

**TYGODNIK
POWSZECHNY**

Nr 48/2016

**WIELKIE
PYTANIA 3**

Porządek i CHAOS



**Copernicus
Center**



03 Co dwa wahadła, to nie jedno
MICHAŁ ECKSTEIN
Dwa ciężarki – nieskończoność możliwości



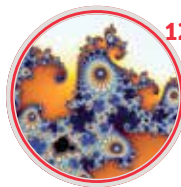
04 Chaotyczne wibracje
GRZEGORZ BANASZKIEWICZ
Sztuka, która tworzy się sama



06 Na początku była biała kartka
ŁUKASZ LAMŻA
Co robi świat, kiedy się nudzi



10 Na straży biologicznego porządku
KINGA WOŁOSZYN, MATEUSZ HOHOL
Jak dobór naturalny odsiewa niekorzystne mutacje



12 Piękne oblicze chaosu
SEBASTIAN J. SZYBKA
Małe zmiany i doniosłe konsekwencje



16 Matejko, oczy i mózg
ŁUKASZ JACH
Jak mózg wprowadza porządek



19 Dziedzictwo Linneusza
ŁUKASZ KWIATEK
Skąd wzięła się systematyka biologiczna



22 Siły chaosu i siły ładu
MICHAŁ KUŹMIŃSKI
Kryminalistyka: nauka kontra zbrodnia

Redakcja i recenzje: Łukasz Lamża
Współpraca: Michał Kuźmiński, Łukasz Kwiatek
Opracowanie graf.: Marek Zalejski
Fotoedycja: Grażyna Makara, Edward Augustyn
Skład: Artur Strzelecki, Andrzej Leśniak
Okładka: Torsten Schon / East News
Współwydawca: Fundacja Centrum Kopernika



Copernicus Center



ŁUKASZ LAMŻA

W zgodzie z duchem tej serii dodatków postanowiliśmy przekonać dziś Państwa, że dwa wielkie pojęcia pomagające nam w zrozumieniu świata – chaos i porządek – nie są wcale sobie tak przeciwne, jak by się to mogło na pierwszy rzut oka wydawać. A można by przecież uznać, że są ludzie porządni i ludzie chaotyczni; że pewne zagadnienia są zawikłane, a inne zupełnie proste; że pokój nie posprząta się sam. Ba!... mamy zwykle bardzo określone oczekiwania wobec sposobu, w jaki porządek i chaos następują po sobie. Intuicja podpowiada nam, że chaos to nieupilnowany porządek, a powtórne wyłonienie się ładu następuje dopiero po długim i pracowitym ujarzmianiu nieładu.

Rzeczywistość łamie nasze oczekiwania. Bywa tak, że to, co wydaje nam się uporządkowane, jest takie tylko na pozór, za sprawą spontanicznej aktywności mózgu ludzkiego, który uparcie doszukuje się prawidłowości w świecie. Ta potrzeba

harmonii prowadzi do prawdziwych dramatów, kiedy poszukującym regularności naukowcom (albo detektywom...) przychodzi się zmierzyć z rzeczywistością, czasem przytłaczającą złożonością świata. Niekiedy wystarczy najdrobniejsze machnięcie skrzydeł ważki, aby układ cudownie prosty i przewidywalny zamienił się w coś okrutnie złożonego i nieprzewidywalnego, zaś ład potrafi wyłonić się spontanicznie pośrodku najstraszliwszego chaosu.

Aby odrobina twórczego chaosu zawitała również na łamy „Tygodnika”, postanowiliśmy zaproponować Państwu, obok eksperymentalnego układu tekstu, również krótkie urywki z literatury, które ilustrują omawiane przez nas napięcie na linii porządek–chaos. Z jednej strony będą to cytaty z literatury dla młodzieży – bo czemu nie? – a z drugiej: pisane z przymrużeniem oka recenzje książek, które wcale nie są nowościami wydawniczymi, natomiast świetnie ilustrują odwieczne dążenie człowieka do tego, aby pośród chaosu świata odnaleźć swoją małą kroplę porządku. ©





ARCHIWUM PRYWATNE

Podwójne wahadło to wahadło zawieszona na wahadle. Gdy puści się je w ruch, wykonuje ono niebywale wyrafinowane tańce w przestrzeni. Na zdjęciach instalacja Grzegorza Banaszkiwicza, w której do drugiego wahadła została doczepiona kolorowa dioda.

Co dwa wahadła, to nie jedno

MICHAŁ ECKSTEIN

Z czym nam się kojarzy wahadło? Hipnoza, metronom, stary zegar – słowem, koszmarna nuda. A gdyby tak na końcu wahadła doczepić drugie? Czy będzie dwa razy nudniej? Przekonajmy się...

Wiszą sobie swobodnie, trącamy je lekko palcem i... nic spektakularnego się nie dzieje. Pokuśtały się wahadłeczka na boki i zgąsły stłumione oporami tarcia i powietrza. No dobrze, spróbujmy trochę mocniej je rozbijać. O! A to co? Dolne wahadło nieźle się rozszalało! Na początku leci z impetem w dół po okręgu, a potem gwałtownie zmienia zwrot, szybuje do góry i znowu na dół. Trzeba to nagrać.

O! Ta figura była ładna, spróbujmy ją powtórzyć. Hmm... Nie udało się, chociaż wypuściliśmy wahadło dokładnie z tej samej pozycji. No dobrze, podejźmy do sprawy bardziej systematycznie: weźmy ekerkę

i wychylmy ramiona dokładnie o kąt prosty. Całkiem nieźle! Na początku oba ramiona huśtały się razem na boki, ale później dolne się zbuntowało i zaczęło harcować. A teraz to powtórzmy. Hmm... To bardzo dziwne! Zaczyna się tak samo – spokojnie, ale dalsze tańce wyglądają już inaczej niż poprzednio. Może krzywo trzymaliśmy ekerkę? Spróbujmy jeszcze raz. Znowu inaczej! Może ekerka jest krzywa?

Po kilkuset próbach i zapchaniu pamięci w kamerze wciąż nie potrafimy okiełznać podwójnego wahadła. Zawsze jest tak samo: dolne ramię najpierw jest grzeczne, a potem wyczynia, co chce! I za Chiny nie potrafimy go zmusić, żeby powtórzyło ten sam taniec dwa razy. Kompletny chaos!

Czy to się w ogóle da opisać w sposób ściśle? Czyżbyśmy właśnie odkryli wyrwę w racjonalności świata?

Oksymoron

A jednak w tym szaleństwie jest metoda. Możemy opisać ściśle podwójne wahadło, choć trzeba się w tym celu nauczyć teorii równań różniczkowych. Brzmi to dość przerażająco, ale dla chcącego nic trudnego. W końcu mamy teraz komputery, więc wystarczy zapisać równania, a maszyna zrobi za nas resztę. Napisaaliśmy więc program i oto możemy symulować nasze wahadła. Wszystko działa, jak Pan Bóg przykazał – dla zadanych początkowych kątów →

wychylenia, nieważne, czy małych, czy dużych, dostajemy zawsze taki sam ruch. No więc skoro nasz komputer zachowuje się racjonalnie, to dlaczego wahadło na ścianie nie chce? Tu determinizm, a tam chaos... Sprzecznosc? Niekoniecznie.

W szkole polonisci powtarzali mi, że koleda „Bóg się rodzi” zawiera oksymorony, np. „ma granice nieskończony”. Jako wyszczekany uczeń odpowiadałem: „Jaki tam znowu oksymoron? Przecież istnieje nieskończenie wiele ciągów nieskończonych, z których każdy ma dobrze określoną granicę”. Podobnie jest z chaosem deterministycznym – nie ma tu sprzeczności, jest piękna matematyka.

Jak zatem uzgodnić determinizm symulacji z chaosem rzeczywistego wahadła? Wystarczy trochę się pobawić warunkami początkowymi w naszym programie. Dla kąta wychylenia równego 90 stopni dostajemy pewną krzywą i zawsze taką dostaniemy, ilekroć uruchomimy symulację. Ale jeśli zamiast kąta prostego weźmiemy 91 stopni,

to ruch wahadła tylko początkowo będzie przypominał ten otrzymany poprzednio. Po jakimś czasie harce będą wyglądać zupełnie inaczej. 1 stopień kątowy różnicy to nie aż tak mało, spróbujmy zatem 90,1 albo 90,0001. I co? Na początku znów jest podobnie, ale po dostatecznie długim czasie symulacje zaczynają się różnić od tej dla 90 stopni, i to drastycznie! W teorii zatem ruch wahadła jest deterministyczny, ale żeby przewidzieć dokładnie kształt krzywej, jaką wykreśli, musielibyśmy znać warunki początkowe z nieskończoną precyzją.

Ekierki nie są idealne, a ręka podekscytowanego eksperymentatora drży, więc wahadło, choć w pełni racjonalne, nie pozostaje obojętne na naszą niedoskonałość.

Sztuka dla odważnych

Fantazyjne krzywe zakreślane przez podwójne wahadło niewątpliwie są piękne. Doskonale widać je na ekspresyjnych fotografiach prof. Grzegorza Banaszkiewicza. Fa-

scynujący jest fakt, że wszystkie te prace powstały właściwie przez przypadek. Artysta decyduje o tym, z jakiej pozycji puścić wahadło i czy nadać mu jakąś prędkość początkową, a reszta jest już dziełem praw fizyki. Choćby jednak autor nie wiem jak się starał, to nie uda mu się wytworzyć dwóch takich samych obrazów. Wahadło prof. Banaszkiewicza zostało zaprojektowane tak, by miało możliwie dużą energię całkowitą, o czym artysta boleśnie się przekonał [zob. wywiad obok – red.]. Duża energia gwarantuje jednak dużą zmienność i bardziej zwariowane tańce wahadła, a prawdziwa sztuka wymaga poświęceń!

Prace prof. Banaszkiewicza pozwalają na kontemplację zarówno determinizmu, jak i chaosu obecnego w ruchu wahadła. To, co zobaczymy, zależy od tego, co chcemy zobaczyć – zgodnie z wizją artysty. Istnieje jednak również sposób, który pozwala zobrazować strukturę matematyczną podwójnego wahadła „globalnie” – nie przez pryzmat pojedynczych ruchów.

Chaotyczne wibracje

GRZEGORZ BANASZKIEWICZ:

Teoretycznie wszystko wygląda prosto i elegancko. W praktyce wszystko, co może się nie udać, kiedy się nie uda.

ŁUKASZ LAMŻA: Dzień dobry!

GRZEGORZ BANASZKIEWICZ: Dzień dobry.

Dziękuję, że zgodził się Pan porozmawiać. Tylko jest pewien problem – musiałem jednak dzisiaj zostać w domu z dziećmi. Może zadzwonię kiedy indziej?

Nie, proszę się nie przejmować...

One będą trochę przeszkadzać... To dwulatka i czterolatek. Będę miał doczepione do siebie takie dwa... wie Pan, wahadła...

To nawet lepiej, zobaczymy, gdzie nas pobujają.

Jak są skonstruowane Pańskie wahadła?

Było kilka modeli, chyba trzy lub cztery. Wie pan, wahadło podwójne jest matema-



Kaligrafia przestrzenna Grzegorza Banaszkiewicza. Takie kształty zarysowuje w ciągu kilku sekund końcówka drugiego wahadła wyposażona w kilka białych diod, fotografowana w ciemnym pomieszczeniu.

tycznie jedno – jest to tak naprawdę bardzo prosta idea: jeden ciężar i doczepiony do niego drugi ciężar. I tyle. Kiedy jednak przychodzi do skonstruowania rzeczywistego wahadła, okazuje się, że istnieje nieskończona liczba konkretnych rozwiązań technicznych. I fakt, że są to obiekty fizyczne, prowadzi do pewnych problemów. Pierwsze podwójne wahadło, które zrobiłem, było wykonane z dość solidnych zamkniętych przekrojów aluminiowych spiętych takimi... elementami stalowymi.

To było to wahadło zamontowane w Pańskiej pracowni na filarze drewnianym, to ze zdjęć?



Tak, to. I ono kiedyś w nocy spadło z mocowania. A właściwie to niezupełnie w nocy, tak już nad ranem. Dostałem w ramię, potem wahadło spadło na podłogę, był spory huk. Przekrój takiego elementu to dwa i pół na cztery centymetry, ramiona miały około metra długości. To swoje wazyło. Do dzisiaj w tym miejscu jest ślad w podłodze. Przybiegł mój sąsiad z dołu, policjant.

Wykazał zrozumienie?

Pouczył mnie na okoliczność zakłócania porządku, jak to policjant. Ja się trzymałem za to zakrwawione ramię i kiwałem głową, że już nigdy więcej. Więc następne waha-

Idea jest stosunkowo prosta: na początku wychylamy każde z ramion wahadła odpowiednio o kąt θ_1 i θ_2 . Puszczamy wahadło w ruch i pytamy, po jakim czasie T dolne ramie znajdzie się do góry nogami. Interesuje nas zatem sporządzenie wykresu $T(\theta_1, \theta_2)$. A żeby nasz diagram był czytelny, przyjmijmy następujące zasady kolorowania punktów na płaszczyźnie. Jeśli ramie odwróci się po czasie krótszym niż τ_0 (w naturalnych jednostkach czasu zdeteminowanych przez długość ramienia wahadła), to malujemy punkt zielony. Jeśli zajmie mu to pomiędzy 10 a 100, to stawiamy czerwoną kropkę, dla przedziału 100-1000 – fioletową, a dla wartości T między 1000 a 10000 – niebieską. Jeśli dolne ramie nie stanie dęba w czasie krótszym niż 10000, to zostawiamy białą plamkę na naszym wykresie. Dysponując dobrym komputerem, możemy upiększyć nasz obraz, dzieląc powyższe przedziały na mniejsze i przyjmując np., że dla krótszych czasów zastosujemy ciemniejszy odcień.

dło miało już okrągły profil, tylko wtedy jest kłopot z mocowaniem.

A jakie wersje poszły w świat? (Zosia, zostaw mu ten klocek!)

Cóż, zdjęcia zrobiłem wszystkim wersjom, ale problem z galerią jest taki, że dzieło musi spełniać wymogi bezpieczeństwa. Moje wypadki w pracowni to moja prywatna sprawa, ale gdybym tak skasował widza, byłby skandal. Poza tym nie da się technicznie zrobić tak, żeby widz w pełni doświadczył kształtu powstającej figury. Zdjęcie naświetlam sobie tak długo, jak chcę, a widz widzi tylko fruający punkt świetlny.

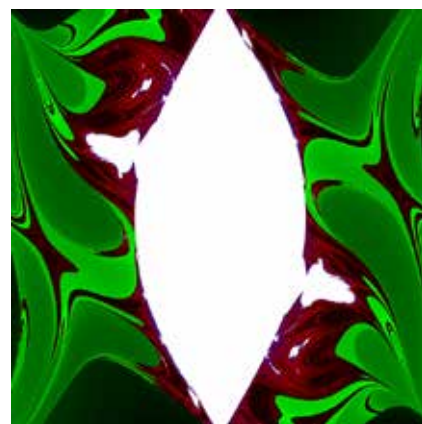
No i zdjęcia wychodzą świetnie.

Tak, ale szkoda jednak, że nie wychodzi z samym wahadłem.

O, choćby taka sprawa: wahadło musi być przecież pobudzane do ruchu. Tutaj, w pracowni, ja sobie podtrzymuję zawias ręką, podnoszę wahadło i je puszczam. Na wystawie, w galerii, trzeba by nadać wahadłu co jakiś czas pewien impuls mechaniczny, żeby ono się znówu zaczynało kręcić – ale impuls mogę nadać tylko pierwszemu wahadłu, bo drugie musi być na nim swobodnie zawieszona. Eksperymentowałem trochę z rozrusznikiem motocyklowym, ale to pchnięcie potrafi być tak niefortunne, że w pewnym momencie drugie wahadło doznaje zbyt silnych przyspieszeń i po prostu zawias pęka. Nie chciałbym, żeby takie rzeczy groziły ludziom...

Czego się spodziewamy? Środek obrazu powinien być biały – jeśli początkowe wychylenie jest zbyt małe, to wahadło nie będzie miało dość energii, by dokonać pełnego obrotu. Z drugiej strony, brzegi wykresu będą (ciemno)zielone – im większe wartości kątów, tym większy potencjał do gwałtownych ruchów. Naiwnie można by się zatem spodziewać, że nasz rysunek będzie po prostu centralną białą plamą, która wraz z odległością od środka robi się niebieska, fioletowa, czerwona i w końcu zielona. Jednak prawdziwy wykres (zob. rys. obok) ukazuje nam niebywale bogatą strukturę, niemożliwą do powtórzenia dla najzdolniejszego nawet grafika!

Co uprawnia mnie do tak radykalnej oceny możliwości ekspresji artysty? Otóż: fraktalna struktura wygenerowanego obrazu. Jeśli przybliżymy np. dzwonekowany biały obszar w lewym górnym rogu rysunku i zwiększymy rozdzielczość, to okaże się, że jego brzegi bynajmniej nie są gładkie, lecz niezmiernie poszarpane. Fraktalność \mapsto



STRUKTURA FRAKTALNA w ruchu podwójnego wahadła. Na osiach (lewej i dolnej krawędzi) odłożono wartości początkowe kątów wychylenia ramion θ_1 i θ_2 . Kolory poszczególnych punktów odpowiadają czasowi, po jakim dolne wahadło po raz pierwszy obróci się o 180 stopni. Zasady kolorowania – opisane w tekście. Ilustracja ta pokazuje, że nawet najdrobniejsza różnica w początkowym ustawieniu wahadła może dramatycznie zmienić jego ruch.

Ale po co właściwie pokazywać ludziom wahadło?

Po co ja to robię?

Tak.

Hmm... ja nie jestem filozofem, ale pozwolę sobie trochę pofilozofować. Mogę?

Ależ proszę bardzo. (Dzieci, spokojnie!...)

Widzi pan, artysta może mieć czasem rację, nawet nie wiedząc, czemu. Kafelkarze Alhambry zawarli w tych mozaikach wszystkie dozwolone transformacje na płaszczyźnie. Czy oni studiowali geometrię? Nie. Ale jakoś do tego dotarli... może mi też się uda do czegoś dojść tą moją chłopską filozofią? No więc tak: proszę mi powiedzieć, ile praw jest zaangażowanych w to, co robi wahadło? Teoretycznie – niewiele. I wszystko to da się bardzo ładnie zapisać językiem nauki, językiem matematyki. Są więc ludzie, którzy twierdzą, że całe wahadło po prostu policzą. Jeżeli trzeba wziąć pod uwagę jeszcze tarcie, opory powietrza, to się je weźmie pod uwagę i obliczy. Inny człowiek powie jednak, że tego nigdy nie policzymy – że z samej konstrukcji świata wynika, iż obliczenie ruchu wahadła jest niemożliwe, że taka jest zasada świata i jedyne, co można zaobserwować, to pewne granice, w których dokonuje się ruch, ale przewidzieć tego nie sposób.

A Pan jak twierdzi?

No więc jest też trzeci punkt widzenia – że w samym wahadle widać i jedno, i dru-

gie. Możemy przecież mówić po prostu o tym, co widzimy. Ale ludzie mają tendencję do opowiadania się za jakimś poglądem, po czym przyjęcie poglądów adwersarza staje się niemożliwe... Więc wahadło jest swego rodzaju obrazem świata – każdy w nim zobaczy...

Panie Profesorze, przepraszam, że przerywam w takim momencie... tu jest taka sytuacja... (odgłos dziecięcych krzyków)

Tak?

Mam tu mały konflikt, poszło o pewien naprawdę ważny klocek... (Dzie-CI!...)

No tak, słyszę krzyki... Ale to nawet bardzo stosowne, że wie pan, te wahadła nasze...

Tak (chrząknięcie) wahadetka. Hmm. To może... ja napiszę maila i... (głośny płacz)

Proszę napisać.

Dziękuję, do usłyszenia... (Staszek!! Zosia!!) (koniec nagrania)

©
Rozmawiał ŁUKASZ LAMŻA

PROF. GRZEGORZ BANASZKIEWICZ jest artystą i wykładowcą akademickim. Tworzy grafikę warsztatową i cyfrową, rysunki, fotografie, instalacje graficzne i inne formy. Prowadzi zajęcia na Akademii Jana Długosza w Częstochowie, m.in. z litografii i technik obrazowania graficznego. Mieszka w Krakowie.

→ polega na tym, że w dowolnym przybliżeniu zawsze zobaczymy podobne nieskończone złożone wzory. Jeśli, zamiast przedziałów, zastosowalibyśmy ciągłą gradację koloru punktu, to struktura fraktalna byłaby widoczna w dowolnym obszarze diagramu – poza centralnym białym obszarem.

Wahadłowa lekcja o świecie

Podwójne wahadło jest trochę jak para dzieciaków bawiących się klockami. Na początku bawią się zgodnie i, znając ich upodobania, możemy ze sporym prawdopodobieństwem stwierdzić, że Stasio zbuduje podest, a Zosia weźmie ludziki. Jednak, po pewnym czasie, do niewinnej zabawy zawsze wkradnie się chaos. Wypadki szybko mogą przybrać dramatyczny charakter i konieczna będzie interwencja rodzica, działającego niczym opór powietrza tłumiący energię wahań.

Powyższa analogia jest dokładniejsza, niż mogłoby się wydawać. Chaos deterministyczny jest zjawiskiem powszechnym, które zachodzi w każdym układzie złożonym, czyli zasadniczo wszędzie. Systemem złożonym jest pogoda, nasz układ planetarny, giełda papierów wartościowych, migracja ludności i niewątpliwie również mózg ludzki. Ma to dramatyczne konsekwencje dla naszych zdolności przewidywania przyszłości.

Spójrzmy jeszcze raz na ilustrację na poprzedniej stronie – są na niej miejsca, gdzie obszar zielony odpowiadający krótkiemu czasowi obrotu nieomal przylega do rewiru białego oznaczającego, że przeskok w ogóle nie nastąpi. W praktyce oznacza to, że ustawiając początkowe wychylenia, nie mamy zielonego (ani białego) pojęcia o tym, w którym momencie dolne wahadło stanie dęba. Podobnie nie wiemy, kiedy Zosia ze Stasiem zacznie się dzisiaj kłócić, chociaż mamy im te same klocki w tym samym pokoju i o tej samej godzinie co zwykle. Można się zżymać i pytać, dlaczego akurat dzisiaj pada deszcz albo zniżkuje kurs akcji, ale to w żaden sposób nie pomoże nam zrozumieć, jak na przyszłość nie zmoknąć i nie stracić na giełdzie.

Taka jest natura świata i musimy się z tym pogodzić. Dobra wiadomość jest taka, że na pewno nie będzie nudno. ©

MICHAŁ ECKSTEIN

Autor jest doktorem matematyki oraz fizykiem, pracownikiem Uniwersytetu Jagiellońskiego i członkiem Centrum Kopernika.

Na początku była biała kartka

LUKASZ ŁAMŻA

Świat ma ciekawą cechę: kiedy jakiś jego fragment jest jednorodny i nijaki, spontanicznie zaczyna w nim dochodzić do wyłaniania się form. Wygląda to tak, jak gdyby świat się... nudził.

Zacznijmy jednak od początku. Wielki Wybuch jest zwykle opisywany w fatalnie mylący sposób. Czasem jako faktyczny wybuch, eksplozja – co sprawia, że oczami wyobraźni widzimy kulę ognia, języki płomieni i fruwające we wszystkie strony szrapnele cząstek elementarnych. Czasem jako „punkt początkowy” – co sprawia, że zaczynamy sobie wyobrażać jakieś zwężające się do punktu baloniki. A to wszystko nie tak...

Zróbmy inaczej. Wyjdźmy od zmysłów. Nauka jest wszak przedsięwzięciem opartym na obserwacjach, na danych zmysłowych. Prawdziwie naukowy opis Wielkiego Wybuchu powinien więc nam mówić o tym, jakie generuje wrażenia zmysłowe, prawda? Czego więc doświadczyłby obserwator przeniesiony w bezpiecznym kombinie w pionie w pierwszą sekundę życia naszego Wszechświata?

Zapach Wielkiego Wybuchu

Zmysły węchu i smaku nie powiedziałyby nam nic, ponieważ nasze nabłonki węchowe i smakowe są zoptymalizowane raczej pod kątem rozróżniania subtelnych różnic między związkami organicznymi, a nie między rozpędzonymi do prędkości światła odmianami kwarków. Wielki Wybuch nie smakuje więc i nie pachnie.

Zmysł dotyku powiedziałby nam najprawdopodobniej – gdybyśmy heroicznym doprawdy aktem wyobraźni założyli, że ręka ludzka zanurzona w plazmie o temperaturze biliona stopni wciąż informuje nas o konsystencjach i kształtach – że wszystko wokół nas to jednorodna supergęsta zupa. Człowiek zanurzony w Wielkim Wybuchu czułby się mniej więcej tak, jak wetknięty w wyjątkowo lepkie, jednorodne bagno – unieruchomiony lub brodzący z wielkim trudem, bez możliwości wymacania lub złapania czegokolwiek.

Zmysł słuchu podawałby do naszej świadomości wyłącznie nieprzerwany, ogłuszają

jący, jednolity szum. Z odgłosów naturalnych najbliższy mu byłby prawdopodobnie ów niemal fizycznie odczuwalny świst, którego doznajemy, gdy wystawimy ucho pod wyjątkowo silny wiatr. Z odgłosów nienaturalnych oczywistym kandydatem jest szum odbiornika telewizyjnego nienastawionego na żaden kanał.

Zmysł wzroku zostałby zalany potężnym, nieprzerwanym, idealnie śnieżnobiałym światłem, bez żadnej skazy i najmniejszego choćby dostrzegalnego gołym okiem śladu struktury.

Młody Wszechświat to niekończąca się przestrzeń, płodna pierwotną energią, ale wciąż niezrealizowana i bez treści. Pusta nie z braku materii, lecz formy. Jak idealna niezapisana kartka.

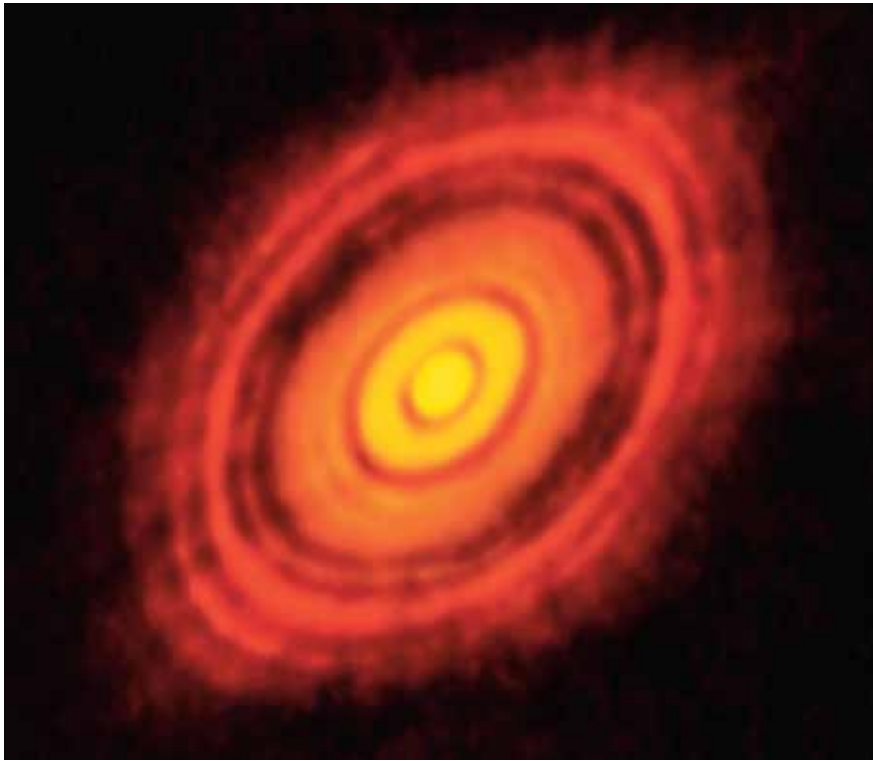
Świat tymczasem jest grafomanem i czyta kartka go kusi. Śwędzi. Niemogący tworzyć Kosmos jest jak wielkie spętane zwierzę – stopniowo więc, uzyskując swobodę ruchu w miarę rozluźniania się dławiącej go siatki czasoprzestrzennej, zaczyna rozpręczać się i sięgać po własny ogon. I tak, po trochu, stają się rzeczy i zdarzają się zjawiska.

Przyjrzyjmy się może metodologii tego kosmicznego samowzbudzenia. Zapewnienie nieskończonej pustej przestrzeni tysiącem i jedną opowieścią dokonuje się bowiem w ściśle określonym porządku.

Pierwszy rozdział: skąd gwiazdy?

Każdemu bowiem, kto ma, będzie dodane, tak że nadmiar mieć będzie. Temu zaś, kto nie ma, zabiorą nawet to, co ma (Mt 25, 29).

Świat nie wybrzydza i pracuje z tym, co ma. Parę milionów lat po Punkcie Zero, kiedy gęstości materii spadły do warunków znanych już z dzisiejszego Kosmosu, gaz kosmiczny zaczął rozpręczać się w miarę swobodnie, nieuwiązany już do kosmicznego pola promieniowania, jak wcześniej. Występujące w nim niewielkie nawet niejednorodności gęstości zaczęły tymczasem narastać. Dzia-



ALMA / ESO / NASA

Dysk protoplanetarny wokół gwiazdy HL Tauri. Jeszcze parę milionów lat temu była to nieciekawa chmura zapyłonego gazu. Niedługo przemieni się w układ planetarny. Tak powstają światy.

ła tu prosty mechanizm dodatniego sprzężenia zwrotnego – im więcej materii, tym silniejsze lokalne pole grawitacyjne, a więc tym silniejsza tendencja, aby w tym miejscu gromadziło się jeszcze więcej materii.

Pierwszy krok na drodze od Chaosu do Kosmosu polegał zatem na pracowitym dogęszczaniu tych obszarów Wszechświata, których gęstość była trochę wyższa od otoczenia. W ten sposób powstały pierwsze protogalaktyki – amorficzne chmury gazu, których potrzeba setek, aby ulepić normalnej wielkości galaktykę jak Droga Mleczna, ale stanowiące niejako pierwszą próbę organizacji w skali galaktycznej.

W ramach tych skupień dochodziło do ponownego powtórzenia tej samej sztuki, tylko w mniejszej skali: lokalne chmurki gazu po przekroczeniu gęstości krytycznej są w stanie zapadać się, gromadząc tym samym jeszcze więcej materii. Gdyby nie pojawiła się żadna siła powstrzymująca, gęstość w centralnym punkcie takiego dośrodkowego wiru rosłaby w nieskończoność. Szczęśliwie w pewnym momencie zagęszczony i rozgrzany gaz kosmiczny zapala się, a powstały w ten sposób obiekt określamy jako gwiazdę.

Tym, co może wydawać się oczywiste, ale w rzeczywistości budzi olbrzymie zainteresowanie naukowców, jest zasadnicza niestabilność jednorodnego rozkładu gazu. W klasycznej fizyce zwykle się uważa, że nie ma układu bardziej stabilnego niż pudełko jednorodnie wypełnione gazem; że świat ma ogólną tendencję do degeneracji i z czasem

każdy układ zdąża do tego, aby wszelkie formy porządku rozmyły się i nastąpiło idealne wymieszanie składników. Tendencja jest raczej taka, że skarpetki tworzące parę rozdzielają się z czasem, a nie spontanicznie odnajdują się na dnie szuflady i zwiijają w gotową do użytku kulkę; farba raczej kruszy się, odłazi z płotu, spada na ziemię i jest zmywana do rzeki, a nie na odwrót: unoszące się w strumieniu cząsteczki barwnika skupiają się do postaci barwnej drobiny, która odparowuje z rzeki, jest porywana przez wiatr i osiada na płocie, nadając mu z czasem piękny jednolity kolor. Wszelkie formy niejednorodności miałyby być – mówi klasyczna termodynamika – tylko tymczasowym, z wielkim trudem podtrzymywanym krokiem pośrednim na drodze do Doskonałego Wymieszania.

Tu mamy sytuację odwrotną – oto pięknie wymieszany zbiornik z gazem sam z siebie dokonuje lokalnego skupiania się w obiekty o wyższej gęstości. Rzecz w tym, że ojciec klasycznej termodynamiki nie myśleli o grawitacji, formułując fundamentalne prawa swojej dyscypliny. Od lat trwają próby powiązania nauki o grawitacji z termodynamiką; pierwszym odruchem naukowców było takie sformułowanie idei „porządku”, aby proces grawitacyjnego wyłaniania się protogalaktyk i gwiazd z jednorodnego pierwotnego gazu mimo wszystko dał się opisać jako przejście od porządku do nieporządku. Technicznie – aby takiej przemianie towarzyszył wzrost entropii. Matematycznie nie jest to trudne do zrobienia – mate-

matyka w ogóle jest bardzo grzecznym i posłusznym sługą fizyki (natomiast kiedy próbuje być panem, zaczynają się problemy, ponieważ jest to istota obdarzona nieposkromioną fantazją – królestwo fizyki pod miłościwym panowaniem matematyki staje się więc państwkiem owszem pięknym, ale o zgoła bajkowym charakterze). Zagubiona zostaje jednak pewna fundamentalna intuicja. Do dziś większość kosmologów przyciśniętych do muru przyzna, że trudno jest użyć słów „entropia” i „Wszechświat” w jednym zdaniu, a Roger Penrose (choćby w „Cyklach czasu”) pisze otwarcie, że przekonywujące pożenienie termodynamiki z kosmologią stanowi największą nierozwiązaną zagadkę współczesnej nauki.

Na razie jest tak, że świat wydaje się postępować na opak: tam, gdzie powinien – w zgodzie z klasycznymi zasadami fizyki – spocząć spokojnie i trwać w błogiej bezzjawiskowości, tam sam z siebie, niekarmiony żadną dodatkową energią, zaczyna wytwarzać coraz to nowe struktury. To jednak dopiero początek.

Rozdział drugi: skąd planety?

Nasz Wszechświat – taki, jakim go przedstawiliśmy na razie w tym tekście – nie ma w sobie jeszcze zbyt wiele treści. Ot, świecące kulki poutykane w wirujących chmurach gazu. Przyjrzyjmy się więc bliżej tym kulkom, w końcu jedna z nich dostarcza nam energii od paru miliardów lat.

Równoległe z zagęszczaniem się centralnego obszaru młodej gwiazdy wokół niej zaczyna się formować płaski dysk, zwany dyskiem akrecyjnym. Jest to pierwotna postać tego, co dziś określamy jako układ planetarny – zespół orbitujących wokół gwiazdy centralnej drobiazgów. Aby z płaskiego, gładkiego dysku gazowo-pyłowego powstało kilka osobnych planet i kilkadziesiąt pomniejszych planetek, świat znowu musi „zebrać się w sobie” i skłonić do aktywności twórczej. Bo przecież, zauważmy, mamy znowu to samo. Względnie jednorodne medium: po prostu płaski jak talerz dysk gazu z wirującymi w nim, jak kryształki śniegu w zawiei, drobnymi ziarenkami pyłu i lodu. A teraz? Jowisz z plamami, Mars z wulkanami, Ziemia z... szkoda gadać, z czym. Dysk protoplanetarny – bo tak też się go określa – to więc wolna przestrzeń do zagospodarowania. Jak to się dzieje tym razem? Znowu kluczowe będzie słowo „niestabilność”.

Istnieje całe zoo niestabilności występujących w dyskach protoplanetarnych. Ot, niestabilność magnetorotacyjna (wiem, zachęcająca nazwa). W skrócie idea jest następująca: zaczynamy od płaskiego dysku wirującego wokół punktu centralnego, który „prześląknęty” jest do tego polem

→

↳ magnetycznym. Jest to mniej więcej to, czego można by się spodziewać po młodym dysku protoplanetarnym – Słońce od pierwszych chwil swojego życia jest źródłem względnie silnego pola magnetycznego przenikającego Układ Słoneczny. Przyjrzyjmy się teraz małemu fragmentowi wirującego sobie spokojnie dysku. Jego wewnętrzna część (od strony Słońca) porusza się nieco szybciej od zewnętrznej – z tego samego powodu, dla którego Merkury porusza się szybciej od Ziemi, a Ziemia od Plutona. Dysk dąży więc do tego, aby się „rozciąć” – gdy włożymy w sam środek miski z ciastem naleśnikowym kopystkę i zaczniemy nią intensywnie kręcić, będzie to wyglądało z góry właśnie jak dysk protoplanetarny. Z drugiej strony pole magnetyczne jest, jak to się ładnie mówi, „wzmrożone” w gaz i do pewnego stopnia powoduje opór – za każdym razem, kiedy dwa elementy gazu odsuwają się od siebie na boki, pole magnetyczne działa jak łącząca je gumka i przy coraz większym odsunięciu działa coraz silniej. Jest to niestabilna sytuacja i z czasem w dysku powstają lokalne zawirowania – minitornado magnetyczne, w których linie pola zwijają się w spiralki, a gaz rozrzedza się.

Okazuje się, że tego typu mechanizm powstawania lokalnych wirów magnetycznych jest bardzo skuteczną metodą zagęszczania zawieszzonego w gazie pyłu. Gdy patrzy się z mostu na przepływającą dołem rzekę, można zauważyć, że wszystkie liście, patyki i śmieci zbierają się we względnie spokojnych punktach nurtu – pomiędzy silnymi wirami. Gdy patrzy się na garnek z rosółem, widać, że szumowina zbiera się w „spokojnych” miejscach pomiędzy obszarami, w których bulgocze. Wiry w pewnym sensie odpychają unoszący się w wodzie drobniak. Mogło być więc tak – chociaż nie musiało – że w spokojnych miejscach pomiędzy wirami magnetorotacyjnymi dochodziło do zbierania się pyłu protoplanetarnego, który zbijał się tam, scalał i ubijał, stanowiąc ostatecznie kluczowy krok na drodze od pyłków do planet.

Zanim spojrzymy na ten urywek astrofizyki planetarnej z odpowiedniej perspektywy, zapoznajmy się jeszcze z paroma przykładami. Przed filozoficznym deserem musimy solidnie pożywić się mięsem naukowego konkrētu.

Rozdział trzeci: skąd góry i chmury?

Istnieje cała masa niestabilności zachodzących w skali planety. Największą ich grupą są tzw. niestabilności hydrodynamiczne, czyli występujące w płynach, przy czym cały dowcip polega na tym, że w zasadzie

każdy materiał budujący naszą planetę: od powietrza i wody, przez lód i piasek, po najtwardsze na pozór skały, można traktować jako płyn. Czasem trzeba anielskiej cierpliwości, ale prędzej czy później wszystko „popłynie”. A do dyspozycji mamy przecież geologiczną skalę czasu...

Ot, przykład. Jednorodny zbiornik nieruchomego, podgrzewanego od spodu płynu zacznie w pewnym momencie – jeśli ów płyn jest odpowiednio „luźny” (mało lepki), a ogrzewanie wystarczająco intensywne – spontanicznie organizować się w wyrafinowane formy geometryczne, za pomocą których ciepło transportowane jest z dołu na górę. Tego typu wytrącenie ze stanu równowagi to właśnie prototypowa niestabilność.



NIM SPŁOSZENI CHŁOPCY zdążyli odplłynąć, okrążył ich pod wodą jakiś obły stwór, po czym rozległ się głośny bulgot i z głębin wynurzył się potężny tułów archiwariusza.

– To stryj?! – wybełkotał Kornel.

Dionizy, parszając i sapiąc, zagrzmiał:

– Musiałem się zanurzyć, mój chłopcze.

Byłem zbyt podniecony i rozpalony, co jest wysoce szkodliwe zwłaszcza dla archiwariuszy nienawykłych do silnych wrażeń.

– Ale dlaczego?

– Ponieważ rozwiązałem zagadkę.

– Zagadkę szyfru?! Niemożliwe!

– Sptynęło na mnie genialne olśnienie. Mniej więcej raz na dziesięć lat doznaję takiego olśnienia. Tłamszona w archiwum energia kumuluje się we mnie, gromadzi, zagęszcza i spręża, po czym wybuchu niespodziewanie i wtedy staję się na kilka minut genialny. Niestety, dotychczas te wybuchy genialności zdarzały mi się w okolicznościach nader niesprzyjających i nie mogłem wyładować się twórczo. Dopiero dziś...

■ EDMUND NIZIURSKI, „KLUB WŁÓCZYKIÓW”

Choć opis ten może wydawać się bardzo abstrakcyjny, właśnie tak modeluje się ruchy ziemskiego płaszczu, wywołujące ostatecznie ów przedziwny taniec powierzchni Ziemi zwany tektoniką płyt. W jakim sensie płaszcz skalny Ziemi można porównać do garnka na płycie gazowej? Po pierwsze, jest on, bądź co bądź, podgrzewany od spodu przez jądro Ziemi, wciąż gubiące po trochu ciepło swoich ognistych początków, oraz przez izotopy promieniotwórcze rozproszone po skałach budujących naszą planetę. Po drugie, choć materiałem budującym masę skalną Ziemi są przede wszystkim całkiem swojskie skały krzemianowe, to w temperaturach powyżej tysiąca stopni i w skalach czasowych milionów lat skały te powolutku „podpływają”. Skutek? Cała skalna powłoka Ziemi w ślimaczym tempie „pełźnie”, co na powierzchni daje o sobie znać trzęsieniami ziemi, zderzeniami kontynentów, rowami oceanicznymi itd. Zdarzeniem inicjującym ten taniec jest opisana przed chwilą niestabilność, zwana formalnie niestabilnością Bénarda.

Inny przykład. W sytuacji, gdy sąsiadują ze sobą zbiorniki płynu o różnych gęstościach, a ten lżejszy napiera na ów cięższy, może dojść do niestabilności Rayleigha-Taylora. Znowu zbyt abstrakcyjne? No to wyobraźmy sobie, że tym lżejszym płynem jest cienka, płaska warstwa soli kamiennej, która utknęła między pokładami skalnymi, jak warstwa kremu między dwiema warstwami kruchej ciasta. Jako że sól jest lżejsza od, powiedzmy, piaskowca, z czasem zaczyna dochodzić do głosu nieubłagane parcie w górę – z tego samego powodu, dla którego bąbelki powietrza „chce” wypłynąć na powierzchnię wody, jednak w zupełnie innej skali czasowej. Powstają przy tym przeróżnego typu grzebienie, grzyby i kolumny solne, które w skali milionów lat potrafią „wybić” na powierzchnię. Bochnia i Wieliczka są zlokalizowane właśnie przy tego typu tworach, wielkości wielu kilometrów, które po dziesiątkach milionów lat od pogrzebienia są dziś tuż pod powierzchnią. Niewykluczone, że w podobny sposób doszło też do powstania pierwszych kontynentów. Wiemy, że tak właśnie powstaje wiele naturalnych struktur w formie palców, grzybków i innego typu wypustek.

Jeszcze parę losowych przykładów i już kończę.

Jednorodny słup wody – np. taki, który wypływa z odkręconego kranu (albo moczowodu...), jest niestabilny: gdy pozwolić mu opadać swobodnie, po pokonaniu pewnej odległości zacznie się wić, pogrubiać i zwęźać, a ostatecznie podzieli się na poszczególne krople. To niestabilność Plateau-Rayleigha; znajduje zastosowanie w wyjaśnianiu zjawisk astronomicznych i atmosferycznych – wszędzie tam, gdzie jakiegoś typu strumień dzieli się na osobne kropelki. Dwie przesuwające się względem siebie warstwy płynu potrafią wzbudzać pomiędzy sobą regularne, spiralne fale – to niestabilność Kelvina-Helmholtza, obserwowana w ziemskiej atmosferze, w oceanach, ale też na powierzchni Jowisza. Jest to szczególnie skuteczna metoda generowania wielu małych, poskręcanych chmurek. Wiatr wiejący nad płaskim morzem piasku prędzej czy później wytworzy na nim zmarszczki, a potem wydmy. (Zjawisko to nie ma osobnej nazwy, ale mogłoby zostać nazwane niestabilnością Bagnolda, na cześć wielkiego badacza pustyni Ralpa Bagnolda).

Nic jest niestabilne

Nie jest oczywiście tak, że za k a ż d e zjawisko naturalne odpowiada pewnego typu niestabilność. Nie ma nic gorszego niż dobra obserwacja, którą z lenistwa intelektualnego próbuje się rozciągnąć do granic możliwości, tłumacząc nią wszystko. Można jednak pokusić się o innego typu uogólnienie: gdy tylko w przyrodzie pojawi się odpowiednio duży obszar jednorodności, dochodzi do jakiegoś typu niestabilności, która prowadzi z kolei do wyłaniania się drobnych form urozmaicających ten obszar. Kiedyś mówiło się, że Natura nie znosi próżni. Ja bym raczej powiedział, że nudy.

Co ciekawe, sformułowanie „obszar jednorodności” można rozciągnąć również na wymiar czasowy: zbyt długi okres nicnierobienia „lubi” być przerywany przez krótki zryw aktywności. Stąd epizodyczny charakter trzęsień ziemi i burz na Słońcu (a może wojen?). Okres pozornej ciszy jest w rzeczywistości stopniowym kumulowaniem się pewnego typu „ładunku”, który, początkowo rozproszony jednorodnie po całej objętości układu, w końcu zostaje „upuszczony” w postaci zlokalizowanej fali aktywności.

Cechą wspólną wszystkich opisywanych tu procesów jest spontaniczna samoorganizacja, prowadząca do nagłego wyłaniania się formy w nieuformowanej wcześniej materii. Często mówi się, że świat ma zdolność do samodzielnego wytwarzania form na podłożu pozornego chaosu – jest to jedno z wielkich odkryć XX wieku. „Zdolność” to jednak nie wszystko. Interesująca jest raczej nie sama abstrakcyjna hipotetyczna m o ż

l i w o ś ć, co widoczna gołym okiem, żywa s k ł o n o ś ć. Świat, zupełnie dosłownie, nie może ustać w miejscu. Nudzi się, jak grupka ludzi pozostawionych bez żadnego zajęcia w poczekalni u lekarza. Parę minut może i usiedzą. Po kwadransie zaczną się jednak rozmowy, a najpóźniej po godzinie wyłoni się komitet kolejkowy, który w końcu szturmem wdrze się do gabinetu, aby wyjaśnić przyczynę przedłużającego się oczekiwania.

John Cage, awangardowy kompozytor amerykański, zasłynął m.in. utworem o tytule „4'33””. Jego wykonanie dokonuje się następująco: instrumentalista (może być to np. pianista, choć znane są wersje w różnym składzie) siada do instrumentu, po czym nie generuje żadnego dźwięku przez cztery minuty i trzydzieści trzy sekundy. Jest to więc kompozycja na ludzkie szepty, szelesty marynarek i stłumione kaszłnięcia. Bo ludzie – nawet wyrobieni melomani, którzy znają dowcip – nie usiedzą cicho.

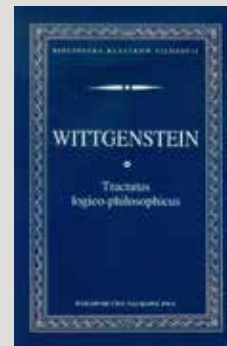
Jak daleko m o ż n a „pociągnąć” tego typu model? Cóż, istnieją we współczesnej spekulatywnej kosmologii modele „powstawania świata z próżni”. W praktyce owa fizyczna próżnia nie jest tak naprawdę prawdziwą metafizyczną pustką, lecz raczej dość bogatym ośrodkiem, któremu po prostu przydarzyło się być najprostszym możliwym stanem przestrzeni. Nie jest to nic, ale z pewnością nie występuje w nim też nic konkretnego – doskonały model pustej kartki papieru, która jest wszak papierem, tylko niezapisanym. Propozycja jest więc taka, iż pustota jest stanem niestabilnym.

Modelem takim bawił się kontynuator myśli Platona, filozof-mystyk Plotyn. Jego zdaniem świat jest efektem końcowym długiego procesu spontanicznego wyłaniania się kolejnych składowych świata z początkowej idealnej Jedni. Każde kolejne rozwinięcie tej Jedni było niesatysfakcjonujące; i procesu tego nie da się już dziś powstrzymać. Każda następna emanacja pierwotnej formy zawiera w sobie możliwość kolejnych form – tak jak liczba 1 domaga się liczby 2, a każda odpowiedź prowokuje do kolejnych pytań.

Tego typu rozumowanie wyjaśnia jednak tylko samo istnienie abstrakcyjnego drzewa możliwości, które rozgałęzia się w nieskończoność, żywiąc się stwórczym charakterem pierwotnej, autoreferencyjnej operacji logicznej. Aby ruszyła lawina bytu, do głosu musi jeszcze dojść wrodzone ADHD świata, które każe mu podążać za każdą z tych możliwości. Procesu tego nie da się zatrzymać. ©

ŁUKASZ ŁAMZA

Autor jest doktorem filozofii, nauczycielem akademickim, członkiem Centrum Kopernika i redaktorem działu naukowego „Tygodnika”.



Traktat

Powieść z tezą. Ludwig, młody austriacki inżynier, trafia w 25. roku życia na front I wojny światowej. W wolnych chwilach realizuje wielkie marzenie: chce opracować ostateczny, „jedyny ścisły” system filozofii, rozwiązujący wszystkie problemy naukowe i filozoficzne. Wizję swoją zapisuje w punktach, jak traktat matematyczny. Początkowo wszystko się zgadza: świat składa się z faktów, fakty znajdują odzwierciedlenie w myślach sensownych, a każdej myśli sensownej odpowiada poprawne logicznie zdanie. Tymczasem młody inżynier zostaje przeniesiony na front rosyjski, gdzie zaznaje pieką wojny. Z każdym kolejnym punktem jego zapał słabnie. „Wszystkie fakty należą jedynie do zadania, nie do rozwiązania”, zauważa Ludwig. W końcu kapituluje. Opracowana przez niego „jedynie ścisła metoda” nie rozwiązuje żadnego problemu życiowego. Ludwig stwierdza pogodnie: „Zdania moje wnoszą jasność przez to, że kto mnie rozumie, rozpoznaje w końcu jako niedorzeczne”. Traktat kończy się jednym z najśtywniejszych zdań w dziejach filozofii Zachodu.

■ Ludwig Wittgenstein, „Tractatus logico-philosophicus”, przeł. B. Wolniewicz. Wiele wydań

Na straży biologicznego porządku

KINGA WOŁOSZYN, MATEUSZ HOHOL

Dobór naturalny i mutacje genetyczne są silnikiem i paliwem ewolucji biologicznej. To dzięki nim w przyrodzie pojawiają się uporządkowane struktury, takie jak organizmy żywe.

W „Samolubnym genie” Richard Dawkins pisze, że darwinowska teoria ewolucji „pokazuje sposób, w jaki prostota może się zmienić w złożoność, jak nieuporządkowane atomy mogą grupować się w coraz to bardziej skomplikowane twory, by doprowadzić w końcu do powstania człowieka”. Wzrost złożoności, tak doskonale widoczny w historii ewolucyjnej naszego gatunku, nie jest jednak zawsze konsekwencją procesu ewolucji. W przyrodzie występuje wiele organizmów – takich jak np. łodziki – zachowujących swoją relatywnie prostą formę od bardzo długiego okresu. Współczesne gatunki tego morskiego głowonoga nie różnią się spektakularnie od własnych przodków sprzed ponad stu milionów lat (podczas gdy nasi przodkowie 80 mln lat temu przypominali szczury, które nieśmiało zaczęły wdrapywać się na drzewa). Łodziki mogły pozwolić sobie na konserwatywne trwanie w swojej dostosowanej formie, ponieważ ich środowisko życia – dość głębokie wody mórz i oceanów – jest znacznie bardziej stabilne niż choćby środowisko życia istot lądowych. Zabrakło wystarczająco silnych presji selekcyjnych, które wymusiłyby na łodzicach ewolucyjną zmianę (albo doprowadziły do ich całkowitego wyginięcia).

Od replikatora do komórki

Przetrwanie dostosowanych organizmów to szczególnie przypadek bardziej ogólnej prawidłowości, którą określić można jako „przetrwanie stabilnych”. Zgodnie z nią atomy nie trwają w chaosie, ale układają się w stabilne struktury. Taką strukturą jest np. cząsteczka białka obecna w naszej krwi, czyli złożona z 574 cząsteczek aminokwasów hemoglobina. Gdy spojrzymy na prze-

strzeny model cząsteczki hemoglobiny, zobaczymy złożoną z czterech łańcuchów strukturę przypominającą krzew, kopioną z ogromną wiernością miliardy razy w naszych ciałach. Nie ma tu miejsca na dowolność. Aby mogła pełnić swoją funkcję, hemoglobina musi być odpowiednio uporządkowana. Jak jednak powstały takie stabilne, powielające się struktury biologiczne? Nie mamy pewności, ale prawdopodobnie rzeczywisty bieg wypadków przypomina następujący scenariusz.

Zacznijmy od mitologicznego stwierdzenia, że „na początku był chaos”, albo popularyzatorskiego, że „na początku był pierwotny bulion”. Jeśli atomy na drodze przypadkowych zmian konfiguracji stworzyły stabilne struktury, przejawiały tendencje do trwania w niezmiennym kształcie. Jeśli struktury nie były wystarczająco stabilne, nie utrzymywały się. Proces taki ma jednak swoje ograniczenia – może doprowadzić do powstania cząsteczek złożonych z dziesiątek atomów, tymczasem komórki i złożone



CONTRIBUTOR / GETTY IMAGES

z nich organizmy, takie jak my sami, zawierają wręcz niewyobrażalną liczbę atomów. Jak możliwe jest ich odpowiednie uporządkowanie?

Jednym z możliwych rozwiązań tej zagadki jest przypadkowe powstanie cząsteczki o szczególnej własności – zdolności do tworzenia własnych kopii (dzięki przyłączaniu w odpowiednich konfiguracji atomów pływających w pierwotnym bulionie). Takie cząsteczki – Dawkins nazywa je „replikatorami” – mogły tworzyć całe populacje swoich kopii. Nie musiały wcale kopiować się ze stuprocentową dokładnością. W tym procesie mogły pojawiać się błędy, podobnie jak w przypadku kserowania dokumentu na przestarzałej kopiarce albo staroświeckiej metody ręcznego przepisywania ksiąg. Niektóre błędy mogły prowadzić do powstawania kopii, które nie mogły replikować się dalej – takie cząsteczki odpadały z wyścigu reprodukcyjnego na starcie. Ale inne błędy mogły zrodzić ulepszone repliki, częściej pozostawiające swoje wiernie, lub niemal wiernie, kopie. W konsekwencji w królestwie replikatorów narodziła się różnorodność i pojawiła konkurencja, a więc uruchomione zostały darwinowskie mechanizmy. Ostatni etap wyścigu pierwotnych replikatorów mogły wygrać te cząstki, którym udało się „wynaleźć” białkową powłokę ochronną, rozpoczynając budowę swoich „maszyn przetrwania” – stabilnych struktur, które ułatwiały poruszanie się w pierwotnym bulionie i zostawianie własnych kopii. Nie wiemy, czy właśnie tak wyglądały narodziny życia i pierwszych komórek, ale na współczesne komórki – a także na całe złożone organizmy – można patrzeć jako na „maszyny przetrwania” współczesnych replikatorów, czyli genów.

Siła czy konsekwencja?

Intuicja Karola Darwina przedstawiona w 1859 r. w jego *opus magnum* „O powstawaniu gatunków” była niezwykle prosta, a zarazem – choć nie znał on genetyki – niezwykle celna. Jego zdaniem pewne cechy sprawiają, że posiadające je osobniki (niezależnie od tego, czy są to ludzie, sosny, grzyby czy pierwotne repliki) z większym prawdopodobieństwem przeżyją dłużej i wydadzą większą liczbę potomstwa niż osobniki nieposiadające tych cech. Niektóre cechy dostosowują więc organizmy do środowiska w tym sensie, że wyposażone w nie osobniki lepiej radzą sobie ze zdobywaniem pokarmu, unikaniem naturalnych rywali czy pozyskiwaniem partnerów reprodukcyjnych. Choć interpretacja darwinizmu, zgodnie z którą dobór naturalny działa na poziomie osobników, wciąż przekazywana jest w szkołach i literaturze popularnej, we współczesnej – uwzględniającej genety-

kę – teorii ewolucji dobór naturalny definiowany jest jako zróżnicowane przeżywanie alternatywnych alleli (fragmentów DNA). Oznacza to, że allele, które tworzą większą liczbę własnych kopii, zastąpią swoich konkurentów w populacji. Kiedy to się dzieje?

Po pierwsze, by dobór mógł zachodzić, musi istnieć fenotypowa zmienność osobników tworzących populację. Nie chodzi tu tylko o cechy fizyczne, ale również predyspozycje do określonych zachowań i cechy psychiczne. Przykładowo ludzie różnią się nie tylko budową ciała, ale również zaradnością, skłonnością do pomagania innym, inteligencją, poziomem empatii czy samokontroli. Po drugie istnieć musi zróżnicowana reprodukcja, w tym sensie, że osobniki o pewnych cechach będą mieć rzeczywiste szanse na sukces reprodukcyjny. Wreszcie po trzecie, wspomniana zmienność fenotypowa musi być dziedziczna. O doborze naturalnym często myślimy jako o kosmicznej „sile” porządkującej przyrodę; niektórzy nawet mają skłonność do jego personifikowania. Ważne jest jednak, by uzmysłowić sobie, że jeśli spełnione są trzy powyższe warunki, dobór naturalny w świecie biologicznym zachodzi z konieczności. Nie jest on więc siłą, ale konsekwencją.

O ile dobór naturalny możemy sobie wyobrazić jako „silnik” ewolucji, o tyle „paliwem” dla ewolucyjnych zmian są mutacje genetyczne, czyli przypadkowe (losowe), niekierunkowe i nieprzewidywalne błędy w replikacji DNA. Co do zasady większość mutacji wpływa na organizm negatywnie (znajduje to swoje odzwierciedlenie w języku – „mutanty” nie kojarzą się nam dobrze) albo jest neutralna przystosowawczo. W tym miejscu wkracza jednak dobór naturalny, selekcyjny mutacje ze względu na dostosowanie organizmu do środowiska. O ile mutacje nie mają żadnego „kierunku”, można powiedzieć, że są „chaotyczne”, o tyle dobór naturalny jest kierunkowy, gdyż promuje mutacje korzystne i wypiera bądź tłumi mutacje niekorzystne. „Silnik” ewolucji nie działa jednak w próżni: nie istnieje coś takiego jak „korzyść absolutna”. Korzyść zrelatywizowana jest zawsze do niszy środowiskowej, w której zamieszkuje organizm. Stąd też mówi się czasem, że dobór naturalny jest krótkowzroczny – selekcja mutacji zachodzi tylko ze względu na bieżące warunki, bo dobór nie potrafi „przewidzieć” zmian, jakie mogą zająć w środowisku.

Czy mała może napisać „Hamleta”?

Przeciwnicy darwinizmu głoszą często pogląd, że samorzutny, a więc niekierowany nadprzyrodzoną siłą dobór naturalny nie może „wyprodukować” tak złożonych

i uporządkowanych struktur jak ludzki mózg. Prawdopodobieństwo powstania ludzkiego mózgu przyrównują oni do prawdopodobieństwa napisania „Hamleta” albo „O powstawaniu gatunków” przez grupę szympansov wciskających losowo klawisze komputera. Oczywiście prawdopodobieństwo to oceniają oni – w jednym i drugim przypadku – jako bliskie zera.

Dobór naturalny, dzięki któremu z chaosu wyłania się porządek, działa jednak inaczej. Aby to zobrazować, Francisco Ayala w książce „Dar Karola Darwina dla nauki i religii” przeformułował powyższą antydarwinowską metaforę. Załóżmy, że istnieje promująca uporządkowanie procedura, która w trakcie przypadkowego stukania w klawiaturę wybiera sensowne ciągi znaków, takie jak „gatunek”, „mutacja” czy „organizm” (prawdopodobieństwo, że takie słowa pojawią się, gdy szympan będzie wystarczająco długo wciskał klawisze, jest większe niż prawdopodobieństwo pojawienia się całego „O powstawaniu gatunków”). Wyobraźmy sobie, że każde takie sensowne słowo zostaje następnie przypisane do jakiegoś klawisza innej maszyny. W ten sposób przy wystarczająco długim stukaniu w klawisze mogą powstać sensowne ciągi słów, a może nawet i zdania. Następnie te ostatnie zostają przypisane do kolejnej maszyny, na której czasami powstaną całe sensowne akapity, a te z kolei przypisujemy do klawiszy innej maszyny – i tak dalej. Ta metafora przekonuje, że jeśli istnieje procedura wyboru tego, co sensowne, możliwe jest pojawienie się uporządkowanych form, nawet gdy „dane na wejściu” są zupełnie chaotyczne.

O ile zasada „przetrwania stabilnych” jest wręcz tautologiczna, o tyle darwinowska zasada „przetrwania dostosowanych” nie jest jej prostym przeniesieniem do świata organicznego. Nisze środowiskowe, w których żyją organizmy, nie są „pierwotnym bulionem”, ale złożonymi strukturami, które zazwyczaj ulegają zmianom. Organizmy muszą za nimi nadążyć. I to pod presją czasu. Pewne mutacje okazują się szkodliwe, inne neutralne, a jeszcze inne lepiej dostosowują fenotyp do środowiska. Dobór naturalny wprowadza więc do przyrody nową jakość i nieustannie stoi na straży porządku, odstawając zaburzające go niekorzystne mutacje. ©

KINGA WOŁOSZYN jest psychologiem, doktorantką w Zakładzie Psychofizjologii w Instytucie Psychologii UJ, współpracuje z Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych.

DR MATEUSZ HOHOL jest kognytywistą, adiunktem w Zakładzie Logiki i Kognytywistyki IFiS PAN i członkiem Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych.



Proces

Józef K., 30-letni pierwszy prokurent wielkiego banku, dowiaduje się o drobnej pomyłce sądowej – zostaje aresztowany za czyn, którego nie popełnił. Pewny siebie i obeznany z procedurami, decyduje się szybko i sprawnie wyjaśnić to drobne formalne nieporozumienie.

Na pierwszym spotkaniu z sędzią śledczym okazuje się, że ten uważa K. za malarza pokojowego, a całe jego akta sprawy to zatluszczony zeszyt, który zniesmaczony K.

– ku uciesze urzędników – triumfalnie podnosi dwoma palcami do góry. Cóż jednak z chwilowego triumfu, gdy żadna metoda nie działa? K. postanawia więc wejść w sam środek sprawy, prowadząc dziesiątki rozmów z ludźmi mogącymi wpłynąć na proces w jedyny skuteczny sposób – poprzez zakulisowe wpływy, znajomości z sędziami i – oczywiście – romans.

Szamotoanie się tylko pogarsza sytuację. Gdy po K. przychodzą jego egzekutorzy, ten w końcu pojmuje. Pozwala im się prowadzić łagodnie, po raz pierwszy nie szamocząc się z ludźmi, którzy rozumieją z tego równie niewiele, co on sam. „Ruszył w drogę i z radości, jaką tym sprawił panom, także i na niego samego coś spłynęło”.

■ Franz Kafka, „Proces”, przeł. J. Ekier. Wiele wydań

Piękne oblicze chaosu

SEBASTIAN J. SZYBKA

Czy z chaosu może wyłonić się porządek? Teoria chaosu udziela odpowiedzi na to pytanie – ale tylko tym, którzy nie boją się wejść choć na parę kroków w świat matematyki. Korzyści z tej niewinnej wycieczki są jednak potężne...

Matematyka, będąc językiem, może być użyta nie tylko do informowania, ale między innymi, aby uwodzić.

BENOÎT MANDELBROT,
„FRACTALS: FORM, CHANCE
AND DIMENSION”, 1977

Słownik PWN definiuje „chaos” jako stan bezładu, całkowity brak porządku. W publikacjach naukowych słowo to ma obecnie inne znaczenie. Co prawda ciągle kojarzy się ono z bałaganem i brakiem przewidywalności, lecz w tle zawsze pojawia się struktura nadrzędna – to, co jest nieuporządkowane z bliska, oglądane z szerszej perspektywy staje się uporządkowane i piękne.

Tak rozumiany chaos można scharakteryzować za pomocą dwóch określeń: jest on nieprzewidywalny, a zarazem deterministyczny. Te dwa przymiotniki zdają się sobie przeczyć. To między innymi dlatego ta arcyciekawa i fundamentalna cecha świata przez setki lat pozostawała niezauważona.

Czym jest więc chaos deterministyczny i czym ten cudownie uporządkowany urodzieliński bałagan różni się od prawdziwego bezładu? Aby to zrozumieć, posłużmy się przykładem.

Prosty przepis na wielki bałagan

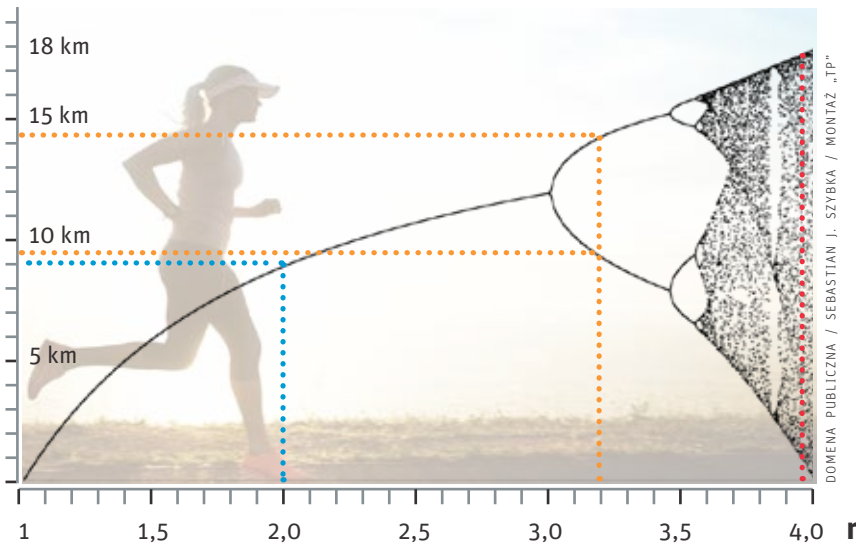
Wyobraźmy sobie biegacza, który przygotowuje się do zawodów. Każdego wieczoru upublicznia on informację o dystansie pokonanym danego dnia, ale plan jego przyszłych treningów okryty jest tajemnicą. Czy znajomość dotychczasowych zwyczajów pozwoli nam odgadnąć jego plany na przyszłość? Liczba kilometrów pokonywanych przez biegacza każdego dnia nie jest większa od, powiedzmy, 18 km i tworzy ciąg liczb,

który wydaje się przypadkowy. Może więc plan treningowy jest losowy?

Zaryzykujmy pierwszą, być może naiwną hipotezę: każdego dnia rano sportowiec trzykrotnie rzuca kostką i przebiega tyle kilometrów, ile łącznie wypadnie oczek. Taką zabawę określamy mianem procesu stochastycznego. Analizując dotychczasową aktywność sportowca (np. rozrzut przebywanych odległości i ich wartość średnią), można podjąć próbę weryfikacji naszej hipotezy. Jeśli okaże się ona prawdziwa, to nie można przewidzieć dystansu, jaki przebiegnie biegacz następnego dnia, ale można określić prawdopodobieństwo danego wyniku. Seria rzutów kostką nie jest procesem deterministycznym. Jest to proces losowy. Odległość, którą przebiegnie biegacz jutro, nie zależy od tego, ile przebiegł dzisiaj, ani od historii jego treningów.

Nauka zna wiele przykładów zjawisk, które należy opisywać właśnie w podobny sposób – jako procesy stochastyczne. Procesy takie opierają się na zjawiskach losowych. Ta losowość może mieć charakter fundamentalny, który nie wynika z niekompletności modelu czy też teorii (np. rozpad promieniotwórczy opisywany w ramach mechaniki kwantowej), lub być wynikiem złożoności i niemożności dokładnego opisanie systemu (tak jak rzut kostką). Istnieje cały aparat matematyczny, który umożliwia zrozumienie właściwości procesów stochastycznych, a jednym z pionierów badań tego zagadnienia, obok Alberta Einsteina, był krakowski fizyk Marian Smoluchowski.

Powróćmy jednak do naszego sportowca. Wyobraźmy sobie, że hipoteza o rzutach kostką okazała się fałszywa: pojawiły się pewne przesłanki świadczące o istnieniu prostej reguły. Najprostszy nietrywialny plan mógłby być np. taki: każdego dnia, wraz ze wzrostem formy, biegacz przebiega trochę więcej.



Oś pionowa: długości tras przypadające na dwa ostatnie tygodnie pierwszego roku treningu w zależności od wyboru stałej r .

Oś pozioma: wielkość stałej r , zakres 1,0 – 4,0.

- Dla $r=2$ nasz wzór pokazuje, że biegacz przez ostatnie dwa tygodnie pierwszego roku treningów powinien pokonywać codziennie taki sam dystans 9 km (dlatego 14 czarnych punktów odpowiadających dwóm tygodniom treningów nakładają się na siebie).
- Dla $r=3,2$ nasz wzór przewiduje, że biegacz pokonywać będzie naprzemiennie trochę ponad 9 km i trochę ponad 14 km (14 punktów rozdziela się na dwie grupy, stąd nad $r=3,2$ widzimy dwa punkty).
- Plan treningów jest naprawdę interesujący, gdy r jest bliskie 4 (14 punktów rozbiega się w sposób pozornie przypadkowy). Stąd czarne punkty są „rozsypane” chaotycznie po prawej stronie rysunku.

Niech d_n oznacza dystans pokonywany n -tego dnia. Załóżmy, że dystans przebywany dnia następnego (d_{n+1}) spełnia równanie $d_{n+1} = r \times d_n$, gdzie r jest pewną stałą. Inaczej mówiąc, każdego dnia przemnażamy dystans z poprzedniego dnia przez tę samą liczbę r . Jeśli liczba ta będzie większa od 1 i jeśli pierwszego dnia biegacz trenował chociaż trochę, to przebiegany przez niego dystans będzie codziennie wzrastał. Znając odległość pokonaną podczas pierwszego treningu (d_1), z łatwością można wyznaczyć plan na dowolny dzień, rozwiązując nasze równanie.

Niestety, jest to zbyt prosty schemat, by mógł być dla nas użyteczny. Przebiegany dystans nie powinien rosnąć w nieskończoność, a odległości pokonywane każdego dnia powinny sprawiać wrażenie przypadkowych.

Czy w ogóle istnieje prosta reguła, która równocześnie spełniałaby te dwa warunki?

Na początek spróbujmy uwzględnić fakt, że maksymalny przebiegany dystans to 18 km. Po ciężkim treningu należy się odpocząć, więc do równania dodamy człon, który nam to zapewni. Jedną z najprostszych możliwości ma postać $d_{n+1} = r \times d_n \times (1 - d_n/18 \text{ km})$. Jest to równanie, które może wyglądać na złożone, ale w istocie jest bardzo podobne do poprzedniego i różni się od niego tylko członem w nawiasie – to dzięki niemu dystans czasami może się też zmniejszać. Można wykazać, że jeśli pod r podstawimy dodatnią liczbę mniejszą lub równą 4, to odległość wskazywana przez nowy wzór nigdy nie przekroczy 18 km.

Tym razem, inaczej niż w przypadku poprzedniego równania, tylko dla kilku wartości r istnieją ściśle rozwiązania umożliwiające wyliczenie dystansu przebieganego dowolnego dnia bez obliczania wszystkich wcześniej pokonywanych dystansów. W ogólnym przypadku, żeby wyliczyć, ile

kilometrów pokona biegacz, powiedzmy, setnego dnia, należy pracować po kolei wyznaczać, jedna po drugiej, wszystkie odległości pokonane przez niego w ciągu poprzednich 99 dni.

Możemy wypróbować nowy wzór, sprawdzając, jak plan treningów na najbliższy rok zależy od wyboru stałej r . Zakładamy, że biegacz pierwszego dnia przebiegnął 5 km (czyli $d_1=5 \text{ km}$). Wykres będzie bardziej przejrzysty, jeśli przedstawimy tylko dwa ostatnie tygodnie pierwszego roku treningów.

Na przykład obliczenia pokazują, że dla $r=2$ po pierwszym tygodniu zmiennego treningu biegacz powinien przebiegać codziennie 9 km. Jeśli $r=3,2$, to po 10 dniach zmiennego treningu biegacz powinien pokonywać na przemian trochę ponad 14 km i trochę ponad 9 km. Gdy stała r ma wartość bliską 4, to długości tras wyglądają na przypadkowe. Świadczy o tym nieuporządkowane rozrzucenie punktów z prawej strony wykresu. Przykładowo, dla $r=4$, po zaokrągleniu do pełnych kilometrów, drugiemu i trzeciemu tygodniowi treningów odpowiada ciąg odległości: 16, 8, 18, 1, 2, 8, 18, 1, 3, 9, 18, 0, 0, 0 km.

Nie ma wątpliwości, że wzór, którego używamy, jednoznacznie determinuje ciąg pozornie przypadkowych liczb. W przeciwieństwie do sytuacji, w której o długości treningu decyduje rzut kostką, ten bałagan nie jest losowy, ale deterministyczny. Jest coś niezwykłego w tym, że tak skomplikowana sekwencja liczb została zakodowana w tak prostym wzorze.

To jednak nie koniec niespodzianek. Najciekawsze dopiero przed nami.

Chaos zwycięża komputery

Wyobraźmy sobie, że za pomocą naszego wzoru potrafimy odtworzyć pierwszy miesiąc treningów. Obliczenia prowadzimy na

kalkulatorze, który wyświetla maksymalnie 10 cyfr. W kolejnych krokach obliczeń zawsze podstawiamy pełny wynik, ale na kartce dla wygody zapisujemy wynik przybliżony za pomocą liczb całkowitych. Tak otrzymany ciąg liczb porównujemy z informacją podawaną przez biegacza, który tak samo zaokrągla wyniki (z wyjątkiem pierwszego dnia, kiedy podał wynik bardzo dokładnie). Poprawność miesięcznych przewidywań upewnia nas o słuszności odgadniętego wzoru. Niespodziewanie pierwszego dnia kolejnego miesiąca (32. dzień treningów) biegacz ogłasza, że pokonał dystans 2 km, podczas gdy nasze obliczenia przewidywały 3 km. Przez trzy kolejne dni nasze przewidywania są znowu trafne, lecz potem zgodność zostaje całkowicie utracona. Wzór przestał działać. Jak to możliwe?

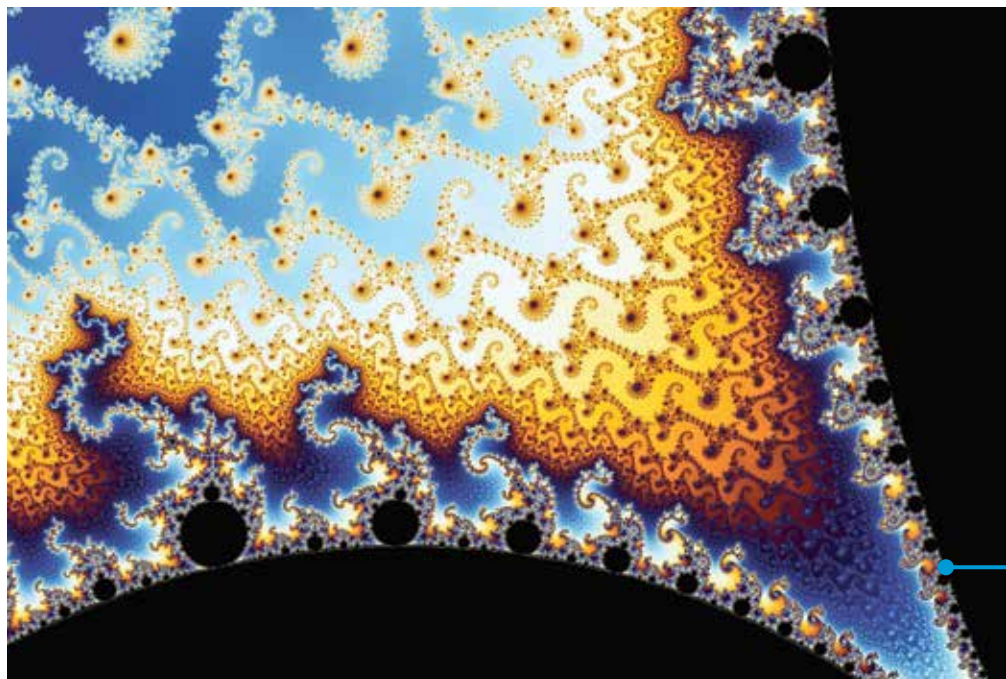
Zachęcam do samodzielnego sprawdzenia wyniku. Rezultat takiego zbiorowego eksperymentu byłby zaskakujący. Początkowo przewidywania nas wszystkich byłyby zgodne i plan treningu na miesiąc, a może nawet trochę dłużej, dałoby się odgadnąć. Po tym czasie obliczenia całkowicie przestałyby się zgadzać. Co dziwniejsze, wyniki zależałyby od modelu użytego kalkulatora lub komputera, a nawet od samego sposobu zapisu wzoru i kolejności wykonywanych operacji. Jeśli biegacz, planując treningi, używał naszego wzoru i korzystał z kalkulatora, to jego plan po pewnym czasie również stanie się niezgodny z „prawdziwym” planem ukrytym w strukturze naszego prostego równania. Jest tak, jak zapowiadałem. Chaos, chociaż deterministyczny, okazał się nieprzewidywalny.

W celu wyjaśnienia tej zagadki rozważmy kolejny matematyczny eksperyment. Jak zmieniłby się plan treningów, gdyby zamiast równych 5 km sportowiec pierwszego dnia przebiegnął 5 km i 10 cm? Te 10 cm wydaje się bez znaczenia. To nie jest nawet

↳ połowa długości buta. A jednak okazuje się, że nowy plan uwzględniający dodatkowe 10 cm już po dwóch tygodniach będzie się całkowicie różnił od poprzedniego. Nasz wzór, który generuje chaos, ma ciekawą własność zwaną wrażliwością na warunki początkowe – drobne różnice w obliczeniach bardzo szybko narastają. Właśnie dlatego obliczenia o skończonej dokładności po stosunkowo małej liczbie kroków będą dawały odmienne wyniki zależne od użytego narzędzia. Pozornie nieistotne, pojawiające się na najdalszych miejscach po przecinku różnice w zaokrągleniu liczb dosyć szybko dają o sobie znać. Bez względu na to, czy korzystamy ze starego kalkulatora, czy z wartego miliarda superkomputera, możliwość przewidywania wcześniej czy później się załamie.

Czy nie ma jednak sposobu, aby pokonać chaos? W odróżnieniu od procesów stochastycznych (na przykład rzutów kostką) krótkoterminowe przewidywania dla układów chaotycznych mogą być bardzo precyzyjne. Jeśli obliczenia będziemy prowadzić ręcznie, wykorzystując kartkę i ołówek (albo programy komputerowe, które potrafią operować ułamekami, nie zamieniając ich na liczby o skończonej dokładności), i jeśli dystans pokonany pierwszego dnia będzie zadany przez liczbę wymierną (taką, którą da się zapisać w postaci ułamka dwóch liczb całkowitych), to wynik uzyskany w każdym kroku będzie również liczbą wymierną. Będzie to wynik dokładny, bez żadnych przybliżeń. Obliczenia prowadzone w ten sposób możemy kontynuować dowolnie długo, ale nie jest to metoda bardzo efektywna: już w 29. dniu do zapisania wyniku w pełnej postaci trzeba wykorzystać ponad pół miliarda cyfr. Czas potrzebny do ręcznego zapisania takich liczb na papierze (pomijając czas niezbędny na obliczenia) przekracza czas życia pojedynczego człowieka. Nawet dla współczesnych komputerów przeprowadzenie tego typu obliczeń nie jest zadaniem łatwym (mój domowy komputer po osiągnięciu 29. dnia odmówił dalszej współpracy).

Podajmy jeszcze jedną próbę pokonania chaosu. Nasz wzór dla $r=4$ posiada ściśle rozwiązanie, tzn. dystans przebiegnięty dowolnego dnia można wyznaczyć w jednym kroku po prostu na podstawie długości treningu w pierwszym dniu, bez żmudnego wyliczania wszystkich odległości. Jest to bardzo niezwykła cecha, bo dla pozostałych wartości r , dla których pojawia się chaos, ściśle rozwiązanie nie istnieje. Możliwość użycia tego rozwiązania znacznie zwiększa naszą efektywność w wyznaczaniu planu treningów. Dla niektórych wartości d_1 możemy przewidywać plan treningowy na dowolną liczbę lat (takie rozwiązania nie są chaotyczne, lecz periodyczne). Dla pozostałych wartości d_1



w ścisłym rozwiązaniu pojawiają się liczby niewymierne i jeśli chcemy poznać dokładny wynik, to znowu jesteśmy skazani na obliczenia numeryczne (choć tym razem o wiele mniej żmudne), a co za tym idzie: nasze zdolności przewidywania są ograniczone.

Dla fizyka źródło problemu leży jednak gdzie indziej. Liczbę kilometrów przebytych pierwszego dnia znamy na podstawie pomiaru, a dokładność każdego pomiaru jest ograniczona. Jeśli, mierząc ten dystans, pomyli się nawet o milimetr (to jest naprawdę niewiele przy odległości 5 km), to nasz wzór sprawi, iż ta pomyłka po pewnym czasie całkowicie zmieni plan treningów. Możliwość wyznaczania wyniku na wiele dni naprzód nic tu nie pomoże, bo nie potrafimy wyeliminować błędu ukrytego w samym pomiarze.

Obiecałem Czytelnikom determinizm bez przewidywalności i dotrzymałem słowa. Obiecałem też ukryty porządek i piękno. Opowiem o nich, umieszczając nasz przykład w szerszym kontekście.

Piękno i porządek

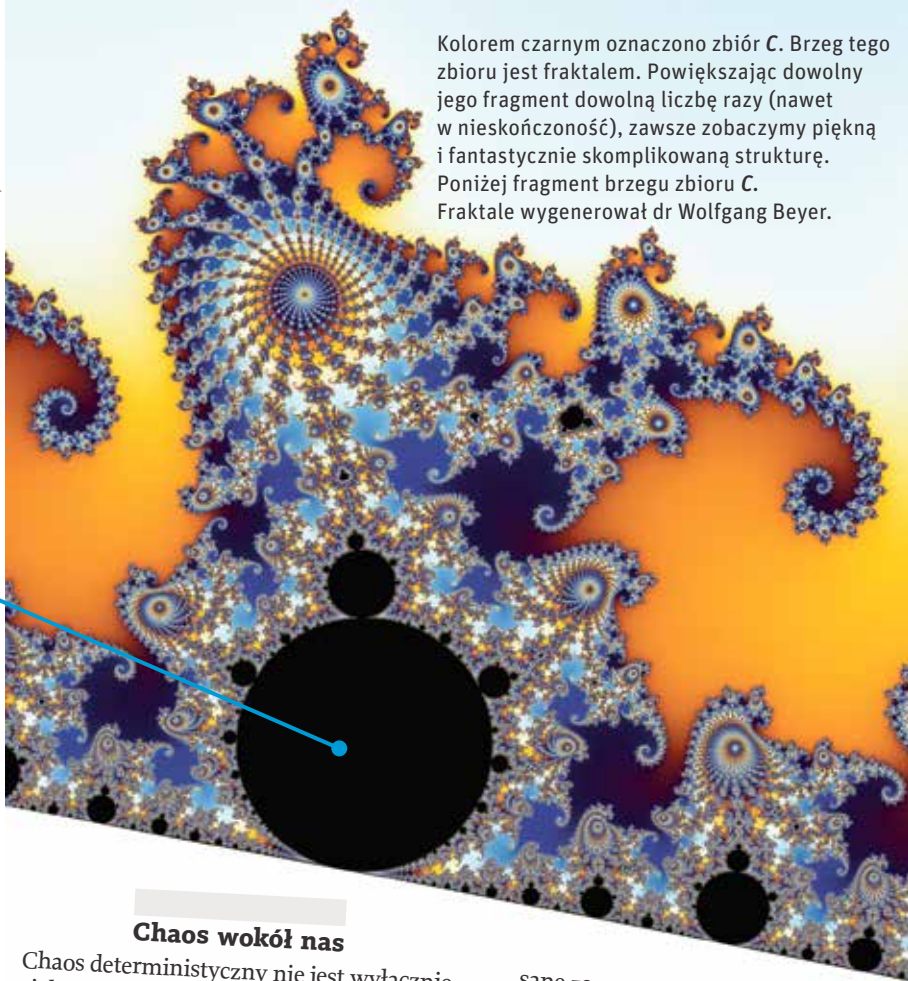
Rozważany przez nas wzór nosi nazwę odwzorowania logistycznego. Jest to jeden z najprostszych przykładów odwzorowań chaotycznych. Wśród pionierów badań tego odwzorowania można wymienić polskiego matematyka ze szkoły lwowskiej, Stanisława Ulama, który w trakcie prac w ramach Projektu Manhattan próbował wykorzystać własności odwzorowania logistycznego do stworzenia generatora liczb losowych dla pierwszego na świecie komputera (ENIAC). Samo równanie w sposób bardzo naturalny pojawia się w biologii w modelach wzrostu populacji. Odwzorowanie logistyczne to szczególnie przypadkiem tzw. odwzorowań

kurencyjnych, czyli takich, które w wyniku iteracji definiują ciąg liczb. W matematyce istnieje wiele innych typów równań, a chaos może pojawić się praktycznie we wszystkich z nich.

Piękno i porządek zawarte w chaosie najłatwiej uwidocznić, wykorzystując fraktale, czyli struktury geometryczne pojawiające się wszędzie tam, gdzie pojawia się chaos. Skoro mowa o pięknie, to odwołajmy się do sztuki. Z matematycznego punktu widzenia rzeźbiarze tworzą dwuwymiarowe struktury zanurzone w trójwymiarowej przestrzeni. Malarze wykorzystują dwuwymiarowe powierzchnie, aby za pomocą śladów pędzla (jednowymiarowe krzywe) i plam tworzyć swoje dzieła. Niewielu artystom, wyjątkiem jest na pewno Salvador Dalí i jego „*Crucifixion (Corpus Hypercubus)*”, udało się wyłamać z tych przestrzennych przyzwyczajęń. Niewątpliwie nasz mózg w toku ewolucji najlepiej przystosował się do podziwiania piękna w dwóch lub trzech wymiarach.

Natura nie zna takich ograniczeń. Być może czytelników nie zachwyci dzieło sztuki, które zawiera w sobie odwzorowanie logistyczne – zanurzone jest ono w jednym wymiarze.

Spójrzmy wobec tego na przykład bardziej zbliżony do naszych malarskich upodobań. Rozważmy bardzo proste odwzorowanie $z_{n+1} = z_n^2 + z_0$, które operuje na tzw. liczbach zespolonych. Nie wdając się w szczegóły: każda liczba zespolona odpowiada punktowi na płaszczyźnie, a samo odwzorowanie wyróżnia pewien zbiór punktów C , który śmiało można nazwać dziełem sztuki. Zbiór C został odkryty w 1979 r. przez urodzonego w Warszawie francuskiego matematyka Benoïta Mandelbrota. Na ilustracjach powyżej widać fragment tego zbioru.



Kolorem czarnym oznaczono zbiór C. Brzeg tego zbioru jest fraktalem. Powiększając dowolny jego fragment dowolną liczbę razy (nawet w nieskończoność), zawsze zobaczymy piękną i fantastycznie skomplikowaną strukturę. Poniżej fragment brzegu zbioru C. Fraktale wygenerował dr Wolfgang Beyer.

Chaos wokół nas

Chaos deterministyczny nie jest wyłącznie ciekawostką matematyczną. W opisie układów fizycznych pojawia się on powszechnie. Choć może nie wszyscy zdają sobie z tego sprawę, to spotykamy się z nim na co dzień, np. gdy dolewamy mleka do ciepłej kawy. Nie potrafimy wiarygodnie przewidywać pogody na dłużej niż kilka dni, bo jak zauważył matematyk i meteorolog Edward Lorenz, ruch skrzydeł motyla w Brazylii może wywołać tornado w Teksasie. Chaos pojawia się również w Układzie Słonecznym. Mieszkając na jednym z czterech mniejszych księżyców Plutona, mielibyśmy okazję podziwiać chaotyczne zachody Słońca. Nawet ruch Ziemi i innych planet rozpatrywany w bardzo długiej skali czasu podlega prawom nieprzewidywalności chaosu.

Parę lat temu wraz z profesorem Tadeuszem Chmajem badaliśmy, w ramach teorii grawitacji Einsteina, możliwość utworzenia miniatury czarnych dziur za pomocą specjalnie dobranych fal grawitacyjnych. Odkryliśmy, iż pusta przestrzeń i czas mogą wibrować chaotycznie. Ruch skrzydeł motyla może wywołać tornado, ale może też wpłynąć na proces formowania się czarnych dziur!

Piękno chaosu deterministycznego przejawia się nie tylko w fantazyjnej i nieskończone skomplikowanej strukturze związanych z nim fraktali. Bardzo proste równania, zapi-

sane za pomocą szkolnej matematyki, kryją w sobie bogactwo, które ilustruje głęboką prawdę o otaczającym nas świecie. Prawda ta, będąc w zasięgu ludzkich umysłów, pozostawała niedostrzeżona przez setki lat. Jej odkrycie wniosło do naszego rozumienia determinizmu więcej niż wszystkie dysputy prowadzone na ten temat od czasów Newtona. Determinizm nie oznacza przewidywalności. Myślę, że Newton, Laplace i inni wielcy minionych wieków byłiby tym faktem zaskoczeni, ale i głęboko oczarowani. ©

SEBASTIAN J. SZYBKA

Autor jest doktorem habilitowanym, pracuje na Uniwersytecie Jagiellońskim w Zakładzie Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii (Observatorium Astronomiczne). Specjalizuje się w teorii grawitacji Einsteina. Jego zainteresowania naukowe dotyczą czarnych dziur, fal grawitacyjnych i kosmologii.

Obliczenia i diagram na str. 13 wykonano w systemie algebry komputerowej Wolfram Mathematica.

- Animacja przedstawiająca zbiór Mandelbrota: youtu.be/PD2XgQOyCCk
- Darmowe oprogramowanie umożliwiające wizualizację trójwymiarowych fraktali: www.mandelbulber.com
- Fraktale na usługach sztuki: vimeo.com/juliusshorsthuis



Wielkie solo

Anton L., neurotyczny pracownik urzędu skarbowego w bliżej nieokreślonym mieście, pewnego dnia budzi się jako jedyny człowiek na świecie. W nocy z 25 na 26 czerwca z powierzchni Ziemi zniknęli wszyscy z wyjątkiem niego.

Gdy po długich poszukiwaniach nie udaje mu się znaleźć żadnego innego człowieka, podejmuje systematyczną próbę urzędzenia się w nowym świecie. Gromadzi zapasy pożywienia, uczy się polować i bronić przed niebezpiecznymi psami. Zamieszkuje w hotelu, codziennie zmieniając pokój (w niektórych łózkach znajdują rozziągnięte pod kołdrą ubrania).

Dopiero z czasem zdaje sobie sprawę z powagi sytuacji. To od niego zależy, jaki jest dzień. To on jest najszybszym biegaczem i najlepszym szachistą na świecie. Anton L. mianuje się też nowym papieżem (skoro poprzedni zwołnił miejsce), przyjmując imię Hormizdasa II.

Po serii długich rozmów z zającem Jacobem i pewnym szczególnie gadatliwym żelaznym pomnikiem dochodzi ostatecznie do wniosku, że jego moc jest nieograniczona. Nie musi nawet jeść i pić. Skoro nie ma nikogo innego, kto by ustalał zasady, wszystkie prawa zależą tylko i wyłącznie od niego. Tylko co robić, jeśli się może zrobić wszystko?

■ Herbert Rosendorfer, „Wielkie solo Antona L.”, przeł. R. Turczyn, Czytelnik 1989

Matejko, oczy i mózg

ŁUKASZ JACH

Nasze umysły bardzo sprytnie radzą sobie z porządkowaniem bezmiaru informacji o świecie, których dostarczają oczy. Ale zdarza się, że płatają nam przy tym figle.

Zamknijmy na chwilę oczy i spróbujmy przywołać z pamięci obraz Jana Matejki „Bitwa pod Grunwaldem”. Być może staję przed nami ubrany w czerwone szaty wielki książę Witold na tle pochylonej krzyżackiej chorągwi. Zapewne wielu z nas oczyma duszy widzi też Ulryka von Jungingena, spinającego konia w starciu z pieszymi wojownikami. A co z resztą obrazu? Czy przypomina się nam ulokowany w jego lewej górnej części młyn zbożowy? Czy spoglądamy w oczy zmęczonego bitwą lub rannego konia z prawego rogu płótna? Czy zastanawia nas, dlaczego ponad głową mistrza zakonu krzyżackiego wirują w powietrzu szczapy, które jeszcze przed chwilą były zapewne częścią rycerskiej kopii?

„Bitwa pod Grunwaldem” to ponad 42 metry kwadratowe mniej lub bardziej rzucających się w oczy detali. Oprócz kilku centralnie ulokowanych postaci, koni i chorągwi reszta przypomina nieco wielobarwną masę, zwłaszcza jeśli nie mamy obrazu przed sobą, lecz jedynie staramy się wydobyć go z zakamarków pamięci. Być może naszym poznawczym odzwierciedleniom dzieła Matejki bliżej jest nie tyle do oryginału, co do wariacji na jego temat, którą stworzył Stanisław Wyspiański?



Szli z garem

Immanuel Kant wprowadził rozróżnienie, którego echa wciąż słychać we współczesnej psychologii poznawczej. Jego zdaniem otaczającego świata nie doświadczamy takim,

jakim jest on „sam w sobie”, ale za pośrednictwem wrodzonych form i kategorii poznania, organizujących nasze spostrzeganie rzeczywistości. Z psychologicznego punktu widzenia owe formy i kategorie można interpretować jako charakterystyczne dla ludzi uwarunkowania procesów rejestrowania i przetwarzania bodźców zmysłowych, które wynikają z ewolucyjnej historii naszego gatunku.

Do podstawowego repertuaru ludzkich zmysłów zalicza się zwykle słuch, równowagę, węch, smak i wzrok – my jednak skoncentrujemy się na procesach związanych przede wszystkim z tym, w jaki sposób ludzki mózg radzi sobie z organizacją i interpretacją bodźców docierających do oczu.

Dlaczego akurat wzrok? Wyniki badań pokazują, że danym uzyskiwanym za jego pomocą ufamy trochę bardziej niż sygnałom pochodzącym z pozostałych zmysłów. Przykładowo, w latach 70. ubiegłego stulecia w czasopiśmie „Nature” ukazał się artykuł, w którym Harry McGurk i John MacDonald przedstawili wyniki wskazujące, że dźwięk o określonym brzmieniu (sylaba „ga”) rozpoznawany jest prawidłowo wtedy, gdy nie towarzyszy mu wizualna prezentacja ust układających się w sposób powiązany z innym dźwiękiem (sylabą „ba”). Zjawisko to (nazwane efektem McGurka) utrzymuje się nawet wtedy, gdy jesteśmy świadomi jego zachodzenia.

Aby na własnej skórze przekonać się o wpływie, jaki na percepcję dźwięków ma jednocześnie doświadczanie bodźców wizualnych, wystarczy poszukać na YouTube żartobliwych filmików, gdzie do obcojęzycznych piosenek podłożono napisy z rzekomo polskim tekstem – lub mniej żartobliwych nagrań prezentujących „ukryte przekazy” w popularnych utworach odtwarzanych wstecz. Niewiele da się z tego zrozumieć, dopóki nie przeczyta się słów mających jakoby brzmieć w słuchanych dźwiękach.

Bodźce wzrokowe mogą modyfikować również spostrzeganie wrażeń smakowych i zapachowych. Dokonany przez Charlesa Spence’a i współpracowników przegląd doniesień z badań wskazuje, że osoby badane rozpoznają prawidłowo smaki napojów rzadziej, jeśli ich kolory zostaną zmienione na mniej adekwatne (np. zielony kolor płynu o smaku truskawkowym). Tyleż spektakularne, co zabawne są w tym przypadku wyniki badań przeprowadzonych przez Wendy V. Parr i współpracowników. Badacze ci wykazali, że na zestaw określeń wybieranych do opisanie aromatu wina istotny wpływ ma jego kolor. Eksperci w zakresie oceny win, ulegając oczekiwaniom związanym z barwą trunku, używali większej liczby określeń charakterystycznych dla win czerwonych w sytuacji, gdy analizowanym winem było w istocie białe Chardonnay, zabarwione bezzapachowym związkiem chemicznym.

Jak podają Matthew M. Hurley i współpracownicy, zjawisko wpływu informacji wzrokowych na dane odbierane za pomocą zmysłu równowagi wykorzystuje się w parkach rozrywki. Wyobraźmy sobie stabilny most umieszczony w kręcącej się, pomalowanej od wewnątrz rurze. Stojąc na takiej konstrukcji i obserwując obrót otaczającej go tuby, człowiek doświadcza wrażenia poruszania się samego mostu. Starając się odruchowo bronić przed utratą równowagi, podejmuje więc działania kończące się rzeczywistym zderzeniem z niewzruszonym nieruchomym mostem.

Rzut oka na oko

Funkcjonowanie ludzkiego oka można porównać do działania aparatu fotograficznego wyposażonego w kliszę. Docierające do oka promienie świetlne przechodzą przez źrenicę, która w zależności od swojej aktualnej szerokości przepuszcza mniejszą lub większą ich ilość. Promienie te w dalszej kolejności ogniskują się na soczewce, prze-





REPR. KRZYSZTOF WILCZYŃSKI / MUZEUM NARODOWE W WARSZAWIE

Jan Matejko, „Autoportret”, fragment, 1892 r.

chodzą przez wypełniające gałkę oczną ciało szkliste i trafiają na usianą światłoczułymi receptorami siatkówkę. Informacje docierające stąd do analizujących je obszarów mózgu są jednak mało uporządkowane i organizm wkłada wiele nieświadomego wysiłku, zanim zestaw pobudzeń receptorów siatkówki przełoży się na wrażenie obcowania z nowym wydaniem „Tygodnika Powszechnego”.

Tak jak fotografia, tak i powstające na siatkówce przedstawienie trójwymiarowej rzeczywistości jest dwuwymiarowe. Ponieważ do mózgu docierają nieco przesunięte względem siebie dane z dwojga oczu, potrafi on dokonać ich obróbki w sposób pozwalający na wytworzenie doświadczenia trójwymiarowej głębi oraz ocenę odległości pomiędzy oglądanymi obiektami. Ów związany z widzeniem stereoskopowym wysiłek nie jest jedyną modyfikacją, której podlegają informacje zbierane o świecie przez siatkówkę oka, gdyż powstający na niej obraz jest obrócony „do góry nogami”. Adekwatna percepcja świata wymaga zatem od mózgu dokonywania korygującej rotacji docierających danych, czego uczy się on już na wczesnych etapach życia.

Zdolność do modyfikowania sposobu odnoszenia się do danych zbieranych za pomocą wzroku towarzyszy nam także później. Prowadząc na samym sobie badania z użyciem specjalnych okularów obracających widziane obrazy o 180 stopni, amerykański psycholog George M. Stratton odkrył, że po kilku dniach ich noszenia znika poczucie poruszania się w odmienionej rzeczywistości. Wraca ono jednak w momencie, gdy okulary zostaną zdjęte, ponieważ mózg znowu potrzebuje nieco czasu na adaptację do nowego sposobu odbioru rzeczywistości. Wyniki analogicznych eksperymentów Davida E.J. Lindena i współpracowników wskazują jednak, że o ile badane osoby po kilku dniach noszenia okularów odwracających obraz

faktycznie zaczynały nieźle sobie radzić z zadaniami motorycznymi, to nie towarzyszyło im subiektywne wrażenie poruszania się w niezmodyfikowanej rzeczywistości.

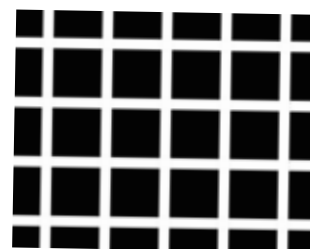
Powstający na siatkówce obraz świata charakteryzuje się zróżnicowaną ostrością. Dzieje się tak, ponieważ poszczególne obszary siatkówki oka różnią się pod względem liczby znajdujących się tam światłoczułych receptorów: czopków (odpowiedzialnych za barwne widzenie w warunkach optymalnej ilości światła) oraz pręcików (odpowiedzialnych za widzenie w skali szarości w warunkach niedoboru światła). Obszar najostrzejszego widzenia stanowi położona w centralnej części siatkówki plamka żółta, będąca szczególnie gęstym skupiskiem czopków. Jej przeciwieństwem jest miejsce określane jako plamka ślepa, gdzie zamiast receptorów światła znajdują się włókna nerwu wzrokowego, przesyłające informacje z oka do analizujących je obszarów ulokowanych w międzymózgowiu. Docierające do plamki ślepej promienie światła nie są rejestrowane, ale na co dzień nie doświadczamy przez to wrażenia ubytku w płynącym z oczu obrazie świata, ponieważ mózg „dorabia” sobie brakujące dane na podstawie pozostałych.



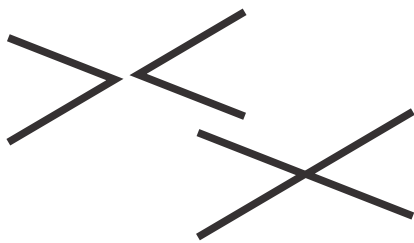
Aby się o tym przekonać, wystarczy zasłonić lewe oko, a prawe skupić na znajdującym się na powyższej ilustracji krzyżyku w odległości równej wyciągniętym ręką. W miarę przybliżania obrazka do oka znajdująca się obok przerwana linia powinna wydać się ciągłą. Owo wypełnienie linii powstało na poziomie mentalnym, wskutek działania organizujących spostrzeganie świata mózgowych procesów poznawczych.

Pojawiam się i znikam

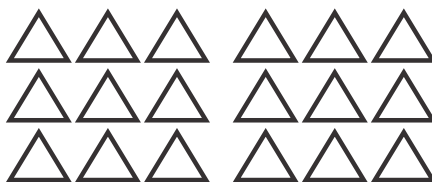
Czopki i pręciki przekazują dane o swoim pobudzeniu tzw. komórkom dwubiegunowym, które z kolei komunikują się z komórkami zwojowymi, niosącymi informacje do nerwu wzrokowego, skąd biegą na stronę mózgu. Nie obowiązuje tu jednak zasada „jeden czopek/pręcik – jedna komórka dwubiegunowa – jedna komórka zwojowa”, gdyż pojedyncza komórka dwubiegunowa ma kontakt z wieloma czopkami lub pręcikami, a pojedyncza komórka zwojowa zbiera impulsy z wielu komórek dwubiegunowych. Co więcej, komórka zwojowa może otrzymywać pobudzające lub hamujące impulsy z kilku zachodzących na siebie pól recepcyjnych, czego konsekwencją bywają błędy w percepcji bodźców ze świata zewnętrznego. Przypomina to nieco pracę kelnera, który nie obsługuje pojedynczego klienta przy stoliku, lecz kilka osób jednocześnie, co sprawia, że niekiedy trudno mu się połapać w zamówieniach.



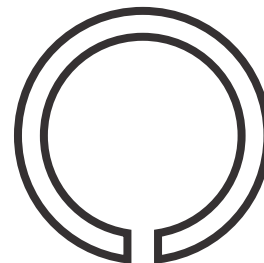
Zniekształcenia odbioru rzeczywistości wynikające z przedstawionej organizacji przekazywania informacji pomiędzy zlokalizowanymi w oku komórkami nerwowymi dobrze ilustruje złudzenie optyczne pojawiające się w chwili patrzenia na tzw. siatkę Hermanna. Koncentrując wzrok na jednym z punktów znajdujących się na przecięciu białych linii doznajemy wrażenia, że w miejscu pozostałych takich skrzyżowań pojawiają się szare kropki. Znikają one jednak, gdy staramy się przenieść wzrok na jeden z nich. W chwili skupiania wzroku na wybranym białym skrzyżowaniu jego obraz rejestrowany jest na plamce żółtej, której receptory łączy się z komórkami zwojowymi zbierającymi dane ze względnie niewielkich pól recepcyjnych. Konsekwencją tego są ostre, jednoznaczne wrażenia wzrokowe. W tym samym czasie z obszarów umiejscowionych na siatkówce mniej centralnie docierają do mózgu dane przenoszone przez komórki zwojowe powiązane z szerszymi, zachodzącymi na siebie polami recepcyjnymi. Część receptorów łączących się z daną komórką informuje o widzeniu czerni (kwadraty), inne zaś biele (linie pomiędzy kwadratami). W efekcie owej rozbieżności mózg interpretuje docierające informacje w sposób, który odbieramy →



PRAWO WSPÓLNEJ DROGI: postrzegamy raczej dwie przecinające się proste niż dwa kąty ostre stykające się wierzchołkami.



PRAWO BLISKOŚCI: postrzegamy raczej dwa 9-elementowe zbiory niż 18 niezależnych trójkątów czy jeden zbiór 18-elementowy.



PRAWO DOMYKANIA: postrzegamy kształt jako niedomknięty okrąg, a nie skończoną figurę.

→ jako wrażenie pojawiających się i znikających szarych kropek.

Porządek musi być

Niektóre podejścia filozoficzne i psychologiczne zakładają, że ludzki mózg jest początkowo czymś na kształt niezapisanej tablicy, sukcesywnie wypełnianej doświadczeniami w ciągu życia. Na poziomie mózgowej analizy bodźców wzrokowych oznaczałoby to, że nadawany im sens stanowi wyłącznie efekt licznych interakcji ze środowiskiem zewnętrznym. Stanowisko takie zdecydowanie kwestionowali w pierwszych dekadach XX wieku badacze związani z poznawczą psychologią Gestalt, a obecnie przeczą im wyniki badań prowadzonych na gruncie psychologii ewolucyjnej.

Gestaltyści uważali, że ludzki umysł analizuje informacje docierające za pośrednictwem zmysłów, korzystając z zestawu wrodzonych tendencji organizujących, wśród których podstawowe znaczenie ma podział na figurę (wyrzysisty element wysuwający się w danej chwili na pierwszy plan) oraz tło (słabo zróżnicowany kontekst). Szereg prawideł, zgodnie z którymi organizowane są wrażenia powiązane z bodźcami wzrokowymi, sformułował Max Wertheimer. Prawo bliskości mówi na przykład, że obiekty znajdujące się w niewielkiej odległości od siebie są spostrzegane jako zwarta całość. Prawo wspólnej drogi głosi, że obiekty zdające się zmierzać w tym samym kierunku interpretowane są jako powiązane ze sobą. Prawo domykania wskazuje natomiast, że system poznawczy preferuje zamknięte, bardziej spójne kształty, a nie kształty cechujące się pewną nieregularnością (zob. rysunki powyżej).

Działanie praw psychologii Gestalt możemy zauważyć w licznych codziennych sytuacjach. Wyobraźmy sobie, że stoimy na czerwonym świetle na przejściu dla pieszych, a po drugiej stronie zebrała się już spora grupa ludzi, także czekających na możliwość przejścia przez ulicę. Zgodnie z prawem bliskości w pierwszej chwili możemy odnieść wrażenie, że naprzeciw nas

nie stoją poszczególne jednostki, ale „skupisko”, „masa”, „tłum”. Jeśli jednak skupimy uwagę, będziemy w stanie dostrzec w tej zbiorowości poszczególne twarze czy też zachwycić się czymś strojem lub fryzurą. Wymienione elementy na chwilę stają się wyróżnionymi figurami, by później znów schować się w tle i pozwolić wyjść na plan pierwszy kolejnym figurom – twarzom, kapelusom, sukienkom itp.

Ewolucyjnie zorientowani badacze uważają działanie ludzkiego umysłu za rezultat doboru naturalnego, utrwalającego w populacji te cechy, które sprzyjały przetrwaniu i reprodukcji posiadających je organizmów na przestrzeni wielu pokoleń. Ich zdaniem człowiek dysponuje repertuarem wrodzonych mechanizmów organizujących sposób, w jaki postrzegana i interpretowana jest otaczająca rzeczywistość. Prowadzone badania ujawniły m.in., że nawet kilkumie-

siężne niemowlęta posługują się czymś na kształt intuicyjnej fizyki, która nie miała czasu ukształtować się w toku ich osobistych doświadczeń.

Jak wynika z eksperymentów przeprowadzonych przez Renée Baillargeon i Julie DeVos, już w czwartym miesiącu życia dzieci mają tendencję do dłuższego przypatrywania się specjalnie aranżowanym zjawiskom, niemożliwym z punktu widzenia praw fizyki odnoszącym się do obiektów powszechnie występujących w środowisku człowieka, co stanowić ma wskaźnik rozbieżności pomiędzy obserwowanym wydarzeniem a oczekiwaniami na jego temat. Komentując wyniki serii podobnych badań, Lance Workman i Will Reader wskazali trzy zasady, na których opiera się intuicyjna fizyka. Pierwsza z nich – „żadnej teleportacji” – mówi, że obiekty zmieniając lokalizację w przestrzeni, poruszają się po ciągłych trajektoriach, a nie skokowo. Druga – „żadnych duchów” – dotyczy niemożliwości przenikania obiektów przez siebie. Treścią zasady trzeciej – „żadnej telekinezy” – jest zaprzeczanie możliwości oddziaływania na siebie przedmiotów w sytuacji, gdy nie wchodzi one ze sobą w bezpośredni kontakt. Zgodnie ze stanem wiedzy we współczesnej fizyce żadnej z tych zasad nie można uznać za ogólnie poprawną, jednak z punktu widzenia codziennych doświadczeń wydają się całkiem niezłymi drogowskazami.

Ponieważ ważnym elementem środowiska życia człowieka są inni ludzie, psychologowie ewolucyjni zakładają, że w ludzkim umyśle powinny funkcjonować wrodzone mechanizmy przetwarzania danych wzrokowych, ukierunkowane na odbiór bodźców pojawiających się w rzeczywistości społecznej. Codzienne doświadczenia podpowiadają nam, że jesteśmy w pewnym sensie wyczerpani na rozpoznawanie ludzkich twarzy nawet tam, gdzie tak naprawdę ich nie ma: np. gdy patrzymy na księżyc w pełni, zacieki na szybach, ścianach czy



KIEDY NADESZŁA owa wielka chwila, w której zwierzęta przemówiły, wuj Andrzej w ogóle tego nie zauważył, a stało się tak z dość interesującego powodu. Od samego początku, gdy Lew zaczął śpiewać w ciemnościach, wuj Andrzej zdał sobie sprawę, że to, co słyszy, jest jakąś pieśnią. Ale pieśń bardzo mu się nie podobała.

Potem, kiedy wzeszło słońce i zobaczył, kto tak śpiewa, uparcie wmawiał w siebie, że Lew nie śpiewa i nigdy nie śpiewał – tylko ryczy, tak jak każdy lew w naszym świecie. A im dłużej i piękniej Lew śpiewał, tym usilniej wuj Andrzej próbował w siebie wmówić, że przecież nie może słyszeć żadnego śpiewu, tylko zwykły ryk. A tak już, niestety, bywa, że kiedy ktoś próbuje być głupszym, niż jest, bardzo często staje się głupszym naprawdę. W każdym razie wujowi Andrzejowi to się udało. Wkrótce zamiast cudownego śpiewu Aslana słyszał tylko ryk lwa.

■ C.S. LEWIS, „OPOWIEŚCI Z NARNII. SIOSTRZENIEC CZARODZIEJA”, TŁUM. A. POLKOWSKI

kominach, chmury, przekroje pni, a nawet maski samochodów. Zgodnie z założeniami teorii zarządzania błędami (*error management theory*, EMT) dzieje się tak, ponieważ potencjalne koszty powstrzymywania się od reakcji w sytuacjach, gdy są one uzasadnione, zwykle przewyższają koszty fałszywych alarmów, czyli reagowania, gdy tak naprawdę określone zachowanie nie jest wymagane. W praktyce oznacza to, że ignorowanie obecności innych ludzi to potencjalne źródło zarówno niebezpieczeństw (śledzenie, atak wroga, nieokazanie szacunku osobnikowi o wyższej pozycji społecznej), jak i niewykorzystanych szans (znalezienie partnera lub sojusznika). Przeczuwanie na punkcie schematów analogicznych do ludzkich twarzy, czyli zawierających elementy wyglądające podobnie do oczu, nosa i ust, chroni nas więc przed groźniejszym w skutkach brakiem wyczulenia na społeczny kontekst danej sytuacji.

Powrót pod Grunwald

W świetle informacji o sposobach odbierania i analizowania danych wzrokowych nasze mgliste pojęcie o zawartości płótna Matejki wydaje się właściwie czymś zrozumiałym. Być może Ulryk i Witold tak mocno narzucają się oglądającym obraz, ponieważ są zwrócenie twarzami w ich stronę. Być może postacie te oraz powiewająca czerwona chorągiew z białym orłem są tak dominującymi figurami, że utrudniają wyłonienie się z tła percepcyjnego innych elementów dzieła. Być może spoglądając na obraz, naturalnie koncentrujemy się na jego centrum, co skutkuje nieostrym spostrzeganiem położonych peryferyjnie jego części.

Tym, którzy poświęcą mu więcej czasu, obraz potrafi się jednak odwzajemnić. Możemy wtedy np. zacząć się zastanawiać, po co tratowana kopytami Witoldowego konia postać, idąc na bitwę, założyła sobie na głowę złotą, wysadzaną drogimi kamieniami opaskę.

©

ŁUKASZ JACH

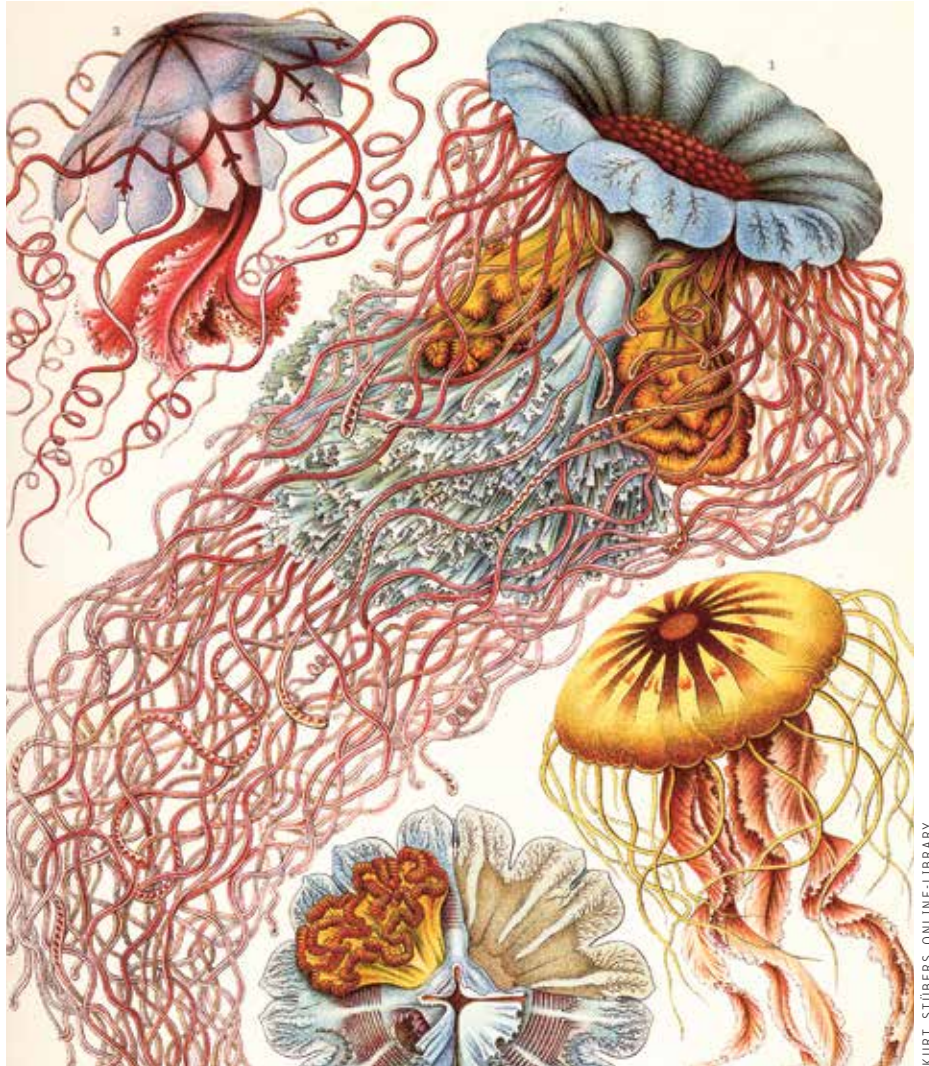
Autor jest doktorem psychologii, pracownikiem UŚ w Katowicach. Zajmuje się psychologią ewolucyjną i ekonomiczną oraz wizerunkiem nauki we współczesnym świecie.

Korzystałem m.in. z: L.T. Benjamin Jr., „Historia współczesnej psychologii”, Warszawa 2008; M.M. Hurlley, D.C. Dennett, R.B. Adams Jr., „Filozofia dowcipu. Humor jako siła napędowa umysłu”, Kraków 2015; B. Sadowski, „Biologiczne mechanizmy zachowania się ludzi i zwierząt”, Warszawa 2003; P.G. Zimbardo, „Psychologia i życie”, Warszawa 2004.

Dziedzictwo Linneusza

ŁUKASZ KWIATEK

Nowożytna systematyka biologiczna narodziła się z przekonania, że w ożywionej przyrodzie panuje porządek. Wprowadzony tam przez samego Stwórcę.



KURT STÜBERS - ONLINE - LIBRARY

Nasze umysły są istnymi maszynami do kategoryzacji – porządkowania chaotycznej mieszaniny kolorów, kształtów, dźwięków i zapachów, których dostarczają nam zmysły. Nie jest to wyłączna funkcja umysłu, ale prawdopodobnie jedna z najbardziej podstawowych. Kategoryzacja obejmuje zarówno przyrodę nieożywioną, jak i ożywioną. Postrzegamy poszczególne kwiaty, drzewa, biedronki czy wielbłądy jako przedstawicieli tej samej kategorii, obdarzonych podob-

nymi cechami. Jeśli spacerujemy po sawannie, a spotkaliśmy już wcześniej w życiu lwa, to gdy zobaczymy następnego, intuicyjnie rozpoznamy go jako lwa i będziemy wiedzieć, że jego też należy się obawiać. Nie musimy do wniosku, że lwy są niebezpieczne, dochodzić na nowo za każdym razem, gdy kolejny lew zatopi swoje kły w naszym ciele.

Kategoryzacja to bardzo stara ewolucyjnie umiejętność, której w jakimś stopniu mogliśmy się doszukiwać u wszystkich istot żywych. Gdybyśmy mogli zajrzeć do ↪

→ umysłów najbliższych z nami spokrewnionych zwierząt – małą człokształtnych – to zapewne znaleźlibyśmy w nich kategorie przypominające te, którymi sami się posługujemy (ponieważ mamy podobnie zbudowane ciała, a proza ich życia przypomina naszą). Jednak my, ludzie, dodajemy do kategorii zjawisk nowy wymiar – językowy.

Większość słów, którymi się posługujemy, odnosi się nie do rzeczy jednostkowych, tylko właśnie do klas czy kategorii zjawisk, czynności, cech i rzeczy – wliczając w to kategorie (gatunki) zwierząt i roślin. Zważywszy na to, że jedne i drugie tak ściśle wiążą się z kwestią przetrwania – służą nam za obiad albo próbują z nas uczynić własny obiad – chyba można założyć, że pierwsze nazwy dla zwierząt i roślin zostały wynalezione dawno temu. Na długo przedtem, zanim ktokolwiek zaczął używać terminów „systematyka”, „gatunek” i „taksonomia”, nasi przodkowie musieli się posługiwać potoczną systematyką – własną, zdroworozsądkową klasyfikacją flory i fauny, pozwalającą się im skutecznie komunikować i wspólnie korzystać z zasobów środowiska oraz unikać niebezpieczeństw.

Dopiero potem Platon i Arystoteles dorobili do tego całą filozofię.

Gatunek jako idea

Platon wierzył, że każdej kategorii czy rodzajowi rzeczy odpowiada jakaś idea – niefizyczny wzorzec dla rzeczy jednostkowych, zamieszkujący jakieś osobne królestwo bytów. Co znamienne, według Platona idee, do których człowiek mógł mieć dostęp wyłącznie za pomocą umysłu, a nie zmysłów, były bardziej prawdziwe niż spotykane przez nas w przyrodzie rzeczy jednostkowe (ciekawe, czy udało mu się kiedyś zjeść ideę albo się o nią potknąć?). Idea była tym, co zawiera niezmiennie i kluczowe cechy rzeczy danego rodzaju – to, co wszystkie domy, psy, marchewki czy słonie mają wspólnego (według Platona – dzięki uczestniczeniu w idei domu, psa, marchewki czy słonia). W odniesieniu do rzeczy ożywionych platońskie idee to zatem to, co dzisiaj nazywamy „gatunkami”. Ponieważ idee były, cóż, idealne, Platon wykluczał, by mogły podlegać jakimkolwiek zmianom – na przykład przechodzić w inne idee. W taki oto sposób Platon zasłużył na miano „największego antybohatera ewolucjonizmu”, jak nazwał go nestor XX-wiecznej biologii, Ernst Mayr.

Ten platoński esencjalizm został nieco sprowadzony na ziemię przez Arystotelesa. On też wierzył w istnienie idei, ale nie jako osobnych, „bardziej prawdziwych” bytów, tylko jako „form” wszystkich rzeczy. Nie wiadomo, czy Arystoteles stworzył formalną systematykę, ale w tych jego pra-

cach, które przetrwały do naszych czasów, znajdujemy nazwy i opisy około 500 gatunków różnych roślin i zwierząt, a także pewne zręby klasyfikacji gatunków. To on jako pierwszy podzielił zwierzęta na „kręgowce” i „bezkęrowce”, choć używał innych nazw: *Enema* (organizmy wyposażone w krew) oraz *Anema* (takie, które nie posiadają krwi). Grupę *Enema* dzielił Arystoteles dalej na zwierzęta żyworodne i te, które wysiadują jaja, a obie te grupy – na następne itd.

Zasługi Arystotelesa w dziedzinie zoologii są ogromne. XIX-wieczny biolog Richard Owen powiedział nawet, że „nowożytna zoologia zrodziła się z dzieł Arystotelesa (...) niczym Atena z głowy Zeusa, w stanie szlachetnej i doniosłej dojrzałości”. Arystotelesowa klasyfikacja miejscami przypomina współczesną taksonomię, ponieważ czasami udawało mu się – na poły dzięki analizie języka, na poły dzięki wiedzy pochodzącej z obserwacji – poprawnie zidentyfikować „kluczowe” cechy jakiejś grupy zwierząt czy roślin. Zaś sama binarna logika klasyfikacji zapoczątkowana przez Arystotelesa regularnie wykorzystywana była przez kolejnych przyrodników bez mała dwa tysiące lat. Na przykład zmarły na początku XVII w. włoski botanik Andrea Cesalpino opracował binarną klasyfikację obejmującą 32 grupy roślin (wychodząc od znanego jeszcze w starożytności podziału na rośliny drzewiaste, takie jak drzewa i krzewy, oraz pozostałe – zioła i trawy).

Odkrywanie boskiego planu

Tomasz z Akwinu był jednym z tych myślicieli, którzy z Arystotelesowych klasyfikacji oraz obrazu stworzenia świata przez Boga, przyniesionego przez chrześcijaństwo, ukuili ideę „wielkiego łańcucha bytów”. Zakładała ona, że wszystkie rzeczy można ułożyć w kolejności zgodnej z boskim planem stwórczym: od samego Boga, przez byty niebiańskie – anioły i demony – ludzi, zwierzęta i rośliny, aż po minerały. Gatunki zwierząt i roślin miały zajmować w łańcuchu bytów konkretne, przeznaczone dla nich miejsce. Praca przyrodników urastała do rangi rozpoznawania boskiego stwórczego zamysłu.

Dokładnie taki cel przyświecał pobożnemu Szwedowi, Karolowi Linneuszowi, autorowi dzieła zatytułowanego „*Systema naturae*”, którego dziesiąta edycja z 1758 r. uznawana jest za początek nowożytnej klasyfikacji zwierząt (podobny status w dziedzinie botaniki posiada jego inne dzieło, „*Species plantarum*”, po raz pierwszy wydane w 1753 r.). Do jego czasów wiedza biologiczna zdołała się już znacznie rozrosnąć – na przykład opublikowana w 1682 r. praca „*Methodus plantarum nova*” Johna Raya zawierała ponad 18 tys. opisanych gatunków

– co przy braku jednolitego systemu nazewnictwa i klasyfikacji gatunków wywoływało ogromne zamieszanie. Nierzadko dochodziło do tego, że różni uczeni wprowadzali własne nazwy dla gatunków opisanych wcześniej przez innych przyrodników.

Sytuację uratował właśnie Linneusz, który jako pierwszy konsekwentnie zastosował dwuczłonowe nazewnictwo gatunków roślin i zwierząt, złożone z nazwy rodzajowej (np. *Homo* lub *Pan*) i gatunkowego epitetu (*sapiens*, *erectus* czy *troglydytes*). Udało mu się także zidentyfikować wiele konkurencyjnych nazw nadawanych tym samym gatunkom. Kilkaset lat przed wynalezieniem internetu było to nie lada wyzwaniem.

Niezwykłe użyteczny okazał się także jego hierarchiczny system klasyfikacji, polegający na przyporządkowywaniu gatunków do określonych „królestw” (zwierząt, roślin bądź minerałów), a dalej – poszczególnych „gromad”, „rzędów”, „rodzin” i „rodzajów”. Wcześniej różni przyrodnicy posługiwali się niektórymi z tych pojęć („gatunek” i „rodzaj” pojawiły się już u Arystotelesa, choć nie tylko w kontekście biologicznym), ale większość robiła to po swojemu. Porządek zdołał zaprowadzić dopiero Linneusz.

Spór o ład w przyrodzie

Jest raczej oczywiste, że w klasyfikacji zwierząt i roślin należy posługiwać się kryterium podobieństwa, ale wcale nie tak łatwo ustalić, pod jakim właściwie kątem należy porównywać różne gatunki zwierząt i roślin. A przecież od przyjętego kryterium zależy układ klasyfikacji. Zastanówmy się na przykład: czy wróbel bardziej przypomina ważkę, bo jedno i drugie ma skrzydła i stosunkowo niewielkie rozmiary, czy też słonia, bo podobnie jak on posiada kręgosłup? Albo czy wieloryby bardziej przypominają rekiny, bo też mają płetwy, czy żyrafy, bo również oddychają za pomocą płuc, a nie skrzel? Chcąc dokonać klasyfikacji wszystkich gatunków, Linneusz i inni badacze musieli odpowiadać na wiele tego rodzaju pytań.

W systematyce roślin Linneusz skupiał się na organach rozrodczych – czyli kwiatkach – oraz ich produktach, a więc owocach (co mogło być kontrowersyjnym krokiem w czasach, gdy toczył się żywy spór o to, czy rośliny w ogóle mają płeć). Linneusz nie wiedział jednak, że podobne cechy kwiatów – takie jak na przykład liczba słupków i pręcików – mogą pojawić się niezależnie u skądinąd bardzo odmiennych roślin (za sprawą odkrytej znacznie później tzw. ewolucji konwergentnej), więc jego dość arbitralne kryterium porównawcze przynosiło nieintuicyjne decyzje, a cała klasyfikacja wcale nie została przyjęta bezkrytycznie.

Nawet bardziej narażał się zaś oponentom swoją systematyką zwierząt, pozwalając sobie na jeszcze większą swobodę wyboru kryterium podobieństwa. Na przykład na podstawie budowy zębów przypisał ludzi, małpy i leniwce dwupalczaste do rzędu *Anthropomorpha*. Ta nazwa dzisiaj już nie funkcjonuje – współcześnie ludzi i małpy zalicza się do rzędu naczelnych (*Primates*), do którego jednak nie należą leniwce. Tylko ktoś owładnięty „obsesją klasyfikacji” mógł łączyć tak różne stworzenia – atakował Linneusza jego najbardziej zagorzały krytyk, Georges-Louis Leclerc, znany także jako hrabia de Buffon, współczesny mu czołowy francuski przyrodnik i jeden z najbardziej oryginalnych myślicieli tego okresu.

Spór Linneusza i Buffona miał znaczną głębszą naturę, nie chodziło wyłącznie o szczegółowe przyporządkowanie gatunków do poszczególnych rodzajów czy rodzin. Był to w istocie spór o to, czy w przyrodzie ożywionej (zwłaszcza w królestwie zwierząt) mamy do czynienia z chaosem, czy z porządkiem. Linneusz w odniesieniu do pojęcia gatunku i rodzaju był realistą – wierzył, że ta część jego klasyfikacji odzwierciedla porządek stworzenia, czyli że Bóg powołał do istnienia zwierzęta jako należące do różnych gatunków i rodzajów. Praca systematyka była dla niego źródłem religijnych uniesień. „Sledziłem ślady Boga w krainie przyrody i znalazłem w każdym, nawet w tym, który ledwie mogłem zrozumieć, niekończoną mądrość i moc, niedoścignioną perfekcję” – wspominał. Wyższe od gatunku i rodzaju jednostki taksonomiczne – królestwa, gromady czy rzędy – uznawał już jednak za sztuczne podziały, służące wyłącznie wygodzie badaczy przyrody. „Bóg stworzył – Linneusz uporządkował” – podobno lubił powtarzać.

Buffon był znacznie bardziej sceptyczny – twierdził, że gatunek tworzą osobniki obdarzone wspólnymi cechami, ponieważ się ze sobą krzyżują, ale te cechy wcale nie stanowią odbicia jakiegoś odwiecznego, boskiego planu. Byłoby absurdem – przekonywał Buffon – wyobrażać sobie, że Bóg „zajmował się sposobem, w jaki składają się skrzydła chrząszcza”.

Ale jeśli nie Bóg, to kto? Odpowiedź Buffona była naturalistyczna i ewolucyjna: był on w istocie jednym z ważniejszych prekursorów darwinizmu. Nie odkrył mechanizmu doboru naturalnego (czego nie spełnia sto lat później niezależnie dokonali Alfred Wallace i Karol Darwin), ale bliski mu był ewolucyjny sposób myślenia. Wpro-

wadził do biologii oraz geologii czynnik czasowy, szacując wiek Ziemi na przynajmniej 70 tys. lat (czyli ponad dziesięciokrotnie więcej, niż sugerowała Biblia). Zakładał, że przy tak długim czasie istnienia naszej planety gatunki, które obecnie nie mogą się krzyżować, nie natrafiały wcześniej na takie bariery. Odrzucał dogmat o niezmienności gatunków, co godziło w ideę „wielkiego łańcucha bytów” – dopuszczał możliwość, że organizmy zmieniają się pod wpływem środowiska. „Przyroda doznaje nieznanymi transformacji i w związku z tym nie może być poddana takim podziałom. Jeden gatunek czy rodzaj przechodzi w inny w procesie, którego nie jesteśmy w stanie dostrzec” – pisał Buffon.

Zmiany zachodzące w gatunkach postrzegał jednak nie w kategorii

„rozwoju”, lecz „degeneracji”, wynikającej z trudnych warunków klimatycznych. Na przykład takich, które panują w Ameryce Północnej, czym narażał się myślicielom z Nowego Świata. Thomas Jefferson, późniejszy prezydent Stanów Zjednoczonych, podobno nabrał się obsesji na punkcie obalenia teorii Buffona i spędzał wiele czasu na poszukiwaniach skamieniałości ogromnych zwierząt, które obroniłyby honor amerykańskich gatunków (także ludzie zamieszkujących te tereny), oskarżanych przez czołowego uczonego epoki o „degenerację”.

Darwinowskie porządki

W XVIII w. skamieniałości zaczęły zresztą coraz częściej zdobyć bogate kolekcje ówczesnych przyrodników, co otworzyło drogę do kariery Georges’owi Cuvierowi. To on przekonał środowisko naukowe, że skamieniałości pochodzą od wymarłych gatunków, zadając kolejny cios idei „wielkiego łańcucha bytów”, choć nie godziło to w samą wiarę w Boga – Cuvier sugerował, że to boskie interwencje mogły stać za katastrofami, które doprowadziły do wymierania gatunków. Do historii Cuvier przeszedł jednak przede wszystkim dzięki stworzeniu podstaw anatomii porównawczej – dziedziny, która stała się jednym z filarów ewolucjonizmu, pokazując (oraz pozwalając badać), podobieństwa planów anatomicznych różnych gatunków. Sam Cuvier nie był ewolucjonistą. Sądził, że organizmy żyjące są tak dobrze dostosowane do swoich nisz, że nie mają potrzeby, by się zmieniać.

Niedługo po śmierci Cuviera na scenę wkroczył Karol Darwin, zaczynając w biologii – i całej nauce – zupełnie nową epokę. Dzięki udowodnieniu zmienności gatunków i pochodzenia wszystkich istot żywych od wspólnego przodka Darwin wyjaśnił, skąd biorą się podobieństwa anatomiczne spotykane u różnych gatunków. Występowanie podobnych cech u dwóch różnych gatunków mogło świadcząć o tym, że miały one wspólnego przodka, po którym je odziedziczyły. Systematyka przestała być więc wyłącznie grupowaniem gatunków dla wygody przyrodników ze względu na podobieństwo mniej lub bardziej arbitralnie dobieganych cech – musiała zacząć uwzględniać pokrewieństwo gatunków, czyli ich ewolucyjne historie (filogenezę). Od kilku dekad to pokrewieństwo udaje się coraz skuteczniej identyfikować (to domena tzw. kladystyki), do czego przyczynił się rozwój analiz genetycznych. Badania genetyczne →



W jednej z sieci znaleźliśmy rodzaj bardzo płaskiej rai. (...) Conseil, któremu chodziło o rybę, rzucił się na nią i zanim zdolałem mu przeszkodzić, pochwyił obiema rękoma. Lecz w mgnieniu oka padł na platformę i wywijając w górze nogami, sparaliżowany w połowie ciała, krzyczał: — Ach! Panie, panie! Ratuj mnie pan!

Podnieśliśmy go z Kanadyjczykiem i natarliśmy pokurczone ramiona, po czym, odzyskawszy zmysły, ustawiczny ten klasyfikator wyszeptał przerywanym głosem:

— Gromada chrząstkowatych, rząd chrząstkopłetwych ze stałymi skrzelami, podrząd żartaczy, rodzina rajów, rodzaj drętwek.

— Tak, mój przyjacielu – odpowiedziałem – to drętwek wprawił cię w stan tak smutny.

— Ach! Niech mi pan wierzy – odparł – zemszczę ją się na tym stworzeniu.

— A to jak?

— Zjem je.

■ JULES VERNE, „20000 MIL PODMORSKIEJ ŻEGLUGI”,
TŁUM. B. KIELSKI

⇒ pozwalają bowiem rozstrzygać, czy podobne anatomiczne cechy występujące u dwóch gatunków (jak płetwy ryb oraz płetwy morskich ssaków) zostały odziedziczone po ich wspólnym przodku, czy też pojawiły się zupełnie niezależnie (w wyniku ewolucji konwergentnej).

Dzięki Darwinowi samo pojęcie gatunku zyskało dynamiczny wymiar, bliski myśleniu Buffona: jako coś pozwalającego nam porządkować przyrodę, która ze względu na ewolucyjną ciągłość może się wydawać znacznie bardziej chaotyczna. Odbiciem tej chaotyczności przyrody jest brak jednej, powszechnie akceptowanej definicji gatunku, która umożliwiłaby precyzyjną i rozłączną klasyfikację organizmów. Stąd niekończące się dyskusje systematyków dotyczące tego, kiedy należy ogłosić istnienie nowego gatunku, a kiedy mamy do czynienia raczej z podgatunkami.

Według różnych szacunków na świecie żyje od trzech do stu milionów różnych gatunków, z których dotąd opisanych zostało ponad półtora miliona. Wszystkie posiadają dwuczłonowe nazwy i wszystkie porządkowane są zgodnie z hierarchiczną klasyfikacją wprowadzoną przez Linneusza. Ale jego dokonania mają też jeszcze jeden wymiar. Dały impuls do wręcz szaleńczego poszukiwania nowych gatunków (czy to współczesnych, czy wymarłych). Kilkunastu uczniów samego Linneusza przypłaciło to życiem na różnych wyprawach, a ofiarność ich następców zaowocowała rozkwitem muzeów historii naturalnej w Starym i Nowym Świecie. Nawet to paryskie, założone przez Buffona i rozbudowane przez Cuviera, ma więc co zawdzięczać Linneuszowi, który we Francji nie cieszył się aż takim uznaniem jak jego największy krytyk – przeciwnie niż w każdym innym kraju na świecie. ©

ŁUKASZ KWIATEK

Autor jest filozofem i kognitywistą, członkiem Centrum Kopernika i redaktorem działu naukowego „Tygodnika Powszechnego”.

Korzystałem m.in. z: R. Conniff, „Poszukiwacze gatunków”, Warszawa 2011; F. Stafleu, „A Historical Review of Systematic Biology”, [w:] C. Sibley (red.), „Systematic Biology: Proceedings of an International Conference”, Waszyngton 1969; A. Minelli, „Historical Review of Systematic Biology and Nomenclature”, [w:] A. Minelli, G. Contrafatto (red.), „Biological Science Fundamentals and Systematics”, t. II, Oxford 2009.

Policyjna rekonstrukcja masakry gangu Morana w garażu na North Clark Street, koroner Bundesen trzeci od prawej. Chicago, 1929 r.

Siły chaosu i siły ładu

MICHAŁ KUŹMIŃSKI

Jedno słowo kołatało się w głowie koronera dr. Hermana N. Bundesena, gdy w walentynkowe przedpołudnie 14 lutego 1929 r. wszedł do hali garażowej przy 2122 North Clark Street na chicagowskiej North Side: „chaos”.

Przy ścianie leżało siedem ciał rozprutych salwą maszynową. Dwóm strzelono jeszcze w twarz z shotguna. Zwłoki w dwurzędowych garniturach leżały pokotem, niczym pacyнки ciśnięte o ścianę przez rozkapryszone dziecko. Wokół walało się przynajmniej 70 łusek.

Siedmiu gangsterów George’a „Bugsza” Morana, wśród nich jego najlepsi ludzie, wprawieni w zabijaniu, uzbrojeni po zęby. A jednak nie było żadnych śladów walki. Karnie stanęli pod ścianą i zginęli od salwy w plecty. Jak to możliwe?

Mieszkające naprzeciwko kobiety widziały policjantów, jak wyprowadzili z magazynu na muszce dwóch mężczyzn z rękami w górze. Bugs Moran spóźnił się zaś tego dnia na spotkanie w feralnym magazynie, gdzie miał odebrać transport alkoholu. To go ocaliło. Zobaczył policjantów wchodzących do magazynu i natychmiast uciekł.

Kto dokonał egzekucji? Moran konkurował z innym chicagowskim mafiozem: Alem Capone. Ale Al miał alibi: był wtedy na Florydzie. Nie dało się też powiązać ze sprawą jego ludzi. A więc policjanci? W Chicago czasów prohibicji trudno było niekiedy

rozróżnić gangstera od policjanta czy polityka. Pewne było tylko, że użyto dwóch pistoletów maszynowych thompson kaliber 45. Na pomoc wezwano największy autorytet raczkującej dopiero dziedziny – balistyki sądowej, Calvina Goddarda. Kardiologa z wykształcenia, rusznikarza z zamiłowania, specjalistę od badań pocisków pod świeżo skonstruowanym do tych celów mikroskopem porównawczym.

Pierwszy werdykt: masakry nie dokonano z żadnego thompsona należącego do policji. Ale w grudniu 1929 r. w ręce stróżów prawa wpadł arsenał jednego z ludzi Ala Capone: amunicja, pistolety, dwa shotguny i dwa thompsony. Goddard, zbadawszy je, był pewien: to za ich pomocą dokonano zbrodni. Do magazynu weszło dwóch bandytów Capone w policyjnych mundurach. Sądząc, że to zwykły nalot, ludzie Morana nie stawiali oporu. Wtedy wkroczyło dwóch cywilów z thompsonami. Cała czwórka umknęła, fingując scenę aresztowania, którą widzieli świadkowie.

Sprawa przeszła do historii jako Masakra w dniu Świętego Walentego. Do historii przeszedł też Goddard. Na fali sławy założono dlań Scientific Crime Detection Labo-





CHICAGO HISTORY MUSEUM / GETTY IMAGES

ratory, instytut, gdzie naukowymi metodami miał zwalczać gangsterów. Wszystko za sprawą mikroskopijnych, unikatowych śladów zostawianych na łusce i pocisku przez mechanizm broni i gwint jej lufy, którym przyjrzało się oko naukowca. I na podstawie których sprawcy wpadają do dziś.

Arsenał dyscyplin

Tak naprawdę nikt nie wie, co na miejscu masakry pomyślał chicagowski koroner. Ale słowo „chaos” pasuje. W ustach detektywów pojawia się ono często na początku kryminalnych fabuł. Bo zbrodnia pozostawia chaos w każdym sensie. Tym bardzo dosłownym – ponieważ miejsce zbrodni nie ma w sobie nic z przeestetyzowanego kadru kryminalnego serialu ani z pasjonującej zagadki, którą przy kominku rozwikłuje powieściowa starsza pani. Jest ponurą, lepłą i cuchnącą areną chaosu. Ale też w sensie najszerszym, bo zbrodnia czyni wyrwę w porządku świata. Historie kryminalne, niczym współczesna mitologia, są opowieściami o herosach stawiających czoło Losowi, przywracających porządek zaburzonego świata.

Z tej perspektywy kryminalistyka jest nauką, która w chaosie poczynionym przez zbrodnię konsekwentnie i racjonalnie szuka śladów, wzorców, sensu. Która przy pomocy arsenału naukowych metod stawia sobie za cel odtworzenie z chaosu rozbrzęgów, strzępów, plam, smug, woni, płynów, gazów i wydzielin – tego, co, jak, kiedy i za czyją przyczyną się zdarzyło. Chce więc z chaosu odtworzyć porządek. I ów porządek – oddając sprawcę wymiarowi sprawiedliwości – przywrócić.

Kryminalistyka, formalnie dziedziną nauk prawnych, korzysta z osiągnięć wszystkich chyba dyscyplin: od fizyki i mechaniki, przez medycynę i psychologię, po biotechnologię, chemię, toksykologię, mikrobiologię... Interesują ją i podłoża eskalacji działań seryjnych morderców, i cykl rozwojowy muchy plujki w zwłokach. I sekwencje nukleotydów, i tłuste odciski paluchów. Korzysta z narzędzi tak wyrafinowanych jak chromatograf (do analizy składu substancji) czy termocykler (do namnażania DNA), tak prostych jak olbrzymi stalowy lejek (nad którym wyczesuje się mikroślady z ubrania ofiar) i tak fantastycznych jak pędzelek z puchu mara-

buta (do rozprowadzania proszku daktyloskopijnego).

U swoich początków musiała się ona jednak zmierzyć z chaosem w sensie najbardziej dosłownym.

Niepowtarzalni

Paryż, początek XIX wieku. Po wojnach napoleońskich i u zarania przemysłowego społeczeństwa jest to wymarzony teren dla najróżniejszych łotrów. W 1810 r., by umknąć zemsty przestępczego światka, swoje usługi włodarzom miasta oferuje niejaki Eugène-François Vidocq, były złodziej i rzeźmieszek. A wkrótce – detektyw. Tworzy osławioną Sûreté, wychodząc z założenia, że nikt tak dobrze nie zna kryminalnego fachu jak kryminaliści. Pierwszymi detektywami zostają podobni Vidocqowi przestępcy. Ale w jednym nikt nie był doń podobny: Vidocq miał fenomenalną pamięć do twarzy, był żywą kartoteką kryminalną. Rzecz w tym, iż w miarę rozwoju policji kryminalnej on jeden przestał wystarczać. Pojawił się problem: jak bezbłędnie zidentyfikować rzeźmieszka, który wówczas bez trudu mógł zmienić nazwisko czy wygląd? I jak szybko →

→ wydobywać potrzebne akta z pęczniającej kartoteki?

Traf chciał, że pracy dla swojego *enfant terrible* poszukiwał wybitny lekarz, statystyk i antropolog *monsieur* Adolphe Bertillon. Synowi Alphonse'owi, bodaj najbardziej antypatycznym typowi w całym Paryżu, znalazł w 1879 r. zatrudnienie w charakterze policyjnego pisarczyka. Alphonse szybko doszedł do wniosku, że pracuje w chaosie nieogarnialnym. Bo jak wśród dziesiątek tysięcy fiszek znaleźć kartotekę sprawcy opisanego przez leniwego funkcjonariusza jako „raczej wysoki” albo „typ przeciętny”? Wtedy rodzinna krew dała o sobie znać. Bertillon zaczął z aresztantów zdejmować precyzyjne pomiary i opracował system, który pozwalał niemal bezbłędnie zidentyfikować osobę na podstawie zestawu cech takich jak długość kończyn, palców, obwód głowy itp. Obliczył, że szansa znalezienia dwóch kryminalistów o czternastu identycznych cechach jest jak 1 : 286 435 456. Co więcej, jego oparty na antropometrii system – po latach perturbacji wdrożony do praktyki policyjnej pod nazwą *bertillonage* – pozwalał też szybko nawigować po kartotekach.

W zupełnie innym miejscu globu brytyjski urzędnik kolonialny William J. Herschel zmagał się wówczas z nierzetelnymi kontraktorami. Wymyślił, by od zatrudnianych Hindusów wymagać podpisu w formie odcisku palca. Zgromadził w ten sposób pokaźny zasób i badając go, odkrył coś, na co wpadli już neolityczni garncarze: że odciski naszych palców są unikalne. Tysiąc lat przed naszą erą Chińczycy podpisywali odciskiem palca urzędowe dokumenty. W 1685 r. boloński anatom Marcello Malpighi opisał dziwne wzory pętli i zawijasów na opuszkach, a w 1823 r. Johannes Purkinje z Uniwersytetu w Breslau sklasyfikował dziewięć ich głównych wzorów. Niedługo później Henry Faulds, szkocki lekarz pracujący w Tokio, złapał włamywacza, który potknął się o fajerkę i zostawił na białym tynku ślad dłoni umorusanej sadzą – i w 1880 r. napisał do czasopisma „Nature” list o możliwościach, które wymiarowi sprawiedliwości dają odciski palców. Wreszcie w 1891 r. Francis Galton – antropolog samouk – wydał epokowe dzieło pt. „*Fingerprints*”, o tym jak za pomocą linii papilarnych identyfikować ludzi.

Dzisiaj daktyloskopia to kryminalistyczny elementarz – a odciski pobiera się metodą niezmienną od wieków: odciskając uwalane tuszem palce na papierze. Oczywiście, dzisiaj skanuje się je też i analizuje komputerowo.

Spójrz teraz na opuszek swojego kciuka. Znajdź trójkątny kształt, gdzie rozchodzą się ciągi linii. To tzw. delta. Jeśli masz jedną, a linie układają się w otwartą z jednej strony pętlę, dzieliłś ten wzór z 64 proc. populacji. Jeśli masz przynajmniej dwie, a linie



Powyżej: Odbitki wykonane przez Williama J. Herschela, lata 1859/1860

HERSCHEL wymyślił, by od zatrudnianych Hindusów wymagać podpisu w formie odcisku palca. Zgromadził w ten sposób pokaźny zasób i badając go, odkrył coś, na co wpadli już neolityczni garncarze: że odciski naszych palców są unikalne.

zamykają się w wir – jesteś reprezentantem 30 proc. Jeśli nie masz delty, a twoje linie papilarne tworzą łuk, witamy wśród elitarnych 6 proc. Teraz wyobraź sobie odcinek od centrum wzoru do delty. To tzw. linia Galtona. Liczba bruzd, która ją przecina, to jedna z podstaw katalogowania odcisków palców – sposobów na ujęcie miriad chaotycznych wzorów w karby porządku. A teraz popatrz dokładniej. Dostrzeżesz rozwidlenia, oczka, punkty, mostki – to tzw. minucje: detale sprawiające, że nikt na świecie nie ma identycznych odcisków palców. Nawet jeśli masz bliźniaka.

Linie papilarne kształtują się między 100. a 120. dniem życia płodowego i nie zmieniają się do śmierci. I odrastają – o czym przekonał się legendarny bandyta John Dillinger. Usłyszawszy o daktyloskopii, heroicznie dał sobie wytrawić opuszki w kwasie. Gdy zginął w zamachu, szczątki jego linii papilarnych i tak zdołano dopasować do odcisków figurujących w kartotece policyjnej.

Inną próbę walki ze zdracliwymi palcami podjął w 1941 r. niejaki Robert Philips, który kazał sobie na opuszki przeszczepić skórę z klatki piersiowej. Zidentyfikowano go bezbłędnie jako jedyne na świecie złodzieja, który zamiast odcisków linii papilarnych zostawia dziwaczne wzorki.

Natura nie lubi się powtarzać. Dzięki temu kryminalistyka ma takie dziedziny jak cheiloskopia badająca odciski warg na szklankach, otoskopia – analizująca odci-

ski ucha, które nasłuchujący włamywacze przyciskają do drzwi i okien, jest też gantiskopia, badająca ślady... rękawiczek. Traseologia bada ślady butów i charakterystyczne cechy chodu, a osmologia – zapachy. Odontoskopia zajmuje się zaś śladami zębów.

Na tych ostatnich wpadł słynny seryjny morderca Ted Bundy, polujący na młode długowłose brunetki z przedziałkami. Zbrodniarz uciekł organom ścigania i kilkanaście dni później napadł na akademik na Florydzie. Zgwałcił tam i zabił dwie studentki. Trzecia przeżyła. Nie pozostawił prawie żadnych śladów. Miesiąc później policja zatrzymała go w skradzionym aucie. Zidentyfikowano go na podstawie odcisku zgryzu: jego krzywe i ukruszone zęby pasowały bezbłędnie do rany na skórze ofiary. W 1989 r. został stracony na krześle elektrycznym.

A ponad wszystkie unikatowe cechy wyróżnia się jedna. Nasz kod genetyczny.

Uparty ślad

Naskórek sprawcy pod paznokciami ofiary. Mikre kropelki śliny. Włos z cebulką. Niedopałek papierosa. Sperma. Ziarna chaosu na miejscu zbrodni. A jednak tkwią w nich cegiełki porządku: DNA, białko porządkujące nasze istnienie.

Za kodowanie naszych cech odpowiada tylko 5 proc. ludzkiego genomu. Reszta zawiera powtarzalne sekwencje, których sensu jeszcze do końca nie rozumiemy, ale genetycy sądowi robią z nich znakomity użytek: różnice w ich sekwencjach i długości, zwane polimorfizmem, pozwalają z niezwykle wysokim prawdopodobieństwem orzec, czy dwa jego fragmenty pochodzą od tej samej osoby. Polimorfizm odkrył w 1985 r. Alec Jeffreys z Leicester University, zaraz potem opracowując proces izolowania i analizy fragmentów DNA. Przełom wieków przyniósł nowe techniki namnażania DNA i jego badania. To wtedy otwarto na nowo wiele umorzonych spraw.

8 kwietnia 1987 r. policja zdobyła nakaz przeszukiwania u niejakiego Gary'ego Ridgwaya, lakiernika z fabryki aut Kenworth. Podejrzewano, że to on może być „zabójcą znad Green River” – jednym z najkrwawszych seryjnych morderców USA, w latach 1982-91 bestialsko zabijającym prostytutki. W pochwach swoich ofiar zostawiał kamienie. Przeszukanie było bezowocne, Ridgway nie zgodził się też na badanie poliografem. Przysłał tylko na oddanie próbki śliny. Wówczas jej analiza też na nic się nie zdała. Dopiero w 2001 r. technika pozwoliła wyodrębnić na kamieniach z ciał ofiar próbki spermy i namnożyć zawarte w nich DNA na tyle, by nadawało się do analizy. Porównano je z przechowaną przez wszystkie te lata śliną. Wynik pozwolił postawić Ridgwayowi zarzut czterokrotnego morderstwa. Wtedy

przyznał się do 48 zabójstw, idąc na współpracę, by uniknąć wyroku śmierci. Dziś odsiaduje 50-krotne dożywocie w więzieniu o maksymalnym rygorze w Kolorado.

Również w Polsce policjanci z wydziałów zwanych „Archiwami X” wrócili do wielu umorzonych dochodzeń. Bo DNA wykazuje upartą tendencję do przetrwania: zdadne do analizy próbki da się wyizolować nie tylko z ciała w stanie rozkładu czy starych plam krwi na zmagazynowanych dowodach, ale nawet z kości praludzi.

Genetyka sądowa to być może najprężniejsza dziś dziedzina kryminalistyki, a na jej czele plasują się badania nad tzw. predykcją cech. Choć genom zawiera całą informację o każdej z naszych cech, to jest ona tak rozproszona, a kombinacji jest tak wiele, że sytuacja, w której na podstawie plwociny komputer odtwarza wygląd sprawcy, może się wydarzyć tylko w kiepskich serialach. Jeszcze. Bo zespół badaczy z Pensylwanii i Leuven już w 2014 r. ogłosił metodę określania na podstawie DNA zarysu twarzy (więcej w „TP” 15/2014). Z kolei dzięki badaniom m.in. uczonych z krakowskiego Instytutu Ekspertyz Sądowych powstał np. tzw. test HIRISplex, dzięki któremu można określić kolor włosów i oczu właściciela DNA. Pracują oni także nad ustalaniem wieku właściciela za pomocą zmian (tzw. metylacji) zachodzących w DNA w trakcie życia.

Czy więc eksperci kryminalistyki na podstawie śladów będą potrafili stworzyć portret sprawcy? Otóż potrafią to już od dawna.

Prawda, prawidłowość, statystyka

Rok 1979. Na szlakach turystycznych w okolicach San Francisco giną kobiety. Morderca napada w odosobnieniu. Strzela z zaskoczenia. Nie ma śladów gwałtu. Jedną z kobiet

rozbiera. Upozowuje ciała. Ofiary są w różnym wieku. Sprawą „zabójcy ze szlaku” zajmuje się agent FBI John Douglas z Jednostki Nauk Behawioralnych w Quantico, specjalizującej się w czymś, co przejdzie do języka kryminalistyki i popkultury jako profilowanie kryminalne. Douglas jest jednym z twórców nowoczesnego profilowania i pierwowzorem Jacka Crawforda z powieści Thomasa Harris o Hannibalu Lecterze.

Przedstawia lokalnej policji swoją ocenę. Nie podziela gotowego już profilu, jakoby sprawca był przystojnym uwodzicielem. „Macie do czynienia z aspołecznym typem, niepewnym siebie, niezdolnym do nawiązania kontaktów – wyrokuje i wylicza: – ma kryminalną przeszłość. Jest biały. Jako dziecko moczył się w nocy, dręczył zwierzęta i bał się ogniem. I jeszcze jedno” – zrobił teatralną pauzę. To, co następnie powiedział, sprawiło że doświadczeni policjanci na sali wydęli wargi.

„Sprawca będzie miał wadę wymowy” – zapewnił profiler.

Ostatecznie sprawcą okazał się David Carpenter, karany za uśmierzanie morderstwa, a jako młodociany – za molestowanie. W dzieciństwie był ofiarą dominującej matki i ojca-alkoholika, moczył się w nocy, dręczył zwierzęta. I strasznie się jąkał.

Douglas pisze, że osławione profilowanie to kombinacja psychologii i statystyki. Jego badania polegały w dużej mierze na niestrudżonym prowadzeniu wywiadów

MIJESCE ZBRODNI nie ma w sobie nic z przeestetyzowanego kadru kryminalnego serialu ani z pasjonującej powieściowa starsza pani. Jest ponurą, lepką i cuchnącą areną chaosu.

z osadzonymi sprawcami seryjnych i masowych zbrodni, wypełnianiu kwestionariuszy i szukaniu prawidłowości. Podstawa profilowania jest wiedza: że seryjne zbrodnie popełniane są w obrębie własnej rasy (stąd pewność, że zabójca był biały – bo ofiary były). Że większość seryjnych w dzieciństwie się moczyła, dręczyła zwierzęta i fascynowała się ogniem (ta prawidłowość, rzecz jasna, nie działa w drugą stronę). Że sprawcy, którzy popełniają zbrodnie z doskoku, bez planu, to zwykle samotnicy nieradzący sobie z relacjami, nieumiejący np. zmanipulować ofiary (jedynym ich sposobem kontrolowania sytuacji jest gwałtowny atak).

A wada wymowy? Douglas uznał tak na podstawie miejsca zbrodni: odosobnionego tak bardzo, jakby sprawca wstydził się samego siebie.

Choć profilerzy – jak i cała kryminalistyka – za sprawą popkultury mają renomę jasnowidzów-prestidigitatorów, są naukowcami. Ich osnuta nimbem legendy dziedzina po wielokroć pozwalała w chaosie miejsca zbrodni wypatrzyć drobne wskazówki, które zawężyły charakterystykę sprawcy na tyle, żeby go ostatecznie ująć.

A Douglas i Bertillon mogą sobie podać rękę na gruncie statystyki: królowej porządkowania chaosu.

©

MICHAŁ KUŹMIŃSKI

Autor jest kierownikiem działu naukowego „TP” oraz autorem (wraz z Małgorzatą Fugiel-Kuźmińską) powieści kryminalnych.

Korzystałem m.in. z: J. Douglas, M. Olshaker, „Mindhunter”, Nowy Jork 1995; E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, „Kryminalistyka – czyli rzecz o metodach śledczych”, Warszawa 2011; D.P. Lyle, „Forensics For Dummies”, Hoboken, NJ, 2004; J. Thorwald, „Stulecie detektywów”, Kraków 2009; www.crimemuseum.org.



MOVIESTORE / REX / EAST NEWS

Świat bez przestępstw wg „Raportu mniejszości” Philipa K. Dicka: specjaliści agencji-jasnowidze chaotycznie przeszukują różne wersje przyszłości, by odnaleźć winnych niepopetnionych jeszcze zbrodni. Powyżej kadr z filmu Stevena Spielberga.