capensis*

Postrzałka, zwana po angielsku *spring hare*, nie jest ani zającem, ani kangurem, ale gryzoniem. Podobnie jak kangury skacze, by zwiększyć swoją szybkość, kiedy umyka przed drapieżnikiem. Inne gryzonie, jak myszokoczki, zachowują się tak samo. Nie wydaje się jednak, by dwunożne ssaki wykonały następny krok i rozwinęły zdolność latania. Jedyne fruujące ssaki to nietoperze, których błona lotna łączy tylne i przednie kończyny. Trudno sobie wyobrazić, że takie krępujące nogi i ręce skrzydła mogły wyewoluować u zwierząt biegnących szybko po ziemi. Tak samo jest u pterozaurów. Moim zdaniem zarówno nietoperze, jak i pterozaurowy powstały ze zwierząt ześlizgujących się w dół z drzew i urwisk. Ich przodkowie mogli w pewnym stadium przypominać nieco lotokoty.

Ptaki to zupełnie inny przypadek. Ich historia ogniskuje się wokół zdumiewającego wynalazku - pióra. Pióra to zmodyfikowane łuski gadów. Możliwe, że początkowo wyewoluowały dla innego celu, w którym do dzisiaj znakomicie się sprawdzają - izolacji cieplnej. W każdym razie zbudowane są z substancji rogowej, nadającej się do tworzenia lekkich, płaskich, elastycznych, a zarazem trwałych powierzchni nośnych. Ptasie skrzydła w niczym nie przypominają błoniastych skrzydeł nietoperzy i pterozaurów. Przodkowie ptaków mogli zatem

utworzyć właściwe skrzydła, które nie musiały być naciągnięte na ramę z kości. Wystarczyło mieć kościstą rękę z przodu. Resztę zapewniały sztywne pióra. Tylne kończyny mogły pozostać wolne i dalej służyć do biegania. Ptaki wykorzystują swoje nogi do poruszania się, skakania, grzebania w ziemi, wspinania się na drzewo, chwytania ofiary czy toczenia walk, zupełnie nie przypominając tak niezgrabnych i niezdarnych na ziemi nietoperzy, a prawdopodobnie także i pterozaurów. Papugi używają nawet nóg podobnie jak ludzie rąk. A tymczasem przednie kończyny mogą zajmować się lataniem.

A oto jak można sobie wyobrazić początki ptasiego latania. Hipotetyczny przodek dzisiejszych ptaków, na przykład mały zwinnie dinozaur, ugania się za owadami, podskakując wysoko na mocnych tylnych nogach, i sięga po zdobycz (owady wykształciły umiejętność latania dużo wcześniej). Lecący w powietrzu owad może robić uniki, skaczącemu drapieżnikowi bardzo ułatwi więc zadanie umiejętność korekcji trajektorii swojego skoku. Podobne zjawisko można dziś zaobserwować u polującego kota. Na pierwszy rzut oka sprawa wydaje się bardzo trudna, ponieważ kiedy jest się już w powietrzu, nie sposób znaleźć punktu podparcia, od którego można by się odepchnąć. Cała sztuczka polega na zmianie położenia swojego środka ciężkości przez inne ustawienie pewnych części ciała względem innych jego części. Można poruszyć ogonem lub głową, ale najlepiej ramionami. Będą one lepiej spełniać taką funkcję, gdy pojawią się na nich dodatkowe powierzchnie i nieco utrzymają je w powietrzu. Według innej hipotezy pierwsze pióra na kończynach przednich rozwinęły się jako rodzaj sieci służącej do łapania owadów. Nie jest to aż tak naciągana koncepcja, jak by się wydawało - niektóre nietoperze rzeczywiście wykorzystują swoje skrzydła do tego celu. Zgodnie z tym poglądem głównym zadaniem przednich kończyn miało być jednak sterowanie podczas lotu. Niektóre obliczenia dowodzą, że najskuteczniej sterowałyby pochyleniem i przechyłem ruchy ramion przypominające prymitywne machanie skrzydłami.

Koncepcja biegu, skoków i korekcji trajektorii skoku odwraca - w porównaniu z hipotezą lotu ślizgowego między drzewami - kolejność zdarzeń. W hipotezie lotu ślizgowego pierwotną funkcją „przedskrzydeł” było zapewnienie zwierzęciu utrzymania się w powietrzu. Dopiero potem zostały one zaangażowane w sterowanie trajektorią skoku, a na samym końcu - rozwinęły zdolność ruchów (machanie). W koncepcji ugania się za owadami i podskakiwania natomiast sterowanie było pierwsze, ramiona zaś z powierzchniami nośnymi stanowiły etap następny. Urok tej koncepcji polega na tym, że bez specjalnego wysiłku przypisuje ona tym samym obwodom

nerwowym, które były zaangażowane w kontrolowanie położenia środka ciężkości u skaczących przodków, zasadniczą rolę w kontrolowaniu działania powierzchni nośnych w kolejnym etapie rozwoju ewolucyjnego. Być może ptaki rozpoczęły latanie od podskakiwania na ziemi, a nietoperze od szybowania z drzewa na drzewo. A może ptaki też zaczęły od lotów ślizgowych. Dyskusji tej nie ma końca.

W każdym razie od pierwszych prób latania dawno, dawno temu ptaki przeszły bardzo długą drogę. Czy też powinienem raczej powiedzieć: wiele długich dróg prowadzących je na liczne szczyty Góry Nieprawdopodobieństwa, które udało im się osiągnąć. Sokół wędrowny osiąga w locie nurkowym szybkość ponad 150 kilometrów na godzinę, pikując na ofiarę. Pustułki i kolibry zawisają w powietrzu z taką precyzją, jakiej nie osiągną jeszcze nasze helikoptery. Rybitwy popielate spędzają co roku ponad sześć miesięcy w podróży z Arktyki na Antarktydę i z powrotem - na dystansie powyżej 20 tysięcy kilometrów. Albatros wędrowny na skrzydłach o rozpiętości około 3 metrów okrąży biegun zawsze zgodnie z kierunkiem ruchu zegara, unoszony w powietrzu nie tyle dzięki machaniu nimi, ile biegłemu wykorzystywaniu naturalnego napędu pochodzącego ze zmieniającej się prędkości wiatru w miejscu, w którym zimne prądy przecinają Ryczące Czterdziestki. Inne ptaki, na przykład bażanty i pawie, podrywają się gwałtownie do lotu, kiedy zaskoczy je niebezpieczeństwo. Jeszcze inne - jak strusie, strusie nandu i nieodżałowane olbrzymie moa, zamieszkujące niegdyś Nową Zelandię, stały się zbyt wielkie, by latać, i ich skrzydła uległy degeneracji w przeciwieństwie do potężnych nóg doskonale nadających się do stawiania pewnych kroków i wymierzania solidnych kopniaków. Przeciwnieństwem ich są jerzyki - ptaki o słabych, niezgrabnych nogach, ale wspaniale wyprofilowanych skrzydłach będących prawdziwym dziełem sztuki - które prawie cały czas pozostają w powietrzu. Lądują tylko na gnieździe, a nawet śpią i kopulują w czasie lotu. Na lądowiska wybierają wysoko położone miejsca, ponieważ nie potrafią oderwać się od ziemi. Budują gniazda z takiego materiału, jaki znajdą w powietrzu lub jaki uda im się porwać z drzew, kiedy obok nich przelatują. Dla jerzyków zejście na ziemię może się wydawać stanem nienaturalnym, porównywalnym dla nas ze wzbijaniem się wysoko w niebo lub nurkowaniem głęboko pod wodą. Dla nas świat jest jak stała, nieruchoma dekoracja stanowiąca tło dla naszych zajęć. Normalny świat widziany czarnymi oczami jerzyka to nieustannie zmieniający się horyzont, migający raz z jednej, a raz z drugiej strony. Nasza *terra firma* byłaby dla nich zapewne równie niepokojąca jak dla nas jazda na kolejce górskiej w wesołym miasteczku.

Nie wszystkie ptaki machają skrzydłami, ale przodkami tych, które szybują w górze, były najprawdopodobniej właśnie takie. Ich lot jest skomplikowany i nie został jeszcze do końca poznany. Pociągająca wydaje się koncepcja, że unoszenie się w powietrzu zależy bezpośrednio od silnych uderzeń skrzydłami w dół. To jednak tylko część prawdy (jest tak zapewne zwłaszcza podczas startu), utrzymywanie się w górze jest najbardziej uzależnione od kształtu skrzydeł (pod warunkiem, że przekroczona zostanie odpowiednia prędkość) - tak samo jak w przypadku samolotów. Specjalnie wyprofilowane lub nachylone skrzydła umożliwiają unoszenie się w powietrzu, kiedy owiewa je wiatr lub kiedy - co w końcu sprowadza się do tego samego - ptak porusza się w przód wystarczająco szybko w powietrzu, niezależnie od tego, co wprawia go w ten ruch. Uderzenia skrzydeł są przede wszystkim sposobem na uzyskanie odpowiedniego ciągu. Skrzydła odgrywają rolę śmigła dlatego, że nie uderzają po prostu w górę i w dół. Ptak zręcznie skręca je aż od barków, dopasowując do tego starannie wszystkie stawy swoich przednich kończyn; dodatkowy zysk daje skręcenie piór. W rezultacie skrętów barku, ruchu w innych stawach, dopasowywania i wygięcia piór uderzenia skrzydeł w górę i w dół przekładają się na siłę ciągu, trochę tak jak pionowe machnięcia ogonem u wielorybów. Kiedy zapewniony jest ruch do przodu, skrzydła ptaków pozwalają na unoszenie się w górze na tej samej zasadzie co skrzydła samolotu - choć te są dużo prostsze, bo zamocowane na stałe. Im wyższa prędkość, tym większa siła nośna, i właśnie dlatego Boeing 747 lata mimo swego gigantycznego ciężaru.

Dużym ptakom trudniej latać, co wynika z praw fizyki. U coraz cięższych ptaków o jednakowym kształcie musiałyby się rozwinąć nieproporcjonalnie duże skrzydła lub musiałyby one nieproporcjonalnie szybciej latać, aby utrzymać się w powietrzu, pamiętajmy bowiem, że ciężar rośnie z sześcianiem długości, ale powierzchnia z kwadratem. Kiedy zaczniemy wyobrażać sobie coraz większe ptaki, dojdziemy do momentu, w którym - kiedy nie ma się do dyspozycji silnika tłokowego lub odrzutowego - siła mięśni staje się niewystarczająca, by utrzymać je w powietrzu. Ów punkt krytyczny leży nieco poniżej wielkości największych sępów i albatrosów. Niektóre duże ptaki rezygnują z tej walki i - o czym niedawno była mowa - na dobre przywiązują się do życia na ziemi. Świetnie sobie na niej radzą, nawet zwiększając swoją wielkość, jak jest ze strusiami czy emu. Ale sępy, kondory, orły i albatrosy nie poddają się. Jak im się to udaje?

Ich sztuczka polega na wykorzystaniu zewnętrznych źródeł energii. Gdyby nie ciepłodajne promienie słoneczne i zmienne przyciąganie Księżyca, morza i powietrze byłyby nieruchome. Energia pochodząca z zewnątrz wzbudza prądy morskie, napędza wiatry, wywołuje



burze piaskowe, napęnia atmosferę siłami zdolnymi zmiażdżyć dom i zmieść solidną drogę. Powoduje również powstawanie silnych wstępujących prądów termicznych, które właściwie wykorzystane mogą wnieść ptaka wysoko w chmury. Sępy, orły i albatrosy sztukę tę opanowały do perfekcji. Niewykluczone, że tylko one dorównują człowiekowi w umiejętności wykorzystania sił przyrody. Moim głównym źródłem informacji o ptakach szybujących były prace Colina Pennycuicka z Uniwersytetu w Bristolu. Będąc pilotem szybowca, posłużył się swoją wiedzą zarówno po to, by zrozumieć, jak robią to ptaki, jak i po to, by szybując pośród nich, badać tajniki ich lotu w warunkach naturalnych.

Sępy i orły wykorzystują prądy termiczne tak samo jak ludzie w szybowcach. „Komin” to słup ciepłego powietrza, które wznosi się choćby dlatego, że skrawek ziemi u jego podstawy szczególnie silnie rozgrzewa się w słońcu. Piloci szybowców są w dużej mierze zależni od tych prądów i dzięki swojemu doświadczeniu potrafią bezbłędnie rozpoznać je nawet z dużej odległości. Drobnymi szczegółami, które zdradzają obecność kominów wznoszących, to między innymi charakterystyczny kształt szczytów chmur kłębiastych i ich podstawy. Powszechnie używana technika podczas dalekich przelotów polega na krążeniu w górę aż na sam szczyt prądu termicznego, powiedzmy na wysokość 1,5 kilometra, a następnie locie ślizgowym w dół prosto w pożądanym kierunku. Opadanie jest dość łagodne - sępy zazwyczaj tracą około metra wysokości na każde dziesięć metrów lotu w przód. Pozwala to szybownikom na przemierzenie około piętnastu kilometrów, zanim konieczne stanie się znalezienie następnego prądu wznoszącego i ponowne kołowanie na jego szczyt.

Zdarza się, że kominy ułożone są w całe „aleje”, które pilot może odczytywać z układu chmur. Sępy, tak samo jak ludzie, nauczyły się podążać takimi alejami. Niekiedy trafiając na dobry szlak prowadzący w kierunku, który im odpowiada, szybują wzdłuż niego, dając się wznosić każdemu kolejnemu prądowi termicznemu bez konieczności kołowania na jego szczyt. W ten sposób przemierzają duże odległości, nie tracąc czasu na zataczanie kręgów. Czynią tak wyłącznie wtedy, gdy zdążają z terenów łowieckich do swoich gniazd. Większości czasu nie spędzają jednak na pokonywaniu długich dystansów w prostej linii, ale na wytrwałym krążeniu w poszukiwaniu jakiejś padliny. Zwracają również uwagę na inne sępy. Jeśli któryś z nich cokolwiek wypatrzy i zapikuje w dół, inne natychmiast się dołączają. Fala uwagi rozprzestrzenia się po niebie tak samo, jak fala ognisk rozpalonych na wzgórzach rozlewała się wzdłuż i wszerz Anglii, by ostrzec przed hiszpańskimi okrętami. [Dawkins nawiązuje do ataku hiszpańskiej floty

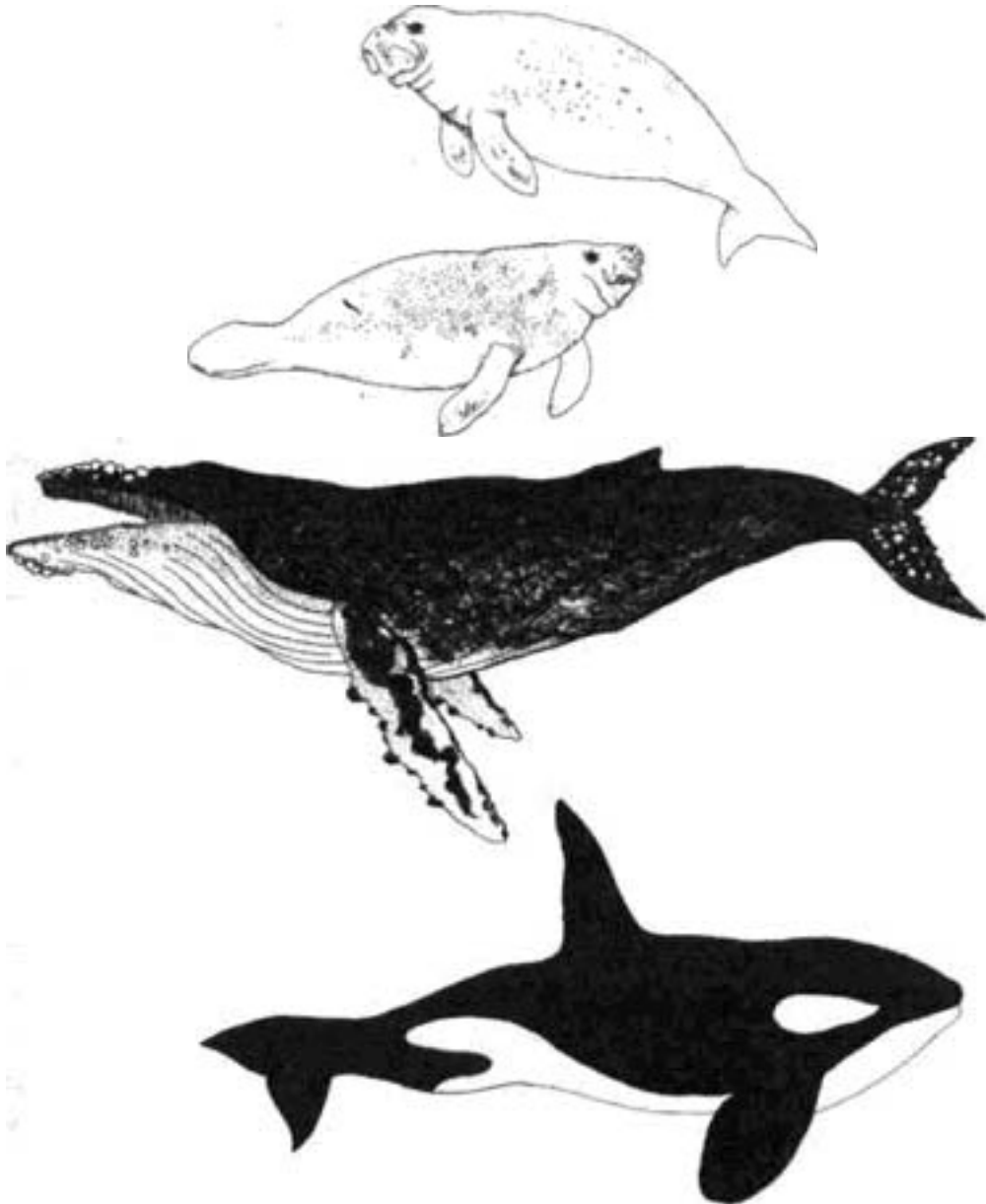
na Anglię, który zakończył się klęską „niezwyciężonej armady”, w 1588 roku (przyp. tłum.)]

Podobną sztuczkę - obserwowanie towarzyszy - wykorzystują bociany białe podczas swoich corocznych długich przelotów z północnej Europy do południowych wybrzeży Afryki, choć czynią to w nieco innym celu. Podróżują stadami liczącymi kilkaset osobników. Podobnie jak sępy, wznoszą się, kołując ku szczytom prądów termicznych, po czym lecą we właściwym kierunku, dopóki nie znajdą następnego kominu. I chociaż podczas wznoszenia wszystkie krążą razem, to opuściwszy komin, nie lecą już zwartą grupą, lecz rozwijają się w tyralierę. Mają tak szeroki front, że część z nich może z łatwością natknąć się na inny komin. Jeśli tak się stanie i sąsiednie ptaki zauważą ich wznoszenie się, natychmiast przyłączają się do nich. W ten sposób wszyscy członkowie rozciągniętej grupy korzystają z prądów, znalezionych przez jednego.

Niezależnie od tego, którą hipotezę pojawienia się aktywnego lotu uznamy za bliższą prawdy - przywiązującą wagę do lotu ślizgowego między drzewami czy do biegania i skakania - sępy, orły, bociany i albatrosy to niemal na pewno wtórni szybownicy. Rozwinęły one znakomicie swoją technikę lotu, ale ich przodkami były najprawdopodobniej dużo mniejsze ptaki machające skrzydłami. Nawet szkoła, która początku ptasiego lotu upatruje w szybowaniu między drzewami, uważa, że współczesne sępy - które nabierają wysokości, korzystając z kominów powietrza, a nie wspinając się na drzewa - są przykładem powrotu do szybowania po przejściu przez stadium pośrednie lotu trzepoczącego. W stadium tym, zgodnie z ową hipotezą, w układzie nerwowym tych ptaków powstały nowe obwody i nowe zdolności związane ze sterowaniem i manewrowaniem w powietrzu. Umiejętności te następnie umożliwiły im skuteczniejsze latanie, kiedy powróciły do lotu ślizgowego. Dość często zdarza się wśród zwierząt podobny powrót do dużo wcześniejszych sposobów życia po odbyciu ewolucyjnych praktyk: wygląda nawet na to, że wracają z nich lepiej wyposażone, by zmierzyć się z tym, co robiły wcześniej. Ptaki wykorzystujące prądy termiczne nie są być może najlepszym przykładem, nie wiadomo bowiem, jak naprawdę rozwinął się ptasi lot. Bardziej oczywistym są zwierzęta, które powróciły do wody po milionach lat na lądzie. Opowieścią o nich zakończę ten rozdział (ryc. 4.6).

Pięćdziesiąt milionów lat temu przodkowie waleni i syren wiedli żywot zwierząt lądowych, polując (drapieżnikami byli prawdopodobnie przodkowie delfinów) lub pasąc się (przodkowie diugoni i manatów). Ich dalekimi przodkami z kolei, podobnie jak wszystkich innych ssaków lądowych, były morskie ryby. Wybranie wody na swoje środowisko było więc dla

waleni i syren niemal powrotem do rodzinnego domu. Oczywiście musiało się to jak zawsze odbywać stopniowo. Zbliżyły się do wody, by szukać pożywienia, jak, powiedzmy, współczesne wydry. Z czasem coraz rzadziej przebywały na lądzie, przechodząc być może przez fazę zbliżoną do żyjących obecnie fok. Dziś wcale nie wychodzą z wody, a na brzegu są zupełnie bezradne. Walenie i syreny mają liczne pozostałości wskazujące na ich pochodzenie od lądowego przodka, a także - tak samo jak wszystkie inne ssaki - jeszcze starsze, związane ze swoim dużo wcześniejszym morskim wcieleniem.



Ryc. 4.6 Walenie i syreny. Zwierzęta te powróciły do wody po milionach lat spędzonych na lądzie: (od góry) diugon *Dugong dugong*; manat *Trichechus senegalensis*; długopłetwiec

*Megaptera novaeangliae*; orka *Orcinus orca*.

Walenie oddychają powietrzem atmosferycznym, ponieważ ich przodkowie, te szczury lądowe, utraciły skrzela. Ale zarodki wszystkich ssaków, włącznie z waleniami i syrenami, mają szczątkowe skrzela: niepodważalny dowód ich odległej morskiej przeszłości. Ślimaki słodkowodne również wróciły do wody po okresie spędzonym na lądzie, i one także oddychają powietrzem atmosferycznym. Ich dawni przodkowie zamieszkiwali morza, podobnie jak większość rodzin współczesnych ślimaków. Przebyły one, jak się wydaje, drogę od morza do wód słodkich przez lądowy „most” - być może coś związanego z życiem na lądzie ułatwiło im to przejście. Inne zwierzęta lądowe, które powróciły do wody, to między innymi żółwie, wodne chrząszcze (pływaki), pająki topiki oraz wymarłe ichtiozaury i plezjozaury. Żółwie potrafią trochę korzystać z tlenu rozpuszczonego w wodzie, choć wykorzystują do tego nie skrzela, lecz wyściółkę jamy gębowej, czasami także wyściółkę odbytnicy oraz - te o miękkiej skorupie - skórę pokrywającą pancerz. Wodne chrząszcze i pająki topiki zabierają ze sobą pod wodę dużą bańkę powietrza. Wszystkie te zwierzęta powróciły do środowiska wodnego swoich bardzo odległych przodków, ale kiedy się już w nim znalazły, radzą sobie z podobnymi problemami zupełnie inaczej dzięki doświadczeniom, jakie zdobyły w okresie przejściowym.

Dlaczego zwierzęta lądowe powracające do życia w wodzie nie wynajdą ponownie całego aparatu umożliwiającego przetrwanie w tym środowisku? Dlaczego wielorybom i diugoniom nie odrastają skrzela i nie zanikają płuca? Pytania te uświadamiają nam jeszcze jedną naukę płynącą z Góry Nieprawdopodobieństwa. W procesie ewolucji ważne są nie tylko rozwiązania idealne. Liczy się także punkt wyjścia. Góra Nieprawdopodobieństwa ma wiele szczytów. Jest wiele sposobów życia w wodzie. Można korzystać ze skrzeli, by wyłapać tlen rozpuszczony w wodzie, ale można też wypływać na powierzchnię i oddychać powietrzem. Stałe podpływanie do powierzchni może się wydać dość męczącym i dziwnym obyczajem. Może, ale nie zapominajmy, że przodkowie waleni rozpoczynali od szczytu, który oznaczał oddychanie tlenem atmosferycznym. Wszystkie szczegóły ich budowy wewnętrznej zapewniały im jak najlepsze wykorzystanie tego źródła tlenu. Być może mogłyby je przebudować i stać się podobne do ryb, odkurzywszy swe zarodkowe zawiązki skrzeli. Wiązałoby się to jednak z kompletną przebudową całego ciała. Byłoby to jak zejście z jednego wysokiego szczytu w głęboką przełęcz, by zaraz potem zacząć się wdrapywać na sąsiedni, nieco wyższy. Trudno to ciągle powtarzać, ale teoria

Darwina nie zezwala na przejściowe pogorszenia w pogoni za odległym celem.

Jednakże nawet gdyby zwierzęta te podjęły się zejścia w dół, wcale nie jest pewne, że szczyt skrzela - kiedy już by go osiągnęły - okazałby się wyższy niż płuc. Skrzela wcale nie muszą być lepszym rozwiązaniem dla zwierząt żyjących w wodzie. Niewątpliwie wygodnie jest móc oddychać stale i wszędzie, gdzie się tylko jest, nie przerywając sobie zajęć na zdobycie kolejnej porcji powietrza przy powierzchni. Przeświadczenie to jednak wynika w dużej mierze z tego, że my sami oddychamy co kilka sekund i wpadamy w panikę, jeśli choć na chwilę odetnie się nam dopływ powietrza. W efekcie trwającego wiele milionów lat doboru naturalnego kaszaloty mogą zanurzać się na 50 minut, zanim będą musiały ponownie zaczerpnąć powietrza. Wypływanie pod powierzchnię może być dla wielorybów czymś podobnym do naszego wychodzenia na siusiu. Albo na obiad. Jeśli potraktować oddychanie jak posiłek, a nie jak nieprzerwaną życiową konieczność, nie będzie już tak oczywiste, że wszystkie zwierzęta żyjące w wodzie radziłyby sobie najlepiej, mając skrzela. Są zwierzęta, na przykład kolibry, które żerują niemal bez przerwy. Dla takiego ptaszka, który musi pić nektar co kilka sekund swojego przytomnego życia, przelatywanie z kwiatka na kwiatek może być czymś takim jak dla nas oddychanie. Strzykwy, przypominające torebkę morskie bezkręgowce daleko spokrewnione z kręgowcami, nieustannie pompują wodę przez swoje ciało, oddzielając od niej drobne cząstki pożywienia. Owi filtratorzy nigdy nie zjadają niczego, co przypominałoby solidny obiad. Niewykluczone, że strzykwę myśl o tym, że miałyby szukać sobie następnego posiłku, wpędziłaby w paraliżującą panikę. I chyba nie mogłaby zrozumieć, dlaczego tak wiele jest wokół stworzeń, które uganiają się za jedzeniem, tracąc tyle energii i narażając się na tak wiele niebezpieczeństw, kiedy można spokojnie siedzieć na miejscu i wchłaniać jedzenie przez cały czas.

Tak czy owak, walenie i syreny mają w oczywisty sposób wpisana w swoje ciała lądową przeszłość. Gdyby zostały stworzone dla wody, byłyby zbudowane zupełnie inaczej i znacznie bardziej przypominałyby ryby. Zwierzęta, z których ciał można odczytać ich historię, są najlepszym świadectwem, że żywe organizmy nie zostały stworzone do takiego trybu życia, który prowadzą teraz, ale że wyewoluowały z bardzo różnych przodków.

Gładzice, sole i flądry również mają wpisana w ciała historię swojego powstawania, i to wręcz w groteskowej postaci. Żaden rozsądny projektant, gdyby miał stworzyć płaską rybę, nie wyrysowałby na swojej desce tak absurdalnego zniekształcenia głowy wymagającego przeniesienia obu oczu na jedną stronę.



Ryc. 4.7 Dwa sposoby na bycie płaską rybą: płaszczka gładka *Raja baris* (u góry) leży na brzuchu, podczas gdy płastuga - skarp pawik *Bothus lunatus* - na boku.

Z pewnością od samego początku wymyśliłby coś na kształt płaszczki - ryby leżącej na brzuchu z oczami symetrycznie umieszczonymi po obu stronach głowy (ryc. 4.7). Płastugi są całkiem pokręcone ze względu na swoje dzieje: ich przodkowie leżeli na jednym boku. Płaszczki są elegancko symetryczne, ponieważ ich historia była inna - kiedy ich przodkowie zdecydowali się na życie przy dnie, leżeli na nim głównie na brzuchu. Płaszczki bowiem pochodzą od rekinów, a rekiny są nieco grzbietobrzusnie spłaszczone w porównaniu z rybami kostnymi, które mają zwykle wysokie a wąskie - bocznie spłaszczone - ciała. Mając takie ciało, nie sposób położyć się na brzuchu, można ułożyć się tylko na boku. Kiedy przodkowie płastug osiedlili się na dnie, ruszyli na podbój najbliższego szczytu Góry Nieprawdopodobieństwa, chociaż jej nieco wyższy szczyt - należący do symetrycznych płaszczek - byłby do zdobycia, gdyby tylko udało im się przedrzeć do niewielkiej przełęczy, aby stanąć u stóp wyższego wierzchołka. Powtórzmy to raz jeszcze - dobór naturalny nie zezwala na zejście w dół stoku Góry Nieprawdopodobieństwa,

ryby te nie miały więc innego wyboru niż odzyskać dwuoczne widzenie poprzez wędrówkę jednego oka na przeciwną stronę głowy. Przodkowie płaszczyk również ruszyli na podbój najbliższego szczytu, co dla nich oznaczało osiągnięcie doskonałej symetrycznej elegancji. Oczywiście określenia „nie miały wyboru” i „wyruszyły” nie dotyczą poszczególnych osobników. Chodzi o linie ewolucyjne, a dokonywany „wybór” obejmuje alternatywne drogi przemian ewolucyjnych.

Podkreślałem, że zejście w dół jest niedozwolone, ale kto o tym decyduje? I czy rzeczywiście nie może się to nigdy wydarzyć? Rzece też „nie wolno” płynąć w żadnym innym kierunku niż ustalonym korytem. Nikt nie wydaje wodzie nakazu pozostawania między brzegami, a jednak z dobrze zrozumiałych względów tak się ona właśnie zazwyczaj zachowuje. Czasami jednak rozlewa się szerzej, nieraz przerywa brzegi, co może nawet trwale zmienić bieg rzeki.

Co pozwoliłoby linii ewolucyjnej chwilowo cofnąć się, dając szansę na osiągnięcie niedostępnego inaczej szczytu Góry Nieprawdopodobieństwa? Tego rodzaju pytania zainteresowały wielkiego genetyka Sewalla Wrighta, który *nota bene* pierwszy, obawiając procesy ewolucyjne, posłużył się metaforą krajobrazową - antenatką mojej Góry Nieprawdopodobieństwa. Wright, Amerykanin, był jednym z członków swarliwego triumwiratu, który w latach dwudziestych i trzydziestych stworzył podstawy tego, co dziś nazywamy neodarwinizmem (pozostali, Anglicy, to owe niezrównane, choć niezwykle wojownicze znakomitości - R. A. Fisher i J. B. S. Haldane, przy czym należy zaznaczyć, że swarliwość była cechą raczej ich niż Wrighta). Wright zdawał sobie sprawę, że - paradoksalnie - dobór naturalny może być zawadą w osiągnięciu perfekcji. I to jest właśnie to, o czym mówimy. Zejście do przełęczy jest niedozwolone przez dobór naturalny. Gatunek, który znalazł się na niskim wierzchołku, nie może z niego uciec, by dostać się na wyższy, dopóki dobór naturalny zatrzymuje go w tym miejscu. Jeśli tylko dobór rozluźni na chwilę swój uchwyt, gatunek może przedrzeć się w dół na tyle daleko, by przejść przez przełęcz do podnóża wyższej góry. Kiedy już się tam znajdzie, a dobór naturalny znowu dobitnie zaznaczy swoją obecność, gatunek ten ruszy pospiesznie na szczyt. Zatem z punktu widzenia całości procesu jedną z recept na ewolucyjne doskonalenie byłoby wprowadzenie okresów intensywnego działania doboru naturalnego przerywanych okresami jego osłabienia. Być może takie okresy osłabienia rzeczywiście odgrywają ważną rolę w procesie ewolucji. Kiedy mogłyby one występować? Może wtedy, kiedy

pojawia się próżnia? W niewielkiej skali zdarza się to, gdy populacja rośnie dlatego, że określone terytorium może wyżywić znacznie większą. Prawdziwym rajem nowych możliwości i osłabionego doboru naturalnego może być kolonizowanie dziewiczego kontynentu po wielkiej katastrofie, która zmiotła z niego wszelkie życie. Prawdopodobnie po wymarciu dinozaurów ssaki, którym udało się przetrwać, miały swój poligon szans, na którym część ich linii ewolucyjnych, korzystając z osłabienia dozoru, zeszła na chwilę w dół i natknęła się tym samym na wyższe szczyty Góry Nieprawdopodobieństwa, od których w normalnym trybie byłyby odcięte.

Inną receptą jest przeniesienie nowych genów z innych miejsc. To właśnie miałem na myśli, kiedy w rozdziale drugim mówiłem, że powrócę do tej kwestii. W programie „NetSpinner” tworzącym pajęczę sieci była nie jedna zróżnicowana na płci populacja komputerowych pajaków, ale trzy ewoluujące równolegle, pomyślane jako rozwijające się niezależnie na trzech różnych terytoriach. Ale - i to właśnie chodzi - nie całkowicie niezależnie. Dochodzi tutaj bowiem do przepływu genów, co oznacza, że czasami poszczególne osobniki migrują między tymi lokalnymi populacjami. Mówiłem wtedy, że owe migrujące geny są rodzajem zastrzyku świeżych pomysłów pochodzących od innych populacji, by „podpowiedzieć” mniej szczęśliwej lepszy sposób na budowanie sieci. Jest to równoznaczne z poszukiwaniem wyższego szczytu tej metaforycznej góry na przemyconej mapie.

Jesteśmy już gotowi, by przymierzyć się do ulubionego celu ataku kreacjonistów i największej przeszkody dla ewentualnych wyznawców teorii ewolucji, usadowionego chwiejnie na podniebnej krawędzi najgroźniejszego zbocza, jakie ma Góra Nieprawdopodobieństwa - czyli oka.

Uwaga: Kiedy już książka ta została oddana do składu, J. H. Marden i M. G. Kramer opublikowali fascynującą pracę na temat widelnic, z której wynika, że droga na Szczyt Nieprawdopodobieństwa lotu trzepoczącego mogła wieść jeszcze inaczej (Marden J. H., Kramer M. G.: *Locomotor performance of insects with rudimentary wings*. „Nature” 377, 1995, s. 332-334). Widelnice to dość prymitywne latające owady - prymitywne w tym sensie, że chociaż są to współcześnie żyjące organizmy, to - jak się uważa - przypominają swoich przodków bardziej niż inne współczesne owady. Marden i Kramer zajmowali się gatunkiem *Allocaupnia vivipara*, który ślizga się po powierzchni strumieni, unosząc skrzydła i używając ich jak żagla łapiącego wiatr.



Umiejętność tego ich żeglowania jest w przybliżeniu proporcjonalna do długości skrzydeł. Osobniki mające choćby najmniejsze skrzydła podróżują szybciej niż inne. Owe najmniejsze skrzydła osiągają w przybliżeniu takie same rozmiary jak ruchome płytki skrzelowe najdawniejszych znanych owadów kopalnych. Być może ich bezskrzydli przodkowie żyli na powierzchni wody i unosili skrzela, by pomóc sobie w utrzymaniu się w powietrzu. Jeśli tak, to na drodze do Szczytu Nieprawdopodobieństwa powinna znajdować się półka odpowiadająca rosnącym i coraz skuteczniej łapiącym wiatr płytkom skrzelowym. Marden i Kramer dokonali także innej ciekawej obserwacji mogącej być wskazówką dotyczącą następnego kroku ku lotowi trzepoczącemu. Inny gatunek widelnic, kusoszczetka *Taeniopteryx burksi* również ślizga się po powierzchni wody, ale zarazem macha skrzydłami. Być może owady, wspinając się na Szczyt Nieprawdopodobieństwa, przeszły przez stadium żeglowania, jak *Allocapnia* i machania nad powierzchnią, jak *Taeniopteryx*. Łatwo sobie wyobrazić, że słabo machające skrzydłami owady lecące nad wodą były znoszone nawet przez lekkie podmuchy wiatru. Powinna więc być jeszcze jedna półka - związana z coraz dłuższym utrzymywaniem się w powietrzu dzięki machaniu skrzydłami.

## ROZDZIAŁ 5

### CZTERDZIEŚCI DRÓG DO OŚWIECENIA

Wszystkie zwierzęta muszą sobie radzić ze światem, w którym żyją, i z obecnymi w nim obiektami. Zawsze wchodzi na coś lub na coś wpełzają, unikają z czymś zderzenia, coś zbierają i zjadają, z czymś kopulują i od czegoś uciekają. U zarania czasu geologicznego, kiedy ewolucja była jeszcze bardzo młoda, zwierzęta musiały wchodzić w fizyczny kontakt z obiektem, by zorientować się, co też to może być. Cóż za bogactwo korzyści czekało na zwierzę, które pierwsze opanuje sposób zdalnego rozpoznawania przedmiotów: możliwość wyminięcia ich na czas, uniknięcia zaskoczenia przez niebezpiecznego drapieżnika, zauważenia źródeł żywności, których być może już zabrakło, ale są dostępne gdzieś w pobliżu. O jakim sposobie mowa? Co by to mogło być?

Słońce nie tylko dostarczało energii napędzającej chemiczny kołowrót życia. Umożliwiło również rozwój zdalnego rozpoznawania. Zasypuje ono każdy milimetr kwadratowy powierzchni Ziemi gradem fotonów - drobnych cząstek poruszających się po linii prostej z najwyższą we Wszechświecie prędkością, które krzyżując się i odbijając, wypełniają wszelkie dziury i szczeliny, tak że żaden zakamarek nie jest od nich wolny, żadna szpara nie pozostaje zapomniana. Ponieważ fotony poruszają się po linii prostej i z tak dużą prędkością, są pochłaniane przez pewne materiały bardziej niż przez inne i inaczej odbijane przez różne substancje, a ponieważ jest ich tyle i są tak wszechobecne, stały się najlepszymi kandydatami do wykorzystania w technice rozpoznawania na odległość. Technice o niezwyklej precyzji i skuteczności. Trzeba było tylko wyłapać fotony i - co już trudniejsze - rozpoznać kierunek, z jakiego pochodzą. Czy szansa ta została wykorzystana? Po trzech miliardach lat ewolucji znamy odpowiedź: przecież widzimy słowa wydrukowane na tej kartce.

Darwin znany jest z tego, że często podawał oko za przykład „narządów najbardziej wydoskonalonych”:

Przyjęcie, że oko ze wszystkimi niezrównanymi jego urządzeniami dla nastawiania ogniskowej na rozmaite odległości, dla dopuszczania rozmaitych ilości światła oraz dla poprawiania sferycznej i chromatycznej aberracji mogło zostać utworzone drogą naturalnego doboru, wydaje się - zgadzam się na to otwarcie - w najwyższym stopniu niedorzeczne.

*Karol Darwin: Dzieła wybrane, t. II: O powstawaniu gatunków. Przekład Szymon Dickstein i Józef Nusbaum. PWRiL, Warszawa 1959.*

Niewykluczone, że Darwin wyrażał w ten sposób wątpliwości swojej żony Emmy. Piętnaście lat przed ukazaniem się pracy O powstawaniu gatunków napisał długą rozprawę, w której przedstawił założenia swojej teorii ewolucji na drodze doboru naturalnego. Chciał, by Emma opublikowała ją w razie jego śmierci i pozwolił jej przeczytać rękopis. Zachowały się jej zapiski na marginesach; co ciekawe, zwróciła szczególną uwagę na jego sugestię, że ludzkie oko „mogło prawdopodobnie powstać w wyniku stopniowej selekcji niewielkich, ale korzystnych zmian”. Emma zanotowała: „Bardzo śmiałe założenie. E.D.”. Długi czas po wydaniu książki O powstawaniu gatunków Darwin napisał do swojego amerykańskiego kolegi: „Oko po dziś dzień przyprawia mnie o dreszcze, ale kiedy pomyślę o znanych już drobnych stopniowych zmianach, to rozum mówi mi, że powinienem to drżenie opanować”. Chwilowe wątpliwości Darwina były prawdopodobnie podobne do wątpliwości fizyka, którego słowa przytoczyłem na początku rozdziału trzeciego. Darwin traktował jednak swoje z wątpienie jako punkt wyjścia do dalszych rozmyślań, a nie jako wygodną wymówkę, by dać za wygraną.

Problemu tego nie można zresztą uczciwie wyczerpać, mówiąc o ewolucji oka. Wiarygodne szacunki podają, że oczy wyewoluowały co najmniej czterdzieści, a być może nawet sześćdziesiąt razy niezależnie w wielu grupach królestwa zwierząt. Niektóre wykorzystują zupełnie inne reguły. Wśród czterdziestu lub sześćdziesięciu niezależnie powstałych oczu wyróżniono dziewięć różnych zasad działania. Omówię niektóre spośród tych dziewięciu podstawowych typów oczu - można je sobie wyobrazić jako dziewięć różnych szczytów Góry Nieprawdopodobieństwa.

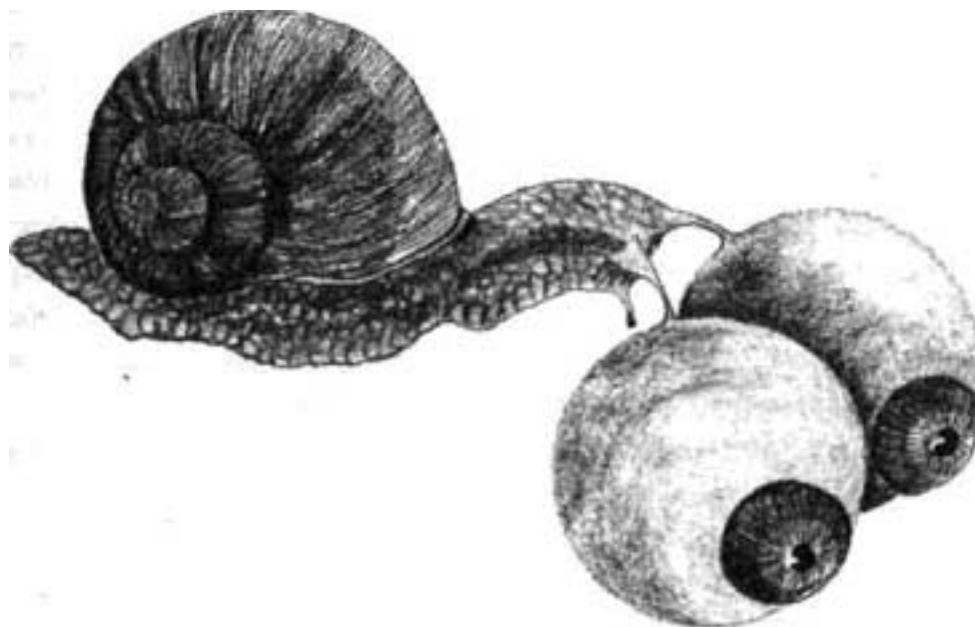
A przy okazji - skąd w ogóle wiadomo, że coś wyewoluowało niezależnie u dwóch różnych grup zwierząt? Skąd na przykład wiadomo, że nietoperze i ptaki rozwinęły zdolność latania niezależnie od siebie? Nietoperze posiadające prawdziwe skrzydła to wyjątek wśród ssaków. Teoretycznie mogło być tak, że najstarsze ssaki miały skrzydła, i wszystkie, poza nietoperzami, stopniowo je utraciły. Żeby jednak było to prawdą, potrzebna byłaby nierealistycznie duża liczba niezależnych przypadków utraty skrzydeł - świadectwa, jakimi dysponujemy, wspierają zaś zdroworozsądkowe przekonanie, że tak się nie stało. Najstarsze ssaki używały przednich kończyn nie do latania, ale do chodzenia - tak jak czyni to do dzisiaj

większość ich potomków. W podobny sposób doszliśmy do tego, że oczy wyewoluowały wiele razy w królestwie zwierząt zupełnie od siebie niezależnie. W analizach takich możemy również odwoływać się na przykład do danych na temat powstawania oczu w rozwoju zarodkowym. Żaby i kałamarnice, na przykład, mają świetne oczy pęcherzykowe, działające na zasadzie aparatu fotograficznego, ale u ich zarodków rozwój tych narządów przebiega w tak odmienny sposób, że możemy być pewni, iż wyewoluowały zupełnie od siebie niezależnie. Nie znaczy to, że wspólny przodek żab i kałamarnic nie miał niczego podobnego do oczu. Nie byłbym zdziwiony, gdyby okazało się, że wspólny przodek wszystkich zwierząt, żyjący zapewne miliard lat temu, posiadał oczy. [Wskazują na to dane genetyczne (przyp. red.)] Być może miał on coś w rodzaju plamki zawierającej światłoczuły barwnik pozwalający mu na odróżnienie nocy od dnia. Prawdziwe oczy jednak, czyli niezwykle złożone urządzenia, które pozwalają na tworzenie obrazów, powstały niezależnie wiele razy; czasami zdradzają one funkcjonalne podobieństwo (można wtedy mówić o konwergencji modelu oka), a czasem różnią się bardzo poważnie wyglądem (ich budowa jest wtedy zupełnie odmienna). Bardzo niedawno doniesiono o niezwykle ciekawych odkryciach dotyczących kwestii niezależnej ewolucji oczu w różnych grupach królestwa zwierząt. Powróć do tego pod koniec bieżącego rozdziału.

Omawiając bogactwo rozwiązań wśród zwierzęcych oczu, będę często wskazywał, gdzie na stokach Góry Nieprawdopodobieństwa mieszczą się poszczególne typy. Warto jednak pamiętać, że wszystko to są oczy współcześnie żyjących zwierząt. Wygodnie jest przyjąć, że mogą nam one coś powiedzieć o wyglądzie oczu zwierząt żyjących dawniej. Można się przynajmniej przekonać, że oczy, które osiągnęły połowę drogi na Szczyt Nieprawdopodobieństwa, również nieźle spełniają swoje zadanie. I jest to ważne, ponieważ - o czym wspominałem już wcześniej - żadne zwierzę nie żyje po to, by być stadium pośrednim w jakiejś ścieżce ewolucyjnej. To, co my skłonni bylibyśmy uważać za przystanek na drodze wiodącej ku wyższym stadiom rozwoju oka, dla samego zwierzęcia może być narządem nader użytecznym i zapewne najlepszym do danego trybu życia. Oczy tworzące obrazy o bardzo wysokiej rozdzielczości, na przykład, nie nadają się dla bardzo małych zwierząt. Muszą mieć określoną wielkość - bezwzględną, a nie w stosunku do rozmiarów właściciela, przy czym im są większe, tym lepsze. Wytworzenie tak dużych oczu byłoby dla całkiem małego zwierzęcia zbyt kosztowne, a noszenie ich - ciężkich i rozdętych - ogromnie niewygodne. Zwykły ślimak wyglądałby głupio z oczami o możliwościach dorównujących ludzkim narządom wzroku (ryc.

5.1). Ślimaki, które rozwinęłyby nieco większe oczy niż pozostałe, mogłyby lepiej widzieć swoich konkurentów. Za to obciążone zostałyby większym ciężarem, więc nie radziłyby sobie najlepiej. Największe oczy, jakie zostały opisane, mierzą 37 centymetrów średnicy. Lewiatanem, który może sobie pozwolić na ich obnoszenie, jest kałamarnica olbrzymia, której macki mają po dziesięć metrów długości.

Pamiętając o ograniczeniach metafory Góry Nieprawdopodobieństwa, zacznijmy od samego podnóża zboczy wiodących ku widzeniu. Znajdziemy tutaj oczy tak proste, że ledwie zasługują na tę nazwę. Właściwiej byłoby powiedzieć, że powierzchnia ciała niektórych zwierząt jest nieco wrażliwa na światło. Tak jest u pewnych jednokomórkowych organizmów, a także meduz, jeżowców, pijawek i rozmaitych innych pierścienic. Zwierzęta takie są niezdolne do tworzenia obrazów czy choćby określenia kierunku, z jakiego światło do nich dociera. Mogą jedynie wyczuć (słabo) obecność (jaskrawego) światła gdzieś w swojej okolicy. Ciekawe, że komórki reagujące na światło odkryto w narządach płciowych zarówno samic, jak i samców motyli. Nie są to oczy tworzące obrazy, mogą jednak wykryć różnicę między światłem a ciemnością i są być może owym punktem wyjścia w odległych początkach ewolucji oka.



Ryc. 5.1 Fantastyczny ślimak z oczami tak dużymi, że widziałby równie dobrze jak człowiek

Nikt chyba nie wie, do czego są potrzebne motylom, nawet William Eberhard, z którego zabawnej książki *Sexual Selection and Animal Genitalia* [Dobór płciowy a narządy płciowe

zwierząt] zaczerpnąłem tę informację.

Jeśli wyobrazimy sobie równinę rozciągającą się u stóp Góry Nieprawdopodobieństwa jako obszar zamieszany przez stworzenia zupełnie nieczułe na światło, to uznamy, że wrażliwe na światło docierające z jakiegokolwiek kierunku pokrycie ciała jeżowców i pijawek (a także narządów płciowych motyli) znajduje się na niskich zboczach, skąd zaczyna się ścieżka prowadząca ku górze. Nietrudno na nią wejść. Właściwie „równina” kompletnej niewrażliwości na światło mogła zawsze być niewielka. Możliwe, że żywe komórki są niejako skazane na to, by w mniejszym lub większym stopniu reagować na nie - a wtedy narządy płciowe motyli już by tak nie dziwiły. Promieniowanie świetlne to wiązka fotonów. Kiedy foton uderza w cząsteczkę jakiejś barwnej substancji, może zostać wstrzymany w swoim biegu, a cząsteczka ulec zmianie do innej swojej postaci. Kiedy tak się dzieje, uwolniona zostaje pewna ilość energii. Zielone rośliny i sinice wykorzystują tę energię do budowy związków odżywczych w ciągu procesów określanych mianem fotosyntezy. U zwierząt energia ta może spowodować reakcję komórki nerwowej - jest to pierwszy etap procesu zwanego widzeniem nawet u stworzeń, które nie mają niczego, co moglibyśmy nazwać okiem. Na początku może to być jakikolwiek barwnik. Takich pigmentów jest dużo i służą one różnym celom, innym niż wychwytywanie światła. Pierwsze niepewne kroki ku szczytom Góry Nieprawdopodobieństwa będą polegały na stopniowych ulepszeniach cząsteczek barwników. Złożą się one na stałą, powolną wspinaczkę wzdłuż łagodnego zbocza, łatwego do pokonania drobnymi krokami.

Z tej spokojnej płaszczyzny wznosi się droga wiodąca ku ewolucji żywego odpowiednika fotokomórki, wyspecjalizowanego w wylapywaniu fotonów za pomocą barwnika i przekładaniu ich energii na pobudzenie komórki nerwowej. Będę używał nazwy „fotokomórka” na określenie tych komórek siatkówki (u ludzi zwie się je czopkami i pręcikami), które wyspecjalizowały się w wychwytywaniu fotonów. Wszystkie one wykorzystują jedną sztuczkę - zwiększają liczbę warstw barwnika zdolnego do pochłaniania światła. To ważne, ponieważ fotony mogłyby bardzo łatwo przedostać się przez jedną warstwę barwnika nietknięte. Im więcej ma się warstw barwnika, tym większa szansa, że wylapie się wszystkie fotony. Dlaczego tak ważne jest, ile fotonów zostanie zatrzymanych? Czyż nie jest ich zawsze w bród? Nie, i jest to kwestia o zasadniczym znaczeniu, jeśli chce się zrozumieć zasady budowy oka. Istnieje coś w rodzaju ekonomiki fotonów, podobnie kiepskiej jak ludzka gospodarka pieniężna i tak samo nieuchronnie wiążącej się z koniecznością bilansu zysków i strat.

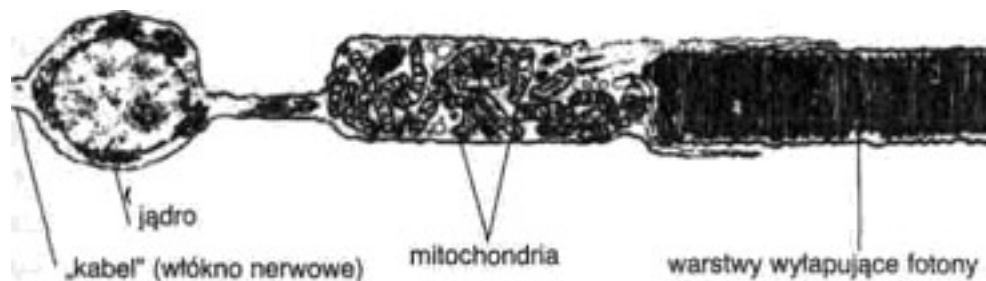
Zanim jednak zajmiemy się interesującymi zasadami opłacalności, warto podkreślić, że podaż fotonów jest często bez wątpienia niedostateczna. W rzešką, gwiazdzistą noc w 1986 roku obudziłem swoją dwuletnią córeczkę Juliet i zaniósłem ją, zawiniętą w kocyk, do ogrodu. Tam zwróciłem jej zaspaną twarzyczkę w stronę znanego mi z prasy położenia komety Halleya. Nie bardzo wiedziała, o co mi chodzi, ale ja natarczywie szepcząc jej do ucha, opowiedziałem o tej komecie i o pewności, że ja już nigdy jej nie zobaczę, ale ona być może tak, kiedy będzie miała siedemdziesiąt osiem lat. Tłumaczyłem jej, że obudziłem ją, żeby mogła powiedzieć swoim wnukom w roku 2062, że widziała już kiedyś tę kometa, i że pamięta, jak jej ojciec wyniósł ją w nocy do ogrodu ulegając swojemu donkiszotowskiemu kaprysowi. (Niewykluczone, że wyszeptalem wtedy również słowa „donkiszotowski” i „kaprys” - małe dzieci bardzo lubią dźwięk nieznanym sobie, ale bardzo starannie wymawianych słów).

Być może jakieś fotony pochodzące z komety Halleya trafiły tej nocy w 1986 roku do siatkówki Juliet, ale, prawdę mówiąc, trudno mi było przekonać wówczas samego siebie, że widzę tę kometa. Czasami wydawało mi się, że jawi mi się jakieś nikłe, szarawe rozmazane pasmo w dość prawdopodobnym miejscu. Potem jednak rozplywało się ono bez śladu. Problem polegał na tym, że porcja fotonów docierających do naszych siatekówek była bliska zeru.

Fotony przybywają w przypadkowych momentach, jak krople deszczu. Jeśli naprawdę leje, nie mamy co do tego żadnych wątpliwości i wolelibyśmy nie posiać gdzieś parasola. Kiedy jednak deszcz zaczyna się od kapania - który moment uznać za jego prawdziwy początek? Czujemy pierwszą kroplę i z wahaniem spoglądamy w niebo, przekonani dopiero wtedy, gdy spadnie następna i jeszcze następna. Kiedy siąpi, ktoś może twierdzić, że już pada, a kto inny, że wcale nie. Może być wtedy tak, że kropla spadnie na drugą osobę dopiero w minutę potem, jak poczuła deszcz pierwsza. Aby być pewnym, że widzimy światło, fotony muszą uderzać w naszą siatkówkę z wystarczająco dużą częstością. Kiedy patrzyłem razem z Juliet w stronę komety Halleya, pochodzące z niej fotony trafiały do poszczególnych fotokomórek naszych siatekówek z fantastycznie niewielką częstością około jednego na czterdzieści minut. Oznacza to, że kiedy jedna fotokomórka oznajmiała: „Tam jest światło!”, znakomita większość jej sąsiadek nie miała nic do zakomunikowania. Uzyskiwałem jakiegokolwiek wrażenie obiektu przypominającego kometa tylko dlatego, że mój mózg zbierał doniesienia setek fotokomórek. Dwie takie komórki wyłapią więcej fotonów niż jedna. Trzy - więcej niż dwie i tak dalej - w górę zboczy Szczytów Nieprawdopodobieństwa. Oczy o tak zaawansowanej budowie jak nasze mają miliony

fotokomórek upakowanych ciasno jak włoski dywanu, a każda z nich nastawiona jest na wyłapanie tylu fotonów, ile to tylko możliwe.

Rycina 5.2 pokazuje typową „fotokomórkę” o zaawansowanej budowie - tutaj jest to pręcik z ludzkiej siatkówki, komórki fotoreceptorowe innych organizmów są jednak bardzo podobne. Poskręcane robaczki widoczne w środku tej ilustracji to mitochondria. Są to niewielkie twory żyjące wewnątrz komórek. Pochodzą od pasożytniczych bakterii, stały się jednak niezbędnym składnikiem wszystkich komórek, potrzebnym im do wytwarzania energii. Włókno nerwowe, czyli ich „kabel połączeniowy”, wychodzi z lewej strony komórki. Elegancki, prostokątny układ błon, ustawionych z iście wojskową precyzją po prawej, to miejsce, w którym zatrzymywane są fotony. Każda taka warstwa zawiera cząsteczki barwnika wyłapującego fotony. Doliczyłem się dziewięćdziesięciu jeden warstw błon na tej rycinie.



Ryc. 5.2 Pułapka na fotony, czyli biologiczna „fotokomórka”: pojedyncza komórka ludzkiej siatkówki (pręcik)

Nieważna jest ich dokładna liczba, ale im jest ich więcej, tym lepiej pod względem wychwytywania fotonów, wiąże się to jednak z określonymi kosztami ograniczającymi ich liczbę. Rzecz w tym, że dziewięćdziesiąt jeden warstw jest bardziej skuteczne niż dziewięćdziesiąt, dziewięćdziesiąt zaś - bardziej niż osiemdziesiąt dziewięć i tak dalej aż do pojedynczej błony, która jest lepsza niż nic. O to mi właśnie chodziło, kiedy mówiłem o gładkiej, stopniowej wędrowce po stoku. Mielibyśmy do czynienia ze stromą przepaścią, gdyby, powiedzmy, każda liczba warstw powyżej czterdziestu pięciu była bardzo efektywna, a jakakolwiek mniejsza kompletnie nieskuteczna. Ani zdrowy rozsądek, ani żadne obserwacje nie skłaniają nas jednak do podejrzeń, że taka nagła nieciągłość istnieje.

Kalmary, jak mówiliśmy, wykształciły oczy bardzo podobne do oczu kręgowców. Nawet



ich komórki światłoczułe są bardzo podobne. Główna różnica polega na tym, że u głowonogów warstwy błon nie wyglądają jak rulon monet, ale jak pierścienie ułożone wzdłuż pustej rury. (Takie powierzchniowe różnice są częstym zjawiskiem w procesie ewolucji, z tych samych błahych powodów, dla których w Wielkiej Brytanii przestawia się przełączniki światła w dół, by światło zapalić, a w Stanach, by światło zgasić). Wszystkie zaawansowane w rozwoju zwierzęce komórki światłoczułe korzystają z wariantów tej samej sztuczki - zwiększenia liczby warstw nasyconych barwnikiem błon, przez które przechodzą fotony. Ważne jest, że każda dodatkowa warstwa odrobinę zwiększa prawdopodobieństwo wychwycenia fotonów, niezależnie od tego, ile tych warstw było wcześniej. W końcu, kiedy wychwytywana będzie większość fotonów, zacznie działać prawo malejących zysków związanych z kosztami wytwarzania dodatkowych warstw.

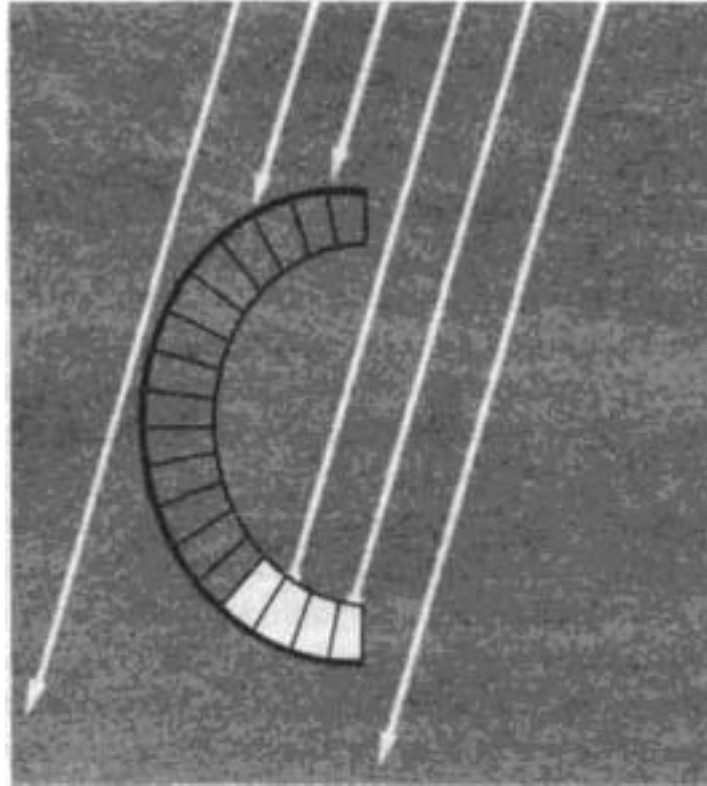
Oczywiście w przyrodzie nie ma specjalnej potrzeby oglądania komety Halleya powracającej co siedemdziesiąt sześć lat i wysyłającej niezbyt obfite wiązki odbitych fotonów. Oczy tak czułe, że wystarcza im światło księżyca, a nawet gwiazd, są jednak bardzo pożyteczne, jeśli jest się sową. Zwykle nocą poszczególne fotoreceptory naszych oczu otrzymują fotony średnio co sekundę - jest to, co prawda, wyższa częstość niż w przypadku komety, ciągle jednak nie dość duża, by wyłapanie ich wszystkich, gdyby to było możliwe, miało jakieś znaczenie. Jeśli jednak mówimy o surowej ekonomice fotonów, nie powinniśmy sądzić, że surowość ta ograniczona jest do warunków panujących nocą. W jaskrawy dzień fotony mogą bębnić w siatkówkę jak gęste krople tropikalnej ulewy, a mimo to problem wcale nie jest mniejszy. Widzenie określonego obrazu polega na tym, że komórki światłoczułe różnych części siatkówki informują o różnej intensywności docierającego do nich światła, a to oznacza rozróżnianie częstości, z jaką fale fotonów uderzają w poszczególne rejony siatkówki. Porządkowanie fotonów nadchodzących z różnych wymagających wysokiej rozdzielczości części widzianej sceny może doprowadzić do równie poważnego miejscowego zubożenia wiązki fotonów jak ogólny ich niedostatek podczas nocy. O tym porządkowaniu będziemy teraz mówić.

Same komórki fotoreceptorowe mówią zwierzęciu tylko o tym, czy jest jakieś światło, czy nie. Zwierzę rozróżnia noc od dnia i wie, kiedy pada na nie cień mogący zwiastować drapieżcę. Następny etap ulepszeń musiał polegać na zdobyciu pewnej podstawowej umiejętności rozpoznawania kierunku padającego światła oraz kierunku, powiedzmy, niepokojącego cienia. Najprostszym sposobem osiągnięcia takiego celu jest uzupełnienie warstwy fotokomórek ciemnym ekranem po jednej jej stronie. Kiedy fotokomórka jest przezroczysta, światło dociera do

niej z każdej strony i nie może ona rozróżnić kierunku jego padania. Zwierzę mające jedną komórkę światłoczułą na głowie może dążyć w kierunku światła lub odsuwać się od niego, jeśli jest ona osłonięta od tyłu ekranem. Łatwo to zrobić kiwając głową jak wahadłem w jedną i w drugą stronę, a jeśli intensywność światła po obu stronach jest niejednakowa - zmieniać swoje położenie aż do momentu, w którym stanie się taka sama. Niektóre czerwie postępują w ten sposób, uciekając prosto od źródła światła.

Kiwanie głową to jednak najprostszy sposób na rozpoznanie kierunku światła, godny zaledwie najniższych partii Góry Nieprawdopodobieństwa. Lepszym sposobem jest dysponowanie większą liczbą komórek światłoczułych niż jedną, skierowanych w różnych kierunkach i osłoniętych od tyłu ciemnym ekranem. Wtedy, porównując częstość fotonów padających na dwie komórki fotoreceptorowe, można wnioskować o kierunku światła. Jeśli ma się cały kobierzec komórek światłoczułych, lepiej wygiąć go łukowato, razem z osłaniającym ekranem - wówczas wrażliwe na światło komórki poszczególnych części tego łuku skierowane są w systematycznie zmieniających się kierunkach. Łuk wypukły mógł dać początek rodzajowi oka złożonego, jakie mają owady, do czego jeszcze powrócę. Łuk wklęsły tworzy wgłębienie (kubek) i daje początek innemu rodzajowi oczu - pęcherzykowych, takich, jakie mamy my sami. Komórki fotoreceptorowe poszczególnych części wgłębienia ulegają pobudzeniu, kiedy światło dociera z poszczególnych kierunków i im więcej jest takich komórek, tym większa rozdzielczość obrazu.

Promienie świetlne (jasne proste strzałki) są zatrzymywane przez gruby ciemny ekran wyściełający wgłębienie od tyłu (ryc. 5.3). Rejestrując, które z tych komórek są pobudzane, a które nie, mózg może wykryć kierunek padania światła. Z punktu widzenia wspinaczki na Szczyt Nieprawdopodobieństwa najważniejsze są ciągłe zmiany ewolucyjne (odpowiedniki łagodnego wzniesienia prowadzącego ku górze) łączące zwierzęta mające płaski kobierzec komórek światłoczułych ze zwierzętami, u których znajdują się one we wgłębieniu. Wgłębienia te mogą się pogłębiać lub spłycać na drodze niewielkich, stopniowych zmian.



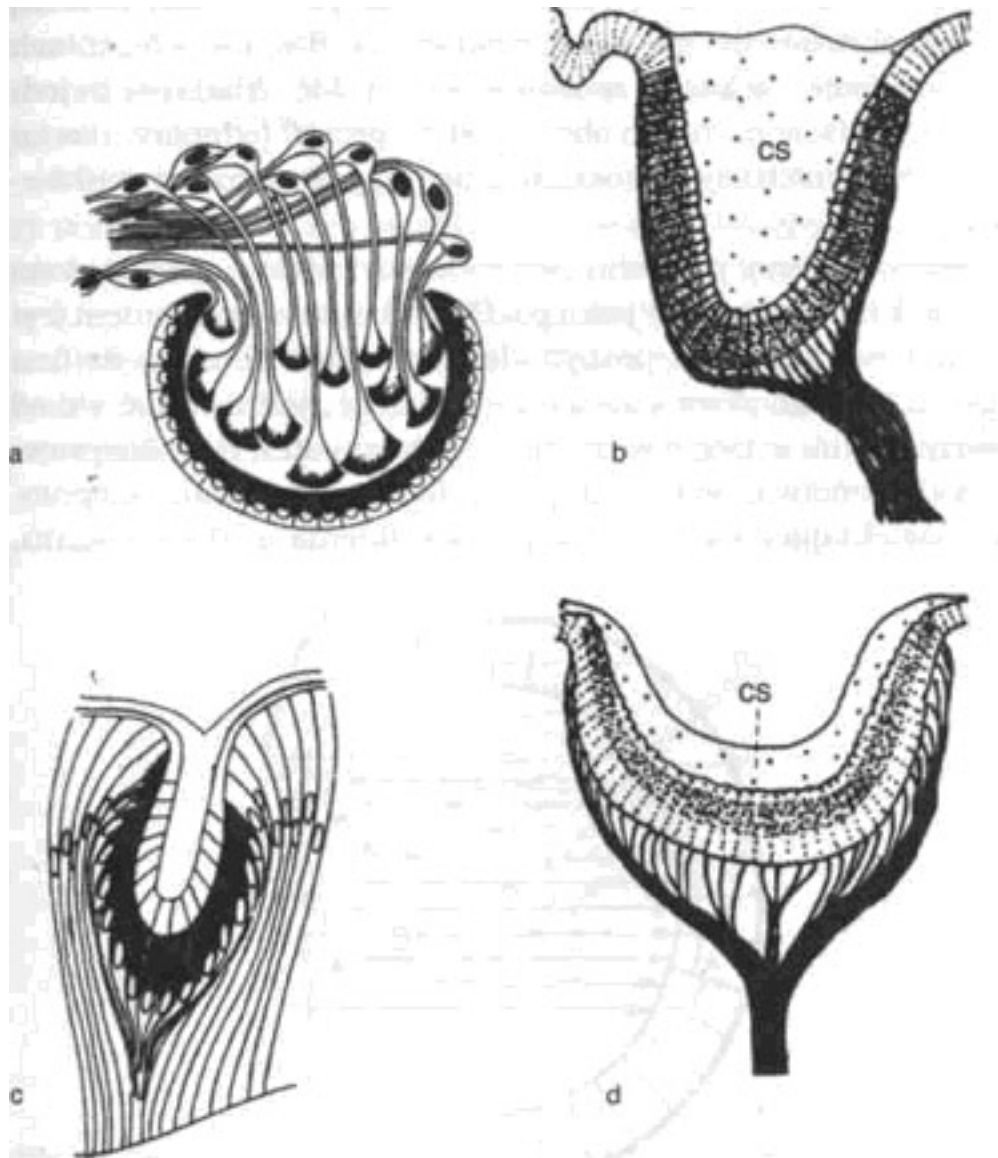
Ryc. 5.3 Proste oko kubkowane może wykryć kierunek padającego światła.

Im głębsze - tym większa zdolność rozpoznawania światła nadchodzącego z różnych kierunków. Nie trzeba przeskakiwać na tej górze żadnych wielkich przepaści.

Oczy tego rodzaju są częste w królestwie zwierząt. Rycina 5.4 przedstawia oczy wypławka, małża, wieloszczeta i skałoczeпа. Najprawdopodobniej uzyskały swój wgłębiony kształt całkiem od siebie niezależnie. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku oka wypławka, które zdradza swoje niezależne pochodzenie umieszczeniem komórek światłoczułych wewnątrz kubka. Jest to zaiste dziwne rozwiązanie: promienie świetlne muszą się przedostać przez gęszcz włókien nerwowych, zanim dotrą do komórek wrażliwych na światło - nie wybrzydźmy jednak zanedo, bo to samo niedoskonałe rozwiązanie występuje w naszych własnych, dużo bardziej skomplikowanych oczach. Powrócę do tego, by udowodnić, że nie jest to wcale aż taki zły pomysł, jak by się wydawało.

W każdym razie oko kubkowane nie jest zdolne do tworzenia czegoś, co my, ludzie, z naszymi wspaniałymi oczami, skłonni bylibyśmy uznać za poprawny obraz. Tworzenie takiego obrazu, polegającego na wykorzystaniu soczewki, wymaga pewnych wyjaśnień. Przystępując do takich rozważań, zwykliśmy pytać, dlaczego prosty czy też wgłębiony kobierzec komórek

światłoczułych nie dostrzega na przykład delfina, kiedy ma przed sobą jego obraz.

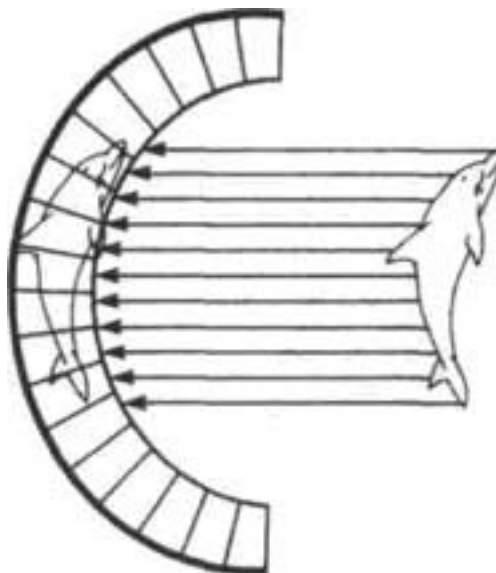


Ryc. 5.4 Oczy kubkowe różnych przedstawicieli królestwa zwierząt: (a) wyławka, (b) małża; (c) wieloszczeta; (d) skałoczepa (ślimak).

Gdyby promienie świetlne zachowywały się tak jak na rycinie 5.5, sprawa byłaby prosta i nieodwrócony obraz delfina pojawiałby się na siatkówce. Niestety tak nie jest. Ściślej rzecz biorąc, niektóre promienie tak się akurat zachowują. Problem polega na tym, że dużo więcej jest jednak tych, które biegną w najrozmaitszych kierunkach. Każdy fragment delfina wysyła promienie do każdego punktu siatkówki. I nie tylko delfina, również tła i wszelkich innych elementów znajdujących się w polu widzenia. Można myśleć o wyniku patrzenia jako o

nieskończonej liczbie obrazów delfina we wszystkich możliwych położeniach na siatkówce i w każdej możliwej pozycji. Nie składa się to jednak oczywiście na żaden obraz, jest po prostu jednolitym światłem równomiernie rozproszonym po całej powierzchni siatkówki (ryc. 5.6).

Rozpoznaliśmy problem. Oko widzi zbyt wiele - nieskończoną liczbę delfinów zamiast jednego. Oczywistym rozwiązaniem jest odejmowanie: trzeba pozbyć się wszystkich obrazów delfina oprócz jednego. Nieważne którego, ważne, jak uwolnić się od reszty. Jedną z dróg wiedzie przez ten sam stok Góry Nieprawdopodobieństwa, po którym podążało oko kubkowe, stopniowo pogłębiające się i zamykające wpuklenie aż do momentu, kiedy jego otwór zaczął przypominać maleńką, jakby zrobioną szpilką dziurkę (stając się czymś w rodzaju *camera obscura*, czyli ciemni optycznej lub tzw. aparatu szczelinowego).

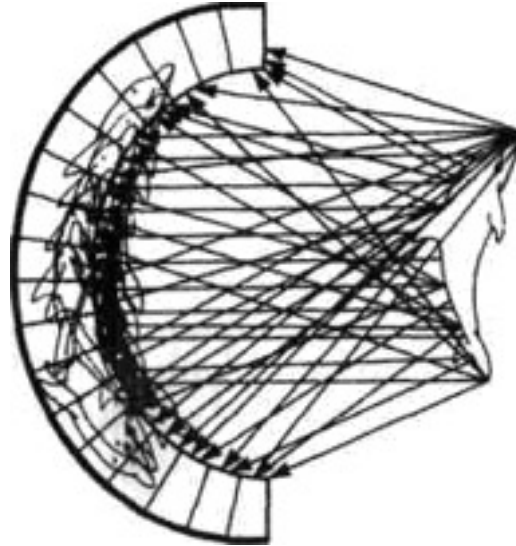


Ryc. 5.5 Jak nie działa oko - gdybyż promienie świetlne były tak uprzejme!

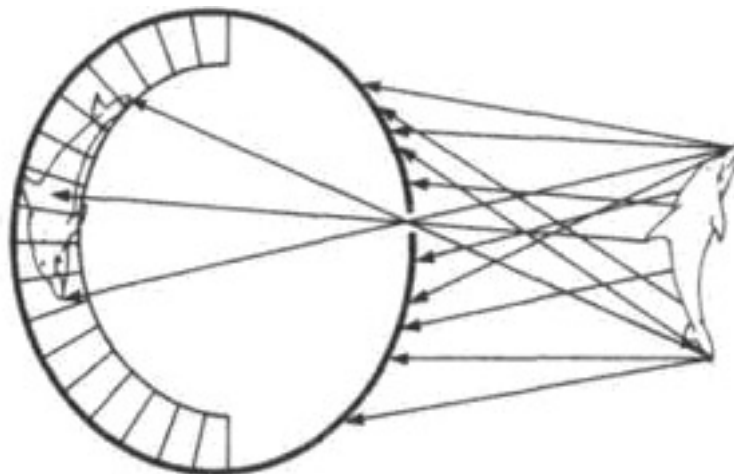
Wówczas większość promieni świetlnych nie ma już wstępu do kubka. Mniejszość, która do niego dociera, tworzy niewielką liczbę podobnych odwróconych obrazów delfina (ryc. 5.7). Jeśli otwór ten staje się skrajnie niewielki, rozmycie znika i pozostaje jeden ostry obraz obserwowanego zwierzęcia (ściśle rzecz biorąc, skrajnie małe otwory stają się źródłem innego rodzaju rozmycia obrazu, ale zapomnijmy o tym na chwilę). Można uznać tę drobną szczelinę za rodzaj filtra, usuwającego całą kakofonię zakłócających widzenie obrazów delfina.

Efekt otworu jest po prostu skrajną wersją efektu kubka, który poznaliśmy już, omawiając sposoby umożliwiające rozpoznanie kierunku padania światła. Należy do tego samego stoku Góry Nieprawdopodobieństwa, znajduje się tylko nieco wyżej, ale nie ma między nimi żadnych

gwałtowniejszych uskoków. Nie ma żadnych przeszkód, by z oka kubkowego wyewoluowało oko z niewielką szczeliną, podobnie jak nie ma żadnych przeszkód, by oko kubkowate wyewoluowało z płaskiej warstwy komórek światłoczułych.



Ryc. 5.6 Promienie świetlne biegnące od wszystkich punktów oglądanego obiektu docierają do wszystkich punktów siatkówki, nie tworząc żadnego obrazu. Nieskończona liczba obrazów delfina nakłada się na siebie i niczego dobrze nie widać.



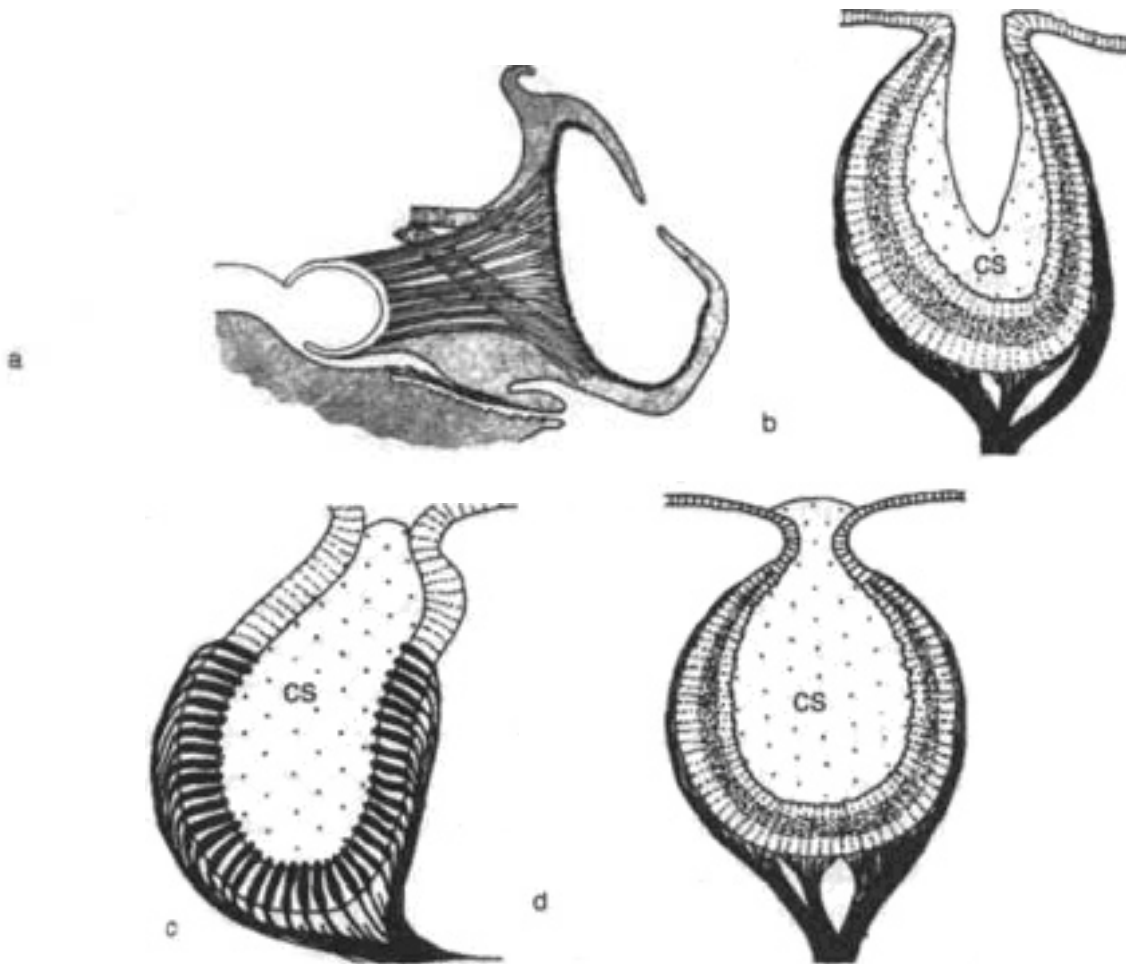
Ryc. 5.7 Zasada działania oka z otworem (aparatu szczelinowego). Większość konkurujących ze sobą obrazów delfina nie powstaje. Najlepiej jest, kiedy tylko jeden z nich (odwrócony) przedostaje się przez otwór.

Stok wiodący w górę od płaskiego kobierca fotorceptorów do oka z niewielkim otworem (aparatu szczelinowego) jest łagodny i cały czas łatwy do pokonania. Wędrówka po nim jest

odpowiednikiem ciągłego pozbywania się sprzecznych obrazów aż do chwili, gdy na samej górze tego stoku pozostanie tylko jeden z nich.

Oczy zaopatrzone w różnego rodzaju otwory są oczywiście spotykane u wielu przedstawicieli królestwa zwierząt. Najdalej idący aparat szczelinowy ma tajemniczy mięczak zwany łodzikiem [*Nautilus* - ryc. 5.8], kuzyn amonitów (i będący dalekim krewnym ośmiornic, tylko ze skręconą muszlą). Inne, na przykład oko morskiego ślimaka, przedstawione na rycinie 5.8b, właściwie byłoby nazwać głębokim kubkiem niż prawdziwym aparatem szczelinowym. Są one najlepszą ilustracją łagodności tej partii Góry Nieprawdopodobieństwa.

Na początku wydaje się, że oko z niewielkim otworem powinno dość dobrze zdawać egzamin, pod warunkiem że otwór ten nie jest zbyt mały. Można by wprawdzie sądzić, że gdyby był on nieskończenie mały, to uzyskany obraz stałby się niemal nieskończenie doskonały, dzięki usunięciu znakomitej większości rywalizujących ze sobą obrazów, pojawiłyby się jednak wtedy dwa dodatkowe problemy.





Ryc. 5.8 Różne rodzaje oczu bezkręgowców, ilustrujące sposoby tworzenia obrazów dość prostych, ale wystarczająco dobrych dla uzyskujących je zwierząt: (a) aparat szczelinowy łodzika (*Nautilus* sp.); (b) ślimak morski; (c) małż; (d) ucho morskie (*Haliotis* sp.); (e) nereida (wieloszczet); cs - ciało szkliste.

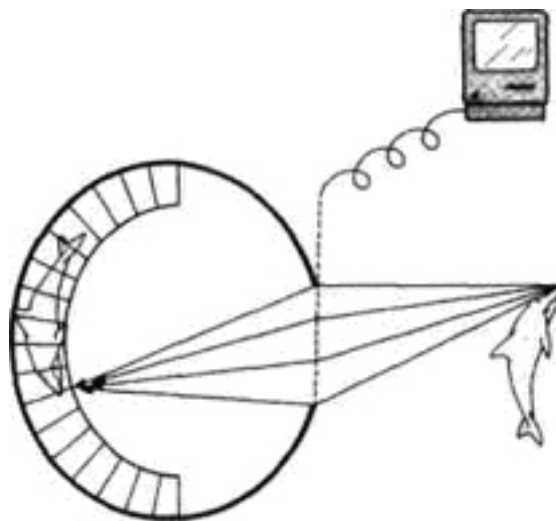
Jeden to dyfrakcja (ugięcie promieni świetlnych). Powstrzymałem się od mówienia o nim aż do tej chwili. Zjawisko owo, powodujące rozmycie obrazu, wynika z tego, że światło zachowuje się jak fale, które mogą nakładać się na siebie (czyli ze sobą interferować). Powodowane przez nie rozmycie obrazu jest tym większe, im mniejszy jest otwór, przez który przedostaje się światło. Inny problem związany ze skrajnie małym otworem przypomina surowe warunki opłacalności rządzące gospodarką fotonów. Otwór odpowiednio mały, by umożliwić powstanie wystarczająco ostrego obrazu, przepuszcza stosunkowo niewiele fotonów, oczywiście jest więc, że aby dobrze zobaczyć jakiś obiekt, musi być on oświetlony niemal niewiarygodnie silnym światłem. Przy normalnym oświetleniu przedostaje się przez taki otwór niedostatecznie dużo fotonów, by oko zyskało pewność, co widzi. Jest to odmiana problemu komety Halleya. Można go przewyciężyć, przywracając otworowi nieco większą średnicę. Ale wtedy znajdziemy się z powrotem w punkcie, w którym zmagaliśmy się z nadmiarem konkurujących ze sobą obrazów delfina. Ekonomika fotonów sprowadziła nas do punktu wyjścia u podnóża Góry Nieprawdopodobieństwa. Pozostając przy otworze, możemy mieć albo obraz ostry, ale ciemny, albo jaśniejszy, ale rozmary. Nie można mieć wszystkiego naraz. Takie wybory to chleb powszedni ekonomistów i właśnie dlatego stworzyłem pojęcie gospodarki fotonów. Czy jednak naprawdę nie ma żadnego sposobu, by uzyskać jasny, a zarazem ostry obraz? Na szczęście jest.

Po pierwsze, próbujmy spojrzeć na ten problem w kategorii obliczeń. Wyobraźmy sobie, że powiększony otwór pozwala na przedostanie się całkiem sporej liczby fotonów. Jednak



zamiast pozostawić go jako zwykłą dziurę, wmontujemy w niego „magiczne okno”, jakiś nie znany jeszcze cud elektroniki zamknięty w szkło i połączony z komputerem (ryc. 5.9). Własności tego sterowanego przez komputer okna będą następujące. Promienie świetlne, zamiast przechodzić w linii prostej przez szkło, załamują się pod pewnym kątem. Kąt ten jest precyzyjnie wyliczony przez komputer tak, by wszystkie promienie pochodzące z określonego punktu (powiedzmy, nosa delfina) załamywały się w taki sposób, aby zbiec się w jednym miejscu siatkówki. Narysowałem jedynie promienie wychodzące z nosa delfina, ale magiczny ekran oczywiście wcale nie faworyzuje jakiegось jednego punktu i przeprowadza jednocześnie obliczenia dla wszystkich punktów. Wszystkie promienie świetlne wychodzące z ogona delfina załamują się w taki sposób, by spotkać się we właściwym miejscu siatkówki i tak dalej. W efekcie wykorzystania magicznego okna na siatkówce oka pojawia się doskonały obraz delfina. I nie jest on wcale tak ciemny jak obraz powstający w oku o bardzo niewielkim otworze, dzięki temu, że wiele promieni świetlnych (czyli cała rzeka fotonów) pochodzących z nosa delfina zbiega się w jednym punkcie, wiele zbiega się z jego ogona, i wiele z każdego innego punktu dociera do właściwego dla siebie miejsca siatkówki. Magiczne okno ma poważną przewagę nad bardzo małym otworem, a nie ma poważnych wad.

Bardzo wygodnie byłoby posłużyć się takim magicznym oknem, będącym tworem czystej wyobraźni. Łatwiej to jednak powiedzieć niż zrobić. Bo wyobraźmy sobie, jak skomplikowane obliczenia musiałby nieustannie przeprowadzać połączony z nim komputer. Każdy punkt ciała delfina wysyłałby przecież miliony promieni świetlnych, które docierałyby do powierzchni magicznego okna pod milionami różnych kątów.



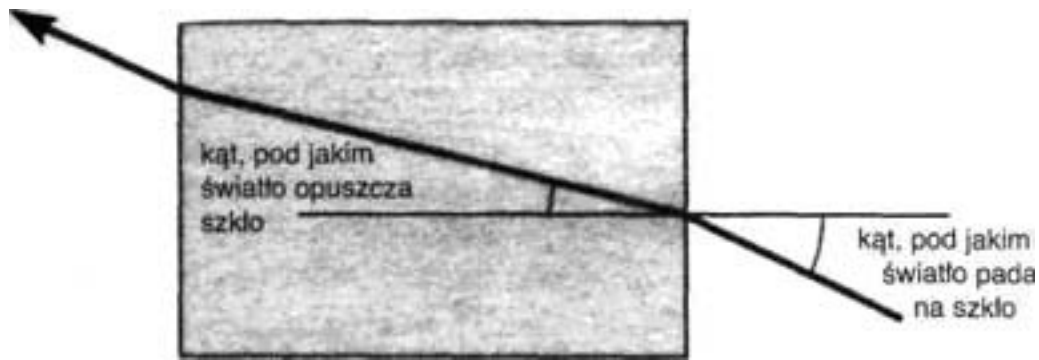
Ryc. 5.9 Skomplikowany i nieprzytomnie kosztowny hipotetyczny sposób rozwiązania

problemu tworzenia obrazu zarówno o dużej ostrości, jak i odpowiednio jasnego: soczewka obliczeniowa

Promienie te przecinałyby się nieustannie, tworząc mozaikę prostych linii przypominającą dobrze wymieszane spaghetti. Magiczne okno razem z towarzyszącym mu komputerem musiałyby sobie poradzić z każdym spośród milionów tych promieni i obliczyć dokładny kąt, pod którym należy go załamać. Skąd mógłby taki cudowny komputer pochodzić? Chyba tylko z samej krainy czarów. Czyżbyśmy natrafili na Waterloo, czy jest to nieprzebyta przepaść, odgradzająca nas nieodwołalnie od Szczytu Nieprawdopodobieństwa?

Otóż odpowiedź brzmi: nie. Komputer przedstawiony na schemacie jest tylko tworem wyobraźni, mającym uświadomić nam, jak złożone może być zadanie, jeśli patrzy się na problem w taki sposób. Gdy jednak spróbować innego podejścia, rozwiązanie okazuje się śmiesznie łatwe. Istnieje coś, co jest absurdalnie proste, a co posiada wszystkie magiczne właściwości naszego fantastycznego urządzenia i wcale nie wiąże się z użyciem jakiegoś komputera, jakiegoś elektronicznego cudu, i nie wymaga żadnego nieprzytomnie skomplikowanego sposobu działania. Tym czymś jest soczewka. Nie potrzeba komputera, ponieważ tak naprawdę nie przeprowadza się tu żadnych obliczeń. Te, wydawałoby się, niezmiernie skomplikowane obliczenia milionów kątów promieni świetlnych dokonują się bowiem automatycznie i bez najmniejszego wysiłku, dzięki własnościom wyprofilowanej gałki przezroczystego materiału. Poświęcę trochę czasu na przedstawienie zasad działania soczewek, by wykazać, że ich ewolucja wcale nie musiała być bardzo skomplikowana.

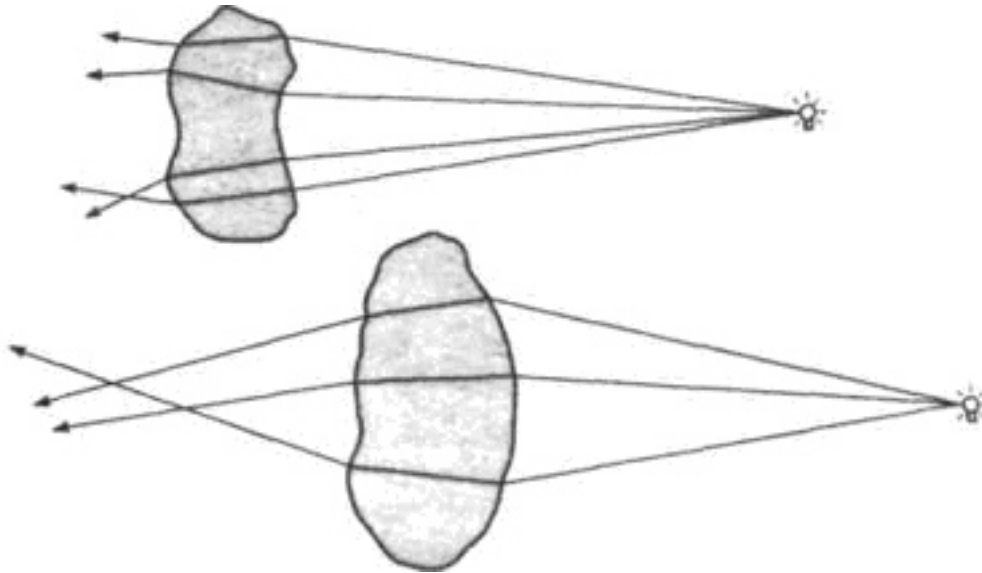
Faktem fizycznym jest zjawisko załamania się światła przechodzącego z jednej przezroczystej substancji do drugiej (ryc. 5.10). Kąt załamania światła zależy od rodzaju substancji, niektóre bowiem mają większy współczynnik załamania światła (będący miarą zdolności odchylenia toru promienia świetlnego), a inne - mniejszy. Gdy mówimy o wodzie i szkle, kąt załamania jest niewielki, ponieważ współczynniki załamania światła dla wody i szkła niewiele się różnią. Jeśli natomiast promień przechodzi z powietrza do szkła, światło odchyła się o nieco większy kąt, ponieważ powietrze ma stosunkowo niewielki współczynnik załamania.



Ryc. 5.10 Jak promień świetlny jest odchylany. Załamanie światła w szklanym sześciacie

Między wodą a powietrzem z kolei załamanie światła jest już wystarczająco duże, by zanurzona w wodzie część wiosła wydawała się przesunięta.

Rycina 5.10 przedstawia szklany sześciąt w powietrzu. Gruba linia to promień świetlny padający na szkło, załamany w nim, po czym - kiedy opuszcza szkło - załamany ponownie pod takim samym kątem jak na początku. Nie ma oczywiście żadnego powodu, by kawałek przezroczystego materiału miał doskonale równoległe ścianki. W zależności od kąta, pod jakim ustawiona jest powierzchnia omawianego przez nas kawałka szkła, będzie on wysyłał promienie świetlne w takim kierunku, w jakim zechcemy. A jeśli na powierzchni tego kawałka znajduje się (jak na oszlifowanym diamencie) wiele drobnych ścianek ustawionych pod różnymi kątami, wtedy wiązki promieni mogą być wysyłane w wielu różnych kierunkach (ryc. 5.11). Jeśli szklana gałka jest wypukła po jednej stronie lub po obu, staje się soczewką: funkcjonalnym odpowiednikiem naszego magicznego okna. Przezroczyste materiały nie są czymś rzadkim. Właściwości takie mają na przykład woda i powietrze - dwie najbardziej powszechne substancje na kuli ziemskiej. Podobnie jak wiele innych cieczy. I podobnie jak wiele kryształów, jeśli tylko ich powierzchnia zostanie wygładzona, na przykład przez morskie fale. Wyobraźmy sobie bryłkę jakiegoś krystalicznego materiału o przypadkowym kształcie, wyrzeźbionym przez fale. Promienie świetlne pochodzące z jednego źródła załamują się w nim pod najrozmaitszymi kątami i rozchodzą w najrozmaitszych kierunkach.



Ryc. 5.11 Przypadkowe bryłki załamują promienie świetlne w zupełnie nieprzydatnych kierunkach.

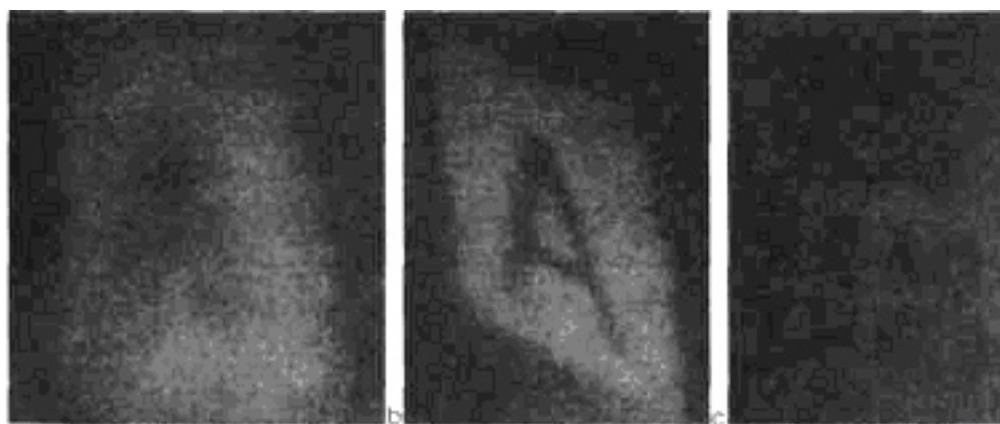
Bryłki mają bardzo różne kształty. Dość często zdarzają się wypukłe po obu stronach. Jak zmieniają one bieg promieni świetlnych pochodzących z takiego źródła jak na przykład żarówka?

Kiedy promienie świetlne opuszczają bryłkę o nieregularnie wypukłych bokach, zwykle zbiegają się ze sobą. Nie w dokładnie jednym punkcie - takim, który pozwoliłby na powstanie doskonałego obrazu źródła światła, jak byłoby w przypadku hipotetycznego magicznego okna. Tego nie możemy oczekiwać. Jest to jednak zmiana w zdecydowanie pożądanym kierunku. Każda bryłka kwarcu, której koleje losu nadały w przybliżeniu zaokrąglony kształt i doprowadziły do tego, że ma po obu stronach gładkie ścianki, może służyć jako całkiem niezłe magiczne okno - prawdziwa soczewka tworząca obrazy może dalekie od doskonałości, ale dużo jaśniejsze niż powstające w aparacie szczelinowym. Bryłki obrobione przez wodę (zwane otoczakami) są w istocie najczęściej wypukłe po obu stronach. Jeśli tak się składa, że są to bryłki przezroczystego materiału, wiele z nich może stanowić całkiem dobre, choć bardzo proste, soczewki.

Otoczaki to tylko jeden z przykładów przypadkowych, przez nikogo nie zaprojektowanych obiektów, mających własności prostych soczewek. Są i inne. Kropla wody zwisająca z liścia też ma wypukłe brzegi. I nic nie może na to poradzić. Automatycznie, bez żadnego naszego udziału, będzie ona działać jak prosta soczewka. Ciecze i żele przybierają automatycznie postać kulistą, o ile nie przeciwdziałają temu jakieś siły, na przykład siła

przyciągania. A to oznacza, że muszą działać jak soczewki. Tak samo jest z wieloma materiałami biologicznymi. Młoda meduza ma soczewkowaty kształt i jest przy tym wspaniale przezroczysta. Można ją uznać za całkiem niezłą soczewkę, choć w rzeczywistości te jej własności nigdy nie są wykorzystywane i nie ma podstaw, by sądzić, że dobór naturalny faworyzował jej kształt akurat z tego względu. Przezroczystość daje jej zapewne tę przewagę, że wrogom trudno ją dostrzec, a charakterystyczny kształt wynika prawdopodobnie z jakichś przyczyn konstrukcyjnych, które nie mają nic wspólnego z soczewkami.

Na rycinie 5.12 pokazuję kilka obrazów rzucanych na ekran przez, różne proste i nie zaprojektowane urządzenia tworzące obrazy. Rycina 5.12a pokazuje wielką literę A, rzuconą na papier znajdujący się wewnątrz ciemni optycznej (jest to zamknięte pudełko kartonowe z dziurką w jednym z jego boków). Bardzo trudno byłoby ją rozpoznać, gdybyśmy nie wiedzieli, co to ma być, mimo że posłużyłem się naprawdę ostrym światłem.



Ryc. 5.12 Obrazy widziane przez różne własnoręcznie przeze mnie zrobione dziurki i proste, prowizoryczne soczewki: (a) zwykły otwór; (b) zwisającą torebkę plastikową, do której nalałem wodę; (c) kieliszek do wina napełniony wodą.

Aby wpuścić do tego pudełka wystarczająco dużo światła, żeby coś w ogóle dało się zobaczyć, musiałem zrobić stosunkowo duży otwór, o średnicy około centymetra. Mogłem pokusić się o uzyskanie ostrzejszego obrazu, zmniejszając otwór, ale wtedy błona filmowa niczego by nie zarejestrowała - zgodnie z surowymi prawami opłacalności, o których mówiliśmy już wcześniej.

A teraz popatrzmy, co się dzieje, kiedy zastosujemy choćby bardzo prostą soczewkę. Na rycinie 5.12b widzimy tę samą literę A, której obraz powstał na tej samej ścianie kartonowego

pudełka. Tylko że tym razem zawiesiłem przed otworem plastikową torebkę napełnioną wodą. Torebka ta nie jest wcale starannie zaprojektowaną soczewką. Ona po prostu, obciążona płynem, zwisa, przybierając kulisty kształt. Podejrzewam, że meduza mająca doskonale gładką powierzchnię (a nie pomarszczoną, jak wszystkie plastikowe torebki) sprawdziłaby się jeszcze lepiej w roli soczewki. Rycina 5.12c przedstawia obraz napisu CAN YOU READ THIS? w tym samym pudełku o tym samym otworze, ale tym razem przed otworem postawiłem pękaty kieliszek do wina, do którego nalałem wody. Kieliszek to z pewnością przedmiot wykonany ludzką ręką, jego projektant nigdy jednak nie zamierzał uczynić z niego soczewki, a kulisty kształt nadał mu z zupełnie innych przyczyn. Mimo to znowu obiekt nie zaprojektowany do tego celu okazuje się całkiem dobrą soczewką.

Przodkowie żyjących obecnie zwierząt oczywiście nie dysponowali ani plastikową torebką, ani kieliszkiem do wina. Nie mam zamiaru nikogo przekonywać, że ewolucja oka przeszła przez stadium plastikowych torebek czy kartonowych pudeł. Chodzi mi o to, że torebka - podobnie jak kropla wody, meduza czy bryłka kwarcu - nie została zaprojektowana jako soczewka. Przybiera tylko taki kształt z powodów, które są ważne w przyrodzie.

Nietrudno więc wyobrazić sobie, że pierwsze soczewki zaistniały całkiem przypadkowo. Wystarczyło tylko, by jakaś grudka półprzezroczystego żelu przybrała kulisty kształt (a jest wiele powodów, dla których mogło się tak stać), a już stanowiłoby to co najmniej drobne ulepszenie prostego oka kubkowatego czy aparatu szczelinowego. Drobne ulepszenie to wszystko, czego nam potrzeba w powolnej wspinaczce niższymi stokami Góry Nieprawdopodobieństwa. Jak mogłyby wyglądać stadia pośrednie? Popatrzmy ponownie na rycinę 5.8 - muszę tu znowu podkreślić, że przedstawia ona oczy obecnie żyjących zwierząt i wcale nie jest pewne, że przez takie stadia przechodziła ewolucja oczu rzeczywistych przodków współczesnych nam stworzeń. Zauważmy, że wgłębienie na rycinie 5.8b (ślimak morski) wysłane jest warstwą przezroczystego, galaretowatego materiału, tworzącego coś w rodzaju ciała szklistego (cs), które ma chronić delikatne światłoczułe komórki przed niekorzystnym działaniem stale napływającej wody morskiej. Ta czysto ochronna szklista warstwa ma jedną ważną właściwość charakterystyczną dla soczewek: przezroczystość, brakuje jej jednak odpowiedniej kulistości, powinna też być nieco grubsza. Popatrzmy teraz na ryciny 5.8c, d i e, przedstawiające oczy małża, ucha morskiego i nereidy. Stanowią one nie tylko kolejne przykłady oczu kubkowatych i stadiów przejściowych między nimi a aparatami szczelinowymi, wszystkie z nich są także zaopatrzone w grubą warstwę

szklistą. Ciała szkliste przybierające mniej lub bardziej bezkształtne formy często spotyka się w świecie zwierząt. Jako soczewki, żadna z tych kupek galaretki nie wzruszyłaby zapewne pana Nikona czy Zeissa. A jednak każda grudka żelu mająca choć trochę wypukłe boki stanowiłaby poważne udoskonalenie widzenia w porównaniu z otwartą szczeliną.

Największa różnica między dobrą soczewką a czymś podobnym do takiej warstwy szklistej, jaką ma ucho morskie, polega na tym, że aby uzyskać najlepszy efekt, soczewka powinna być oddzielona od siatkówki i umieszczona w pewnej od niej odległości. Przestrzeń między soczewką a siatkówką wcale nie musi być pusta. Może ją wypełniać bardziej szklisty materiał. Trzeba tylko, by soczewka miała wyższy współczynnik załamania światła niż substancja, która dzieli ją od siatkówki. Jest wiele sposobów na osiągnięcie takiej sytuacji i żaden z nich nie jest trudny. Zajmę się tylko jednym, polegającym na tym, że soczewka powstaje w wyniku kondensacji przedniej części ciała szklistego - podobnie jak na rycinie 5.8e.

Po pierwsze, pamiętajmy, że współczynnik załamania światła mają wszystkie przezroczyste substancje. Jest on miarą odchylenia toru promieni świetlnych przechodzących przez tę substancję. Ludzie wytwarzający soczewki zwykle przyjmują, że współczynnik załamania światła bryłki szkła jest taki sam w całym jej obrębie. Kiedy promień świetlny pada na określoną szklaną soczewkę i zmienia swój kierunek o pewien kąt, biegnie po linii prostej, dopóki nie dotrze do drugiej ścianki soczewki. Sztuka robienia soczewek polega na szlifowaniu i gładzeniu powierzchni kawałka szkła tak, by nadać mu pożądany kształt, oraz na łączeniu różnych soczewek w złożone zestawy.

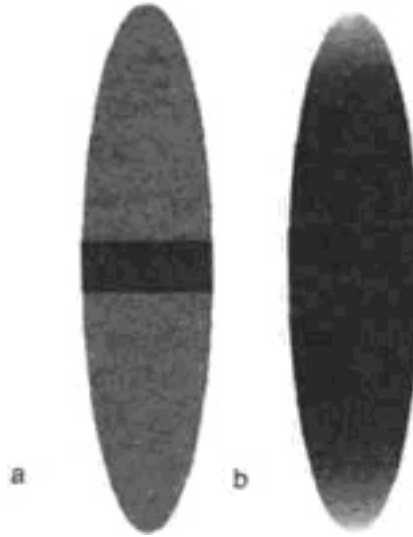
Sklejając ze sobą kawałki różnego rodzaju szkła w skomplikowany sposób, można otrzymać soczewki złożone o różnych współczynnikach załamania światła w ich poszczególnych częściach. Na przykład środkowa część soczewki przedstawionej na rycinie 5.13a wykonana została z innego rodzaju szkła, o większym współczynniku załamania światła. Mamy tu do czynienia z nieciągłymi zmianami współczynników załamania światła. Nie ma jednak żadnego powodu, by zmiany te nie przebiegały w sposób ciągły i współczynnik załamania nie przybierał stopniowo rosnącej wartości w czasie przechodzenia promienia świetlnego przez określony materiał. Sytuację taką przedstawia rycina 5.13b. Takie soczewki o stopniowo zmieniającym się współczynniku załamania światła bardzo trudno wyprodukować, ze względu na sposób, w jaki się je wytwarza ze szkła.

Już po napisaniu tej części książki zostałem poinformowany przez prowadzącego ze mną

korespondencję Howarda Kleyna, zatrudnionego niegdyś w Cable and Wireless Company (Spółce Telefoniczno-Telegraficznej), że w istocie ludzie wytwarzają odpowiedniki soczewek o stopniowo zmieniającym się współczynniku załamania światła. Są nimi światłowody o stopniowym współczynniku załamania światła. Zgodnie z opisem Kleyna robi się to w następujący sposób: bierze się rurkę dobrego szkła o średnicy kilku centymetrów i długości około jednego metra i nieco ją nagrzewa. Następnie wdmuchuje się do niej drobny proszek szklany, który topi się i łączy ze ściankami rurki, tym samym pogrubiając je i zmniejszając przekrój. I tu zaczyna się cała sztuczka. Ten stale wdmuchiwany szklany proszek ma stopniowo zmieniające się właściwości - a dokładniej mówiąc, zrobiony jest ze szkła o stopniowo rosnącym współczynniku załamania światła. Kiedy otwór rurki całkiem się wypełni, staje się ona szklanym prętem o rdzeniu charakteryzującym się największym współczynnikiem załamania światła, który stopniowo maleje w kolejnych warstwach i osiąga najmniejszą wartość na jego ściankach. Pręt ten jest następnie ponownie ogrzewany i wyciągany w cienkie włókno, które zachowuje taki sam stopniowo zmieniający się współczynnik załamania światła, malejący w sposób ciągły od środka ku brzegom, tylko w miniaturze. Włókno to można uznać za rodzaj soczewki o stopniowo zmieniającym się współczynniku załamania światła, choć bardzo cienkiej i długiej. Jego własności jako soczewki nie są jednak wykorzystywane do tworzenia obrazów, ale służą poprawieniu jakości tego włókna jako przewodnicy światła, która ma zapobiegać rozpraszaniu się wiązki światła. W wieloniciowych kablach światłowodowych zwykle umieszcza się sporo takich włókien.

Łatwiej osiągnąć takie właściwości żywym soczewkom, nie powstają one bowiem od razu w całości, ale tworzą się z niewielkich elementów wyjściowych w czasie rozwoju całego organizmu. I, w istocie, soczewki o stopniowo zmieniającym się współczynniku załamania światła znaleziono u ryb, ośmiornic i wielu innych zwierząt.





Ryc. 5.13 Dwa rodzaje soczewek złożonych

Jeśli popatrzy się uważnie na rycinę 5.8e, to tuż nad otworem oka można dostrzec coś, co wygląda jak obszar o nieco innym współczynniku załamania światła niż jego wnętrze.

Chciałem jednak opowiedzieć przede wszystkim o tym, jak soczewki mogły wyewoluować ze szklistej substancji wypełniającej oko. Zasadę, zgodnie z którą mogło się to odbyć, oraz prędkość, jaką proces ten mógł osiągnąć, przedstawiło na modelu komputerowym dwoje szwedzkich naukowców - Dan Nilsson i Susanne Pelger. Opiszę ich niezwykle elegancki model w nieco okrężny sposób. Zamiast opowiedzieć wprost o tym, co osiągnęli, powrócę do naszego przejścia od modelu biomorfów do programu „NetSpinner” i zapytam, jak w idealnej postaci powinien wyglądać program komputerowy podobnego rodzaju, mający obrazować przebieg ewolucji oka. Wyjaśnię następnie, że w zasadzie odpowiada to temu, co zrobili Nilsson i Pelger, chociaż ich droga była nieco inna.

Przypomnijmy sobie, że biomorfy wyewoluowały w rezultacie sztucznego doboru: o selekcji decydował ludzki gust. Nie potrafiliśmy wymyślić żadnego odpowiadającego rzeczywistości sposobu na wprowadzenie do tego programu działania doboru naturalnego, dlatego zwróciliśmy się ku sieciom pajęczym. Zaletą modelu sieci polegała na tym, że są one tworamami dwuwymiarowymi, dzięki czemu ich efektywność w łapaniu much można automatycznie wyliczyć, posługując się komputerem. Podobnie jest z kosztami związanymi z wytworzeniem jedwabiu potrzebnego do budowy konkretnej sieci. Komputer może więc dokonać automatycznego wyboru między różnymi sieciami, podobnie jak czyni to dobór naturalny.

Zgodziliśmy się, że sieci pajęczne są pod tym względem wyjątkowe: nie udałoby się nam tego zrobić z kręgosłupem geparda goniącego za zdobyczą czy ogonem płynącego wieloryba, ponieważ fizyczne szczegóły decydujące o osiągnięciu skuteczności trójwymiarowego narządu są zbyt skomplikowane. Oko przypomina jednak pod tym względem sieć pajęczną. Skuteczność modelowego oka narysowanego w dwóch wymiarach może być ustalona automatycznie przez komputer. Nie chcę przez to sugerować, że oko jest tworem dwuwymiarowym. Oczywiście nie jest. Chodzi mi tylko o to, że przy założeniu, że oko jest okrągłe, kiedy patrzy się na nie na wprost, jego skuteczność w trzech wymiarach można ustalić na podstawie rysunku komputerowego jednego podłużnego przekroju przechodzącego przez jego środek. Komputer może przeprowadzić prostą analizę biegu promieni świetlnych i stwierdzić, jak ostry obraz może uzyskać badane oko. Taka ocena jakości jest odmianą obliczeń dokonywanych w ramach programu „NetSpinner”, określającego skuteczność komputerowych sieci pajęcznych w łapaniu komputerowych much.

Podobnie jak „NetSpinner” generował potomne sieci pajęczne, tak nasz program będzie generował potomne modele oczu. Każda para oczu potomnych ma z grubsza taki sam kształt jak oczy macierzyste, z jakąś nieznaczną tylko zmianą. Oczywiście część owych komputerowych oczu będzie tak odbiegać od rzeczywistych, że być może nawet nie zasłuży na tę nazwę, ale to nie szkodzi. Można je mimo to „hodować”, a ich własnościom optycznym przypisywać jakąś liczbową ocenę - choć będzie ona prawdopodobnie bardzo niska. Możemy więc, podobnie jak w programie „NetSpinner”, otrzymywać oczy w procesie ewolucji na drodze doboru naturalnego za pomocą komputera. Rozpoczynając na przykład od całkiem niezłego oka i dochodząc do bardzo dobrego oka. Albo zaczynając od bardzo słabego oka, lub od kompletnego jego braku.

Bardzo pouczająca jest obserwacja, jak program typu „NetSpinner” symuluje proces ewolucji, gdy punktem wyjścia jest jakaś najbardziej podstawowa forma, a potem sprawdzanie, do czego dochodzi. Można też dojść do różnych punktów kulminacyjnych w kolejnych powtórzeniach symulowanej ewolucji, ponieważ na Szczyt Nieprawdopodobieństwa zwykle prowadzi więcej niż jedna droga. Możemy poddać nasz model oka ewolucji i uzyskać efektowny pokaz działania doboru. Nie dowiemy się jednak dużo więcej, pozwalając modelowi ewoluować, niż moglibyśmy się dowiedzieć, skrupulatnie przeszukując i systematycznie sprawdzając, dokąd wiedzą (wiedzie) ścieżki (ścieżka) prowadzące (-a) na Szczyt Nieprawdopodobieństwa. Ścieżką, która - z określonego, punktu wyjścia - wiedzie zawsze w górę, a nigdy w dół, podąży dobór

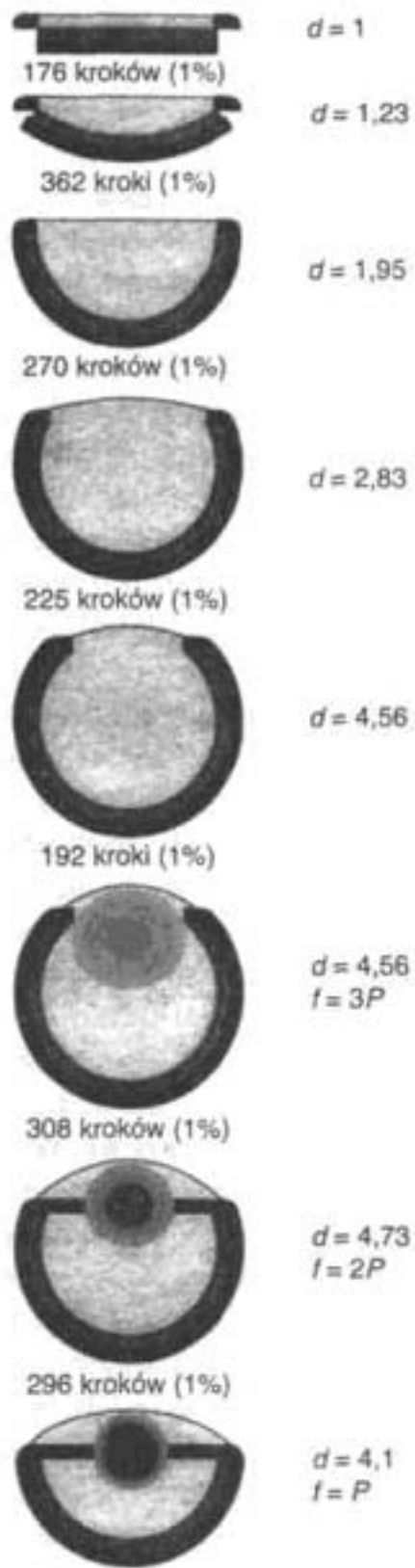
naturalny. Kiedy uruchomi się model w trybie symulacji ewolucji, dobór naturalny wybierze tę drogę. Oszczędzimy więc komputerowi czasu, jeśli systematycznie przeszukamy drogi wiodące zawsze tylko w górę i prowadzące wyłącznie na szczyty osiągalne z postulowanego punktu wyjścia. Ważna zasada obowiązująca w tej grze brzmi: zejście w dół jest zabronione. Nilsson i Pelger w istocie przeprowadzili bardzo systematyczne przeszukiwanie, za chwilę jednak wyjaśni się, dlaczego omawiam tu ich pracę tak, jakby w grę wchodziło symulowanie procesu ewolucji na podobnych zasadach jak w programie „NetSpinner”.

Niezależnie od tego, jak zdecydujemy się sprawdzić nasz model - czy „w trybie doboru naturalnego”, czy raczej „w trybie systematycznego przeszukiwania Góry Nieprawdopodobieństwa” - musimy zdecydować się na przyjęcie pewnych zasad decydujących o rozwoju zarodkowym, czyli reguł wyznaczających zależności między genami a kontrolowanymi przez nie procesami rozwojowymi. Jak wpływają mutacje na kształt ciała? Na czym dokładnie miałyby polegać powodowane przez nie zmiany? Wreszcie - jak duże, lub jak niewielkie, miałyby być te mutacje? W programie „NetSpinner” mutacje oddziałują na pewne określone zachowania pajaków. Mutacje biomorfów decydują o długości odgałęzień i kątów, pod jakimi wyrastają one z pnia. Nilsson i Pelger rozpoczęli od uznania, że w typowym, przypominającym aparat fotograficzny oku da się wyróżnić trzy główne typy tkanek. Pierwsza to zewnętrzna osłona „aparatu”, zwykle nieprzepuszczalna dla światła. Druga to warstwa „fotokomórek”. A trzecia - to rodzaj przezroczystego materiału, który może pełnić funkcje ochronne lub wypełniać jamę wgłębienia - jeśli, oczywiście, ma się do czynienia z wgłębieniem, ponieważ podejmując symulację niczego się z góry nie zakłada. Punktem wyjścia Nilssona i Pelger - podnóżem ich Góry Nieprawdopodobieństwa - była płaska warstwa komórek światłoczułych (oznaczona szarym kolorem na rycinie 5.14), znajdująca się na płaskim ekranie (czarny na tej rycinie) i przykryta warstwą przezroczystej tkanki (biała). Przyjęli oni, że skutki mutacji polegają na kilkuprocentowych zmianach w wielkości czegokolwiek, na przykład niewielkim zmniejszeniu grubości warstwy przezroczystej czy niewielkim zwiększeniu współczynnika załamania światła pewnego fragmentu tej warstwy. Pytanie tak naprawdę brzmiało: jak wysoko uda się dotrzeć, startując z tej konkretnej bazy i systematycznie się wspinając. Wspinanie się znaczy tyle, co uleganie mutacjom, krok po kroku, i akceptowanie tylko tych spośród nich, które powodują udoskonalenie własności optycznych.

Dokąd więc dochodzimy? Okazuje się, że idąc łagodnie wznoszącą się ścieżką, od

punktu, w którym nie było żadnego oka, docieramy do oka, jakie spotykamy u ryb, zaopatrzonego w soczewkę. Soczewka ta nie jest jednorodna, jak zwyczajne soczewki wytwarzane przez człowieka. Ma zmienny współczynnik załamania światła - przypomina soczewki, jakie znamy już z ryciny 5.13b. Zmiany tego współczynnika przedstawiono na niej jako różne odcienie szarości. Soczewka ta powstała w wyniku zagęszczenia (kondensacji) szklanego materiału w efekcie stopniowych zmian wielkości współczynnika załamania światła. I nie ma w tym żadnej sztuczki. Nilsson i Pelger nie wyposażyli swojego symulowanego szklanego materiału w jakiś zawiązek soczewki, która miała się w końcu pojawić. Oni po prostu pozwolili, by pozostający pod kontrolą genetyczną współczynnik załamania światła każdego niewielkiego fragmentu przezroczystego materiału trochę się zmieniał. Każda odrobina przezroczystego materiału zmieniała swój współczynnik w dowolnym kierunku. Rezultatem takich procesów mogła być nieskończona liczba układów zmieniających się współczynników załamania światła. Siłą, która sprawiła, że soczewki przybrały swój kształt, była niezakłócona wędrówka w górę, odpowiednik selekcji hodowlanej, w której wybierane jest najlepiej widzące oko w każdym pokoleniu.

Nilsson i Pelger chcieli nie tylko wykazać, że istnieje gładka trajektoria ulepszeń wiodąca od płaskiej warstwy, którą trudno nazwać okiem, do całkiem niezłego oka, jakim dysponują ryby. Dzięki swojemu modelowi badacze ci mogli także ocenić czas, potrzebny do wyewoluowania oka z niczego. Model wykonał 1829 kroków, przy czym każdy z nich wiązał się z jednoprocentową zmianą wielkości dowolnego elementu oka. Jeden procent to jednak żadna magiczna wartość. Taki sam całkowity rezultat ilościowy można by osiągnąć w 363 992 krokach przy jednostkowej zmianie obejmującej 0,005 procent. Nilsson i Pelger musieli znaleźć dla całkowitego wyniku końcowego realistyczne, niearbitralnie ustanowione jednostki, musiały więc nimi być zmiany genetyczne. Konieczne też było przyjęcie kilku wstępnych założeń, na przykład dotyczących intensywności doboru. Badacze ci przyjęli, że na każde 101 osobników dysponujących ulepszonym okiem, które przeżywały, przeżywało również 100 osobników o nieulepszonym oku. Nie była to więc wielka intensywność, w potocznym rozumieniu tego słowa; z ulepszeniami czy bez nich zwierzęta miały sobie radzić prawie tak samo.



Ryc. 5.14 Teoretyczny ciąg zdarzeń ewolucyjnych prowadzących do wykształcenia się

rybiego oka, przedstawiony przez Nilssona i Pelger. Liczba kroków między poszczególnymi stadiami wiąże się z arbitralnie przyjętym założeniem, że każdy krok obejmuje jednoprocентовą zmianę wielkości jakiegokolwiek elementu oka. W tekście wyjaśniam, jak te jednostki przekładają się na liczbę ewoluujących pokoleń.

Nilsson i Pelger celowo wybrali taką właśnie niewysoką i ostrożną, czy pesymistyczną wręcz, wielkość, ponieważ chcieli zrobić wszystko, by uniknąć zniekształcenia swoich szacunków tempa ewolucji i woleli raczej je zaniżyć. Musieli także dokonać założeń co do odziedziczalności i współczynnika zmienności. Współczynnik ten jest miarą zmienności panującej w obrębie populacji. Zmienność jest konieczna, by działał dobór naturalny; Nilsson i Pelger celowo ustalili ją na pesymistycznie niskim poziomie. Odziedziczalność natomiast określa, jaka część zmienności występującej w danej populacji jest dziedziczona. Jeśli odziedziczalność jest niska, oznacza to, że zmienność ma głównie przyczyny środowiskowe i dobór naturalny, choć wybiera osobniki, które przetrwają lub zginą, ma niewielki wpływ na przebieg ewolucji. Jeśli natomiast odziedziczalność jest wysoka, dobór ma duże znaczenie dla przyszłych pokoleń, ponieważ przeżycie osobnika rzeczywiście przekłada się na przeżywanie genów. Zwykle okazuje się, że odziedziczalność wynosi więcej niż 50 procent, decyzja Nilssona i Pelger, by przypisać jej wartość 50 procent, była więc decyzją pesymistyczną. Przyjęli oni również jeszcze jedno pesymistyczne założenie, zgodnie z którym różne części oka nie mogły zmieniać się równocześnie w jednym pokoleniu.

Określenie „pesymistyczny” oznacza tu, że oceniany w ten sposób czas konieczny, by wyewoluowało oko, będzie bardzo długi. Oto powód, dla którego lepsza jest ocena przesadnie pesymistyczna niż optymistyczna. Ewolucyjny sceptyk, taki, jakim była na przykład Emma Darwin, naturalnie skłonny jest sądzić, że ewolucja tak niezmiernie skomplikowanego narządu jak oko, jeśli w ogóle byłaby możliwa, musiałaby trwać niewyobrażalnie długo. Nilsson i Pelger natomiast uzyskali zaskakująco szybki wynik. Obliczenia dowiodły, że wystarczą 364 tysiące pokoleń do wyewoluowania oka zaopatrzonego w soczewkę, podobnego do takiego, jakie mają ryby. Liczba ta byłaby jeszcze mniejsza, gdyby ich założenia były bardziej optymistyczne (co oznacza zapewne, że i bliższe prawdy).

Ile to jest w latach 364 tysiące pokoleń? Zależy to oczywiście od czasu trwania jednego pokolenia. Zwierzęta, o których mówimy, to niewielkie organizmy morskie - pierścienice,

mięczaki i małe ryby. Dla nich czas generacji wynosi zwykle około roku. Nilsson i Pelger sformułowali więc wniosek, że ewolucja oka zaopatrzonego w soczewkę może się dokonać w ciągu niespełna pół miliona lat. A jest to w istocie bardzo, bardzo krótki okres, biorąc pod uwagę czas przemian geologicznych. Jest tak krótki w porównaniu z poprzedzającymi go erami, o których była mowa, że można go wręcz nazwać natychmiastowym. Utyskiwanie, że na ewolucję oka nie starczyłoby czasu, okazuje się nie tylko błędne, ale wręcz dramatycznie, stanowczo, sromotnie błędne.

Niektórych szczegółów w pełni rozwiniętego oka badania Nilssona i Pelger oczywiście nie obejmowały; niewykluczone, że ich ewolucja mogłaby (choć nie sądzę, żeby tak było) zająć nieco więcej czasu. Mam na myśli na przykład wcześniejsze wyewoluowanie komórek światłoczułych - nazywanych przeze mnie fotokomórkami: badacze przyjęli, że były już one wykształcone, kiedy włączyli swój model ewolucyjny. Inne nie uwzględnione elementy to mechanizmy pozwalające współczesnemu oku na zmianę ogniskowej, dostosowywanie stopnia rozwarcia źrenicy, czyli przysłony, oraz układy umożliwiające ruchy oczu. A także wszystkie systemy umiejscowione w mózgu prowadzące obróbkę informacji wzrokowej. Poruszanie oczami jest bardzo ważne, nie tylko z oczywistych względów, ale także dlatego, że umożliwia utrzymanie spojrzenia na oglądanym obiekcie, kiedy jest się w ruchu. Ptaki wykorzystują do tego mięśnie szyi utrzymujące głowę w jednakowej pozycji, niezależnie od ruchów reszty ciała. Skomplikowane układy pełniące tę funkcję angażują złożone mechanizmy mózgowe. Łatwo jednak dostrzec, że podstawowe, niedoskonałe dostosowanie jest lepsze niż nic, nietrudno więc wyobrazić sobie, jak maleńkie kroczki, dokonywane przez kolejne pokolenia przodków, zsumowały się na gładkie podejście ku Szczytowi Nieprawdopodobieństwa.

Zogniskowanie promieni docierających od bardzo odległych obiektów wymaga słabszej soczewki niż promieni pochodzących od obiektów położonych niedaleko. Możliwość tworzenia ostrych obrazów zarówno przedmiotów bliskich, jak i dalekich to luksus, bez którego można się obyć, ale w naturze liczy się nawet najmniejsza szansa na zwiększenie przeżywalności - i rzeczywiście u różnych rodzajów zwierząt spotyka się różne mechanizmy zmieniania ogniskowej soczewki. My, ssaki, czynimy to za pomocą mięśni, które rozciągają soczewkę, nieco zmieniając jej krzywiznę. Podobnie jest u ptaków i większości gadów. Kameleony, węże, ryby i żaby natomiast wykorzystują sposób znany nam z aparatów fotograficznych - odrobinę przesuwają soczewkę do przodu lub do tyłu. Zwierzęta z małymi oczami w ogóle nie zwracają sobie tym

głowy. Ich oczy działają jak najprostsze aparaty stałogniskowe - ogniskują z pewnym przybliżeniem, niezupełnie doskonale, promienie docierające ze wszystkich odległości. Z wiekiem nasze oczy stają się niestety coraz bardziej podobne do tego rodzaju aparatów i często potrzebujemy szkieł dwuogniskowych, by dobrze widzieć zarówno z bliska, jak i z daleka.

Nietrudno wyobrazić sobie stopniową ewolucję mechanizmów umożliwiających zmiany ostrości. Podczas eksperymentów z torebką foliową wypełnioną wodą szybko zauważyłem, że łatwo zmienić ostrość, naciskając torebkę. Nie zwracając uwagi na jej kształt, a nawet wcale na nią nie patrząc, ale koncentrując się wyłącznie na ostrości uzyskiwanego obrazu, po prostu naciskałem i ugniatałem torebkę na najrozmaitsze sposoby, dopóki obraz nie stał się wyraźniejszy. Dowolny mięsień leżący w sąsiedztwie szklanego materiału mógł więc - przypadkowo, gdy kurczył się z jakiegoś innego powodu - poprawić własności ogniskowania promieni przez soczewkę. Dało to początek drobnym ulepszeniom prowadzącym na szczyty Góry Nieprawdopodobieństwa, niezależnie od tego, czy efektem końcowym była metoda uzyskiwania ostrości, jaką posługują się ssaki, czy ta wykorzystywana przez kameleony.

Regulacja rozwarcia źrenicy - czyli otworu, przez który promienie świetlne dostają się do oka - może być nieco trudniejsza, ale nie aż tak bardzo. Ta umiejętność jest bardzo potrzebna i w oku, i w aparacie fotograficznym. Po prostu niezależnie od tego, jak czułą błonę filmową (komórkami światłoczułymi) się dysponuje, zawsze można sobie wyobrazić sytuację, w której światła jest za dużo (i wtedy oślepie), lub w której jest go za mało. Co więcej, im mniejszy jest ten otwór, tym większa głębia ostrości - czyli przedział odległości, które są jednocześnie widziane ostro. W dobrym aparacie fotograficznym, podobnie jak w oku, znajduje się światłomierz, który automatycznie zamyka przysłonę, kiedy Słońce wychyla się zza chmur, oraz otwierają, kiedy Słońce się chowa. Źrenica ludzkiego oka to prawdziwy cud automatyki, którego nie powstydziliby się najambitniejszy twórca miniaturowych wynalazków japońskich.

I znowu, nietrudno dostrzec początki drogi tego wymyślnego urządzenia od samej podstawy Góry Nieprawdopodobieństwa. Kiedy myślimy o źrenicy, wydaje się nam, że musi być kolistą. Ale tak wcale nie jest. Każdy inny kształt się sprawdza. Owce i bydlę mają źrenice o kształcie romboidalnym - podłużne i ustawione poziomo. Podobnie jest u ośmiornic i niektórych węży, źrenica innych węży z kolei jest pionową szczeliną. Źrenice kotów natomiast mogą mieć różne kształty - od kolistego do wąskiej, pionowej szpary (ryc. 5.15):

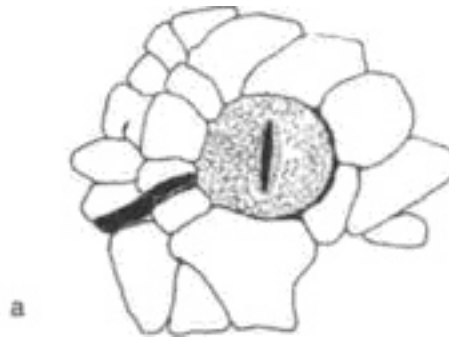


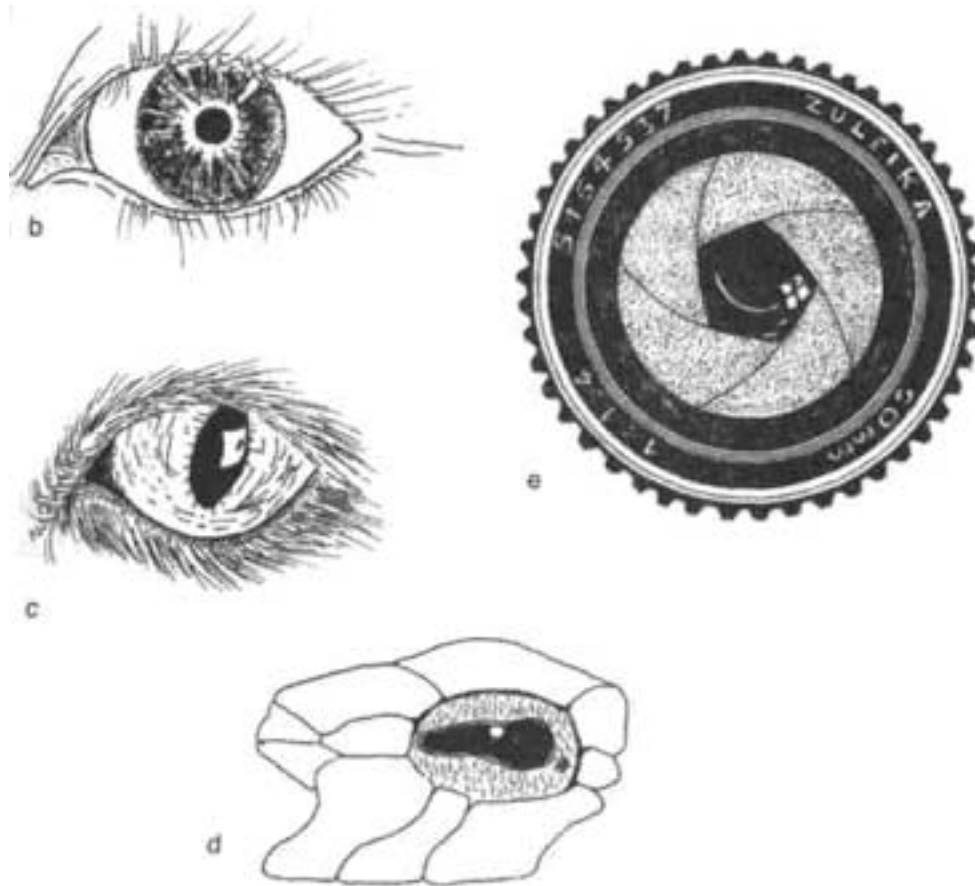
Czy Minnaloushe wie, że jego źrenice będą  
Podlegać ciągłym zmianom,  
Okrągłe zwiężą się w sierpy,  
Sierpy okrągłe się staną.  
Minnaloushe pełźnie przez trawy  
Samotny, mądry, proroczy,  
Wznosząc do zmiennego Księżyca  
Swe zmieniające się oczy.

*W. B. Yeats*

*Przełożyła Ludmiła Marjańska (przyp. red.).*

Nawet przysłony bardzo drogich aparatów fotograficznych bardziej przypominają wieloboki niż doskonałe koła. A to dlatego, że najważniejsza jest możliwość regulowania ilości światła wnikającego do środka. Kiedy sobie to uświadomimy, wczesne stadia ewolucji różnego rodzaju źrenic przestaną się wydawać problemem. Jest wiele drobnych ścieżek prowadzących przez niższe stoki Góry Nieprawdopodobieństwa. Przysłona z tęczówki nie jest bardziej nieprzekraczalną barierą ewolucyjną niż zwieracz odbytu.





Ryc. 5.15 Różne źrenice i przysłona aparatu fotograficznego:

(a) oko pytona siatkowatego; (b) oko ludzkie; (c) oko kota; (d) oko węża ostrogłowego; (e) przysłona aparatu fotograficznego.

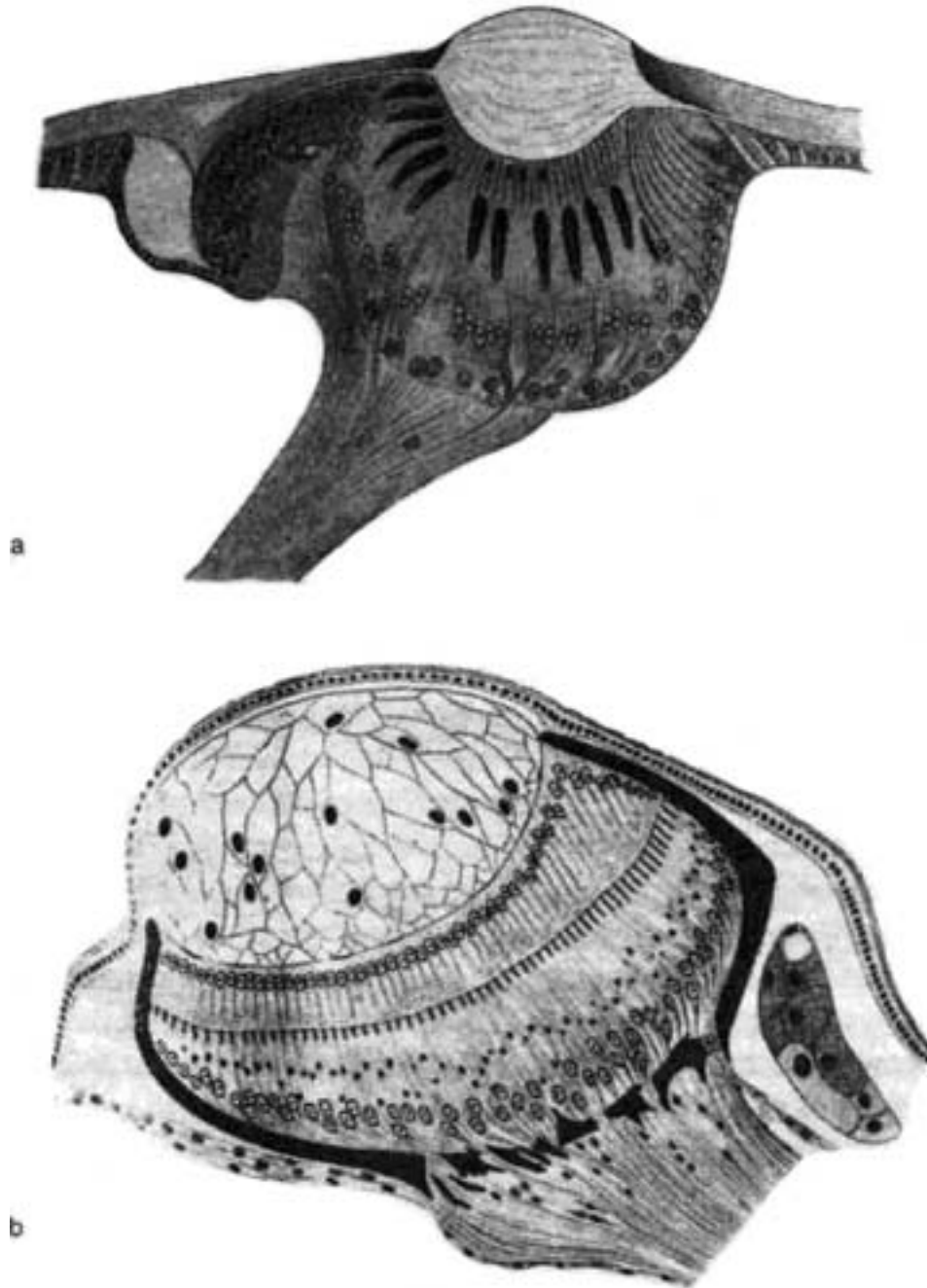
Najważniejszą zdolnością do udoskonalenia jest chyba prędkość reakcji źrenicy. Ale kiedy ma się już nerwy, wtedy przyspieszenie ich działania jest tylko łagodnym wślizgnięciem się na naszą górę. Ludzka źrenica reaguje szybko - łatwo to sprawdzić, patrząc w lustro i świecąc sobie w oko na przykład zapalniczką (najciekawszy efekt uzyskamy, świecąc w jedno oko i obserwując źrenicę drugiego - zmniejszy się ona równie gwałtownie, ponieważ zmiany rozwarcia źrenic obu oczu są ze sobą sprzężone).

Jak wiemy, ewolucja modelu Nilssona i Pelger doprowadziła do powstania soczewki o zmiennym współczynniku załamania światła, innej niż wytwarzane w fabrykach, ale podobnej do tych, jakimi dysponują ryby, kalmary i inne, działające podobnie jak aparaty fotograficzne oczy podwodnych zwierząt. Soczewki takie powstają z wyjściowo jednorodnego przezroczystego, galaretowatego materiału w wyniku zagęszczenia obszaru o miejscowo wysokim współczynniku

załamania światła.

Nie wszystkie soczewki rozwijają się dzięki zagęszczeniu galaretowatej substancji. Rycina 5.16 przedstawia dwa przykłady oczu owadów, których soczewki powstały zupełnie inaczej. Są to tak zwane oczy proste (o złożonych opowiem za chwilę). Soczewka pierwszego z nich, oka larwy błonkówki z rodziny pilarzowatych, powstała w efekcie pogrubienia rogowki - przezroczystej warstwy otaczającej oko od zewnątrz. W drugim - oku jętki - rogowka została nie zmieniona, a soczewkę utworzyła masa bezbarwnych, przezroczystych komórek. Oba te sposoby wykształcenia się soczewek stanowią kolejny przykład wspinaczki na Górę Nieprawdopodobieństwa różnymi drogami - jeszcze inaczej powstawało przecież wypełnione szklistym materiałem oko pierścienic. Wszystko wskazuje na to, że soczewki, podobnie jak same oczy, wyewoluowały wiele razy niezależnie od siebie. Góra Nieprawdopodobieństwa ma wiele szczytów i wzniesień.

Siatkówki również są tak różnorodne, że na pewno powstawały wielokrotnie. Komórki światłoczułe wszystkich siatkówek, które dotychczas omawiałem, poza jednym wyjątkiem, znajdowały się przed nerwami łączącymi je z mózgiem. Jest to układ najbardziej oczywisty, ale nie jedyny. Wyplawek na rycinie 5.4a najwyraźniej umieścił swoje fotoreceptory po niewłaściwej stronie względem łączących się z nimi nerwów. Tak samo jest z oczami kręgowców. Komórki światłoczułe zwrócone są do tyłu, a nie ku źródłu światła. [Oczy takie zwane są inwertowanymi (odwróconymi - przyp. red.).] Nie jest to jednak takie głupie, jak się na pierwszy rzut oka może wydawać.



Ryc. 5.16 Dwie drogi rozwoju soczewek w oczach owadów: (a) oko larwy błonkówki z rodziny pilarzowatych, (b) oko jętki

Komórki te są bardzo drobne i przezroczyste, ich ustawienie nie ma więc większego znaczenia: większość fotonów i tak przeniknie przez nie i dotrze do licznych warstw zawierających barwnik czekający tylko, by je wyłapać. Mówienie, że komórki te są zwrócone do tyłu, ma sens jedynie o tyle, że łączące je z mózgiem „kable” (nerwy) wybiegają początkowo w

niewłaściwym kierunku - ku światłu, a nie w głąb głowy. Następnie biegną ponad siatkówką do punktu zwanego plamką ślepą i tu przebijają siatkówkę, tworząc nerw wzrokowy (to właśnie dlatego siatkówka w tym miejscu niczego nie widzi). Choć wszyscy jesteśmy praktycznie ślepi w tym miejscu, właściwie nie zdajemy sobie z tego sprawy, ponieważ mózg sprytnie uzupełnia brakującą informację. Można to stwierdzić tylko wtedy, gdy obraz bardzo niewielkiego, poruszającego się obiektu, o którego istnieniu wiemy z innych źródeł, natrafi na naszą plamkę ślepą. Znika on wtedy tak, jakby ktoś zgasił światło, a jego miejsce zajmuje dokładnie takie samo tło jak wszędzie dookoła.

Powiedziałem, że ustawienie siatkówki właściwie nie ma znaczenia. Można jednak się upierać, że gdyby wszelkie inne elementy były dokładnie takie same, to oko z siatkówką ustawioną we „właściwym” kierunku sprawowałoby się lepiej. Jest to być może dobry przykład na to, że Góra Nieprawdopodobieństwa ma wiele szczytów, rozdzielonych głębokimi przełęczami. Jeśli tylko całkiem dobre oko zacznie ewoluować z siatkówką odwróconą do tyłu, jedyną szansą na wdrapanie się wyżej jest doskonalenie tego właśnie modelu. Radykalna zmiana projektu wymagałaby nie tyle zejścia kawałeczek w dół, ile spuszczenia się w naprawdę głęboką rozpadlinę, a na taki krok nie zezwala dobór naturalny. Siatkówka kręgowców ustawiona jest właśnie w ten sposób, ponieważ tak rozwija się w okresie zarodkowym i tak też z pewnością było u naszych najdawniejszych przodków. Oczywiście wielu bezkręgowców powstają w różny sposób, a ich siatkówki są zwykle „właściwie” ustawione.

Pomijając ciekawe skądinąd specyficzne ustawienie siatkówek kręgowców, trzeba podkreślić, że zajmują one jeden z najwyższych szczytów Góry Nieprawdopodobieństwa. Ludzka siatkówka zawiera około 166 milionów fotoreceptorów, dzielących się na kilka różnych rodzajów. Podstawowy jest ich podział na pręciki (specjalizujące się w niezbyt szczegółowym widzeniu czarno-białym przy słabym oświetleniu) i czopki (tworzące bardzo dokładne, barwne obrazy przy dobrym oświetleniu). Czytając te słowa, korzystamy tylko z czopków. Gdyby natomiast moja córka Juliet dostrzegła kometa Halleya, odpowiedzialne byłyby za to pręciki. Czopki znajdują się głównie w niewielkim, centralnie położonym obszarze, tzw. plamce żółtej (czytamy właśnie plamką żółtą), w którym nie ma pręcików. Dlatego jeśli się chce zobaczyć obiekt tak słabo widoczny jak kometa Halleya, trzeba patrzeć na niego nie wprost, ale nieco z boku - by jego bardzo skąpe światło nie padało na plamkę żółtą. Liczba komórek światłoczułych i różnicowanie się ich w poszczególne typy nie przedstawia wielkiego problemu z punktu

widzenia wspinaczki na Szczyt Nieprawdopodobieństwa. Oba rodzaje udoskonaleń składają się z pewnością ze stopniowych zmian tworzących wygodny szlak wiodący w górę.

Duża siatkówka jest lepsza od małej. Można w niej zmieścić więcej fotoreceptorów, a więc i dostrzec więcej szczegółów. Wszystko ma jednak swoją cenę. Przypomnijmy sobie surrealistyczny obrazek wielkookiego ślimaka (ryc. 5.1). Jest jednak sposób umożliwiający małym zwierzętom korzystanie z dużej siatkówki. Michael Land z Uniwersytetu w Sussex, który zgromadził godny pozazdroszczenia zbiór danych o zdumiewających rozwiązaniach w świecie zwierzęcych oczu i od którego dowiedziałem się prawie wszystko, co wiem na ten temat, odkrył wspaniałe rozwiązanie tego problemu u pajaków skaczących. [Te interesujące małe zwierzęta, kierujące oczy na osobę je oglądającą - co przydaje im niemal ludzkiego wdzięku - podchodzą swą zdobycz jak koty, a następnie skaczą na nią nagle i bez ostrzeżenia. Spadają na nieszczęsną ofiarę jak wystrzelone, przy czym porównanie to można potraktować o tyle dosłownie, że swój skok wykonują dzięki jednoczesnemu hydraulicznemu wpompowaniu płynu do wszystkich ośmiu odnóży naraz, co w pewnym stopniu przypomina sposób, w jaki dochodzi do erekcji członka (u tych spośród nas, którzy są w niego wyposażeni), z tym że pajęczy „wzwód odnóży” następuje nagle, a nie stopniowo.] Żadne pająki nie mają oczu złożonych: skaczące uczyniły swoje oczy pęcherzykowe (o typie aparatu szczelinowego) zadziwiająco ekonomicznymi (rycina 5.17). Land odkrył niezwykłą siatkówkę. Zamiast szerokiego ekranu, na który mógłby być rzucany cały obraz oglądanego obiektu, znalazł długi, pionowy pasek, nie dość szeroki, by zmieścić się na nim przyzwoity obraz. Pająk ten jednak znakomicie sobie radzi z tak wąską siatkówką dzięki genialnemu rozwiązaniu. Przesuwa on mianowicie stale siatkówkę, przemiatając obszar, na który rzutowany jest obraz. Jego efektywna siatkówka jest więc dużo większa niż rzeczywista - co przypomina zasadę, zgodnie z którą pająk bolas swoją pojedynczą zataczającą koła nicią panuje nad podobnie dużą przestrzenią łowną jak pająk budujący duże koliste sieci. Kiedy siatkówka pająka skaczącego dostrzeże coś interesującego, na przykład poruszającą się muchę lub innego pająka, koncentruje swoje ruchy skanujące na precyzyjnie wybranym obszarze. Jest to swojego rodzaju dynamiczny ekwiwalent naszej plamki żółtej. Wykorzystując tę sprytną sztuczkę, pająki skaczące doprowadziły oczy zaopatrzone w soczewkę do odpowiedniego, choć niższego niż kręgowców, szczytu w swoim własnym rejonie Góry Nieprawdopodobieństwa.

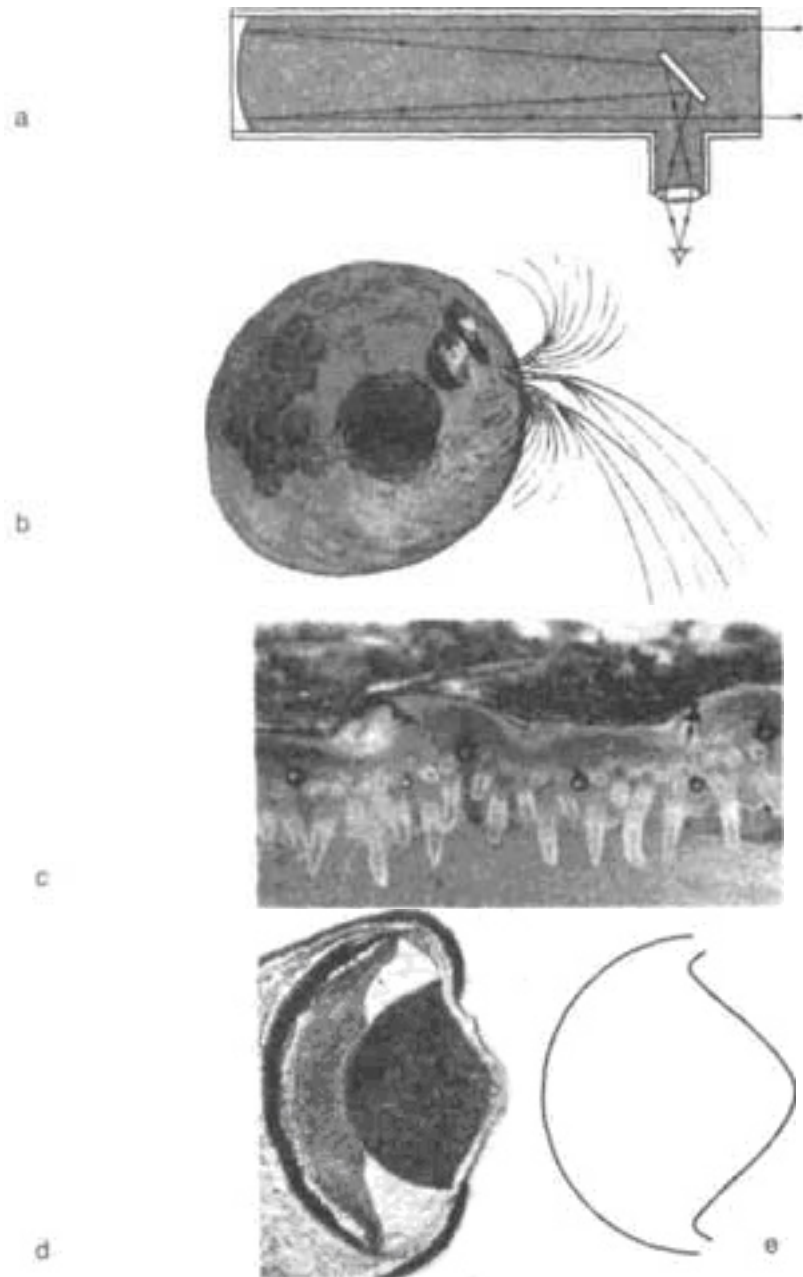
Mówiłem, że soczewki są doskonałym remedium na wady oka pęcherzykowego. Ale nie

tylko one. Zwierciadło wklęsłe działa na innej zasadzie, ale jest znakomitym alternatywnym rozwiązaniem tego samego problemu - zbiera dużą część światła z każdego punktu oglądanego obiektu i ogniskuje je w jednym miejscu powstającego w ten sposób obrazu. Z pewnych względów jest to nawet bardziej ekonomiczne rozwiązanie i dlatego wszystkie największe teleskopy optyczne świata wyposażone są w reflektory (ryc. 5.18a). Pewnym problemem jest fakt, że obraz powstaje w nich przed lustrem reflektora, na drodze promieni do niego docierających. Teleskopy zwierciadlane zwykle mają niewielkie lustro odbijające powstający obraz w bok, w stronę okularu lub aparatu fotograficznego. Małe lustro nie stanowi dużej przeszkody, nie na tyle dużej w każdym razie, by zniekształcić obraz. Nigdzie nie powstaje obraz tego lustra - co najwyżej powoduje ono niewielki ubytek promieni świetlnych docierających do głównego zwierciadła-reflektora umieszczonego z tyłu teleskopu.



Ryc. 5.17 Pająki skaczące





Ryc. 5.18 Zastosowanie zwierciadła wklęsłego jako rozwiązania problemu tworzenia obrazów oglądanych obiektów: (a) teleskop zwierciadlany; (b) duży, planktoniczny małżoraczek *Gigantocypris*, namalowany przez sir Alistera Hardy’ego, (c) oczy przegrzebka wyglądające ciekawie z otwartej muszli; (d) przekrój przez oko tego małża; (e) owal kartezjański

Wklęsłe lustro jest więc teoretycznie dopuszczalnym rozwiązaniem poważnego problemu. Czy w królestwie zwierząt można je spotkać? Pierwsze wzmianki na ten temat pochodziły od mojego dawnego profesora z Oxfordu sir Alistera Hardy’ego - zawarł je w objaśnieniach

własnych rysunków pewnego bardzo interesującego skorupiaka zamieszkującego głębiny mórz, zwanego *Gigantocypris* (ryc. 5.18b). Astronomowie wyłapują skrętnie garstki fotonów docierających do nas od dalekich gwiazd, posługując się wielkimi lustrami umieszczonymi na przykład w obserwatoriach na Mount Wilson i Mount Palomar. Miło pomyśleć, że *Gigantocypris* czyni podobnie z nielicznymi fotonami docierającymi do oceanicznych głębin. Ostatnie badania Michaela Landa dowodzą jednak, że rozwiązania te w szczegółach istotnie się różnią. Nie wiadomo jeszcze, jak naprawdę widzi *Gigantocypris*.

Jest jednak inne zwierzę, które z całą pewnością posługuje się prawdziwym wklęsłym zwierciadłem, by uzyskać obrazy, chociaż pomaga sobie także soczewką. Także i to stworzenie odkrył Król Midas badań nad oczami, Michael Land. Stworzeniem tym jest małż przegrzebek.

Zdjęcie na rycinie 5.18c to powiększenie niewielkiego fragmentu (szerokiego na dwa żeberka muszli) szczeliny między połówkami muszli tego małża. Między brzegiem muszli a licznymi czułkami widać rząd drobnych oczek. Każde tworzy obraz, wykorzystując wklęsłe zwierciadło leżące głęboko w tyle, za siatkówką. Właśnie dzięki temu zwierciadłu oczka lśnią jak maleńkie zielone lub niebieskie perełki. Przekrój przez oko przegrzebka przedstawiono na rycinie 5.18d. Wspomniałem już, że zawiera ono zarówno zwierciadło, jak i soczewkę i teraz do tego powrócę. Siatkówka to cała szara przestrzeń między soczewką a zwierciadłem. Ostry obraz rzucany przez zwierciadło jest widziany przez tę część siatkówki, która przylega bezpośrednio do soczewki. Jest to obraz odwrócony, tworzą go promienie odbite przez zwierciadło.

Dlaczego więc w ogóle pojawiły się soczewki? Być może dlatego, że wklęsłe zwierciadła, takie, o których mówimy, charakteryzują się pewnym rodzajem zniekształcenia obrazu, zwanym aberracją sferyczną. Słynny model teleskopu zwierciadlanego Schmidta radzi sobie z tym problemem dzięki zręcznemu połączeniu soczewek i luster. Oczy przegrzebka wykorzystują, jak się wydaje, nieco inne rozwiązanie. Aberracja sferyczna teoretycznie może zostać skorygowana za pomocą specjalnego typu soczewek, zwanych „owalem kartezyjskim”. Na rycinie 5.18e pokazano wykres idealnego owalu kartezyjskiego. Przyjrzyjmy się teraz ponownie przekrojowi rzeczywistej soczewki naszego małża (ryc. 5.18d). Na podstawie tego uderzającego podobieństwa Michael Land wysnuł wniosek, że soczewka przegrzebka służy mu jako korektor aberracji sferycznej zwierciadła, które jest głównym „urządzeniem” tworzącym obrazy oglądanych przedmiotów.

Możemy tylko zgadywać, jak pojawiły się u podnóża Góry Nieprawdopodobieństwa oczy

zwierciadlane. Warstwy odblaskowe są dość częste w królestwie zwierząt, zazwyczaj jednak z innych przyczyn, nie związanych z tworzeniem obrazu, jak u przegrzebka. Jeśli udamy się na wycieczkę do lasu z silną latarką w ręku, dostrzeżemy mnóstwo podwójnych ogników wpatrujących się w nas za wszystkich stron. Wiele ssaków, zwłaszcza prowadzących nocny tryb życia, jak przedstawiony na rycinie 5.19a lori złocisty, czyli angwantibo żyjący w zachodniej Afryce, ma tzw. *tapetum lucidum* - warstwę odblaskową leżącą za siatkówką. Stwarza ona fotoreceptorom dodatkową szansę na wychwycenie fotonów, których nie udało się zatrzymać od razu; każdy jest raz jeszcze kierowany do tej samej komórki światłoczułej, która go nie wyłapała za pierwszym razem, nie wpływa więc to na powstający obraz. Bezkręgowce także odkryły warstwę odblaskową. Mocna latarka w lesie bardzo ułatwia złapanie pewnego rodzaju pajaków. Rzeczywiście, patrząc na portret pająka pogońca można się zastanawiać, dlaczego elementy odblaskowe w jezdni zwane są kocimi, a nie pajęczymi oczami. Warstwy odblaskowe umożliwiające wyłapanie każdego fotonu mogły wyewoluować u przodków o kubkowatych oczach jeszcze przed pojawieniem się soczewek. Być może warstwa taka jest preadaptacją, która - u kilku nie spokrewnionych ze sobą zwierząt - uległa modyfikacji prowadzącej do powstania oka podobnego do teleskopu, zwierciadlanego. Lustro mogło też powstać z czegoś zupełnie innego. Trudno to rozstrzygnąć.





Rycina 5.19 Oszczędne wykorzystywanie fotonów dzięki wstecznemu ich odbijaniu. Przypominające reflektor oczy wyposażone w odblaskowy ekran: (a) pająka pogońca *Geolycosa* sp. i (b) lori złotego

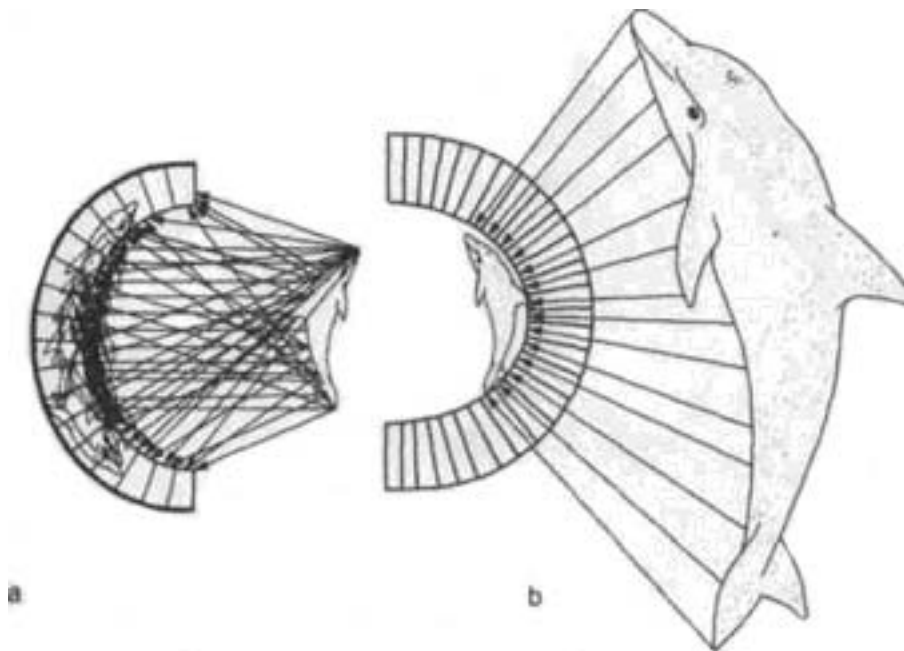
Soczewki i zwierciadła wklęsłe to dwa sposoby uzyskiwania ostrego obrazu. W obu obraz ten jest odwrócony zarówno w pionie, jak i w poziomie. Zupełnie inny rodzaj oka, tworzący obrazy proste, to oko złożone, najczęściej spotykane u owadów, skorupiaków, niektórych pierścienic i mięczaków, oraz skrzypłoczy (dziwnych morskich stworzeń, daleko spokrewnionych z pajakami), a także u dużej grupy wymarłych już trylobitów. Wśród obecnie żyjących zwierząt wyróżnia się kilka rodzajów oczu złożonych. Zacznę od najprostszego, tak zwanego oka apozycyjnego. Aby zrozumieć jego działanie, musimy wrócić niemal do samego podnóża Góry Nieprawdopodobieństwa. Zgodziliśmy się, że jeśli chcemy, by oko tworzyło obrazy, a nie tylko sygnalizowało zmiany oświetlenia, potrzeba więcej niż jednej komórki światłoczułej, zbierającej światło z różnych kierunków. Aby komórki światłoczułe patrzyły w różnych kierunkach, można je umieścić w kubku i otoczyć z tyłu warstwą nieprzepuszczalną dla promieni świetlnych. Wszystkie oczy, o których dotychczas mówiliśmy, rozwinęły się z takich

zagłębionych oczu kubkowatych. Być może jednak bardziej oczywistym rozwiązaniem jest umieszczenie komórek światłoczułych na wypukłości, na zewnątrz kubka, dzięki czemu będą mogły patrzeć w różne strony. Jest to najlepszy i najprostszy punkt wyjścia do rozważań nad przyczynami powstania oczu złożonych i ich działaniem.

Przypomnijmy sobie, co powiedzieliśmy o tworzeniu obrazu delfina. Zwróciłem wtedy uwagę na problem, który można by nazwać problemem nadmiaru obrazów - powstawania na siatkówce nieskończonej liczby obrazów delfina w każdym możliwym położeniu, a w rezultacie brakiem jakiegokolwiek obrazu, który dałoby się zobaczyć (ryc. 5.20a). Oko pęcherzykowe (nazwaliśmy je aparatem szczelinowym) działało dlatego, że eliminowało niemal wszystkie promienie świetlne, pozostawiając tylko te, które przecinały się w szczelinie i tworzyły jeden odwrócony obraz delfina. Rozważaliśmy następnie oczy wyposażone w soczewkę jako najbardziej wyszukaną wersję tego modelu. Oko apozycyjne rozwiązuje ten problem jeszcze prościej.

Oko takie składa się z wielu długich prostych rurek, odchodzących promieniście we wszystkich kierunkach z kopulastej podstawy. Każda rurka jest jak luneta - widzi tylko niewielki wycinek otoczenia leżący wzdłuż „linii strzału”. Promienie pochodzące z innych rejonów otoczenia zatrzymywane są przez ścianki tej rurki oraz podstawę i nie docierają do jej dna, na którym znajdują się komórki światłoczułe.

A oto jak działa oko apozycyjne. W rzeczywistości każda mała rurka, zwana ommatidium (a w liczbie mnogiej - ommatidia), jest czymś więcej niż tylko rurką. Ma bowiem swoją osobną soczewkę i swoją małą siatkówkę składającą się z kilku komórek światłoczułych. Na razie obraz powstający w każdym ommatidium na samym dnie tej cienkiej rurki jest odwrócony - ommatidium działa jak długie, kiepskie oko pęcherzykowe. Ale te pojedyncze odwrócone obrazy są ignorowane. Ommatidium zdaje tylko sprawę z tego, ile światła dociera do dna rurki. Soczewka służy jedynie zbieraniu większej ilości promieni świetlnych docierających do „celownika” i skupianiu ich na siatkówce. Gdy pracują wszystkie ommatidia, powstaje obraz prosty - taki, jak przedstawiono na rycinie 5.20b.



Ryc. 5.20 (a) Jest powtórzeniem ryciny 5.6; (b) kubek wywrócony na zewnątrz. Taka jest zasada działania oka apozycyjnego.

Jak zwykle określenia „obraz” nie należy brać dosłownie -jako doskonale ostrego wizerunku całej sceny mieniącego się barwami jak w technicolorze. Nie, mamy na myśli jakąkolwiek zdolność posługiwania się oczami do rozpoznawania tego, co dzieje się w otoczeniu. Niektóre owady widzą na przykład wyłącznie poruszające się obiekty i są ślepe na nieruchome tło. Pytanie o to, czy zwierzęta postrzegają świat dokładnie tak samo jak my, jest pytaniem zdecydowanie filozoficznej natury i odpowiedź na nie jest wyjątkowo trudna.

Zasada działania oka złożonego jest wystarczająco dobra dla, powiedzmy, ważki ścigającej lecącą muchę, ale żeby mogła widzieć równie dobrze jak my, musiałoby ono być dużo większe niż nasze proste oczy pęcherzykowe. Pokróćce wyjaśnię dlaczego. Oczywiście im więcej ma się ommatidiów, ustawionych w różnych kierunkach, tym lepiej można dostrzec coraz mniejsze szczegóły. Ważka ma 30 000 ommatidiów i radzi sobie całkiem dobrze z polowaniem na lecące muchy (ryc. 5.21). Ale by widzieć tak jak my, potrzebowałaby ich miliony. Żeby zmieścić się na jakimś rozsądnym obszarze, musiałyby być bardzo cienkie.



Ryc. 5.21 Duże oczy złożone wzrokowego drapieżcy polującego w otwartym terenie -  
ważki żagnicy *Aeshna cyanea*



Ryc. 5.22 Rysunek Kuna Kirschfelda pokazujący, jak wyglądałby człowiek z okiem  
złożonym, gdyby miał widzieć równie dobrze jak wszyscy ludzie.

Niestety istnieje pod tym względem nieprzekraczalna granica - mówiliśmy już o takiej

przy okazji bardzo niewielkich otworów, nazwaliśmy ją wówczas barierą dyfrakcji (ugięcia) promieni świetlnych. Tak więc, by oko złożone dorównywało precyzją ludzkiemu, musiałoby mieć olbrzymie rozmiary - 24 metry, średnicy! Niemiecki naukowiec Kuno Kirschfeld narysował zabawny rysunek przedstawiający człowieka z okiem złożonym pozwalającym mu widzieć równie dobrze jak okiem normalnym (ryc. 5.22). Wzór plastra miodu pokrywający oko ma, oczywiście, symboliczne znaczenie - każdy z sześciokątów jest w istocie grupą 10 000 ommatidiów. Średnica oka przedstawionego na tym rysunku liczy zaledwie metr (a nie 24 metry), ponieważ Kirschfeld uwzględnił fakt, iż widzimy bardzo dokładnie jedynie centralnie położonym fragmentem siatkówki. Kiedy uśrednił on naszą precyzję widzenia (bocznymi obszarami siatkówki widzimy wszak dużo gorzej), otrzymał oko o średnicy jednego metra. Tak wielkie oko, niezależnie od tego, czy mierzy jeden, czy 24 metry, jest jednak bardzo niepraktyczne. Wynika z tego morał, że jeśli chcemy, by obrazy otaczającego nas świata były dokładne i szczegółowe, to musimy zdecydować się na proste oko pęcherzykowe z jedną soczewką, a nie na oko złożone. Dan Nilsson zwykł nawet mówić o oku złożonym, iż: „Niewielką przesadą jest powiedzenie, że ewolucja wydaje się toczyć desperacką walkę o to, by ulepszyć ten z gruntu beznadziejny projekt”.

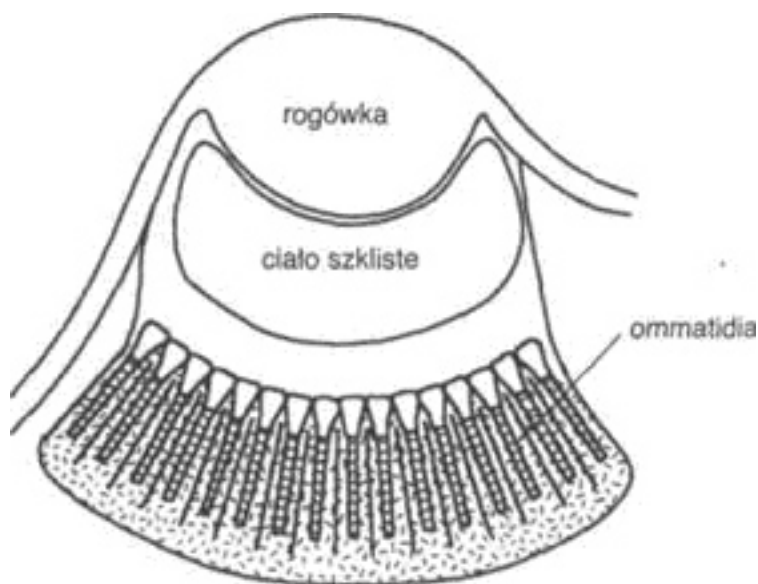
Dlaczego więc owady i skorupiaki nie zarzuciły tego rozwiązania i nie wykształciły oka pęcherzykowego? Jest to być może jeden z kolejnych przykładów ugrzęźnięcia po złej stronie jednej z przełęczy Góry Nieprawdopodobieństwa. Zmiana z oka złożonego do prostego oka typu aparatu szczelinowego musiałaby prowadzić przez wiele działających stanów pośrednich: zjazd w dół przełęczy mający być preludium do osiągnięcia wyższego szczytu jest niemożliwy. Na czym polega więc problem stanów pośrednich między okiem złożonym a okiem pęcherzykowym?

Przychodzi mi na myśl przynajmniej jedna niezwykle poważna trudność. W aparacie szczelinowym obraz jest odwrócony do góry nogami, a w oku złożonym - nie. Znaleźć stany pośrednie między tymi dwiema możliwościami to zadanie niełatwe, mówiąc oględnie. Takim stanem pośrednim mógłby być na przykład brak jakiegokolwiek obrazu. Niektóre zwierzęta zamieszkujące głębiny oceanów lub inne miejsca pogrążone w kompletnej ciemności mają do dyspozycji tak niewiele fotonów, że rezygnują z wszelkich obrazów. Mają szansę jedynie na to, by orientować się, czy jest tam w ogóle jakieś światło. Takie zwierzę może zatracić wszelkie połączenia nerwowe uczestniczące w tworzeniu obrazów i znaleźć się we właściwym miejscu, by



rozpocząć od zera wspinaczkę na zupełnie inny szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa. Mogłoby więc być owym etapem pośrednim między okiem złożonym a okiem pęcherzykowym.

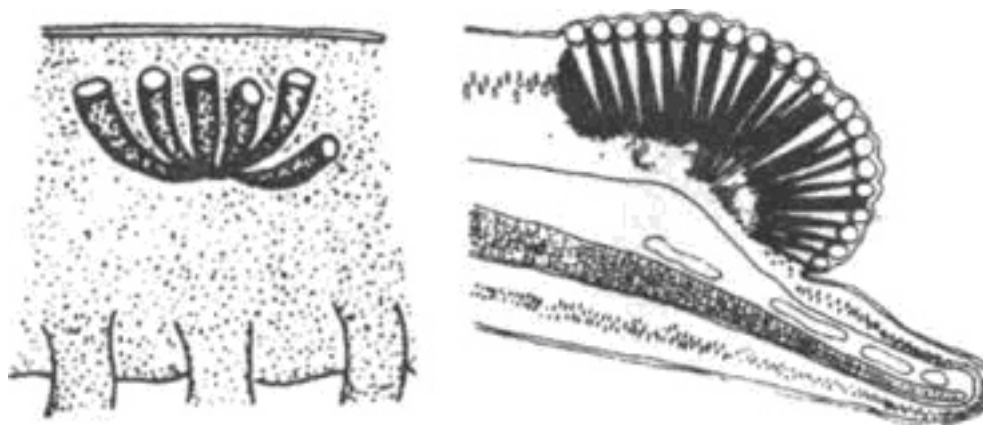
Niektóre głębinowe skorupiaki mają wielkie oczy złożone pozbawione kompletnie soczewek i innych elementów uczestniczących normalnie w tworzeniu obrazów. Ich ommatidia straciły swoje rurki, a komórki światłoczułe pojawiły się na samej powierzchni oczu - tam, gdzie mają jakąś szansę na wyłapanie tych nielicznych fotonów, które mogą się tam znaleźć, niezależnie od tego, z jakiego kierunku pochodzą. Wydaje się, że stąd dzieli nas już niewielki krok od takiego niezwykłego oka, jakie przedstawia rycina 5.23. Należy ono do skorupiaka, zwanego *Ampelisca*, który wcale nie zamieszkuje największych głębin - być może rozstał się on już ze swoimi głębinowymi przodkami i jest w drodze powrotnej na powierzchnię. Oko *Ampelisca* działa jak aparat szczelinowy - ma jedną soczewkę tworzącą na siatkówce obrazy odwrócone. Siatkówka jest jednak najwyraźniej pochodną oka złożonego i składa się z pozostałości po wielu ommatidiach. No cóż, być może był to niewielki krok, ale możliwy jedynie pod warunkiem, że podczas bezkrólewia równającego się całkowitej ślepotcie, mózg miał dosyć czasu, by „zapomnieć” wszystko o przetwarzaniu prostych, nieodwróconych obrazów. Jest to przykład ewolucji biegnącej od oka złożonego do oka pęcherzykowego (a zarazem kolejny przykład łatwości, z jaką co i raz, niezależnie od siebie, pojawiają się oczy w całym królestwie zwierząt). Ale jak w ogóle wyewoluowało oko złożone? Co znajdziemy na najniższych stokach tego konkretnego szczytu Góry Nieprawdopodobieństwa?



Ryc. 5.23 Oko pęcherzykowe zawierające elementy oka złożonego, zdradzające swoją zamierzchłą historię. Niezwykle oko skorupiaka *Ampelisca*

I tym razem może się przydać rzut oka na świat współcześnie żyjących zwierząt. Oczy złożone spotyka się - poza stawonogami (do których zalicza się owady, skorupiaki i ich krewnych) - tylko u pewnych wieloszczetów i małży (u których też najprawdopodobniej wyewoluowały one w sposób niezależny). Pierścienice i mięczaki są bardzo dogodnym materiałem dla badaczy dziejów ewolucji, ponieważ znajdują się w ich gronie zwierzęta wyposażone w bardzo prymitywne oczy, budzące podejrzenie, że pełniły rolę stadiów pośrednich w procesie wznoszenia się od najniższych rejonów Góry Nieprawdopodobieństwa aż po jej najwyższy, równoznaczny z powstaniem rozwiniętych oczu złożonych, szczyt. Oczy przedstawione na rycinie 5.24 należą do dwóch gatunków pierścienic. Trzeba jeszcze raz podkreślić, że nie są to wcale oczy prawdziwych przodków, ale współcześnie żyjących zwierząt, i że zwierzęta te najprawdopodobniej nawet nie są potomkami prawdziwych form pośrednich. Można je jednak potraktować jako przykład jednego z wariantów rozwoju ewolucyjnego oczu - od luźnej grupy komórek światłoczułych (po lewej) do właściwego oka złożonego (po prawej). Zbocze owo jest z pewnością równie łagodne jak to, po którym wędrowaliśmy w kierunku oka pęcherzykowego.

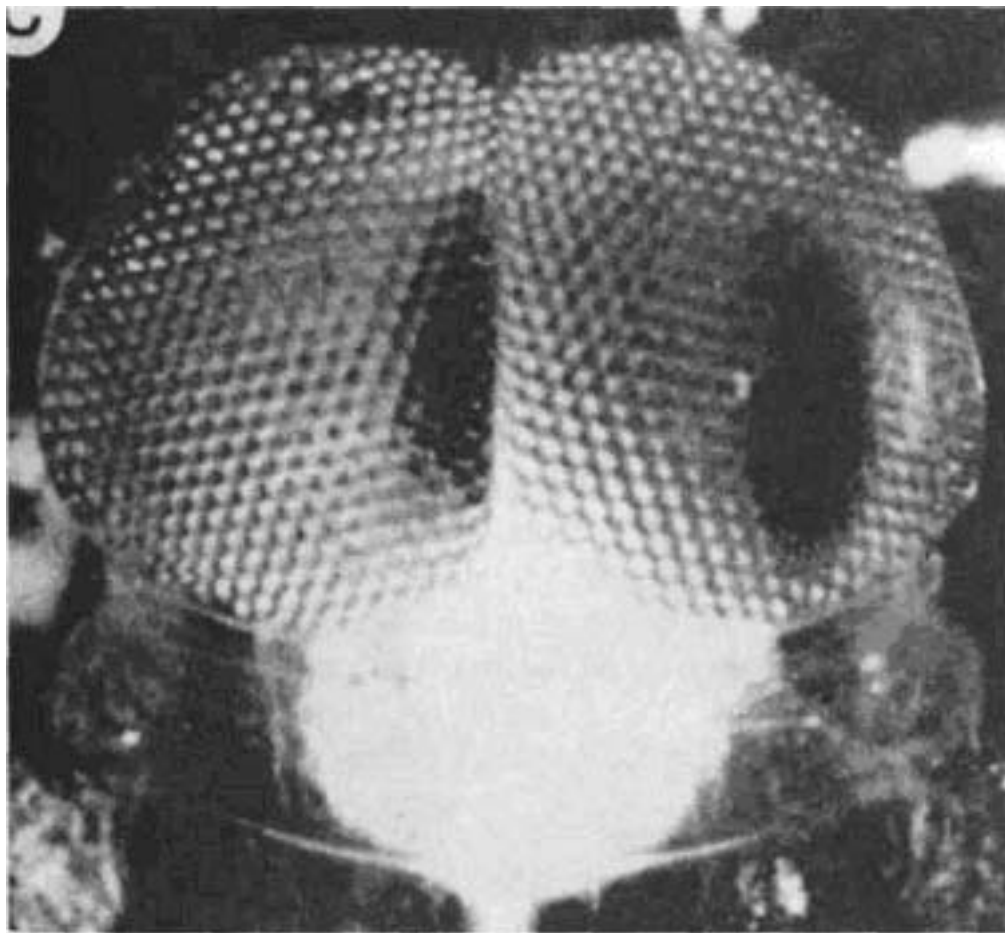
Skuteczność każdego ommatidium, jak wynika z naszych rozważań, zależy od stopnia odizolowania go od pozostałych ommatidiów. „Celownik” nakierowany na koniec ogona delfina nie może zbierać promieni pochodzących z innych jego części - inaczej staniemy znowu przed problemem milionów obrazów delfina naraz.



Ryc. 5.24 Prawdopodobny przebieg rozwoju prymitywnego oka złożonego z grupy komórek światłoczułych u pierścienic

Większość ommatidiów izoluje się od innych za pomocą warstwy ciemnego barwnika, otaczającej rurkę. Rozwiązanie to jednak ma czasem niepożądane konsekwencje. Oryginalnym rozwiązaniem niektórych skorupiaków morskich jest ich przezroczystość. Kamuflaż, jaki stosują, żyjąc w wodzie, polega na tym, że wyglądają jak woda. Istotą takiego kamuflażu jest więc unikanie zatrzymywania fotonów. Tymczasem najważniejszą rolą ciemnego ekranu wokół ommatidiów jest ich zatrzymywanie. Jak poradzić sobie z taką okrutną sprzecznością?

Pewne skorupiaki zamieszkujące głębiny mórz znalazły genialne rozwiązanie (ryc. 5.25). Nie mają ciemnej warstwy, a ich ommatidia nie są zwykłymi rurkami, ale zachowują się jak przezroczyste światłowody, działając dokładnie tak samo jak te wytwarzane przez człowieka.



Ryc. 5.25 Oczy skorupiaką głębinowego, wyposażone w światłowody

Każdy taki światłowód jest w swoim początkowym odcinku rozdęty, tworząc niewielką soczewkę o zmieniającym się współczynniku załamania światła, jak u ryb. Soczewka i cały światłowód skupia dużą ilość światła trafiającego do komórek światłoczułych leżących na jego

dnie. Jest to jednak światło pochodzące wyłącznie z kierunku, na jaki nastawiony jest „celownik” tego konkretnego ommatidium. Promienie docierające z innych kierunków nie dostają się do niego nie dzięki ciemnej osłonie, ale dlatego, że są odbijane przez ścianki ommatidium.

Nie wszystkie oczy złożone starają się jednak rozdzielać swoje prywatne porcje światła. Czynią tak tylko oczy apozycyjne. Znane są przynajmniej trzy rodzaje oczu superpozycyjnych, które stosują bardziej subtelne rozwiązania. Zamiast się starać, by promienie świetlne trafiały wyłącznie do określonych rurek lub światłowodów, pozwalają światłu, które przechodzi przez soczewkę jednego z ommatidiów, docierać do komórek światłoczułych sąsiedniego ommatidium. Istnieje pusta, przezroczysta strefa wspólna dla wszystkich ommatidiów. Soczewki ich współpracują ze sobą, by wytworzyć jeden obraz na wspólnej siatkówce, na którą składają się komórki światłoczułe wszystkich ommatidiów. Na rycinie 5.26 przedstawiono zdjęcie zrobione przez Michaela Landa - to portret Darwina sfotografowany przez wspólne soczewki superpozycyjnego oka złożonego świetlika.

Obraz powstający w superpozycyjnym oku złożonym, podobnie jak w oku apozycyjnym, ale inaczej niż w oku pęcherzykowym czy takim, jakie ma skorupiak *Ampelisca*, przedstawiony na rycinie 5.23, nie jest odwrócony. Tego zresztą można się spodziewać, zakładając, że oczy superpozycyjne powstały z apozycyjnych. Z historycznego punktu widzenia wydaje się to mieć sens, i musi go mieć, jeśli wziąć pod uwagę, że przemiany obejmujące mózg nie wymagałyby wtedy tak wielkiego wysiłku. Warto jednak zwrócić uwagę na pewien istotny fakt. Rozważmy bowiem fizyczne problemy związane z konstruowaniem pojedynczego, nieodwróconego obrazu. Każde ommatidium oka apozycyjnego ma na przedzie własną soczewkę, i jeśli w ogóle tworzy ono jakiś obraz, to jest to obraz odwrócony do góry nogami. Aby więc oko apozycyjne stało się okiem superpozycyjnym, promienie świetlne muszą, przechodząc przez soczewkę, jakoś przekreślić się o 180 stopni. Mało tego, wszystkie oddzielne obrazy tworzone przez poszczególne soczewki muszą zostać starannie nałożone na siebie, by uzyskać jeden wspólny obraz. Byłby on lepszy, bo stałby się dzięki temu dużo jaśniejszy. Fizyczne bariery uniemożliwiające przekreślenie promieni o 180 stopni są jednak bardzo trudne do pokonania. Tym zabawniejsze, że problem ten nie tylko znalazł swoje ewolucyjne rozwiązanie - został on co więcej rozwiązany na trzy różne sposoby: dzięki wykorzystaniu zaskakujących soczewek, niebanalnych luster i nietuzinkowych obwodów nerwowych.



Ryc. 5.26 Portret Karola Darwina, sfotografowany przez zespolone soczewki superpozycyjnego oka złożonego świetlika (zdjęcie wykonał Michael Land).

Szczegóły każdego z tych rozwiązań są tak złożone, że omówienie ich niepomiarnie skomplikowałoby ten i tak trudny rozdział, przedstawię je więc jedynie w zarysie. Pojedyncza soczewka odwraca obraz do góry nogami. Dzięki temu samemu zjawisku druga soczewka, znajdująca się w odpowiedniej odległości od pierwszej, ponownie ten obraz odwróci. Zestaw taki stosuje się w urządzeniu zwanym teleskopem Keplera (lunecie). Podobny efekt można uzyskać, stosując pojedynczą soczewkę złożoną, charakteryzującą się specjalnym, zmieniającym się współczynnikiem załamania światła. Jak widzieliśmy, soczewki żywych organizmów, w przeciwieństwie do wytwarzanych przez człowieka, łatwo osiągają zmienny współczynnik załamania światła. Metodę tę, podobną do zastosowanej w lunecie Keplera, znają jętki, sieciarki, chrząszcze, mole, chruściki i przedstawiciele pięciu różnych grup skorupiaków. Odległość dzieląca ich od kuzynów wskazuje, że przynajmniej u niektórych ta sama Keplerowska sztuczka

wyewoluowała niezależnie od pozostałych. Na podobny pomysł wpadły trzy grupy skorupiaków wykorzystujące odpowiednie lustra. Wśród dwóch z tych trzech grup są również gatunki posługujące się specjalnymi soczewkami. Kiedy się przyjrzeć, jakie warianty oczu złożonych przyjęły poszczególne grupy zwierząt, dostrzega się fascynujące zjawisko. Różne rozwiązania określonych problemów pojawiają się w królestwie zwierząt ni stąd, ni zowąd to tu, to tam, dowodząc, że wyewoluowały szybko i na różne sposoby.

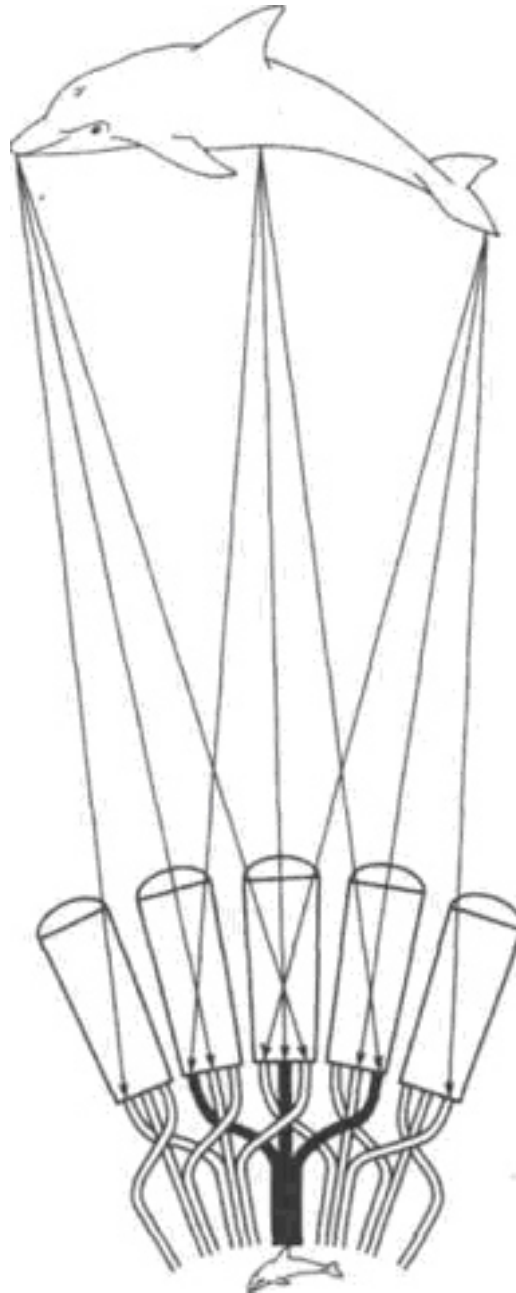
Neuronalna superpozycja lub superpozycja okablowania wykształciła się u dużej i ważnej grupy owadów dwuskrzydłych - much. Podobny system znaleziono u nartników, u których, jak się wydaje, rozwinął się niezależnie. Superpozycja neuronalna to prawdziwie szatańska sztuczka. Tak naprawdę, to wcale nie powinno się jej nazywać superpozycją, ponieważ ommatidia są odizolowanymi od siebie rurkami, tak samo jak w oku apozycyjnym. Uzyskują one jednak superpozycyjny efekt dzięki przemyślnemu okablowaniu ommatidiów przez komórki nerwowe. A oto jak się to dzieje. Pamiętamy, że „siatkówka” pojedynczego ommatidium składa się z kilku komórek światłoczułych.

W zwykłym oku apozycyjnym wyładowania wszystkich tych komórek po prostu sumują się ze sobą - dlatego słowo „siatkówka” opatrzyłem cudzysłowem: wszystkie fotony wpadające do tej rurki zostają policzone, niezależnie od tego, do którego fotoreceptora trafią. Jedynym celem posiadania większej liczby fotoreceptorów jest zwiększenie całkowitej wrażliwości na światło. Właśnie dlatego nie ma żadnego znaczenia, że maleńki obraz powstający na dnie apozycyjnego ommatidium jest tak naprawdę odwrócony.

Ale w oku muchy wyjścia wszystkich komórek światłoczułych nie sumują się ze sobą. Komórki te są natomiast połączone z określonymi komórkami sąsiednich ommatidiów (ryc. 5.27). Żeby uniknąć nieporozumień: w przedstawionym schemacie oczywiście nie zastosowano właściwej skali. Również strzałki wcale nie reprezentują promieni świetlnych (te zostałyby ugięte przez soczewki) - wskazują one tylko miejsca na ciele delfina, odwzorowywane w poszczególnych miejscach dna ommatidiów. Zwróćmy więc uwagę na genialność tego rozwiązania. Podstawowa zasada polega na tym, że fotoreceptory widzące głowę delfina należące do jednego ommatidium są połączone z tymi fotoreceptorami należącymi do sąsiedniego ommatidium, które też patrzą na głowę delfina. A te, które widzą jego ogon - połączone są z fotoreceptorami sąsiedniego ommatidium też widzącymi ogon. I tak dalej. W rezultacie informację o każdym fragmencie delfina przekazuje większa liczba fotonów niż w normalnym

oku apozycyjnym o prostym ułożeniu ommatidiów. Jest to rodzaj obliczeniowego raczej niż optycznego rozwiązania dobrze nam znanego problemu: jak zwielokrotnić liczbę fotonów docierających z jednego punktu ciała naszego delfina.

Łatwo więc zrozumieć, dlaczego określa się to superpozycją, choć tak naprawdę wcale nią nie jest. W prawdziwej superpozycji wykorzystanie specjalnych soczewek lub luster sprawia, że światło przechodzące przez sąsiednie ommatidia nakłada się na siebie, tak że fotony docierające od głowy delfina trafiają do tego samego miejsca co inne fotony pochodzące z jego głowy, a fotony docierające z ogona trafiają do tego samego miejsca co inne fotony pochodzące z jego ogona. W superpozycji neuronalnej natomiast fotony trafiają do innych miejsc niż w oku apozycyjnym, a mimo to informacja przekazywana przez te fotony dociera w końcu do właściwej okolicy mózgu, dzięki artystycznemu spleceniu połączeń nerwowych prowadzących do niego.



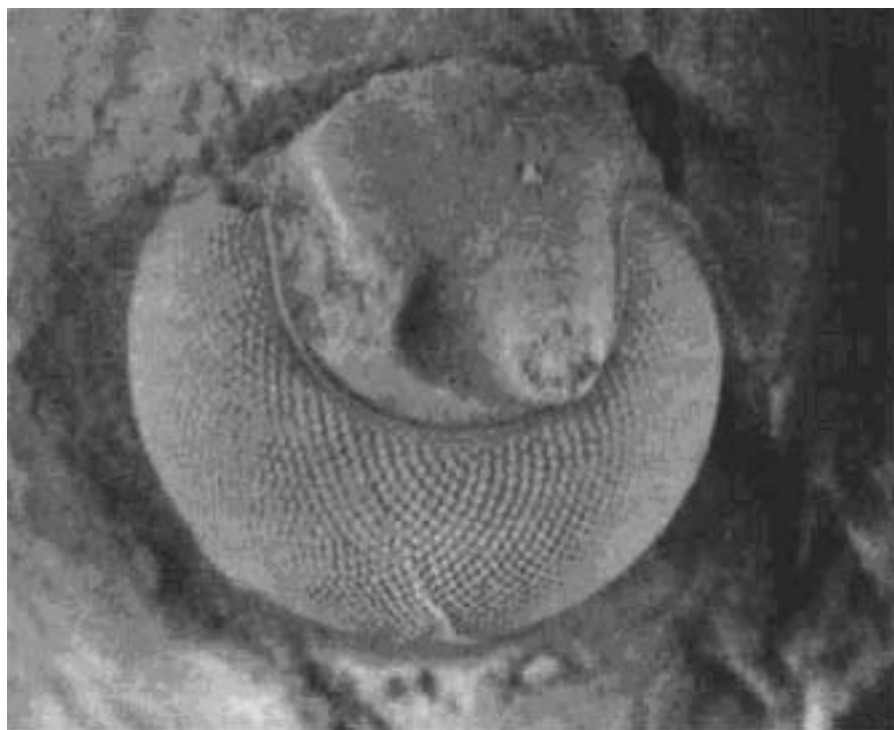
Ryc. 5.27 Przemysłne rozwiązanie zastosowane przy „superpozycji neuronalnej” w oku złożonym

Otrzymane przez Nilssona szacunki czasu, jaki trwała ewolucja oka pęcherzykowego, były, jak pamiętamy, w porównaniu z czasem geologicznym, prawie natychmiastowe. Niełatwo znaleźć skamieniałości stanowiące stadia pośrednie tego procesu. Nie ma dokładnych ocen czasu ewolucji ani oka złożonego, ani żadnego innego typu oka, ale bardzo wątpię, by przebiegała ona dużo wolniej. Zwykle nie oczekuje się, że ze skamieniałości uda się odczytać szczegóły budowy



oka - są one zbyt delikatne, by skamienieć. Oczy złożone stanowią wyjątek, ponieważ wiele ich szczegółów zdradza elegancki układ mniej lub bardziej wystających fasetek, pokrywających powierzchnię oka od zewnątrz. Rycina 5.28 przedstawia oko dewońskiego trylobita, żyjącego prawie 400 milionów lat temu. Tego właśnie powinniśmy się spodziewać, jeśli proces ewolucji oka jest niezauważalnie krótki w porównaniu z czasem geologicznym.

Głównym przesłaniem tego rozdziału jest konkluzja, że oczy ewoluują łatwo i szybko - niemal od niechcienia. Rozpocząłem go od przytoczenia opinii autorytetów w tej dziedzinie, że oczy wyewoluowały niezależnie co najmniej 40 razy w różnych grupach królestwa zwierząt.



Ryc. 5.28 Oczy złożone miały już bardzo zaawansowaną postać 400 milionów lat temu: oko kopalnego trylobita.

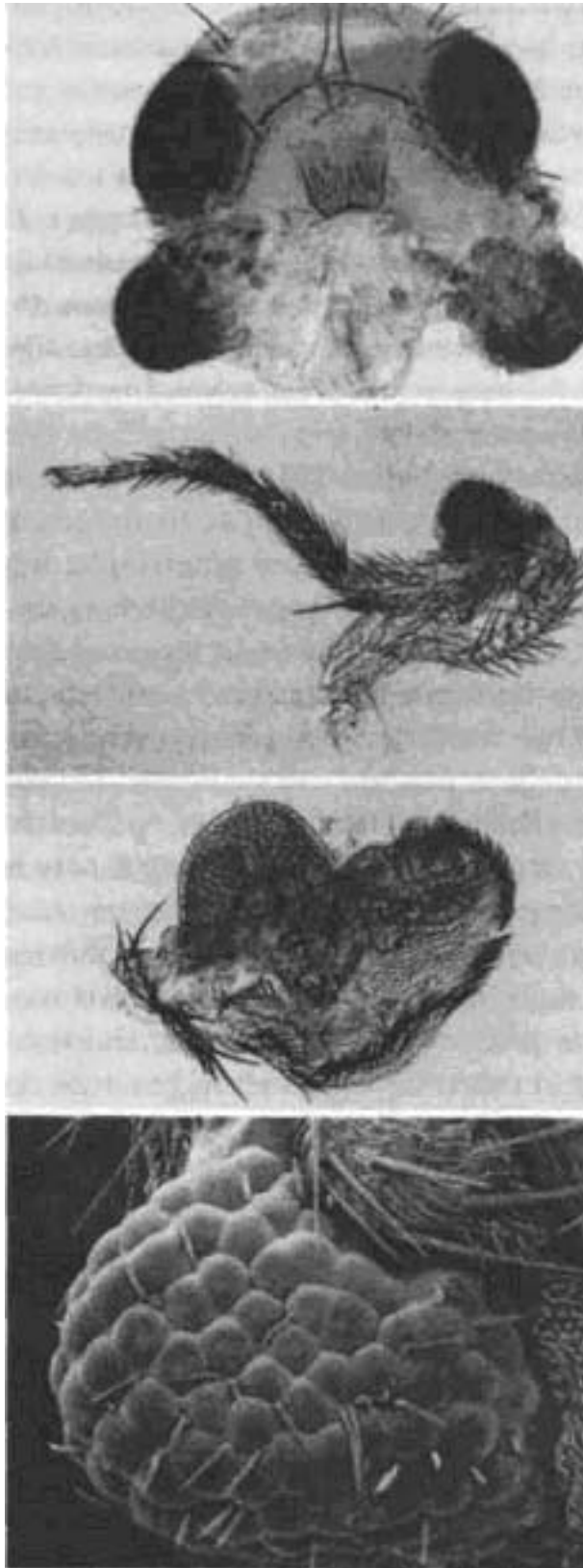
Mogłoby się wydawać, że twierdzeniu temu przeczą intrygujące wyniki eksperymentów, jakie przeprowadzili ostatnio w Szwajcarii naukowcy pracujący pod kierownictwem Waltera Gehringa. Przedstawię je pokrótce i udowodnię, że w istocie wcale nie są sprzeczne z naszą konkluzją. Zanim rozpocznę, muszę przeprosić czytelników za zwariowaną konwencję nazywania genów przez genetyków. Gen nazwany *eyeless* (po polsku - bezoki) u muszki owocowej *Drosophila* w istocie odpowiedzialny jest za powstanie oczu (prześliczne, prawda?!). Powód tego figlarnie mylącego przykładu terminologicznej sprzeczności jest w rzeczywistości

dość prosty, a nawet interesujący. Otóż funkcję, jaką pełni określony gen, można rozpoznać wówczas, gdy dzieje się z nim coś złego. Kiedy gen, o którym mówimy, psuje się (czyli mutuje), u muchy nie rozwijają się oczy. Miejsce na chromosomie, w którym znajduje się ten gen, nazywane jest więc *eyeless locus* (*locus* to po łacinie miejsce, genetycy określają w ten sposób miejsce na chromosomie, w którym zlokalizowane są różne formy jednego genu). Mówiąc jednak o genie *eyeless*, mamy zwykle na myśli jego normalną, nieuszkodzoną wersję znajdującą się w tym *locus*. Stąd paradoks, że gen „bezoki” decyduje o powstawaniu oczu. To tak, jakby głośnik nazwać „wyciszaczem”, kiedy odkryje się, że po jego odłączeniu radio cichnie. Już przestają. Mam tylko ochotę nazwać ten gen „*eyemaker* (po polsku - „okorób”), ale to chyba też specjalnie nie ułatwiłoby sprawy. Nie mogę jednak nazywać go *eyeless*, posłużę się więc skrótem *ey*.

Jak powszechnie wiadomo, choć wszystkie komórki każdego organizmu zawierają wszystkie geny, tylko niewielka ich część jest wykorzystywana (ulega ekspresji) w poszczególnych częściach ciała. Dlatego właśnie wątroba różni się od nerek, chociaż ich komórki zawierają dokładnie takie same geny. U dorosłej muszki owocowej gen *ey* zwykle ulega ekspresji tylko w komórkach głowy - dlatego oczy rozwijają się właśnie tam. George Haider, Patrick Callaerts i Walter Gehring opracowali procedurę powodującą powstawanie oczu także w innych rejonach ciała tego owada. Hodując larwy muszek w specjalny sposób, doprowadzili do tego, że gen *ey* uległ ekspresji w miejscach, w których normalnie powstają czułki, skrzydła i odnóża. Co jeszcze zabawniejsze, uzyskali dorosłe muchy z całkowicie rozwiniętymi oczami złożonymi na skrzydłach, odnóżach, czułkach i w innych miejscach (ryc. 5.29). Choć nieco mniejsze, oczy te mają całkiem normalną budowę i składają się z wielu właściwie ukształtowanych ommatidiów. A nawet działają. Nie wiemy, co prawda, czy muchy rzeczywiście coś przez nie widzą, ale rejestracja aktywności elektrycznej nerwów leżących u podstawy ommatidiów dowodzi, że są one wrażliwe na światło.

To jest godny uwagi fakt numer jeden. Fakt numer dwa jest jeszcze bardziej interesujący. Znany jest gen mysi, zwany *small eye* (po polsku - drobnooki) i gen ludzki, zwany *aniridia* (po polsku - bez tęczówki). Ich nazwy są także odzwierciedleniem negatywnej konwencji przyjętej przez genetyków: mutacyjne uszkodzenie tych genów powoduje zmniejszenie bądź brak oczu lub ich części. Rebecca Quiring i Uwe Waldorf z tego samego szwajcarskiego laboratorium stwierdzili, że oba te geny ssaków są niemal identyczne pod względem sekwencji DNA z genem

ey muszki owocowej. Oznacza to, że ten sam gen przeszedł cały łańcuch przodków aż do obecnie żyjących zwierząt tak daleko ze sobą spokrewnionych jak owady i ssaki. Co więcej, u obu tych bardzo odległych grup zwierząt gen ten ma decydujące znaczenie w rozwoju oczu. Fakt numer trzy jest wręcz zdumiewający. Haiderowi, Callaertsowi i Gehringowi udało się wprowadzić gen mysi do zarodków muszek owocowych. Ku wielkiemu zdumieniu okazało się, że spowodował powstanie ektopowych oczu u *Drosophila*. Rycina 5.29 przedstawia niewielkie oczy złożone, jakie rozwinęły się na odnózu muszki w wyniku indukcji mysim odpowiednikiem genu ey. Warto przy tym zwrócić uwagę, że powstało wówczas owadzie oko złożone, a nie oko charakterystyczne dla myszy. Mysi gen po prostu uruchomił mechanizmy embriogenetyczne odpowiedzialne za powstawanie oczu u muszki owocowej. Geny o niemal takiej samej sekwencji DNA jak gen ey znaleziono także u mięczaków, morskich robaków zwanych wstężnicami i u strzykw. Być może okaże się, że ey występuje u wszystkich zwierząt i podanie pewnej jego wersji pochodzącej z jednej grupy zwierząt przedstawicielowi jakiejś innej, bardzo odległej grupy spowoduje u niego rozwój oczu.



Ryc. 5.29 Oczy ektopowe. rozwijające się w wyniku indukcji u muszki owocowej;

induktorem oczu widocznych na najniższym zdjęciu był gen mysi.

Co wyniki tych spektakularnych doświadczeń znaczą dla konkluzji tego rozdziału? Czy myliliśmy się mówiąc, że oczy wykształciły się czterdzieści razy niezależnie od siebie? Nie sądzę. W mocy pozostaje przynajmniej duch twierdzenia, że oczy ewoluują łatwo i szybko. Wyniki te świadczą natomiast prawdopodobnie o tym, że wspólny przodek muszek owocowych, myszy, ludzi, strzykw i innych stworzeń miał oczy. Ten odległy przodek dysponował zapewne jakimś rodzajem wzroku, a o powstaniu jego oczu, niezależnie od ich postaci, prawdopodobnie zadecydowała sekwencja DNA podobna do tej, jaką ma dzisiejszy gen *ey*. Współczesne postaci różnego rodzaju oczu, szczegóły budowy ich siatkówek, soczewek czy zwierciadeł, wybór między okiem prostym a złożonym oraz między okiem apozycyjnym a różnymi odmianami oka superpozycyjnego są jednak rezultatem niezależnej i szybkiej ewolucji. Możemy się o tym przekonać, obserwując przypadkowe - można wręcz powiedzieć: kapryśne - rozrzucenie najróżniejszych rozwiązań, pomysłów i systemów w całym królestwie zwierząt. Mówiąc krótko: często badane zwierzę ma oczy przypominające dużo bardziej oczy swego bardzo odległego krewnego niż bliskiego kuzyna. Konkluzji tej w niczym nie narusza konstatacja, że wspólny przodek wszystkich zwierząt najprawdopodobniej miał jakieś oczy, i że rozwój zarodkowy oczu wszystkich zwierząt ma ze sobą wystarczająco dużo wspólnego, by można go było zaindukować tą samą sekwencją DNA.

Kiedy Michael Land przeczytał i poddał krytyce pierwszą wersję tego rozdziału, poprosiłem go o próbę zilustrowania regionu Góry Nieprawdopodobieństwa, który obejmuje ewolucję oka - wynik jego pracy przedstawia rycina 5.30. Tak to już jest z metaforami, że świetnie zdają egzamin pod pewnymi względami, ale pod innymi sprawdzają się dużo gorzej i nieraz trzeba je przebudowywać, a nawet w ogóle od nich odejść. Nie po raz pierwszy czytelnik tej książki stwierdzi, że Góra Nieprawdopodobieństwa, choć nosi jedną nazwę - jak Jungfrau - jest w istocie czymś bardziej skomplikowanym i składa się nań całe pasmo szczytów.

Inny wielki autorytet w dziedzinie zwierzęcych oczu - Dan Nilsson, który także przeczytał pierwszą wersję tego rozdziału - podsumował jego główne przesłanie, zwracając mi uwagę na najdziwniejszy chyba przykład oportunistycznej ewolucji oczu ad hoc. Trzy razy, niezależnie od siebie, u trzech różnych grup ryb wyewoluowało coś, co można nazwać

„czworoocznością”. Chyba najbardziej spektakularny jest przykład ryby *Bathylchnops exilis* (ryc. 5.31). Jest to typowe rybie oko patrzące w normalnym kierunku. Dodatkowo jednak powstało u niej jeszcze jedno oko, przyczepione do ściany pierwszego i patrzące prosto w dół. Na co patrzy? Któż to wie. Niewykluczone, że *Bathylchnops* jest celem ataków straszliwego drapieżcy, który zwykle napada na niego od dołu. Z naszego punktu widzenia ciekawa jest następująca sprawa. Otóż okazuje się, że rozwój tego drugiego oka w okresie zarodkowym następuje zupełnie niezależnie od pierwszego, choć może się okazać, że i jego powstawanie można zaindukować za pomocą którejś z wersji genu ey.

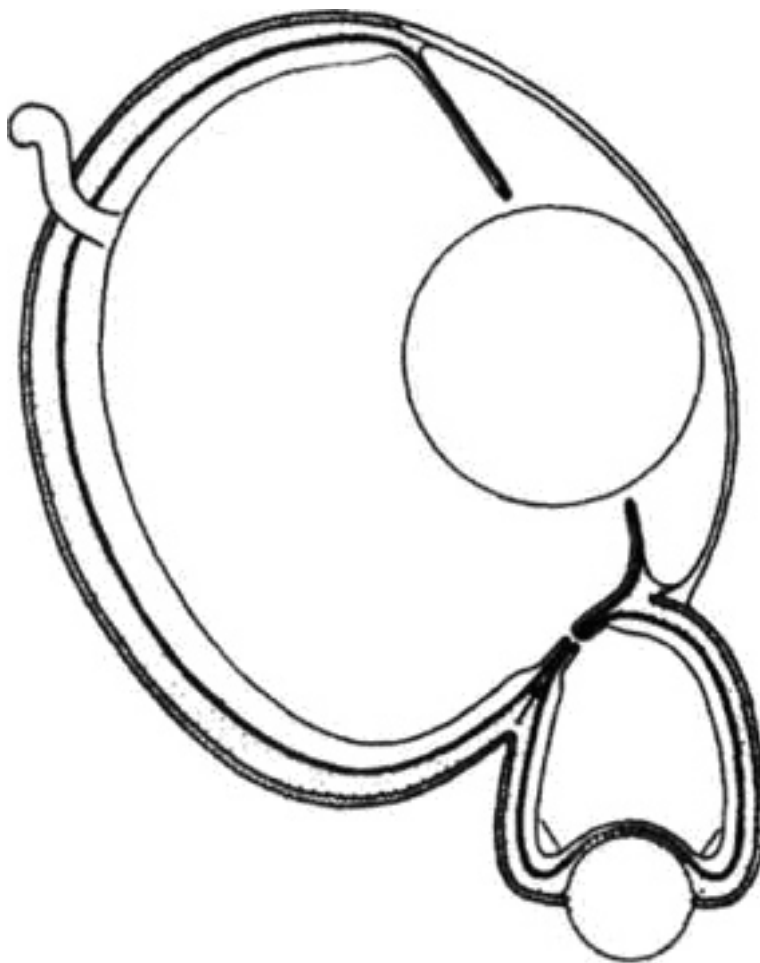


Ryc. 5.30 Pasma Szczytów Nieprawdopodobieństwa odpowiadające ewolucji oka: rysunek Michaela Landa

Dan Nilsson zwrócił mi także w swoim liście uwagę, że: „Gatunek ten wynalazł powtórnie soczewkę, mimo iż jedną odkrył już wcześniej. Jest to bardzo dobry przykład potwierdzający tezę, że powstanie soczewki w wyniku ewolucji nie jest czymś specjalnie trudnym”.

Ewolucja w ogóle nie jest tak trudna, jak się nam wydaje. Darwin ustąpił zbyt pochopnie, uznając trudności związane z ewolucją oka. I jego żona posunęła się za daleko, zapisując swoją sceptyczną uwagę na marginesie jego dzieła. Darwin wiedział, co robi. Krecjonści uwielbiają

powoływać się na ustęp, który zacytowałem na samym początku tego rozdziału, ale nigdy nie przytaczają go w całości.



Ryc. 5.31 Niezwykle podwójne oko ryby *Bathylchnops exilis*

A Darwin, po dokonaniu retorycznego ustępstwa, pisze dalej:

Kiedy po raz pierwszy powiedziano, że Słońce jest nieruchome, a Ziemia się dookoła niego obraca, zwykły ludzki rozsądek uznał tę teorię za błędną; lecz stare przysłowie: *vox populi, vox Dei*, jak każdemu filozofowi wiadomo, nie może znaleźć zastosowania w praktyce. Rozum poucza mnie, że jeżeli można dowieść istnienia licznych narządów pośrednich, od prostego i niedoskonałego oka do skomplikowanego i doskonałego, przy czym każdy narząd, co z pewnością ma miejsce, jest użyteczny dla posiadacza, jeżeli dalej oczy zawsze zmieniają się i zmiany te są dziedziczne, co również ma miejsce, i jeżeli takie zmiany będą dla jakiegokolwiek

zwierzęcia przy zmianie warunków jego życia korzystne, wtedy trudność przypuszczenia, iż doskonale i skomplikowane oko utworzone być może drogą naturalnego doboru, jakkolwiek wielka może być dla naszej wyobraźni, nie będzie jednak w stanie obalić naszej teorii.

Karol Darwin, dzieło cyt., s. 179-180.



## ROZDZIAŁ 6

### MUZEUM WSZYSTKICH MUSZELEK

Dobór naturalny jest jak ciśnienie pchające ewolucję ku szczytom Góry Nieprawdopodobieństwa. Ciśnienie - a inaczej: presja - to całkiem niezła metafora. Kiedy mówi się o presji selekcyjnej, czuje się niemal siłę popychającą gatunek ku zmianom ewolucyjnym i wciągającą go po pochyłości góry. Obecność drapieżników, o czym już mówiliśmy, była rodzajem nacisku selekcyjnego, który doprowadził do tego, że antylopy wykształciły charakterystyczne długie nogi szybkobiegaczy. Pamiętamy jednak, co to naprawdę znaczy: geny warunkujące krótsze nogi częściej kończyły w paszczy drapieżnika, w efekcie czego było ich na świecie coraz mniej. Presja wywierana przez wybredne samice doprowadziła samce bażanta do wyewoluowania przepysznego upierzenia. Mamy przez to na myśli, że gen decydujący o bogatym umaszczeniu miał większą szansę na to, by znaleźć się w ciele samicy i wraz z przenoszonym go plemnikiem podążyć do upragnionego celu. Myślimy jednak o tym jako o presji zmuszającej samce do posiadania pięknych piór. Drapieżniki z kolei wywierają niewątpliwie nacisk w zupełnie przeciwnym kierunku - ku spokojniejszemu upierzeniu - jaskrawe ubarwienie przyciąga bowiem ich uwagę tak samo jak samiec. Gdyby nie drapieżniki, koguty miałyby - zgodnie z wymaganiami samic - jeszcze barwniejszy i bardziej ekstrawagancki wygląd. Presja selekcyjna może więc działać w przeciwnych kierunkach lub w jednym, a nawet (matematycy potrafiliby to precyzyjnie opisać) w najrozmaitszych kierunkach pozostających względem siebie pod każdym dowolnym kątem. Presja selekcyjna może być ponadto silna albo słaba, i potoczne rozumienie tych słów dobrze oddaje ich znaczenie w konkretnym kontekście. Podążanie jakiejś linii ewolucyjnej wybraną ścieżką wiodącą na szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa będzie podlegało wpływom wielu różnych presji selekcyjnych, popychających i ciągnących ją w różne strony z różną siłą, czasami wzmacniających się wzajemnie, a czasami wzajemnie sobie przeszkadzających.

Presja taka to jednak nie wszystko. Droga w górę zależy także od ukształtowania stoków. Oprócz wpływów pchających i ciągnących z różną siłą w wielu różnych kierunkach różne są także szlaki - jedne bardzo łatwe do przejścia, a inne - poprzecinane przepaściami. I jeśli nawet presja selekcyjna pcha z całą siłą w jedną stronę, nic to nie da, jeśli na drodze ewoluującej linii wyrośnie nieprzebyta ściana. Dobór naturalny musi mieć do wyboru rozmaite rozwiązania.

Nacisk selekcyjny, choćby nie wiem jak silny, niczego nie osiągnie bez zmienności genetycznej. Kiedy mówimy, że drapieżniki wywierają presję selekcyjną faworyzującą szybko biegające antylopy, znaczy to po prostu, że zjadają antylopy biegające najwolniej. Jeśli jednak nie ma tu żadnego wyboru - czyli genów decydujących o tym, że jedne antylopy biegają szybciej, a inne wolniej, bo wszelkie różnice między szybkością antylop mają wyłącznie podłoże środowiskowe - to nie ma mowy o jakimkolwiek procesie ewolucyjnym. Może się okazać, że na naszej górze żaden stok nie prowadzi na szczyt coraz szybszego biegania.

Dochodzimy tutaj do kwestii będącej dla biologów źródłem prawdziwej niepewności, wywołującej poważną rozbieżność opinii. Jedni wierzą, że mniejsza lub większa zmienność genetyczna istnieje zawsze. Ich zdaniem, jeśli tylko pojawi się presja selekcyjna, to zawsze trafi na jakąś zmienność. Trajektorię, którą przebędzie jakaś linia w przestrzeni ewolucyjnej, w praktyce zdeterminuje wyłącznie walka między różnymi czynnikami wywierającymi presję selekcyjną. Po drugiej stronie barykady są ci, którzy sądzą, że dostępna zmienność genetyczna jest bardzo ważnym elementem wyznaczającym kierunek ewolucji. Niektórzy nawet przypisują doborowi naturalnemu podrzędną, uzupełniającą rolę. Naszych skrajnych biologów można sobie wyobrazić, jak spierają się o to, dlaczego świni nie mają skrzydeł. Ekstremalny selekcjonista powiedziałby, że świniom nie wyrosły skrzydła, ponieważ nie przyniosłyby im żadnych korzyści. Ekstremalny antyselekcjonista natomiast oświadczyłby, że skrzydła mogły się świniom przydać, ale świni nie miały na nie szans, ponieważ nigdy nie wystąpiła u nich mutacja warunkująca pojawienie się zawiązków skrzydeł, którymi mógłby się zająć dobór naturalny.

Kontrowersja ta jest dość skomplikowana i metafora Góry Nieprawdopodobieństwa, nawet gdy przedstawia się ją jako całe pasmo szczytów, już tu nie wystarcza. Potrzebny jest jakiś inny pomysł. Przydałaby nam się tu zapewne wyobraźnia taka, jaką są obdarzeni matematycy, choć obiecuję nie posługiwać się symbolami matematycznymi. Będzie to wymagało od nas więcej wysiłku niż Góra Nieprawdopodobieństwa, ale rzecz jest tego warta. W *Ślepym zegarmistrzu* dokonałem krótkiego wypadu w coś, co nazywałem zamiennie „przestrzenią genetyczną” lub „Krajiną Biomorfów”, posługiwałem się też określeniem „wędrówka po hiperprzestrzeni zwierząt”. Ostatnio filozof Daniel Dennett wkroczył głębiej w tę tajemniczą krainę, którą - za Borgesowską Biblioteką Babel - nazwał Biblioteką Mendla. Moja wersja, opisana w tym rozdziale, jest rodzajem gigantycznego muzeum fantazji zoologicznej.

Wyobraźmy sobie muzeum, którego biegnące w każdym kierunku galerie sięgają aż po

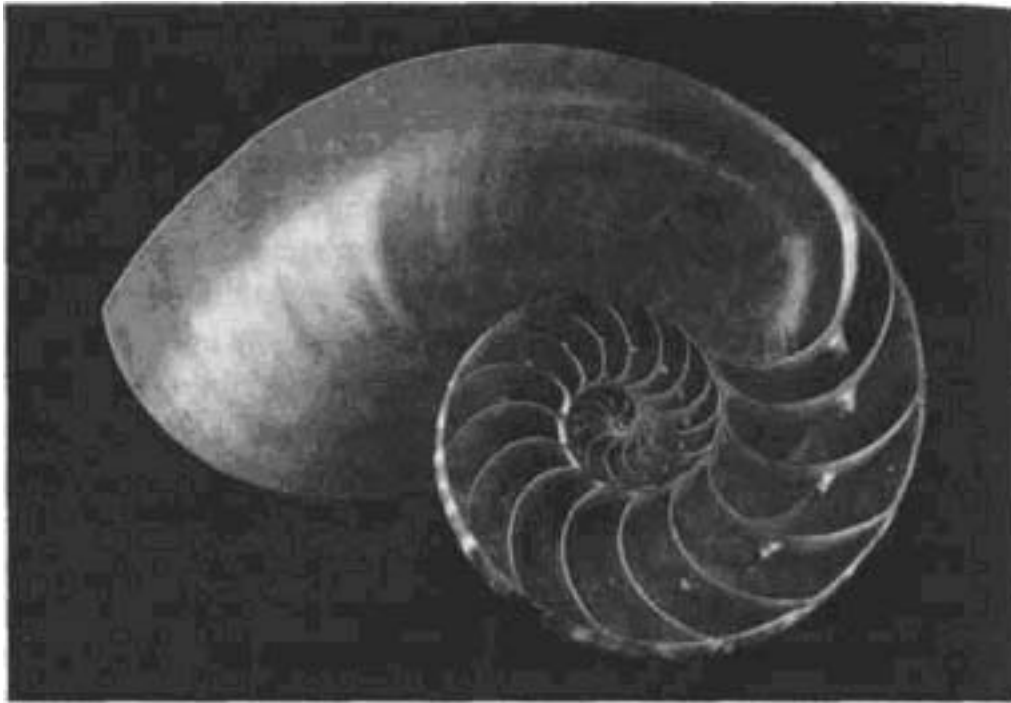
horyzont. Muzeum to gromadzi wszystkie formy zwierząt, jakie kiedykolwiek istniały, oraz wszystkie, jakie tylko można sobie wyobrazić. Każda zajmuje salę sąsiadującą z formami, które są do niej najbardziej podobne. Każdy wymiar tego muzeum - to znaczy każdy kierunek, w jakim ciągną się galerie - odpowiada wymiarowi, pod względem którego zwierzęta owe różnią się od siebie. Kiedy na przykład będzie się wędrować wzdłuż jednej z galerii w kierunku północnym, dostrzeże się stopniowe wydłużanie się rogów u zwierząt zamieszkujących kolejne sale. A kiedy dokona się zwrotu o 180 stopni i ruszy na południe - rogi będą się skracać. Zatrzymując się w pewnym miejscu i wybierając kierunek wschodni; stwierdzi się, że rogi są ciągle takiej samej długości, ale zmienia się co innego: na przykład zęby stają się coraz ostrzejsze. Ku zachodowi natomiast zęby są coraz mniej ostre. Ponieważ długość rogów i ostrość zębów to tylko dwie z tysięcy cech, którymi różnią się poszczególne formy zwierząt, galerie muszą przecinać się w przestrzeni wielowymiarowej, a nie trójwymiarowej, czyli takiej, jaką my, istoty o ograniczonych umysłach, potrafimy sobie wyobrazić. O to mi właśnie chodziło, kiedy mówiłem, że musimy nauczyć się myśleć jak matematycy.

Co to znaczy myśleć w czterech wymiarach? Załóżmy, że zajmujemy się antylopami i mierzymy cztery zmienne: wielkość rogów, ostrość zębów, długość jelit i długość sierści. Jeśli pominiemy jedną z tych zmiennych, powiedzmy: długość sierści, będziemy mogli umieścić każdą z badanych antylop we właściwym miejscu trójwymiarowego układu współrzędnych - o kształcie sześcianu - ze względu na trzy pozostałe zmienne: wielkość rogów, ostrość zębów i długość jelit. Jak teraz wprowadzić czwartą zmienną - długość sierści? Otóż trzeba przyjąć, że jeden sześcian przeznaczony jest dla wszystkich antylop o najkrótszej sierści, następny dla tych, które mają nieco dłuższą sierść, i tak dalej. Konkretna antylopa najpierw będzie przydzielona do określonego sześcianu ze względu na długość swojej sierści, a następnie - już w jego obrębie - umieszczona zostanie w odpowiednim miejscu, w zależności od tego, jakie ma rogi, zęby i jelita. Długość sierści jest w tym wypadku czwartym wymiarem. W zasadzie można w ten sam sposób tworzyć rodziny sześcianów i rodziny rodzin sześcianów, i rodziny rodzin rodzin sześcianów i tak dalej, dopóki nie umieści się wszystkich zwierząt w takim odpowiedniku wielowymiarowej przestrzeni.

Aby dać pewne wyobrażenie o tym, co mamy na myśli, mówiąc o Muzeum Wszystkich Możliwych Zwierząt, w rozdziale tym zajmę się pewnym szczególnym przykładem, który można w mniejszym lub większym stopniu sprowadzić do trzech wymiarów.

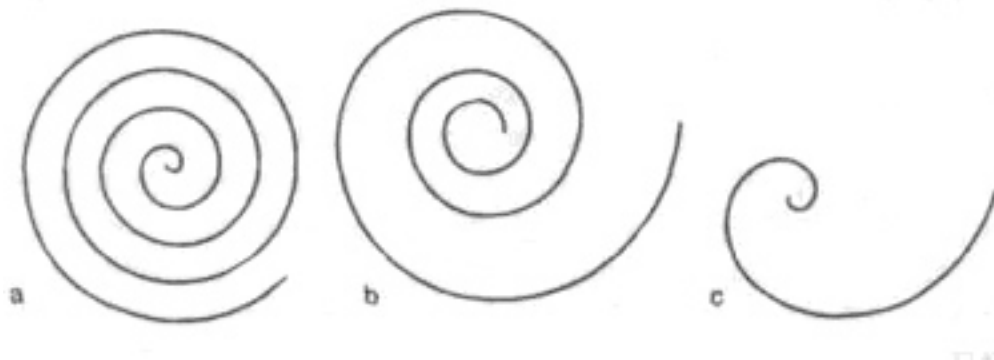
W następnym rozdziale powrócę do kontrowersji, od której zaczął się rozdział obecny, i spróbuję wykonać konstruktywny zwrot w przeciwną stronę (jestem wszak znany ze swojej skłonności do partyzanckich wyskoków). Tym szczególnym, trójwymiarowym przykładem są muszle ślimaków i innych zwierząt. Galerie zawierające muszle można sprowadzić do trzech wymiarów, ponieważ większość najważniejszych różnic między muszlami da się przedstawić w postaci trzech liczb. W swojej dalszej opowieści idę po śladach Davida Raupa, znakomitego paleontologa z Uniwersytetu w Chicago. Raupa z kolei zainspirowały prace D’Arcy’ego Wentwortha Thompsona ze starego i znakomitego Szkockiego Uniwersytetu w St Andrews. Jego książka *On Growth and Form* [O rozwoju i formie], opublikowana po raz pierwszy w 1919 roku, wywarła trwały, choć może niezbyt ortodoksyjny wpływ na zoologów niemal całego XX wieku. To, że D’Arcy Thompson zmarł tuż przed nastaniem epoki komputerów, jest jedną z wielu tragedii biologii - prawie każda karta jego dzieła aż się prosi o komputer. Raup napisał program generujący kształty muszli, i ja napisałem podobny, by zilustrować ten rozdział, choć (czego można się było spodziewać) wbudowałem go w program ilustrujący Ślepego zegarmistrza, dokonujący sztucznej selekcji.

Muszle ślimaków i innych mięczaków, a także muszle zwierząt zwanych ramienionogami, które nie są spokrewnione z mięczakami, ale z wyglądu bardzo je przypominają, powstają w taki sam sposób, inaczej niż rozwijają się nasze organizmy. My jesteśmy na początku bardzo mali i rosnąc, powiększamy się cali (niektóre fragmenty naszego ciała rosną nieco szybciej niż inne). W przypadku dorosłego człowieka nie można wskazać jakiegoś kawałka jego ciała, które odpowiada mu jako niemowlęciu. W przypadku muszli mięczaka natomiast jest to możliwe. Muszla mięczaka jest na początku malutka i przyrasta na brzegach, położona najbardziej centralnie część muszli dorosłego osobnika jest więc muszlą larwalną. Każdy mięczak nosi wszędzie ze sobą swoją niemowlęcą postać - najmniejszy fragment własnej muszli. Muszla łodzika (*Nautilus*, o którym mówiliśmy już przy okazji oka typu aparatu szczelinowego) podzielona jest na komory, wszystkie - z wyjątkiem największej, powstałej ostatnio w efekcie rośnięcia jej brzegu i zajmowanej przez samo zwierzę - wypełnione są powietrzem i służą unoszeniu się zwierzęcia w wodzie (ryc. 6.1).



Ryc. 6.1 Przekrój przez muszlę łodzika *Nautilus*. Zwierzę zajmuje ostatnią, największą komorę muszli.

Ponieważ wzrost muszli polega na przyroście krawędzi, mają one zawsze bardzo zbliżoną formę. Jest to przestrzenna postać tzw. spirali logarytmicznej. Spirala logarytmiczna jest inna niż spirala Archimedesesa, której kształt przyjmuje na przykład lina, kiedy żeglarz zwijają na pokładzie - niezależnie od tego, ile zwojów się dołoży, każdy następny ma tę samą grubość: równą grubości liny.

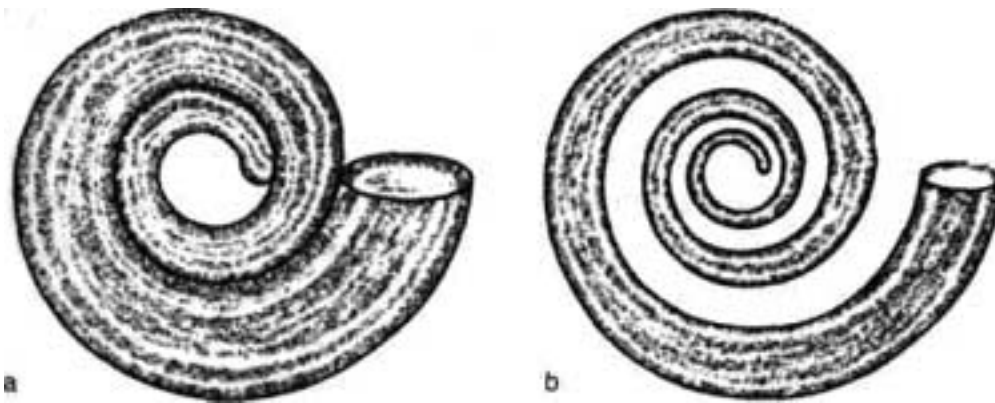


Ryc. 6.2 Różne spirale: (a) spirala Archimedesesa; (b) spirala logarytmiczna o niewielkim tempie rozszerzania się; (c) spirala logarytmiczna o gwałtownym tempie rozszerzania się.

Spirala logarytmiczna natomiast, oddalając się od punktu wyjścia, rozszerza się. Różne spirale rozszerzają się w różnym tempie, dla konkretnych spirali jednak tempo to jest zawsze ściśle określone. Rycina 6.2 przedstawia, oprócz spirali Archimedesowej przypominającej zwiniętą linę, dwie spirale logarytmiczne o różnym współczynniku rozszerzania się.

Muszla rośnie nie jak lina, lecz jak rurka. Rurka nie musi mieć kolistego przekroju jak waltornia, przyjmijmy jednak na chwilę, że taki ma. Załóżmy także, że narysowana spirala przedstawia zewnętrzny obrys rurki. Średnica tej rurki może powiększać się w takim akurat tempie, że jej wewnętrzny brzeg dotyka poprzedniego skrzywienia spirali - jak przedstawiono na rycinie 6.3a. Ale tak wcale być nie musi. Jeśli rośnie wolniej niż zewnętrzny brzeg spirali, to między kolejnymi skrzywieniami spirali będzie się pojawiać coraz większy odstęp, co widać na rycinie 6.3b. Im bardziej muszla jest „rozciągnięta”, tym bardziej wydaje się właściwa raczej dla pierścienicy niż dla ślimaka.

Raup opisał spirale muszli, posługując się trzema liczbami, które nazwał W, D i T. Mam nadzieję, że nie zostanę uznany za dziwaka, jeśli zastąpię je słowami: rozszerzalność (ang.: *flare*), robakowatość (ang.: *verm*) i strzelistość (ang.: *spire*).



Ryc. 6.3 Dwie rurki tworzące taką samą spiralę, ale różniące się średnicą: (a) rurka wystarczająco gruba, by wypełnić przestrzeń między kolejnymi skrzywieniami spirali; (b) rurka tak wąska, że między kolejnymi skrzywieniami spirali zostaje wolna przestrzeń (wypełniona powietrzem lub wodą - zależnie od okoliczności).

Łatwiej nam będzie zapamiętać, o co chodzi, niż gdybyśmy się posługiwali samymi symbolami matematycznymi. Rozszerzalność to miara tempa rozszerzania się spirali. Jeśli rozszerzalność wynosi 2, znaczy to, że przy każdym skrzywieniu spirala powiększa się dwukrotnie względem poprzedniego skrzywienia. Tak jest w przypadku spirali przedstawionej na rycinie 6.3b.

Przy każdym skręcie jej szerokość rośnie dwukrotnie. Rycina 6.2c natomiast przedstawia muszlę rozszerzającą się znacznie szybciej - jej rozszerzalność wynosi 10. Za każdym skrętem tej spirali jej szerokość powiększa się dziesięciokrotnie (choć w praktyce powstawanie takiej spirali zwykle przerywa się, zanim zakończy ona pełny skręt). A rozszerzalność na przykład muszli małży sercówek - rozszerzających się tak gwałtownie, że nawet nie sposób domyślić się, iż dokonują jakiegokolwiek skrętu - mierzy się w tysiącach.

Opisując rozszerzalność, bardzo uważałem, by nie powiedzieć, że jest ona miarą tempa wzrostu średnicy rurki. O tym bowiem mówi wartość robakowatości. Potrzebujemy jej dlatego, że rurka nie musi przecież wypełniać ściśle całej przestrzeni zakreślonej przez rosnącą spiralę. Muszla może być „rozciągnięta” - jak ta z ryciny 6.3b. Określenie „robakowatość” bierze się z tego, że muszle tego typu kojarzą się bardziej z pierścienicami niż mięczakami. Muszle pokazane na rycinach 6.3a i 6.3b mają taką samą rozszerzalność (równą 2), ale muszla z ryciny 6.3b ma wyższą robakowatość (wynoszącą 0,7) niż muszla z ryciny 6.3a (jej wskaźnik wynosi 0,5). Kiedy robakowatość wynosi 0,7, oznacza to, że odległość od osi spirali do wewnętrznego brzegu rurki jest równa 70 procentom odległości między osią spirali a zewnętrznym brzegiem rurki. Niezależnie od tego, którą część spirali wykorzysta się do pomiarów, wartość robakowatości pozostaje stała (nie musi to być konieczność logiczna, ale sprawdza się u większości muszli, przyjmijmy więc, że tak jest, chyba że jasno powiemy, iż rozważamy inną sytuację). Łatwo się zorientować, że bardzo wysoka wartość robakowatości, na przykład 0,99, określa bardzo cienką, podobną do włosa rurkę, ponieważ jej wewnętrzny brzeg znajduje się na 99 procencie odległości od osi do brzegu zewnętrznego.

Jaka wartość robakowatości zapewnia dopasowanie tak dokładne jak na rycinie 6.3a? To zależy od wartości parametru rozszerzalności. Ściślej, wartość robakowatości zapewniająca dokładne dopasowanie jest odwrotnością rozszerzalności (czyli równa się jedności podzielonej przez wartość rozszerzalności). Rozszerzalność obu spiral z ryciny 6.3 wynosi 2, wartość robakowatości umożliwiająca dokładne dopasowanie wynosi więc 0,5 - i tak jest w przypadku spirali z ryciny 6.3a. Spirala z ryciny 6.3b ma natomiast większą wartość robakowatości, dlatego muszla ta zdaje się rozciągnięta. Gdyby muszla z ryciny 6.2c miała rozszerzalność równą 10, to robakowatość zapewniająca dokładne dopasowanie wyniosłaby dla niej 0,1.

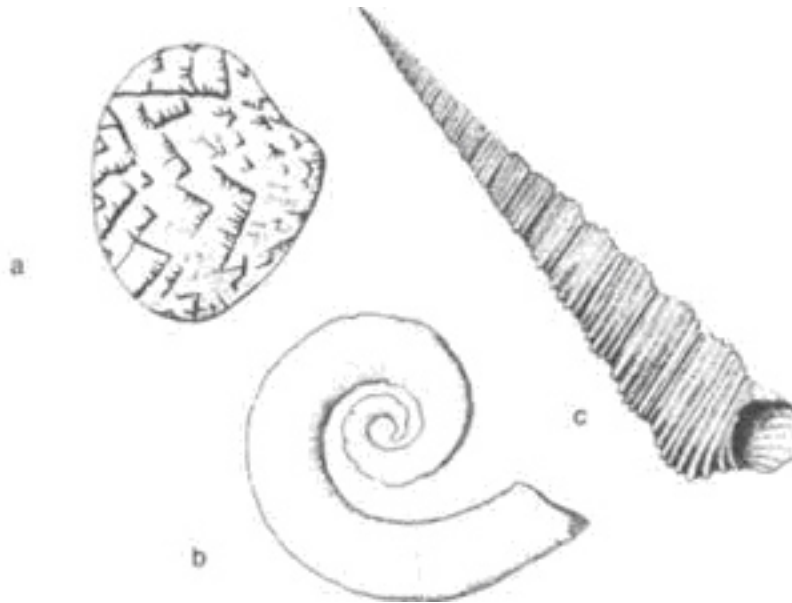
A co się stanie, jeśli wartość robakowatości będzie mniejsza od wartości umożliwiającej dokładne dopasowanie? Czy możemy sobie wyobrazić rurkę tak grubą, że przekracza granice

dopasowania i wchodzi na obszar zajmowany przez poprzedni skręt? Niechby to była na przykład taka spirala jak przedstawiona na rycinie 6.3, ale o robakowatości wynoszącej, powiedzmy, 0,4 - co wtedy? Trudność tę można rozwiązać na dwa sposoby. Jeden polega po prostu na tym, że za każdym razem rurka zachodzi na swoje poprzednie skręty. Tak jest w przypadku łodzika. Oznacza to, że wolny fragment takiej rurki nie ma wcale w przekroju poprzecznym kształtu koła, lecz jest wcięty. Nie jest to jednak żadne nieszczęście, ponieważ, jak pamiętamy, o tym, że rurka ma mieć kolisty przekrój, zdecydowaliśmy w sposób arbitralny my sami. Wiele mięczaków żyje szczęśliwie w rurce, której przekrój wcale nie przypomina koła, i niedługo do nich przejdziemy. Niekiedy najlepszym sposobem interpretacji niekolistego przekroju rurki jest uznanie, że mieści ona w sobie swoje poprzednie skręty.

Innym sposobem rozwiązania problemu wkroczenia na poprzednie skręty jest wyjście poza dotychczasową płaszczyznę. Doprowadza to nas do trzeciej z zapowiadanych liczb charakteryzujących muszle (nazwijmy je sygnaturą muszli): strzelistości. Wyobraźmy sobie, że rosnąca spirala zbacza w inną stronę, przybierając stożkowaty kształt. Strzelistość opisuje więc tempo, z jakim kolejne skręty wspinają się na siebie wzdłuż stożka. Muszla łodzika ma akurat strzelistość równą 0 - wszystkie jej skręty leżą w jednej płaszczyźnie.

Mamy już wszystkie trzy liczby naszej sygnatury: rozszerzalność, robakowatość i strzelistość (ryc. 6.4). Jeśli pozostawimy na razie z boku jedną z nich, na przykład strzelistość, to będziemy mogli sporządzić wykres dwu pozostałych na kartce papieru. Każdemu punktowi tego wykresu będzie odpowiadała szczególna kombinacja wartości rozszerzalności i robakowatości, i będziemy mogli zaprogramować komputer tak, by narysował muszlę o takich właśnie parametrach. Rycina 6.5 przedstawia dwadzieścia pięć regularnie rozmieszczonych punktów takiego wykresu. Kiedy przesuwamy się wzdłuż niego z lewa na prawo, komputerowe muszle stają się coraz bardziej robakowate, zgodnie ze wzrostem wartości tego parametru. A kiedy przesuwamy się z góry na dół, rozszerzalność rośnie i spirale stają się coraz szersze, aż w końcu przestają w ogóle przypominać spirale. Aby otrzymać dobry rozkład przy przesuwaniu się w dół, przyjęliśmy, że wartość rozszerzalności zmienia się logarytmicznie. Oznacza to, że z każdym krokiem w dół rośnie wielokrotnie (tutaj: dziesięciokrotnie), a nie o jakąś liczbę (jak zwykle się przyjmuje, i jak jest tutaj z robakowatością, której wartość zwiększa się za każdym krokiem o pewną wartość).

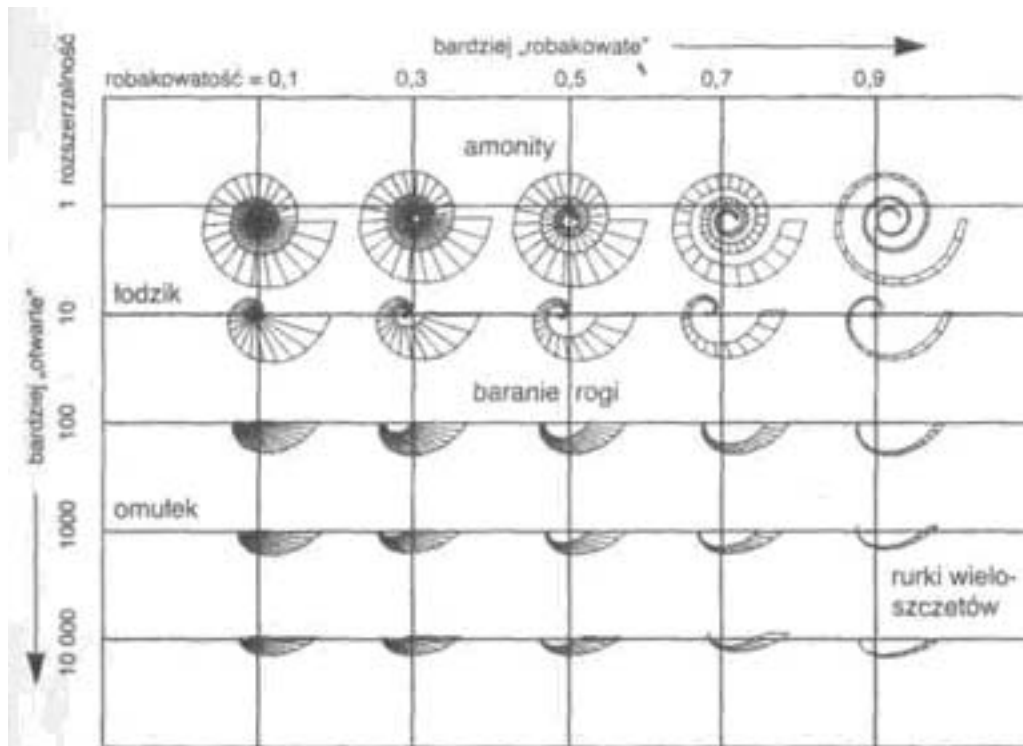




Ryc. 6.4 Muszle ilustrujące trzy własności: (a) wysoka rozszerzalność: *Liconcha castrensis*, małż; (b) wysoka robakowatość: *Spirula*, mątwą; (c) wysoka strzelistość: wieżycznik *Turritella terebra*, ślimak

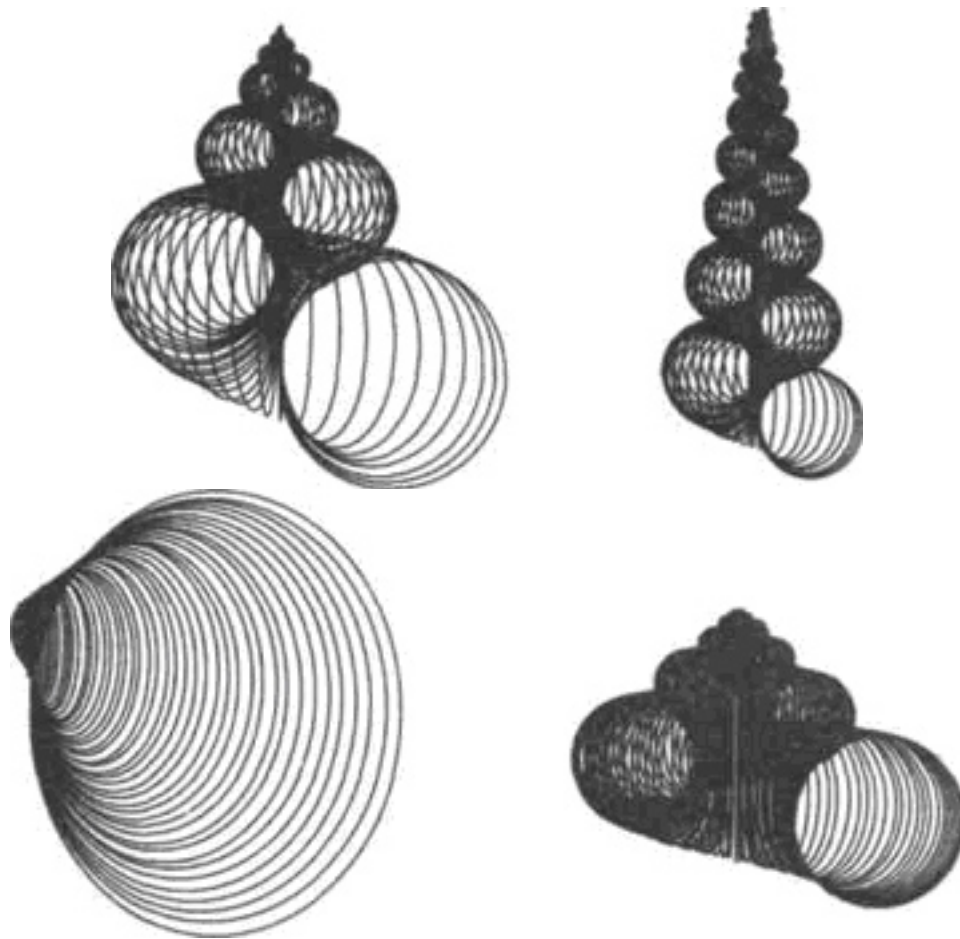
Było to konieczne, aby na jednym wykresie pokazać muszle sercówek i omułek - widoczne na samym dole (których rozszerzalność liczy się w tysiącach i niewielkie zmiany nie mają już znaczenia) oraz amonitów i ślimaków (które mają rozszerzalność tak niewielką, wyrażaną zwykle pojedynczą cyfrą, że dla nich drobne zmiany są bardzo istotne). W różnych częściach tego wykresu można znaleźć muszle o kształcie zbliżonym do amonitów, łodzików, omułek, baranich rogów i rurek wieloszczetów - opatrzyłem te miejsca właściwymi podpisami.

Mój program komputerowy potrafi rysować muszle w dwojakiej perspektywie. Rycina 6.5 pokazuje jedną z nich - główną wagę przywiązuje się tu do samego kształtu spirali.

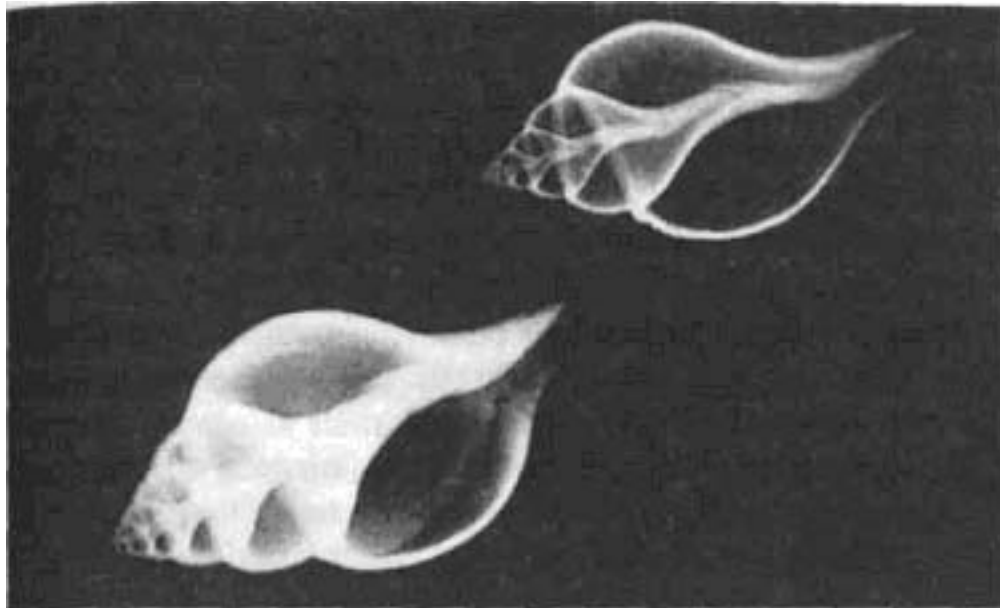


Ryc. 6.5 Tablica komputerowych muszli stopniowo różniących się pod względem rozszerzalności i robakowatości. Zmiany w trzecim wymiarze, strzelistości, są przy takim ujęciu niewidoczne. Oś rozszerzalności jest logarytmiczna - każdy krok w dół odpowiada dziesięciokrotnemu zwiększeniu wartości tego parametru. Na osi robakowatości przy każdym kroku wzdłuż tego wykresu do jej poprzedniej wartości dodawana jest stała liczba. Kilka nazw rzeczywiście istniejących tworów umieszczono w odpowiednich miejscach wykresu.

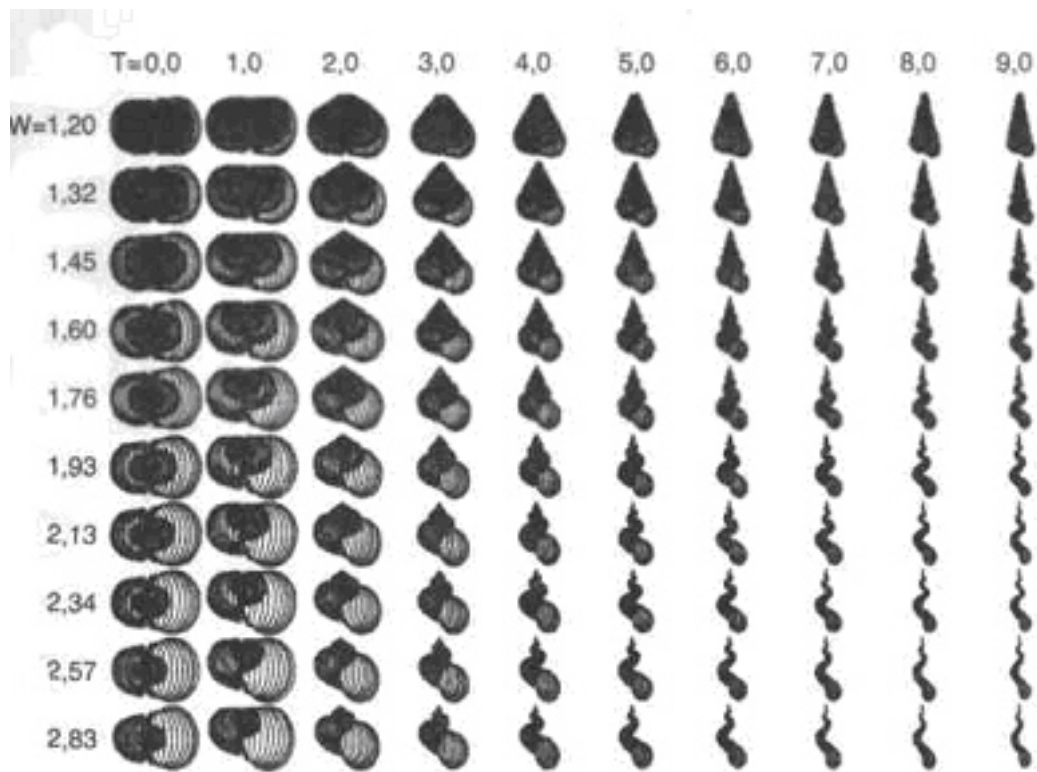
Na rycinie 6.6 natomiast widać ich „rentgenowskie” przekroje, oddające przestrzenny kształt muszli. Porównanie ze zdjęciami na rycinie 6.7 - prześwietleniami rzeczywistych muszli - pozwala na lepsze zrozumienie takiego ujęcia. Cztery narysowane przez komputer muszle na rycinie 6.6 przedstawiają, podobnie jak prawdziwe muszle z ryciny 6.4, różne wartości rozszerzalności, robakowatości i strzelistości.



Ryc. 6.6 Cztery komputerowe muszle w „perspektywie rentgenowskiej”, reprezentujące różne wartości rozszerzalności, robakowatości i strzelistości



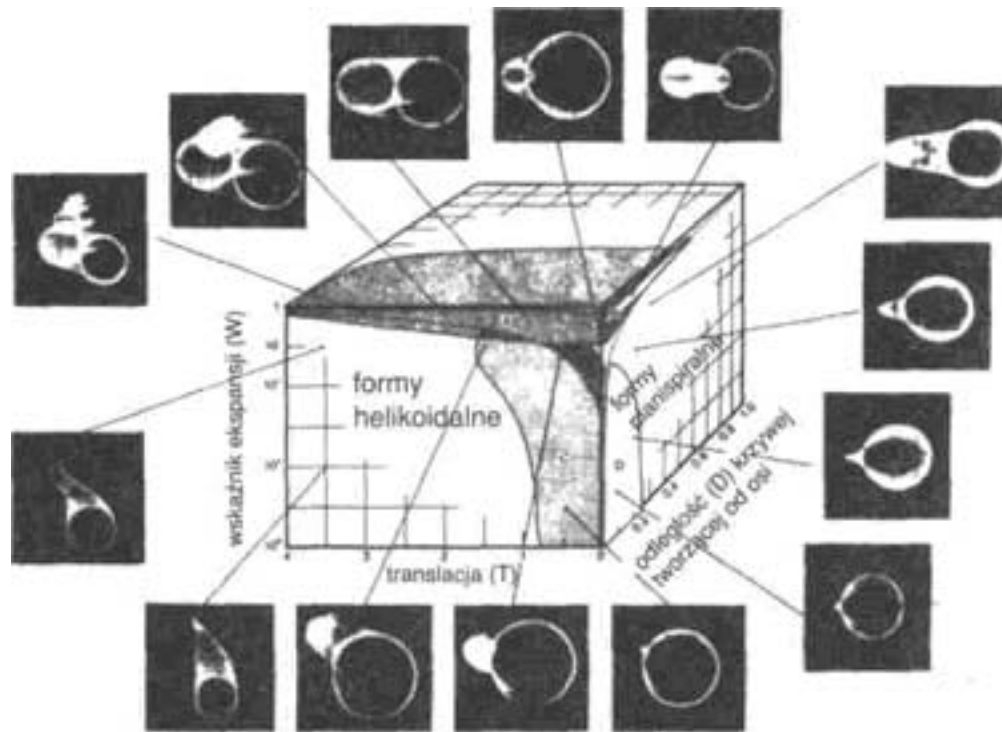
Ryc. 6.7 Zdjęcie rentgenowskie muszli



Ryc. 6.8 Wykres komputerowych muszli (w „perspektywie rentgenowskiej”) zestawiający wartości rozszerzalności (na wykresie oznaczone literą W, oś pionowa) i strzelistości (oznaczone literą T, oś pozioma). Podobnie jak na rycinie 6.5 skala rozszerzalności jest logarytmiczna - tutaj jednak przyjmuje ona niskie wartości; żadna z tych muszli nie rozszerza się znacząco.

Rycina 6.8 to wykres podobny do tego na rycinie 6.5 - tyle że tym razem muszle zostały przedstawione w „perspektywie rentgenowskiej”, a na jego osiach oznaczono wartości rozszerzalności i strzelistości (zamiast robakowatości, jak poprzednio).

Można także, oczywiście, sporządzić wykres pozostałej pary - robakowatości i strzelistości - ale ja nie będę się tym zajmował. Przejdę od razu do słynnego sześcianu Raupa (ryc. 6.9). Ponieważ wystarczą trzy liczby, by w pełni opisać muszlę (nie zajmujemy się na razie sprawą kształtu przekroju poprzecznego tworzącej muszlę rurki), można każdą z nich umieścić w ściśle wyznaczonym, specyficznym tylko dla niej miejscu w trójwymiarowym pudełku. Muzeum Możliwych Muszelek, w przeciwieństwie do, powiedzmy, Muzeum Możliwych Kości Miednicy, jest prostopadłościennym wieżowcem.



Ryc. 6.9 Sześcián Raupa. David M. Raup narysował trójwymiarowy wykres zależności między rozszerzalnością (nazwał ją wskaźnikiem ekspansji - W) - oś pionowa, a strzelistością (nazwał ją translacją - T) - oś pozioma i robakowatością (nazwał ją odległością krzywej tworzącej od osi - D) - oś ukośna. Niektóre komputerowe muszle, pochodzące z ważnych punktów tego wykresu, przedstawiono w „perspektywie rentgenowskiej” na Jego obrzeżu. Obszary sześciánu, zawierające muszle rzeczywiście istniejących zwierząt zostały zacienione. Pozostałą część sześciánu zajmują muszle, jakie teoretycznie można wyliczyć, ale których naprawdę nie ma.

Każdy wymiar odpowiada jednej z trzech liczb sygnatury muszli. Znalazłszy się w Muzeum Możliwych Muszelek, udajmy się, powiedzmy, na północ, której przyporządkujemy wymiar robakowatości. Podczas spaceru wzdłuż galerii zauważymy, że mijane muszle stają się coraz bardziej robakowate, podczas gdy wszystko inne pozostaje takie samo. Jeśli w którymkolwiek momencie skręci się w bok i pójdzie na przykład na zachód, mijane muszle będą zwiększać swoją strzelistość, stając się coraz bardziej stożkowate, przy czym inne ich cechy pozostaną nie zmienione. A kiedy w końcu w jakimś miejscu zarzuci się wędrówkę w kierunkach północ-południe oraz wschód-zachód i ruszy prosto w dół, co odpowiada rozszerzalności, zauważy się muszle stopniowo coraz bardziej się rozszerzające. Aby dostać się od jednej

konkretnej muszli do drugiej, wystarczy przekopać się przez sześcian pod odpowiednim kątem, mijając po drodze kolejne stadia pośrednie. Można sobie wyobrazić, że ryciny 6.5 i 6.8 to dwie zewnętrzne ściany tego sześcianu. Na dwuwymiarowej kartce papieru można przedstawić każdy przekrój, pod każdym dowolnym kątem tej bryły.

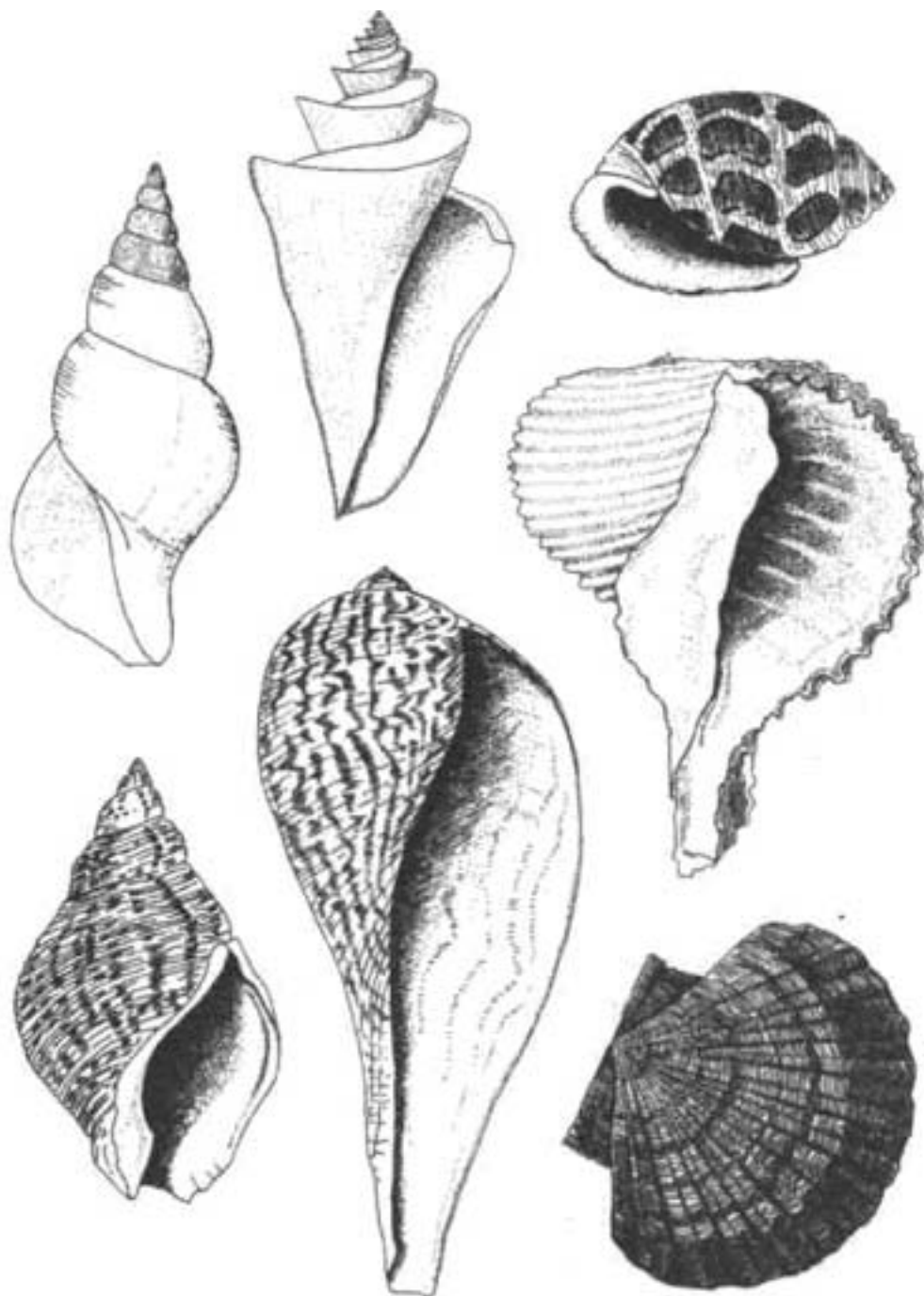
Raup napisał oryginalny program komputerowy, który mnie zainspirował. W opublikowanym diagramie Raup, zamiast skazanej na niepowodzenie próby przedstawienia w tym sześcianie wszystkich muszli, pokazał jego wybrane punkty. Rysunki okalające sześcian reprezentują muszle, które można teoretycznie odnaleźć we wskazanym punkcie przestrzeni. Na niektóre rzeczywiście moglibyśmy natknąć się podczas spaceru po plaży. Inne nie przypominają niczego z tej Ziemi, a jednak należą do przestrzeni wszystkich muszelek, jakie tylko da się wyliczyć. Raup zaznaczył szarym kolorem obszar przestrzeni, w której można znaleźć rzeczywiście istniejące muszle.

Amonity, niegdysiejsi krewniacy łodzika - które, jak się wydaje, podzieliły los dinozaurów - mają skręcone muszle, ale w przeciwieństwie do ślimaków, prawie zawsze pozostają one w jednej płaszczyźnie. Wartość ich strzelistości jest bliska zeru. Tak jest przynajmniej w przypadku typowych amonitów. Przyjemnie stwierdzić, że u kilku z nich, na przykład żyjącego w kredzie rodzaju *Turrilites*, wyewoluowała wysoka wartość strzelistości, wynajdując tym samym niezależnie formę ślimaka. Pomijając takie wyjątkowe przykłady, amonity pozostają rozmieszczone wzdłuż wschodniej ściany Muzeum Muszelek (pojęcia takie jak „wschodnia” czy „południowa” to oczywiście tylko arbitralnie wybrane określenia różnych części diagramu). Sale dla typowych amonitów zajmują nie więcej niż południową połowę wschodniej ściany, i to tylko kilka jej najwyższych pięter. Obszar należący do ślimaków i innych podobnych stworzeń zachodzi na korytarz amonitów, ale rozciąga się także daleko na zachód (wymiar strzelistości) i wnika nieco głębiej w dół, ku niższym piętrům budowli. Większość niższych pięter - gdzie rozszerzalność przyjmuje duże wartości - zajmowana jest przez dwie duże grupy zwierząt otoczonych dwiema muszlami. Małże ciągną się nieco na zachód - ich muszle noszą niewielki ślad skrętu, tworząca je rurka rozszerza się jednak tak szybko, że wcale nie przypominają muszli ślimaków. Skręty muszli ramienionogów (brachiopodów), które, jak wiemy, nie należą do mięczaków, ale z wyglądu przypominają małże pozostają - podobnie jak u amonitów - w jednej płaszczyźnie. Tak samo jak u małży, tworzące muszlę ramienionogów rurki zazwyczaj rozszerzają się całkowicie, zanim zdążą stworzyć skręt godny tej nazwy.

Każda konkretna historia ewolucyjna ma swoją trajektorię w obrębie Muzeum Wszystkich Możliwych Muszelek - przedstawiłem to, wpisując swój program komputerowy generujący muszelki w większy program, zwany „Ślepym zegarmistrzem” (ang.: *Blind Watchmaker*), dokonujący doboru sztucznego. Usunąłem po prostu ze „Ślepego zegarmistrza” całą embriogenezę drzew i wpisałem embriogenezę muszli. Kombinację tę nazwałem „Ślepym ślimakomistrzem” (ang.: *Blind Snailmaker*). Mutacjom odpowiadają drobne kroki w muzeum - pamiętajmy, że muszlę pozostającą w muzeum otaczają muszle najbardziej do niej podobne. W programie tym każda z trzech liczb sygnatury reprezentowana jest przez jeden z trzech genowych loci których wartość liczbowa może się zmieniać. Mamy więc trzy klasy mutacji: drobne zmiany rozszerzalności, drobne zmiany robakowatości i drobne zmiany strzelistości. Zmiany mutacyjne mogą być dodatnie lub ujemne, w pewnych wyznaczonych granicach. Najmniejsza możliwa wartość genu rozszerzalności wynosi 1 (mniejsze oznaczałyby zwięzanie się zamiast rozszerzania), maksymalna natomiast jest nieograniczona. Wartość genu robakowatości jest stosunkiem i waha się od 0 do liczby bliskiej 1 (robakowatość równa 1 oznaczałaby rurkę tak cienką, że aż nie istniejącą). Strzelistość natomiast nie ma ograniczeń: ujemne wartości oznaczają po prostu muszlę rosnącą nie do góry, ale w dół. Podobnie jak w „Ślepym zegarmistrzu”, program „Ślepy ślimakomistrz” przedstawia muszlę macierzystą na środku ekranu komputera, a wokół niej jej powstałe na drodze bezpłciowej potomstwo - czyli najbliższych sąsiadów z Muzeum Wszystkich Muszelek imitujących w sposób przypadkowy. Ludzki nadzorca dokonuje wyboru, klikając myszą na muszlę, którą przeznaczona do dalszej hodowli. Muszla ta przesuwa się na środek ekranu, a jego reszta wypełnia się jej z kolei potomstwem. Proces ten powtarza się, dopóki hodowcy starczy cierpliwości. Zaczyna on odnosić wrażenie, że przedziera się przez Muzeum Wszystkich Możliwych Muszelek. Czasami wędruje wśród dobrze znanych muszli, takich, na jakie natrafia się na plaży. Innym razem wykracza poza ramy rzeczywistości, w przestrzenie matematyczne, w których nie było nigdy prawdziwych muszelek.

Wcześniej mówiłem, że chociaż zbiór wszystkich możliwych muszelek można opisać za pomocą tylko trzech liczb, to związane jest to z przyjęciem pewnego upraszczającego założenia, a mianowicie uznania, że przekrój poprzeczny rurek tworzących wszystkie muszle zawsze jest kolisty. Kształt przekroju rozszerzającej się rurki pozostaje zwykle stały, nie oznacza to jednak w żadnym razie, że zawsze jest kołem. Może to być kształt owalny, i mój program komputerowy uwzględni jeszcze jeden „gen”, zwany kształtem, którego wartość jest równa stosunkowi

wysokości owalnej rurki do jej szerokości. Koło to pewien szczególny przypadek kształtu, o wartości 1. Okazuje się, że dzięki włączeniu tego genu do omawianego modelu dużo lepiej tworzy on muszle przypominające rzeczywiście istniejące. Ale to ciągle za mało. Przekroje wielu prawdziwych muszli są często bardziej zróżnicowane - nie są one ani koliste, ani owalne - i trudno je opisać prostymi równaniami matematycznymi.



Ryc. 6.10 Prawdziwe muszle o różnym przekroju (od dołu po lewej 1 zgodnie z

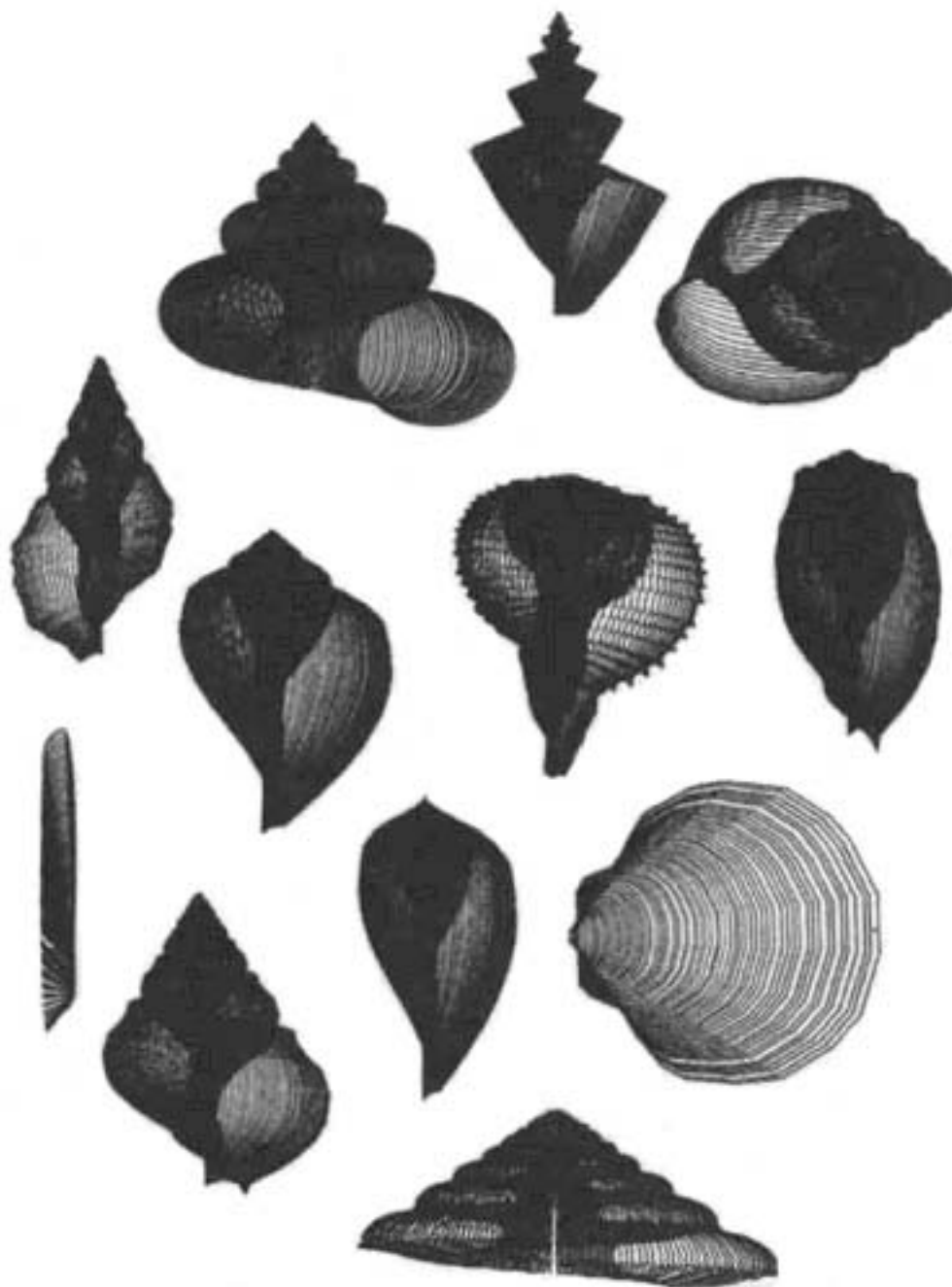


kierunkiem wskazówek zegara): trąbik *Cominella adspersa*, *Neptunia contrarta*; *Thatcheria mirabilis*; *Acteon eloisae*; *Rapa rapa*; przegrzebek wielki *Pecten maximus*; figa morska *Ficus gracilis*

Rycina 6.10 pokazuje kilka muszli pochodzących z różnych części muzeum, o skomplikowanym, niekolistym przekroju tworzącej je rurki.

Mój program „Ślepy ślimakomistrz” uwzględnia te dodatkowe zmiany dzięki dość topornemu zabiegowi - dostarczenia gotowych przekrojów. Każdy z tych szkiców jest następnie przekształcany (spłaszczony w pionie lub poziomie) przez aktualną (i stale mutującą) wartość genu kształtu. Program ten następnie generuje rurkę o tak przekształconym przekroju i okręca ją lub rozdyma, dokładnie tak jak w przypadku rurki o przekroju kołowym. Lepszy sposób zmierzenia się z tym problemem - być może kiedyś go wypróbuję - mógłby polegać na zaprogramowaniu komputera tak, by prowadził symulację bieżących procesów wzrostu postępujących w zróżnicowany sposób wokół wolnego skraju rurki i dających w efekcie ozdobne przekroje. Rycina 6.11 to rodzaj zoo komputerowych muszli (niezależnie od tego, ile są one warte) wytworzonych przez obecny program dzięki sztucznej selekcji dokonywanej przez ludzkie oko. Wyhodowano je ze względu na podobieństwo do znanych muszli, część z nich przypomina te przedstawione na rycinie 6.10, część natomiast takie, jakie można znaleźć chodząc po plaży lub nurkując pod wodą.

Kształt przekroju tworzącej muszlę rurki można uznać za dodatkowy wymiar (lub zestaw wymiarów) w Muzeum Wszystkich Muszelek. Pozostawiając je na razie samym sobie i powracając do naszego upraszczającego założenia o kolistym przekroju rurki, nie sposób nie zauważyć, jak urzeka fakt, iż tak łatwo znaleźć dla nich miejsce w Muzeum Wszystkich Możliwych Form, które potrafimy narysować w trzech wymiarach. Nie oznacza to jednak, że wszystkie części teoretycznego muzeum są w rzeczywistości zajęte. W rzeczywistym świecie, jak wiemy, większa część tego gmachu pozostaje pusta. Raup zacienił zamieszkane rejony (ryc. 6.9) - zajmują one dużo mniej niż połowę objętości tego sześcianu. Kolejne galerie ciągnące się daleko na północ i zachód zajmują hipotetyczne muszle, które - zgodnie z modelem matematycznym - mogłyby istnieć, ale które nigdy się na naszej planecie nie pojawiły. Dlaczego? A przede wszystkim: dlaczego - skoro już zadajemy takie pytania - muszle, które rzeczywiście się pojawiły, są w ogóle przypisane do wnętrza tego akurat prostopadłościanu?

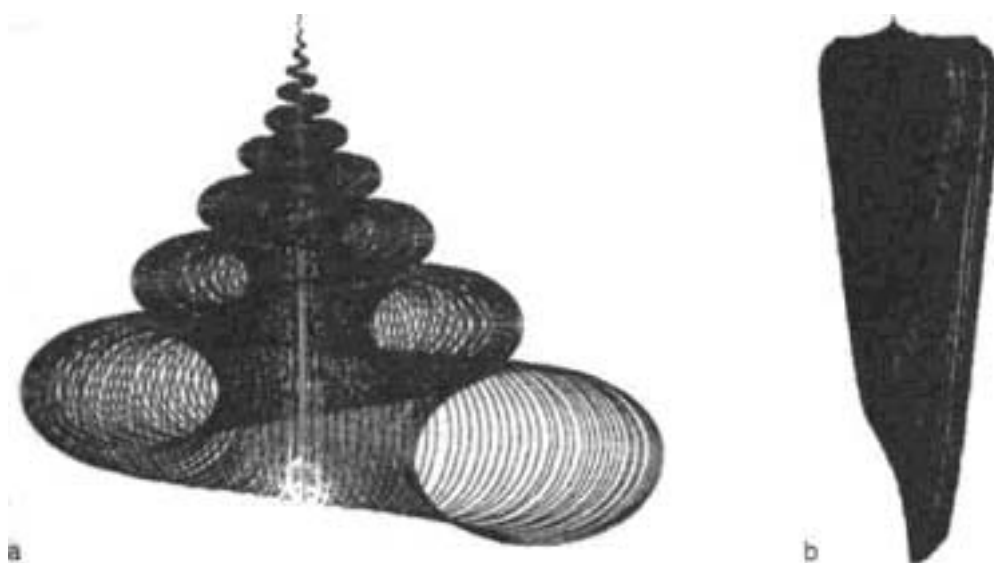


Ryc. 6.11 Zoo komputerowych muszli o różnych przekrojach, stworzone przez program „Ślepy ślimakomistrz”. Zostały wyhodowane na drodze sztucznego doboru - wybierano je na oko na podstawie podobieństwa do dobrze znanych, rzeczywiście istniejących muszli - m.in. tych z ryciny 6.10.

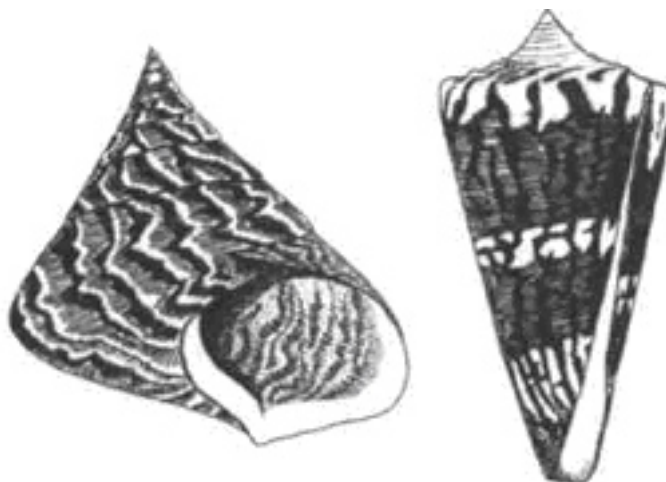
Jak wyglądałaby muszla, która nie pasowałaby do tego matematycznego wieżowca?

Rycina 6.12a pokazuje jedną z nich. Ma ona zmienną - zmieniającą się w czasie - wartość strzelistości. Ostatnie, szersze części muszli mają mniejszą wartość strzelistości niż węższe, które powstały wcześniej. Dlatego właśnie ten komputerowy ślimak ma tak nienaturalny, i zapewne bardzo kruchy, ostry czubek. To ślimak hipotetyczny. Istnieje tylko w komputerze. Komputerowa muszla stożka z ryciny 6.12b również ma nienaturalnie zaostrzony wierzchołek. Została ona także wyrysowana przez „Ślepego ślimakomistrza”, przy czym wartość strzelistości miała się zmniejszać z rozwojem muszli.

Muszle przedstawione na rycinie 6.13 są prawdziwe; podejrzewam, że również w czasie ich rozwoju strzelistość ulegała zmianom - na początku była wyższa, a z wiekiem malała. Zdaniem Raupa istniały takie amonity, które rosnąc zmieniały swoje trzy liczby sygnatury. Można powiedzieć, że z wiekiem te dziwne muszle przeprowadzały się do innych części muzeum (ciągle pozostając w jego obrębie). Ale można też powiedzieć - skoro niemowlęca postać wbudowana jest w ciało dorosłego zwierzęcia - że nie da się go w całości umieścić w żadnej z muzealnych sal.



Ryc. 6.12 (a) Komputerowy ślimak i (b) komputerowa muszla stożka - ich ostre czubki są efektem stopniowych zmian parametru strzelistości.



Ryc. 6.13 Prawdziwe muszle - Ich podobieństwo do muszli komputerowych widocznych na poprzedniej rycinie wskazuje na to, że także w czasie ich rozwoju stopniowo zmieniała się ich strzelistość. Po lewej - porcelanka tygrysia *Maurea tigris*; po prawej - stożek *Conus generalis*

Można się spierać, czy zwierzęta z ryciny 6.13 rzeczywiście da się przypisać trzem wymiarom naszego sześcianu. Geerat Vermeij, jeden z największych współczesnych znawców zwierząt żyjących w muszlach, uważa, że tendencja do zmiany z wiekiem wartości liczb sygnatury jest raczej normą niż wyjątkiem. Sądzi on, innymi słowy, że większość mięczaków rosnąc zmienia swoją lokalizację w matematycznym muzeum przynajmniej odrobinę.

Powróćmy do przeciwstawnego pytania o to, dlaczego w dużej części muzeum nie ma muszli rzeczywiście istniejących. Rycina 6.14 pokazuje kilka komputerowych muszelek pochodzących z zakazanych rejonów muzeum. Niektóre z nich wyglądałyby całkiem dobrze na głowie antylopy czy bizona, ale jako muszle mięczaków nigdy nie ujrzały światła dziennego. Zadając pytanie, dlaczego nie ma takich muszelek, powracamy do kontrowersji, od której rozpoczęliśmy te rozważania. Czy granice ewolucji wyznacza brak dostępnej zmienności, czy też dobór naturalny „nie chce” zapuszczać się w pewne rejony naszego muzeum? Raup wytłumaczył istnienie pustych obszarów - niezacienionych części sześcianu - z perspektywy selekcyjnej.



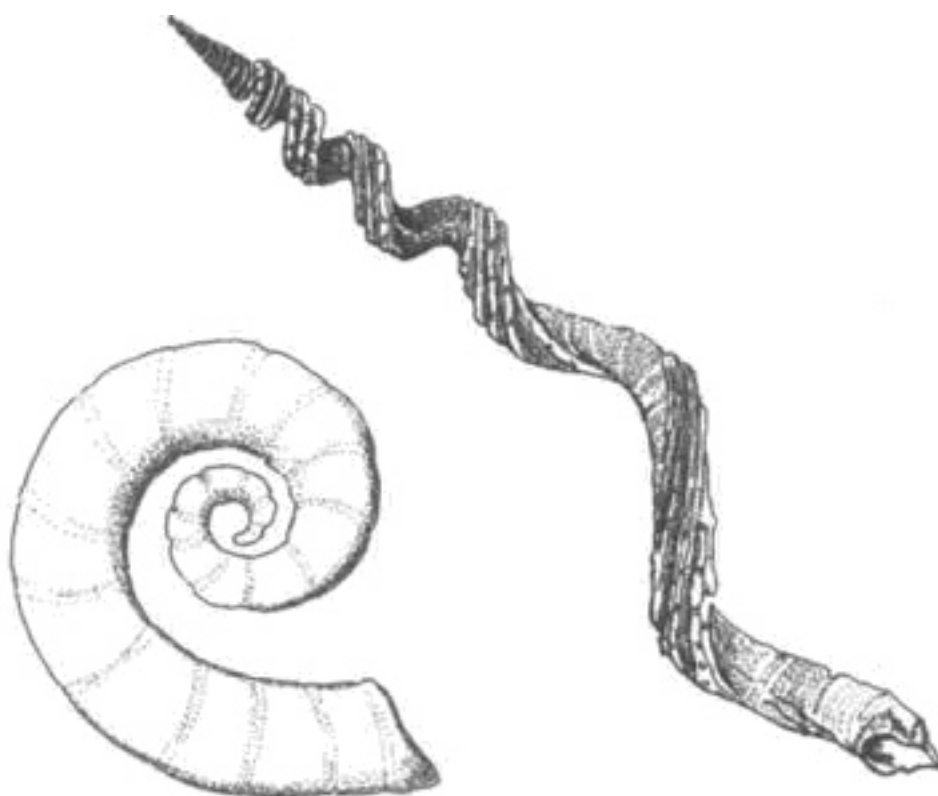
Ryc. 6.14 Teoretyczne muszle, które nigdy nie zaistniały - może jedynie jako antylopie rogi.

Nie ma takiej presji selekcyjnej, która zmuszałaby mięczaki do zajmowania wolnych na tym diagramie terenów. Innymi słowy, muszle o takich teoretycznych kształtach źle nadawałyby się do życia - byłyby na przykład słabe i kruche, bądź łatwo ulegałyby zniszczeniu z innych powodów, a może okazałyby się nieekonomiczne z punktu widzenia wykorzystania budulca.

Inni biologowie mogą jednak sądzić, że zabrakło mutacji potrzebnych, by przenieść się w inne rejony muzeum. Inaczej mówiąc, wieżowiec teoretycznych muszelek, jaki narysowaliśmy, nie reprezentuje w istocie przestrzeni wszystkich możliwych muszelek. Zgodnie z tym przekonaniem wiele rejonów naszego wieżowca jest nieosiągalnych, nawet jeśli dostanie się do nich jest pożyteczne ze względu na szanse przeżycia. Mój własny instynkt skłania mnie do przyjęcia selekcyjnej interpretacji Raupa, ale nie chcę się przy tym teraz zatrzymywać, ponieważ posłużyłem się muszlami tylko po to, by zilustrować pojęcie matematycznych przestrzeni wszystkich możliwych zwierząt.

Nie mogę pozostawić zakazanych rejonów bez krótkiego spojrzenia na wszystkie dziwaczności, jakie naprawdę istnieją na świecie. *Spirula* to mały, pływający głowonóg (do grupy tej należą także ośmiornice i amonity), spokrewniony z łodzikiem. Swój rozwierający się

kształt zawdzięcza wysokiej robakowatości (większej niż 1/rozszerzalność); spotkaliśmy się już z nim na rycinie 6.4. Jeśli muszle o tak wysokiej robakowatości rzeczywiście zwykle nie zachowują się ze względu na strukturalną słabość, to *Spirula* jest jego dobrym potwierdzeniem. Zwierzę to nie mieszka w swojej muszli, lecz wykorzystuje ją jako wewnętrzny narząd wypornościowy. Ponieważ muszla nie pełni funkcji ochronnych, natura pozwoliła jej podążać trajektorią ewolucyjną prowadzącą ku normalnie zakazanym rejonom Muzeum Wszystkich Możliwych Muszelek. Jest to jednak rejon pozostający w granicach tego muzeum. Tak samo jest chyba z karaibskim ślimakiem robaczniakiem, pokazanym na rycinie 6.15, który wybrał życie - i kształt muszli - wieloszczeta.

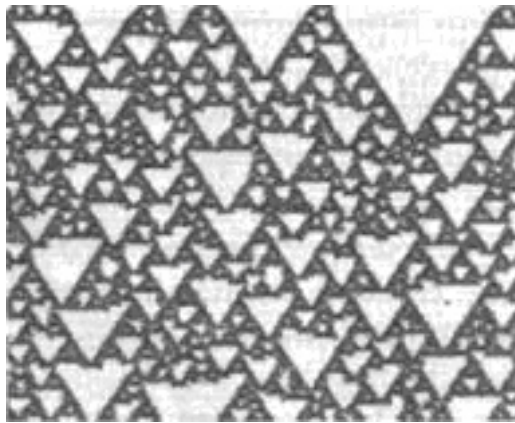
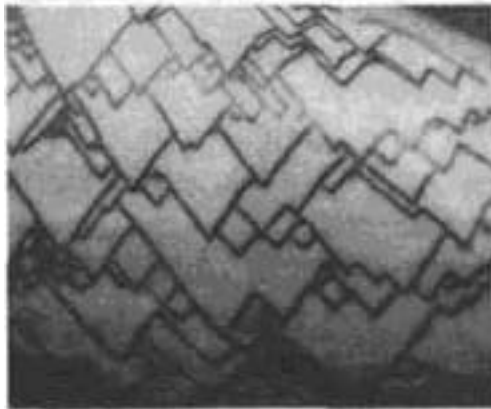
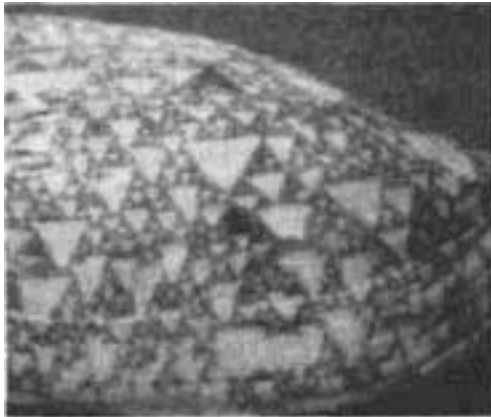


Ryc. 6.15 Prawdziwe muszle - bardzo delikatne i kruche, z rzadko uczęszczanych rejonów Muzeum Wszystkich Muszelek. „Głownóg *Spirula spirula* i karaibski ślimak robacznik *Vermicularia spirata*

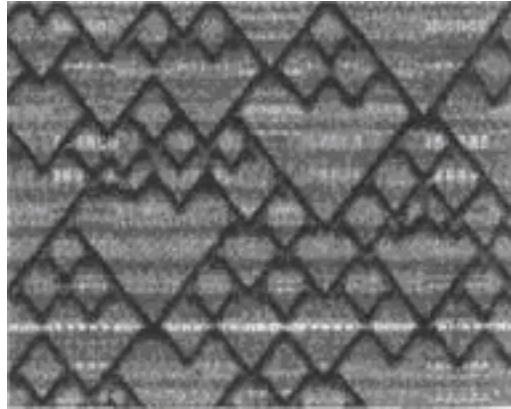
Spójrzmy na dolny prawy róg ryciny 6.8, a znajdziemy się mniej więcej w rejonie zamieszkiwanym przez karaibskiego robaczniaka. Z drugiej strony, bliscy krewni tego stworzenia (a także niektóre wymarłe amonity) mają dużo dziwniejszy, mniej regularny kształt i z pewnością nie udałoby się dla nich znaleźć w naszym muzeum żadnego miejsca.

Nasze muzeum nie tylko ignoruje fakt, że tworząca muszlę rurka nie musi mieć kolistego przekroju. Pomija ono także sprawę bogatej ornamentacji: tygrysiich pręgów, cętek jaguara -jak na rycinie 6.10, znaków przypominających wykaligrafowane V - jak na rycinie 6.4a i całego bogactwa żeberek i prążków wyrzeźbionych lub wymalowanych na innych muszlach. Niektóre z tych wzorów mogą zostać uwzględnione w naszym modelu za pośrednictwem takiej na przykład instrukcji podanej komputerowi: kiedy posuwasz się do przodu, budując coraz dłuższą rurkę z serii kolejnych pierścieni, rób każdy co n-ty pierścień grubszy od pozostałych. W zależności od tego, jaką wartość będzie miało n, zasada ta może doprowadzić do powstania na powierzchni muszli poprzecznych zgrubień w określonych odstępach. Wprowadzenie do komputera bardziej skomplikowanych zasad może dać bardziej wymyślne wzory. Niemiecki uczoney Hans Meinhardt przeprowadził analizę tych zasad. Rycina 6.16 po prawej przedstawia wzory na powierzchni dwóch prawdziwych muszli, oliwce i zwójce, po lewej zaś - uderzająco podobne wzory otrzymane w wyniku wprowadzenia zasad Meinhardta do programu komputerowego. Łatwo zauważyć, że otrzymano rezultaty zbliżone do przypominających drzewa biomorfów, z tym że tutaj chodzi nie o kolejno wyrastające gałęzie, ale o fale zmieniającej się aktywności komórek barwnikowych. Szczegóły można znaleźć w książce Meinhardta *The Algorithmic Beauty of Sea Shells* [Algorytmiczne piękno morskich muszli], ja jednak muszę rozstać się z tym tematem i powrócić do najważniejszej sprawy związanej z Muzeum Wszystkich Muszelek.

Koncepcję tego muzeum wprowadziłem ze względu na jeden prosty fakt: niezależnie od trudności związanych z kształtem przekroju rurki tworzącej muszlę, ornamentacją i różnymi zmiennymi składającymi się na sygnaturę, większość obecnie znanych muszli można opisać za pomocą zaledwie trzech liczb - parametrów wykresu. Aby pomieścić inne niż muszle formy zwierząt, musielibyśmy wyobrazić sobie muzeum zbudowane w większej liczbie wymiarów, niż potrafimy narysować. Bardzo trudno wyobrazić sobie wielowymiarowe Muzeum Wszystkich Możliwych Zwierząt, łatwiej jednak pamiętać, że każde z nich ma za sąsiadów zwierzęta najbardziej podobne i że możemy się w nim poruszać w każdym kierunku, nie tylko wzdłuż korytarzy. Każda historia rozwoju ewolucyjnego to wijąca się trajektoria przechodząca przez pewną część tego muzeum. Ponieważ ewolucja przebiega niezależnie we wszystkich obszarach królestwa zwierząt i roślin, możemy wyobrazić sobie tysiące trajektorii przebiegających się w różnych kierunkach przez różne rejony wielowymiarowego muzeum (warto zwrócić uwagę, jak daleko odeszliśmy tu od metafory Góry Nieprawdopodobieństwa).







Ryc. 6.16 Wzory na muszlach ślimaków i ich odpowiedniki wygenerowane przez komputer

Kontrowersję, od której rozpoczęliśmy te rozważania, można teraz sformułować następująco. Niektórzy biologowie uważają, że wędrując długimi korytarzami naszego muzeum, będziemy świadkami płynnego zmieniania się różnych cech we wszystkich kierunkach. Duże części muzeum nie są jednak w rzeczywistości nigdy odwiedzane przez istoty zbudowane z krwi i kości, ale - zgodnie z tym poglądem - mogłyby być odwiedzane, gdyby tylko dobór naturalny „zechciał” zwrócić się w którąkolwiek z tych stron. Inni biologowie natomiast, z którymi mniej sympatyzuję, choć mają oni być może rację, sądzą, że do dużych części tego muzeum dobór naturalny ma na zawsze zabroniony wstęp. Dobór naturalny może stukać wytrwale do drzwi prowadzących do określonego korytarza, ale nigdy nie zostanie do niego wpuszczony, ponieważ niezbędne mutacje nigdy się nie pojawią. Inne części tego muzeum, zgodnie z fantastyczną wizją tego poglądu, nie tylko nie są zabronione - przeciwnie, działają jak magnes albo jak wsysający wir, przyciągający zwierzęta ku sobie, niemal niezależnie od wysiłków doboru naturalnego. Według tego punktu widzenia Muzeum Możliwych Form Zwierzęcych nie jest równomiernie rozbudowanym pawilonem wypełnionym systematycznie ułożonymi długimi galeriami i korytarzami, w których cechy zmieniają się stopniowo i łagodnie, ale dobrze odizolowanymi od siebie magnesami, z których każdy jest jak najeżony opiłkami żelaza. Opiłki te to zwierzęta, a puste przestrzenie między magnesami to formy przejściowe, które być może mogłyby przeżyć, a być może nie, gdyby kiedyś pojawiły się na Ziemi, ale które pojawić się przede wszystkim nie mogły. Innym, może nawet lepszym sposobem na przedstawienie tego poglądu jest powiedzenie, że nasze rozumienie stadiów „pośrednich” lub „sąsiednich” w przestrzeni zwierząt jest błędne. Prawdziwi sąsiedzi to formy, które dzieli od siebie tylko jeden krok mutacyjny. Nam zaś wcale

nie muszą się wydawać najbliższymi sąsiadami.

Jestem otwarty na różne rozwiązania tej kontrowersji, choć sam skłaniam się ku jednemu z nich. W jednym punkcie jednak bardzo bym się upierał. Gdziekolwiek w naturze pojawia się wystarczająco silny pozór projektu dobrze nadającego się do pełnienia jakiejś funkcji, dobór naturalny jest jedyną siłą, która może za to odpowiadać. Nie upieram się, że dobór naturalny ma klucze do wszystkich korytarzy Muzeum Wszystkich Możliwych Zwierząt, i nie sądzę oczywiście, że do wszystkich jego części można dotrzeć z każdego miejsca. Dobór naturalny prawdopodobnie nie ma pełnej swobody pod względem wyboru kierunku. Być może niektórzy z moich kolegów mają rację i swoboda doboru naturalnego wijącego się, lub nawet skaczącego po muzeum jest poważnie ograniczona. Kiedy jednak inżynier, przyglądając się jakiemuś organizmowi, lub nawet jednemu z jego narządów, zauważa jak wspaniały - ze względu na spełniane funkcje - jest to projekt, wówczas gotów jestem głośno powtórzyć tezę, że to właśnie dzięki doborowi naturalnemu ten pozorny projekt jest tak doskonały. „Magnesy” czy „atraktory” działające w przestrzeni zwierząt nie mogłyby, nie wspomagane przez dobór, dojść do tak funkcjonalnie sprawnego projektu. Teraz jednak pozwolę sobie na pewne złagodzenie swojego stanowiska i wprowadzenie pojęcia kalejdoskopowej embriogenezy.

## ROZDZIAŁ 7

### KALEJDOSKOPOWE ZARODKI

Ciało powstaje w procesie wzrostu, a głównie - wzrostu zarodka; jeśli więc mutacja ma zmienić jego kształt, zwykle czyni to, wpływając na procesy rozwoju zarodkowego. Może na przykład przyspieszyć wzrost określonego fragmentu tkanki w głowie zarodka i w rezultacie osobnik dorosły będzie miał wydatny podbródek. Zmiany występujące na wczesnym etapie rozwoju zarodkowego mogą spowodować dramatyczne skutki: pojawienie się dwóch głów czy dodatkowej pary skrzydeł. Tak drastyczne mutacje, z powodów, które omówiliśmy w rozdziale trzecim, mają niewielkie szanse na to, by były faworyzowane przez dobór naturalny. Teraz jednak chcę zwrócić uwagę na inną sprawę. To, jakimi mutacjami będzie się mógł zajmować dobór naturalny, zależy od konkretnego przebiegu rozwoju zarodkowego, charakterystycznego dla określonego gatunku. Rozwój zarodkowy ssaków przebiega zupełnie inaczej niż owadów. Różnice, choć nieporównywalnie mniejsze, występują też między różnymi rzędami ssaków. Chcę tutaj zwrócić uwagę na fakt, że niektóre typy rozwoju zarodkowego mogą niejako łatwiej ewoluować. Nie chodzi mi o intensywność mutowania, to jest zupełnie inna sprawa. Chodzi mi o to, że pewne rodzaje zmian wprowadzanych przez określone typy rozwoju zarodkowego mogą być bardziej obiecujące pod względem ewolucyjnym niż zmiany wprowadzane przez inne typy rozwoju zarodkowego. Co więcej, coś na kształt doboru wyższego rzędu - wcześniej nazwałem to ewolucją ewoluowalności - może doprowadzić do powstania świata zasiedlonego przez istoty, których rozwój zarodkowy sprzyja ich ewolucji.

Kiedy coś podobnego mówi taki darwinista do szpiku kości jak ja, brzmi to jak czysta herezja. Dobór naturalny wcale wszak nie ma, co dla bliskich memu sercu neodarwinistycznych kręgów jest absolutnie oczywiste, wybierać między całymi grupami. Czyż nie zgodziliśmy się w rozdziale trzecim z twierdzeniem, że dobór naturalny faworyzuje zerowe tempo mutacji (którego nigdy tak naprawdę nie udaje mu się osiągnąć - na szczęście dla przyszłości życia na Ziemi)? Jak więc możemy teraz mówić, że jakiś szczególny typ rozwoju zarodkowego jest lepszy ze względu na mutacje? No cóż, może w tym sensie, że poszczególne typy rozwoju są różnie podatne na zmiany. I niektóre z tych sposobów mogą być, w pewnym sensie, bardziej owocne ewolucyjnie niż inne, na przykład przyczyniając się do wielkiej radiacji nowych form - tak, jak to się stało ze ssakami po wyginięciu dinozaurów. To właśnie miałem na myśli, kiedy wysunąłem dość dziwną

sugestię, że pewne rodzaje rozwoju zarodkowego są lepsze pod względem ewolucyjnym niż inne.

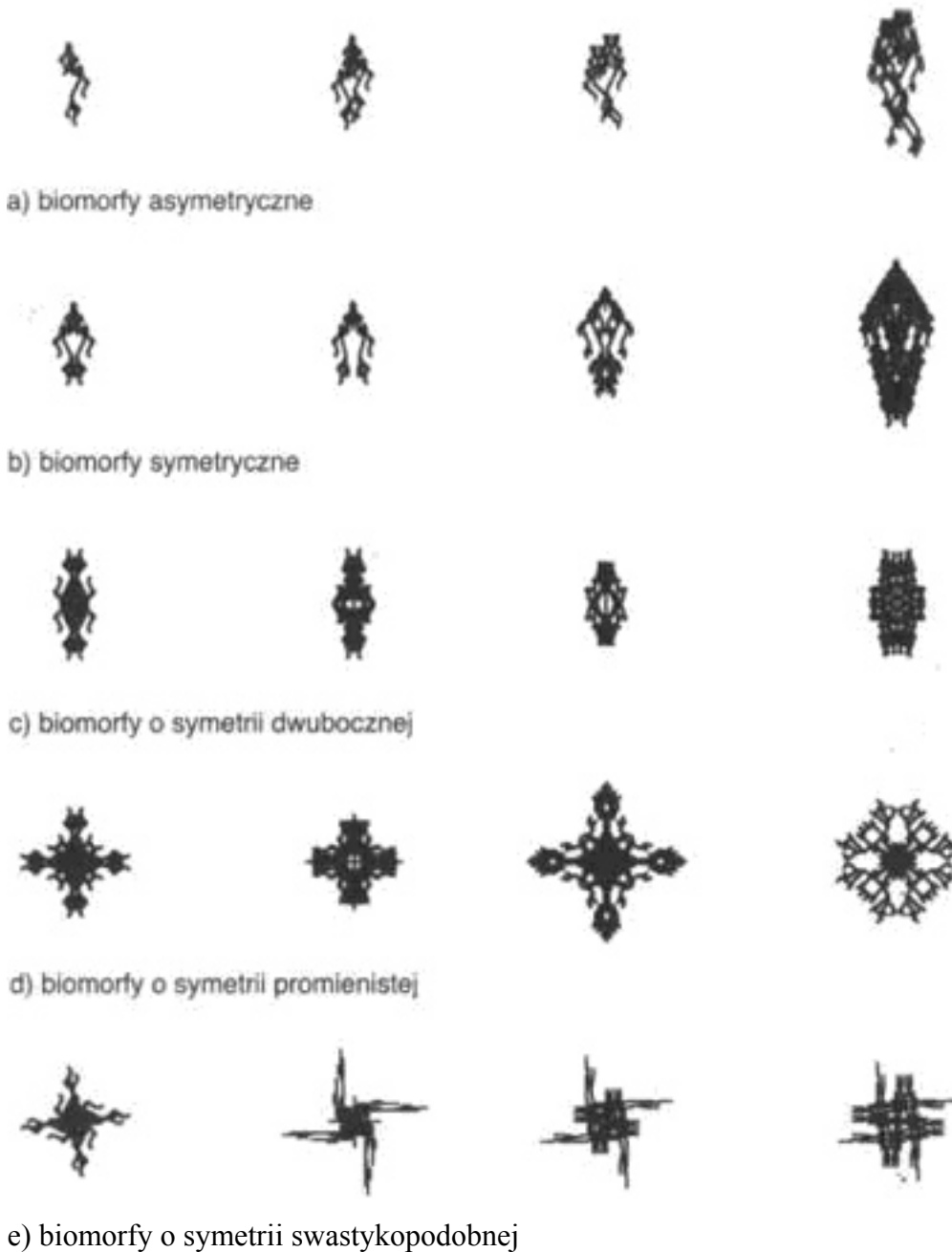
Nieźłą ilustracją tego, o czym mówię, jest kalejdoskop, z tym, że kalejdoskopy mają dawać jak najpiękniejsze, a nie jak najskuteczniejsze formy. Kolorowe okruchy szkła układają się w kalejdoskopie przypadkowo. Jednak dzięki sprytnemu układowi lustrzanych ścianek tego urządzenia widzimy przez jego dziurkę wspaniale symetryczny kształt, podobny do płatka śniegu. Lekkie postukiwanie („mutacje”) w tubus kalejdoskopu powoduje delikatne przesunięcia barwnych szkiełek. Zaglądając do środka, widzimy je jednak jako symetrycznie powtarzające się zmiany we wszystkich miejscach naszego płatka śniegu. Uderzając w kalejdoskop raz po raz, wędrujemy przez malutką jaskinię Aladyna, wypełnioną najrozmaitszymi klejnotami.

Zasadą kalejdoskopu jest przestrzenna powtarzalność kształtów. Przypadkowe zmiany są dzięki odbiciom w lusterkach wielokrotnie powtarzane. A liczba powtórzeń zależy od liczby lusterek. Podobnie jest z mutacjami - choć są to same w sobie pojedyncze zmiany, to ich efekt może się wielokrotnie powtarzać w różnych częściach organizmu. Możemy uznać je za jeszcze jeden rodzaj nieprzypadkowych mutacji, uzupełniający te, o których mówiliśmy w rozdziale trzecim. Liczba powtórzeń zależy od typu rozwoju zarodkowego. Omówię różne rodzaje kalejdoskopowego rozwoju. Doceniłem znaczenie kalejdoskopowości, gdy zająłem się hodowlą biomorfów, a zwłaszcza kiedy do swojego programu „Ślepy zegarmistrz” dołożyłem komputerowe lustro. Nieprzypadkowo więc do zilustrowania tego rozdziału posłużyłem się głównie biomorfami i innymi stworzeniami komputerowymi.

Pierwsza sprawa to symetria, i zaczniemy od jej braku. Sami jesteśmy dość symetryczni (choć nie pod każdym względem), i takie też są zwykle zwierzęta, z jakimi mamy na co dzień do czynienia, łatwo więc nam zapomnieć, że symetria wcale nie jest oczywistą cechą wszystkich stworzeń. Niektóre grupy pierwotniaków (organizmów jednokomórkowych) są asymetryczne: choćby się je cięło na nie wiem ile sposobów, żadna z dwóch części ani nie będzie identyczna z drugą, ani nie będzie jej lustrzanym odbiciem. Jakie skutki wywrze mutacja na kompletnie asymetrycznym organizmie? Aby to wyjaśnić, najlepiej przyjrzeć się komputerowym biomorfom.

Dziewięć biomorfów na rycinie 7.1a to wszystko kolejne zmutowane warianty formy wyjściowej, i wszystkie powstają w efekcie rozwoju zarodkowego, którego w żaden sposób nie ogranicza symetria. Kształty symetryczne nie są zabronione, ale też nie ma żadnego szczególnego powodu, by takie akurat powstawały. Mutacje po prostu wpływają na zmianę kształtu, i to wszystko: nie ma tu najmniejszych śladów kalejdoskopowości czy luster. Popatrzmy

jednak na inne biomorfy (ryc. 7.1b). Są to także mutanty postaci wyjściowej, ich rozwojem zarodkowym rządzi jednak zasada symetryczności: w program komputerowy wpisałem software'owe lustro w płaszczyźnie środkowej biomorfów. Mutacje mogą zmienić różne rzeczy, tak samo jak u biomorfów asymetrycznych, ale każda przypadkowa zmiana po lewej stronie zostanie także wprowadzona po stronie prawej. Formy te sprawiają bardziej biologiczne wrażenie niż poprzednie.



Ryc. 7.1 Biomorfy ograniczone różną liczbą kalejdoskopowych luster i wykazujące w

rezultacie różne rodzaje symetrii

Rozważając rozwój zarodkowy, możemy uznać zasadę symetryczności za ograniczenie lub przymus. Wszak w dosłownym sensie nieskrępowany rozwój zarodkowy ma teoretycznie bogatsze możliwości - może doprowadzić do powstania zarówno form asymetrycznych, jak i symetrycznych. Jak jednak przekonamy się w tym rozdziale, niewykluczone, że ograniczenie w postaci symetryczności działa wzbogacająco, a więc zupełnie inaczej niż wszelkie ograniczenia. Problem związany z nieskrępowanym rozwojem zarodkowym polega na tym, że musi on przejść przez całe mnóstwo różnych form, aby wreszcie przypadkowo pojawiła się postać symetryczna. I nawet potem tę długo oczekiwaną symetrię będą ciągle psuły kolejne pokolenia mutacji. Jeśli, niezależnie od tego, co ulega zmianom, symetria wydaje się prawie zawsze pożądana, „skrępowany” rozwój zarodkowy będzie zawsze bardziej produktywny - tak jak i jego rezultaty są dla naszych oczu dużo piękniejsze. W przeciwieństwie do nieskrępowanego rozwoju, nie marnuje on czasu na tworzenie form asymetrycznych, które i tak do niczego nie prowadzą.

W istocie znakomita większość zwierząt, z nami włącznie, jest przeważająco, choć nie całkowicie, symetryczna i wykazuje tzw. symetrię dwuboczną, w której prawa strona jest zwierciadlanym odbiciem lewej. Piękno samo w sobie się nie liczy, musimy więc zastanowić się, dlaczego, pod względem użyteczności, symetria taka jest cechą pożądaną. Niektórzy zoologowie przywiązani są do osiemnastowiecznego poglądu, zgodnie z którym zwierzęta mają symetryczną budowę, ponieważ podlegają pewnej mistycznej niemal zasadzie wierności podstawowemu planowi budowy ciała, czyli temu, co Niemcy określili słowem *Bauplan* [*Bauplan* to tyle co projekt. Zazwyczaj ludzie lubią posługiwać się obcymi terminami, by dodać swojej wypowiedzi większego znaczenia; „Basowe głosy z głębin Renu” - jak ironicznie określił to sir Peter Medawar. Jeśli jednak wolno mi tu w nawiasie zażartować - zwracam uwagę, że w słowie „projekt” również zawarta jest ironia, ponieważ sugeruje ono redukcjonistyczne odwzorowanie jeden do jednego między planem a budowlą, co w genetycznym kontekście uraziłoby ideologiczną wrażliwość najgorętszych zwolenników pojęcia *Bauplan*]. Wolę anglosaską prostotę mojego kolegi Henry’ego Bennet-Clarka, z którym dyskutowałem te kwestie: „Wszystkie pytania dotyczące życia mają tę samą odpowiedź (choć nie zawsze jest ona pomocna): dobór naturalny”. Niewątpliwie korzyść z posiadania symetrii dwubocznej jest różna u rozmaitych grup zwierząt, kolega mój zrobił jednak kilka ogólnych uwag, które teraz pokrótce

omówię.

Większość zwierząt jest albo zbliżona do robaków, albo pochodzi od ich potomków. Co to znaczy być robakiem? Jeśli się nim jest, to sensownie chyba mieć otwór gębowy na jednym końcu ciała - w tej jego części, która pierwsza styka się z pokarmem, a odbył na drugim. Wtedy swoje odchody pozostawia się za sobą, zamiast niechcący je zjadać. Tak zostaje określony przód i tył ciała. Zwykle przywiązuje się też wielką wagę do jego góry i dołu. Choćby ze względu na siłę ciężkości. Wiele zwierząt porusza się po jakiejś powierzchni - na przykład ziemi lub po dnie morza. Uzasadnione jest wtedy, by ta strona ciała, która się styka z powierzchnią, była - z najróżniejszych powodów - nieco inna niż część wystawiona do słońca. Tak określona zostaje strona brzuszna (dół) i grzbietowa (góra), tym samym więc - skoro znamy też już przód i tył - możemy wskazać stronę prawą i lewą. Dlaczego jednak obie te strony miałyby być swoimi lustrzanymi odbiciami? Krótka odpowiedź na to pytanie brzmi: a dlaczegoż by nie? W przeciwieństwie do asymetrii przodo-tylnej i grzbieto-brzuszej, które mają poważne uzasadnienie, nie ma żadnych podstaw, by przypuszczać, że najlepszy możliwy kształt dla strony prawej powinien być inny niż dla lewej. Przecież jeśli jest jakieś najlepsze rozwiązanie dla strony lewej, to rozsądne będzie założenie, że najlepsza prawa strona powinna wyglądać tak samo. W szczególności zaś - każde poważniejsze odstępstwo od tej zwierciadlanej symetrii może doprowadzić do tego, że zwierzę będzie kręciło się w kółko, zamiast podążać najkrótszą drogą na wprost.

Dlatego też, niezależnie od tego, jakie są konkretne przyczyny, pożądanym jest, by strony prawe i lewe zawsze ewoluowały razem, jak sprzężone ze sobą lustrzane odbicia - kalejdoskopowe typy rozwoju zarodkowego z wbudowanym zwierciadłem w płaszczyźnie strzałkowej będą więc miały przewagę. Nowe mutacje, wnoszące jakieś cenne zmiany, będą bowiem automatycznie ujawniały się po obu stronach. A jaka jest alternatywna, niekalejdoskopowa możliwość? Ewolująca linia rodowa zyska jakąś korzystną zmianę w, powiedzmy, lewej części ciała. Następnie będzie musiała czekać wiele asymetrycznych pokoleń, by podobna mutacja pojawiła się po prawej stronie. Nietrudno zauważyć, że kalejdoskopowa wersja rozwoju może łatwo zdobyć przewagę. Być może więc istnieje rodzaj doboru naturalnego faworyzującego kalejdoskopowe typy rozwoju zarodkowego o coraz bardziej restrykcyjnym - a tym samym coraz bardziej efektywnym - charakterze.

Nie znaczy to, że rozmaite asymetrie dwuboczne nie mogły nigdy wyewoluować.

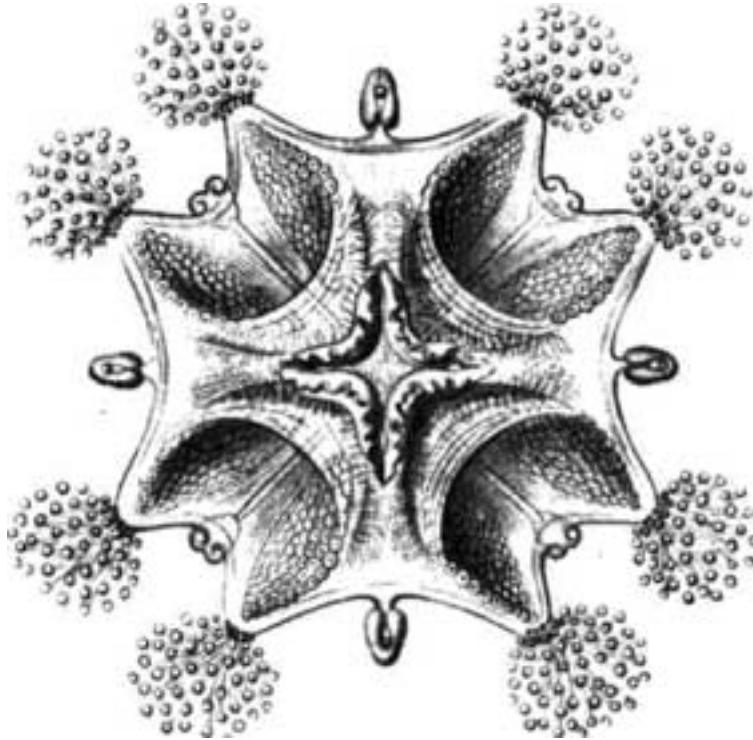
Zdarzają się mutacje, których skutki ujawniają się silniej po jednej stronie. Bywają także bardzo konkretne powody, dla których asymetryczne mutacje są niekiedy ogromnie pożądane - na przykład kiedy odwłok kraba pustelnika ma się zmieścić w skręconej muszli - i wtedy dobór naturalny je faworyzuje. Omawialiśmy już, w rozdziale czwartym, płastugi takie jak skarpy, sole i flądry (ryc. 4.7). Skarp osiadł na swoim pierwotnie lewym boku i jego lewe oko przewędrowało na pierwotnie prawą, a teraz górną stronę ciała. Sole uczyniły to samo, z tym że leżą na swoim prawym niegdyś boku, co może - ale nie musi - oznaczać, że dokonały tego niezależnie. Lewy bok przodka skarpa stał się funkcjonalnie stroną dolną, przylegającą do dna, dlatego zrobił się płaski i srebrzycie ubarwiony. Prawy natomiast stał się stroną górną, zwróconą ku słońcu, i zyskał wypukły kształt oraz maskujący kolor. To, co u przodka płastugi było stronami grzbietową i brzusznią, stało się bokami prawym i lewym. Odpowiadające tym częściom ciała płetwy - grzbietowa i odbytowa, zwykle bardzo różniące się od siebie - stały się niemal identyczne jak wzajemne lustrzane odbicia, pełniąc funkcję płetw lewej i prawej. Ponowne odkrycie symetrii dwubocznej przez płastugi jest znakomitym świadectwem siły doboru naturalnego - w przeciwieństwie do niemieckiej idei podstawowych planów budowy ciała. Byłoby interesujące (i możliwe do przeprowadzenia) ustalenie, czy mutacje występujące u płastugi są automatycznie odzwierciedlane w nowej lewej i prawej stronie (czyli w starych - grzbietowej i brzusznej), czy też są one ciągle (zgodnie z wzorcem przodków tych ryb) automatycznie odzwierciedlane w starej lewej i prawej stronie (czyli obecnej górnej i dolnej). Czy różnica między srebrzystą a maskującą ubarwioną stroną płastugi została wywalczona wbrew nieprzyjaznemu, staremu typowi kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego, czy też z pomocą przychylnego, nowego typu kalejdoskopowego rozwoju? Jakakolwiek jest odpowiedź na to pytanie, wygodnie na tym przykładzie udowodnić, że użycie słów „nieprzyjazny” i „przychylny” ma w embriologii dobre uzasadnienie. I znowu, czyżbyśmy ośmielali się twierdzić, że działa tu jakiś rodzaj doboru naturalnego wyższego rzędu, tak by zwiększyć przychylność rozwoju zarodkowego względem pewnych rodzajów ewolucji?

Z perspektywy tego rozdziału ważną rzeczą dotyczącą symetrii dwubocznej jest fakt, że każda mutacja wywiera jednocześnie efekt w dwu miejscach ciała zwierzęcia. To miałem na myśli, mówiąc o kalejdoskopowym rozwoju zarodkowym: jest tak, jakby mutacje odbijały się w lustrze. Ale symetria dwuboczna to nie wszystko. Mutacyjne lustra mogą być ustawione także w innych płaszczyznach. Biomorfy na rycinie 7.1c są symetryczne nie tylko pod względem stron

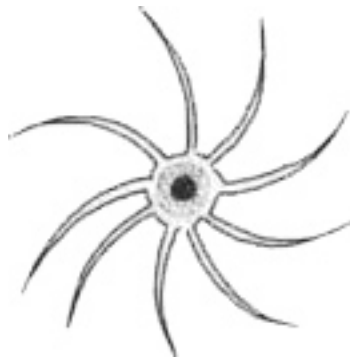


prawej i lewej, ale także przedniej i tylnej. Wygląda to tak, jakbyśmy mieli tu do czynienia nie z jednym, ale dwoma lustrami, ustawionymi względem siebie pod kątem prostym. Takie „dwulustrzane” zwierzęta trudniej znaleźć w przyrodzie niż te o symetrii dwubocznej. Pas Wenery, wstęgowaty przedstawiciel niezbyt znanego typu żebroplawów, jest ich doskonałym przykładem. Łatwiej znaleźć przykłady kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego podlegającego czterokrotnej symetrii, takie jak biomorfy na rycinie 7.1d. Symetrię taką wykazuje wiele meduz. Przedstawiciele ich typu - jamochłonów - albo pływają w morzu (jak same meduzy), albo pozostają przytwierdzone do morskiego dna (jak ukwiały), nie podlegają więc czynnikom decydującym o wykształceniu się przedniej i tylnej strony ciała, jak u robaków. Mają wszelkie powody, by posiadać stronę górną i dolną, ale żadnych, by mieć przód i tył czy stronę prawą i lewą. Nie ma powodu, by - widziany z góry - jakiś wycinek ich ciała był szczególnie uprzywilejowany, i w istocie mają one symetrię promienistą. Meduza na rycinie 7.2 wykazuje akurat symetrię czteropromienną, ale - jak się przekonamy - równie często spotyka się wszelkie inne liczby osi symetrii. Autorem omawianej ryciny, i wielu innych w tym rozdziale, jest wielki niemiecki zoolog żyjący w XIX wieku - Ernst Haeckel, który był także utalentowanym rysownikiem.

Zwierzęta charakteryzujące się tego rodzaju symetrią mogą przyjmować najrozmaitsze formy, z jednym tylko ograniczeniem, które, moim zdaniem, jest znowu nie tyle ograniczeniem, ile usprawnieniem kalejdoskopowego rozwoju. Przypadkowe zmiany zachodzą od razu we wszystkich czterech miejscach. Ponieważ jednak każdy z czterech elementów sam ma swoje zwierciadlane odbicie, mutacja ta w rezultacie jest powtórzona osiem razy. Widać to bardzo wyraźnie na rycinie 7.2 przedstawiającej słupomeduzę, która ma osiem małych pęczków czułków, po dwa na każdym rogu.



Ryc. 7.2 Zwierzę charakteryzujące się czterokrotną symetrią: słupomeduza. Warto zauważyć, że każda z czterech osi. ma także swoje zwierciadlane odbicie, większość zmian powtarza się więc osiem razy.



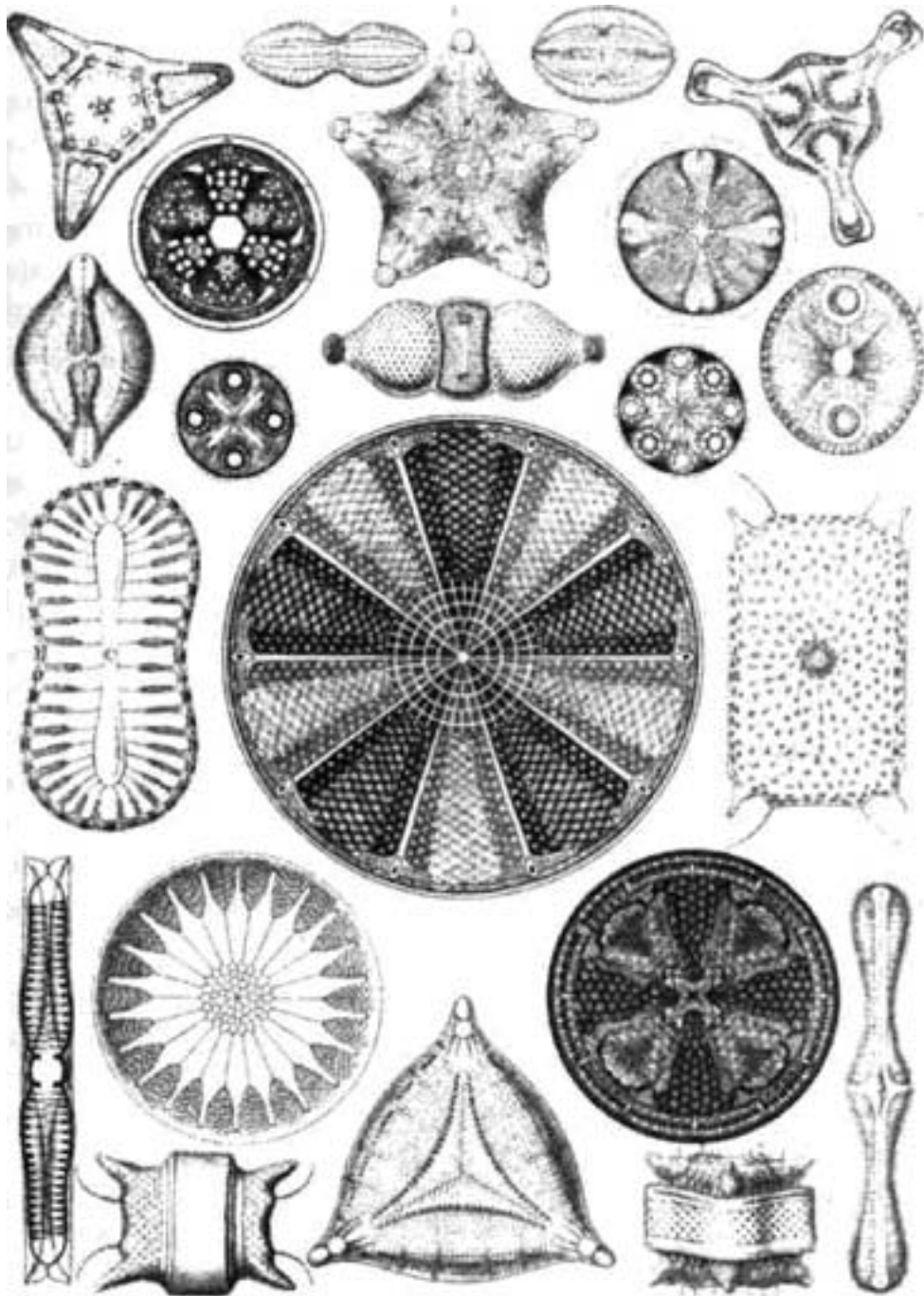
Ryc. 7.3 Plemnik raka

Prawdopodobnie mutacja zmieniająca kształt takiego pęczka ujawniłaby się osiem razy. Aby przekonać się, jak wyglądałaby symetria promienista, gdy brak takich dodatkowych podwojeń, spójrzmy na biomorfy przedstawione na rycinie 7.1e. Dość trudno znaleźć zwierzę odznaczające się taką swastykopodobną symetrią, ale rycina 7.3 pokazuje jeden taki przykład - jest to plemnik raka.

Większość zwierząt o symetrii promienistej, niezależnie od tego, ile można u nich

wyróżnić osi symetrii, do każdej z osi dodaje symetrię dwuboczną. Kiedy więc liczymy zwielokrotnienia mutacji, aby wiedzieć, ile razy została powtórzona, musimy liczbę osi symetrii pomnożyć przez dwa. U typowej pięciopromiennej rozgwiazdy - której każde ramię odznacza się symetrią dwuboczną - każda mutacja powtarza się dziesięć razy.

Haeckel najbardziej lubił rysować jednokomórkowe organizmy, takie jak okrzemki przedstawione na rycinie 7.4. Widzimy tutaj kalejdoskopowe symetrie o dwóch, trzech, czterech, pięciu i więcej lustrach, w dodatku do symetrii dwubocznej każdego z ramion tych glonów. W każdej z tych symetrii podczas rozwoju zarodkowego mutacje zachodzą nie w jednym miejscu, ale w ustalonej ich liczbie. Na przykład u pięcioramiennej gwiazdy na górze ryciny 7.4 może wystąpić mutacja decydująca o powstawaniu bardziej spiczastych ramion. Wówczas wszystkie pięć ramion naraz będzie miało ostrzejszy kształt. Nie musielibyśmy czekać na pięć oddzielnych mutacji. Prawdopodobnie różne liczby luster są same w sobie (dużo rzadszymi) wzajemnymi mutacjami.



Ryc. 7.4 Okrzemki - mikroskopijne jednokomórkowe rośliny - są przykładem symetrii o różnej liczbie kalejdoskopowych luster występujących w obrębie jednej grupy organizmów.

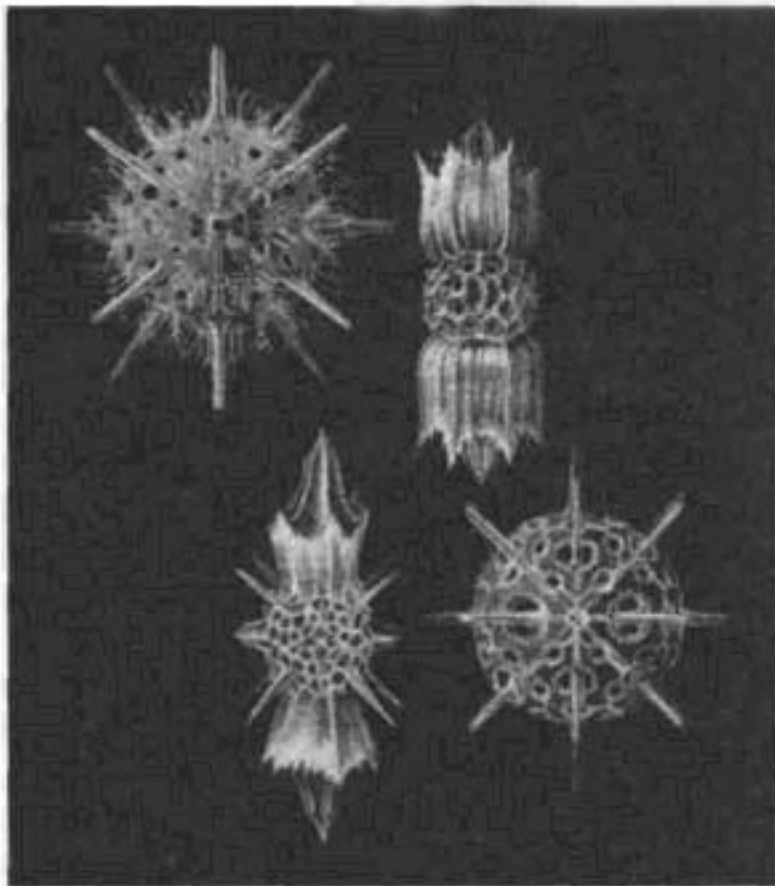
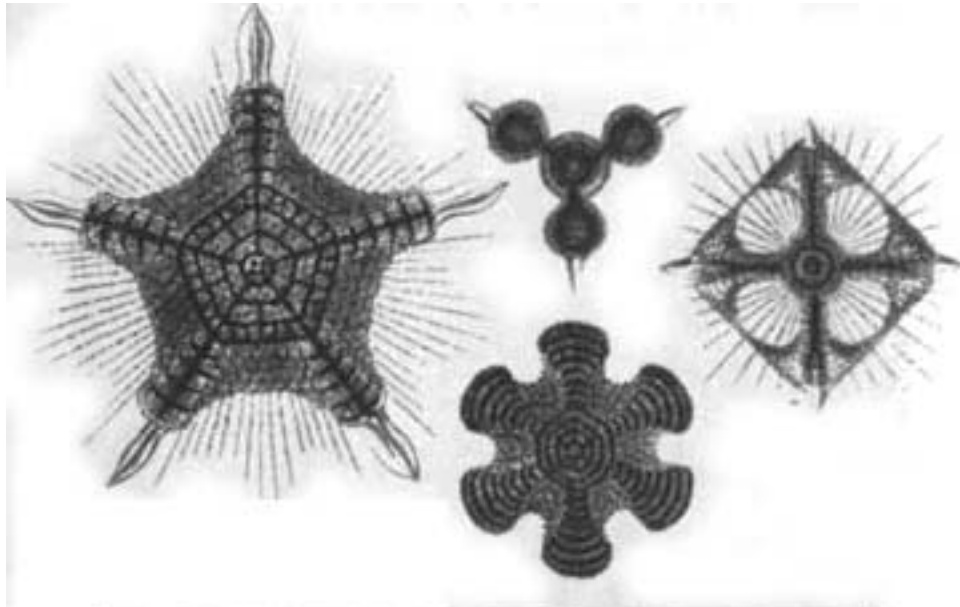
Być może, na przykład, u trójramiennej gwiazdy może czasami wystąpić mutacja sprawiająca, że stanie się ona gwiazdą pięcioramienną.

Dla mnie największymi arcydziełami wszystkich mikroskopijnych kalejdoskopów są

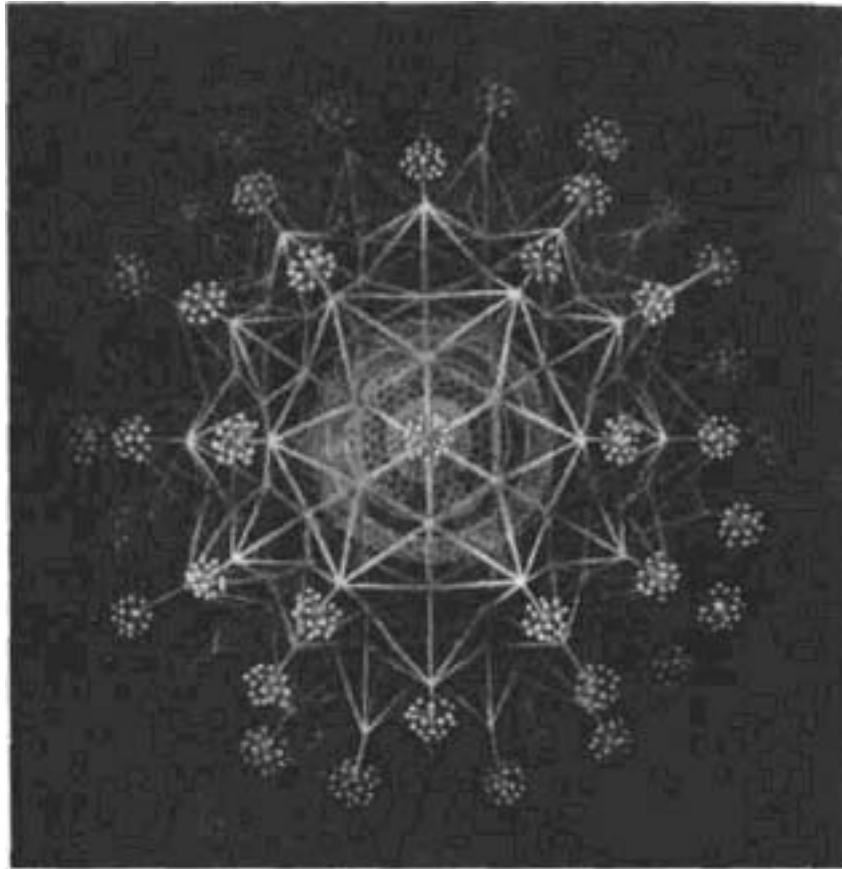
promienice (z gromady Radiolaria), które cieszyły się też szczególnym zainteresowaniem Ernsta Haeckla (ryc. 7.5). Są one zarazem przykładem pięknych symetrii o różnym porządku, odpowiadających dwóm, trzem, czterem, pięciu i więcej lustrum. Mają delikatny krzemionkowy szkielecik, którego uroda i elegancja jest najlepszym świadectwem możliwości kalejdoskopowego rozwoju.

Kalejdoskopowe cacko na rycinie 7.6 mogłoby być dziełem architekta wizjonera Buckminstera Fullera (którego miałem kiedyś zaszczyt słuchać, gdy przekroczył dziewięćdziesiątkę - wygłosił wówczas znakomity trzygodzinny wykład bez chwili wytchnienia). Siła tego szkieletu, podobnie jak kopuł geodezyjnych Fullera, zależy od wytrzymałej strukturalnie figury geometrycznej - trójkąta. Jest to najwyraźniej efekt kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego wyższego rzędu. Każda mutacja zostaje powtórzona wiele, wiele razy. Dokładną liczbę powtórzeń trudno ustalić na podstawie tego rysunku. Inne promienice rysowane przez Haeckla wykorzystywane były przez chemików-krytalografów jako ilustracja brył foremnych, znanych od starożytności pod nazwami: oktaedr (ośmiościan foremny - ograniczony ośmioma równobocznymi trójkątami), dodekaedr (dwunastościan foremny, ograniczony dwunastoma pięciokątami foremnymi) i ikosaedr (dwudziestościan foremny, ograniczony dwudziestoma trójkątami równobocznymi). D'Arcy Thompson, którego już poznaliśmy przy okazji omawiania muszli ślimaków, z pewnością zgodziłby się, że powstawanie tych prześlicznych szkielecików ma więcej wspólnego ze wzrostem kryształów niż z rozwojem zarodkowym w normalnym tego słowa znaczeniu.

W każdym razie powstawanie jednokomórkowych organizmów, takich jak okrzemki i promienice, odbywa się według zupełnie innego wzorca niż organizmów wielokomórkowych i jakiegokolwiek podobieństwo ze względu na ich kalejdoskopowość jest chyba przypadkowe. Przyglądaliśmy się już wielokomórkowemu zwierzęciu o czterokrotnej symetrii - meduzie.



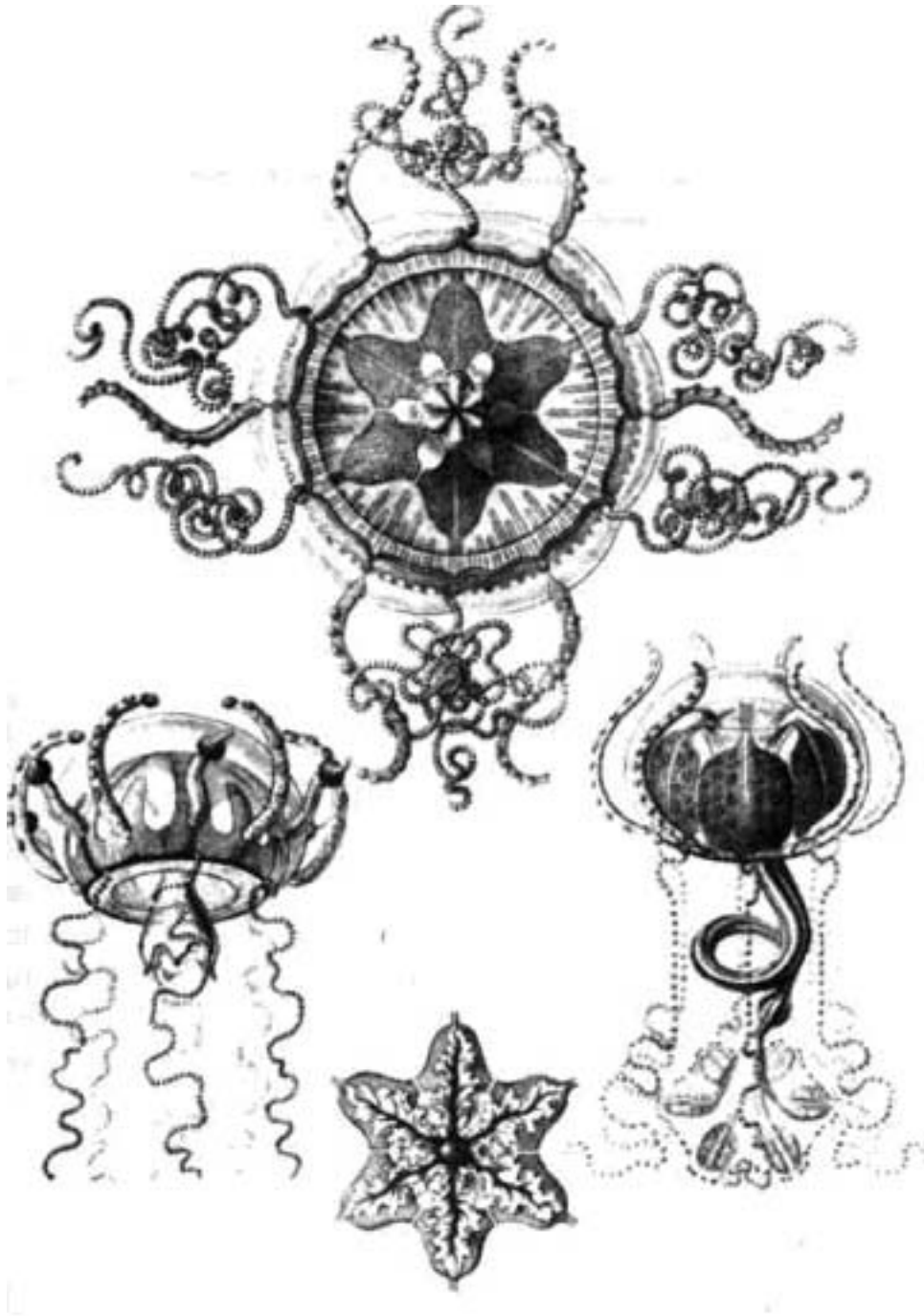
Ryc. 7.5 Promienice z gromady *Radiolaria*. Kolejne przykłady symetrii o różnej liczbie kalejdoskopowych luster w grupie mikroskopijnych, jednokomórkowych organizmów



Ryc. 7.6 Wspaniały szkielet promienicy w powiększeniu

Cztery (lub wielokrotność czterech) osie symetrii są powszechne wśród tych meduz - wydaje się, że osie takie nietrudno uzyskać poprzez proste podwojenie niektórych procesów wczesnego rozwoju zarodkowego. Znane są także meduzy o sześciokrotnej symetrii - na przykład należące do stułbiopławów, znane jako trachymeduzy (ryc.7.7).

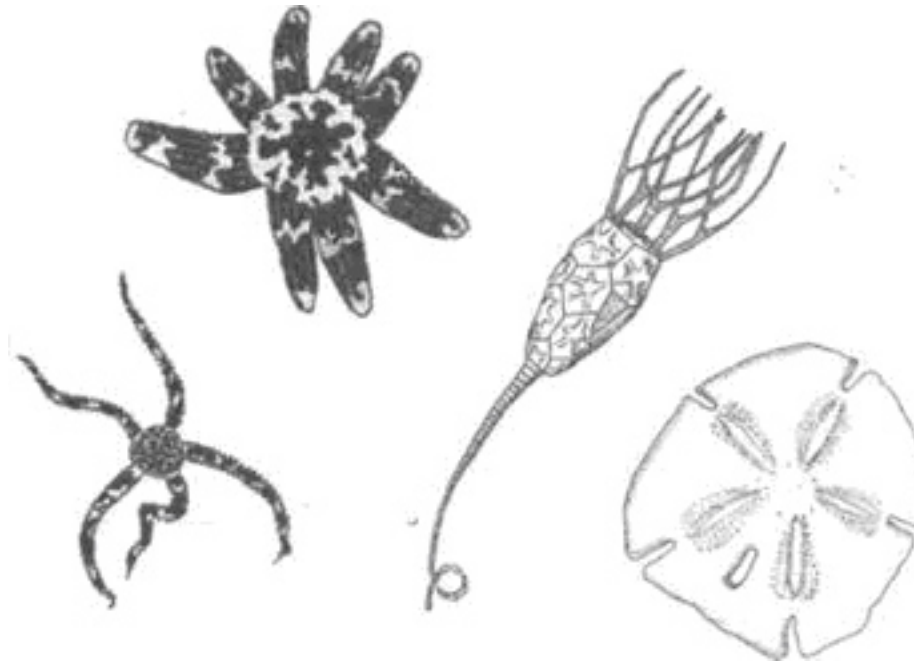
Najsłynniejszym przedstawicielem zwierząt o pięciopromiennej symetrii są szkarłupnie - ważny typ kolczastych, morskich stworzeń, do których należą rozgwiazdy, wężowidła, jeżowce, strzykwy i liliowce (ryc. 7.8). Niektórzy naukowcy sądzą, że żyjące obecnie szkarłupnie o pięciopromiennej symetrii pochodzą od odległych przodków o potrójnej symetrii. Zwierzęta te jednak charakteryzują się pięciokrotną symetrią od ponad pół miliarda lat, chciałoby się więc uznać, że właśnie pięciokrotna symetria odgrywa centralną rolę w jednym z owych wysoce konserwatywnych *Bauplane*, które tak silnie zainspirowały kontynentalnych zoologów.



Ryc. 7.7 Meduza o sześciopromiennej symetrii

Tymczasem, wbrew temu idealistycznemu pogładowi, wśród licznych gatunków rozgwiazd nie tylko istnieje całkiem spora mniejszość, które mają inną liczbę ramion, ale nawet u szacownych pięciopromiennych gatunków zdarzają się zmutowane indywidua z trzema, czterema lub sześcioma osiami symetrii.





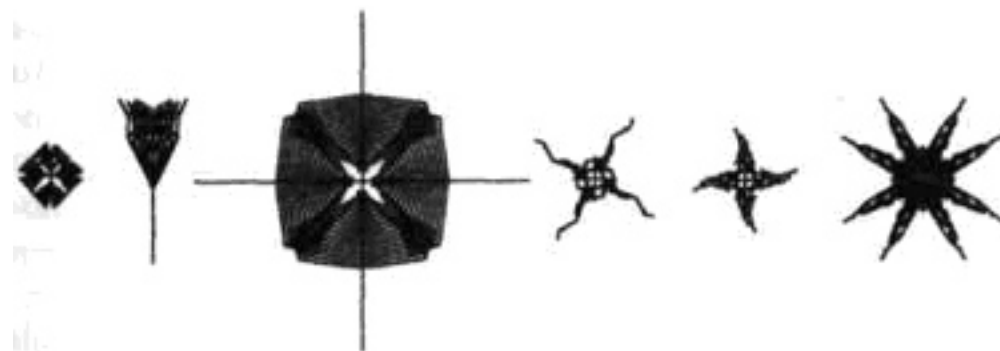
Ryc. 7.8 Różni przedstawiciele szkarłupni (od lewej do prawej): wężowidło, wieloramienna rozgwiazda (która zapewne straciła, a następnie zregenerowała niektóre ramiona - na co wskazuje ich niejednakowa wielkość), liliowiec i jeżowiec nieregularny.

Z drugiej strony, wbrew naszym ustaleniom na temat tego, co to znaczy być stworzeniem pełzającym po dnie, nawet szkarłupnie, które pełzają, odznaczają się zazwyczaj symetrią promienistą. I wydają się traktować ją poważnie - to znaczy wszystko im jedno, w którą stronę się poruszają: żadne ramię nie jest uprzywilejowane. W danym momencie jedno z ramion rozgwiazdy jest ramieniem prowadzącym, ale co jakiś czas funkcję tę przejmują inne. Niektóre szkarłupnie ponownie odkryły w czasie ewolucji symetrię dwuboczną. Ryjące w dnie jeżowce i inne jeżowce nieregularne, którym zmagania z piaskiem „kazały” przybrać kształty opływowe, odkryły asymetrię przodotylną oraz nałożyły na swój kształt powierzchną symetrię stron prawej i lewej - można zauważyć, że bazą dla tych zmian była pięciopromienna symetria jeżowca.

Szkarłupnie są tak urzekająco piękne, że prowadząc hodowlę biomorfów za pomocą programu „Ślepy zegarmistrz” dążyłem oczywiście do uzyskania podobnych tworów. Wszelkie próby osiągnięcia pięciopromiennej symetrii były jednak skazane na niepowodzenie. Rozwój postępujący zgodnie ze „Ślepym zegarmistrzem” nie był odpowiednio kalejdoskopowy. Nie miał wymaganej liczby „luster”. W rzeczywistości, jak widzieliśmy, niektóre dziwaczne szkarłupnie

odchodzą od pięciopromiennej symetrii, pozwoliłem więc sobie na oszustwo, symulując powstawanie rozgwiazd, wężowideł i jeżowców o parzystej liczbie ramion (ryc. 7.9).

Nie da się jednak ukryć - i jest to w istocie potwierdzeniem głównej myśli tego rozdziału - że obecna wersja „Ślepego zegarmistrza” nie jest zdolna do wytworzenia formo pięciokrotnej symetrii. Aby temu zaradzić, musiałbym zmienić sam program (dodać nowe „lustro”, a nie jakąś ilościową mutację już istniejącego genu), dopuszczając w nim możliwość wystąpienia nowej klasy kalejdoskopowych mutacji. Jeśli się to zrobi, to z pewnością w efekcie zwykłego, choć bardzo czasochłonnego procesu przypadkowych mutacji i selekcji najlepszych okazów powstaną formy znacznie bardziej podobne do większości głównych grup szkarłupni. Oryginalna wersja tego programu, taka, jaką opisałem w książce Ślepy zegarmistrz, mogła doprowadzić do uzyskania wyłącznie mutacji o symetrii dwubocznej. Ostatnia, dostępna w sprzedaży, wersja tego programu umożliwia powstanie biomorfów o czterokrotnej symetrii oraz biomorfów o swastykopodobnej symetrii - a to dlatego, że postanowiłem zmodyfikować ten program i poddać różne komputerowe lustra kontroli genetycznej.

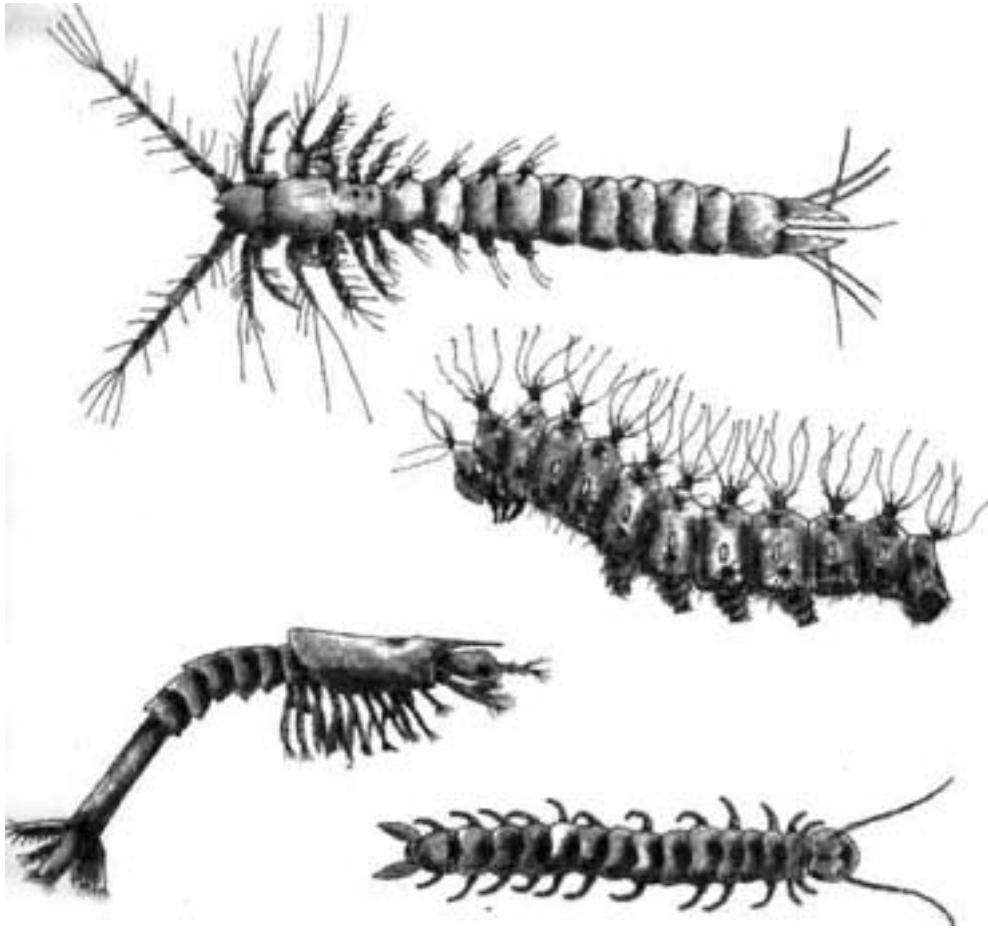


Ryc. 7.9 Komputerowe biomorfy mogą przypominać szkarłupnie, ale nigdy nie osiągają pięciopromiennej symetrii. Aby to było możliwe, trzeba zmodyfikować cały program.

Mówiłem o rozmaitych rodzajach symetrii jako przykładach kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego. Nieco mniej spektakularna pod względem geometrycznym, ale równie ważna w świecie żywych stworzeń jest zasada segmentacji. Segmentacja to wielokrotne powtarzanie się odcinków ciała od jego części przedniej do tylnej - zazwyczaj u długiego zwierzęcia odznaczającego się symetrią dwuboczną. Najlepiej ją widać u pierścienic (dżdżownic czy wieloszczetów, np. nalepiana lub nereidy) i stawonogów (owadów, skorupiaków, wijów, trylobitów etc), ale i w naszej, kręgowców, budowie można znaleźć ślady segmentacji, choć nieco już innego rodzaju. Jak pociągi składające się z wielu wagonów, które wszystkie są bardzo

do siebie podobne, ale różnią się pod względem szczegółów, tak i stawonogi zbudowane są z segmentów różniących się szczegółami. Wije są jak pociąg towarowy, ciągnący prawie identyczne wagony. Możemy sobie wyobrazić inne stawonogi jako ulepszone wije: pociągi ciągnące wagony o specjalnym przeznaczeniu, towarowe i osobowe, wyposażone w przedziały itp. (ryc. 7.10).

Powtarzalność charakterystyczna dla organizacji ciała wijów jest dość prosta. Polega na przestrzennych powtórzeniach segmentów wzdłuż całego ciała zwierzęcia oraz na dwubocznej symetrii każdego segmentu. Kiedy jednak oddalimy się od krocionogów i im podobnych zwierząt, zauważymy stale utrzymującą się w toku ewolucji tendencję do coraz większego różnicowania się segmentów - wcale nie jest tak, że każda mutacja po prostu powtarza się w każdym z nich. Owady przypominają wije, które straciły odnóża na wszystkich segmentach z wyjątkiem trzech: siódmym, ósmym i dziewiątym, licząc od przodu. Pająki zachowały odnóża na czterech segmentach. Tak naprawdę zarówno owady, jak i pająki zachowały także inne prymitywne „kończyny”. Przystosowały je tylko do własnych celów, czyniąc z nich na przykład czułki i szczęki. Jeszcze dalej w tym niekalejdoskopowym zróżnicowaniu segmentów posunęły się homary oraz - zwłaszcza - kraby.



Ryc. 7.10 Stawonogi zbudowane są z powtarzających się elementów, przy czym niektóre są lekko zmienione. Od góry: wąsoraczek *Derocheilocaris* sp., gąsienica pawicy *Saturnia pyri*; przedstawiciel dziesięcionogów *Penaeus* sp.; drobnonóg, krewniak wijów *Scutigera* sp.

Gąsienice mają trzy pary właściwych owadzych odnóży na przedzie, ale wynalazły sobie także odnóża nieco dalej z tyłu. Te ponownie wynalezione odnóża (tzw. posuwki) są miękkie i pod każdym względem inne niż typowe, członowane „pancerne” odnóża wyrastające z trzech segmentów tułowia. Owady mają też zazwyczaj skrzydła na segmentach siódmym i ósmym. Niektóre nie mają skrzydeł, podobnie jak nie mieli ich nigdy ich przodkowie. Inne - jak pchły i mrówki robotnice - straciły w toku ewolucji skrzydła, które ich przodkowie mieli. Mrówki robotnice mają genetyczne wyposażenie decydujące o wyrastaniu skrzydeł: każda robotnica, gdyby tylko była inaczej karmiona, zostałaby królową, a królowe mają skrzydła. Co ciekawe, królowe zwykle tracą swoje skrzydła z wiekiem, czasami same je sobie odrywają, kiedy odbędą już godowy lot i są gotowe do osiedlenia się pod ziemią. Skrzydła pod ziemią przeszkadzają,

podobnie jak tam, gdzie bytują pchły - w gęszczu sierści i piór ich gospodarzy.

Pchły straciły obie pary skrzydeł, muchy natomiast (do muchówek zalicza się bardzo wiele różnych owadów, między innymi komary) pozbyły się jednej pary, ale drugą zachowały. Ta druga ma postać bardzo niewielkich tzw. przezmianek - drobnych buławkowatych wyrostków sterczących tuż za poruszającymi się skrzydłami (ryc. 7.11). Nie trzeba być inżynierem, żeby stwierdzić, że przezmianki nie nadają się na skrzydła.



Ryc. 7.11 Wszyscy przedstawiciele rzędu owadów dwuskrzydłych (muchówek) mają przezmianki zamiast drugiej pary skrzydeł. U dużych owadów - takich jak widoczne na rysunku komarnice - widać je całkiem dobrze: *Tipula maxima* (po lewej); *Ctenophora ornata* (po prawej - odnóża i prawe skrzydło nie zostały narysowane).

Trzeba być jednak naprawdę niezłym fachowcem, by domyślić się, do czego służą. Są to, jak się wydaje, niewielkie urządzenia stabilizujące, pełniące podobną funkcję jak żyroskop w samolocie lub rakiecie. Przezmianki drgają z taką samą częstością, z jaką owad macha skrzydłami. Niewielkie czujniki znajdujące się u podstawy przezmianek wykrywają

przyspieszenie kątowe działające w trzech kierunkach i znane pilotom pod nazwami: pochylenie, przechył i odchylenie kierunkowe. To typowe dla ewolucji - wykorzystywanie tego, co już ma się pod ręką. Inżynier projektujący samolot zasiadłby przy desce i narysował urządzenie stabilizujące od początku. Ewolucja dochodzi do tych samych rezultatów, zmieniając to, co już jest - tym razem skrzydła.

Ale samo wyewoluowanie różnych segmentów wcale nie jest przykładem osiągnięcia rozwoju kalejdoskopowego, wręcz przeciwnie. Są jednak inne rodzaje zmian, które możemy uznać za kalejdoskopowe w nieco głębszym sensie niż te, z którymi mieliśmy do czynienia dotychczas. Budowa ciała stawonogów często przypomina zdanie wzięte w nawias (Kiedy otwiera się nawias w zdaniu [wewnętrzne nawiasy <na przykład takie> muszą być pieczołowicie dopełnione], a nawias musi zostać zamknięty).

Zdanie wewnątrz nawiasów może być krótsze lub dłuższe, ale zawsze każdy „(” musi być dopełniony przez „)”. Takie samo „pieczołowite dopełnienie” obowiązuje przy cudzysłowach. To samo, co jeszcze bardziej interesujące, dotyczy zdań podrzędnych w zdaniu złożonym. „Mężczyzna, który usiadł na pinezce” jest jakby otwierającym nawiasem, wymagającym odniesienia się do właściwego czasownika. Można powiedzieć: „Mężczyzna podskoczył”, i można powiedzieć: „Mężczyzna, który usiadł na pinezce, podskoczył”, ale nie można skończyć na: „Mężczyzna, który usiadł na pinezce”, chyba że jest to odpowiedź na pytanie lub podpis obrazu - wtedy zakończenie zdania pozostaje domyślne. Zdania poprawne gramatycznie wymagają starannego osadzenia elementów składowych. Podobnie krewetki, raki, homary i langusty mają sześć połączonych ze sobą segmentów głowowych na przodzie i jeden specjalny segment zwany telsonem z tyłu. To, co znajduje się między nimi, jest nieco bardziej zróżnicowane.

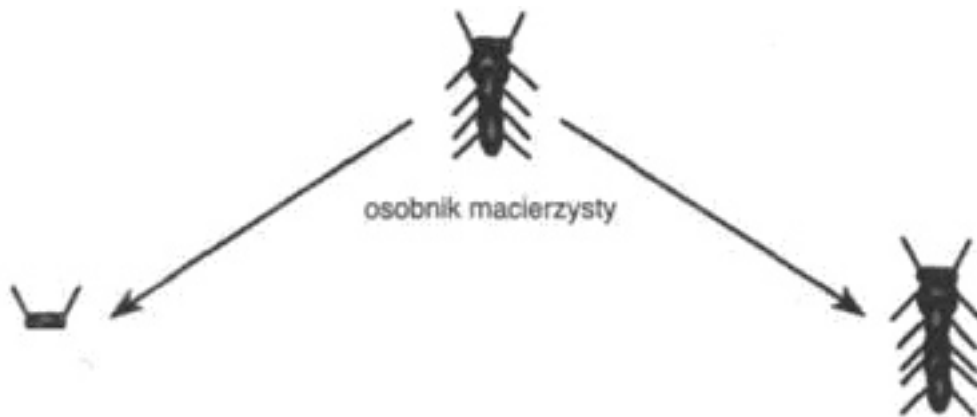
Spotkaliśmy się już z jednym rodzajem mutacji kalejdoskopowych - mutacji lustrzanych, powtarzających się w różnych płaszczyznach symetrii. „Gramatyczne” mutacje będą kalejdoskopowe w innym sensie. Także tutaj dopuszczalne zmiany będą podlegały ograniczeniu, tyle że tym razem nie przez symetrię, lecz przez zasadę typu: „Niezależnie od tego, jak zmienia się liczba stawów środkowego odnóża, musi ono kończyć się parą pazurków”. Wspólnie z Tedem Kaehlerem z Apple Computer Company opracowaliśmy program komputerowy zawierający podobne reguły. Przypomina on „Ślepego zegarmistrza”, tyle że rozwój zarodkowy tworzonych przez niego „zwierząt” - nazwaliśmy je artromorfami [Od łacińskiej nazwy typu stawonogów:

*Arthropoda* (przyp. tłum.)] - podlega regułom, których brak w rozwoju zarodkowym biomorfów. Komputerowe artromorfy to pociągi segmentowanych ciał, podobnie jak prawdziwe stawonogi. Każdy segment obejmuje zaokrąglony fragment ciała: o jego dokładnej wielkości i kształcie decydują „geny” - tak samo jak u biomorfów. Segment może mieć lub nie parę członowanych odnóży wyrastających z obu jego boków. O tym także decydują geny, podobnie jak o grubości odnóży, liczbie członów i kątach, pod jakimi są one zgięte w stawach. Na końcu odnóży mogą być, albo i nie, pazurki - o tym, podobnie jak o ich kształcie, decydują geny.

Gdyby artromorfy przechodziły taki sam rozwój zarodkowy jak biomorfy, powinny mieć gen *NSeg*, który determinowałby liczbę ich segmentów. *NSeg* miałby po prostu wartość ulegającą mutacjom. Jeśli miałby na przykład wartość jedenaście, to i zwierzę miałyby jedenaście segmentów. Powinien także być inny gen, *NJoint*, od którego zależałaby liczba członów każdego odnóży. Biomorfy z parku safari na rycinie 1.16, niezależnie od tego, na jak różne wyglądają - a ich różnorodność jest dla mnie powodem do dumy - wszystkie mają tę samą liczbę genów - szesnaście. Oryginalne biomorfy z książki *Ślepy zegarmistrz* miały tylko dziewięć genów. Kolorowe mają jeszcze więcej (trzydzieści sześć): musiałem kompletnie zmodyfikować cały program, by je uwzględnić. To są trzy różne programy. Artromorfy stosują się natomiast do innych zasad. Nie mają ustalonego zestawu genów. Dysponują bardziej plastycznym systemem genetycznym (tylko osoby rozkochane w programach komputerowych życzyłyby sobie wiedzieć, że geny artromorfów tworzą listę oddzielnych obiektów sprzężonych wskazaniem z programem zasadniczym, a biomorfów - są ustalonymi parametrami programu w języku Pascal). Nowe geny mogą się spontanicznie pojawiać w trakcie ewolucji artromorfów, dzięki podwojeniu (duplikacji) starych genów. Czasami podwaja się tylko jeden gen. Czasami całe hierarchicznie powiązane ich zespoły. Znaczący to, że teoretycznie następne pokolenie może mieć dwa razy więcej genów niż osobnik macierzysty. Kiedy nowy gen, czy też nowy zestaw genów, pojawia się w wyniku podwojenia, mają one na początku dokładnie takie same wartości jak geny wyjściowe. Innym rodzajem mutacji jest tzw. Delecja [Czyli wypadnięcie fragmentu genu (przyp. tłum.)] - geny mogą więc równie dobrze wydłużać się jak skracać. Duplikacje i delecje przejawiają się w postaci zmiany kształtu ciała, tym samym więc podlegają doborowi (sztucznemu w przypadku wybieranych na oko biomorfów). Często zmiana liczby genów pociąga za sobą zmianę liczby segmentów (ryc. 7.12). Może również ujawnić się w postaci zmiany liczby członów odnóży. W obu przypadkach istnieje „gramatyczna” tendencja do tego, by wypadały bądź były wyłączone

tylko środkowe „wagony”, a część przednia i tylna pozostawała nie zmieniona.

Podwojenie lub wypadnięcie segmentów zachodzi w środku ciała zwierzęcia, a nie na jego końcach. Podwojenie lub wypadnięcie członów też występuje tylko w środku odnóży, a nie na jego końcu. To właśnie nadaje rozwojowi zarodkowemu artromorfów „gramatyczny” charakter: możliwość usunięcia czegoś w rodzaju całego zdania podrzędnego lub przyimkowego z większego zdania złożonego lub włączenia go weń. Niezależnie od tej własności w rozwoju zarodkowym artromorfów występuje także inna kalejdoskopowość. Każdy jakościowy szczegół budowy artromorfa (na przykład kąt rozwarcia określonej pary pazurków czy szerokość któregoś segmentu) zależy od trzech genów, których wartość jest mnożona przez siebie w sposób, który omówię dokładnie.



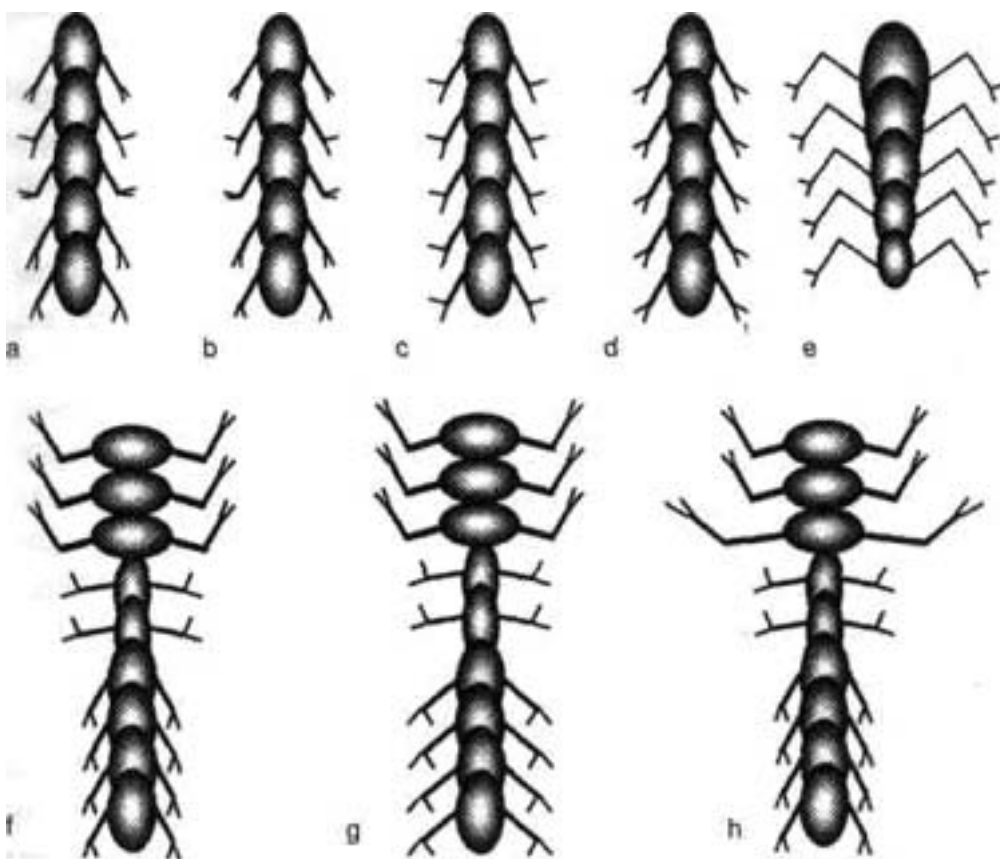
Ryc. 7.12 Artromorfy różniące się liczbą segmentów. Osobnik macierzysty u góry rysunku ma dwóch zmutowanych potomków.

Jest więc gen przypisany określonemu segmentowi, gen odpowiadający całemu zwierzęciu oraz gen odpowiedzialny za podgrupy kilku segmentów, zwane tagmami. Tagma jest słowem pochodzącym z prawdziwej biologii. Przykładami tagm u prawdziwych zwierząt są tułów i odwłok owadów.

Co to za trzy geny, które decydują o każdym szczególe ciała, na przykład kącie rozwarcia pazurków? Pierwszy z nich to gen specyficzny dla określonego segmentu. Nie ma on wcale natury kalejdoskopowej, ponieważ jego mutacje obejmują tylko jeden segment. Rycina 7.13a przedstawia artromorfa, którego każdy segment ma inną wartość genu decydującego o kącie rozwarcia pazurków. W rezultacie każdy segment ma pazurki rozwarte pod innym kątem. Wszystkie artromorfy przejawiają ponadto symetrię dwuboczną.



Drugim z trzech genów decydujących, na przykład, o kształcie pazurków jest ten, który wpływa na wszystkie segmenty całego zwierzęcia. Kiedy ulega mutacji - zmieniają się jednocześnie pazurki wszystkich segmentów, wzdłuż całego ciała zwierzęcia. Rycina 7.13b przedstawia artromorfa takiego samego jak na rycinie 7.13a, z tym że jego pazurki są nieco skrócone. Gen decydujący o wielkości pazurków na poziomie całego zwierzęcia uległ mutacji i przybrał niższą wartość. W rezultacie pazurki znajdujące się na poszczególnych segmentach stają się mniejsze, zachowując wszelkie indywidualne cechy. Mówiłem już, że efekt taki można uzyskać matematycznie przez pomnożenie liczbowej wartości każdego z osobna genu działającego na poziomie segmentu przez liczbową wartość genu działającego na poziomie całego zwierzęcia i decydującego o kącie rozwarcia pazurków. Kąt rozwarcia pazurków to oczywiście tylko jeden z wielu dających się przedstawić w postaci liczbowej szczegółów budowy całego ciała zwierzęcia, uzależnionych od podobnych iloczynów.



Ryc. 7.13 Wybrane artromorfy ilustrujące różne rodzaje wpływu genów: (a) artromorfy o różnych genach decydujących o kącie rozwarcia pazurków w poszczególnych segmentach; (b) mutacja genu działającego na poziomie całego ciała i decydującego o niewielkim skróceniu pazurków; (c) artromorf, którego segmenty nie wykazują żadnych różnic; (d) artromorf taki sam

jak poprzedni, ale wykazujący pojedynczą mutację genu działającego na poziomie całego ciała i decydującego o kącie rozwarcia pazurków; (e) artromorf o stopniowo zmieniającej się wielkości segmentów i nie zmieniającej się wielkości odnóży; (f) artromorf o trzech tagmach różniących się pod kilkoma względami, ale jednakowych w obrębie jednej tagmy; (g) artromorf taki sam jak poprzedni, ale wykazujący mutację obejmującą odnóża w obrębie trzeciej tagmy; (h) artromorf wykazujący mutację obejmującą odnóża tylko w jednym segmencie.

Są takie geny działające na poziomie każdego zwierzęcia, które wpływają na, powiedzmy, długość odnóży. Ich wartość zostaje pomnożona przez wartość genów decydujących również o długości odnóży, ale na poziomie segmentów. Rycina 7.13c i d przedstawia artromorfy takie same pod względem segmentów, ale z różnym genem działającym na poziomie całego ciała i decydującym o kącie rozwarcia pazurków.



Trzecia klasa genów decyduje o budowie poszczególnych rejonów ciała zwierzęcia, tagm - jak tułów u owadów. Podczas gdy owady mają trzy tagmy, u artromorfów powstaje w wyniku ewolucji ich najróżniejsza liczba i każda może składać się z najróżniejszej liczby segmentów: zmiany zarówno liczby segmentów, jak i tagm są same w sobie przedmiotem mutacji zachodzących w „gramatyczny” sposób, który już omawialiśmy. Każda tagma podlega zespołowi genów decydujących o kształcie ciała, odnóży oraz pazurków działających na poziomie tej tagmy. Każda tagma ma na przykład gen, który decyduje o kącie rozwarcia wszystkich pazurków należących do tej tagmy. Rycina 7.13f przedstawia artromorfa o trzech tagmach. Różnice między poszczególnymi tagmami są większe niż w obrębie jednej tagmy. Efekt ten powstaje przez pomnożenie wartości genów - w taki sam sposób jak genów działających na poziomie całego ciała.

Mówiąc w skrócie, ostateczną wielkość każdego elementu, na przykład kąta rozwarcia pazurków, otrzymuje się przez pomnożenie liczbowych wartości trzech genów: genu decydującego o tym kącie i działającego na poziomie segmentu, genu decydującego o tym i działającego na poziomie tagmy oraz genu wpływającego na tę cechę i działającego na poziomie całego ciała. Ponieważ mnożenie przez zero daje zero, gdy wartość genu, na przykład, od którego zależy długość odnóży w danej tagmie, wynosi zero, segmenty tej tagmy nie będą w ogóle miały odnóży - jak segmenty odwłoka, powiedzmy, os, niezależnie od wartości, jakie przyjmują geny pozostałych dwu poziomów. Rycina 7.13g przedstawia potomka artromorfa z ryciny 7.13f, u

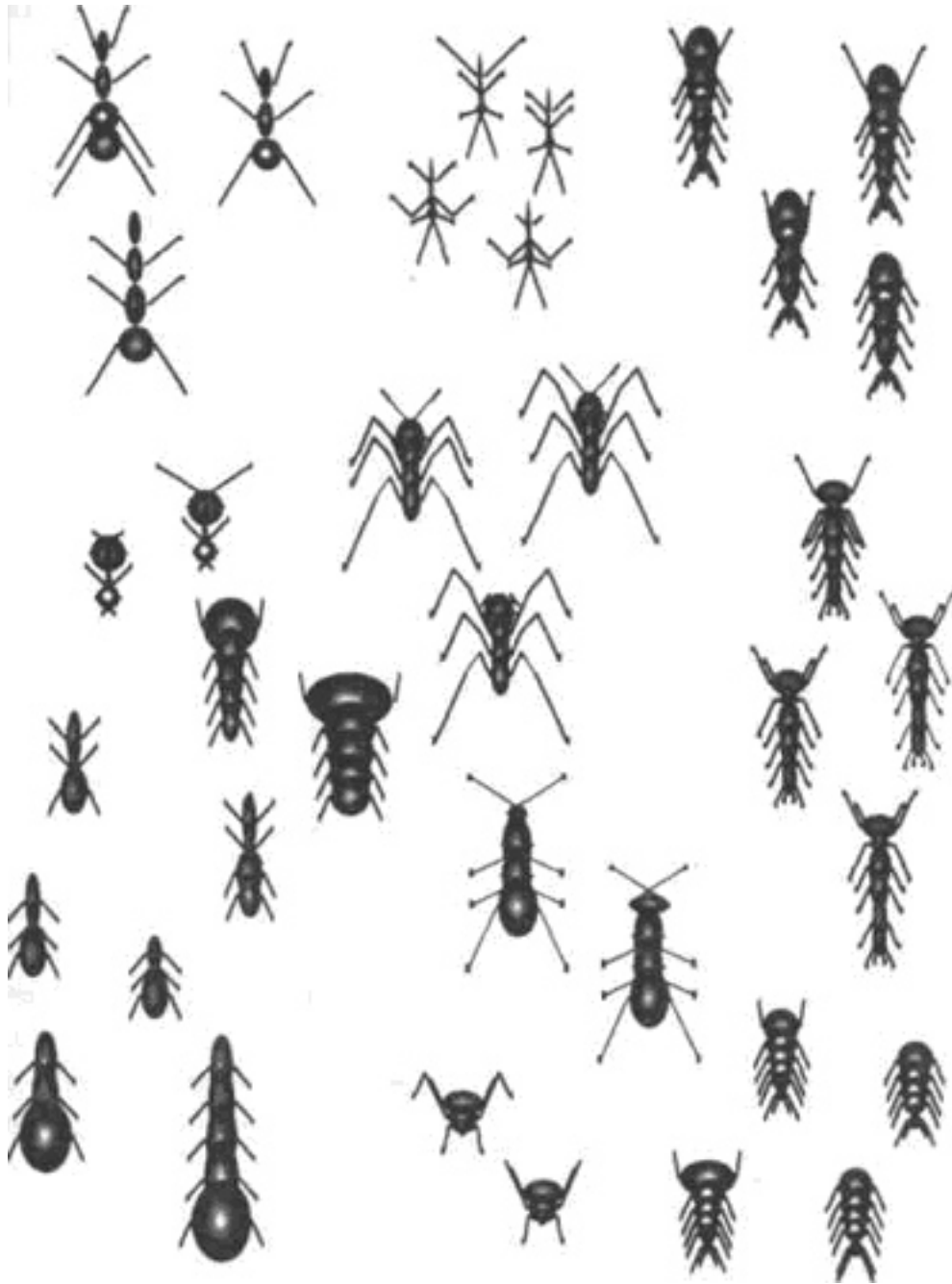
którego wystąpiła mutacja genu decydującego o długości odnóży na poziomie trzeciej tagmy. Na rycinie 7.13h widać innego potomka artromorfa z ryciny 7.13f, ale u niego zmutował gen należący do jednego tylko segmentu.

Artromorfy charakteryzują się więc trójstopniową kalejdoskopią rozwojową. Mutacja może u nich wystąpić w obrębie jednego segmentu - jest wtedy powtórzona tylko raz, po przeciwnej stronie ciała. Twory te są także kalejdoskopowe na poziomie „wija”, czyli całego ciała: mutacja na tym poziomie zostaje przestrzennie powtórzona we wszystkich jego kolejnych segmentach (a także odzwierciedlona po przeciwnych ich stronach). Kalejdoskopia ujawnia się także na poziomie pośrednim - „owada” lub tagmy: mutacja taka wpływa na wszystkie segmenty należące do lokalnego zespołu segmentów, ale nie na resztę ciała. Przypuszczam, że gdyby artromorfy miały poradzić sobie w prawdziwym świecie, ich trójstopniowa kalejdoskopowość byłaby korzystna z tych samych względów należących do dziedziny ewolucyjnej ekonomiki, które omawialiśmy przy okazji symetrii zwierciadlanej. Jeśli, powiedzmy, przydatki tagmy środkowej funkcjonują jako odnóża kroczone, a przydatki tagmy tylnej jako skrzela, wydaje się sensowne, by ewolucyjne udoskonalenia powtarzały się w kolejnych segmentach jednej tagmy, ale nie w innej: udoskonalenia wyrostków służących do poruszania się nie na wiele się przydadzą wyrostkom umożliwiającym oddychanie. Korzystne mogą się zatem okazać mutacje już za pierwszym razem pojawiające się we wszystkich segmentach jednej tagmy. Z drugiej strony przydatna może być możliwość dopracowywania drobniejszych szczegółów - na przykład precyzyjnych zmian w odnóżach określonego segmentu. Wtedy faworyzowany może być taki rozwój zarodkowy, w którym występuje dodatkowa tendencja do tworzenia mutacji podlegających jedynie lustrzanym powtórzeniom. Może być w końcu i tak, że korzystne jest jednocześnie ujawnienie się mutacji we wszystkich segmentach ciała, i to takich, które nie tyle całkowicie pomijają istniejącą zmienność między segmentami i tagmami, ile nakładają się na nią, na przykład w efekcie mnożenia.

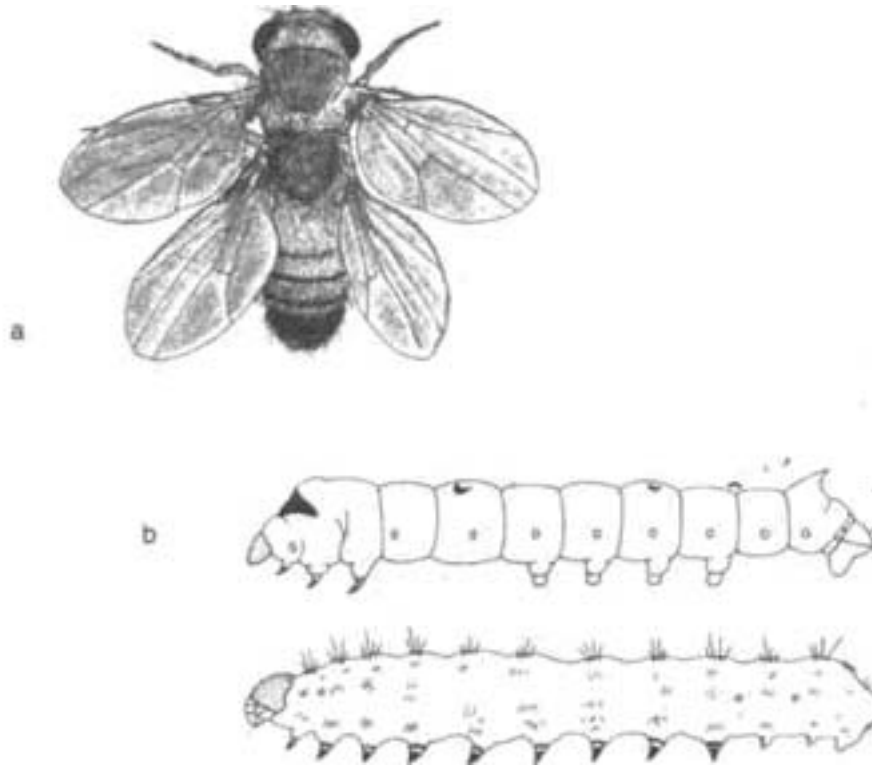
Zainspirowani biologicznymi przykładami, wspólnie z Tedem Kaehlerem wprowadziliśmy później do naszego programu artromorfów geny gradientowe. Geny takie sprawiają, że określona cecha artromorfa, na przykład kąt rozwarcia pazurków, nie jest sztywno ustalona na wszystkich kolejnych segmentach ciała zwierzęcia, ale przyjmuje kolejno rosnące (lub malejące) wartości. Rycina 7.13e przedstawia artromorfa, którego kolejne segmenty różnią się wyłącznie pod względem wielkości - stopniowo zmniejszają się ku tyłowi.

Artromorfy powstają i ewoluują w rezultacie doboru sztucznego - tak samo jak biomorfy. Macierzysty artromorf znajduje się pośrodku ekranu, otoczony losowo zmutowanym potomstwem. Podobnie jak w przypadku biomorfów, ludzki hodowca obserwuje nie geny, lecz ich przejawy - kształt ciała - i wybiera jednego z potomków do dalszej hodowli (tutaj też rozmnażanie przebiega w sposób bezpłciowy). Wybrany artromorf przesuwa się na środek ekranu i wokół niego pojawia się kolejne pokolenie zmutowanych potomków. Za każdym pokoleniem za kulisami przypadkowych mutacji zachodzą zmiany liczby genów oraz ich wartości. Ludzki hodowca widzi jedynie stopniowo ewoluujący ciąg artromorfów. Tak jak można powiedzieć, że wszystkie komputerowe biomorfy są potomkami , tak i słuszne jest powiedzenie, że wszystkie artromorfy powstały z . Staranne zacieniowanie segmentu ciała nadające mu wygląd przestrzenny, ma czysto kosmetyczne znaczenie, które nie podlega zmianom zgodnie z omawianym programem, choć i je łatwo byłoby umieścić pod trójstopniową kontrolą genetyczną w przyszłych wersjach tego programu. Odpowiednikiem parku safari biomorfów przedstawionego na rycinie 1.16 jest pokazane na rycinie 7.14 zoo artromorfów, jakie wyhodowałem dzięki doborowi sztucznemu, dokonując zazwyczaj wyboru form najbardziej przypominających realnie istniejące stworzenia.

W zoo tym są formy różniące się na każdym poziomie swego kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego. Po zwięzającym się kształcie można rozpoznać stworzenia posiadające co najmniej jeden gen gradientowy. Można także stwierdzić wyraźny podział na tagmy: grupy sąsiadujących ze sobą segmentów są podobne do siebie bardziej niż do pozostałych. Mimo to da się dostrzec pewne odmiany form nawet między segmentami należącymi do jednej tagmy.



Ryc. 7.14 Zoo artromorfów. Kolekcja artromorfów otrzymana w efekcie selekcji - podstawą wyboru na oko było ich podobieństwo, choćby bardzo odległe, do rzeczywiście istniejących stawonogów.



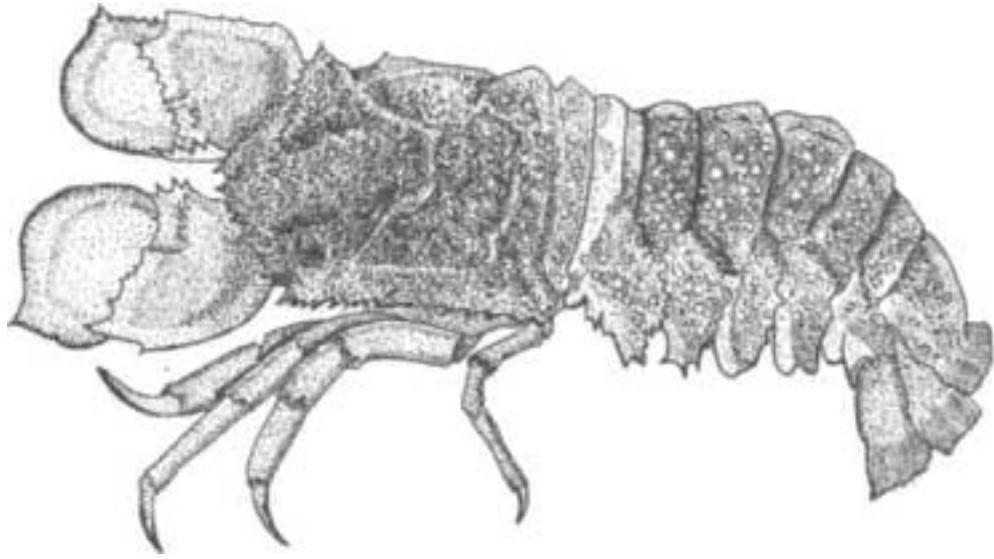
Ryc. 7.15 Mutacje homeotyczne: (a) czworoskrzydła muszka owocowa *Drosophila*. U normalnych *Drosophila* drugą parę skrzydeł zastępują przezmianki, jak na rycinie 7.11; (b) normalna (na górze) i zmutowana (na dole) gąsienica jedwabnika. Normalnie właściwe odnóża owadzie pojawiają się tylko na trzech segmentach tułowia. Mutant ma dziewięć segmentów tułowiowych.

Prawdziwe owady, skorupiaki i pająki różnią się w podobny sposób wynikający z ich trójstopniowej kalejdoskopowości rozwoju. Szczególnie pouczające są występujące u prawdziwych stawonogów tzw. mutacje homeotyczne, które sprawiają, że określony segment rozwija się zgodnie z wzorcem obowiązującym dla innego segmentu.

Rycina 7.15 przedstawia przykłady mutacji homeotycznych u muszki owocowej *Drosophila* i gąsienicy jedwabnika. Normalna *Drosophila*, jak wszystkie muchy, ma tylko jedną parę skrzydeł. Druga para przybiera u nich postać przezmianek. Rysunek pokazuje zmutowaną muszkę owocową, która ma nie tylko drugą parę skrzydeł zamiast przezmianek, ale także zamiast trzeciego segmentu tułowia ma podwojony drugi. Taki sam efekt można uzyskać u artromorfów dzięki „gramatycznej” duplikacji, poprzedzonej przez delecję. Rycina 7.15b przedstawia zmutowaną gąsienicę jedwabnika. Normalne gąsienice mają trzy właściwe członowane odnóża,

podobnie jak wszystkie inne owady, chociaż, jak mówiłem, tylne segmenty zaopatrzone są w miękkie, wynalezione na nowo tzw. posuwki. Zmutowana gąsienica na dole ryciny 7.15 ma dziewięć par właściwych członowanych odnóży. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest powtórzenie segmentów tagmy tułowia, dokładnie tak samo jak u artromorfa z ryciny 7.12. Najślawniejszą mutacją homeotyczną jest mutacja *antennapedia* u *Drosophila*. Muszki z taką mutacją mają normalnie wyglądające odnóża dokładnie w miejscu, w którym powinny znajdować się czułki. Maszyna wytwarzająca odnóże włączona została w niewłaściwym segmencie.

Takie mutanty są dość dziwaczne i raczej nie przeżywają w naturze, co jest innym sposobem wyrażenia myśli, że ewolucja raczej nie korzysta z mutacji homeotycznych. Dlatego też musiałem spojrzeć jeszcze raz, kiedy obchodziłem (z niejakim pośpiechem, gdyż jestem dość wybredny pod względem jedzenia) stół najeżony pancerzami najrozmaitszych owoców morza na pewnym bankiecie w Australii. Uwagę moją przyciągnęło stworzenie znane w Australii pod nazwą „głębinowa pluskwa”. Jest to skorupiak, zaliczany do grupy różnie zwanej na całym świecie: *slipper lobsters*, *Spanish lobsters* lub *shoelnosed lobsters*. Na rycinie 7.16 pokazano typowego przedstawiciela tej grupy, pożyczonego z muzeum w Oksfordzie i należącego do rodzaju *Scyllarus*. Uderzające dla mnie jest w tym zwierzęciu to, że wygląda, jakby miało dwa końce. Czulki na przodzie (a dokładniej - druga para czułków) wyglądają mianowicie dokładnie tak samo jak wyrostki zwane uropodiami, będące jedną z najbardziej charakterystycznych cech końcowego odcinka ciała wszystkich homarów. Nie wiem dlaczego jego czułki przybrały taki kształt. Być może posługuje się nimi jak łopatami, a być może nabierają się na nie drapieżniki, tak samo jak nabrałem się ja. Homary mają niewiarygodnie szybki odruch unikania - wykorzystują do tego celu specjalną, ogromną komórkę nerwową. Kiedy znajdują się w niebezpieczeństwie, rzucają się w tył ze zdumiewającą prędkością.



Ryc. 7.16 Czyżby to był mutant homeotyczny, który odniósł sukces ewolucyjny w dzikiej przyrodzie? Łopaciarz *Scyllarus* sp.

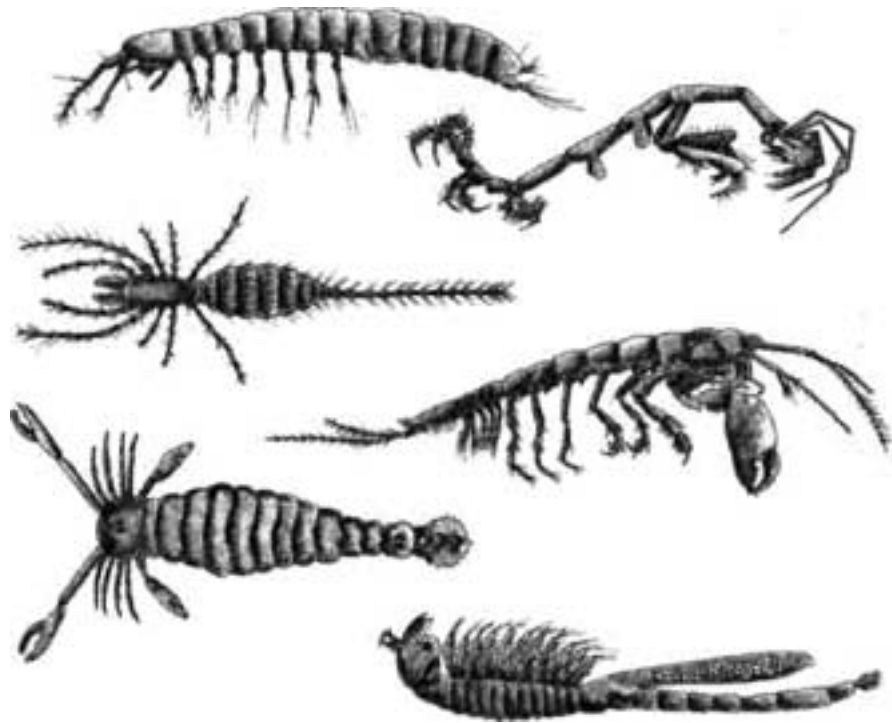
Drapieżnik, przewidując taki ruch, może uznać, że najlepiej będzie zasadzić się z tyłu. Wobec zwykłych homarów postępowanie takie będzie zapewne właściwe, ale u *Scyllarus* to, co wygląda na tył, może się równie dobrze okazać przodem, i mądry po szkodzi drapieżnik stwierdzi, że powinien być się znaleźć po zupełnie innej stronie. Niezależnie od tego, czy rozumowanie to jest uzasadnione, homary te musiały odnosić jakąś korzyść z dziwnego kształtu swoich czułków. Cokolwiek to było, wykorzystam te zwierzęta do jeszcze bardziej ryzykownych spekulacji. Moim zdaniem *Scyllarus* jest właśnie przykładem mutacji homeotycznej powstałej w naturze, podobnej do mutacji *antennapedia* uzyskanej u *Drosophila* w warunkach laboratoryjnych. W przeciwieństwie do *antennapedia*, mutacja ta została włączona do rzeczywistych zmian ewolucyjnych. Przypuszczam, że przodek *Scyllarus* uległ mutacji homeotycznej, która uruchomiła program rozwojowy właściwy dla uropodium w segmencie zwykle zaopatrzonym w czułki, i że mutacja ta okazała się korzystna. Jeśli mam rację, byłby to rzadki przykład makromutacji faworyzowanej przez dobór naturalny: wyjątkowy dowód słuszności teorii „obietujących potworków”, z którą zetknęliśmy się w rozdziale trzecim.

To wszystko tylko spekulacje. Homeotyczne mutacje z całą pewnością pojawiają się w warunkach laboratoryjnych, a embriologowie korzystają z takiej inspiracji, tworząc szczegółowy obraz mechanizmów rozwojowych kształtujących segmentowane plany budowy ciała stawonogów. Choć szczegóły owe są fascynujące, wykraczają daleko poza zakres tego rozdziału.



Zakończę zaproszeniem czytelnika do uważnego przyjrzenia się niektórym prawdziwym stawonogom z perspektywy komputerowych artromorfów i ich mutacjom o trójstopniowej kalejdoskopii.

Popatrzmy na prawdziwe stawonogi pokazane na rycinie 7.17 i spróbujmy sobie wyobrazić, jak ich postać mogła wyewoluować za pośrednictwem stawonogowych kalejdoskopowych genów. Czy któreś z tych zwierząt przypomina, na przykład, zwięzającego się artromorfa z ryciny 7.13e? Spójrzmy więc ponownie na prawdziwe stawonogi, wyobraźmy sobie mutację, która zmienia jakiś drobny szczegół w zakończeniu odnóży lub wprowadza jakąś zmianę kształtu samych segmentów. Najpierw wyobraźmy sobie, że nasza mutacja ujawnia się tylko w jednym segmencie. Podejrzewam, że w tym wyobrażeniu została automatycznie powtórzona po prawej i lewej stronie, ale tak wcale nie musi być. Jest to, samo w sobie, przykładem kalejdoskopowego rozwoju zarodkowego. Teraz wyobraźmy sobie mutację obejmującą zakończenia odnóży, ale tym razem będą to odnóże kilku kolejnych segmentów. Zwierzęta na rycinie 7.17 wykazują różne układy sąsiadujących ze sobą podobnych segmentów. Następnie wyobraźmy sobie podobną mutację, ale obejmującą odnóże wszystkich segmentów ciała (to znaczy, oczywiście, wszystkich segmentów, które zaopatrzone są w odnóże). Stwierdzam, że rozmyślanie nad artromorfami i ich trójstopniową kalejdoskopią rozwojową doprowadza mnie do prawdziwych stawonogów, takich jak przedstawione na rycinie 7.17, choć widzianych nieco innymi oczami. Co więcej, podobnie jak w symetrii zwierciadlanej, łatwo sobie wyobrazić, że różne typy rozwoju zarodkowego wiążące się z kalejdoskopowymi ograniczeniami w rodzaju takich, jakie występują w rozwoju stawonogów, paradoksalnie mogą okazać się bogatsze w potencjał ewolucyjny niż bardziej swobodne, nieskrępowane typy rozwoju.



Ryc. 7.17 Oto co można zrobić z segmentami: niektóre stawonogi. Zgodnie z ruchem wskazówek zegara od lewej u góry: cztery skorupiaki, *eurypterid* (wymarły olbrzymi wielkorak, który z łatwością osiągał długość niemal trzech metrów) i głaszczkochód (odległy krewniak pajaków i skorpionów).

Kształty widoczne na rycinie 7.17, podobnie jak inne - niezliczonych przedstawicieli nie pokazanych tu stawonogów - nabierają szczególnego sensu w świetle takiego właśnie sposobu myślenia.

Główne przesłanie tego rozdziału brzmi: kalejdoskopowe typy rozwoju zarodkowego, niezależnie od tego, czy mowa o segmentach lub zestawach segmentów ułożonych kolejno od przodu do tyłu, jak u owadów, czy też o symetrii zwierciadlanej, jak; u meduzy, paradoksalnie pociągają za sobą zarówno ograniczenia, jak i wzbogacenie szans ewolucyjnych. Ograniczają ewolucję w ten sposób, że zawężają zakres zmienności dostępnej dla doboru naturalnego. Wzbogacają zaś ewolucję - używam tu języka, który personifikuje dobór, ale mam nadzieję, że będzie mi to wybaczone - oszczędzając doborowi naturalnemu czas, który musiałby zmarnować na sprawdzanie olbrzymich obszarów, na których poszukiwania i tak nigdy do niczego dobrego nie doprowadzą. Świat zamieszkują duże grupy zwierząt - stawonogów, mięczaków, szkarłupni, kręgowców - a każda charakteryzuje się jakimś typem kalejdoskopowo ograniczonego rozwoju zarodkowego, który okazał się ewolucyjnie owocny. Kalejdoskopowy rozwój ma w sobie coś, co

pozwoili mu posiać Ziemię. Zawsze gdy wiksza zmiana w ukłdzie kalejdoskopu lub luster spowodowała udan radiacj ewolucyjn, owo nowe lustro lub podobn zmian odziedziczyly wszystkie linie powstałe w wyniku tej radiacji. To nie jest zwykly Darwinowski dobór, ale analogiczny do Darwinowskiego rodzaj doboru wyzszeo rzdu. Nie jest nadmiern przesad twierdzenie, że jego konsekwencj musiała być ewolucja lepszej ewoluowalności.

## ROZDZIAŁ 8

### ZIARNA PYŁKU I CZARODZIEJSKIE POCISKI

Kiedy pewnego razu jechałem angielską wiejską drogą z moją córką Juliet, wówczas sześciolatnią, zwróciła mi uwagę na rosnące na poboczu kwiaty. Zapytałem ją, jak myśli, po co są dzikie kwiaty. Udzieliła dość przemyślanej odpowiedzi: - Z dwóch powodów - powiedziała. - Żeby na świecie było ładnie, i żeby pszczoły miały z czego robić dla nas miód. - Bardzo mnie tym wzruszyła i było mi przykro, gdy musiałem jej powiedzieć, że to nieprawda.

Takiej odpowiedzi zapewne udzieliłaby na podobne pytanie znakomita większość całkiem dorosłych ludzi zamieszkujących Ziemię przez wszystkie epoki historyczne. Przez długi czas powszechnie wierzone, że wszelkie stworzenia istnieją dla naszego dobra. Pierwszy rozdział Księgi Rodzaju mówi o tym bardzo wyraźnie. Człowiek panuje nad wszelkim żywym stworzeniem, a zwierzęta i kwiaty są po to, by mu służyć lub sprawiać przyjemność. Historyk sir Keith Thomas w swoim dziele *Man and the Natural World* [Człowiek i świat Natury] pokazuje, że ten sposób widzenia świata przeniknął całą myśl chrześcijańską Średniowiecza i utrzymuje się do dziś. W XIX wieku wielebny William Kirby uważał, że wszy są niezastąpioną zachętą do utrzymywania czystości. Zdaniem biskupa z czasów elżbietańskich, Jamesa Pilkingtona, dzięki istnieniu dzikich zwierząt ćwiczy się ludzka odwaga, tak potrzebna w czasach wojen. Gzy, jak sądził osiemnastowieczny pisarz, zostały stworzone po to, by „człowiek rozwijał swoją przemyślność, starając się przed nimi uchronić”. Homary otrzymały twarde pancerz, by - zanim zostaną zjedzone - służyły nam do wprawiania się w kruszeniu ich szczypiec. Inny pobożny pisarz średniowieczny sądził, że chwasty rosną dla naszego dobra: ciężka praca nad ich wyplewieniem zbawiennie wpływa na nasze dusze.

Uważano, że zwierzęta cieszą się przywilejem uczestnictwa w naszej karze za grzech Adama. Keith Thomas cytuje opinię na ten temat siedemnastowiecznego biskupa: „Kiedykolwiek pojawia się w ich losie odmiana na gorsze, nie jest to ich kara, lecz część naszej”. Jest to dla nich z pewnością ogromna pociecha. Henry Moore sądził w 1653 roku, że bydłu i owcom zostało dane życie przede wszystkim po to, by mięso ich było świeże, „dopóki nie zechcemy go zjeść”. Z tego siedemnastowiecznego ciągu myśli wynika logiczny wniosek, że zwierzęta ponad wszystko pragną być zjedzone.

Bażant, przepiórka i kanarki  
Jednako w dom twój jak do Arki  
Spieszą, i wół, a przy nim jagnię,  
Samo się do zarżnięcia garnie.  
Wszelakie zwierzę, młode, stare,  
Chce ci się oddać na ofiarę.

Przełożył Maciej Cisło (przyp. red.).

Douglas Adams wystąpił z tym konceptem w dziwacznym futurystycznym zakończeniu książki *Restauracja na końcu Wszechświata* - części swojej znakomitej „trylogii w pięciu częściach” *Autostopem przez Galaktykę*. [Książka ta ukazała się w Polsce w przekładzie Pawła Wieczorka nakładem wydawnictwa Zysk i S-ka, Poznań 1994 (przyp. red.).] Kiedy główny bohater siedzi wraz z przyjacielem w knajpie, zbliża się w lansadach do ich stolika wielki czworonóg i w niezmiernie kulturalny sposób poleca samego siebie jako dzisiejsze danie dnia. Wyjaśnia, że on i jemu podobne stworzenia zostały wyhodowane po to, by chcieć być zjedzonym i umieć wyraźnie to powiedzieć: „ - Może kawałek łopatki? ... Duszonej w sosie z białym winem? ... Mam świetną ogonówkę... Ciągle ruszałem ogonem i jadłem mnóstwo paszy treściwej, mam więc gdzie trzeba dużo świetnego mięsa”. Arthur Dent, stołownik o najskromniejszych w całej Galaktyce wymaganiach kulinarnych, jest tym wstrząśnięty, ale reszta towarzystwa zamawia duże steki. Łagodne stworzenie z wdzięcznością oddała się do kuchni, by się zastrzelić (humanitarnie, dodaje, mrugając uspokajająco do Arthura).

Opowieści Douglasa Adamsa mają być śmieszne, ale - jak sędzę - poniższy tekst, poświęcony bananom, który cytuję słowo w słowo z nowoczesnego traktatu uprzejmie nadesłanego mi przez jednego z wielu piszących do mnie kreacjonistów, jest całkiem poważny.

Trzeba przyznać, że banan:

1. Ma kształt pasujący do ludzkiej dłoni.
2. Jego powierzchnia nie jest śliska.
3. Wyposażony jest w zewnętrzne oznaki zawartości: zielony - jeszcze niedojrzały, żółty - bardzo dobry, czarny - już niedobry.

4. Posiada specjalną końcówkę ułatwiającą zdjęcie opakowania.
5. Opakowanie to ma słabe miejsca wzdłuż, ułatwiające zdjęcie.
6. I ulega biodegradacji.
7. Banan ma kształt pasujący do ust.
8. Ma ostro zakończony czubek, ułatwiający jego włożenie.
9. Jest przyjemny dla kubków smakowych.
10. I zakrzywiony w kierunku twarzy, by ułatwić proces jedzenia.

Przekonanie, że żywe stworzenia zostały umieszczone na Ziemi z myślą o nas, ciągle się utrzymuje w naszej kulturze, nawet jeśli stało się bezpodstawne. Konieczne jest nam teraz, dla potrzeb poznania naukowego, mniej antropocentryczne spojrzenie na świat przyrody. Jeśli można powiedzieć, że zwierzęta i rośliny znalazły się na naszej planecie w jakimś celu - a można się tak wyrazić - to nie jest nim pożytek dla człowieka. Musimy nauczyć się patrzeć na ten problem nie-ludzkimi oczami. W przypadku kwiatów, od których zaczęliśmy te rozważania, co najmniej równie uzasadnione jest oglądanie ich oczami pszczół i innych stworzeń, które je zapylają.

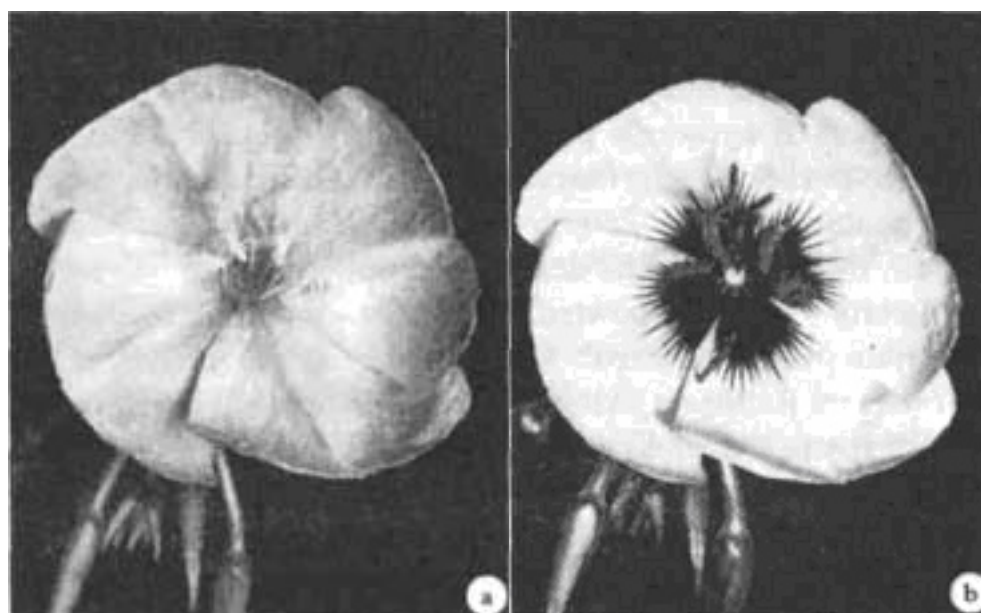
Całe życie pszczół toczy się wokół kolorowych, pachnących, wytwarzających nektar kwiatów. Nie mówię teraz wyłącznie o pszczole miodnej, bo są ich tysiące gatunków i wszystkie całkowicie zależą od kwiatów. Ich larwy żywią się pyłkiem, podczas gdy wyłącznym paliwem napędowym latających dorosłych pszczół jest nektar, który dostarczają im wyłącznie kwiaty. Kiedy mówię „dostarczają im”, mam na myśli coś więcej niż tylko bierne jego oddawanie. Pyłek, w przeciwieństwie do nektaru, nie jest przeznaczony wyłącznie dla nich - rośliny wytwarzają go głównie dla swoich własnych celów. Pszczołom wolno zjadać jego część dlatego, że oddają roślinom niezmiernie ważną przysługę, przenosząc pyłek z jednego kwiatu na drugi. Ale z nektarem sprawy się mają zupełnie inaczej. Nie ma dla niego innego *raison d'être* niż odżywianie pszczół. Jest wytwarzany w wielkich ilościach wyłącznie po to, by przekupić pszczoły i inne zapylające kwiaty owady. Pszczoły pracują ciężko na swoją nagrodę w postaci nektaru. Żeby zrobić pół kilograma koniczynowego miodu, muszą odwiedzić dziesięć milionów kwiatów.

„Kwiaty - mogłyby powiedzieć pszczoły - są po to, by dostarczać nam pyłku i nektaru”. Ale nawet pszczoły nie miałyby w zupełności racji. Więcej jednak niż my, ludzie, kiedy myślimy, że kwiaty rosną dla naszego dobra. Można by nawet powiedzieć, że przynajmniej te

barwne i efektowne są takie, bo tak „wyhodowały” je pszczoły, motyle, kolibry i inne zapylające je stworzenia. Wykład, który stanowi podstawę tego rozdziału, nosił tytuł „Ultrafioletowy ogród”. To była przenośnia. Ultrafiolet to rodzaj światła, jakiego nie widzimy. Pszczoły tak, i rozróżniają go jako inny kolor, czasem nazywany pszczelim fioletem. Kwiaty widziane oczami pszczoły muszą wyglądać zupełnie inaczej (ryc. 8.1) niż te, które my oglądamy. Tym samym więc pytanie: „Po co są kwiaty” powinno być raczej rozpatrywane z punktu widzenia pszczoły niż człowieka.

„Ultrafioletowy ogród” odwołuje się do odmienności widzenia pszczół tylko dlatego, żeby zmienić nasz punkt widzenia na to, komu służą kwiaty czy jakiegokolwiek inne żywe stworzenia. Gdyby kwiaty miały oczy, ich sposób widzenia świata byłby dla nas zapewne jeszcze dziwniejszy niż widzenie ultrafioletu przez pszczoły. Jak wyglądałyby pszczoły widziane oczami roślin? Po co są pszczoły, z punktu widzenia kwiatów? Są to zdalnie kierowane pociski, których zadaniem jest przenoszenie pyłku z jednego kwiatu na drugi. Przyczyny takiego stanu rzeczy wymagają wyjaśnienia.

Po pierwsze, istnieją dość poważne powody genetyczne, dla których zapylenie krzyżowe pyłkiem pochodzącym od daleko rosnącej rośliny jest zjawiskiem pożądanym. Kazirodzce samozapylanie powoduje utratę korzyści płynących z rozmnażania płciowego (czymkolwiek one są, warto je osobno omówić). Drzewo, które zapyla swoje żeńskie kwiaty pyłkiem pochodzącym z własnych kwiatów męskich, mogłoby prawie równie dobrze nie zawracać sobie głowy żadnym zapylaniem.



Ryc. 8.1 Kwiat wiesiołka *Oenothera sp.*, sfotografowany przy świetle widzialnym dla człowieka (a) i (b) w świetle ultrafioletowym (które jest widziane przez owady, ale nie przez nas) - ujawniającym gwiazdzisty wzór w środku. Wzór ten prawdopodobnie pomaga owadom dotrzeć do miejsca, w którym znajduje się nektar i pyłek.

Bardziej efektywne byłoby wegetatywne wytwarzanie własnych klonów. Wiele roślin rzeczywiście tak robi, i są argumenty na rzecz takiego rozwiązania. Ale, jak już widzieliśmy wcześniej, w pewnych warunkach jest jeszcze więcej argumentów na rzecz przetasowania własnych genów z genami innego osobnika. Dokładne wyliczenie wszystkich wymagałoby obszernej dygresji, muszą być jednak jakieś istotne korzyści skłaniające żywe stworzenia do gry w płciową ruletkę, inaczej dobór naturalny nie dopuściłby, by stało się to obsesyjną siłą napędową prawie wszystkich zwierząt i roślin. Niezależnie od tego, na czym polegają owe korzyści, zniknęłyby one niemal bez śladu, gdyby zwierzęta i rośliny, zamiast mieszać swoje geny z genami innych osobników, łączyły je z identycznym zestawem własnych genów.

Jedyną rolą, jaką odgrywają kwiaty w życiu roślin, jest wymiana genów z inną rośliną, która ma odmienne ich rozdzianie. Niektóre, jak trawy, czynią to za pośrednictwem wiatru. Powietrze jest hojnie zasypane pyłkiem, którego tylko niewielki procent ma szczęście dotrzeć do żeńskich części kwiatów tego samego gatunku (reszta trafia do nosów i oczu nieszczęsnych ofiar kataru siennego). Jest to metoda działania na chybił trafił i, z pewnego punktu widzenia, obciążona marnotrawstwem. Często dużo bardziej efektywne jest posłużenie się skrzydłami i mięśniami owadów (lub innych przenosicieli pyłku, jak nietoperze i kolibry). Metoda ta lepiej ukierunkowuje pyłek na jego miejsce docelowe, dzięki czemu nie potrzeba go aż tyle. Z drugiej jednak strony konieczne są wydatki na przywabienie owadów. Część budżetu idzie na reklamę - jaskrawe płatki i silny zapach. A część na łapówki w postaci nektaru.

Nektar - paliwo lotnicze najwyższej klasy dla owadów - jest kosztowny w produkcji. Niektóre wytwarzające je fabryki wymigują się wywieszaniem w zamian oszukańczych reklam. Najślawniejsze są storczyki, których kwiaty przypominają z wyglądu i zapachu samice owadów (ryc. 8.2). Samce owadów podejmują próbę kopulacji z takimi kwiatami i zostają mimowolnie obciążone porcją pyłku lub, na drugim końcu tej drogi, uwolnione od porcji pyłku.





Ryc. 8.2 Kwiat storczyka przypominający samicę owada - dwulistnik *Ophrys vernixia*

Są storczyki, których kwiaty przypominają samice pszczół, są też o kwiatach przypominających samice much, a także os. U jednego z gatunków, noszącego bardzo uzasadnioną angielską nazwę *hammer orchid* (dosł.: storczyk z młoteczkiem), część imitująca samicę osy znajduje się na końcu zawiasowego i sprężynującego wyrostka, umieszczonego w określonej odległości od uwalniających pyłek pylników (ryc. 8.3). Kiedy samiec osy siada na imitacji samicy, zawias zamyka się i sprężynujący wyrostek uderza go mocno i wiele razy, jakby owad został umieszczony na kowadle, na którym znajdują się worki pyłkowe. Zanim zdoła się uwolnić, zostanie obciążony dwoma takimi workami.

Równie pomysłowy jest kwiat storczyka z rodzaju *Coryanthes*, który działa podobnie do dzbanecznika, ale z jedną istotną różnicą. Ma duży zbiornik płynu o intensywnym zapachu przypominającym feromony wydzielane przez samicę pewnego gatunku pszczół. Samiec tego gatunku, reagujący na ów zapach, wpada do zbiornika i niemal się topi.



Ryc. 8.3 Storczyk *Drakaea fitzgeraldi*: (a) osa siadła na kwiecie zwabiona znajomym widokiem; (b) ruchoma część kwiatu wielokrotnie uderza owada po grzbiecie, przyciskając jego odwłok do pylników.

Jedyna droga ucieczki wiedzie przez wąski tunel. Walczący o życie owad odkrywa go w końcu i wpełza do niego w nadziei na ratunek. Na samym końcu tego tunelu znajdują się skomplikowane wrota, w które zostaje zatrzaśnięty na dobre kilka minut, dopóki nie wywinie się na wolność. Podczas owych końcowych zmagani dwa duże okrągłe worki pyłkowe trafiają na jego odwłok. Następnie samiec odfruwa i - być może trochę bardziej smutny, ale niewiele mądrzejszy - wpada w kolejny kwiat tego storczyka. Tam znowu niemal się topi, ponownie boleśnie przeciska się przez tunel wiodący na wolność i jeszcze raz zostaje na chwilę zatrzymany przed ostatecznym uwolnieniem. Wtedy drugi z odwiedzonych kwiatów uwalnia go od worków pyłkowych i zapylenie zostaje dokonane. Nie przejmujemy się zbyt owym „trochę bardziej smutny, ale niewiele mądrzejszy”. Jak zwykle, powinniśmy się oprzeć pokusie przypisywania czemukolwiek świadomych intencji. Jeśli już, to mówmy raczej o kuszeniu przez kwiaty. Tak naprawdę jednak, zarówno gdy rzecz dotyczy kwiatów, jak i zapylających je owadów, należy myśleć o wszystkim, co się dzieje, w kategoriach nieświadomie sprytnie zbudowanej maszyny. Pyłek zawierający geny decydujące o wytwarzaniu zwodzących pszczoły kwiatów storczyków *Coryanthes* jest przenoszony przez pszczoły. Pyłek decydujący o wytwarzaniu kwiatów, które nieco gorzej wpływają na zachowanie pszczoł, ma mniejsze szanse na przeniesienie. Wraz z upływem kolejnych pokoleń storczyki coraz lepiej oszukują pszczoły (choć, trzeba przyznać, nie mogą się w praktyce pochwalić jakimiś spektakularnymi sukcesami w skłanianiu pszczoł do kopulacji).

Te zadziwiające kwiaty są skrajnym przykładem jednego z aspektów strategii zapylenia.

Wiele kwiatów wydaje się czynić wszystko, by pyłek przenoszony był przez jeden, ściśle określony gatunek zwierząt. Uważa się, że w strefie tropikalnej Nowego Świata występowanie u roślin czerwonych, rurkowatych kwiatów świadczy o tym, że ich zapylaniem zajmują się kolibry. Kolor czerwony jest jaskrawy i dobrze widoczny dla ptasich oczu (owady nie rozróżniają koloru czerwonego w ogóle). Długie, cienkie rurki wykluczają wszystkie przenoszące pyłek stworzenia, z wyjątkiem takich, które mają długie wąskie dzioby - czyli kolibrów. Inne rośliny decydują się na zapylanie wyłącznie przez pszczoły i - jak już wiemy - ich kwiaty często mają barwy i wzory w niewidzialnym dla człowieka paśmie ultrafioletu. Inne z kolei są zapylane wyłącznie przez ćmy. Takie kwiaty zwykle są białe i od widocznych z daleka reklam wołają zapachy. Szczytowym przykładem rozwoju wyłączności pyłkowego partnerstwa jest dopasowany jak rękawiczka do ręki duet figowców i ich własnych błonkówek - przykład, który tę książkę otwiera i zamyka. Dlaczego jednak rośliny są tak wybredne, dlaczego nie jest im wszystko jedno, kto zajmuje się ich zapylaniem?

Prawdopodobnie korzyść z wyspecjalizowanego pod tym względem gatunku zwierzęcia jest większa niż z jakiegokolwiek zwierzęcego przenosiiciela pyłku, a tym bardziej z polegania na wietrze. Cel jest wtedy bliżej określony. Wiatropylność jest rozwiązaniem wyjątkowo rozrzutnym, marnotrawiącym całe masy pyłku zasypującego wszystko dookoła. Zapylenie przez uniwersalne latające zwierzę jest lepsze, ale też dość rozrzutne. Pszczoła odwiedzająca jakiś kwiat może następnie polecieć na kwiat rośliny innego gatunku, a wtedy cały pyłek zostanie zmarnowany. Pyłek roznoszony przez zwykłe pszczoły nie zasypuje co prawda całej okolicy, ale ciągle rozsiewany jest dosyć nierozważnie w różnych miejscach. Porównajmy to ze specjalnym gatunkiem pszczół zajmującym się wyłącznie kwiatami *Coryanthes*, albo specjalnymi gatunkami błonkówek zapylających kwiaty figowców. Owady te latają bezbłędnie, jak maleńkie zdalnie naprowadzane rakiety, czy też - używając języka dziennikarzy piszących o medycynie - „czarodziejskie pociski”, trafiające zawsze do właściwego, z punktu widzenia rośliny, której pyłek przenoszą, celu. Dla błonkówek zapylających figowce oznacza to nie, jak zobaczymy, drzewo jakiegoś dowolnego figowca, ale dokładnie ten właśnie, a nie inny wybrany spośród dziewięciuset, ich gatunek. Zatrudnienie specjalisty musi dawać olbrzymie oszczędności w produkcji pyłku. Zobaczymy jednak także, że wiąże się to z innymi dodatkowymi kosztami, i nic dziwnego, że niektóre rośliny pozostają przy wiążącej się z marnotrawstwem wiatropylności. Pozostałe doskonalą się w rozwiązaniach pośrednich między szrapnelami a czarodziejskimi

pociskami. Figowce są prawdopodobnie krańcowym przykładem zależności od czarodziejskich pocisków szczególnego gatunku przenosiela pyłku i zachowamy je na kulminacyjny moment naszych rozważań - zakończenie ostatniego rozdziału.

Wracając do pszczół: usługi, jakie oferują one jako przenosiciele pyłku, mają zaiste szeroki zakres. Obliczono, że w samych Niemczech pszczoły miodne zapylają w ciągu jednego dnia około 10 bilionów kwiatów. Szacuje się również, że około 30 procent żywności produkowanej na Ziemi wytwarza się z roślin zapylanych przez pszczoły, i że gospodarka Nowej Zelandii upadłaby, gdyby z wyspy tej zniknęły pszczoły. Pszczoły, jak mogłyby powiedzieć kwiaty, znalazły się na Ziemi po to, by przynieść nasz pyłek.

Kolorowe i pachnące kwiaty nie zostały więc wcale stworzone dla naszego dobra, choć mogłoby się tak wydawać. Kwiaty żyją w ogrodzie owadów, tajemniczym ogrodzie ultrafioletu, dla którego, bez względu na naszą próżność, nie mamy większego znaczenia. Kwiaty były uprawiane i hodowane zawsze, ale ogrodnikami ich były owady i motyle, a nie my. Kwiaty wykorzystują pszczoły, a pszczoły wykorzystują kwiaty. Obie strony tego partnerskiego związku wzajemnie się kształtowały. Obie strony też wzajemnie hodowały się i oswajały. Ogród ultrafioletu to ogród dwoisty. Pszczoły hodują kwiaty dla własnych celów. A kwiaty - hodują pszczoły dla swoich.

Przykłady takiego partnerstwa są dość powszechnym rezultatem ewolucji. Istnieją tzw. ogrody mrówek, w których hodują one epifity (rośliny rosnące na powierzchni innych roślin). Mrówki sadzą je, znosząc odpowiednie nasiona i zakopując je w glebie pokrywanej mrowisko. Liście rozwijającej się rośliny są dla nich źródłem pożywienia. Wykazano, że niektóre rośliny rozwijają się lepiej, jeśli ich korzenie znajdują się w mrowisku. Inne gatunki mrówek i termitów wyspecjalizowały się w podziemnej hodowli grzybów, wysiewając ich zarodniki, plewiąc ogródki (usuwając konkurujące z uprawianymi gatunki grzybów) i nawożąc glebę kompostem z przeżutych liści. Wszystkie wysiłki słynnych mrówek grzybiarek zamieszkujących strefy tropikalne Nowego Świata, i żyjących w koloniach liczących po osiem milionów osobników, ukierunkowane są na zdobycie świeżych liści. Potrafią one zdewastować duże obszary z bezwzględnością dorównującą szarańczy. Liście te jednak wcale nie służą jako pokarm dla nich ani ich larw, są zbierane wyłącznie dla użyczenia grzybowych ogródków. Mrówki odżywiają się jedynie grzybami z gatunku, który rośnie tylko w mrowiskach określonego gatunku mrówek. Grzyby te mogłyby powiedzieć, że mrówki są wyłącznie po to, by dbać o grzyby, a mrówki - że

grzyby istnieją, żeby mrówki miały co jeść.

Ze wszystkich kochających mrówki roślin najbardziej chyba zdumiewają żyjące w południowo-wschodniej Azji epifity, które tworzą na łądydze duże, beczułkowate nabrzmienia, zwane pseudobulwami. Pseudobulwa ma w sobie prawdziwy labirynt jamek. Podobne zwykle drążą sobie w ziemi mrówki wydaje się więc, że i w pseudobulwach same je sobie zrobiły. Tak jednak nie jest. Jamki wytwarza roślina, a mrówki je zamieszkują (ryc. 8.4).

Lepiej znane są gatunki mrówek żyjących wyłącznie w specjalnych, pustych w środku kolcach akacji (ryc. 8.5). Kolce te są grube i rozdęte; roślina wytwarza je już puste i jedynym ich przeznaczeniem jest, jak się wydaje, służyć mrówkom za mieszkanie. Roślina zyskuje dzięki takiemu układowi ochronę, jaką zapewniają jadowite mrówki. Zostało to dowiedzione w bardzo eleganckim i prostym eksperymencie. Akacje, których mrówki wyginęły w efekcie zastosowania środków owadobójczych, szybko ucierpiały w widoczny sposób z powodu ataków różnych roślinożerców.



Ryc. 8.4 Roślina zapewniająca mrówkom bardzo wygodną siedzibę w zamian za ochronę.  
Przekrój przez pseudobulwę *Myrmecodia pentasperma*

Mrówki, jeśli w ogóle myślą, mogłyby sądzić, że kolce akacji powstały dla dobra mrówek. Akacje natomiast - że mrówki są po to, by chronić je przed amatorami ich pędów. Czy powinniśmy więc uważać, że każda ze stron takiego partnerskiego układu działa dla dobra drugiej? Nie, lepiej uznać, że każda z nich wykorzystuje tę drugą dla swojego własnego dobra. Jest to rodzaj wzajemnej eksploatacji, w której każdy odnosi wystarczające korzyści, by pogodzić się z nieuniknionymi kosztami związanymi z pomocą drugiemu.

Pojawia się tu pokusa, której ulegli ekologowie, aby całe życie na Ziemi postrzegać jako rodzaj grupy wzajemnej pomocy. Rośliny to pierwotni dostarczyciele energii. Wyłapują promienie słoneczne i przekształcają ich energię w postać dostępną całej reszcie społeczności. Mają w niej swój udział dzięki temu, że są zjadane. Roślinożercy, włączając wielkie bogactwo roślinożernych owadów, stanowią przejście, poprzez które energia słoneczna przepływa od pierwotnych producentów, roślin, do wyższych szczebli łańcucha pokarmowego - owadożerców oraz drobnych i wielkich drapieżców. Kiedy zwierzęta wydalają resztki nie strawionych pokarmów lub giną, ważne substancje tworzące ich ciała włączane są w cykl krążenia pierwiastków w przyrodzie dzięki aktywności padlinożerców, takich jak żuki gnojaki i chrząszcze grabarze. One następnie przekazują to szczytne zadanie bakteriom glebowym, które udostępniają podstawowe składniki z powrotem roślinom.

Nie byłoby nic złego w tak przyjemnym i dobrotliwym obrazku cyrkulacji energii i innych zasobów, gdyby tylko było zrozumiałe, że uczestnicy tego łańcucha nie czynią tego dla cudzego dobra. Są w nim dla swego własnego dobra. Żuk gnojak żeruje na nawozie i zagrzebuje go, bo jest to dla niego źródło pożywienia. Fakt, że przy okazji wykonuje usługi sanitarne i uczestniczy w obiegu pierwiastków, tak ważnym dla innych stworzeń, jest czystym przypadkiem.



Ryc. 8.5 Kolec akacji. Kolejny przykład współpracy mrówek i roślin. Te rozdęte, puste w środku kolce są dla mrówek bardzo atrakcyjnym miejscem zamieszkania.

Trawa stanowi podstawowy składnik diety wszystkich pasących się nią zwierząt, a zwierzęta z kolei nawożą trawę. Jest także prawdą, że kiedy usunie się zwierzęta, część trawy zginie. Nie oznacza to jednak, że trawa żyje po to, by być zjadana, ani że w jakimkolwiek sensie bycie zjadaną jest dla niej korzystne. Trawa, gdyby mogła wyrazić swoje życzenie, wolałaby raczej nie być zjadaną. Jak więc rozwiążemy ten paradoks, że kiedy zabraknie zwierząt, trawa ginie? Odpowiedź brzmi: choć żadna roślina nie chce być zjadana, trawy być może znoszą to lepiej niż wiele innych roślin (i dlatego właśnie z nich robi się trawniki, które muszą być strzyżone). Dopóki jakiś obszar jest miejscem wypasu lub bywa często koszony, rośliny, które miałyby konkurować z trawami, nie mogą się utrzymać. Drzewa nie mogą się dobrze zakorzenić, ponieważ ich siewki są niszczone. Pasące się zwierzęta są więc pośrednio pożyteczne dla traw jako klasy. Ale to wcale nie znaczy, że poszczególne rośliny traw korzystają z tego, że są zjadane. Mogą korzystać z tego, że inne rośliny giną, łącznie z przedstawicielami ich własnego gatunku, dzięki temu bowiem rosną ich przydziały nawozu i łatwiej im pozbyć się konkurentów. Najlepiej jednak, żeby danej roślinie trawy udało się uniknąć zjedzenia.

Zaczęliśmy od paszkwila na powszechne a fałszywe mniemanie, że kwiaty i zwierzęta znalazły się na świecie dla dobra człowieka, że bydło potulnie garnie się pod nóż itd. Trochę

łatwiejsza do obrony byłaby teza, że znalazły się one na świecie po to, by miały z nich korzyść inne zwierzęta, pozostające z nimi w naturalnie powstałej w procesie ewolucji symbiozie: kwiaty dla pszczoł, pszczoły dla kwiatów, rozdęte kolce akacji dla żyjących w nich mrówek, a te - dla pożytku akacji. Twierdzeniu, że jedne stworzenia powstały „dla dobra” innych, grozi jednak *reductio ad absurdum*. Nie wolno nam popaść w fałszywe przekonania rodem z ekologicznej popkultury, świętego holistycznego Graala wszystkich osób czyniących wszelkie wysiłki dla dobra całości, ekosystemu, „Gai”. Najwyższy czas powiedzieć jasno i wyraźnie, co mamy na myśli za każdym razem, kiedy mówimy o tym, że żywe stworzenie istnieje „dla dobra czegoś”. Co owo „dla dobra czegoś” naprawdę oznacza? Po co tak naprawdę są kwiaty i pszczoły, figowce i ich bleskotki, słońce i sosny ościste? Cóż to za byt, którego „korzyściom” służą żywe ciała lub ich części?

Odpowiedź brzmi: DNA. Jest to głęboka i precyzyjna odpowiedź, i argumenty na jej poparcie są niezbita. Wymaga jednak pewnych wyjaśnień. Wyjaśnienia te pragnę przedstawić teraz i w następnym rozdziale. Na początku powrócę do mojej córki.

Miała kiedyś bardzo wysoką gorączkę i cierpiałem razem z nią, gdy przychodziła moja zmiana, by czuwać przy jej łóżeczku i robić jej zimne okłady. Lekarze zapewniali mnie, że nie grozi jej żadne niebezpieczeństwo, ale osłabiony bezsennością umysł kochającego ojca nie mógł oprzeć się wizjom niezliczonych dziecięcych zgonów w poprzednich stuleciach i rozpaczy towarzyszącej każdej stracie. Sam Karol Darwin nigdy naprawdę nie otrząsnął się po śmierci ukochanej córeczki Annie. Jaskrawa niesprawiedliwość jej choroby miała przyczynić się do jego utraty wiary w Boga. A gdyby Juliet odwróciła się do mnie i zapytała, jakby w żalonym wspomnieniu naszej wcześniejszej, i szczęśliwszej, rozmowy: „A po co są wirusy?” Co bym jej odpowiedział?

Po co są wirusy? Czy po to, by uczynić nas lepszymi i silniejszymi dzięki zwycięskim zmaganiom z nieprzychylnościami losu? (Co przywodzi mi na myśl „korzyści” wynikające rzekomo z istnienia obozu w Oświęcimiu, o jakich mówił profesor teologii, z którym miałem okazję spotkać się podczas debaty telewizyjnej). Czy ich zadaniem jest zabicie wystarczająco wielu z nas, żeby nie doszło do przeludnienia? (Wyjątkowe dobrodziejstwo zwłaszcza w krajach, w których antykoncepcja została zakazana przez najwyższe autorytety teologiczne). Żeby ukarać nas za grzechy? (Jeśli chodzi o wirusa powodującego AIDS, znajdzie się wielu gorących zwolenników takiego poglądu. Niemal żal średniowiecznych adeptów teologii, że nie mieli w



swoich czasach szans na wskazanie tego zachwycająco moralistycznego patogenu). Także tym razem odpowiedzi te udzielane są z nadmiernie ludzkiego punktu widzenia, i nie jest to wcale komplement. Wirusy, podobnie jak wszystko, co żyje na świecie, zupełnie nie interesują się ludźmi ani w pozytywnym, ani w negatywnym sensie. Wirusy to instrukcje zakodowane w języku DNA, i istnieją one jedynie dla dobra tychże właśnie instrukcji. Mówią: „Skopiuj mnie i rozsiej dookoła”, i te, z którymi mamy do czynienia, stosują się do niniejszego polecenia. To wszystko. Stąd najbliżej do odpowiedzi na pytanie: „Więc po co one w ogóle się pojawiły?” Wydaje się, że w ogóle po nic, i właśnie to chciałbym teraz szczególnie wyraźnie podkreślić. Uczynię to, odwołując się do porównania z wirusami komputerowymi. Analogia między prawdziwymi wirusami a wirusami komputerowymi jest szczególnie celna, a zarazem bardzo pouczająca.

Wirus komputerowy to po prostu program napisany w tym samym języku co wszystkie inne programy i rozprzestrzeniany tymi samymi środkami: na przykład na dyskietkach, w sieciach komputerowych i telefonicznych, przez modemy i w Internecie. Każdy program komputerowy to po prostu zestaw instrukcji. Czego? Może to być naprawdę wszystko. Niektóre programy to zestawy instrukcji do dokonywania obliczeń. Edytory tekstu to zestawy instrukcji umożliwiające pisanie tekstów, ich obróbkę na ekranie i drukowanie na drukarkach. Jeszcze inne programy, jak Genius 2, który pokonał kiedyś samego arcymistrza Kasparowa, to instrukcje doskonałej gry w szachy. Wirus komputerowy jest instrukcją mówiącą mniej więcej: „Za każdym razem, gdy dostajesz się na nowy twardy dysk, kopij mnie i każ mu robić to samo”. Jest to program typu „Powiel mnie”. Czasami mówi także coś jeszcze, na przykład: „Sformatuj cały twardy dysk”. Albo każe komputerowi przemówić, cienkim zsyntetyzowanym głosem, na przykład: „Nie panikuj”. Ale to tylko przy okazji. Najważniejszą cechą wirusa komputerowego, jego znakiem rozpoznawczym, jest instrukcja: „Powiel mnie”, napisana w języku, którego posłucha komputer.

Ludzie mogą odmówić podporządkowania się takim szalenie apodyktycznym nakazom, ale komputery będą je niewolniczo wypełniać, dopóki napisane będą w ich własnym języku. „Powiel mnie” będzie wykonane równie skrzętnie jak komendy: „Odwróć tę macierz”, „Napisz ten akapit kursywą” czy „Przesuń tego pionka o dwa pola”. Co więcej, istnieje mnóstwo okazji do wzajemnej infekcji. Użytkownicy komputerów bardzo chętnie wymieniają się dyskietkami, gramami komputerowymi i pożytecznymi programami. Łatwo zauważyć, że kiedy dochodzi do

bezlądnej wymiany dyskietek, program głoszący „Skopiuj mnie na każdym twardym dysku, jaki napotkasz” rozprzestrzeni się po całym świecie jak ospa wietrzna. Szybko pojawiają się tysiące jego kopii i liczba ta będzie stale rosła. Obecnie, w epoce szerokich infostrad cyberspace umożliwiających nieustanną wymianę informacji w cyberprzestrzeni, okazji do błyskawicznego szerzenia się infekcji jest jeszcze więcej.

Aż kusi, by i tu podkreślić kompletną nieprzydatność takich pasożytniczych programów, tak samo jak wirusów chorobotwórczych. Cóż za pożytek z programu, który nie mówi niczego ponad: „Powiel ten program”. Zostanie on z pewnością powielony, ale czy takie egocentryczne zabieganie o samego siebie nie jest wręcz absurdalnie zbyteczne? Oczywiście, że jest! Jest to złośliwe, jałowe działanie. Ale to nie ma żadnego znaczenia. Bezsensowność wcale się tu nie liczy. Program taki może być zupełnie niepotrzebny, a mimo to się rozprzestrzeniać. Rozprzestrzenia się, ponieważ się rozprzestrzenia, dlatego że się rozprzestrzenia. Fakt, że nie czyni przy tym niczego pożytecznego - a czasem nawet szkodzi - nie ma żadnego znaczenia. W świecie wymieniania się komputerowymi dyskietkami przeżywa on dlatego, że przeżywa.

Prawdziwe wirusy są dokładnie takie same. Zasadniczo wirus to po prostu program napisany w języku DNA, który jest bardzo podobny do języka komputerowego nawet przez to, że jest kodem cyfrowym. Tak samo jak komputerowy, prawdziwy wirus mówi: „Skopiuj mnie i rozsiewaj dookoła”. Wcale nie chcemy nikomu wmawiać, że wirusy te - i wirusy komputerowe - chcą być kopiowane. Po prostu ze wszystkich sposobów, w jakie może być ułożony DNA, rozprzestrzeniają się tylko te jego układy, które zawierają instrukcję: „Rozprzestrzeniaj mnie”. Świat, chcąc nie chcąc, zapełnia się takimi programami. I znowu, tak samo jak wirusy komputerowe, wirusy są tutaj, dlatego że są tutaj, dlatego że są tutaj. Gdyby nie zawierały instrukcji zapewniającej im istnienie, nie istniałyby.

Jedyna ważna różnica polega na tym, że wirusy komputerowe są zaprojektowane przez złośliwego dowcipnisia lub człowieka kierującego się złymi intencjami, a prawdziwe wyewoluowały dzięki mutacjom i działaniu doboru naturalnego. Jeśli mają one złe skutki - na przykład powodują kichanie lub śmierć - to są to tylko skutki uboczne bądź przejawy jego metody rozpowszechniania się. Niepożądane efekty powodowane przez wirusy komputerowe są czasami podobnej natury. Słynny Internet Worm, który wyroił się w sieciach Stanów Zjednoczonych 2 listopada 1988 roku, wywołał skutki całkiem niezamierzone (komputerowe robaki różnią się z fachowego punktu widzenia od komputerowych wirusów, ale nie musimy

sobie tym tutaj zaprzętać głowy). Kopie tego programu zajęły całą pojemność pamięci oraz czas pracy procesora i doprowadziły do kompletnej martwoty blisko sześć tysięcy komputerów. Fatalne skutki wirusów komputerowych są czasem, jak już widzieliśmy, nie tyle ich skutkiem ubocznym czy nieuchronnym przejawem powielania się, ile dowodem czystej i bezinteresownej złośliwości. Nie pomaga to tym pasożytom szerzyć swoich złych skutków, a wręcz zwalnia ich tempo rozprzestrzeniania się. Prawdziwe wirusy nie czyniłyby nic tak wymierzonego w człowieka, chyba że zostałyby zaprojektowane w laboratorium broni biologicznej. Wirusy powstałe naturalnie w efekcie ewolucji nie ruszają w świat po to, by nas zabijać lub powodować nasze cierpienie. To, czy cierpimy, czy nie, nic a nic ich nie obchodzi. A jeśli cierpimy, to jest to tylko skutek uboczny ich aktywności warunkującej im samorozprzestrzenianie się.

Instrukcja „Powiel mnie”, tak samo jak wszystkie inne instrukcje, jest bezużyteczna, jeśli nie ma maszyny gotowej ją wypełnić. Świat komputerów jest miłym i przyjaznym miejscem dla programów „Powiel mnie”. Komputery połączone Internetem, współdziałające z tłumami osób pożyczających sobie wzajemnie dyskietki, stanowią raj dla samokopiujących się programów komputerowych. Istnieją gotowe do użycia instrukcje kopiowania i posłuszne tym instrukcjom maszyny buczące, warczące i - w pewnym sensie - wręcz proszące się o to, by jakiś program typu „Powiel mnie” zechciał je wykorzystać. W przypadku wirusów zawierających DNA gotowymi do użycia maszynami kopiującymi i posłusznie wypełniającymi instrukcje są mechanizmy komórkowe - całe to instrumentarium, z informacyjnym RNA, rybosomalnym RNA i różnymi rodzajami transportującego RNA, każdym przyczepionym do jednego, własnego aminokwasu. Mniejsza o szczegóły, a jeśli ktoś jest ich ciekawy, można je znaleźć w niezwykle przejrzystej *Molecular Biology of the Gene* [Biologii molekularnej genu] Jamesa D. Watsona. Dla naszych celów wystarczy zapamiętać, że, po pierwsze, każda komórka zawiera miniaturowy odpowiednik wypełniającej instrukcje maszyny komputerowej oraz, po drugie, kod, jakim posługują się wszystkie komórki wszystkich stworzeń na Ziemi, jest identyczny. (Wirusy komputerowe nie mają tak dobrze, na przykład te atakujące DOS nie są groźne dla Maców i odwrotnie). Instrukcje wirusów komputerowych i instrukcje wirusów zawierających DNA zostają wypełnione, ponieważ napisane są w kodzie, który jest niewolniczo wysłuchiwany w środowiskach, w których wirusy te się znajdują.

Ale skąd pochodzi owa cała usłudź kopiująca i wypełniająca polecenia maszynieria? Nie spadnie z nieba. Musi zostać wytworzona. Dla wirusów komputerowych wytwarza ją człowiek.

Dla wirusów zawierających DNA maszyną tą są komórki innych stworzeń. A kto je wytwarza - ludzie, słonie i hipopotamy, których komórki tak bardzo przydają się wirusom? Odpowiedź brzmi: wytwarzają je inne samopowielające się cząsteczki DNA. Czym więc są wielkie stworzenia, takie jak słonie, drzewa wiśni i myszy? (Mówię „wielkie”, bo z punktu widzenia wirusa myszy to prawdziwe olbrzymy). I dla czyjego pożytku znalazły się na świecie myszy i słonie, i kwiaty?

Zbliżyliśmy się do ostatecznej odpowiedzi na wszystkie takie pytania. Kwiaty i słonie są „po to” samo co wszyscy inni przedstawiciele królestwa życia - by rozprzestrzeniać programy „Powiel mnie” zapisane w języku DNA. Kwiaty są po to, by rozprzestrzeniać instrukcje powstawania kolejnych kwiatów. Słonie, by rozprzestrzeniać instrukcje powstawania kolejnych słoni. Ptaki - instrukcje powstawania kolejnych ptaków. Komórki słonia nie potrafią rozpoznać, czy instrukcja, którą ślepo wypełniają, dotyczy wirusa czy słonia. Jak w Szarzy Lekkiej Brygady Tennysona: „Nie im - komendy prym badać. Co? jak? - nie im. Ich rzecz - iść w bitew dym”.

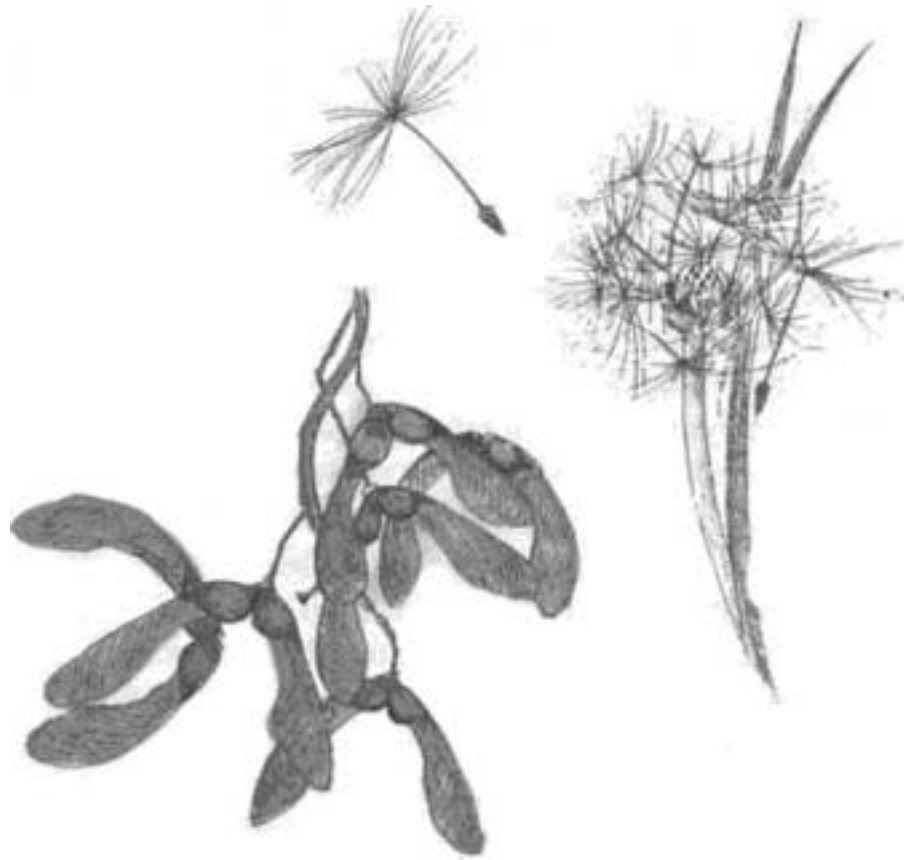
Nietrudno zrozumieć, dlaczego mówię o słoniach, kiedy mam na myśli wszystkie duże, niezależnie żyjące stworzenia, a także kwiaty i pszczoły, ludzi i kaktusy, a nawet bakterie. Instrukcje wirusów, jak widzieliśmy, mówiły: „Powiel mnie”. A co mówi instrukcja słonia? Z tym właśnie chciałbym pozostawić czytelnika na końcu tego rozdziału. Instrukcja słonia również mówi: „Powiel mnie”, ale w nieporównanie bardziej zawikłany sposób. DNA słonia to gigantyczny program, podobny do programu komputerowego. Tak samo jak w przypadku wirusa przenoszącego DNA jest to zasadniczo program typu „Powiel mnie”, ale zawiera także fantastycznie wręcz wielką dygresję jako istotną część warunkującą wykonanie podstawowego polecenia. Dygresją tą jest słoń. Program mówi: „Powiel mnie określą drogą - najpierw zbuduj słonia”. Słoń zdobywa pożywienie, aby urosnąć; rośnie, by stać się dorosłym; staje się dorosłym, by znaleźć swojego partnera i wydać na świat nowe słonie; wydaje na świat nowe słonie, by rozprzestrzeniać kopie oryginalnych instrukcji.

To samo da się powiedzieć o poszczególnych częściach zwierząt. Dziób pawia, zbierający pożywienie i dzięki temu utrzymujący pawia przy życiu, jest narzędziem umożliwiającym pośrednie rozprzestrzenianie instrukcji wytwarzania pawich dziobów. Ogon samca pawia jest narzędziem rozpowszechniania instrukcji wytwarzania innych pawich ogonów. Czyni to, będąc atrakcyjnym dla samic pawia. Sprawdza się, przyciągając samice, tak jak dziób - zbierając pożywienie. Samce o najpiękniejszych ogonach będą miały najwięcej potomstwa przekazującego

dalej kopie genów decydujących o pięknym ogonie. Dlatego ogony pawi są takie ładne. Fakt, że są dla nas ładne, jest przypadkowym skutkiem ubocznym. Ogon pawia to środek rozprzestrzeniania genów i działa on za pośrednictwem oczu samic.

Skrzydła są narzędziem rozprzestrzeniania instrukcji genetycznych decydujących o wytwarzaniu skrzydeł. U pawia spełniają swoją rolę jako obrońcy genów, zwłaszcza gdy ptak zostanie zaskoczony przez drapieżnika i wzbija się przelotnie w powietrze. Rośliny zdobyły się na coś podobnego do narządów umożliwiających latanie, zaopatrując w nie nasiona (ryc. 8.6); większość ludzi wolałaby jednak nie używać określenia „latanie”, w jego dosłownym znaczeniu, w stosunku do roślin. Rośliny, jak się wydaje, nie latają i nie mają skrzydeł.

Ale chwileczkę! Nie potrzebują one wcale własnych skrzydeł, jeśli mają do dyspozycji skrzydła pszczoł czy motyli. W istocie, nie miałbym nic przeciwko temu, żeby pszczele skrzydła nazywać skrzydłami roślin. Są to narządy umożliwiające latanie wykorzystywane przez rośliny do przenoszenia pyłku z jednego kwiatu na drugi. Kwiaty to narzędzia umożliwiające roślinnemu DNA przejście do następnego pokolenia. Działają tak samo jak ogony pawi, ale zamiast przyciągać samice, przyciągają pszczoły. Pod żadnym innym względem ich działanie niczym się nie różni. Podobnie jak ogon pawia wpływający pośrednio na mięśnie nóg samicy i sprawiający, że podchodzi ona do samca i z nim kopuluje, tak i ozdobne wzory kwiatów, ich zapach i nektar wpływa na skrzydła pszczoł, motyli i kolibrów.



Ryc. 8.6 Uskrzydłony DNA: nasiona jawora i mniszka lekarskiego

Pszczoły ściągają do kwiatów. Ich skrzydła pracują i roznoszą pyłek do kolejnych kwiatów. Skrzydła pszczoły można naprawdę nazwać skrzydłami roślin, gdyż przenoszą one roślinne geny równie pewnie jak dźwigają geny pszczół.

Ciała słoni nie potrafią rozpoznać, czy pracują po to, by rozprzestrzeniać DNA słoni, czy DNA wirusów, a skrzydła pszczół nie wiedzą, czy pracując roznoszą pszczeli, czy roślinny DNA. Jak to zwykle bywa, jeśli wykluczmy przypadki wyjątkowe takich pszczół, które dają się nieustannie nabierać i kopulują wyłącznie z kwiatami dwulistników, okaże się, że najczęściej roznoszą one i jedno, i drugie. Różnica między własnym DNA a DNA pyłku, z punktu widzenia wykonującej zadanie pszczelej maszyny, jest niedostrzegalna. Pawie i pszczoły, kwiaty i słonie mają do swojego DNA podobny stosunek jak do DNA pasożytniczych wirusów, które je trapią. Wirus zawierający DNA to program, który mówi: „Powiel mnie w prosty i bezpośredni sposób, wykorzystując gotową do użycia maszynę komórki gospodarza”. DNA słonia mówi: „Powiel mnie w bardziej skomplikowany i okrężny sposób, polegający po pierwsze na zbudowaniu

słonia”. DNA kwiatu mówi: „Powiel mnie w jeszcze bardziej skomplikowany i okrężny sposób: po pierwsze, zbuduj kwiat, a po drugie, wykorzystaj ten kwiat tak, by wpłynąć, pośrednio - na przykład za pomocą nęcącego nektaru - na skrzydła pszczoły (zbudowanej już szczęśliwie zgodnie z zaleceniami innej porcji DNA, własnego DNA pszczoły), która przeniesie na jak największą odległość ziarna pyłku, w których zawarte są dokładnie takie same instrukcje”. Konkluzji tej będziemy się przyglądać z innej perspektywy w następnym rozdziale.

## ROZDZIAŁ 9

### ROBOT POWIELAJĄCY

Doszliśmy właśnie do wniosku, że kwiaty i słonie są w istocie żywicielami swojego własnego DNA w tym samym sensie, w jakim my jesteśmy żywicielami różnych wirusów zbudowanych z DNA. Jest to zgodne z prawdą, ale nasuwa także kilka pytań. Brakuje w tej argumentacji jednego ważnego elementu. Wirusom komputerowym jest bardzo wygodnie, bo współczesny świat pełen jest wydajnych komputerów, gotowych do posłusznego wypełniania instrukcji. Są to jednak twory rąk ludzkich. Pasożytnicze programy dostają je jak na talerzu. Wirusy zawierające DNA także mają swoich żywicieli i również ich skomplikowaną, posłuszenie wypełniającą instrukcje, komórkową maszynę dostają jak na talerzu. Ale skąd się te żywe maszyny biorą?

Wyobraźmy sobie coś podobnego do wirusa komputerowego, który zamiast korzystać z gotowego do użycia, niewolniczo posłusznego komputera, musi zacząć wszystko od zera. Nie może on po prostu powiedzieć: „Powiel mnie”, bo nie ma do dyspozycji żadnego komputera, który by go posłuchał. Co powinien zrobić samopowielający się program w świecie pozbawionym jakiegokolwiek maszyny obliczeniowej i powielającej, by móc się naprawdę samorozprzestrzeniać? Powinien zacząć od rozkazania: „Zbuduj maszynę niezbędną do powielenia mnie”. A jeszcze wcześniej: „Zrób części, z których da się złożyć maszynę mnie powielającą”. A przedtem musiałby rozkazać: „Zgromadź surowce potrzebne do wyrobu części”. Taki bardziej rozbudowany program powinien mieć swoją nazwę. Nazwijmy go „Totalną Replikacją Instrukcji Programowej”, w skrócie TRIP.

TRIP musi mieć kontrolę nad czymś więcej niż komputer z klawiaturą i monitorem. Musi on mieć do dyspozycji coś w rodzaju sprawnych rąk lub chwytnych i swobodnie manipulujących innymi obiektami urządzeń, a także jakieś czujniki pozwalające kształtować poszczególne części i zestawiać je ze sobą. Urządzenia działające jak ręce są niezbędne, by wyszukać i poskładać razem różne elementy, a wcześniej, by zgromadzić potrzebne do ich wytworzenia surowce. Komputer może przeprowadzić symulację rozmaitych działań na ekranie, ale nie potrafi sam zbudować podobnego do siebie komputera. Aby to uczynić, musiałby wkroczyć w realny świat i zająć się obróbką prawdziwych, twardych metali, krzemu i innych materiałów.

Przyjrzyjmy się nieco bliżej związanym z tym wszystkim problemom technicznym.



Nowoczesne komputery osobiste mogą zmieniać różne kolorowe kształty na ekranie kineskopu, a decydując o rozkładzie barwnych plamek - także na wydruku z drukarki, a czasami także emitować różne dźwięki przez głośniki stereofoniczne. Można dzięki temu wszystkiemu stworzyć złudzenie trójwymiarowości, ale jest to tylko iluzja mamiąca ludzki umysł. Sześcian pojawiający się na ekranie narysowany jest w odpowiedniej perspektywie. Jeśli nadać mu właściwą fakturę, wygląda jak prawdziwy, ale nie da się przecież podnieść go i poczuć w palcach, jaki jest ciężki i twardy. Mając odpowiedni program, można taki sześcian przeciąć na pół i obejrzeć jego przekrój. Ale znów będzie to tylko symulacja - sześcian naprawdę wcale nie jest bryłą. Komputery przyszłości będą być może równie zręcznie zwozdiły inne zmysły. Przyszły odpowiednik myszy komputerowej może na przykład stawiać palcom sztuczny opór, gdy będziemy chcieli przesunąć na ekranie jakiś „ciężki” obiekt. Tyle że obiekt ten nadal wcale nie będzie ciężki, nie będzie zrobiony z żadnego namacalnego, twardego materiału.

Nasz komputer realizujący program TRIP musi umieć manipulować czymś więcej niż ludzką wyobraźnią. Musi poradzić sobie z prawdziwymi przedmiotami należącymi do rzeczywistego świata. Jak może mu się to udać? Łatwiej nam będzie to zrozumieć, gdy spróbujemy wyobrazić sobie projektowanie nowego typu drukarki komputerowej - drukarki trójwymiarowej. Zwykle drukarki decydują o rozkładzie farby na dwuwymiarowym kawałku papieru. Jednym ze sposobów na uzyskanie przestrzennego obrazu - powiedzmy, kota - jest wydrukowanie serii przekrojów jego ciała na przezroczystej folii. Komputer pracowicie dzieli całego kota - od końca wąsów po czubek ogona - na plasterki, każdy z nich skanuje, a następnie robi jego wydruk na folii. Gdy złoży się setki takich przezroczystych arkuszy, otrzyma się bryłę - trójwymiarowy obraz kota, widoczny w środku tego bloku.

Nie jest to jednak prawdziwa trójwymiarowa drukarka, ponieważ obraz kota wydrukowany tym sposobem będzie otoczony niezadrukowaną folią. Gdyby zamiast atramentu użyć żywicy samoutwardzalnej, sprawa przedstawiałaby się nieco lepiej. Arkusze można by znowu złożyć, a następnie rozpuścić lub wytrawić puste ich części, pozostawiając tylko utwardzoną już żywicę. Gdyby, co mało prawdopodobne, trudności techniczne tego rozwiązania zostały pokonane, otrzymalibyśmy przyrząd umożliwiający uzyskanie trójwymiarowych obrazów najrozmaitszych obiektów: prawdziwą trójwymiarową drukarkę komputerową.

Drukarka ta pozostaje jednak głęboko związana z dwuwymiarowością. Swój przestrzenny efekt zawdzięcza wykorzystaniu zasady druku serii płaskich przekrojów. Żadne z podobnych

urządzeń wyjściowych, działających zgodnie z zasadą seryjnych dwuwymiarowych przekrojów nie nadaje się dla programu TRIP. Za ich pomocą nigdy nie udałoby się zrobić żadnych pożytecznych maszyn, takich jak na przykład silnik spalinowy. Wymaga on różnych części - cylindrów, tłoków, koła zamachowego i paska klinowego. Części są zrobione z rozmaitych materiałów i muszą swobodnie poruszać się względem siebie. Silnik nie może składać się z zastygłych przekrojów: musi zostać złożony w efekcie połączenia ze sobą przygotowanych wcześniej, oddzielnych elementów. A te z kolei muszą być złożone w taki sam sposób z innych, drobniejszych części. Trójwymiarowa drukarka z całą pewnością nie jest odpowiednim urządzeniem wyjściowym dla programu TRIP. Jest nim natomiast robot przemysłowy. Ma on chwytak lub coś innego, co zastępuje mu ręce, i może chwytać różne przedmioty. „Ręka” znajduje się na końcu czegoś przypominającego ramię i posiada rodzaj uniwersalnego przegubu lub zestawu przegubów (odpowiedników stawów) umożliwiającego jej poruszanie się w trzech płaszczyznach. Ma on również odpowiedniki narządów zmysłów, które mogą pokierować go do następnego obiektu, jaki ma zostać uchwycony, przeniesiony w pożądaną stronę oraz umieszczony we właściwy sposób na właściwym miejscu.

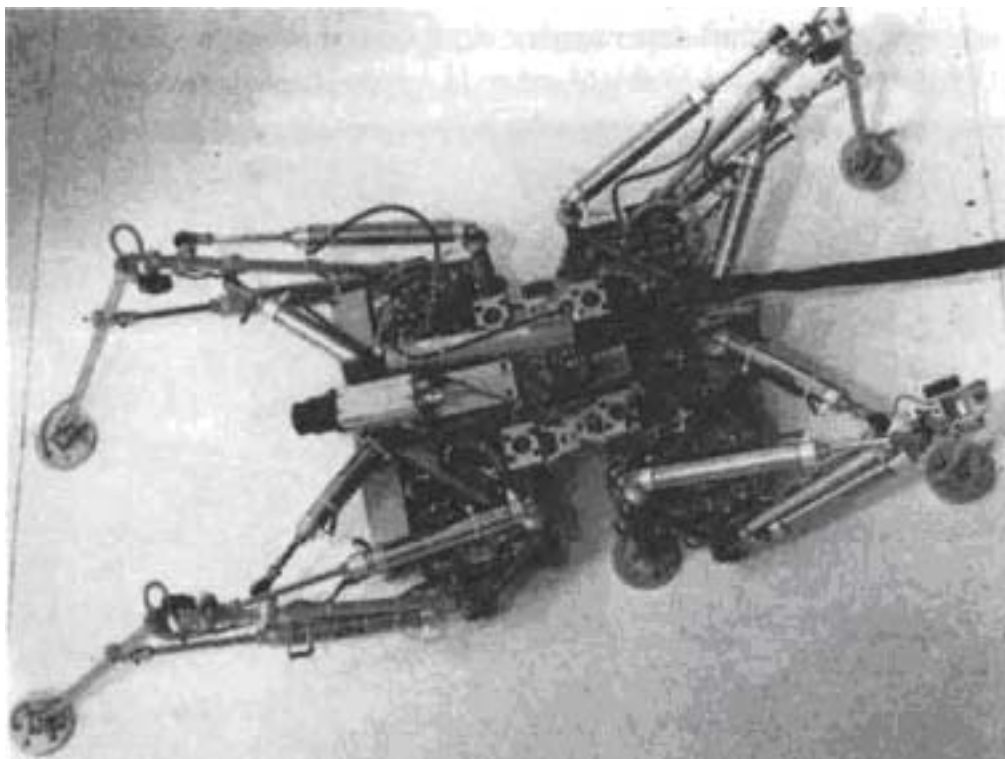
Takie roboty przemysłowe rzeczywiście są wykorzystywane w nowoczesnych fabrykach (ryc. 9.1). Sprawdzają się pod warunkiem, że każdy z nich ma do wykonania bardzo konkretne zadanie w ściśle określonym miejscu linii produkcyjnej. Jednak normalne roboty przemysłowe także nie nadają się do realizacji naszego programu TRIP. Mogą one składać coś z części, jeśli części te są im podawane w ściśle ustalonym położeniu lub przesuują się na taśmie produkcyjnej. Wszystkie nasze rozważania natomiast mają nas doprowadzić do sytuacji, w której nie ma potrzeby dostawania czegokolwiek w ustalonym położeniu, jak na talerzu.



Ryc. 9.1 Robot przemysłowy w fabryce samochodów Nissan w Jokohamie

Nasz robot musi sobie sam poradzić ze znalezieniem surowców, by wytworzyć z nich części, zanim zaczną je razem składać. Aby to zrobić, musi swobodnie poruszać się po świecie, wyszukując potrzebne materiały, wydobywając je spod ziemi i gromadząc. Musi mieć możliwość przemieszczania się - posiadać coś w rodzaju gąsienic, takich jakie mają czołgi, lub kończyn.

Są takie roboty, które mają nogi lub jakieś inne elementy umożliwiające im pseudocelowe poruszanie się po świecie. Robot przedstawiony na rycinie 9.2 przypomina akurat owada, tyle że ma cztery nogi, a nie sześć. Jego nogi zaopatrzone są w przyssawki podobne do przyłg muchy, ponieważ wyspecjalizowany jest w sztuczce polegającej na wspinaniu się po pionowych powierzchniach. Ulubioną zabawą jego twórców jest podkładanie mu ręki w miejscu, na które właśnie ma stanąć. Sensory na stopie robota natychmiast wyczuwają nierówności i rozpoczynają się cudownie biologiczna pantomima poszukiwania lepszego miejsca.



Ryc. 9.2 Kroczący robot na kończynach zaopatrzonych w przyssawki z Politechniki w Portsmouth, w Anglii

Ale to tylko szczegół związany z tym właśnie robotem. Sławny, skonstruowany wcześniej przez W. Grey Waltera z Uniwersytetu w Bristolu, „żółw” *Machina speculatrix*, zwykł podłączać się do sieci, by naładować swoje akumulatory. Kiedy jego baterie wyczerpywały się, wykazywał coraz większy apetyt na prąd i nasilał swoje poszukiwania gniazda zasilającego. Kiedy jakieś znalazł, zwracał się ku niemu tyłem, dopóki nie uzupełnił zapasów. Ale nie to jest tu najważniejsze. Chodzi nam o maszynę, która może poruszać się na własnych nogach i niestrudzenie wyszukiwać coś za pomocą narządów zmysłów i wbudowanego w nią komputera pokładowego.

Nasze następne zadanie polega na połączeniu obu tych rodzajów robotów ze sobą. Wyobraźmy sobie, że kroczący, wyposażony w przyssawki robot przenosi na plecach to, co dźwiga dysponujący rękami robot przemysłowy, o którym mówiliśmy wcześniej. Nadzór nad taką wielofunkcyjną maszyną sprawuje wbudowany w nią komputer. Komputer ów wyposażony jest w masę rutynowych programów kierujących ruchem nóg i przyssawek oraz rąk i dłoni. Przede wszystkim jednak pozostaje on pod kontrolą głównego programu typu „Powiel mnie”,

który mówi: „Wędruj po świecie, zbierając niezbędne surowce, aby zrobić kopię takiego samego robota. Zrób go, następnie wpisz w jego komputer taki sam program TRIP i wypuść go na świat, by czynił dokładnie to samo”. Tego hipotetycznego robota nazwijmy robotem TRIP.

Rozważany tu robot TRIP jest maszyną o niezwyklej technicznej pomysłowości i złożoności. Zasada jego działania była przedmiotem rozważań wielkiego węgiersko-amerykańskiego matematyka Johna von Neumanna (jednego z dwóch kandydatów do honorowego tytułu ojca informatyki; drugim jest Alan Turing, młody brytyjski matematyk, który będąc prawdziwym geniuszem w dziedzinie łamania szyfrów, bardziej chyba niż ktokolwiek inny przyczynił się do zwycięstwa aliantów w czasie drugiej wojny światowej, ale został doprowadzony do samobójstwa bezwzględnym wyrokiem sądowym nakazującym mu przymusową terapię hormonalną w związku z homoseksualizmem). Żadnej maszyny von Neumanna, żadnego samoreprodukującego się robota TRIP dotychczas jednak nie zbudowano. I być może nigdy się to nie uda. Niewykluczone, że leży to poza zasięgiem praktycznych możliwości.

Ale co ja tu mówię? Cóż to za nonsens twierdzić, że samopowielająca się maszyna nigdy nie została zbudowana. A czymże, u licha, jestem ja sam? Albo pszczoła, kwiat czy kangur? Czymże jest każdy z nas, jak nie robotem TRIP? Nie zostaliśmy wytworzeni przez człowieka w jakimś celu: powstaliśmy w procesie rozwoju zarodkowego pozostającego pod kontrolą naturalnie wyselekcjonowanych genów. Ale robimy w rzeczywistości to, czego oczekujemy po naszym hipotetycznym robocie TRIP. Włączymy się po świecie, rozglądając się za surowcami niezbędnymi do wytworzenia części niezbędnych do utrzymania przy życiu nas samych, a w końcu i wytworzenia innego robota zdolnego do podobnych wyczynów. Owe surowce to cząsteczki, które wydobywamy z bogatych złóż pożywienia.

Niektórzy czują się urażeni, gdy nazwać ich robotami. Zwykle wydaje im się, iż robot to coś w rodzaju poruszającego się zrywami, skretyniałego manekina, niezdolnego do precyzyjnego kontrolowania swoich ruchów, pozbawionego inteligencji i plastyczności zachowania. Ale to wcale nie są konieczne cechy robota. Owszem, mają je niektóre z robotów, jakie udało się nam zbudować środkami współczesnych technologii. Jeśli jednak oświadczam, że kameleon, patyczak czy człowiek jest robotem, który nosi wszędzie w sobie swoje własne zaprogramowane instrukcje, to nie mówię nic o jego inteligencji. Jakaś istota może być bardzo inteligentna, a mimo to być robotem. Niczego nie mówię też o plastyczności jego zachowania, bo robot może w

istocie odznaczać się ogromną plastycznością. Ludzie żyjący w XX wieku i obruszający się na to, że nazywa się ich robotami, obrażają się na powierzchowne i nieuzasadnione skojarzenia z tym, słowem (podobnie jak osoba żyjąca w XVIII wieku, która nie zgadzała się na nazywanie parowozu środkiem lokomocji, bo nie wykorzystywano w nim konia). Robotem jest każdy mechanizm o dowolnej złożoności i inteligencji, który ma z góry narzuconą pracę w celu wypełnienia wyznaczonego zadania. Zadanie robota TRIP polega na rozpowszechnianiu po świecie kopii swojego własnego programu razem z maszynami umożliwiającymi jego realizację.

Punkt wyjścia naszych rozważań na temat samokopiującego się robota był następujący. Zgodziliśmy się, że zwykle programy typu „Powiel mnie” - jak wirusy komputerowe czy prawdziwe wirusy zawierające DNA - były bardzo dobre, ale całkowicie zależały od bardzo wygodnego świata: pełnego maszyn zdolnych do, odczytywania i wypełniania instrukcji. Świat jest jednak tak bardzo „wygodny” tylko dlatego, że wcześniej ktoś lub coś zbudowało już posłuszne maszyny. Wyobraziliśmy sobie też niezwykle zmyślnego robota, który - podobnie jak te, o których mówiliśmy wcześniej - jest gigantyczną dygresją od programu typu „Powiel mnie”. Zamiast mówić tylko „Powiel mnie”, program ten nakazuje: „Złóż z części nową wersję całej maszyny niezbędnej do skopiowania mnie, a następnie wpisz mnie do jej pokładowego komputera”.

Dotarliśmy jeszcze raz do konkluzji poprzedniego rozdziału. Słón jest olbrzymią dygresją zawartą w programie komputerowym napisanym w języku DNA. Struś to kolejny przykład dygresji, podobnie jak dąb. I, oczywiście, człowiek. Każdy z nas jest robotem TRIP, maszyną von Neumanna. Ale od czego cały ten proces się rozpoczął? Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy się cofnąć, więcej niż o 3 miliardy, być może nawet o 4 miliardy lat. Świat wyglądał wówczas zupełnie inaczej. Nie było wtedy życia - żadnej biologii, wyłącznie fizyka i chemia, a i chemizm ówczesnej Ziemi był zupełnie inny niż obecnie. Większość, jeśli nie w ogóle całość, naukowo uzasadnionych spekulacji zaczyna się od tzw. bulionu pierwotnego - cienkiej zupki prostych związków organicznych rozpuszczonych w praocenie. Nikt nie wie, jak to się stało, ale w jakiś sposób, bez naruszania praw fizyki i chemii, pojawiła się w pewnym momencie cząsteczka o takiej własności, że mogła sama się kopiować - replikator.

Może się wydawać, że było to niesłychane szczęście. Chcę jednak powiedzieć kilka rzeczy o owym niezwykłym trafie. Po pierwsze, wystarczyło, żeby stało się to tylko raz. W tym sensie przypomina to szczęście niezbędne do skolonizowania wyspy.

Większość wysp na świecie, nawet tak odległe jak Wyspa Wniebowstąpienia, jest zamieszkiwana przez zwierzęta. Niektóre z nich, jak ptaki czy nietoperze, dostają się na nie w sposób, który łatwo nam sobie wyobrazić bez zakładania jakiegoś wyjątkowego zbiegu okoliczności. Ale inne, jak jaszczurki, nie latają. Zachodzimy w głowę, jak też udało im się tam dostać. Niewystarczające może się wydawać powoływanie się na jakiś i wyjątkowy zbieg okoliczności - na przykład że jaszczurka żyjąca na kontynencie uczepliła się gałęzi drzewa mangrowego, która ułamała się i przepłynęła z nią ocean. Niezależnie od tego, czy wyglądają na wydumane, czy nie - takie rzeczy naprawdę się zdarzają, tak samo jak jaszczurki na oceanicznych wyspach. Zazwyczaj nie znamy szczegółów podobnych wydarzeń, ponieważ nie są one na tyle częste, byśmy mieli jakąkolwiek szansę ich zaobserwowania. Chodzi mi jednak o to, że wystarczy, by coś podobnego zdarzyło się tylko raz. I tak samo jest z życiem na naszej planecie.

Co więcej, o ile wiemy, stało się tak być może tylko na jednej z miliarda miliardów planet w całym Wszechświecie. Dużo ludzi uważa oczywiście, że podobne wydarzenia zaszły również na wielu, wielu innych planetach, ale dowodami na to, że w ogóle się to stało - w ciągu od pół miliarda do jednego miliarda lat - dysponujemy tylko w odniesieniu do jednej. Owo szczęśliwe wydarzenie, któremu się przyglądamy, mogłoby więc być aż tak skrajnie nieprawdopodobne, że szanse na jego wystąpienie gdziekolwiek we Wszechświecie są równie małe jak jeden do miliarda miliardów miliardów w ciągu każdego roku. I jeśli rzeczywiście wydarzyło się to na którejkolwiek planecie spośród wszystkich planet Wszechświata, musi to być nasza planeta - skoro tutaj właśnie o tym mówimy.

Podejrzewam, że życie nie jest jednak aż tak rzadkie i jego powstanie nie było aż tak mało prawdopodobne. Są jednak i argumenty popierające przeciwny punkt widzenia. Jeden z nich - dość interesujący - brzmi: „A gdzie oni są?” Wyobraźmy sobie lud zamieszkujący tak odległe wyspy leżące w regionie południowego Pacyfiku, że w przekazywanej ustnie historii tego plemienia brak wzmianek, by kiedykolwiek ich czołno odkryło fragment zamieszkanego lądu. Starszyzna plemienna snuje spekulacje o prawdopodobieństwie istnienia życia gdzieś poza wyspą. Frakcja zwolenników poglądu „jesteśmy sami” ma w ręku silny argument - faktem jest, że wyspy tej nigdy nikt nie odwiedził. Nawet jeśli możliwości podróżnicze tego plemienia ograniczone są do zasięgu czołna, czy nie mogłyby istnieć inne plemiona, które osiągnęły poziom rozwoju umożliwiający im zbudowanie lepszych łodzi? Dlaczego nigdy tu nie dopłynęli?

Dotarliśmy już do wszystkich zamieszkanycch wysp naszej planety; dzisiaj chyba bardzo

niewielu ludzi na świecie nigdy nie widziało samolotu. Ale do naszej wyspy we Wszechświecie - Ziemi - nigdy dotąd, o ile nam wiadomo z wiarygodnych źródeł, nikt nie dotarł. Co więcej, od kilku dziesięcioleci dysponujemy aparaturą umożliwiającą odbiór komunikatów radiowych z bardzo dużych odległości. Fale radiowe mogą w ciągu jednego tysiąca lat dotrzeć do blisko miliona gwiazd znajdujących się w ich zasięgu. Tysiąc lat to krótki okres w skali astronomicznej i geologicznej. Jeśli cywilizacje techniczne są czymś powszechnym, część z nich powinna wysyłać fale radiowe o tysiące lat dłużej niż my. Czyż nie powinniśmy już usłyszeć jakichś ich szeptów?

Otóż nie jest to żaden argument przeciwko istnieniu jakiegokolwiek życia gdziekolwiek we Wszechświecie. Jest to tylko argument przeciwko tezie o istnieniu inteligentnego, pozostającego na wysokim stopniu rozwoju technicznego życia zaludniającego Wszechświat dostatecznie gęsto, by znaleźć się w zasięgu fal radiowych emitowanych z innych wysp życia. Jeśli życie, w momencie swojego powstania, może dać początek istotom rozumnym, ze sporym prawdopodobieństwem możemy uznać brak sygnałów kosmitów za dowód na to, że życie samo w sobie jest zdarzeniem rzadkim. Alternatywny, choć wątpliwy, wniosek tego rozumowania mógłby brzmieć: życie inteligentne powstaje dość często, ale zazwyczaj niedługo czasu dzieli je od momentu wynalezienia radia do momentu samozagłady.

Życie jest być może powszechne we Wszechświecie, mamy jednak pełne prawo sądzić, że jest ono niezwykle rzadkie. Wynika z tego, że wydarzenie, jakiego poszukujemy, kiedy zastanawiamy się nad powstaniem życia, może być bardzo, bardzo mało prawdopodobne i wcale nie takie, jakie moglibyśmy mieć nadzieję powtórzyć w warunkach laboratoryjnych, ani nawet nie takie, jakie chemik określiłby jako realne. Jest to ciekawy paradoks - obszernemu omówieniu go poświęciłem cały rozdział Ślepego zegarmistrza, zatytułowany „Początki życia a cuda”. Moglibyśmy intensywnie poszukiwać teorii o takiej oto wyjątkowej własności, że kiedy już ją sformułujemy, uznamy za skrajnie nieprawdopodobną! Oceniając tę sprawę z takiego punktu widzenia, możemy nawet być poważnie zaniepokojeni, jeśli jakiś chemik zdoła wypracować teorię powstania życia, którą - zgodnie ze zwykłymi standardami prawdopodobieństwa - uznamy za niewykluczoną. [Chodzi o to, że teoria biogenezy powinna być mało prawdopodobna. Gdyby wynikało z niej, że życie powstaje z dużym prawdopodobieństwem (w zwykłej skali), to teoria ta byłaby podejrzana - przeciw niej przemawiałby fakt obserwacyjny, że życie samorodnie łącznie się rzadko (przyp. red.).] Z drugiej strony, życie - jak się wydaje - powstało w ciągu pierwszego



pół miliarda lat z całych 4,5 miliarda lat istnienia Ziemi; jesteśmy tutaj przez osiem dziewiątych jej istnienia i moja intuicja ciągle mi mówi, że powstanie życia na jakiejś planecie nie jest aż tak nieoczekiwanym wydarzeniem.

Powstanie życia jest w każdym razie równoznaczne z szansą powstania samoreplikującego się bytu. Obecnie replikatorem mającym najwięcej do powiedzenia na Ziemi jest cząsteczka DNA, ale pierwotny replikator prawdopodobnie był czymś innym. Nie wiemy, co to było. W przeciwieństwie do DNA, cząsteczki pierwotnego replikatora nie mogły polegać na skomplikowanej maszynerii, by się powielać. I chociaż, w pewnym sensie, musiały być wersją instrukcji „Powiel mnie”, to język instrukcji nie miał wysoce sformalizowanego charakteru, jaki odczytać mogą tylko bardzo skomplikowane maszyny. Pierwotny replikator zapewne nie potrzebował wymyślnego rozszyfrowania, jakiego wymagają współczesne wirusy komputerowe i DNA. Samopowielanie było nieodłączną własnością jego struktury, tak jak - powiedzmy - twardość jest nieodłączną własnością diamentu, czymś, co nie musi być dekodowane czy wykonywane według instrukcji. Możemy być pewni, że pierwotne replikatory, w przeciwieństwie do ich następców - cząsteczek DNA - nie dysponowały skomplikowaną maszynerią dekodującą i wypełniającą instrukcje, ponieważ takie rzeczy pojawiają się na świecie dopiero po wielu ewoluujących pokoleniach. A ewolucja nie zacznie się, dopóki nie pojawią się replikatory. Aby uniknąć „Paragrafu 22 w historii powstania życia” (patrz niżej), pierwotne samopowielające się twory muszą być wystarczająco proste, by powstać w efekcie samorzutnych procesów chemicznych.

Kiedy już pierwsze samorodnie powstałe replikatory zaistnieją, może zacząć się toczyć ewolucja. W naturze replikatora leży generowanie kopii samego siebie, co oznacza pojawienie się populacji, która również podlega powielaniu. Populacja taka ma więc tendencję do wykładniczego wzrostu, dopóki nie spotka się z ograniczeniami z powodu wyczerpania się materiałów budulcowych. Problemem wzrostu wykładniczego (czyli wzrostu w postępie geometrycznym) zajmę się za chwilę. Na razie powiem krótko, że pojęcie to opisuje sytuację, w której populacja podwaja się, a nie powiększa o jakąś liczbę, w regularnych odstępach czasu. Oznacza to, że w bardzo krótkim czasie pojawia się bardzo duża populacja replikatorów, a więc i konkurencja między nimi. W naturze każdego procesu kopiowania leży jego niedoskonałość: zawsze pojawiają się w jego trakcie drobne błędy. Dlatego w populacji replikatorów znajdzie się wiele odmian. Niektóre mogą utracić możliwość samopowielania się i ta forma nie zachowa się

w populacji. Inne zyskują przypadkiem własność zapewniającą im szybsze i bardziej efektywne powielanie się. Staną się więc liczniejsze w populacji. A ponieważ wszystkie replikatory konkurują o te same materiały budulcowe, typowy rodzaj replikatora będzie systematycznie wypierany przez nową i przeciętnie lepszą odmianę. Lepszą pod jakim względem? Replikacji, oczywiście. Później udoskonalenia polegać będą również na takim wpływie na inne reakcje chemiczne, który ułatwia proces samopowielania się. W końcu wpływ ów stanie się wystarczająco skomplikowany, by obserwator - gdyby się jakiś tam znalazł (ale takiego, oczywiście, nie było, ponieważ potrzeba miliardów lat, by wyewoluowało cokolwiek, co można by określić takim mianem) - mógł opisać ten proces jako dekodowanie i wypełnianie instrukcji. A gdyby zapytać tego obserwatora, co mówią owe instrukcje, odpowiedziałby, że zawierają nakaz: „Powiel mnie”.

W historii tej pojawiają się niewątpliwe trudności. O jednej z nich już napomknąłem, mówiąc o „Paragrafie 22” w historii powstania życia. Im więcej podjednostek ma replikator, tym większe prawdopodobieństwo, że któraś z nich zostanie błędnie skopiowana, prowadząc do kompletnego uszkodzenia całości. Wynika z tego, że pierwotne replikatory musiały mieć bardzo niewiele podjednostek. Jednak cząsteczki składające się z mniejszej niż pewne minimum liczby podjednostek są z kolei zbyt proste, by mogły przeprowadzić swoją własną replikację. Aby pogodzić te dwie sprzeczności, próbowano niezwykle sprytnych sztuczek - z pewnym sukcesem, ale argumentacja ma zanadto matematyczny charakter, by rozwijać go w naszej książce.

Pierwotne maszyny replikujące - pierwsze roboty powielające - musiały być znacznie prostsze od bakterii, ale dzisiejsze bakterie są najprostszymi robotami TRIP, z jakimi mamy obecnie do czynienia (ryc. 9.3a). Prowadzą one życie na bardzo różne sposoby - pod względem chemicznym znają ich dużo więcej niż cała reszta świata żywych istot razem wzięta. Niektóre bakterie są bliżej spokrewnione z nami niż z innymi grupami bakterii. Dla jednych podstawowym źródłem energii jest siarka występująca w gorących źródłach, dla innych tlen jest śmiertelną trucizną, niektóre prowadzą procesy fermentacji, rozkładając cukier do alkoholu w warunkach beztlenowych, jeszcze inne korzystają z dwutlenku węgla i wodoru, produkując dla nas metan. Są też fotosyntetyzujące (wykorzystujące światło do produkcji substancji odżywczych) tak samo jak rośliny, a także fotosyntetyzujące w zupełnie inny niż rośliny sposób. W różnych grupach bakterii znaleźć można bardzo różne rodzaje systemów biochemicznych - podczas gdy reszta żywego świata: zwierzęta, rośliny, grzyby i niektóre bakterie są pod tym względem monotannie

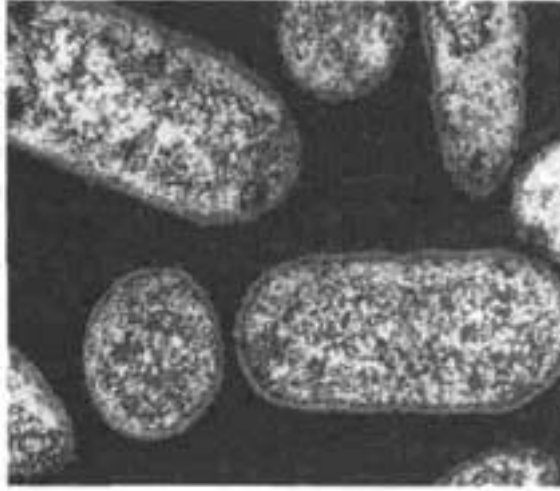
jednakowe.

Kilka różnych rodzajów bakterii przed przeszło miliardem lat połączyło się ze sobą i stworzyło tzw. komórkę eukariotyczną (ryc. 9.3b). Jest to nasz typ komórek, zawierających jądro komórkowe i inne skomplikowane elementy - niektóre powstały z wielokrotnie pofałdowanych błon komórkowych, jak mitochondria, o których wspominałem przy okazji ryciny 5.2. Obecnie uważa się, że komórki eukariotyczne powstały z kolonii bakterii. One same z kolei również tworzą kolonie. Toczek (*Volvox*) to współczesny, żyjący w koloniach pierwotniak (ryc. 9.3c). Niewykluczone jednak, że zjawiska podobnego rodzaju zachodziły przeszło miliard lat temu, gdy właściwe dla nas komórki zaczęły łączyć się w kolonie. Gromadzenie się komórek eukariotycznych odbywało się podobnie jak wcześniejsze łączenie bakterii i utworzenie przez nie komórki eukariotycznej, a nawet jeszcze wcześniejsze gromadzenie się genów i utworzenie z nich bakterii. Większe i gęściej upakowane zbiorowiska komórek eukariotycznych zwane są organizmami wielokomórkowymi. Na rycinie 9.3d pokazano jednego z mniejszych przedstawicieli takich stworzeń, niesporczaka. Organizmy wielokomórkowe również mają skłonność do łączenia się w kolonie, zachowujące się trochę tak jak jeden superorganizm (ryc. 9.3e).

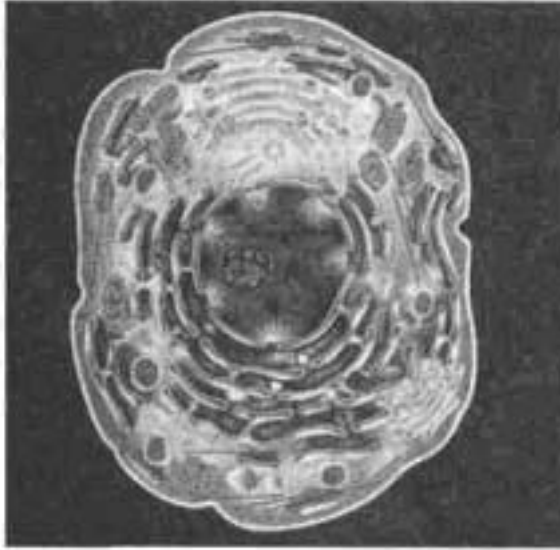
Powiedziałem, że słoń to wielka dygresja w programie typu „Powiel mnie”, ale równie dobrze mógłbym to powiedzieć o myszy i słowo „wielka” wcale nie byłoby przesadzone. Kolonia toczka liczy kilkaset komórek. Mysz to olbrzymi twór, zbudowany z około miliarda komórek. Słoń jest kolonią około trylionu ( $10^{15}$ ) komórek, a każda z nich to kolonia bakterii. Jeśli słoń jest robotem noszącym w sobie wszędzie projekt budowy swojego organizmu, to jest to wręcz niewyobrażalnie wielki robot. Jest on kolonią komórek, ale ponieważ komórki te zawierają kopie dokładnie takich samych instrukcji zapisanych w DNA, współpracują ze sobą, aby w końcu wytworzyć replikę właściwych sobie danych zapisanych w DNA.

Słoń nie jest oczywiście aż tak wielki, jeśli wziąć pod uwagę skalę absolutną. W porównaniu z gwiazdą jest maleństwem. Kiedy mówię, że jest duży, porównuję go do cząsteczek DNA, do których zachowania i rozpowszechniania służy. Jest duży w porównaniu z ulegającymi replikacji twórcami słońca, którzy podróżują po świecie w jego wnętrzu.

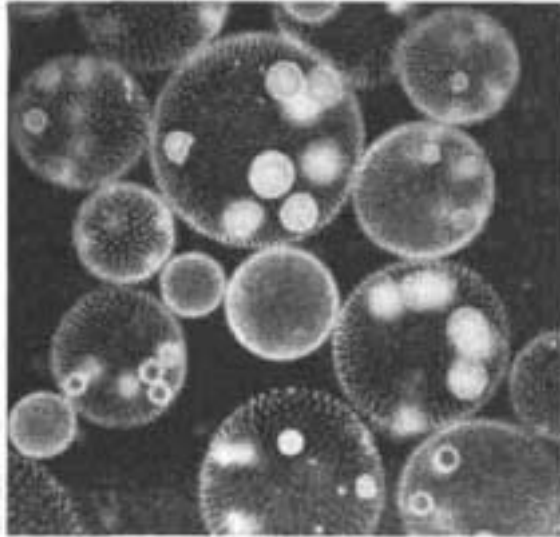
Aby uświadomić sobie te proporcje, wyobraźmy sobie, że jacyś inżynierowie mają zbudować gigantycznego mechanicznego robota, w którym mogliby udać się w podróż - coś na kształt konia trojańskiego z greckiej mitologii.



a



b



c



Ryc. 9.3 Rosnący stopień organizacji żywych form: (a) pojedyncze komórki bakteryjne; (b) zaawansowana (eukariotyczna) komórka posiadająca jądro, powstała w efekcie ewolucji z kolonii bakteryjnych; (c) toczek (*Volvox* sp.), kolonia jednakowych komórek eukariotycznych; (d) gęściej upakowane i liczniejsze kolonie zróżnicowanych komórek eukariotycznych: niesporczak - mikroskopijny stawonóg o czterech parach odnóży. Ludzkie ciało jest innym przykładem takiej kolonii - kolonii złożonej z kolonii, ponieważ każda z naszych komórek jest kolonią bakterii; (e) kolonia pojedynczych organizmów: rój pszczół miodnych - kolonia złożona

z kolonii złożonych z kolonii.

Ów mechaniczny koń ma mieć jednak taką wielkość, że jeden jego pasażer ma być pod względem wielkości odpowiednikiem jednej z cząsteczek DNA konia. Myślimy przy tym o prawdziwym koniu jako robocie zbudowanym przez geny, które w nim podróżują. Rzecz w tym, że gdybyśmy zbudowali sobie takiego konia-roboty, który byłby względem nas proporcjonalnie tak duży, jak duży jest koń w porównaniu z genami, które go stworzyły, to przerósłby Himalaje (ryc. 9.4). Prawdziwy, żywy koń składa się z trylionów komórek. Z małymi wyjątkami, w każdej z jego komórek znajduje się komplet genów, chociaż większość tych genów w każdym rodzaju komórek pozostaje uśpiona.

Prawdziwy, żywy organizm może być tak duży (w porównaniu z genami, które go zbudowały), ponieważ powstaje w efekcie zupełnie innych procesów niż maszyny wytwarzane przez człowieka, zupełnie inaczej, niż powstawałby ów mechaniczny koń, gdyby kiedykolwiek został skonstruowany.



Ryc. 9.4 Kort jest robotem przenoszącym DNA i bardzo w stosunku do DNA wielkim. Gdyby ludzie zbudowali konia trojańskiego, w którym mogliby podróżować, w podobnej skali pod względem naszej wielkości, to kort ten przewyższyłby Himalaje. Tę fantastyczną wizję namalowała moja matka, Jean Dawkins, na jeden z moich bożonarodzeniowych wykładów w Instytucie Królewskim.

Rozwój żywego organizmu odbywa się na zasadzie wzrostu wykładniczego. Lub inaczej mówiąc: żywe stworzenia rosną dzięki miejscowym procesom podwajania się.

Rozpoczynamy od jednej komórki, która jest bardzo mała. Czy też raczej ma wielkość bardzo stosowną względem genów, które ją zbudowały. Taka wielkość leży w zasięgu ich biochemicznych manipulacji. Ich wpływy sięgają każdego zakątka pojedynczej komórki i mogą nadać jej stosowne cechy. Najbardziej chyba uderzającą cechą komórki jest zdolność podziału na dwie potomne, przypominające mniej więcej ją samą. Będąc podobną do macierzystej, każda z komórek potomnych może również podzielić się na dwie, dając w rezultacie cztery komórki. Każda z tych czterech także może się podzielić, dając ich osiem i tak dalej. To jest właśnie wzrost wykładniczy lub miejscowe podwajanie się.

Osoby nie obeznane z matematyką zaskakuje potęgą wzrostu wykładniczego. Zgodnie z obietnicą poświęcę mu teraz nieco więcej czasu, ponieważ ma duże znaczenie. Można go przedstawiać na różne, bardzo obrazowe sposoby. Kiedy zegniesz kartkę papieru raz, otrzyma się kartkę o podwójnej grubości. Kiedy zegniesz ją ponownie, będzie miała poczwórną grubość. Po kolejnym zgięciu - stanie się grubym wałkiem o ośmiu warstwach papieru. Następne trzy zgięcia to właściwie wszystko, co da się zrobić, zanim papier stanie się zbyt sztywny, aby można go dalej składać: będzie miał wtedy sześćdziesiąt cztery warstwy. Załóżmy jednak, że mechaniczna sztywność nie jest żadną przeszkodą i zginamy go dalej, na przykład pięćdziesiąt razy. Jak gruby wówczas się stanie? Otóż stanie się wówczas tak gruby, że przebije ziemską atmosferę i sięgnie orbity Marsa.

W ten sam sposób, przez miejscowe podwajanie się, rośnie liczba komórek całego rozwijającego się organizmu i bardzo szybko osiąga astronomiczną wielkość. Płetwal błękitny zbudowany jest z około stu trylionów (10<sup>17</sup>) komórek. Na tym jednak polega potęga wzrostu wykładniczego, że wystarczy zaledwie pięćdziesiąt siedem pokoleń komórek, by powstał istny lewiatan. Mówiąc o pokoleniach komórek, mam na myśli ich podziały. Pamiętajmy, że liczba komórek wynosi kolejno: 1, 2, 4, 8, 16, 32 itd. Trzydzieści dwie komórki powstają więc po sześciu pokoleniach. Gdybyśmy dalej mnożyli wszystkie kolejne liczby przez dwa, po zaledwie pięćdziesięciu siedmiu pokoleniach uzyskalibyśmy sto trylionów - liczbę komórek płetwala błękitnego.

Taki sposób obliczania liczby pokoleń komórek nie ma jednak wiele wspólnego z

rzeczywistością, ponieważ jest to liczba minimalna. Wynika ona z przyjęcia, że w każdym pokoleniu dzielą się wszystkie komórki. Tymczasem wiele linii komórkowych wypada z tej gry wcześniej, kiedy tylko zakończą budowę określonej części ciała, na przykład wątroby. Inne natomiast dzielą się dalej. Płetwal błękitny w istocie składa się więc z pewnej liczby linii komórkowych o różnej długości, tworzących różne części jego ciała. Niektóre dzielą się więcej niż pięćdziesiąt siedem razy. Inne zatrzymują swoje podziały wcześniej. W praktyce istnieją tzw. komórki macierzyste, wydzielone subpopulacje komórek, których zadaniem jest tworzenie kopii takich komórek, jak one same.

Można w przybliżeniu obliczyć minimalną liczbę pokoleń komórek konieczną, w idealnych warunkach, by rozwinęło się zwierzę o określonej masie. Przyjmuje się, że duże zwierzęta nie mają wcale specjalnie dużych komórek, tylko więcej komórek takich jak u małych zwierząt. Proste obliczenia wskazują, że potrzeba minimum czterdziestu siedmiu pokoleń komórek, by rozwinął się organizm dorosłego człowieka i tylko około dziesięciu pokoleń więcej, by powstał płetwal błękitny. Liczby te są oczywiście zaniżone, z powodów, o których już wspominałem. Niemniej pozostaje faktem, że potęga wzrostu wykładniczego jest tak wielka, iż wystarczy nieznaczna zmiana w czasie, przez który ulega podziałom określona linia komórkowa, by wystąpiły dramatyczne różnice w ostatecznej wielkości powstałej grupy komórek. Czasami czynią to mutacje.

Budowanie tak kolosalnych organizmów - kolosalnych w porównaniu z budującymi i zamieszkującymi je cząsteczkami DNA - można określić mianem gigatechnologii. Gigatechnologia to sztuka tworzenia rzeczy co najmniej miliard razy większych od nas samych. Ludzcy inżynierowie nie mają w tej dziedzinie żadnego doświadczenia. Największe wehikuly, umożliwiające nam podróżowanie po świecie - statki oceaniczne - są niezbyt wielkie w porównaniu z ich budowniczymi; czas potrzebny na przejście ich wzdłuż i wszerz liczy się w minutach. Kiedy budujemy na przykład statek, nie pomaga nam budowanie wykładnicze. Możemy tylko zabrać się - liczną gromadą do pracy polegającej na łączeniu ze sobą nitami setek prefabrykowanych arkuszy stalowej blachy.

DNA budujący swój pojazd-robotę, w którym przemieszcza się po świecie, ma do dyspozycji wzrost wykładniczy. Oddaje on w ręce wyselekcjonowanych genów wielką potęgę. Oznacza to, że niewielka korekta pewnego szczegółu kontrolującego rozwój zarodkowy może mieć w rezultacie prawdziwie dramatyczny skutek. Mutacja, która każe pewnej linii komórkowej



kontynuować podziały choćby tylko jeden jedyny raz - przejść powiedzmy przez dwadzieścia pięć pokoleń, a nie dwadzieścia cztery - w zasadzie sprawia, że określona część ciała ma rozmiary dwukrotnie większe niż normalnie. Na tym samym - zmianie liczby pokoleń lub tempa podziałów komórkowych - może polegać działanie genów podczas rozwoju zarodkowego, powodujące zmianę kształtu jakiegoś fragmentu ciała. Ludzie współcześni mają dość duży podbródek w porównaniu z naszym dość niedawnym przodkiem *Homo erectus*. Wystarczyła do tego niewielka zmiana liczby podziałów komórkowych w określonym rejonie czaszki płodu.

Prawdziwie zastanawiającym zjawiskiem jest, że linie komórkowe przestają się dzielić, gdy powinny przestać, by wszystkie części naszego ciała pozostawały ze sobą we właściwych proporcjach. Zdarza się oczywiście niekiedy, że do zaniechania podziałów niestety wcale nie dochodzi. Mamy wówczas do czynienia z czymś, co nazywamy rakiem. Randolph Nesse i George Williams (w swojej znakomitej książce, której dali świetny tytuł *Darwinian Medicine* [Darwinowska medycyna], zastąpiony na nieszczęście przez wydawców w poszczególnych krajach różnymi nie dającymi się zapamiętać zamiennikami) zwracają uwagę na coś ważnego. Mówią, że zanim zaczniemy się zastanawiać, dlaczego chorujemy na raka, powinniśmy zadać sobie pytanie, dlaczego nie towarzyszy on nam przez cały czas.

Kto wie, być może ludzie kiedyś spróbują swoich sił w dziedzinie gigatechnologii. Teraz natomiast popularność zdobywa termin „nanotechnologia”. Tak jak „giga” znaczy miliard, tak „nano” oznacza jedną miliardową. Nanotechnologia to wytwarzanie przedmiotów miliard razy mniejszych od ich konstruktorów. Są ludzie - najbardziej liczący się wśród nich wcale nie należą do ruchu New Age ani do sekt religijnych - którzy twierdzą, że coś podobnego do sceny przedstawionej na rycinie 9.5 stanie się rzeczywistością w niezbyt odległej przyszłości.

Jeśli mają rację, to trudno sobie wyobrazić taką dziedzinę ludzkiego życia, która nie uległaby wówczas dramatycznej zmianie. Leczenie jest jednym z takich przykładów. Współcześni chirurdzy to niezwykle zręczni ludzie, posługujący się delikatnymi, precyzyjnymi narzędziami. Usunięcie soczewki oka zaćmionej przez kataraktę i zastąpienie jej sztuczną wymaga nadzwyczajnych umiejętności.



Ryc. 9.5 Nanotechnologiczna fantazja. Małe roboty wykorzystywane do naprawy czerwonych krwinek

Narzędzia wykorzystywane do takich zabiegów są bardzo małe. Ale w porównaniu ze skalą nanotechnologii mają wręcz olbrzymie rozmiary. Posłuchajmy, jak Erie Drexler - amerykański naukowiec, który objawił się ostatnio jako kapłan nanotechnologii - opisuje w nanoskali skalpele i szwy chirurgiczne:

Nowoczesne skalpele i materiały do zszywania są po prostu zbyt grube, by można za ich pomocą operować naczynia włosowate, komórki i cząsteczki. Wyobraźmy sobie, czym „delikatna” chirurgia jest dla komórki: ogromne ostrze opada w dół, tnąc na oślep cząsteczkową maszynę całego tłumy komórek i unicestwiając tysiące z nich. Następnie wielki taran przeciska się przez rozdarty tłum, ciągnąc za sobą kabel szeroki jak pociąg towarowy, by połączyć rozdzielone gromady komórek ze sobą. Dla komórki nawet najbardziej delikatna chirurgia, wykorzystująca najcieńsze lancety i wymagająca największej zręczności, to po prostu rzeźnia. Tylko ich zdolność do pogodzenia się z ofiarami, przegrupowania się i podjęcia nowych podziałów umożliwia proces leczenia.

Ów „taran” to oczywiście maleńka igła chirurgiczna, a „kabel szeroki jak pociąg towarowy” to najcieńsza chirurgiczna nić. Nanotechnologia daje nadzieję na skonstruowanie narzędzi chirurgicznych równie małych jak same komórki. Narzędzia takie będą zbyt drobne, by chirurg mógł je wziąć do ręki. Jeśli nitka ma dla komórki szerokość pociągu towarowego, to wyobraźmy sobie, jak wielkie są wobec niej palce człowieka. Musiałyby więc pojawić się także odpowiednie roboty, maleńkie automaty, przypominające nieco owe roboty przemysłowe, o których mówiliśmy wcześniej.

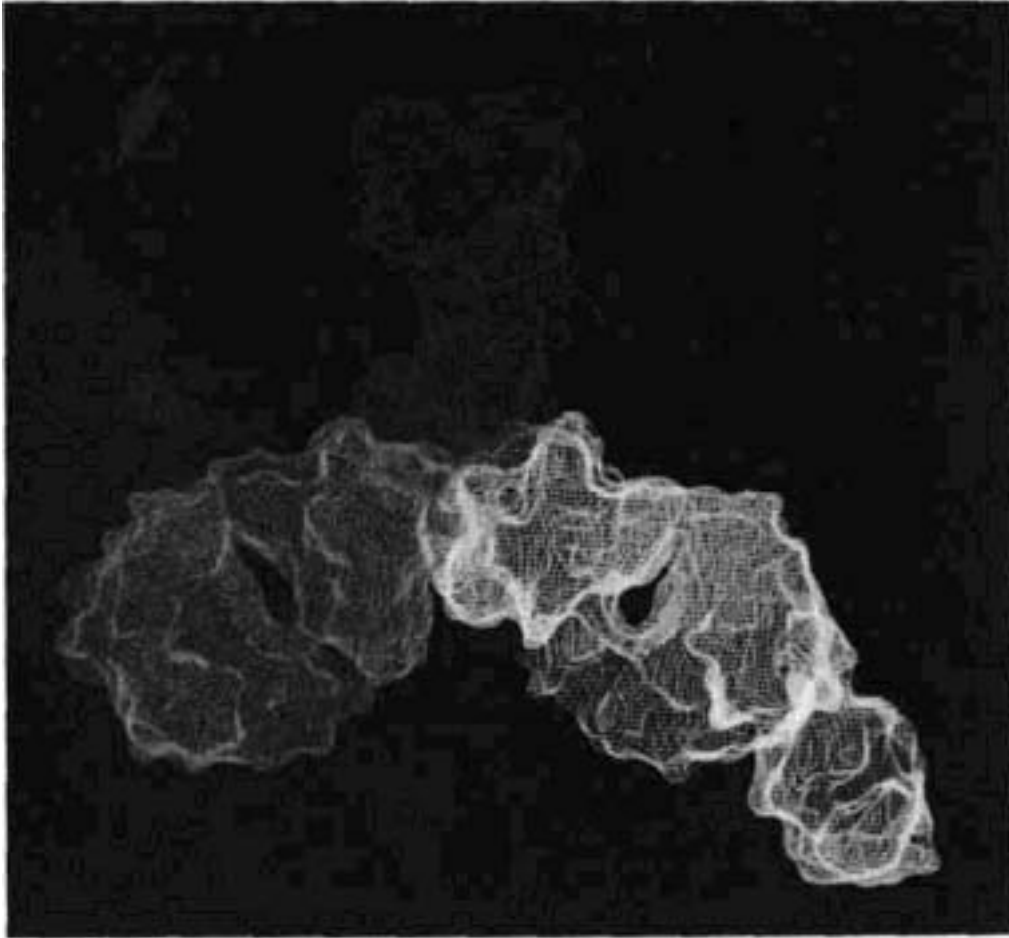
Robot tak niewielki mógłby świetnie sobie radzić z naprawą, powiedzmy, chorych czerwonych krwinek. Czerwonych krwinek jest jednak w naszym organizmie cała armia - około 30 miliardów. Jakżeż więc mały nanotechnologiczny robot mógłby sobie z nimi wszystkimi poradzić? Tak jest, nietrudno znaleźć odpowiedź: dzięki wzrostowi w postępie geometrycznym. Robot może spełnić pokładane w nim nadzieje, jeśli posłuży się taką samą metodą samonamnażania się, jaką stosują komórki krwi. Sklonuje siebie, ulegnie replikacji. Dzięki potędze wzrostu wykładniczego populacja robotów może osiągnąć liczbę kilku miliardów, dokładnie tak samo jak czerwone krwinki.

Nanotechnologia to ciągle odległa przyszłość, a może nawet nigdy nie zaistnieje naprawdę. I jeśli naukowcy uważają ten kierunek poszukiwań za obiecujący, to z następującego powodu. Świat DNA i cząsteczek białkowych rzeczywiście funkcjonuje w skali, którą, gdybyśmy chcieli ją określić, należałoby nazwać nanotechnologiczną. Kiedy lekarz podaje nam zastrzyk z przeciwciał (immunoglobulin) w przypadku jakiejś choroby zakaźnej, to wprowadza do krwiobiegu naturalne odpowiedniki narzędzi nanotechnologicznych. Każda cząsteczka immunoglobuliny to skomplikowany twór, którego działanie - jak wszystkich cząsteczek białkowych - zależy od jego kształtu (ryc. 9.6). Te maleńkie narzędzia medyczne mogą działać skutecznie tylko dzięki temu, że są ich miliony. Produkuje się je w masowych ilościach - klonuje - za pomocą metody wzrostu wykładniczego. Wykorzystuje się do tego techniki biologiczne: przeciwciała często uzyskuje się na przykład w końskiej krwi. Inne szczepionki pobudzają własne mechanizmy organizmu do klonowania przeciwciał podobnych do końskich immunoglobulin. Jest nadzieja, że narzędzia nanotechnologiczne, przypominające miniaturowe roboty przemysłowe, będą również mogły być klonowane dzięki specjalnie zaprojektowanym sztucznym technikom namnażania.

Nanotechnologia robi na nas dziwne wrażenie, trudno uwierzyć, by kiedykolwiek stała się

rzeczywistością. Świat maszyn dorównujących wielkością atomom wydaje się niepokojąco obcy, bardziej obcy niż życie na innych planetach opisywane w powieściach science-fiction. Być może jednak jest to nasza przyszłość. Szalenie to ekscytujące, trochę straszne i z całą pewnością bardzo nowe. Ale tak naprawdę nanotechnologia wcale nie jest nowa i obca, przeciwnie - jest stara. To my, wielkie obiekty, jesteśmy nowi i obcy. Powstaliśmy niemal przed chwilą (zaledwie kilkaset milionów lat temu) jako produkty gigatechnologii (giga z punktu widzenia naszych genów). Zasadniczo życie toczy się w nanoświecie bardzo niewielkich tworów (nano z naszego punktu widzenia), świecie cząsteczek białka, wytworzonych zgodnie z Instrukcjami zakodowanymi w cząsteczkach DNA i nadzorujących wzajemne oddziaływanie cząsteczek innych związków.

Nanotechnologia należy do przyszłości. Powróćmy do głównego przesłania tego i poprzedniego rozdziału. Geny słonia lub człowieka, podobnie jak geny wirusa, można uważać za program typu „Powiel mnie”. Geny wirusa to zakodowane instrukcje mówiące (jeśli są to akurat wirusy atakujące słonie): „Komórki słonia, powielcie mnie”. A geny słonia mówią: „Komórki słonia, współpracujcie ze sobą, by wytworzyć nowego słonia, który musi być tak zaprogramowany, by rósł i spowodował powstanie nowych słoni, zaprogramowanych tak, by mnie powielić”.



Ryc. 9.6 Nanotechnologia na co dzień: cząsteczka immunoglobuliny

Zasada jest ta sama. Niektóre programy typu „Powiel mnie” działają tylko w nieco bardziej pośredni i rozwlekły sposób. Wyłącznie pasożytnicze programy mogą sobie pozwolić na szybkość dzięki temu, że korzystają z gotowej maszyny wypełniającej ich polecenia. Geny słońca są nie tyle niepasożytniczymi programami, ile wzajemnie pasożytniczymi programami. Geny słońca są jak gigantyczna kolonia pomagających sobie nawzajem wirusów. Każdy gen słońca odgrywa nie większą rolę niż gen wirusa. Każdy ma do wypełnienia niewielką funkcję w wielkim wspólnym przedsięwzięciu, którym jest skonstruowanie maszynerii koniecznej dla każdego z nich do wypełnienia swojego programu. Każdy z nich kwitnie w towarzystwie pozostałych. Geny wirusa również kwitną w obecności całego zestawu współpracujących ze sobą genów słońca, ale niczego im w zamian nie dają. Gdyby dawały, nazwalibyśmy je z pewnością genami słońca, a nie genami wirusa. Innymi słowy, każdy organizm zawiera geny społecznie pożyteczne i społecznie nieużyteczne. Społecznie nieużyteczne nazywamy genami wirusowymi (i innymi rodzajami

Pasożytniczych genów). Społecznie użyteczne natomiast - genami słońca (człowieka, kangura, jawora itp.). Ale geny same w sobie, niezależnie od tego, czy są społecznie użyteczne, czy nie, to tylko instrukcje zapisane w języku DNA, i wszystkie one mówią, w taki czy inny sposób, uczciwie bądź nieuczciwie, krótko lub rozwlekle: „Powiel mnie”.

## ROZDZIAŁ 10

### „UKRYTY OGRÓD”

Przeszliśmy razem długą drogę i najwyższy czas powrócić do sprawy najtrudniejszej i najbardziej skomplikowanej ze wszystkich, które dotychczas omówiłem, czyli do problemu figi. Zacznijmy od oświadczenia, które być może zabrmi jak literacki wymysł, godny nieszczęsnego wykładowcy, nad którym znęcałem się w początkowych partiach tej książki. Figa to nie owoc. Figa to ogród pełen kwiatów, wyrócony na drugą stronę. Wygląda jak owoc. Smakuje jak owoc. Zajmuje niszę owoców w naszym wyobrazeniowym jadłospisie i w owych głębokich strukturach, którymi zajmują się antropolodzy. A jednak nie jest owocem; jest ukrytym, wiszącym ogrodem, jednym z prawdziwych cudów świata. Nie mam zamiaru zostawiać tego oświadczenia w zawieszeniu niczym porażonej własną głębią myśli, zdolnej dotrzeć tylko do przygotowanych odbiorców, wszystkich pozostałych wprawiając w zakłopotanie. Oto, co kryje się za moim twierdzeniem.

Ma ono korzenie ewolucyjne. Figi są potomkami, poprzez ciąg nieskończenie mało różniących się stadiów pośrednich, swoich przodków, którzy z wyglądu bardzo różnią się od współczesnych fig. Wyobraźmy sobie następujący film zrobiony techniką poklatkową. Pierwsza klatka to współczesna figa, zerwana właśnie z drzewa, przekrojona na pół, ułożona na kawałku papieru i sfotografowana. Klatka druga to podobna figa sprzed stu lat. I tak dalej, stulecie po stuleciu, figa po fidze, klatka po klatce, poprzez figę taką, jaką być może jadł Chrystus lub zerwał niewolnik Nabuchodonozora w wiszących ogrodach Babilonu, bądź tę z krainy Nod, „na wschód od Edenu”, a także figi, które osładzały krótkie i pozbawione słodczy żywoty *Homo erectus*. *Homo habilis* i małej Lucy z Afaru; z odległych czasów przed nastaniem rolnictwa, z czasów dzikich fig rosnących w lasach i jeszcze dawniej. Teraz wyświetlmy ten film i zobaczmy, jaką transformację przechodzi współczesna figa, cofając się ku swoim bardzo odległym przodkom. Jakie widzimy zmiany?

Niewątpliwie nasza figa będzie malała, ponieważ figi uprawne powiększały się z upływem stuleci - pierwsze dzikie figi były mniejsze i bardziej twarde. Są to jednak tylko zmiany dotyczące wyglądu, i choć mogą się wydać interesujące, już po kilku tysiącach lat naszej podróży wstecz zmiany te przestają zachodzić. Bardziej radykalne i zdumiewające przemiany zobaczymy, oglądając nasz film dalej, cofając się o miliony lat. „Owoc” ten będzie się otwierał. Maleńka,

niemal niewidoczna dziurka na końcu figi nieco się odmie, rozchyli i rozdziawi, aż wreszcie wcale nie będzie dziurką, ale kielichem. Przypatrzmy się uważnie wewnętrznej ściance tego kielicha, a zauważymy, że jest ona wysłana maleńkimi kwiatami. Początkowo kielich ten jest głęboki, po czym stopniowo - gdy będziemy przewijać film dalej - staje się coraz płytszy. Być może przechodzi przez płaskie stadium, przypominające kwiatostan słonecznika (słonecznik bowiem to również setki małych kwiatów upakowanych na jednym „klombie”). Kielich naszej figi, po przejściu przez stadium słonecznika, wywraca się na drugą stronę, aż kwiatki znajdą się na zewnątrz jak u morwy (figowce należą do rodziny morwowatych). Im dalej wstecz, po stadium przypominającym morwę, tym bardziej pojedyncze kwiatki rozdzielają się i tym łatwiej je od siebie odróżnić - trochę wtedy przypominają hiacynt (choć hiacynty nie są blisko spokrewnione z figowcami).

Czy nie jest nazbyt wymyślne, a nawet pretensjonalne nazywać jedną figę „ukrytym ogrodem”? Przecież hiacyntu czy morwy nie nazwalibyśmy raczej ogrodem otwartym. Mam dobry argument na swoją obronę i pobrzmiewają w nim nie tylko echa Pieśni nad pieśniami. Spójrzmy na ogród oczami owadów, które zapylają rosnące w nim kwiaty. Ogród to, w ludzkiej skali, populacja kwiatów pokrywająca wiele metrów kwadratowych. Owady zapylające figi są tak maleńkie, że całe wnętrze jednej figi może się im wydać prawdziwym ogrodem, choć niewielkim, powiedzmy: ogródkiem przy domu. Rosną w nim setki miniaturowych kwiatów, męskich i żeńskich, zbudowanych z drobniotkich elementów. Co więcej, figa to naprawdę zamknięty i w dużej mierze samowystarczalny świat dla mikroskopijnych przenosicieli pyłku.

Owady zajmujące się zapylaniem figowców - błonkówki, należące do rodziny *Agaonidae* z nadrodziny bleskotek - są tak małe, że bez szkła powiększającego trudno je wyraźnie dostrzec (ryc. 10.1). Prawie każdy gatunek figowca (a jest ich ponad 900) ma swój własny gatunek bleskotek, który towarzyszy mu przez cały czas ewolucji, od kiedy oba te gatunki oddzieliły się od swoich przodków. Bleskotka zależy całkowicie od figowca pod względem pokarmowym, a figowiec od bleskotki dokonującej jego zapylania. Jeden gatunek zginąłby natychmiast bez drugiego. Tylko samice tych owadów opuszczają swoją własną figę i przenoszą pyłek.





Ryc. 10.1 Wnętrze figi - widać samice i samce zapylających je bleskotek.

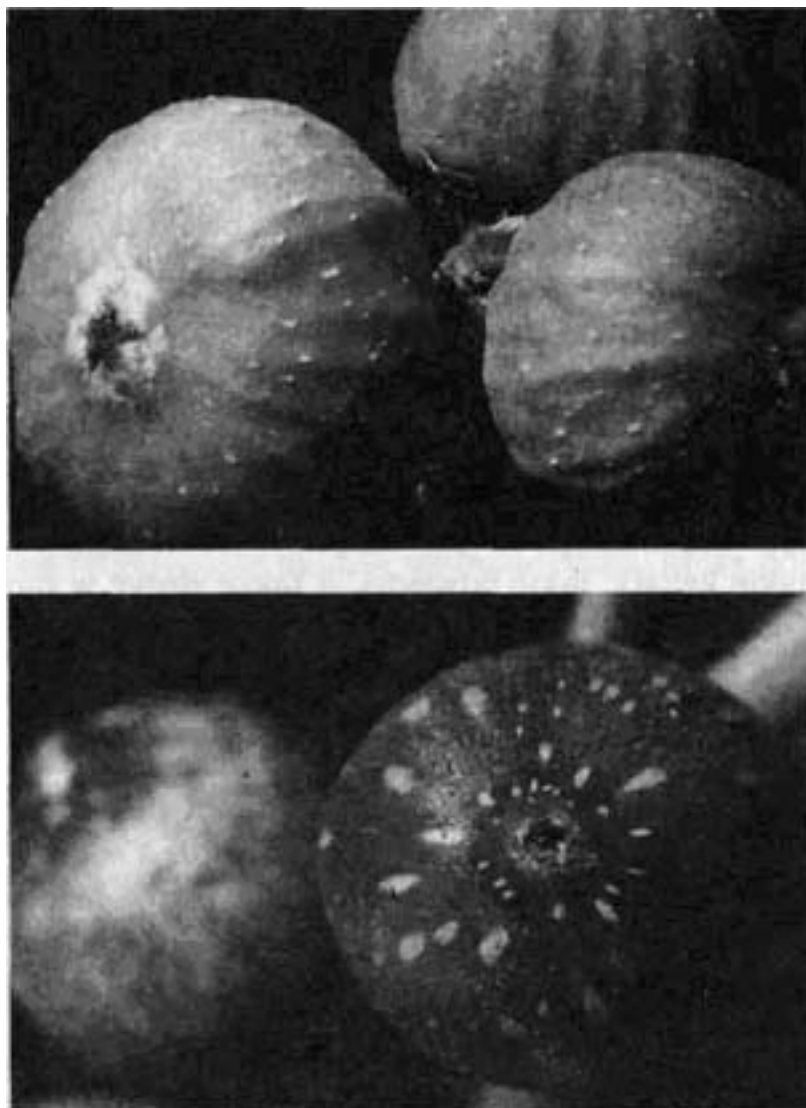
Wyglądają tak, jak można sobie wyobrazić bardzo zminiaturyzowaną błonkówkę. Samce natomiast nie mają skrzydeł, ponieważ wykluwają się i giną w ciemnym świecie jednej figi, i wręcz trudno uwierzyć, że są to w ogóle błonkówki, a co dopiero że należą do tego samego gatunku co samice.

Trudność opisanego życia tych bleskotek polega na tym, że toczy się ono cyklicznie i nie bardzo wiadomo, od którego momentu rozpocząć. Nic się jednak nie da poradzić, rozpocznę więc od wyklucia się z jaj ich larw, każdej zwiniętej w swoim małym pojemniku u podstawy jednego z kwiatów żeńskich głęboko w środku zamkniętego ogrodu. Larwa, żywiąc się rosnącym nasionem, powoli osiąga dojrzałość i przegryzając ściankę swojego kokonu, wydostaje się na wolność w ciemnym figowym wnętrzu. Dalsze losy samców i samic różnią się zasadniczo. Samce, wykluwające się nieco wcześniej, wędrują po fidge w poszukiwaniu pojemników z nie wyklutymi jeszcze samicami. Kiedy na taki natrafia, przegryzają się przez ściankę zalążni i kopulują z nie narodzonymi jeszcze dziewczycami. Następnie samice uwalniają się z miejsca narodzin i ruszają na spacer po miniaturowym wiszącym ogrodzie. Szczegóły zachodzących potem wydarzeń różnią się nieco w zależności od gatunku. Typowe natomiast jest poszukiwanie przez samice męskich kwiatów figowca, które zwykle znajdują się u wyjścia. Posługując się swymi znakomitymi, jak wykonanymi na zamówienie, szczoteczkami pyłkowymi

umiejscowionymi na przednich odnóżach, pilnie pracują w ciemnościach, systematycznie zgarniając pyłek do specjalnych kieszeni pyłkowych we wgłębieniach swoich tułowi.

Uderzające jest, że dokładają tak wielkich starań, by zebrać pyłek, i że mają specjalne pojemniki umożliwiające im wykonanie tego zadania. Większość dokonujących zapylenia owadów po prostu chcąc nie chcąc zostaje obsypana pyłkiem. Nie mają specjalnego aparatu do przenoszenia pyłku ani instynktu nakazującego im go zbierać. Pszczoły tak - mają koszyczki pyłkowe, które - pęczniejąc - stają się żółte lub brązowe od gromadzonego w nich pyłku. Zbierają go jednak po to, by karmić nim swoje larwy. Bleskotki nie przenoszą pyłku, aby go jeść. Zabierają go ze sobą wyłącznie w celu zapylenia figowców (które odwdzięczają się im za to w nieco bardziej pośredni sposób). Do całej tej sprawy najwyraźniej przyjaznej, współpracy figowców z zapylającymi ich kwiaty owadami jeszcze powrócę.

Uginając się pod ciężarem cennego pyłku, samice wylatują w świat. Sposób, w jaki wydostają się na zewnątrz figi, różni się u poszczególnych gatunków. Jedne wyczołgują się przez „ogrodową bramę” - niewielki otwór na szczycie figi (ryc. 10.2). U innych zadanie wycięcia w ścianie figi otworu, umożliwiającego samicom uwolnienie się, należy do samców, które czynią to zespołowo, w grupach liczących po kilkadziesiąt osobników.



Ryc. 10.2 Brama do ogrodu: figa z zewnątrz z widocznym wejściem do środka

Na tym rola samców się kończy, ale samice najważniejszy moment życia mają jeszcze przed sobą. Dostawszy się do nieznanego świata, poszukują, kierując się węchem, innych fig należących do właściwego gatunku. Figi muszą być zarazem w odpowiednim stadium rozwoju - kiedy dojrzałość osiągnęły już ich kwiaty żeńskie.

Odnalazłszy właściwą figę, samica lokalizuje niewielki otwór znajdujący się na jej szczycie i wpełza do ciemnego wnętrza. Wejście jest tak wąskie, że nieraz traci przy tym swoje skrzydła. Naukowcy badający otwory fig stwierdzili, że są one często zatkane powyrywaniem skrzydełkami, czułkami i innymi fragmentami ciała bleskotek. Dla figi korzyść z posiadania tak wąskiego wejścia polega na tym, że zapobiega to wtargnięciu do środka niepożądanych

pasożytów. Samicom natomiast taka pozbawiająca je skrzydeł „ścieżka zdrowia” pomaga pozbyć się bakterii i szkodliwych zanieczyszczeń. Z punktu widzenia bleskotki, nawet jeśli wyrywanie skrzydeł jest bolesne, to i tak nie będą jej już nigdy potrzebne, a nawet jeśli zostaną, będą przeszkadzać w ciasnocie zamkniętego ogrodu. Przypomnijmy sobie że królowe mrówek często obrywają sobie skrzydła po odbyciu lotu godowego i osiągnięciu stadium, w którym przeszkadzałyby im pod ziemią.

Wewnątrz figi samica bleskotki wypełnia swoją najważniejszą misję - a ma ona podwójny charakter. Musi zapylić wszystkie żeńskie kwiaty, jakie odwiedzi, a także złożyć w nich jaja. Ale nie we wszystkich. Gdyby złożyła jaja we wszystkich kwiatkach, figa ta nie spełniłaby swej roli organu umożliwiającego rozmnażanie figowca - wszystkie jej nasiona zostałyby bowiem zjedzone przez larwy bleskotek. Czy oszczędzenie kilku kwiatów świadczy o altruistycznym samoograniczeniu się owada? Pytanie to wymaga poważnego zastanowienia. Można sobie wyobrazić sposoby, dopuszczalne przez darwinizm, pojawienia się w rezultacie ewolucji pewnych samoograniczeń u tych bleskotek. Jednak przynajmniej kilka gatunków figowców dba o własne interesy, określając liczbę kwiatów, w których bleskotkom wolno złożyć jaja. Posługują się bardzo sprytnymi metodami - odejdę na chwilę od relacjonowania normalnego cyklu rozwojowego, by opisać dwie z nich.

W figach niektórych gatunków występują dwa rodzaje kwiatów żeńskich - krótkoszyjkowe i długoszyjkowe. (Szyjka słupka to cienki wyrostek w centralnej części wszystkich kwiatów żeńskich). Bleskotki próbują składać jaja w kwiatkach obu rodzajów, ale ich pokładełka są zbyt krótkie, by dosięgły podstawy kwiatu długoszyjkowego, samice rezygnują więc z tego zamiaru i szukają innego miejsca. Dopiero kiedy natrafią na kwiat krótkoszyjkowy, pokładełka mogą dotknąć dna - i owady składają po jednym jajku. U innych gatunków, u których kwiaty żeńskie nie dzielą się na długo- i krótkoszyjkowe, sposoby utrzymania w ryzach bleskotek są bardziej drakońskie. W każdym razie tak uważa W. D. Hamilton, obecnie mój kolega z Oksfordu, jeden z najważniejszych spadkobierców myśli Darwina w naszych czasach. Hamilton twierdzi, powołując się na swoje obserwacje z Brazylii, że figowce mogą rozpoznać moment, w którym figa została przesadnie wykorzystana przez bleskotki. Figa, w której owady złożyły jaja we wszystkich kwiatkach żeńskich, są z punktu widzenia drzewa bezużyteczne. Jest to nazbyt egoistyczne zachowanie. Bleskotki w ten sposób wręcz zarzynają kurę znoszącą złote jajka (czy też, zdaniem Hamiltona, doprowadzają ją do samobójstwa). Figowiec zrzuci takie figi na ziemię,

gdzie wszystkie znajdujące się w niej jaja bleskotek giną bezpowrotnie. Chciałoby się uznać to za zemstę, i istnieją uzasadnione teoretycznie modele matematyczne, które pozwalają nam obronić się tu przed zarzutem antropomorfizacji. Jednak drzewo najpewniej nie tyle się mści, ile minimalizuje swoje straty. Doprowadzenie fig do dojrzałości pociąga za sobą określone koszty i jeśli przeznaczy się je na figi zrujnowane przez chciwe owady - pójdą na marne. Nota bene, podobny język, rodem z gier strategicznych, w którym nie obawiamy się używać takich terminów jak „zemsta”, czy „utrzymanie w ryzach”, będzie jeszcze wielokrotnie pojawiał się w tym rozdziale. Jest on uprawniony, jeśli stosuje się go zasadnie - co często oznaczać będzie odwoływanie się do matematycznej teorii gier.

Powróćmy do normalnego cyklu rozwojowego bleskotek. Nasza samica właśnie prześlizgnęła się jak Alicja przez maleńkie drzwiczki, aby już nigdy nie zobaczyć otwartej przestrzeni, i przymierza się do uwolnienia się od pyłku zebranego w poprzedniej fidze tuż po swoim urodzeniu. Jej zachowanie nosi znamiona zamierzonego. Samica nie tylko nie pozbywa się pyłku w sposób przypadkowy, strząsając go ze swego ciała, jak to się dzieje z większością zapylających różne kwiaty owadów. Samice przynajmniej niektórych gatunków bleskotek pozbawiają się swojego brzemia z taką samą starannością i uwagą, z jaką poprzednio je sobie przygotowywały. Ponownie wykorzystują do tego specjalne szczotki znajdujące się na ich przednich odnóżach: ze swoich jak zrobionych na zamówienie kieszeni systematycznie wygarniają pyłek na owe szczotki i zdecydowanymi ruchami strącają go na gotowe do przyjęcia pyłku znamiona słupków kwiatów żeńskich.

Nasza opowieść o cyklu życiowym tych owadów dobiega końca. Ich życie też dobiega tu kresu. Dopelzają do jakiejś wilgotnej szczeliny owego zamkniętego ogrodu i giną. Ginią, ale pozostawiają po sobie megabity informacji genetycznej wiernie powtórzonej w ich jajach, i cykl rozpoczyna się na nowo.

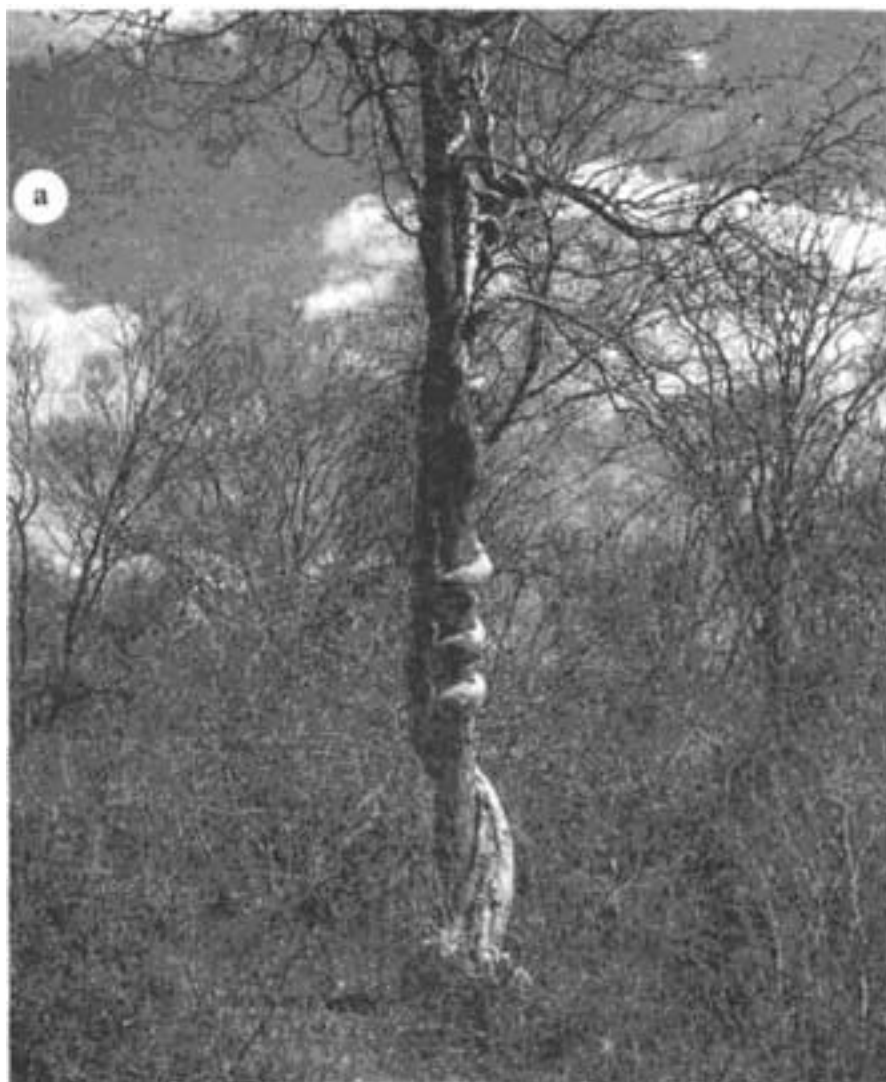
Historia, którą właśnie opowiedziałem, z pominięciem pewnych szczegółów, jakie naświetlę za chwilę, jest u większości gatunków figowców bardzo podobna. Ficus, rodzaj, do którego należą figowce, jest jednym z najliczniejszych w królestwie roślin. Jest on także bardzo zróżnicowany. Oprócz dwóch jadalnych (dla nas) gatunków (figa i sykomor), do rodzaju tego należy także drzewo gumowe, „święte” drzewo banian, drzewo Bo *Ficus religiosa*, pod którym kontemplował Budda, różne krzewy i pnącza, a także złowrogie figowce „dusicieli” żyjące w strefie tropikalnej. Historia figowców „dusicieli” warta jest opowiedzenia. Dno lasu

równikowego to ciemne miejsce, cierpiące na brak światła słonecznego. Celem każdego rosnącego tu drzewa jest dostać się do otwartego nieba i słońca. Pnie drzew są dla liści jak windy, jak urządzenia umożliwiające wyniesienie baterii słonecznych - zielonych liści - z cienia innych drzew-rywali. Większość drzew skazana jest na śmierć już jako siewki. Tylko gdy dojrzałe drzewo w najbliższym sąsiedztwie zwali się, pokonane przez porywy wiatru i czas, siewka zyskuje swoją szansę. W każdym miejscu lasu takie szczęśliwe zdarzenie może nastąpić zaledwie raz na sto lat. Wybucho wtedy prawdziwa pogoń za słońcem. Wszystkie rosnące tam siewki najróżniejszych gatunków roślin rozpoczynają szaleńczy wyścig, którego zwycięzca wypełni drogocenną lukę w sklepieniu lasu.

Figowce „dusiciela” odkryły jednak okrutną drogę na skróty - opowieść o nich może zaćmić przypowieść o wężu z rajskiego ogrodu (ryc. 10.3). Zamiast czekać, aż któreś z drzew umrze, same doprowadzają do takiego wydarzenia. Figowiec „dusiciel” rozpoczyna żywot jako alpinista. Owija się wokół drzewa jakiegoś innego gatunku i rośnie jak powój czy pnąca róża. W przeciwieństwie do powoju jednak wąsy czepne takiego figowca stają się z czasem coraz grubsze i silniejsze. Bezlitośnie wzmacniają swój uścisk wokół nieszczęsnego drzewa żywiciela, uniemożliwiając mu rośnięcie i powodując w końcu rodzaj botanicznego zaduszenia na śmierć. W tym czasie figowiec osiąga już odpowiednią wysokość, by bez trudu wygrać wyścig o plamę słońca zwolnioną przez unicestwione drzewo. Banian to również dusiciel, o pewnej bardzo interesującej właściwości. Gdy rozprawi się już ze swoim gospodarzem, wypuszcza korzenie powietrzne. Kiedy dostaną się one do gruntu, pełnią funkcję normalnych korzeni, absorbujących składniki odżywcze, ale nad powierzchnią ziemi służą jako dodatkowe pnie. Pojedyncze drzewo staje się więc całym lasem, o średnicy sięgającej nawet 300 metrów, pod którym może się schronić cały średniej wielkości bazar indyjski.

Opowiadam o figowcach i figach częściowo po to, by udowodnić, że fakty ich dotyczące są co najmniej równie zajmujące jak to, do czego udało się dotrzeć w literaturze i mitologii mojemu wykładowcy z rozdziału pierwszego, a także by zilustrować naukowy sposób zmagania się z różnymi problemami. Może będzie to miało zbawienny wpływ na naszego literaturoznawcę. Wiedza o faktach, które właśnie pokrótce omówiłem, to owoc długich lat żmudnej i często niezwykle pomysłowej pracy wielu ludzi - pracy, która zasługuje na miano „naukowej” nie ze względu na skomplikowaną czy kosztowną aparaturę, ale dlatego, że podlega pewnej dyscyplinie rozumowania. Rozszyfrowanie mechanizmu zapylania figowców przez błęskotki polegało w

dużej mierze na rozkrawaniu fig i zaglądaniu do środka. Sformułowanie „zaglądanie do środka” nie oddaje jednak istoty tych badań. Nie było to bowiem bierne gapienie się, ale starannie zaplanowane sesje zbierania danych, przynoszące liczby, służące następnie jako podstawa do obliczeń. Nie wystarczy zerwać figę i przekroić ją na pół. Trzeba systematycznie zbierać próbki z bardzo wielu różnych drzew, z określonej wysokości i w określonych porach roku. Nie polega to na zwykłym wpatrywaniu się w bleskotki wierzące się w środku - trzeba je rozpoznać, sfotografować i zrobić ich dokładny rysunek, a następnie policzyć, ile ich jest, i zmierzyć ich wielkość.





Ryc. 10.3 (a) Figowiec „dusiciel”; (b) drzewo baobabu obrośnięte przez figowca „dusiciela”

Należy też określić gatunek, płeć, wiek i lokalizację we wnętrzu figi, a wreszcie wysiać wybrane okazy do odpowiednich muzeów w celu szczegółowego oznaczenia, zgodnie z międzynarodowymi standardami. Pomiarów tych jednak nie dokonuje się dla nich samych. Służą one jako podstawa do sprawdzenia postawionych hipotez. A kiedy sprawdza się, czy uzyskane dane zgodne są z oczekiwaniami sformułowanymi na podstawie przyjętej hipotezy, warto pamiętać, jak bardzo prawdopodobne jest, że wyniki są wyłącznie efektem przypadku i nie mają



żadnego rzeczywistego znaczenia.

Powróćmy jednak do samych bleskotek. Mówiłem, że u wielu ich gatunków samce pomagają samicom wydostać się z figi, wydłubując w jej ścianie otwór. Dlaczego? Dlaczego jakiś samiec bleskotki, kiedy jego towarzysze zabierają się do pracy, nie usiądzie sobie z boku i nie pozwoli im dokonać dzieła? Jest to, w skali mikrokosmosu, zagadka, która od zawsze intryguje biologów: zagadka altruizmu. Dodatkowym problemem jest kłopot z uświadomieniem tej kwestii nie-biologom. Zdrowy rozsądek zwykle nie dostrzega tu żadnej zagadki. Biologowie muszą więc, zanim przystąpią do wystawiania pod niebiosa zmyślności jakiegoś rozwiązania, najpierw przekonać słuchaczy, że w ogóle kiedykolwiek była tu jakaś zagadka. W konkretnym przykładzie naszych bleskotek zagadka jest następująca. Samiec, który usiadłby sobie z boku i pozwolił, by jego koledzy sami zrobili otwór w ścianie figi, mógłby całą swoją energię przeznaczyć na kopulowanie z samicami, wiedząc, że nie musi się oszczędzać. Jeśli inne czynniki pozostałyby nie zmienione, wówczas geny decydujące o wymigiwaniu się od pracy rozprzestrzeniłyby się kosztem genów decydujących o wspólnym wykonywaniu otworu. Sformułowanie, że geny X rozprzestrzeniają się kosztem Y, jest równoznaczne z powiedzeniem, że Y zejda ze sceny i zostaną zastąpione przez X. Oczywiście konsekwencją takiego stanu rzeczy będzie brak jakiegokolwiek dziury, a na tym ucierpią wszystkie samce. Ale to nie dlatego samce będą pracować. Byłoby tak, gdyby bleskotki miały ludzką zdolność przewidywania wydarzeń, ale - zakładając, że taką nie dysponują - dobór naturalny zawsze faworyzuje szybkie doraźne korzyści. Jeśli cała reszta samców draży dziurę w ścianie figi, to bezpośrednio korzyści odnosi ten, który trzyma się z boku i oszczędza całą swoją energię. Kopanie powinno więc zaniknąć z populacji, usunięte przez dobór naturalny. Fakt, że tak się nie dzieje, stawia nas w obliczu zagadki. Na szczęście wiemy, jak w ogólnych zarysach wygląda jej rozwiązanie.

Częściowo zachowanie takie może wynikać z pokrewieństwa: jest bardzo prawdopodobne, że wszystkie samce w jednej figie są braćmi. Bracia zwykle mają kopie tych samych genów. Samiec bleskotki, który pomaga w drażeniu dziury, przyczynia się do uwolnienia samic, z którymi sam kopulował, ale także i tych, z którymi kopulowali jego bracia. Kopie genów, które sprzyjają wspólnej pracy, wydostaną się przez otwór, podróżując w ciałach wszystkich tych samic. Dlatego właśnie geny te utrzymują się na świecie i jest to dobre wytłumaczenie, dlaczego takie zachowanie samców nie zanika.

Pokrewieństwo to zapewne jednak tylko część wyjaśnienia. Nie powinienem tego mówić,

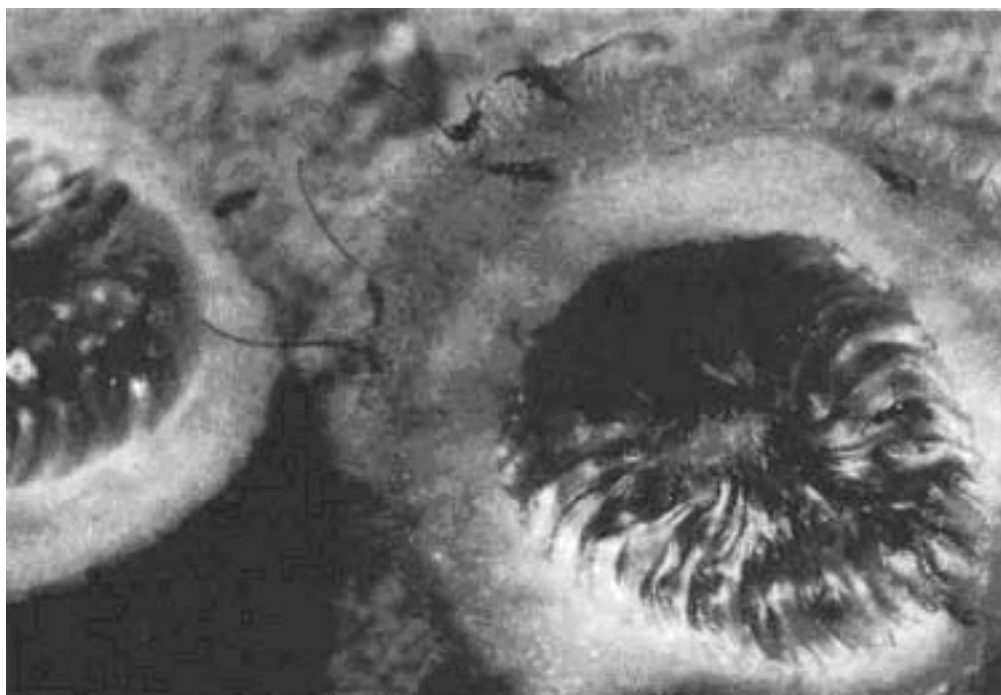
ale jest taki element rozgrywania gier, który nie ma żadnego związku z więzami braterstwa i dotyczy współdziałania bleskotek z figowcami. Cała historia figowców i zapylających je owadów trąci bazarowymi targami i pełna jest wzajemnych zdrad oraz pokus niesolidności, za którą jednak grozi nieświadomy odwet. Mieliśmy tego próbkę przy okazji omawiania hipotezy Hamiltona o nadmiernie wykorzystanych figowcach pozbywających się swoich fig. Jak zwykle dodaję tradycyjne zastrzeżenie, że wszystko dzieje się nieświadomie. Wydaje się to oczywiste, gdy mowa o figach, bo nikt przy zdrowych zmysłach nie sądzi, że rośliny posiadają świadomość. Bleskotki może ją mają, a może nie - przyjęliśmy dla potrzeb tego rozdziału rozpatrywać strategię tych owadów w takich samych kategoriach, co strategię niewątpliwie nieświadomych drzew.

Ukryty ogród jest rajem utrzymywanym dla potrzeb maleńkich owadów i wcale nie zaskakuje, że poza bleskotkami, których pyłkowe usługi zapewniają jego istnienie, kłębi się w nim bogata lilipucia fauna. Mnóstwo tu mikroskopijnych chrząszczy, ciem i larw much, a także roztoczy i niewielkich nicieni. Są również drapieżcy czatujący u jego wrót, by skorzystać z bogactwa obecnego tu życia (ryc. 10.4).

Żyjące w figach miniaturowe bleskotki należą nie tylko do grupy zajmującej się przenoszeniem pyłku, znajdują się tu również pieczeniarze, odlegli krewni owadów naprawdę zajmujących się zapylaniem i na nich pasożytniczy. Zamiast wnikać do figi przez otwór znajdujący się na jej szczycie, owe pasożytnicze owady dostają się do niej w postaci jaja wstrzykniętego poprzez jej ściankę czymś, co przypomina niezwykle długą igłę do zastrzyków, a co jest osobliwie wykształconym pokładelkiem ich matek (ryc. 10.5).

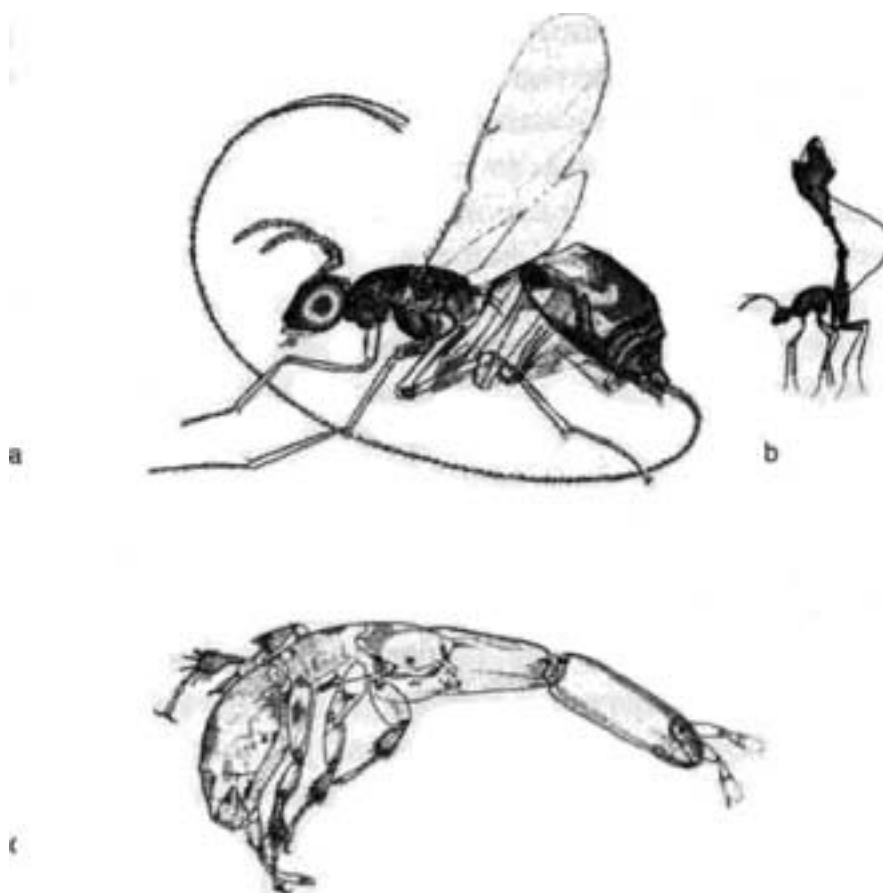


Ryc. 10.4 Niebezpieczeństwa związane z byciem bleskotką. Mrówka czatująca przy bramie do ukrytego ogrodu na pojawienie się którejś z nich.



Ryc. 10.5 Przekięta figa: widać na niej pasożytnicze błonkótki wymachujące w powietrzu swoimi „urządzeniami wiertniczymi”.

Znalazłszy się głęboko we wnętrzu figi, końcówka takiej strzykawki wyszukuje maleńkie kwiaty zawierające jaja złożone przez bleskotkę zajmującą się przenoszeniem pyłku. Samica pasożytniczej bleskotki wygląda i funkcjonuje jak urządzenie wiertnicze, a dziura, jaką wywierca w ścianie figi, jest - w jej skali - porównywalna ze studnią o głębokości 30 metrów. Samce ich często nie mają skrzydeł, tak samo jak samce przenoszących pyłek bleskotek (ryc. 10.6). Ukoronowaniem tej opowieści są pasożyty drugiego rzędu - błonkówki, które czatują po tej samej stronie, po której robi swój otwór samica zaopatrzona w pokładełko przypominające urządzenie wiertnicze. Kiedy tylko je wyjmie, samica superpasożyta wkłada swoje, dużo skromniejsze, pokładełko do otworu i składa w nim własne jajo.



Ryc. 10.6 Bleskotki-pieczeniarze: pasożytnicza błonkówka *Apocrypta perplexa* nie przenosi pyłku, ale wykorzystuje figi: (a) samica; (b) pomniejszony widok samicy w pozycji „wiertniczej”; (c) bezskrzydły samiec wcale nie przypominający błonkówki.

Podobnie jak autentyczne bleskotki, tak i osobniki różnych gatunków bleskotek-pieczeniarzy toczą ze sobą skomplikowane gry strategiczne. Badał to ten sam W. D. Hamilton,

pracujący w Brazylii, ze swoją żoną Christine. W przeciwieństwie do gatunków zajmujących się zapylaniem, samce gatunków pasożytniczych często mają takie same skrzydła jak samice. U niektórych gatunków wszystkie samce są uskrzydłone, u innych - wszystkie pozbawione są skrzydeł, a u jeszcze innych - są samce ze skrzydłami i bez nich. Bezskrzydłe, podobnie jak samce gatunków zajmujących się zapylaniem, nigdy nie opuszczają figi, w której przyszły na świat - tam walczą, kopulują i giną. Skrzydlate natomiast tak jak samice wylatują ze swojej figi i kopulują z każdą samicą, z którą jeszcze żaden samiec nie kopulował. Są więc dwa alternatywne sposoby bycia samcem, i u niektórych gatunków spotkać można oba. Ciekawe, że najrzadsze gatunki zwykle są uskrzydłone, a najbardziej pospolite - najczęściej bezskrzydłe. Ma to sens, ponieważ samiec najbardziej rozpowszechnionego gatunku ma dużą szansę, że natrafi na swoją samicę we własnej fidze. Samiec gatunku rzadkiego natomiast może się okazać jedynym jego przedstawicielem w całym zamkniętym ogrodzie. Pozostaje mu więc tylko wylecieć na poszukiwanie partnerki. I rzeczywiście, Hamilton stwierdził, że uskrzydłone samce odmawiają kopulacji, dopóki nie opuszczą figi, w której się wylęgły.

Ze strategicznego punktu widzenia interesują nas przede wszystkim gatunki, w których występują oba typy samców. To trochę tak jak posiadanie trzeciej płci. Faktycznie samce ze skrzydłami dużo bardziej przypominają samice niż bezskrzydłe samce. Przyglądając się zarówno samicom, jak i uskrzydłonym samcom, można uwierzyć, że są to prawdziwe błonkówki, chociaż bardzo małe. Bezskrzydłe samce jednak w niczym ich nie przypominają. Wiele z nich ma okrutne, cęgowate żuwaczki, upodabniające je raczej do małych, poruszających się tyłem skorków. Szczęk tych, jak się wydaje, używają jedynie w walce - szarpiąc i tnąc na kawałki inne samce, na które natykają się, przemierzając wzdłuż i wszerz swój ciemny, wilgotny i cichy ogród, będący ich jedynym światem. Opis tych wydarzeń, pióra profesora Hamiltona, trudno zapomnieć:

Od razu widać, że walka jest zajadła i ostrożna - tchórzliwie jednak zrezygnujemy z tych określeń, gdy przyjdzie nam do głowy myśl, że niezbyt pasują do sytuacji, która da się porównać jedynie do grozy panującej w ciemnym pomieszczeniu pełnym przepychających się ludzi, między którymi pozostaje, czy też czyha przyczajony w szafach lub zakamarkach otwierających się na każdą stronę, tuzin maniakałnych morderców uzbrojonych w wielkie noże. Jedno ugryzienie wystarczy, by zadać śmierć. Duży samiec *Idarnes* z łatwością przepoławia drugiego,

choć najczęściej wystarczy niewielka rana, by pokonać wroga. Paraliż następuje po drobnym zranieniu tak często i szybko, że wygląda to na użycie trucizny [...] Kiedy pierwsza i druga próba unieszkodliwienia przeciwnika nie przynosi rezultatu, jeden z samców - osłabiony zapewne utratą [odnóży] lub w inny sposób czując się pokonany, podejmuje próbę ucieczki i szuka schronienia (...) Z tego miejsca może atakować odnóży zwycięzcy lub innego przechodzącego obok samca, nie narażając się na większe niebezpieczeństwo (...) Owocowanie dorodnego figowca pociąga za sobą prawdopodobnie miliony istnień poległych w walce.

Występowanie dwóch typów samców w obrębie jednego gatunku nie jest czymś wyjątkowym w królestwie zwierząt, w żadnym innym jednak różnice między nimi nie są tak wyraźne jak u pasożytniczych bleskotek. Zdarzają się takie samce wśród jeleni, zwane bezrogimi, którym nie wyrasta poroże, ale - jak się wydaje - wcale nieźle sobie radzą, sądząc po liczbie potomstwa, w porównaniu z rywalami rogaczami. Teoretycy sądzą, że wchodzi tu w grę dwie możliwości. Jedna z hipotez została nazwana „dobrą miną do złej gry”. Ma ona zastosowanie prawdopodobnie u pszczoł samotnic *Centris pallida*. Samce ich podzielono na dwa typy: „patrowce” i „zawisaki”. Patrowce są duże. Aktywnie wyszukują samice, które jeszcze nie opuściły swoich podziemnych żłobków, przedostają się do nich i odbywają kopulację.

Zawisaki są małe. Nie podejmują kopania, ale wiszą w powietrzu, czekając na pojawienie się nielicznych latających samic niezalezionych pod ziemią przez patrowce. Dane dowodzą, że patrowce radzą sobie lepiej niż zawisaki, ale jeśli jest się małym i ma się niewielkie szanse na sukces w roli patrowca, wówczas najlepsze, co można zrobić, to wyczekiwać okazji, wisząc w powietrzu. Jak zwykle jest to genetyczny, a nie świadomy wybór.

Drugą hipotezę mówiącą o tym, w jaki sposób dwa typy samców mogą współistnieć w ramach jednego gatunku, nazwano hipotezą stabilnej równowagi. Wydaje się, że można ją zastosować do naszych pasożytniczych bleskotek. Zasada się na koncepcji, że oba typy samców radzą sobie równie dobrze, gdy w populacji występują w określonej, zrównoważonej proporcji. Proporcję tę natomiast utrzymuje następujący mechanizm. Kiedy samiec należy do rzadkiego typu, daje sobie dobrze radę, przede wszystkim dlatego, że jest rzadki. Ma więc coraz liczniejsze potomstwo, co oznacza, że osobniki tego typu stają się coraz mniej rzadkie. Jeśli odniosą prawdziwy sukces i staną się powszechne, odmienny rodzaj zyska na tym, że stanie się stosunkowo rzadki) i dzięki temu osobników tego typu będzie coraz więcej. Proporcja ta reguluje

się więc sama na zasadzie termostatu. Mówię o tym tak, jakby dochodziło do jakichś wielkich skoków, ale tak wcale być nie musi, w każdym razie nie większych niż w wahaniach temperatury w pokoju pozostającym pod kontrolą termostatu. Wcale też proporcja stabilnej równowagi nie musi wynosić 50 do 50. Jakakolwiek jest, dobór naturalny pcha ją z powrotem we właściwą stronę. Proporcja równowagi to taka proporcja, przy której oba typy samców radzą sobie równie dobrze.

Jak coś podobnego mogło się pojawić u pasożytniczych bleskotek? Po pierwsze, musimy wiedzieć, że samice tych owadów zwykle składają tylko jedno lub dwa jaja w jednej fidze, po czym przenoszą się do następnej (pamiętajmy, że przebijają swoim pokładelkiem ściankę figi z zewnątrz). Jest to uzasadnione. Gdyby samica złożyła wszystkie swoje jaja w jednej fidze, jej córki i (bezskrzydli) synowie skłonni byłiby krzyżować się ze sobą, a jak dobrze wiadomo, kazirodztwo nie jest rzeczą dobrą - z tej samej przyczyny kwiaty unikają samozapylenia. Faktem jest w każdym razie, że samice te rozrzucają swoje potomstwo po wielu figach. W efekcie w niektórych figach przez przypadek nie będzie ani jednego jaja określonego gatunku bleskotki. W innych nie będzie jaj-samców, a w jeszcze innych zabraknie jaj-samic.

Pomyślmy teraz o sytuacji, w jakiej może się znaleźć bezskrzydły samiec bleskotki. Jeśli wykluje się w fidze, w której nie ma jaj-samic, nic na to nie poradzi. Jest to jego koniec, z genetycznego punktu widzenia. Jeśli jednak są w jego fidze jakiegokolwiek samice, ma dużą szansę na odbycie z nimi kopulacji, o ile nie przeszkodzą mu w tym podobne do niego samce - i nie ma wątpliwości, że owe maleńkie błonkówki należą do najlepiej uzbrojonych i najbardziej nieustraszonych wojowników w całym królestwie zwierząt. Niewiele samic opuszcza swoją figę nie zapłodnionych, jeśli są w niej jakieś bezskrzydłe samce. W pewnych figach będą jaja-samice, ale nie będzie w nich samców.



Ryc. 10.7 Ukryty ogród

Samice te opuszczają figę nie zapłodnione - wtedy skrzyżować się mogą jedynie z uskrzydłonymi samcami pozostającymi na zewnątrz.

Uskrzydłone samce radzą więc sobie dobrze tylko wtedy, gdy są figi, w których, w efekcie przypadku, rozwijają się samice, ale brak w nich bezskrzydłych samców. Jakie jest tego prawdopodobieństwo? Zależy ono od zagęszczenia bleskotek w stosunku do fig. A także od tego, jaka część samców to samce ze skrzydłami. Jeśli bleskotki te, w stosunku do fig, są rzadkie, jaj ich będzie niewiele i będą one odległe od siebie, z pewnością też będzie można znaleźć takie figi, w których rozwijają się wyłącznie samice. Uskrzydłone samce będą sobie radzić stosunkowo dobrze w takich warunkach. Popatrzmy teraz, co się dzieje, kiedy populacja bleskotek jest duża. W większości fig jest po kilka owadów, obu płci. Większość samic skrzyżuje się z bezskrzydłymi samcami, zanim wylecą w świat - uskrzydłone samce nie będą sobie wtedy dobrze radzić.

Hamilton wykonał dokładniejsze obliczenia. Doszedł do wniosku, że jeśli przeciętna



liczba jaj, z których wyklują się samce, na jedną figę jest większa niż około trzech, to uskrzydłone samce niemal nigdy nie będą się rozmnażać. Przy każdym zagęszczeniu wyższym od podanego dobór naturalny będzie faworyzował bezskrzydłe samce. Jeśli przeciętna liczba jaj samczych na jedną figę wynosi jeden lub mniej, to bezskrzydłe samce nie będą sobie dobrze radzić, ponieważ prawie nigdy nie znajdują się w jednej figie z inną bleskotką, nie mówiąc już o tym, by była to samica. Dobór naturalny będzie w tych warunkach faworyzował skrzydła u samców. Przy średnich wartościach zagęszczenia populacji w grę zacznie wchodzić hipoteza stabilnej równowagi i dobór naturalny będzie utrzymywać mieszaninę uskrzydłonych i bezskrzydłych samców.

Kiedy w grę wchodzi mechanizm stabilnej równowagi, dobór naturalny faworyzuje ten typ samców, który akurat jest w mniejszości, czy też który ma zagęszczenie mniejsze od wartości progowej, obojętnie, ile ona wynosi. Możemy więc w skrócie powiedzieć, że dobór naturalny faworyzuje progową wartość zagęszczenia. Wartość ta jest różna u różnych gatunków i zależy od absolutnego zagęszczenia tych owadów w stosunku do fig. Możemy sobie wyobrazić różne gatunki bleskotek, o różnych wartościach zagęszczenia w stosunku do fig, podobnie jak nietrudno wyobrazić sobie różne termostatycznie klimatyzowane pomieszczenia. Każde ma termostat nastawiony na inną temperaturę. Na przykład u pewnego gatunku, dla którego przeciętna liczba jaj samczych na jedną figę wynosi trzy, dobór naturalny będzie faworyzował mieszaninę samców w populacji z 90 procentami bezskrzydłych. U gatunku, dla którego średnia liczba samców na figę wynosi dwa, dobór naturalny będzie faworyzował 80 procent bezskrzydłych samców. Pamiętajmy, że wtedy warunkiem jest, by średnio na jedną figę przypadały dwa samce. Nie znaczy to, że w każdej figie są dokładnie dwa. Na średnią składają się takie figi, w których nie ma żadnych samców, takie, w których jest tylko jeden, takie, w których są dwa i takie, w których jest ich więcej. Dwadzieścia procent uskrzydłonych samców utrzymuje się pod względem genetycznym nie dzięki figom, w których są dwa bezskrzydłe samce (obecne w tych figach samice zostają zwykle zapłodnione, zanim wylecą na wolność), ale dzięki tym, w których nie ma ani jednego.

Jakie, w praktyce, są dowody na to, że u bleskotek sprawdza się hipoteza stabilnej równowagi, a nie hipoteza „dobrej miny do złej gry”? Najważniejsza różnica między nimi polega na tym, że w pierwszej oba typy samców muszą sobie radzić jednakowo dobrze. Hamiltonowie znaleźli dowody potwierdzające przypuszczenie, że oba typy samców rzeczywiście odnoszą

jednakowe sukcesy w krzyżowaniu się z samicami. Badali dziesięć różnych gatunków. Stwierdzili, że u wszystkich proporcja uskrzydłych do nieuskrzydłych samców była w przybliżeniu równa proporcji samic, które opuściły swoją figę nie zapłodnione. Tak więc gatunek, u którego 80 procent samic wylatuje na świat przed zapłodnieniem, miał również 80 procent uskrzydłych samców. Gatunek, którego 70 procent samic odbywało kopulację przed opuszczeniem swojej figi, miało zarazem 70 procent bezskrzydłych samców. Naprawdę wygląda na to, że proporcja obu typów samców jest dokładnie taka, jaka powinna być, aby zapewnić jednakowy podział samic między nich wszystkich. Jest to potwierdzenie hipotezy stabilnej równowagi, a zarazem argument przeciwko hipotezie „dobrej miny do złej gry”. Przykro mi, że było to tak skomplikowane, ale tak to już jest w świecie fig.

Pozostawmy jednak pasożytnicze błonkówki i powróćmy do właściwych bleskotek, prawdziwych specjalistów od zapylania kwiatów figowca. Jeśli saga o bleskotkach-pieczeniarzach wydaje się komuś skomplikowana, to warto, by przygotował się do mojej ostatniej opowieści. Pochlebiam sobie, że nawet bardzo trudne sprawy staram się wyjaśniać w przystępny sposób, ale tym razem mogę nie stanąć na wysokości zadania. Uczynię wszystko, co w mojej mocy, ale jeśli nie podołam, proszę winić za to figowce i ich bleskotki. Czy raczej, nie winić ani mnie, ani ich, ale ewolucję za wymyślne cuda owego skomplikowanego tańca, towarzyszącego jej przez cały czas jej trwania.

Figowce, których dotyczy moja opowieść, są dwupienne. Oznacza to, że drzewa te - zamiast mieć figi jednego tylko rodzaju, w których znajdują się zarówno kwiaty męskie, jak i żeńskie, jak owe jednopienne figowce, o których dotychczas była mowa - są albo męskie, albo żeńskie. Drzewa żeńskie wytwarzają figi zawierające wyłącznie kwiaty żeńskie. Drzewa męskie natomiast - figi zawierające wyłącznie kwiaty męskie. Ale to jeszcze nie wszystko. Owe tzw. męskie figi zawierają również kwiaty pseudożeńskie, i jest to dla bleskotek niezwykle istotne. W przeciwieństwie do prawdziwych kwiatów żeńskich obecnych w żeńskich figach, owe kwiaty pseudożeńskie nie mogą wydać nasion, nawet jeśli zostaną zapylone. Sprawdzają się natomiast jako źródło pokarmu dla młodych bleskotek i - o tym właśnie będzie moja opowieść - muszą zostać zapylone, by spełnić swoje zadanie. Płodne kwiaty żeńskie w całkowicie żeńskich figach są genetycznym cmentarzyskiem bleskotek, choć mają podstawowe znaczenie dla rozmnażania się figowców. Samice bleskotek dostają się do nich i zapylają je, ale ich jaja nie mogą się w nich rozwijać.

Spotykamy się tutaj z wieloma elementami bogatej gry strategicznej, które można opisać w kategoriach intencji (w specjalnym Darwinowskim sensie) różnych graczy. Zarówno figi męskie, jak i żeńskie „chcą”, by bleskotki się do nich dostały, ale bleskotki chcą odwiedzać tylko figi męskie - i to wyłącznie ze względu na wartości odżywcze obecnych w nich kwiatów pseudożeńskich. Drzewo męskie chce, by jaja zostały złożone w jego pseudożeńskich kwiatkach po to, by wykluwające się z nich samice zebrały pyłek z męskich kwiatów i wyleciały z nim w świat. Drzewo to nie ma żadnego interesu w tym, żeby wykluwały się w jego figach samce bleskotek, samce bowiem nie transportują pyłku. Może się to wydać dziwne, ponieważ bez samców gatunek tych błonkówek uległby zagładzie. Bardzo trudno jest nam, ludziom, charakteryzującym się skłonnością do nieustannego wyprzedzania wydarzeń i przewidywania skutków swoich działań, uwolnić się od myślenia o doborze naturalnym tak, jakby i on brał pod uwagę przyszłość. Mówiłem już o tym w innym kontekście. Gdyby dobór naturalny brał pod uwagę dalekosiężne cele, zwierzęta i rośliny dbałyby o zachowanie swojego gatunku i tych, od których są uzależnione - a więc tych, którymi się żywią i takich, jakie zajmują się przenoszeniem pyłku. Natura - nie mając mózgu, jak człowiek - nie przewiduje niczego. „Samolubne geny” i bezpośrednio korzyści zawsze doraźnie wygrywają w świecie, w którym wszyscy dbają o dalekosiężne interesy swojego gatunku. Jeśli jakiemuś drzewu figowca udałoby się poprzestać na sprawowaniu opieki wyłącznie nad samicami bleskotek, to by z tej możliwości skorzystał, pozostawiając innym drzewom tego figowca odpowiedzialność za podaż samców - koniecznych do podtrzymania gatunku owada. Rzecz w tym, że dopóki w innych drzewach przychodzą na świat samce, taki samolubny zbuntowany figowiec, który odkryłby sposób na zwiększenie swojej populacji samic bleskotek, a tym samym i zwiększenie ilości pyłku, jakie może rozesłać w świat, będzie miał przewagę. Wraz z upływem pokoleń coraz więcej będzie samolubnych drzew, uzależnionych od coraz mniejszej liczby drzew „zapewniających warunki rozwoju samcom. W końcu ostatecznie drzewo skłonne do wykarmienia samców zginie, ponieważ będzie sobie radziło gorzej niż jego konkurenci troszczący się wyłącznie o samice.

Na szczęście, jak się wydaje, drzewa figowców nie potrafią wpływać na proporcję płci owadów rozwijających się w ich figach.

Gdyby mogły, niewykluczone, że samce bleskotek wymarłyby i cały gatunek zniknąłby z powierzchni Ziemi. A że przy okazji zginąłby również określony gatunek figowca, to trudno. Dobór naturalny nie wybiega w przyszłość tak daleko. Powodem, dla którego drzewa figowe

chyba nie mają możliwości wpływania na proporcję płci bleskotek, jest prawdopodobnie fakt, że owady te, które również mają interes w utrzymywaniu stosownej proporcji płci, odgrywają tu decydującą rolę.

Żeńskiemu drzewu figowemu zależy również (znów w specjalnym Darwinowskim sensie), by samice bleskotek dostawały się do wnętrza jego fig, ponieważ inaczej jego żeńskie kwiaty nie zostaną zapylone. Samica bleskotki chce dostać się do męskich fig, ponieważ tylko w nich znajdzie pseudożeńskie kwiaty, w których mogą rozwijać się jej larwy. Samica unika żeńskich fig jak ognia, ponieważ jeśli tylko do jakiejś wejdzie - staje się genetycznie martwa. Umrze bezpotomnie. Mówiąc ściślej - geny, które decydują o tym, że samica bleskotki wybiera żeńskie figi, nie zostaną przekazane następnemu pokoleniu. Gdyby dobór naturalny obejmował jedynie bleskotki, świat byłby pełen takich bleskotek figowych, które unikają żeńskich fig i interesują się wyłącznie męskimi figami z ich wyśmienitymi pseudożeńskimi pojemnikami na jaja.

W tym momencie my, ludzie, znowu skłonni bylibyśmy wtrącić: „Ależ z pewnością bleskotki figowe życzyłyby sobie, aby część z nich dostała się do żeńskich fig, ponieważ - choć geny poszczególnych osobników mogą w nich zostać na zawsze pogrzebane - to figi te są absolutnie niezbędne do podtrzymania gatunku figowców. Jeśli gatunek ten zginie, to samo spotka i gatunek bleskotek”. Oto zwierciadlane odbicie rozumowania przedstawionego wcześniej. Powiedzmy, że niektóre samice bleskotek są na tyle niemądre, lub tak altruistycznie usposobione, że wybierają żeńskie figi, wtedy jednak dobór naturalny faworyzować będzie samolubną bleskotkę, która odkryje sposób na to, jak unikać żeńskich fig i dostawać się tylko do męskich. Samolubność bleskotek będzie z pewnością faworyzowana bardziej niż jakiegokolwiek społecznie inspirowane próby działania na rzecz przedłużenia własnego gatunku. Dlaczegoż więc ani bleskotki, ani figowce nie wymierają? Nie ze względu na umiejętność przewidywania czy altruizm, ale dzięki temu, że tendencjom samolubnych bleskotek i figowców zapobiegają samolubne działania odwetowe drugiej strony. Samice bleskotek - gotowe do samolubnego postępowania i omijania żeńskich fig - powstrzymywane są przez bezpośrednią akcję samych drzew figowców, udaremniającą takie plany. Dobór naturalny sprzyjał oszukańczej taktyce żeńskich fig, polegającej na takim ich upodobnieniu się do męskich fig, żeby bleskotki nie mogły dostrzec między nimi żadnej różnicy.

Grę prowadzoną przez bleskotki i figowce cechuje więc fascynująca symetria. Nie

brakuje okazji, by obie strony wykazały się egoizmem. Jeśli którejs z stron to się powiedzie, zarówno owady, jak i drzewa ulegną zagładzie. Nie przeciwdziała temu ani altruistyczne samoograniczenie się, ani świadome przewidywanie skutków ekologicznych takiego postępowania. Przeciwdziała temu bezpośrednia polityka prowadzona w każdym konkretnym przypadku przez każdego z przeciwników - działających we własnym, egoistycznym interesie. Drzewa figowców, gdyby tylko mogły, pozbyłyby się samców bleskotek, stając się w ten sposób sprawcą zarówno ich, jak i własnej zagłady. Uniemożliwiają im to bleskotki, które mają interes w tym, by rozwijały się zarówno ich samce, jak i samice. Bleskotki natomiast, gdyby tylko mogły, unikałyby żeńskich fig, przyczyniając się tym samym do zagłady swojej i drzew. Zapobiegają temu figowce, wytwarzając figi męskie i żeńskie o trudnym do odróżnienia wyglądzie.

Streszczając to, co zostało dotychczas powiedziane, możemy się spodziewać, że zarówno męskie, jak i żeńskie drzewa figowców zrobią wszystko, co możliwe, by zwabić bleskotki do fig swego rodzaju. Możemy też oczekiwać, że bleskotki będą się za wszelką cenę starały odróżnić męskie figi od żeńskich, aby wybrać te pierwsze i wystrzegać się drugich. Pamiętajmy, że sformułowanie „będą za wszelką cenę starały się” oznacza, że w miarę swej ewolucji wejdą one w posiadanie genów decydujących o upodobaniu do męskich fig. By rzecz jeszcze bardziej zawikłać, stwierdzimy też, że zarówno męskie, jak i żeńskie drzewa figowe powinny być zainteresowane sprzyjaniem rozwojowi bleskotek, które wnikają do fig przeciwnej płci. W przedstawieniu tego trudnego wywodu odwołuję się do znakomitej pracy dwóch brytyjskich biologów: Alana Grafena, jednego z najlepszych w naszych czasach teoretyków matematycznych darwinizmu, i Charlesa Godfraya, świetnego ekologa i entomologa.

Jaką bronią dysponuje drzewo figowe podczas tej strategicznej rozgrywki? Żeńskie drzewa mogą sprawić, by ich figi z wyglądu i zapachu przypominały męskie figi tak bardzo, jak tylko jest to możliwe. Mimikra, jak widzieliśmy w poprzednich rozdziałach, to zjawisko powszechne w królestwie zwierząt. Patyczaki przypominają nie nadające się do zjedzenia gałązki i dzięki temu nie są zauważane przez ptaki. Wiele smacznych motyli wygląda tak samo jak niejadalne motyle zupełnie innego gatunku, których ptaki nauczyły się unikać. Różne gatunki storczyków naśladują pszczoły, muchy i osy. Przykłady mimikry zachwycały przyrodników już w XIX wieku i często równie skutecznie zwiodły zbieraczy, jak zwierzęta. Dziś stało się jasne, że mimikra - o wręcz nieskończonej doskonałości - choć niegdyś budziła grozę i wydawała się niepojęta, łatwo pojawia się w efekcie ewolucji dzięki działaniu doboru naturalnego.

Podobieństwa żeńskich fig (niechcianych przez bleskotki) do fig męskich (pożądanych przez te owady) z pewnością można się spodziewać, choć ciąg dalszy jest - mówiąc ogólnie - mniej oczywisty i wymaga głębszego zastanowienia. Spodziewamy się również, że i męskie figi podejmą wysiłek, żeby wyglądać i pachnieć tak jak figi żeńskie. A oto dlaczego tak się dzieje.

Drzewo męskie „chce”, aby samice bleskotek wnikały do jego fig i składały jaja w jego pseudożeńskich kwiatach. Figowiec jednak zyskuje na tym tylko dopóty, dopóki stopniowo wykluwające się w nich młode samice bleskotek gotowe są odegrać przypisaną im rolę. Młode samice powinny obładować się pyłkiem, opuścić figę, w której przyszły na świat, a następnie - przynajmniej niektóre z nich - znaleźć się na genetycznym cmentarzysku żeńskiej figi i zapylić ją (rozprzestrzeniając tym samym geny figowca, ale nie własne). Męskie figi wyglądające zupełnie inaczej niż żeńskie ułatwiłyby bardzo samicom bleskotek osiągnięcie celu - przedostawanie się do wnętrza jedynie męskich fig i składania w nich jaj. Ale córki takich samic odziedziczyłyby po nich skłonność do takich fig. Potomne bleskotki skłonne byłyby wybierać wyłącznie męskie figi i stałyby się nieużyteczne z punktu widzenia rozprzestrzeniania genów figowca, w którym przyszły na świat (choć znakomicie sprawdzałyby się pod względem rozprzestrzeniania własnych genów).

Wyobraźmy sobie teraz konkurencyjne drzewo męskie, którego figi przypominają figi żeńskie. Być może trudniej mu będzie przyciągnąć samice bleskotek, które będą im niechętne, jako że starają się unikać żeńskich fig. Ale te, samice bleskotek, które uda się zwabić, staną się wybranym podzbiorem samic bleskotek: będą to te samice, które okazały na tyle głupie (z ich punktu widzenia), że weszły do figi wyglądającej jak figa żeńska. Owady te złożą jaja w jej pseudożeńskich kwiatach, tak samo jak w poprzednim przypadku. I tak samo jak poprzednio, córki tych samic odziedziczą taką skłonność do fig, jaka charakteryzowała ich matki. Zastanówmy się teraz, jaka to będzie skłonność. Owe młode samice pochodzą od matek, które dobrowolnie i chętnie weszły do męskiej figi, która wyglądała jak żeńska, i ich córki odziedziczą te głupie (z ich punktu widzenia) inklinacje. Córki owych samic wylecą w świat, poszukując fig wyglądających jak żeńskie. I sporo z nich znajdzie figi żeńskie - zabijając własne geny, ale i umieszczając pyłek męskich fig dokładnie tam, gdzie chciałby się on znaleźć. Wyprowadzone w pole samice marnują swoje własne geny, ale udaje im się przenieść w kieszeniach pyłkowych geny figowca - w tym również geny decydujące o tym, że męskie figi wyglądają jak żeńskie. Geny konkurencyjnych figowców, decydujące o tym, że męskie figi różnią się od żeńskich,

również zostaną przeniesione w kieszeniach pyłkowych. Ale owe obfite zbiory mają większą szansę skończyć w ślepej uliczce (z punktu widzenia męskich figowców) - na genetycznym cmentarzysku w innych męskich figach. Tak więc męskie figowce będą „spiskować” wspólnie z żeńskimi figowcami, by utrudnić bleskotkom odróżnienie obu rodzajów fig od siebie i uniknąć zakończenia żywota na genetycznym cmentarzysku. Męskie i żeńskie figowce „zgodzą się” pod względem „chcienia”, by być nierozróżnialne.

Einstein kiedyś wykrzyknął: „Bóg jest perfidny!” Ale, choć może trudno to sobie wyobrazić, nasza intryga dalej się komplikuje. Kwiaty pseudożeńskie pozostające we wnętrzu męskich fig muszą zostać zapylone, żeby dostarczyć pokarmu rozwijającej się larwie. Nietrudno więc zrozumieć, dlaczego - z punktu widzenia samicy bleskotki - tak chętnie obciąża się ona pyłkiem; nietrudno też zrozumieć, dlaczego samice te mają specjalne kieszenie pyłkowe, a nie są przypadkowo obsypywane pyłkiem podczas wędrowania po męskich kwiatach. Samice bleskotek wiele zyskują, przenosząc pyłek. Jest im potrzebny, by doprowadzić pseudożeńskie kwiaty do wytwarzania pokarmu dla ich larw. Grafen i Godfray wykazali jednak, że problem pozostaje po drugiej stronie tego niezwykłego związku. Problem pozostaje, gdy powracamy do figowców. Dlaczego pseudożeńskie kwiaty z męskich fig muszą być zapylone zanim dostarczą pokarmu larwom? Czy nie byłoby prościej, gdyby dostarczały larwom pokarmu niezależnie od tego, czy zostały zapylone, czy nie? Męskie figowce potrzebują przecież wykarmić larwy bleskotek, aby przemieściły one pyłek do żeńskich fig. Dlaczego więc pseudożeńskie kwiaty upierają się przy zapyleniu, zanim staną się źródłem pokarmu?

Wyobraźmy sobie zmutowane męskie drzewo figowe, które stało się mniej wybredne: obniżyło swoje wymagania i zezwala larwom bleskotek na rozwój, nawet jeśli jaja ich zostały złożone w niezapylonych kwiatach. Mutant taki miałby przewagę nad swoimi bardziej wymagającymi konkurentami, ponieważ opuszczałaby go większa liczba młodych błonkówek. Zastanówmy się nad tym. Do każdej figi mogą dostać się samice, które z jakiegoś powodu nie mają nic w swoich kieszeniach pyłkowych. W wymagających figach samice te złożą jaja, ale wykluwające się z nich larwy zginą z głodu i nie będzie wtedy żadnych młodych bleskotek gotowych do przenoszenia pyłku. Przyjrzyjmy się teraz konkurentowi - zmutowanemu, niewybrednemu drzewu figowca. Nic nie szkodzi, jeśli do jego fig wniknie samica z niewielkim bagażem pyłku. Jej larwy mimo wszystko rozwiną się w zdrowe młode bleskotki. Niewybredne drzewo wypuści na świat większą liczbę młodych samic, ponieważ wykarmi nie tylko potomstwo

samic przenoszących pyłek, ale i tych, którym pyłku nie udało się przenieść. Mutant taki będzie miał wyraźną przewagę nad bardziej wymagającym męskim drzewem figowca - opuści go wszak dużo większa armia młodych samic bleskotek, unoszących jego pyłek w genetyczną przyszłość. Czyż nie?

Nie. I to jest właśnie niemal porażająca zawilóść, którą dostrzegli Grafen i Godfray. Ta wielka armia młodych samic małych bleskotek, rojąca się przy wylocie z niewybrednej figi, będzie rzeczywiście bardzo liczna. Ale - powtórzmy tu argument użyty poprzednim razem - po swoich matkach odziedziczą określone skłonności. Matki ich - a zwłaszcza matki tych nadprogramowych bleskotek, które nasze drzewo figowca wypuściło ponad normę swojego konkurenta - miały poważną wadę. Nie udało im się przenieść pyłku, z jakichś przyczyn więc nie zapyliły kwiatów, w których rozwijały się ich larwy. Dokładnie z tego powodu owe nadprogramowe larwy są nadprogramowymi. I potomstwo zwykle dziedziczy taką wadę. Zwykle nie będzie przenosić pyłku, czy też pod innym względem nie będzie sprawdzać się w roli owadów zapylających kwiaty figowca. Jest niemal tak, jakby wybredne męskie figowce celowo narzucały wymagania bleskotkom, które do nich wnikają. Jest to rodzaj testu sprawdzającego, czy dla kwiatów pseudożeńskich uczynią to, co powinny uczynić dla prawdziwych kwiatów żeńskich. Jeśli nie - ich larwy nie będą mogły się rozwinąć. Wprowadzając ten sprawdzian, męskie figi selekcionują geny bleskotek, które sprawiają, że owady te sprawdzają się jako przenosiciele genów figowca. Grafen i Godfray nazywają to dobozem zastępczym. Przypomina to nieco dobór sztuczny, taki, o jakim była mowa w rozdziale pierwszym, ale niezupełnie taki sam. Kwiaty pseudożeńskie działają jak symulatory wykorzystywane do odsłania niedostatecznie dobrych pilotów, zanim zasiądą oni za sterami prawdziwego samolotu.

Ta nowa koncepcja pozwala na rozwiązanie jeszcze bardziej skomplikowanych problemów. Geny figowców i geny bleskotek są partnerami, wirującymi razem w szalonym walcu przez całe epoki geologiczne. Większość spośród licznych gatunków figowców związana jest, jak wiemy, ze swoimi własnymi gatunkami bleskotek. Figowce i ich bleskotki ewoluowały wspólnie - koewoluowały - krok w krok za sobą i niezależnie od innych podobnych par. Znamy korzyści tego rozwiązania z punktu widzenia figowców. Ich własne gatunki bleskotek są jak idealne czarodziejskie pociski. Hodując jeden, i tylko jeden, gatunek owadów, skierowują w ten sposób pyłek bezpośrednio do żeńskich fig swojego własnego, a nie żadnego innego, gatunku. Nie marnują pyłku, a byłoby to nieuchronne, gdyby korzystały wspólnie z usług jakiegoś jednego



gatunku bleskotek, który odwiedza figi wszystkich gatunków figowców. Czy taka absolutna lojalność przynosi również korzyści bleskotkom pozostaje mniej jasne, ale prawdopodobnie nie mają one wyboru. Z powodów, których nie musimy teraz omawiać, niekiedy w obrębie gatunku rozpoczyna się niezależna ewolucja i z czasem gatunek taki dzieli się na dwa. W przypadku drzew figowców, mogą one - zmieniając się w czasie ewolucji - wprowadzić jakiś inny kod chemiczny, za pomocą którego ich figi rozpoznawane są przez bleskotki, a być może także inne podobne mechanizmy w rodzaju klucza i zamka, jak choćby głębokość swych maleńkich kwiatów. Poszczególne gatunki bleskotek nie mają wyjścia, muszą się dostosować. Na przykład stopniowe pogłębianie się kwiatów po figowcowej (zamek) stronie koewolucji wymusza stopniowe wydłużanie się pokładełek po bleskotkowej (klucz) stronie tego procesu.

Pojawia się tutaj dość szczególny problem, na który zwrócili uwagę Grafen i Godfray. Rozwińmy porównanie do klucza i zamka. Gatunki figowców, ewoluując, odsuwają się coraz dalej od siebie, zmieniając swoje zamki, a bleskotki dostosowują do nich swoje klucze. Coś bardzo podobnego musiało dziać się wtedy, gdy przodkowie storczyków ulegali dywergencji na storczyki zapylane przez pszczoły, osy oraz muchy. Tu jednak łatwo prześledzić proces koewolucji. Figowce sprawiają wyjątkowy i dręczący kłopot i jest to ostatnia sprawa, z którą chcę się zmierzyć w tej książce. Gdyby wszystko odbywało się zgodnie ze zwykłym planem koewolucji, powinniśmy spodziewać się czegoś następującego. Geny decydujące o powstawaniu, powiedzmy, głębszych kwiatów podlegałyby selekcji wśród żeńskich figowców.

Wywierałoby to presję selekcyjną na rzecz dłuższych pokładełek u bleskotek. Ale ze względu na szczególne okoliczności wiążące się z figowcami, normalna koewolucja nie ma tu racji bytu. Jedyne żeńskie kwiaty, które przekazują geny następnym pokoleniom, to kwiaty w żeńskich figach, a nie pseudożeńskie kwiaty fig męskich: podczas gdy jedyne samice bleskotek, jakie przekazują swoje geny, to te, które składają jaja w kwiatach pseudożeńskich (a nie takie, które składają je w prawdziwych kwiatach żeńskich). Tym samym więc bleskotka, której zdarzyło się mieć dłuższe pokładełko i której udało się dosięgnąć dna długich kwiatów żeńskich, nie przekaże następnym pokoleniom swoich genów decydujących o posiadaniu dłuższego pokładełka. Geny takie przekażą samice bleskotek, którym udało się sięgnąć dna kwiatów pseudożeńskich. Ale tu geny decydujące o powstawaniu głębszych kwiatów nie mają szans na pojawienie się w następnym pokoleniu. No i mamy zagadkę.

I znów, jak się wydaje, rozwiązanie leży w mechanizmie zastępczej selekcji -

odpowiedniku precyzyjnych symulatorów lotu dla przyszłych pilotów. Męskie figi „chcą”, by bleskotki, które wysyłają w świat, świetnie zapylały ich prawdziwe żeńskie kwiaty. Dlatego, w naszym hipotetycznym przykładzie, będzie im zależało, by owady te miały długie pokładełka. Najlepszym sposobem na upewnienie się w tej kwestii jest - dla męskiego figowca - zezwolenie na składanie jaj w kwiatach pseudożeńskich tylko tym matkom, które mają odpowiednio długie pokładełka. Formułowanie tego w odniesieniu do naszego konkretnego przykładu wiąże się z ryzykiem nadania owemu opisowi nadmiernie teleologicznego brzmienia - może się wydawać, że męskie figowce „wiedzą”, że kwiaty żeńskie są głębokie. Dobór naturalny jednak czyni to automatycznie, wybierając te męskie figowce, których kwiaty pseudożeńskie przypominają prawdziwe kwiaty żeńskie pod każdym względem, włącznie z głębokością.

Figowce i zapylające je bleskotki zajmują wysoki poziom ewolucyjnych osiągnięć: wyjątkowy szczyt Góry Nieprawdopodobieństwa. Ich wzajemne zależności są wręcz absurdalnie zawile i misterne. Aż proszą się o interpretację w kategoriach przemyślanych, doskonale świadomych, makiawelicznych kalkulacji.

A są one przecież efektem procesów kompletnie wolnych od jakichkolwiek zamierzeń, pozbawionych mocy rozumu i jakiegokolwiek inteligencji. Puenta rysuje się sama dzięki temu, że uczestnikami tej gry są z jednej strony maleńkie błonkówki o bardzo maleńkich mózgach, a z drugiej - drzewa, nie posiadające ani śladu mózgu. Wszystko to jest więc rezultatem Darwinowskiego wzajemnego dostrajania się, którego skomplikowanej doskonałości nigdy nie dalibyśmy wiary, gdyby nie to, że mamy ją przed oczami. Jest to rodzaj ciągłego obliczania, czy też milionów równoległych obliczeń, rachunku kosztów i zysków. Obliczenia te są tak skomplikowane, że byłyby problemem nawet dla naszych największych komputerów. Tymczasem maszyna, która je przeprowadza, nie składa się z elektronicznych podzespołów, ani nawet z obwodów nerwowych. Nie ma żadnego wydzielonego miejsca w przestrzeni. Jest to automatyczny, rozproszony komputer, którego bity informacji przechowywane są w DNA, rozproszone w milionach indywidualnych osobników i przenoszące się z jednego osobnika do drugiego w procesie rozmnażania. Słynny fizjolog, pracujący w Oksfordzie, sir Charles Sherrington porównał mózg do zaczarowanego krosna:

Przypomina Drogę Mleczną opanowaną jakimś kosmicznym płasem. Mózg przemienia się w coś na kształt zaczarowanego krosna, w którym miliony śmigających czółenek tkają

zanikający wzór, zawsze tak wiele znaczący, choć nigdy nie pojawiający się wyraźnie; zmienną harmonię pomniejszych wzorów.

Dopiero powstanie mózgów i układów nerwowych doprowadziło do pojawienia się na świecie zaprojektowanych przedmiotów. Układ nerwowy sam w sobie, podobnie jak wszystkie pseudo-projekty, jest wytworem dużo starszego i wolniejszego kosmicznego tańca. Wizja Sherringtona pomogła mu stać się jednym z najważniejszych badaczy układu nerwowego pierwszej połowy naszego stulecia. Podobna wizja i nam może się przydać. Ewolucja jest jak zaczarowane krosno, pełne błyskających czółenek DNA, których przemijające wzory, płasające wspólnie ze swoimi partnerami przez geologiczną otchłań czasu, układają się w ogromną bazę danych na temat mądrości swoich przodków; zakodowany w postaci cyfrowej opis minionych światów i tego, co zdecydowało o tym, że udało się w nich przetrwać.

Z tym ciągiem myśli muszę jednak poczekać do następnej książki. Najważniejsza nauka, płynąca z przedstawionego wyżej wywodu, brzmi: wysokich poziomów ewolucyjnych nie da się osiągnąć pospiesznie. Można jednak rozwiązać najtrudniejsze problemy i pokonać najbardziej niedostępne szczyty, jeśli tylko uda się znaleźć łagodną ścieżkę wiodącą stopniowo, krok po kroku ku górze. Na Szczyt Nieprawdopodobieństwa nie można się wdrzeć od strony urwiska. Żeby go osiągnąć, konieczna jest stopniowa, choć nie zawsze powolna wspinaczka.

## BIBLIOGRAFIA

Prace, do których odwołuję się w swojej książce i które polecam wszystkim zainteresowanym [listę uzupełniono o pozycje dostępne w języku polskim]:

Adams, D.: Autostopem przez Galaktykę. Trylogia w pięciu częściach. Przełożył Paweł Wieczorek. Zysk i S-ka, Poznań 1994.

Attenborough, D.: Życie na Ziemi: historia natury. Przełożyła Ewa Pankiewicz. Wilga, Warszawa 1997.

Attenborough, D.: Na ścieżkach życia. Przełożyli Mieczysław Godyń i Maciej Tomal. Wilga, Warszawa 1993.

Attenborough, D.: Prywatne życie roślin. Przełożyła Justyna Janasz. Muza, Warszawa 1996.

Basalla, G.: The Evolution of Technology. Cambridge University Press. Cambridge 1988.

Berry, R. J., A. Hallam (red.): Collins Encyclopedia of Animal Evolution. Collins, Londyn 1986.

Bonner, J. T.: The Evolution of Complexity. Princeton University Press, Princeton, stan Nowy Jork, 1988.

Bristowe, W. S.: The World of Spiders. Collins, Londyn 1958.

Brusca, R. C. i G. J. Brusca: Invertebrates. Sinauer, Sunderland, stan Massachusetts 1990.

Carroll, S. B.: Homeotic genes and the evolution of arthropods and chordates. „Nature” 376, 1995, s. 479-485.

Coveney P. i R. Highfield: Granice złożoności. Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.

Cringely, R. X.: Accidental Empires. Viking, Londyn 1992.

Cronin, H.: The Ant and the Peacock. Cambridge University Press, Cambridge 1991.

Dance, S.P.: Shells. Dorling Kindersley, Londyn 1992.

Darwin, K.: O powstawaniu gatunków. Przełożyli Józef Nusbaum i Szymon Dickstein. Warszawa, PWRIL 1953.

Darwin, C: On the Various Contrivances by Which Orchids are Fertilised by Insects. John Murray, Londyn 1882.

Dawkins, R: The Extended Phenotype. W. H. Freeman, Oxford 1982.

Dawkins, R.: Ślepy zegarmistrz. Przełożył Antoni Hoffman. PIW, Warszawa 1994.

- Dawkins, R.: Rzeka genów. Przełożył Marek Jannasz. CIS: Most, Warszawa 1995.
- Dawkins, R.: Samolubny gen. Prószyński i S-ka, Warszawa 1996.
- Dennett, D.C.: Darwin's Dangerous Idea. Simon and Schuster, Nowy Jork 1995.
- Douglas-Hamfiton, I. i O.: Battle for Elephants. Doubleday, Londyn 1992.
- Drexler, K.E.: Engines of Creation. Anchor Press/Doubleday, Nowy Jork 1986.
- Eberhard, W.G.: Sexual Selection and Animal Genitalia. Harvard University Press, Cambridge, stan Massachusetts 1985.
- Eldredge, N.: Reirwenting Darwin: The great debate at the high table of evolutionary theory. John Wiley, Nowy Jork 1995.
- Fisher, R.A.: The Genetical Theory of Natural Selection. Dover, Nowy Jork 1958.
- Ford, E.B.: Ecological Genetics. Chapman and Hall, Londyn 1975.
- Frisch, K. v.: Animal Architecture. Butterworth, Londyn 1975.
- Fuchs, P. i T. Krink: Modellierung als Mittel zur Analyse raumlichen Orientierungsverhaltens. Praca dyplomowa. Uniwersytet w Hamburgu 1994.
- Goodwin, B.: How the Leopard Changed its Spots. Weidenfeld and Nicholson, Londyn 1994.
- Gould, J. S. i C. G. Gould: The Honey Bee. Scientific American Library, Nowy Jork 1988.
- Gould, J. S.: Niewczesny pogrzeb Darwina. Przełożyła Nina Karicewicz-Hoffman. PIW, Warszawa 1991.
- Grafen, A. i H. C. Godfray: Vicarious selection explains some paradoxes in dioecious figpollinator systems. „Proceedings of the Royal Society of London, B” 245, 1991, s. 73-76.
- Gribbin, J. i M. Gribbin: Being Human. J. M. Dent, Londyn 1993.
- Haeckel, E.: Art Forms in Nature. Dover, Nowy Jork 1974.
- Haldane, J. B. S., J. Maynard Smith (red.): On Being the Right Size. Oxford University Press, Oxford 1985.
- Haider, G., P. Callaertes i W. J. Gehring: Induction of ectopic eyes by targeted expression of the eyless gene in Drosophila. „Science” 267, 1995, s. 1788-1792.
- Hamilton, W. D.: Narrow Roads of Gene Land: The collected papers of W. D. Hamilton, t. I: Evolution of Social Behaviour. W. H. Freeman/Spektrum, Oxford 1996.
- Hansell, M. H.: Animal Architecture and Building Behaviour. Longman, Londyn 1984.

- Hayes, B.: Spacetime on a seashell. *American Scientist* 83, 1995, s. 214-218.
- Heinrich, B.: *Bumblebee Economics*. Harvard University Press, Cambridge, stan Massachusetts 1979.
- Hoffman, A.: *Wokół ewolucji* (wyd. drugie). PIW, Warszawa 1997.
- Holldobler, B. i E.O. Wilson: *Podróż w krainę mrówek*. Przełożył Jerzy Prószyński. Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.
- Hoyle, F.: *Evolution from Space*. J. M. Dent, Londyn 1981.
- Janzen, D.: How to be a fig. „*Annual Review of Ecology and Systematics* 10”, 1979, s. 13-51.
- Kauffman, S.: *At Home in the Universe*. Viking, Harmondworth 1995.
- Kettlewell, H. B. D.: *The Evolution of Melanism*. Oxford University Press, Oxford 1973.
- Kingdon, J.: *Self-made Man and His Undoing*. Simon and Schuster, Londyn 1993.
- Kingsolver, J. G. i M. A. R. Koehl: Aerodynamics, thermoregulation, and the evolution of the insect wings: differential scaling and evolutionary change. „*Evolution*” 39, 1985, s. 488-504.
- Krzanowska, H., A. Łomnicki, J. Rafiński, H. Szarski i J. M. Szymura: *Zarys mechanizmów ewolucji* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.\*\*\*
- Land, M. F.: Optic and yision in invertebrates. [W:] H. Autrum (red.): *Handbook of Sensory Physiology*. VII/6B, s. 471-592. Springer-Verlag, Berlin 1980.
- Langton, C. G. (red.): *Artificial Life*. Addison-Wesley, Nowy Jork 1989.
- Lawrence, P.A.: *The Making oj the Fly*. Blackwell Scientific Publications, Londyn 1992.
- Leakey, R.: *The Origin oJHumankind*. Wedenfeld and Nicholson, Londyn 1994.
- Lundell, A.: *Virus! The secret world ofcomputer inuaders that breed and destroy*. Contemporary Books, Chicago 1989.
- Macdonald, D. (red.): *The Encyclopedia of Mammals* (2 tomy). Alle and Unwin, Londyn 1984.
- Margulis, L.: *Symbiosis in Celi Euolution*. W. H. Freeman, San Francisco 1981.
- Maynard Smith, J.: *Did Darwin Get It Right?* Penguin, Harmondsworth 1988.
- Maynard Smith, J.: *The Theory qfEvolution* Cambridge University Press, Cambridge 1993.
- Maynard Smith, J. i E. Szathmary: *The Major Transition in Evolution* Freeman/Spektrum, Oxford 1995.

- Meeuse, B. i S. Morris: The Sex Life of Plants. Faber and Faber, Londyn 1984.
- Meinhardt, H.: The Algorithmic Beauty of Sea Shells. Springer-Verlag, Berlin 1995.
- Moore, R. C., C. G. Lalicker i A. G. Fischer: Invertebrate Fossils. McGrawHill, Nowy Jork 1952.
- Nesse R. i G. C. Williams: Evolution and Healing: The New Science of Darwinian Medicine. Weldenfeld and Nicholson, Londyn 1995. Ukazała się także pod tytułem: Why We Get Sick, Random House, Nowy Jork 1995.
- Nilsson, D.-E.: Vision, optics and evolution. „Bioscience” 39, 1989, s. 298-307.
- Nilsson, D.-E.: Optics and evolution of the compound eye. [W:] D.G. Sta-venga i R. C. Hardie (red.): Facets of Vision. Springer-Verlag, Berlin 1989.
- Nilsson, D.-E. i S. Pelger: A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. „Proceedings of the Royal Society of London” B, 256, 1989, s. 53-58.
- Orgel, L. E.: The Origins of Life. Chapman and Hall, Londyn 1973.
- Pennycuik, C. J.: Animal Flight. Edward Arnold, Londyn 1972.
- Pennycuik, C. J.: Newton Rules Biology. Oxford University Press Oxford 1992.
- Pinker, S.: The Language Instinct. Viking, Harmondsworth 1994.
- Provine, W. B.: Sewall Wright and Evolutionary Biology. Chicago University Press, Chicago 1986.
- Raff, R. A. i T. C. Kaufman: Embryos, Genes and Evolution. MacMillan, Nowy Jork 1983.
- Raup, D. M.: Geometric analysis of shell coiling: general problems. „Journal of Paleontology” 40, 1966, s. 1178-1190.
- Raup, D. M.: Geometric analysis of shell coiling: coiling in ammonoids. „Journal of Paleontology” 41, 1967, s. 43-65.
- Raup, D. M. i S. M. Stanley: Podstawy paleontologii. Przełożył Józef Kazmierczak. PWN, Warszawa 1984.
- Ridley, Mark: Evolution. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1993.
- Ridley, Matt: The Red Queen: Sex and the evolution of human nature. Viking, Harmondsworth 1993.
- Robinson, M. H.: Niko Tinbergen, comparative studies and evolution. [W:] M. S. Dawkins, T. R. Halliday i R. Dawkins (red.): The Tinbergen Legacy. Chapman and Hall, Londyn

1991.

Ruse, M.: Darwinism Defended. Addison-Wesley, Reading, stan Massachusetts 1982.

Ryszkiewicz, M.: Ziemia i życie. Rozważania o ewolucji i ekologii Prószyński i S-ka, Warszawa 1995.

Sagan, C. i A. Druyan: Shadows of Forgotten Ancestors. Random House, Nowy Jork 1992.

Salvini-Plawen, L. v. i E. Mayr: On the evolution of photoreceptors and eyes. [W:] M. K. Hecht, W. C. Steere i B. Wallace (red.): Evolutionary Biology 10. Plenum, Nowy Jork 1977, s. 207-263.

Terzopoulos, D., X. Tu i R. Grzeszczuk: Artificial fishes: autonomous locomotion, perception, behavior, and learning in a simulated physical world. „Artificial Life” I, 1995, s. 327-351.

Thomas, K.: Man and the Natural World: Changing Attitudes in England 1500-1800. Penguin Books, Harmondworth 1983.

Thompson, D’A.: On Growth and Form. Cambridge University Press, Cambridge 1942.

Trivers, R. L.: Social Evolution. Benjamin/Cummlngs, Menlo Park 1985.

Vermell, G. J.: A Natural History of Shells. Princeton University Press, Princeton, stan New Jersey 1993.

Vollrath, F.: Untangling the spiders ujeb. „Trends in Ecology and Evolution” 3, 1988, s. 331-335.

Vollrath, F.: Analysis and Interpretation of orb spider exploration and web-building behavior. „Advances in the Study of Behavior” 21, 1992, s. 147-199.

Vollrath, F.: Pajęcze sieci i jedwabie. „Świat Nauki” 5, 1992, s. 60-68.

Watson, J. D., N. H. Hopkins, N. H. Roberts, J. W. Steitz i A. M. Weiner: Molecular Biology of the Gene (wyd. czwarte). Benjamin/Cummlngs, Meno-lo Park 1987.

Weiner, J.: Dziob zięby. Przełożyła Monika Betley. Książka i Wiedza, Warszawa 1996.

Williams, G.C.: Natural Selection: Domains. Levels and Challenges. Oxford University Press, Oxford 1992.

Wilson, E. O.: Społeczeństwa owadów. Przełożyła Danuta H. Tymowska. PWN, Warszawa 1979.

Wolpert, L.: The Triumph of Embryo. Oxford University Press, Oxford 1991.



Wright, S.: The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution.  
„Proceedings 6th International Congress of Genetics” I, 1932, s. 356-566.

## ŹRÓDŁA ILUSTRACJI

Rysunki wykonane przez Lallę Ward: 1.7, 1.9, 1.10, 1.13, 1.14,2.9, 3.1, 3.3, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 5.1, 5.15, 6.3, 6.4, 6.10, 6.13, 6.15, 7.3, 7.8, 7.15a, 7.16, 8.2, 8.3, 8.6; za Holldoblerem i Wilsonem: 1.2; za Wilsonem: 1.3; za Eberhardem: 1.11; za Bristowe'em: 2.6; za M. F. Landem: 5.30; za Brusca i Brusca: 7.10; za Collins Guide to Insects: 7.11; za Heijinem z Ulenbergu: 10.6.

Ryciny komputerowe wykonane przez autora książki: 1.14, 1.15., 1.16, 5.3\*, 5.5', 5.6\* 5.7\*, 5.9\* 5.10\*. 5.11\*; 5.12. 5.20\*, 5.28, 6,2\*. 6.3\*, 6.5, 6.6, 6.8, 6.11, 6.12, 6.14, 7.1, 7.9, 7.12, 7.13; 7.14 (ryciny oznaczone gwiazdką zostały poprawione przez Nigela Andrewsa). Rycina komputerowa wykonana przez Jeremy'ego Hopesa: 5.13.

Autorzy zdjęć:

Heather Angel: 1.5, 1.12b, 5.21, 8.1.

Ardea: 1.8 (Hans D. Dossenbach), 1.12a (Tony Beamish), 6.7 (P. Morris), 9.3e (Bob Gibbons).

Euan N. K. Clarkson: 5.28.

Bruce Coleman: 10.3a (Gerald Cubitt).

W. D. Hamilton: 10.1, 10.2, 10.4, 10.5, 10.7.

OleMunk: 5.31.

NHPA: 6.1 (James Carmichael Jr.).

Chris OToole: 1.6a i 1.6b.

Oxford Scientific Films: 1.4 (Rudie Kuitert), 2.1 (Densey Clyne), 5.19 (Michael Leach), 5.19b (J. A. L. Cooke), 10.2b (K. Jell), 10.3b (David Cay-less).

Portech Mobile Robotics Laboratory, Portsmouth: 9.2.

Prema Photos: 8.5 (K. G. PrestonMafham).

David M. Raup: 6.9.

Science Photo Library; 9.3a (A. B. Dowsett), 9.3b (John Bavosi), 9.3c (Manfred Kage), 9.3d (David Patterson), 9.6 (J. C. Revy). Fritz Vollrath: 2.2, 2.3, 2.4, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13. Zefa: 9.1.

1.1 z: J. Mitchelli: Simulacra. Thames and Hudson, Londyn 1978. 2.5 z: Hansell (1984).

2.7 i 2.8 z: Robinson,(1991).

2.14 i 2.15 z: Terzopoulos i in. (1995) (c) 1995 by the Massachusetts Institute of Technology

3.2: dzięki uprzejmości pisma „Hamilton Spectator”, Kanada.

4.1: dzięki uprzejmości J. T. Bonnera 1965, (c) Princeton University Press. , i

5.2 z: Dawkins (1986) *Crycina Bridgeta Peace'a*.

5.4a, 5.4b, 5.4d, 5.8a-e, 5.24a, 5.24b z: Land (1980). za: Hesse (1899).

5.4c z: Salvini-Plawen i Mayr (1977), za: Hesse (1899).

5.16a i 5.16b z: Hesse, za: Untersuchungen fiber die organe der Lich-tempfindung bei niederen thieren. „Zeitschrift fur Wissenschaftliche Zoologie”, 1899.

5.17, 5.19d i 5.19e, 5.25, 5.26: dzięki uprzejmości M. F. Landa.

5.18a i 5.18f, 5.27, 5.30: ryciny Nigela Andrews.

5.22: rysunek Kuno Kirschfeld, reprodukowany za zgodą Naturwis-senschaftliche Rundschau, Stuttgart.

5.23: dzięki uprzejmości Dana E. Nilssona, z: Stavenga i Hardie (red., 1989).

5.29a-e: dzięki uprzejmości Waltera J. Gehringa i in., z: Georg Haider i in. (1995).

6.16 z: Mainhardt (1995).

7.2, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7 z: Ernst Haeckel: *Kunstformen der Natur*. Verlag des Bibliographischen Instituts, Lipsk i Wiedeń 1904.

7.15b z: Raff i Kaufman (1983), za: Y. Tanaka: *Genetics of the Silkworm*. „Advances in Genetics” 5, 1953, s. 239-317.

8.4 z: Wilson (1971), za: Wheeler, 1910, wg F. Dahl. 9.4: Jean Dawkins.

9.5 (c) K. Eric Drexler, Chris Peterson i Gayle Pergamit. Wszystkie prawa zastrzeżone. Opublikowane za zgodą z: *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*. William Morrow, 1991.