

Przedmowa

Przedmowa jest najważniejszą częścią książki. Nawet krytycy czytają przedmowę,

PHILIP GUEDALLA

Zarówno naukowcy, jak i filozofowie wielką wagą darzą to, co niemożliwe. Naukowcy chcieliby pokazać, że *rzeczy* uważane powszechnie za niemożliwe są w rzeczywistości zupełnie możliwe, a filozofowie, dla odmiany, bardziej skłaniają się ku wykazaniu, iż rzeczy powszechnie uważane za absolutnie wykonalne są w rzeczywistości niemożliwe. A jednak, paradoksalnie, nauka jest możliwa tylko dlatego, że niektóre rzeczy są niemożliwe.

Niezaprzeczalne dowody, że Naturą rządzą wiarygodne „prawa”, pozwalają nam oddzielić możliwe od niemożliwego. Tylko te kultury, które wierzyły, że istnieje rozróżnienie między możliwym a niemożliwym, zapewniły naturalne zaplecze dla rozwoju nauki. „Niemożliwość” nie dotyczy jednak tylko nauki. Na następnych stronach przyjrzymy się pewnym sposobom, jakimi niemożliwe, obecne w sztuce, literaturze, polityce, teologii i logice, pobudziło ludzki umysł do nieoczekiwanych kroków- podejmowania rozważań, jak koncepcja niemożliwego pozwala w nowym świetle ujrzeć naturę i istotę rzeczywistego.

W umysłach wielu ludzi pojęcie niemożliwego włącza dzwonek alarmowy. Dla niektórych wszelka sugestia, że mogą istnieć granice swobody ludzkiego zrozumienia Wszechświata lub postępów nauki, jest niebezpieczną ideą, która podkopuje zaufanie do naukowego przedsięwzięcia. Równie bezkrytyczni są ci, którzy entuzjastycznie przyjmują każdą sugestię, że nauka może być ograniczona, mają bowiem podejrzenia co do motywów i lękają się niebezpieczeństw nieokiełznanego odkrywania nieznanego.

U schyłku każdego wieku w nauce dokonuje się czegoś w rodzaju remanentu. Przekonamy się, że pod koniec dziewiętnastego wieku wypłynął temat ograniczeń nauki i podjęto mnóstwo prób wyodrębnienia problemów, których nigdy nie uda się rozwiązać. Nadal jest to interesująca lektura. Co jednak powiedzą ludzie o naszych zainteresowaniach w okresie minionych stu lat? Wszakże, stojąc u kresu dwudziestego stulecia, patrzymy wstecz także i na ten, jakże niezwykły wiek postępu. Przy czym jest to postęp, mający pewne niezwykle cechy, a mianowicie w wielu sferach zdobywania wiedzy stało się regułą, iż teoria naukowa jest tak doskonała pod względem dokładności, jak i jakości przewidy-

wań, że jej zwolennicy zaczynają się zastanawiać, czy to się kiedykolwiek skończy - a może ich teoria będzie zdolna objąć wszystko, czego dotyczy? Jednakże wówczas dzieje się coś dziwnego. Teoria przewiduje, że czegoś nie może przewidzieć. Co więcej, nie jest to po prostu ograniczenie zasięgu jej działania, ale wewnętrzne samoograniczenie. Zaskakująca powtarzalność tego wzorca sugeruje nam, iż dojrzałe teorie naukowe możemy rozpoznawać, widząc ich samoograniczający charakter. Aczkolwiek ograniczenia tego rodzaju rodzą się nie dlatego, że teorie są nieadekwatne, niedokładne czy nieodpowiednie -one pozwalają nam sięgnąć głęboko w naturę wiedzy i wiele mówią o implikacjach badania Wszechświata od wewnątrz.

Nasze badanie granic nauki i nauka o granicach powiodą nas od rozważań nad praktycznymi ograniczeniami, wynikającymi z kosztów, złożoności obliczeniowej i stopnia skomplikowania, do restrykcji, jakie na nasze możliwości poznawcze nakłada fakt, że znajdujemy się w samym środku takich parametrów Natury jak wymiar, wiek i skomplikowanie. Będziemy spekulować na temat naszych możliwości technologicznych w przyszłości i ustalimy obecne umiejętności i możliwości manipulowania Naturą w obszarze rzeczy dużych, małych i skomplikowanych. Jednakże sprawy praktyczne to nie jedyne ograniczenia, z jakimi się spotykamy. Być może istnieją granice wymuszone przez samą naturę człowieczeństwa. Ludzki umysł nie rozwinął się po to, by móc uprawiać naukę. Eksploracja naukowa, podobnie jak nasz zmysł artystyczny, to produkt uboczny mieszanki atrybutów, które przetrwały głównie dlatego, że były lepiej przystosowane, by przeżyć w środowiskach, z jakimi zetknęliśmy się w dalekiej przeszłości. Może te właśnie niejasne początki pozwolą wyjaśnić nasze dążenie do zrozumienia Wszechświata? Następnie dowiemy się, że na kilka wielkich pytań kosmologicznych, dotyczących początku, końca i struktury naszego Wszechświata, nie może być odpowiedzi. Mimo że astronomowie z wielką pewnością siebie przedstawiają współczesne poglądy na

Wszechświat, przedstawienia te są niezmiennie upraszczane w sposób maskujący przyczyny, które nie pozwalają nam dowiedzieć się, czy Wszechświat jest skończony, czy nieskończony, otwarty czy zamknięty, wieczny czy śmiertelny. Na zakończenie zagłębimy się w tajemnice słynnych twierdzeń Godła mówiących o granicach matematyki. Wiemy, że muszą istnieć formuły arytmetyczne, których prawdziwości nigdy nie uda nam się potwierdzić ani zaprzeczyć. Co to tak naprawdę oznacza? Jakie drugie dno się w tym kryje? Jakie są jego implikacje dla nauki? Czy to oznacza, że istnieją pytania naukowe, na które nigdy nie będziemy mogli odpowiedzieć? Zobaczmy, że odpowiedzi są zaskakujące i zmuszają nas do zastanawiania się nad ewentualnym znaczeniem sprzeczności w Naturze, paradoksami podróży w czasie, naturą wolnej woli i działaniem umysłu. Wreszcie zbadamy niektóre dziwne implikacje, wyłaniające się podczas prób przejścia od rozważania indywidu-

alnych wyborów do rozważania wyborów kolektywnych. Czy jest to wynik wyboru, czy też sposobu działania czyjegoś umysłu w obliczu konkurencyjnych opcji mózgu. Dostrzeżemy głęboko ugruntowaną niemożliwość, która być może ma odgałęzienia w całej domenie skomplikowanych systemów.

Tutaj, w tym dziwnym świecie fundamentalnych granic dowiadujemy się, że światy wystarczająco skomplikowane, by zaistniały pewne byty, koniecznie muszą być otwarte na tyle, by przeciwstawić się schwytnemu w klatki jednego systemu logicznego. Wszechświaty, które są wystarczająco skomplikowane, by pojawiła się w nich świadomość, narzucają granice tego, czego można się o nich dowiedzieć, patrząc z wewnątrz.

Mam nadzieję, że zanim skończy się ta podróż, czytelnik przekona się, że więcej w tym niemożliwego, niż widać na pierwszy rzut oka. Rola niemożliwości dla naszego pojmowania jest daleka od negatywnej, a wręcz przeciwnie, uważam, że stopniowo przekonamy się, iż rzeczy, których nie można poznać, których nie można zrobić ani zobaczyć, definiują nasz Wszechświat o wiele lepiej, o wiele pełniej i o wiele ostrzej niż te, które można poznać, zrobić i zobaczyć.

Niniejszą książkę dedykuję pamięci Rogera Taylera, który niestety nie dożył jej ukończenia. Jego bezinteresowność wobec kolegów w Sussex oraz wobec szerszej społeczności astronomów w Wielkiej Brytanii i na świecie, zyskała mu szacunek, podziw i przyjaźń uczonych w każdym kraju. Bardzo go nam brakuje.

Pragnę podziękować wielu ludziom, którzy pomogli mi swoimi komentarzami i radami oraz tym, którzy sporządzili rysunki i wyszukali źródła. Są to przede wszystkim David Bailin, Per Bak, Margaret Boden, Michael Burt, Bernard Carr, John Casti, Creg Chaitin, John Conway, Norman Dombey, George Ellis, Mikę Hardiman, Susan Harrison, Jim Hartle, Pięć Hut, Janna Levin, Andrew Liddle, Andre Linde, Seth Lloyd, Harold Morowitz, David Pringle, Martin Rees, Nicholas Rescher, Mark Ridley, David Ruelle, John Maynard Smith, Lee Smolin, Deb-bie Sutcliffe, Karl Svozil, Frank Tipler, Joseph Traub i Wes Williams. Moja żona Elisabeth pomagała mi na wiele praktycznych sposobów, a niezliczone nowe skrawki papieru w domu przyjmowała z zaskakującym humorem. Dla naszych dzieci Davida, Rogera i Louise temat mojej pracy budził tylko obawy, że zostaną odkryte jakieś fundamentalne ograniczenia korzystania z telefonu.

Brighton Listopad 1997

J. D. B.
Rozdział 1

Sztuka niemożliwego

Jeśli starszawy, uznany naukowiec mówi, że coś jest możliwe, niemal z pewnością ma rację, lecz jeśli mówi, że to jest niemożliwe, najprawdopodobniej się myli.

ARTHUR C. CLARKE

Potęga negatywnego myślenia

To właśnie podoba mi się u lorda Younga. Kiedy wy przychodzicie z problemami, on przychodzi z rozwiązaniami.

MARAGARETHATCHER

Nasze półki wypchane są książkami na temat sukcesów ludzkiego umysłu i krzemowego czipa. Spodziewamy się, że nauka powie nam, co da się zrobić i co należy zrobić. Rządy liczą na naukowców, że poprawią oni jakość naszego życia i ochronią nas przed skutkami wcześniejszych „poprawek”. Futurologdy nie widzą kresu ludzkiej dociekliwości, a socjologdy końca problemów, jakie ona ze sobą niesie. Rozważania mediów nad przyszłymi drogami nauki dotyczą zaś głównie naszych oczekiwań związanych z wielkimi „naprawami”: złamaniem ludzkiego kodu genetycznego,

uleczeniem wszystkich chorób fizycznych, manipulacją atomami materialnego wszechświata i wreszcie stworzeniem inteligencji przewyższającej naszą. Niewątpliwie, postęp ludzkości coraz bardziej przypomina wyścig zmierzający do manipulowania otaczającym nas światem we wszystkich wymiarach, wielkich i małych.

Łatwo byłoby napisać kolejną taką opowieść o sukcesach nauki. My jednak opowiemy inną historię - taką, która mówi nie o tym, co wiadome, lecz o tym, co niewiadome, opowieść o rzeczach niemożliwych, o granicach i barierach nie do przekroczenia. Być może brzmi to nieco perwersyjnie. Czy naprawdę nic nie da się powiedzieć o nie poznanym, nie zagłębiając się w to, co niepoznawalne? Jednak „niemożliwe” to pojęcie potężne i trwałe. Jego wpływ na naszą historię, choć niezauważony, jest bardzo głęboki i rozległy, a jego miejsce w naszym obrazie najgłębszych poziomów Wszechświata nie do zakwestionowania. Natomiast pozytywna rola, jaką przy tym odgrywa, umknęła uwadze krytyków. Zamierzamy obnażyć niektóre ograniczenia nauki - pokazać, jak świadomość, że coś jest niemożliwe, otwiera przed nami nowe perspektywy widzenia rzeczywistości.

Gdy jesteśmy młodzi, myślimy, że wiemy wszystko, ale kiedy dorastamy i stajemy się mądrzejsi, stopniowo odkrywamy, że wiemy mniej, niż myśleliśmy. Poeta W. H. Auden uważa, że

Między dwudziestym a czterdziestym rokiem życia poznajemy siebie, to zaś oznacza poznawanie różnicy między nieistotnymi słabościami, które obowiązek nakazuje przewyciężyć, a nieuniknionymi słabościami naszej natury, których nie możemy przewyciężyć bezkarnie.¹

Podobnie dojrzewa zbiorcza wiedza ludzkości na temat zasadniczych problemów Wszechświata. Częściowo jest to po prostu akumulacja rosnącej liczby faktów, ogólniejszych teorii i coraz dokładniejszych pomiarów wykonywanych przez coraz potężniejsze maszyny. Przy czym tempo ich gromadzenia nieustannie ograniczają koszty i możliwości praktyczne, które stale, krok po kroku, mozolnie przewyciężamy. Istnieje jednak inna forma wiedzy, świadomość, że każda, nawet najpoprawniejsza teoria ma swoje granice. Wprawdzie rzetelny odkrywca zawsze dopuszcza myśl, że pewne rzeczy pozostają poza naszym zasięgiem, lecz nie o to chodzi. Rzecz w tym, że istnieje taka ścieżka odkryć, która odsłania ograniczenia, stanowiące nieunikniony produkt uboczny procesu poznawania. Badanie ich jest istotnym elementem zrozumienia Wszechświata. Zatem ustalanie ograniczeń naszej wiedzy to coś więcej niż tylko nakreślanie granic terytorium, jakie nauka może mieć nadzieję odkryć. Staje się ono podstawowym elementem owej zbiorowej działalności odkrywcy, którą zwiemy nauką, paradoksalnym olśnieniem, że wiemy, czego nie wiemy. Jest to jeden z najbardziej zaskakujących rezultatów działania ludzkiej świadomości.

W wielu dziedzinach ludzkich dociekań obowiązuje intrygujący sposób pozyskiwania wiedzy. Najpierw dokonuje się obserwacji świata, a następnie dostrzeżone prawidłowości ubiera się w matematyczne wzory. One, z kolei, pozwalają przewidywać coraz to nowe możliwe obserwacje i coraz mocniejsza staje się nasza wiara w ich moc objaśniania i przewidywania. Następuje długi okres, kiedy wydają się nam nieomyłne - wszystko, co przewidują, daje się zaobserwować. Użytkownicy owych magicznych formuł zaczynają więc dowodzić, że dzięki nim możemy zrozumieć wszystko. Wygląda więc na to, że widać już kres jednej z dziedzin ludzkiego poznania. Zaczyna się pisanie książek i przyznawanie nagród, nie ma końca działalności popularyzatorskiej. Wtem jednak wydarza się coś całkiem nieoczekiwanego. Nie chodzi o to, że owe formuły okazują się sprzeczne z Naturą. Ani też, że pojawia się coś dla nich zaskakującego. To jest o wiele bardziej niezwykle. Otóż owe formuły padają ofiarą czegoś w rodzaju wojny domowej: przewidują, że istnieją rzeczy, których nie da się przewidzieć, obserwacje, których nie da się przeprowadzić, stwierdzenia, których

prawdziwości nie da się ani potwierdzić, ani obalić. Teoria okazuje się więc ograniczona, ale nie tak zwyczajnie, wyłącznie w sferze swojego działania - ona sama jest swoim ograniczeniem. Nie będąc wewnętrznie sprzeczna oraz dobrze interpretując to, co da się zaobserwować, dopuszcza sformułowanie stwierdzenia nierozstrzygalnego. Wiadomo, że wolne od tej skazy są tylko teorie naukowe nierealistycznie proste. Logiczne opisy skomplikowanych światów zawsze zawierają w sobie ziarno własnych ograniczeń. Świat na tyle prosty, by go w pełni poznać, byłby zbyt prosty, by pomieścić w sobie świadomych, zdolnych do jego poznania obserwatorów.

O twarzach i grach

Nie jestem na tyle młody, by wiedzieć wszystko.

Wiedza zupełna to kusząca obiecanka. Choć w umysłach niektórych interpretatorów jawi się jako oczywisty cel nauki, we współczesnych dziełach naukowych stanowi pojęcie dość rzadkie. Jest to bowiem znamię rozmaitych

odmian pseudonauki, a także istotny element niezliczonych mitów i legend na temat powstania i funkcjonowania świata. Historyjki te niczego nie pomijają- jest w nich odpowiedź na wszystko. Mają one odegnać niepewność, jaka towarzyszy niewiedzy, i dostarczyć pełny obraz świata, w którym istoty ludzkie odgrywają znaczącą rolę, a więc odsunąć tym samym budzące lęk pojęcie nieznanego. Ktoś zdany na łaskę i niełaskę wiatru i deszczu, czuje się bezpieczniej, gdy z owych nieprzewidywalnych żywiołów uczyni atrybuty boga burzy. Mechanizm ten nawet dzisiaj widać w licznych niedorzecznych opisach naszego świata. Należą do nich na przykład poddające nas absurdalnemu determinizmowi horoskopy, wiążące osobowość człowieka z położeniem gwiazd na nieboskłonie. Za ich niejasnymi ogólnikami na temat przyszłości kryje się niepewność jutra. Aż dziw, jak wiele osób żyjących w społeczeństwach demokratycznych, bez niepokoju akceptuje dyktaturę gwiazd, które planują wszystkie ich myśli i działania.

Owo marzenie o zupełnym i jednolitym opisie wszystkiego to plaga niemal całej zbikowanej nauki. Kiedy ktoś przysłał mi objaśnienie budowy Wszechświata, wywiedzione z geometrii Wielkiej Piramidy lub liczb Kabały, zwykle ma ono pewne stałe cechy: jest nastawione wyłącznie na wyjaśnianie, brak w nim możliwości przewidywania, brak sprawdzianów poprawności, no i obejmuje wszystko. Nie zapoczątkowuje też żadnego programu badawczego i, jako nie możliwe do obalenia, zawsze ma ostatnie słowo.

Pragnienie, by wszystko łączyło się ze wszystkim, to wcale nie jest wynalazek obecnej ery komputerów, lecz skłonność tkwiąca głęboko w człowieku. Najsłynniejszy przykład ze starożytności znajdziemy u Pitagorejczyków, którzy łączyli

matematykę z mistycyzmem.³ Uważali oni, że liczba jest zasadą unifikującą Wszechświat, więc wszystko, czemu da się przypisać jakąś liczbę, jest w efekcie powiązane ze wszystkimi innymi rzeczami, którym tę liczbę przypisano. Liczby miały więc znaczenia, niezależne od związków z innymi liczbami. Na przykład harmonię muzyczną łączono z ruchem ciał niebieskich. Odkrycie, że istnieją liczby, które nie dają się przedstawić w postaci ułamków* wywołało kryzys tak głęboki, iż liczby te nazwano „niewymiernymi” - nie mieściły się one bowiem we wzorcu arytmetycznym Wszechświata, nakreślonym przez Pitagorejczyków.

Owa tendencja do unifikacji to produkt uboczny ważnego aspektu naszej inteligencji, a właściwie jedna z cech definiujących inteligencję, która myśli o sobie samej. Pozwala ona organizować wiedzę w kategorie - poznać wielką liczbę rzeczy poprzez poznanie reguł i praw, znajdujących zastosowanie w nieskończonej liczbie sytuacji. Nie musimy pamiętać, ile wynosi suma każdej możliwej pary liczb - wystarczy znać regułę dodawania. Zdolność do poszukiwania i znajdowania wspólnych czynników w rzeczach pozornie odmiennych jest warunkiem wstępnym zapamiętywania i uczenia się od doświadczenia (a nie zaledwie p rzeź doświadczenie). Pewne kultury rozwinęły się, przestając na takim religijnym wizerunku świata, który jest znacznie mniej jednolity niż u pozostałych kultur, a więc mają one bogów dla każdego aspektu życia i Natury. W tym sensie wierzenia monoteistyczne oferują najekonomiczniejszą koncepcję teologiczną, natomiast wierzenia z wieloma, zasadniczo różniącymi się między sobą i rywalizującymi o wpływ bóstwami, wydają się mniej pociągające.

Wszystkie ludzkie doświadczenia łączą się z jakąś formą przybliżenia pełnego obrazu rzeczywistości („nie możemy znieść zbyt wiele rzeczywistości”). Nasze zmysły okrawają otrzymywaną informację. Nasze oczy są wrażliwe na bardzo wąski zakres częstotliwości fal świetlnych, a nasze uszy reagują tylko na pewien ograniczony zakres głośności i częstotliwości dźwięków. Gdybyśmy gromadzili wszelką możliwą informację o świecie, jaka bombarduje nasze zmysły, nastąpiłoby ich przeciążenie. Skąpe zasoby genetyczne zostałyby skoncentrowane na zbieraniu informacji, kosztem organów mogących wykorzystywać mniejszą ilość informacji, wystarczającą jednak, by umknąć przed drapieżnikiem lub poszukiwać źródeł pożywienia. Kompletna informacja na temat środowiska przypominałaby mapę w skali jeden do jednego.⁴ Aby jednak jakaś mapa była przydatna, musi zamykać w sobie i podsumowywać najważniejsze aspekty danego terenu - a więc dokonywać kompresji informacji w skróconą formę. Mózgi muszą być zdolne do dokonania tych skrótów. A środowisko na tyle proste i uporządkowane, by taka operacja „zamykania w sobie” była możliwa w wymiarach czasu i przestrzeni.

Nasze umysły nie tylko zbierają informację. One ją opracowują i poszukują szczególnych rodzajów korelacji, skutecznie wydobywając ze zgromadzonej informacji coś w rodzaju wzorców. Taki wzorzec pozwala zastąpić cały obraz krótszym streszczeniem, które można przywołać w razie potrzeby. Umiejętność ta jest nam bardzo pomocna i poszerza nasze możliwości psychiczne. Potrafimy przywoływać różne części obrazu w różnym czasie i okolicznościach, wyobrażać sobie jego wariacje, ekstrapolować go lub po prostu zapomnieć. Wielkie osiągnięcia

naukowe stanowią często przykład niezwyklej umiejętności redukcji skomplikowanej masy informacji do pojedynczego wzorca, a owa tendencja do tworzenia skrótów nie waha się przekroczyć drzwi laboratorium. Także nasze zamiłowanie do religijnego i mistycznego objaśniania tego, czego doświadczamy, można rozumieć jako inny, obok nauki, rodzaj zastosowania owej zdolności sprowadzania rzeczywistości do kilku prostych zasad, dających wrażenie, że jest pod naszą kontrolą. Rodzi się przy tym swoista dychotomia. Nasze największe osiągnięcia naukowe to przykład najbardziej wnikliwych i najbardziej eleganckich redukcji powierzchownych zawiłości Przyrody, w celu odsłonięcia kryjącej się pod nimi prostoty, natomiast nasze największe pomyłki wynikają często ze zbytniego uproszczenia aspektów rzeczywistości, która później okazuje się znacznie bardziej skomplikowana niż to sobie uświadamialiśmy.

Owo dążenie do zupełności jest ściśle związane z naszym zamiłowaniem do symetrii. Mamy wrodzoną wrażliwość na wzorce i uznanie dla symetrii, dzięki czemu szybko wychwytyjemy subtelne odchylenia od doskonałej symetrii. Nasze pragnienie pełnego i doskonałego opisu świata wiele zawdzięcza tej osobliwej wrażliwości. Skąd ona się bierze?

Aby naprawdę zrozumieć, dlaczego posiadamy tyle przedziwnych umiejętności, musimy zauważyć, że nasze psychiczne zdolności ewoluowały kilka milionów lat temu, w środowiskach znacznie różniących się do tych, w których żyjemy dzisiaj. W ówczesnym prymitywnym środowisku jednostki wyczulone na pewne bodźce miały lepsze widoki na przeżycie tym, niż ci, którzy ich nie mieli. Atrybuty zwiększające szansę przeżycia wynikały z pewnego skomplikowanego koktajlu genetycznego, nie mającego z góry ustalonego celu. Jednakże, choć któraś z cech danego atrybutu mogła zwiększać przeżywalność, istniały zapewne produkty uboczne tego atrybutu, ujawniające się na rozmaite, nieoczekiwane sposoby. W ten niebezpośredni sposób uzyskaliśmy dużą część naszej wrażliwości estetycznej. Potrafimy zatem podać też dobre powody ewolucyjne, dla których można się spodziewać, iż będziemy zwracać uwagę na symetrię, jeśli przyjrzymy się środowisku naturalnemu, dostrzeżemy, że na zatłoczonej scenie bardzo skutecznym rozróżnikiem między obiektami ożywionymi a nie ożywionymi jest symetria osiowa (lewo-prawo). Dzięki temu potrafimy stwierdzić, kiedy żywe stworzenie patrzy na nas. Ta wrażliwość w oczywisty sposób umożliwia

przetrawianie. Pozwala rozpoznać potencjalne drapieżniki, partnerów i posiłki. Na owo biologiczne źródło naszego wycucia symetrii nakłada się fakt, że zwracanie uwagi na symetrię dotyczy w postaci ludzkiej, zwłaszcza twarzy (rys. 1.1). Symetria kształtów ciała - przede wszystkim twarzy - jest najpowszechniej wykorzystywanym kryterium wstępnym ludzkiego piękna i potrafimy posunąć się naprawdę daleko, by ją osiągnąć i ochronić.⁵ U zwierząt niższych jest to ważna wskazówka o partnerach. U ludzi miało to wszelkie cechy produktu ubocznego, z rodzaju tych, które wpływają na naszą estetyczną uwagę i leżą u podstaw przejawianej przez nas palącej wrażliwości na wzorce, symetrię i formę.

Zauważmy, że jeszcze żadnemu komputerowi nie udało się odtworzyć naszej wielopoziomowej wrażliwości wizualnej na wzorce.⁶

Wrażliwość ta oznacza, że dewiacje od symetrii są szybko dostrzegane i mają swoiste wymyślne interpretacje. Ponieważ tak dramatycznie zwracają na siebie naszą uwagę, często wykorzystuje się je w angielskich dowcipach.

Zobaczymy, jaki efekt daje następujące klasyczne odstępstwo od tradycyjnej symetrii anapestu występującej zwykle w limeryku:

Był raz młody poeta z Milano,
którego wiersze niechętnie czytano;
zapytany: "Dlaczego?"
powiedział: „Kolego,
bo ja zawsze próbuję wcisnąć w ostatnią linijkę tyle słów, ile tylko się da.*

Mikrokosmos naszych postaw wobec zupełności można odnaleźć w świecie gier. Proste gry, jak kółko i krzyżyk, są całkowicie przewidywalne. Po niewielkim namyśle można opracować strategię, która na zawsze zabezpiecza przed przegraną, bez względu na to, kto zaczyna grę i niezależnie od ruchów przeciwnika. Warcaby i szachy (lub chińskie szachy) są to gry dające więcej satysfakcji, gdyż nie ma w nich tej absolutnie przewidywalnej zupełności. Za najprostszą grę, która może trwać bez końca, uważa się grę-L Edwarda De Bono.⁸ Każdy gracz ma żeton w kształcie litery L i może umieścić go w dowolnym miejscu na niewielkiej planszy. Następnie na planszy kładzie się jeden lub dwa małe czarne krążki albo nie kładzie się żadnego. Celem gry jest zablokowanie następnego ruchu żetonu L przeciwnika. Pozycje startowe i typową konfigurację wygrywającą pokazano na rys. 1.2.

Niektóre gry o zwodniczo prostych regułach, jak Gra w Życie⁹ Johna Hortona Conwaya, mają tak wiele niezwykle skomplikowanych rozwinięć, że niemożli-

wością jest określenie wszystkich możliwych konfiguracji. W rzeczywistości gra ta wykazuje taki sam poziom skomplikowania, jaki ma cała arytmetyka. Możemy zastanawiać się, czy nasze odkrywanie świata przyrody zostanie w końcu w jakimkolwiek sensie zakończone. Czy możliwe jest odkrycie wszystkich praw Natury, nawet jeśli nie da się określić wszystkich efektów ich działania? Czy, jak niezłomowanych, nałogowych graczy w kółko i krzyżyk, nie zaskoczy nas już nic, co można znaleźć w świecie przyrody? W dalszych rozdziałach wiele razy powrócimy do tego pytania, by przyjrzeć mu się pod różnymi kątami.

Ci, dla których wszystko jest możliwe

U ludzi to niemożliwe, lecz u Boga wszystko jest możliwe.

•ŚW. MATEUSZ¹⁰

Historia pojęcia niemożliwego jest związana z naszymi potrzebami religijnymi. Większość ludzkich kultur zmanifestowała potrzebę oddawania czci lub pokłonu istotom bądź duchom większym niż one same. Ci „bogowie” są zwykle obdarzeni nadludzkimi mocami - tym właśnie różnią się od śmiertelnych mężczyzn i kobiet. Mogą to być wyolbrzymione moce ludzkie bądź takie, których ludzie w żadnej mierze nie mają. W ekstremalnym przypadku wszyscy bogowie mogą dysponować nieograniczonymi mocami, pozwalającymi im robić wszystko i wiedzieć wszystko.

Ten zwodniczo prosty pogląd niesie pewne problemy. Zgoda, że dla wyznawców danego bóstwa wiara w jego nieograniczone moce jest pociągająca, byle tylko uniknąć poddaństwa bogu z sąsiedztwa. Jednak sięgając nieco głębiej widzimy, że jeśli działania ich boga byłyby w jakiś sposób ograniczone, to ten (lub to), kto nakłada owe ograniczenia, ma większe prawo do kontrolowania zdarzeń niż ów bóg. Jeśli twój bóg nie ma władzy nad wiatrem, to wiatr ma pełne prawo bycia bogiem nadrzędnym. W końcu ktoś odwoła się do nadrzędnej potęgi wiatru.

Choć bóstwo o ograniczonej potędze ma problem z wiarygodnością, wydaje się, że to, które obdarzone jest nieograniczoną potęgą, ma znacznie głębsze problemy zasadnicze. Jak może bowiem istnieć Istota, dla której nic nie jest niemożliwe? Ktoś, dla kogo $2 + 2 = 5$? Czyja egzystencja może być skończona? Kogo nie ograniczają prawa logiki? Coś chyba musi być niemożliwe, gdyż inaczej zapanują chaos i sprzeczność? Jeśli bóstwo ma określone cechy, to muszą istnieć ich przeciwieństwa, określające działania niemożliwe dla danego bóstwa. Kilka tradycyjnych religii boryka się obecnie z tymi trudnymi pytaniami.¹¹ Są to także pytania, które gnębią wielu naukowców. Zmarły Heinz Pagels tak opisuje, jak owo pytanie odegrało decydującą rolę w zniszczeniu jego młodzieńczej wiary w Boga:

Sztuka niemożliwego | 23

Pamiętam, że kiedy byłem w szkole średniej, zastanawiałem się czym jest Bóg - byłem ciekaw [...]. Pamiętam też, że stawiałem sobie pytanie, czy Bóg, skoro jest wszechmocny, może zrobić coś takiego, jak zmiana praw logiki? jeśli potrafiłby zmienić prawa logiki, byłby jakąś bezprawną Istotą, niepojętą dla ludzkiego umysłu. Z drugiej strony, gdyby nie mógł zmienić praw logiki, nie byłby wszechmocny. To mnie nie usatysfakcjonowało [...] owa „nastoletnia teologia” sprawiła, że nabrałem przekonania, iż albo Bóg nie podlega prawom logiki i w tym wypadku nie ma sensu myśleć racjonalnie o Bogu, albo podlega prawom logiki i w takim razie nie robi wielkiego wrażenia jako Bóg.¹²

Niektórzy zadowolają się pojęciem „cudu”, czyli zdarzenia, które sprzeciwia się regułom działania Natury (lub co najmniej naszym na ten temat doświadczeniom), lecz nikt nie podnosi pogwałcenia praw logiki lub matematyki do takiej rangi.

W starożytności próbowano wprowadzić dokładniejsze rozróżnienie między działaniami „zgodnie z rolą”, a tymi „niezgodnie z rolą”, uważając te ostatnie za logicznie niemożliwe do zaliczenia w poczet atrybutów bóstwa. Jednak dla współczesnych uszu rozróżnienie to brzmi ryzykownie. Niektórzy apologetyci cudów podkreślają niekompletność naszej wiedzy o tym, co jest możliwe we Wszechświecie, i starają się pogodzić działanie Boga z odstępstwami od praw Natury, natomiast inni usiłowali wyjaśnić je naszą niezdolnością do określenia przyszłego rozwoju podatnych na

chaos sytuacji.¹³

Przyglądając się na przykład takiej tradycji jak judeo-chrześcijaństwo zauważamy, że zdolność Boga do robienia rzeczy dla człowieka „niemożliwych” jest cechą definiującą. „Wierzenie wyłącznie w to, co możliwe, nie jest wiarą, lecz zaledwie filozofią”, jak wyraził się Thomas Browne w siedemnastym wieku.¹⁴ Cecha ta służy również do ustalenia jednej z definiujących różnic między Bogiem a ludzkością. Otóż ograniczenia człowieka to właśnie powód owej wielkiej przepaści między nim a Bogiem. Tak więc, kiedy pojawili się czarownicy i szamani, starali się oni potwierdzić swój status, demonstrując cudowne moce i zdolność czynienia rzeczy, które dla nas są niemożliwe. Usankcjonowali obraz Wszechświata, w którym istnieje hierarchia istot, mających tym wyższy status, im mniej liczne i słabsze są ich ograniczenia.

Tradycje religijne pokazują, że ograniczenia ludzkich myśli i działań są często wymuszane przez bogów. Nie są to granice, których przekroczenie uniemożliwia nasza śmiertelna natura - bardziej przypominają ograniczenie prędkości na autostradzie, niż prawo grawitacji. Są przedstawiane jako rozmaite tabu, które ignorujemy na własne ryzyko. Wielka liczba kultur ma swoje tabu, czy będzie to wymawianie imion bogów, czy odwiedzanie szczególnych miejsc,

a nawet liczenie ludności. Wyobrażono sobie, że bóstwo musi postępować podobnie, jak pierwsi władcy, odróżniający siebie od poddanych poprzez nakładanie na ich zachowanie ograniczeń, nie przynoszących władcy żadnej korzyści, a tylko robiących wrażenie na poddanych. Nawyk posłuszeństwa uważa się za cenną lekcję, którą każdy powinien przyswoić - mniemanie, pod którym każdy starszy sierżant podpisze się obiema rękami. Tak więc widzimy, że pojęcie niemożliwego bez wysiłku i na wiele, rozmaitych sposobów zagnieździło się w samym środku naszego myślenia religijnego.

Interesującym przykładem jest zakazany owoc z „drzewa poznania dobra i zła” z Księgi Rodzaju,¹⁶ ponieważ splatają się w nim dwa pojęcia, które się często rozdziela: zakazane działanie i zakazaną wiedzę. Jedzenie owoców z „drzewa poznania” było zakazane, co miało na celu zamknąć świadomości dostęp do nowych form wiedzy. Odtąd termin „zakazany owoc” stał się synonimem wszelkich tabu w ludzkim działaniu.

Bardzo powszechne jest podejmowanie działań zakazanych - pełno ich na przykład w naszych systemach prawnych - ale zakazana wiedza budzi więcej kontrowersji. Wszystkie państwa współczesne mają swoje sekrety i z różnych powodów zbiera się od pewnych ludzi informacje - dla bezpieczeństwa, dla pewności, dla korzyści finansowych itd. - lecz wielu uważa, że dostęp do i n f o r m a -ej powinien być absolutnie swobodny, niezależnie skąd ona pochodzi, gdyż jest to podstawowe prawo człowieka, takie samo jak prawo do sprawiedliwości i wykształcenia. Rozgorzała polemika w obliczu nakładania ograniczeń na Internet oraz postawy niektórych rządów wobec dostępności prostych programów kodujących jak PCP („Pretty Good Privacy”¹⁷), których złamanie leży poza zasięgiem możliwości rządowych systemów komputerowych. Można też przyjąć (brytyjskie) podejście kompromisowe, że wiedza, jak wszelka ludzka działalność lub własność (pistolety, samochody itp.), może być, dla dobra publicznego, przedmiotem pewnych demokratycznie nałożonych ograniczeń (na tej samej zasadzie nie chcielibyśmy, żeby numer PIN naszej karty kredytowej codziennie publikowano w gazetach).

Tabu religijne nakłada się zwykle po to, by świadczyły o wyjątkowości bogów i ją podtrzymywały. Jeśli wszechmoc ma dawać jakąkolwiek korzyść jej posiadaczowi, to dla innych pewne rzeczy muszą być niemożliwe. W niektórych kulturach muzułmańskich zasadą było układanie niedoskonałych mozaik, aby nie wkraczać w regiony doskonałości, zarezerwowanej wyłącznie dla Allaha. Tak więc w jednych religiach istnieją rzeczy, których człowiekowi nie wolno wiedzieć, gdyż jest skończony i śmiertelny, natomiast w innych, choć wiadomo, jak robić pewne rzeczy, nie wolno ich robić z obawy, by nie urazić wyjątkowości bogów. Alan Cromer przekonywał, że wielkie wiary monoteistyczne jak islam i judaizm stworzyły warunki, w których nauka z trudem się rozwijała, głównie dlatego, że podstawą ich doktryny były bóstwa, dla których nie istniało pojęcie niemożliwego:

Wiarą w istnienie rzeczy niemożliwych stanowi punkt wyjściowy logicznej, dedukcyjnej matematyki i nauk przyrodniczych. Może ona powstać jedynie w umyśle, który uwolnił się od wiary we własną wszechmoc.

Obecność wszechmogącej, interwencjonistycznej istoty, nieograniczonej przez prawa Natury, przeciwnie, podkopuje wiarę w logiczność Natury. Pojęcie niemożliwego wydaje się niezbędnym warunkiem wstępnym naukowego rozumienia świata. Jest to interesująca teza, gdyż istnieje również pogląd, że monoteizm stworzył korzystne warunki dla rozkwitu nauki, potwierdza bowiem koncepcję Uniwersalnych praw Przyrody.¹⁹ Rozporządzenia wszechwiedzącego bóstwa zrodziły wiarę w rządzące światem prawa narzucane rzeczom z zewnątrz - przeciwieństwo idei, że rzeczy na

świecie zachowują się tak, jak się zachowują, wskutek swoich wewnętrznych właściwości. To *znacząca* różnica. Gdyby każdy kamień zachowywał się w sposób wyznaczony przez jego wewnętrzną naturę, czyli tak, żeby stworzyć harmonię z innymi kamieniami, wtedy każdy kamień zachowywałby się inaczej i nie byłoby sensu szukać wspólnego mianownika ruchu wszystkich poruszających się kamieni. Twierdzenie to jest wprawdzie zgodne z rozwojem nauki abstrakcyjnej i z pojęciem zewnętrznie narzuconych praw Natury, lecz tego nie gwarantuje. Choć bowiem przykłady z historii starożytnych Chin dowodzą, że brak koncepcji monoteistycznej przeszkadzał w rozwoju nauk matematycznych i prowadził do osłabienia wiary w jedność i racjonalność Natury,²⁰ nie da się wykazać, że nauka zachodu jest nieuniknioną konsekwencją kultur judeo-chrześcijańskich i islamskich - w takim sensie, że nie rozwinęłyby się, gdyby zabrakło monoteistycznej wiary. Równie dobrze mogłaby być nieoczekiwanym produktem ubocznym teistycznego obrazu świata, przy czym cele i podejścia obu wymienionych kultur do świata są bardzo różne. Być może, jak powiedział kiedyś Oscar Wilde w jednym z rzadkich momentów powagi: „Religie umierają, kiedy się ich dowiedzie. Nauka jest zapisem umarłych religii”.²¹

Zaczęliśmy ten rozdział wprowadzeniem dobrze znanego pojęcia boga, który jest wszechwiedzący - kogoś, kto wie wszystko. Taka możliwość nie od razu włącza w naszych umysłach dzwonek alarmowy. Istnienie takiego kogoś ma wszelkie pozory prawdopodobieństwa. Jednak, kiedy przyjrzeć się dokładniej, widać, że taka wszechwiedza stwarza paradoks logiczny i według standardów ludzkiego rozumowania musi być uznana za niemożliwą lub przynajmniej jako /relatywizowana. Aby to zbadać zastanówmy się nad takim zdaniem:

NIKT NIE WIE, CZY TO ZDANIE JEST PRAWDZIWE.

Weźmy teraz naszą hipotetyczną Istotę Wszechwiedzącą („Wielkie W”). Przypuśćmy najpierw, że badane zdanie jest prawdziwe, a więc nikt, w tym także Wielkie W, nie wie, jakie ono jest. Wynika stąd, że Wielkie W nie jest wszechwiedzące. Przypuśćmy teraz, że zdanie jest fałszywe. To *oznacza*, że ktoś musi wiedzieć, czy jest prawdziwe, ale z tego wynika, że zdanie to jest nieprawdziwe. Tak więc, bez względu na to, czy przyjmiemy je za prawdziwe, czy za fałszywe, jesteśmy zmuszeni uznać je za prawdziwe! A co za tym idzie, nikt (także Wielkie W) nie wie, czy zdanie to jest prawdziwe. To pokazuje, że *zawsze* istnieje zdanie prawdziwe, którego prawdziwości żadna istota nie może stwierdzić. Stąd też wynika, że nie może istnieć Istota Wszechwiedząca, która zna wszystkie prawdy. Na mocy tego samego argumentu, ani my, ani nasi potomkowie nigdy nie osiągniemy takiego stanu wszechwiedzy. Poznać można tylko to, co można poznać, nie zaś wszystko to, co jest prawdą.

Tak na marginesie, zauważmy, że amerykański politolog Stephen Brams przeprowadził fascynującą analizę wielu tradycyjnych zagadnień teologicznych, odnoszących się do działania Boga w świecie, w tym na przykład problem cierpienia.²² Brams stosuje metody teorii gier - gałęzi matematyki badającej istnienie optymalnych strategii dla osób mających przed sobą różne drogi działania. Słowem „gra” określa się każdą sytuację, w której każdy z dwóch lub więcej uczestników wybiera strategię z towarzyszącymi jej kosztami i korzyściami. Brams starał się dociec czy możemy zebrać jakiegokolwiek dowody, że moralna natura Wszechświata odzwierciedla optymalną strategię wszechwiedzącej istoty. Rezultaty były pouczające. Zło i cierpienie mogą być nieuniknionymi aspektami optymalnej strategii czynienia dobra. Może się też okazać, że przy zastosowaniu pewnych strategii, dedukcja istnienia istoty wszechwiedzącej jest logicznie nierozstrzygalna.

Ograniczeń, jakie niesie ów brak wszechwiedzy, nie należy widzieć tylko w negatywnym świetle. Błędy i nielogiczności odgrywają ważną rolę w procesie uczenia. Uczymy się na błędach. Kiedy ponownie napotkamy daną nielogiczność, oceniamy sytuację i analizujemy przyjęte wcześniej założenia. Daleko nam do dokładnego rozeznania, na ile mechaniczna inteligencja może z nami rywalizować na tym polu. Na pewnym etapie procesu ewolucji zaczęliśmy rozwijać naszą zdolność fantazjowania. Pozwoliła nam ona dowiedzieć się o niemożliwym, a także o możliwym. Tym samym znacząco zwiększył się zarówno zakres, jak i tempo poznawania świata. To zadziwiające, jak łatwo pojmujemy, co jest niemożliwe. W rzeczywistości większość z nas wie codzienny żywot, mając pewność, że wszelkiego rodzaju niemożliwości są nie tylko możliwe, lecz są faktem. Choć większość z nas bardziej interesuje się tym, co możliwe niż tym, co niemożliwe (postawę tę zwie się czasem pragmatyzmem), niektórych bardziej interesuje niemożliwe, i nie są to zwykli idealisci czy fantaści. Cała literatura

i sztuka fantastyczna została wymuszona przez wyzwania stawiane przez niemożliwości językowe i wizualne.

Paradoks

Paradoks jest prawdą, która stoi na głowie, by przyciągnąć uwagę,
NICOLAS FALLETTA"

Słowo „paradoks” jest połączeniem dwóch greckich słów -para (poza) i dbxos (wiara) - i ma wiele znaczeń: jest to coś, co wydaje się sprzecznością lecz w rzeczywistości jest prawdą; coś co wydaje się prawdą, lecz w rzeczywistości jest sprzecznością; bądź też niewinny łańcuch wniosków z oczywistego punktu początkowego, prowadzący do sprzeczności. Filozofowie kochają paradoksy.²⁴ Bertrand Russell zauważył kiedyś, że dobra filozofia to rozpoczęcie dedukcji od zdania uważanego za zbyt oczywiste, by się nim interesować, i wyprowadzenie zeń wniosku, w który nikt nie uwierzy.

Choć niektóre paradoksy potrafią być trywialne, są też i takie, które odzwierciedlają głębokie problemy, tkwiące w naszym sposobie myślenia, i zmuszają nas do ich przewartościowania, a tym samym wyszukiwania nieoczekiwanych nielogiczności w wierzeniach, które uważaliśmy w oczywisty sposób za prawdziwe. Anatol Rapoport, międzynarodowy autorytet w dziedzinie analizy strategicznej - a więc w obszarze, gdzie z niewinnych początków często wynikają paradoksalne rezultaty - zwraca uwagę na stymulującą rolę jaką rozpoznanie paradoksu odgrywa w wielu obszarach ludzkiego myślenia:

Paradoksy odegrały dramatyczną rolę w historii intelektu, często zapowiadając rewolucyjny przewrót w nauce, matematyce i logice. Gdy tylko, w jakiegokolwiek dyscyplinie, odkrywamy problem, którego nie da się rozwiązać w obrębie tej struktury pojęciowej, jaką należałoby zastosować, przeżywamy szok. Szok ów może nas zmusić do odrzucenia starej struktury i przyjęcia nowej. To właśnie takiemu procesowi intelektualnego linienia zawdzięczamy narodziny wielu najważniejszych idei w matematyce i innych naukach. Paradoks Zenona o Achillesie i Żółwiu dał początek koncepcji zbieżnych ciągów nieskończonych. Antynomie (wewnętrzne sprzeczności w logice matematycznej) zaowocowały w końcu twierdzeniem Godła. Paradoksalny wynik doświadczenia Michelsona-Morleya z porównywaniem prędkości światła przygotował scenę dla teorii względności. Odkrycie korpu-skularno-falowej natury światła wymusiło rewizję deterministycznej przyczynowości, niewzruszonej zdawałoby się podstawy filozofii nauki, i doprowadziło do powstania mechaniki kwantowej. Paradoks demona Maxwella, którego rozwiązanie po raz pierwszy zaproponował Leo Szilard w 1929 roku,

nieco później dał impuls do przyjęcia głęboko idącego wniosku, że pozornie rozłączne pojęcia informacji i entropii są ściśle ze sobą związane."

Paradoks wzrokowy

Pisząc powieść dochodzi się do prawdy poprzez stek kłamstw, co jest przeciwieństwem próby dojścia do steku kłamstw, poprzez mówienie prawdy, kiedy jest się dziennikarzem.

MELVIN BURGES

Rozbieżność między artystycznym a naukowym obrazem rzeczywistości stała się jeszcze bardziej uderzająca za sprawą dwudziestowiecznych malarzy, tworzących dzieła abstrakcyjne i wypaczających obraz codziennego świata. Jedną z najniezwyklejszych cech ludzkiej świadomości jest zdolność wyobrażania sobie rzeczy fizycznie niemożliwych. Narzędzie to pozwala nam na eksplorację rzeczywistości w unikatowy sposób, poprzez umieszczenie jej w kontekście określonym przez zdarzenia niemożliwe. Tym sposobem potrafimy stworzyć pobudzające oraz rozwijające umysł rezonanse znaczeń i zestawienia idei. Jest to dla nas pociągające i oryginalne. Niektórzy poświęcają życie takiej działalności, tworząc owe alternatywne rzeczywistości z pomocą niezliczonych środków i lubując się w nich. Skłonność naszych umysłów do takiej działalności jest niemal alarmująca. Nagłe pojawienie się skomplikowanych komputerowych symulacji rzeczywistości alternatywnych i łatwy dostęp do gier komputerowych nie-odróżnialnych od bezpośrednich ludzkich działań pokazało, jak kuszące są takie doświadczenia dla młodych ludzi. Oferują one olbrzymi zakres doświadczeń zastępczych i to bez ruszania się z wygodnego fotela. Prawdopodobnie pociąg do tych wirtualnych przygód mówi nam coś nieośmieszającego o nie wykorzystanym potencjale ludzkiego umysłu, który w tak małym stopniu wykorzystuje się podczas codziennych zajęć wygodnego dwudziestego wieku. Zaczęliśmy interaktywnie wykorzystywać komputer w nauczaniu, lecz jak dotąd z małą dozą wyobraźni. Mam wrażenie, że jest to ogromna okazja do uczenia wielu przedmiotów - zwłaszcza nauk przyrodniczych i matematyki - w śmiały, wynalazczy i całkiem nowy sposób. Nawet zwykłe wykorzystanie komputerów, np. do edycji tekstów, wniosło znacznie więcej

niż tylko usprawnienie pisania i przetwarzania tekstów. Zmieniło bowiem sposób myślenia pisarzy. Kiedyś pisarze pisali, bo mieli coś do powiedzenia, teraz zaś piszą, żeby odkryć, czy mają coś do powiedzenia.

Przedstawianie niemożliwego stało się znaczącym elementem współczesnego języka artystycznego. Przyjmuje ono kilka form. Graficzny styl Mauritsa Eschera²⁷ to precyzyjny rysunek, zwodzący patrzącego - dający mu złudzenie,

że wkracza w świat, który może istnieć w rzeczywistości - jednak przy bliższym badaniu okazuje się, że nie jest on zgodny z naturą naszej przestrzeni. Escher lubi przedmioty niemożliwe, które można określić jako dwuwymiarowe wizerunki przedmiotów pozornie trójwymiarowych, nie mogących jednak istnieć w takiej postaci, jaką im nadano, gdyż nie można ich skonstruować w *rzeczywistej* trójwymiarowej przestrzeni.

Trójwymiarowa interpretacja tych wizerunków to co innego. Oko konstruuje różne lokalne obrazy, których ostatecznie nie da się połączyć w jeden konsekwentny wzrokowy scenariusz. We współczesnych czasach pierwszy rysował obiekty niemożliwe Oscar Reutersvard. W 1934 roku przedstawił pierwszy niemożliwy trójkąt przestrzenny (rys. 1.3a). W 1958 roku Escher stworzył pierwszy niemożliwy sześcian. Trójkąt przestrzenny został ponownie odkryty w 1961 roku przez Lionela i Rogera Penrose'ów²⁹, którzy przedstawili nie kończące się schody (rys. 1.3b). Escher wykorzystał te motywy w swoich słynnych rysunkach: *Waterfall* (1961) i *Ascending and Descending* (1961).

Istnieją liczne dawniejsze przykłady tego rodzaju. Pięknym eksponatem jest miedzioryt *Fałszywa perspektywa* Hogartha z 1754 roku (rys. 1.4). Hogarth chciał w ten sposób przesadnie pokazać błędy kiepskich rysowników. Rysunek opatrzył napisem: „Každy, kto tworzy wzór bez znajomości perspektywy, popadnie w takie oto absurdy, jakie pokazano na tym frontyspisie”.

W 1916 roku Marcel Duchamp wykonał reklamę dla wytwórców farb Sapo-lin.³¹ Rama łóżka ma budowę trój- i czteropoprzeczkową (rys. 1.5). Oryginał, zatytułowany *Apolinere enameled*, (lakierowany Apolinere) znajduje się obecnie w Muzeum Sztuki w Filadelfii.

W latach 1745-1760 słynny włoski architekt i rytownik Giovanni Piranesi (1720-1778) stworzył ponury zbiór szkiców do serii lochów-labiryntów. Te fantastyczne dzieła przedstawiały niemożliwe ciągi sal i schodów. Jego szkice robocze wskazują, że specjalnie starał się stworzyć niemożliwe konfiguracje.³²

Magpie on the Gallows (Pejzaż z szubiennicą) Breughela z 1568 roku celowo wykorzystuje niemożliwy czworokąt przestrzenny. Natomiast niezamierzone obiekty niemożliwe spotyka się jeszcze wcześniej. Najstarszy znany przykład pochodzi z jedenastego wieku.³³

Figury niemożliwe ukazują coś więcej niż zręczność rysownika. Mówią nam o naturze przestrzeni i działaniu oprogramowania mózgu w zakresie analizy przestrzennej. Nasze mózgi ewoluowały tak, by radzić sobie z geometrią świata rzeczywistego. Mają one mechanizmy obronne strzegące przed wprowadzeniem w błąd przez fałszywą perspektywę. W obliczu dylematu mózg co kilka sekund zmienia perspektywę by ustrzec się przed złym wyborem. Typowym przykładem jest sześcian Neckera (rys. 1.6), który ukazuje się na przemian to w jednym, to w drugim ułożeniu.

Dzieła malarskie surrealistów mają inny cel. Pobudzają umysł, zmuszając go do oceny i przyjęcia sytuacji, którą uważa za logicznie niemożliwą. Przedstawiając niemożliwy stan rzeczy, w taki sposób narzucają naszej uwadze wymagania, że wbijają się one w pamięć. Stają się przez to czymś znacznie odbiegającym od rzeczywistego świata doświadczeń, a nie zaledwie jego dokładną kopią. Klasycznych przykładów dostarczają obrazy w rodzaju *Le Chateau des Pyrenees Ma-gritte'a*, który to obraz przedstawia zamek unoszący się w powietrzu wbrew sile grawitacji (rys. 1.7).³⁵ Być może światy nie mogące istnieć w rzeczywistości dlatego nam się podobają, bo ta ich niemożliwość wzmacnia wyraz artystycznych przedstawień dziwnych sytuacji i okoliczności, których możemy bezpiecznie doświadczać. Światy te pozwalają nam wchodzić w środowiska w tym sensie niebezpieczne, że w żaden sposób nie da się ich doświadczyć bez podjęcia rzeczywistego ryzyka. Są one rozszerzeniem fobofillii, która roznieca w nas pociąg do duchów, lub każe oglądać horrory.

Wiele zmian w wyglądzie obrazów zniekształconych geometrycznie nastąpiło w czasie, gdy fizycy zaczęli zdawać sobie sprawę z fizycznej trafności geometrii innych niż euklidesowa. Wprawdzie pionierscy kubiści w rodzaju Picassa zawsze zaprzeczali, jakoby odkrycia nauki w jakikolwiek bezpośredni sposób ich motywowały,³⁶ lecz na przykład Escher wydawał się doceniać badania matematyków nad innymi geometriami, a jego prace nawet zachęciły do podjęcia pewnych dociekań na temat nowego parkietowania przestrzeni.³⁷

Istnieje także styl literacki, opierający się na niemożliwym i na paradoksie. Największym z pierwszych pisarzy, którzy go eksponowali, był wiktoriański sur-realista Levis Carrol. Natomiast bardziej eklektyczne i fantastyczne manifestacje znajdujemy w nowelkach Jorge'a Luisa Borgesa i innych.³⁸ Wyczarowywanie światów, które nie całkiem pasują do naszego, pozostaje dziwnie przyjemną twórczą działalnością - to właściwie jedyny sposób na prawdziwą oryginalność.

Interesującą cechą wymienionych przykładów jest sposób, w jaki ukazują one nasze określenie niemożliwego. Niemożliwe to niekoniecznie coś, co leży poza naszym mentalnym doświadczeniem, nawet jeśli wychodzi poza doświadczenie fizyczne. Potrafimy tworzyć światy mentalne, zupełnie różne od świata, którego doświadczamy. A niektórzy ludzie o wiele bardziej upodobali sobie obrazy światów niemożliwych od tych, które można by sporządzić dla naszego świata.

Paradoks lingwistyczny

Najwyższym tryumfem rozumu jest zwątpienie w swoją własną słuszność.

MIGUEL DE UNAMUNO

Figury niemożliwe to przykład paradoksów wzrokowych, czy też właściwie, paradoksów odwróconych. Paradoks to zazwyczaj coś, co choć wydaje się fałszywe, jest w rzeczywistości prawdziwe. Natomiast figury niemożliwe, choć wydają się prawdziwe, są w rzeczywistości fałszywe. Można by się spodziewać, że reakcją na paradoks będzie zmieszanie lub niechęć. Paradoksalnie, najwyraźniej jest

odwrotnie. Znajdujemy upodobanie w paradoksie. Jest on jądrem wielu form dowcipów, anegdot, obrazów i niezliczonych kaprysów ludzkiego charakteru.

Paradoksy, których pierwotnym przeznaczeniem było służyć rozrywce, później ukazywały swoją głębię. W historii roi się od przykładów. Paradoksy Zenona wyostrzyły nasze pojmowanie nieskończoności.³⁹ Zenon, grecki filozof Z V wieku p.n.e., zasłynął paradoksami, które unaoczniły, że niemożliwy jest ruch. Najślynniejszym z nich jest wyścig Achillesa z żółwiem. Przypuśćmy, że Achillesa dzieli od żółwia 100 m i Achilles biegnie 100 razy szybciej niż żółw. Kiedy więc Achilles przebiegnie 100 m, żółw przejdzie 1 m; kiedy zaś Achilles przebędzie 1 m, żółw przesunie się o 1 cm - itd. w nieskończoność. W rezultacie Achilles nigdy nie złapie żółwia! Problem ten daje się rozwiązać, gdy uświadomimy sobie, że choć, zanim Achilles złapie żółwia, minie nieskończona liczba chwil, niekoniecznie dodanie nieskończonej liczby chwil musi dać nieskończenie długi czas.⁴⁰

We współczesnej nauce termin „paradoks” rezerwuje się zwykle dla odkryć sprzecznych z intuicją, które jak się uważa, rzucają światło na coś fundamentalnego. Tak więc mamy „paradoks bliźniąt” dla teorii względności,⁴¹ schrödingerowski „paradoks kota” w mechanice kwantowej,⁴² „paradoks Einsteina-Podolskiego-Rosena (EPR)”,⁴³ „paradoks Kleina” dla kwantowej teorii pola⁴⁴ i „paradoks kolegi Wignera” dla pomiaru kwantowego.⁴⁵ „Paradoksy” te mogą powstawać wskutek pewnej niekompletności naszej wiedzy o zachodzących zdarzeniach; na poziomie opisującej je teorii; bądź w opisie obserwowanego stanu rzeczy. Mogą także wydawać się paradoksami tylko dlatego, że nasze oczekiwania są po prostu złe i wynikają z bardzo ograniczonego doświadczenia rzeczywistości (jak w przypadku „paradoksu bliźniąt”). Można oczekiwać, że dalszy rozwój naszego zrozumienia albo rozwiąże taki paradoks, albo pokaże, iż tak naprawdę paradoksu nie ma.

Paradoksy językowe i logiczne są całkiem inne. Są na tyle proste, że każdy może je ocenić. Dotyczą samych narzędzi, których używamy do myślenia i które przez to ulegają głębszym zakłóceniom. Logika wydaje się końcowym przystankiem ludzkiego myślenia. Potrafimy zredukować nauki przyrodnicze do matematyki, a matematykę do logiki, lecz wygląda na to, że nie ma nic, do czego moglibyśmy zredukować logikę. Zostaliśmy zapędzeni w kozi róg.

Paradoksy logiczne mają długą historię. Najślynniejszy przytoczył św. Paweł w *Liście do Tytusa*, w którym przypomina, że „powiedział jeden z nich, ich własny wieszcz: «Kreteńczycy zawsze kłamcy»”.⁴⁶ Jest to tzw. paradoks Epimenidesa lub paradoks kłamcy.⁴⁷ Wieki całe paradoksy uważano za ciekawostki, które można bezpiecznie ignorować, gdyż nigdy nie myślano, że mogłyby mieć znaczenie w sytuacjach praktycznych. Jednak w dwudziestym wieku nabrały one fundamentalnej ważności. Są to bowiem konsekwencje struktur logicznych na tyle skomplikowanych, by zaistniało samoodniesienie,

powstające wówczas, gdy jesteśmy niewystarczająco ostrożni w odróżnianiu zdań w danym języku od zdań wypowiedzianych w innym języku. Odróżnienie to, dalekie od ograniczenia paradoksów językowych do świata trywialności, prowadzi do przyznania owym paradoksom centralnej roli w formalnych dowodach logicznej

niezupełności systemów logicznych.

Jednym z najsłynniejszych współczesnych myślicieli, którego zajmowały paradoksy, był filozof Bertrand Russell - napisał on o swoim odkryciu, jakiego dokonał w czerwcu 1901 roku, że logika zawiera fundamentalną niekonsekwencję. Później paradoks ten nazwano „paradoksem Russella”.

[...] myślałem, że klasa czasem jest, a czasem nie jest elementem samej siebie. Na przykład klasa łyżeczek do herbaty jest jedną z tych rzeczy, które nie są łyżeczkami do herbaty. [...To*] doprowadziło mnie do klas, które nie są elementami siebie samych; i te, wydawało się, muszą tworzyć klasę. Zapytałem więc sam siebie, czy taka klasa jest elementem samej siebie, czy też nie. Jeśli jest elementem samej siebie, to musi posiadać definiującą cechę klasy, która ma nie być elementem samej siebie. Jeśli nie jest elementem samej siebie, to nie może posiadać cechy definiującej tej klasy i dlatego musi być elementem samej siebie. Tak więc każdy człon alternatywy prowadzi do swego przeciwieństwa, a więc zachodzi sprzeczność.

Najbardziej pamiętnym sformułowaniem, w jakie Russell ubrał gnębiącą go trudność ze zbiorem wszystkich zbiorów nie będących własnymi elementami, stało się wyobrażenie miasta, w którym golibroda goli wszystkich tych, którzy nie golią się sami. Kto zatem goli golibrodę?⁴⁸ Tym, co tak bardzo martwiło Russella w owym paradoksie, była jego głęboka ingerencja w samą logikę. Jeśli w logice istnieje jakakolwiek sprzeczność, można ją wykorzystać do wydedukowania, że wszystko jest prawdą. Upadłby cały gmach ludzkiego rozumowania. Przewidywania Russella co z tego wyniknie były głęboko pesymistyczne:

Co rano zasiadałem nad pustym arkuszem papieru. Przez cały dzień, z krótką przerwą na obiad, wpatrywałem się w ten arkusz. Często, kiedy nadchodził wieczór, arkusz był nadal niezapisany [...] wydawało się całkiem prawdopodobne, że całą resztę życia mogę strawić na wpatrywaniu się w ten pusty arkusz papieru. Było to tym przykrzejsze, że owe sprzeczności były błahie i że trwoniłem czas na rozważanie spraw, które wydawały się niegodne rzetelnej uwagi.

Później odkrywamy, że owe pozornie nieszkodliwe paradoksy językowe ujawniły istnienie głębokich problemów dotyczących całej logiki i matematyki, czegoś w rodzaju handlu zamiennego między naszą zdolnością do ustalania czy zdania są prawdziwe czy fałszywe, a zdolnością do wykazania, że wykorzystywany przez nas system rozumowania jest spójny sam w sobie. Możemy mieć jedno lub drugie, lecz nie i jedno, i drugie. Zauważymy, że istnieją granice matematyki - i to granice nie będące konsekwencją ludzkiej omyłności.

Granice pewności

Istnieje teoria, że jeśli ktoś kiedyś się dowie, dlaczego powstał i czemu służy Wszechświat, to cały Kosmos zniknie i zostanie zastąpiony czymś znacznie dziwniejszym i jeszcze bardziej pozbawionym sensu. Istnieje także teoria, że już dawno tak się stało.

DOUGLAS ADAMS⁴⁹

Paradoksy logiczne i językowe, jakie rozważaliśmy, narodziły się tysiące lat wstecz, u starożytnych Greków. W czasach współczesnych napotykamy inny typ paradoksów: paradoksy *rządzące* tym, co potrafimy zrobić, a nie tylko tym, co potrafimy powiedzieć. W pierwszej ćwierci dwudziestego wieku niemal jednoczesne odkrycia na gruncie teorii względności i teorii kwantów ujawniły niespodziewanie, że istnieją granice tego, co może się zdarzyć w warunkach ekstremalnych. Kiedy eksperymenty i badania teoretyczne wkroczyły w obszar małych rozmiarów, wielkich rozmiarów, dużych prędkości, bardzo silnych pól grawitacyjnych, bardzo dużych energii i bardzo niskich temperatur, niezmiennie napotykały nieoczekiwane granice tego, co można zrobić lub co można wiedzieć na temat stanu Wszechświata. Nieoczekiwane dlatego, że przeciwstawne przewidywaniom, wynikającym z prostej ekstrapolacji poznanych przez nas praw Natury z łagodnych warunków laboratoryjnych na nieznane dziedziny. Dwie z nich - ograniczenia pomiarów, wyznaczone przez kwantową naturę materii, oraz granica prędkości kosmicznej, narzucona przez teorię względności - są obecnie kamieniami węgielnymi naszej wiedzy o świecie fizycznym.

Jednym z najbardziej entuzjastycznie popularyzowanych dziś obszarów nauk przyrodniczych jest teoria kwantów.⁵⁰ Trochę to dziwne dla wtajemniczonych, gdyż w tej dziedzinie nic nowego się nie zdarzyło. Teoria zyskała swój kształt dawno temu. Całe późniejsze dziennikarskie zainteresowanie dotyczy jej interpretacji. Elementem

mistyki teorii kwantów jest to, że łączy ona zdumiewający sukces eksperymentalny z olbrzymim bogactwem twierdzeń na temat świata, sprzecznych ze zdrowym rozsądkiem. Jej królestwem jest mała skala atomów i ich skupisk, a nasza potoczna intuicja na temat zachowania

obiektów w ruchu opiera się na doświadczeniach z obiektami stosunkowo dużymi. Stąd całe zaskoczenie.

Teoria kwantów powiada, że wszystkie obiekty mają charakter falowy. Jest to falowość w sensie fali przestępstw, a nie fali na wodzie. Innymi słowy mowa tu o fali informacji. Jeśli przez detektor przechodzi fala neutronowa, to znaczy, że w tym miejscu wykrycie neutronu jest najbardziej prawdopodobne. Długości fal obiektów materialnych są odwrotnie proporcjonalne do ich rozmiarów fizycznych. Kiedy obiekt ma długość fali kwantowej większą od swoich rozmiarów, zachowuje się w sposób jawnie kwantowy, kiedy zaś długość jego fali jest mniejsza niż jego rozmiar, zachowuje się na klasyczną modłę newtonowską. Tak więc mówi się, że bardzo duże obiekty, jak ja, czy inny człowiek, zachowują się „klasycznie”, natomiast małe obiekty, jak cząstki elementarne, zachowują się „nie-klasycznie”, czyli kwantowo. Zachowanie klasyczne jest po prostu przypadkiem granicznym zachowania kwantowego, kiedy rozmiary fizyczne obiektu są znacznie większe niż długość jego fali kwantowej.

Jedną z osobliwości w dziedzinie kwantów jest to, że niektóre rzeczy klasycznie możliwe, stają się niemożliwe. Na przykład w klasycznej nauce newtonowskiej stwierdziliśmy, że możliwe jest jednoczesne ustalenie położenia i prędkości cząsteczki z absolutną dokładnością. W praktyce mogą zaistnieć technologiczne ograniczenia dokładności pomiarów, lecz nie było powodu, by oczekiwać jakichkolwiek ograniczeń ze strony samej fizyki. Przeciwnie, oczekiwaliśmy, że wciąż rozwijająca się technologia pozwoli, jak zawsze dotąd, osiągać coraz lepsze wyniki. Jednak mechanika kwantowa stwierdza, że nawet z pomocą najdoskonalszych przyrządów nie da się jednocześnie zmierzyć położenia i prędkości danego ciała, z dokładnością lepszą niż krytyczna granica określona przez pewną wielkość, zwaną stałą Plancka. Stała ta, wraz z opisywaną przez nią dokładnością graniczną, jest jedną z cech definiujących nasz Wszechświat. Nakłada ona te same ograniczenia na poczynania fizyków w Galaktyce Andromedy, co na fizyków na Ziemi.

Ograniczenie dokładności pomiarów jest to tzw. zasada nieoznaczoności Heisenberga. Jednym z heurystycznych sposobów zrozumienia, dlaczego musi istnieć taka granica, jest uświadomienie sobie, że każdy pomiar wymaga pewnego wzajemnego oddziaływania z mierzonym stanem - im mniejsza jest mierzona rzecz, tym większy wpływ, wywierany na nią przez proces mierzenia. Wreszcie, wpływ ten zaciera wszelką informację o stanie niezakłóconym. Tak więc kwantowy obraz rzeczywistości wprowadza do naszego świata nową postać niemożliwego. Zajęło ono miejsce dawnej wiary w nieograniczoną eksperymentalną badanie Natury, opartej na myślniej koncepcji, że można zmierzyć wszystko, co istnieje. Weźmy dokładniejszy sposób objaśniania nieoznaczoności Heisenberga. Nie chodzi w niej o to, że, jak w naszym prostym, heurystycznym przykładzie, istnieje określona rzeczywistość, której nie potrafimy pochwycić, gdyż mierzenie wymaga interwencji. Takie podejście sugerowałoby bowiem, że moglibyśmy obliczyć i uwzględnić ewentualny efekt danej interwencji. Zasada nieoznaczoności mówi, że w dziedzinie kwantów, w której wymiary są niezwykle małe, pewne dopełniające się pary pojęć, jak położenie i prędkość, lub energia i czas, mogą współistnieć jedynie z ograniczoną wyrazistością, dyktowaną przez stałą Plancka. Pojęcia te są pojęciami klasycznymi i ich stosowalność ma swoje ograniczenia. Zasada nieoznaczoności Heisenberga szokuje nas tylko dlatego, że przyjęliśmy (błędnie), iż nie ma ograniczeń u podstaw naszej zdolności mierzenia wszystkich mierzalnych ilości - i tylko dlatego myślimy o niej jak o jakimś ograniczeniu możliwości naszego działania. Heisenberg wykazuje, że naukowiec nie przypomina łowcy ptaków schowanego w doskonałej kryjówce. Obserwowanie świata nieodzownie spaja nas z obiektem obserwacji i wpływa na jego stan w sposób tylko częściowo przewidywalny czy też możliwy do poznania.

Zasada Heisenberga wywarła daleko idący wpływ na ludzkie myślenie o pewności i wiedzy.⁵¹ Jest ona wyróżniającym się elementem wielu dyskusji na temat wspólnej płaszczyzny religii i nauki, gdyż daje gwarancję, że w tej grze „Boga luk” zawsze musi istnieć jakaś luka do wypełnienia. Przebieg owej dyskusji świadczy zazwyczaj o pochwalie niewiedzy, jaką gwarantuje Heisenberg, niż o rozpaczach z jej powodu. Niekiedy pojawiały się próby znalezienia psychicznych konsekwencji nieoznaczoności Heisenberga, lecz ogólna opinia jest taka, że w skali neuronów efekty te są zbyt małe, by mogły mieć jakikolwiek znaczący wpływ na procesy myślowe człowieka.⁵² Zgodnie z zasadą doboru naturalnego, gdyby ograniczenia ustanowione przez zasadę nieoznaczoności doprowadziły do powstania znaczącej nieracjonalności, to wówczas nastąpiłoby znaczące zmniejszenie szans na przetrwanie. Sieć neuronowa, wystarczająco rozwinięta pod względem rozmiarów, by uniknąć znaczącej nieoznaczoności kwantowej, byłaby bardziej zdolna do adaptacji niż wszelkie odmiany o mniejszych rozmiarach, a tym samym bardziej podatne na kwantowe nieoznaczoności.

Fakt, że nasz świat w ogóle posiada nieoznaczoność kwantową, to prosta konsekwencja niezerowości stałej

Plancka. Nie wiemy dlaczego przybiera ona taką a nie inną niezerową wartość. Gdyby jednak była większa niż obecnie, wówczas większe obiekty przejawiałyby silne własności falowe. Słynne opowieści „Pana Tompkinsa” niezującego Georga Gamowa usiłują objaśniać niektóre aspekty rzeczywistości kwantowej, pokazując, jaki byłby świat gdyby stała Plancka miała wartość tak dużą, że przedmioty znane nam z życia codziennego nabrałyby cech jawnie falowych.⁵³

Klasyczne prawa newtonowskie rządzące ruchem ciał określają reguły przyczyny i skutku. Ciało poddane działaniu pewnej siły porusza się z określonym

przyśpieszeniem. Prawa te pozwalają dokładnie obliczyć drogę ciała, na które działają dane siły, jeśli znamy punkt początkowy ruchu. W ten sposób możemy obliczyć na przykład orbitę okołosłoneczną planety. Wiemy zatem, że już w samych prawach Natury zawiera się idea, iż pewne ruchy są niemożliwe; to znaczy, że gdyby wystąpiły, pogwałciłyby prawa dynamiki lub niektóre zasady towarzyszące, takie jak zasada zachowania energii. W mechanice kwantowej obraz ten zmienia się zaskakująco. Mechanika kwantowa nie daje dokładnych przewidywań przyszłego położenia i prędkości obiektu w ruchu, którego punkt startowy jest wiadomy, a tylko prawdopodobieństwo, że będzie on do zaobserwowania w danym położeniu i będzie poruszał się z daną prędkością. Jeśli poruszający się obiekt jest duży (w podanym wyżej sensie), wtedy prawdopodobieństwa te będą miały mało istotny rozrzut i praktycznie położenie obiektu oraz prędkość (prawdopodobieństwa niemal dokładnie równe stuprocentowej pewności) będą takie, jak przewidują prawa Newtona. Jeśli jednak obiekt jest na tyle mały, że jego charakter falowy okazuje się znaczący, może istnieć wielkie prawdopodobieństwo, iż znajdzie się w stanie ruchu, niemożliwym w myśl praw Newtona. Takie stany często się obserwuje. Służą one do odróżniania zachowania świata mikroskopowego od obiektów, z którymi mamy do czynienia na codzień. W mechanice kwantowej wszystko można zaobserwować z pewnym prawdopodobieństwem - choć prawdopodobieństwo może być niemal bliskie zeru.

Kosmiczna granica prędkości

Prostota praw przyrody wylania się poprzez skomplikowany język, który służy nam do ich wyrażania.

EUGENE WIGNER

W pierwszych latach dwudziestego wieku Albert Einstein zakończył tworzenie wizerunku Natury, do którego powstania przyczyniło się wielu uczonych, nie patrzących tak głęboko i jasno na to, co powstanie po złożeniu wszystkich części. Einstein wykazał, że newtonowskie prawa ruchu zawodzą, kiedy stosuje się je do ciał poruszających się z dużymi prędkościami. Były tylko dobrymi, stosowanymi dla małych prędkości przybliżeniami bardziej ogólnego zbioru praw, rządzących ruchem ciał o dowolnych prędkościach. Co rozumiemy jednak przez „duże” i „małe” prędkości? Natura w pewien sposób stara się nam powiedzieć, że nie chodzi o subiektywną ocenę ani odniesienie do naszego własnego ruchu. Każdą prędkość trzeba oceniać względem prędkości światła w próżni. Prędkość ta, równa 229 794 458 metrów na sekundę, jest kosmiczną granicą prędkości.⁵⁵ Nie ma sposobu na przesłanie jakiegokolwiek informacji z prędkością większą od tej wartości. (Zauważmy, że w każdym ośrodku światła porusza się wolniej niż w próżni i można przesłać prze-

zeń informację z prędkością większą od prędkości światła w danym ośrodku, pod warunkiem, że prędkość tej informacji jest mniejsza niż prędkość światła w próżni).⁵⁶ Prawa dynamiki Newtona nie przewidują istnienia takiej prędkości granicznej (informacja jest przekazywana momentalnie) i prowadzą do nieprawidłowych przewidywań na temat świata, kiedy zastosuje się te prawa do cząstek poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Jest to zakres prędkości „wysokich” czyli relatywistycznych.

Fakt, że istnieje granica prędkości przesyłania informacji, niesie różnorakie niezwykle konsekwencje. Na przykład jest odpowiedzialny za naszą izolację astronomiczną. Konsekwencją skończonej prędkości światła są bowiem olbrzymie odcinki czasowe, potrzebne do przesłania lub odebrania fal radiowych czy świetlnych z innych układów gwiazd we Wszechświecie. Odpowiada też, choć w sposób, który nie dla wszystkich jest od razu oczywisty, za nasze własne istnienie. Gdyby prędkość światła nie była skończona, wszelkie typy promieniowania byłyby odbierane natychmiast po wyemitowaniu, bez względu na to, jak daleko od nas znajdowałoby się ich źródło. W efekcie powstałaby przeraźliwa kakofonia. Zostalibyśmy zalani docierającymi zewsząd sygnałami. Lokalne wpływy nie dominowałyby nad wpływami z wielkich odległości, więc wszelkie zmiany zachodzące po drugiej stronie Wszechświata natychmiast by na nas oddziaływały. Niemożliwość przesyłania informacji szybciej niż z prędkością światła sprawia, że możliwe staje się rozróżnianie i organizowanie wszelkich jej form.

W naszym świecie rządzi względność, gdyż prędkość światła jest skończona. Nie wiemy dlaczego prędkość światła przyjmuje tę szczególną wartość, jaką ma w naszym świecie. Gdyby była znacznie mniejsza, wtedy obiekty poruszające się stosunkowo wolno podlegałyby podobnym zniekształceniom przestrzeni i czasu, jakie pojawiają się przy prędkościach bliskich prędkości światła; podczas anihilacji materii w reakcjach jądrowych uwalniałoby się mniej energii; światło silniej oddziaływałoby z materią; a materia byłaby mniej stabilna.

I znów mamy do czynienia z dwojaką ewolucją naszych poglądów na temat niemożliwego i wynikających zeń konsekwencji. Przed Einsteinem, newtonowski obraz świata nie nakładał ograniczeń na prędkość, z jaką można przesyłać światło i wszelką inną formę informacji we Wszechświecie. Nie znaleźliśmy jednak powiązań między tym założeniem a innymi aspektami struktury Wszechświata. W rzeczywistości wszechświat newtonowski był niemożliwy. Był zbyt prosty, by pomieścić światło. Po Einsteinie zaś stanęliśmy wprawdzie w obliczu odkrycia, że przekaz informacji z prędkością ponadświetlną lub podróż z taką prędkością jest niemożliwa, lecz właśnie ta niemożliwość sprawia, że prawa Natury pozostają spójne.

Streszczenie

Śnitto mi się, że poszedłem do nieba i Święty Piotr zaprowadził mnie przed oblicze Boga. Bóg zaś rzekł: „Ty mnie nie pamiętasz, ale w 1947 roku uczęszczałem na twoje wykłady z mechaniki kwantowej w Berkeley.”

ROBERT SLRBIK

Zaczęliśmy od przyjrzenia się, jak pojęcie niemożliwości przenika korzenie licznych przejawów ludzkiej wyobraźni. Zobaczyliśmy kilka migawek ukazujących różne elementy naszego rozwoju kulturowego, czyniących ważny użytek z koncepcji niemożliwego, zarówno w postaci ograniczenia ludzkiego działania, jak i przeciwstawienia go koncepcji Istoty, dla której nic nie jest niemożliwe. Niemożliwe odegrało stymulującą rolę w sztuce, czego owocem są konstrukcje figur niemożliwych. W filozofii niestabnym zainteresowaniem cieszyły się paradoksy, doprowadzając do głębokiego, nowego spojrzenia na problemy nieskończoności oraz naturę języka, prawdy i logiki. Wreszcie ujrzeliśmy dwa przykłady rozwoju naszego pojmowania fizycznego Wszechświata, które pokazały nam, że istnieją nieoczekiwane granice pomiarów oraz prędkości przesyłania informacji. Rozwój skomplikowanych opisów funkcjonowania świata fizycznego zdaje się nieuchronnie prowadzić do teorii, które znają swoje ograniczenia; przewidują, czego nie potrafią przewidzieć.

Ten krótki przegląd pozwoli nam bliżej przyjrzeć się różnym ograniczeniom, jakie możemy napotkać podejmując próby zrozumienia Wszechświata, oraz rozważyć czy w takim razie należy oczekiwać dalszego postępu i co ów postęp oznacza.

Rozdział 2

Nadzieja na postęp

W końcu zaakceptowałeś pozytywne, Eliminujesz negatywne,

Wykorzystujesz to, co pewne, Nie mieszaj do tego Pana.

JOHNNYMERCER

W sinea dali

Ironia życia leży w tym, że żyje się je do przodu, a rozumie do tyłu.

SOREN KIERKEGAARD

Możemy już spojrzeć wstecz, na stulecie bezprecedensowego postępu, jaki nastąpił w większości dziedzin praktycznych. Maszyny, leki, nauczanie, systemy komputerowe, transport,... lista osiągnięć wydaje się nieskończona i coraz dłuższa. Postęp jest niezaprzeczalny, lecz co z tempem tego postępu. Czy przyspiesza on, czy zwalnia? Czy nasza wiedza o Naturze nadal będzie się zwiększać? Czy też w końcu będzie już tylko ciurkać słabym strumyczkiem?

W ciągu ostatnich trzydziestu lat nauka stopniowo usunęła mnóstwo problemów, otwartych przez nowe technologie. Nowa wiedza niezmiennie oznaczała nowe gadżety oraz nowe sposoby przekazywania informacji, wymagające coraz mniej czasu i przestrzeni. Lecz czy nowa wiedza zawsze ma nowe konsekwencje praktyczne? Czy też pogranicze

wykonanego, będzie przesuwac się dalej i dalej poza granice tego, co można sobie wyobrazić?

Obecne teorie fizyczne skłaniają do wniosków, że istnieje zaskakująco mało fundamentalnych praw Natury. Jednak, wydaje się istnieć nieskończona mnogość rozmaitych stanów i struktur, jakie prawa te dopuszczają - dokładnie tak, jak w szachach, gdzie w oparciu o niewielką liczbę zasad i bierek, można rozegrać niezliczoną liczbę różnych partii.¹ Wszelkie nie odkryte jeszcze siły muszą być skrajnie słabe lub bardzo ograniczone w działaniu - być może działające na znikomą odległość lub wpływające na zachowanie bardzo rzadkich, efemerycznych obiektów. Fizycy są całkowicie pewni, że niczego nie brak wśród sił, które już odkryli.² Natomiast co do rezultatów znanych praw, nie są ich aż tak pewni. Wciąż rodzą się nowe odkrycia i coraz lepiej rozumiemy sposób, w jaki skomplikowane zorganizowane struktury powstają i ewoluują wraz ze swoim środowiskiem. Być może tendencja ta jest tylko tendencją, idącą własnym kursem, której kulminacją będzie pełne zrozumienie wszystkich ewentualnych stopni skomplikowania. Może po prostu już żyjemy w Złotym Wieku złożono-

ści badań,³ podobnie, jak lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte XX wieku były Złotym Wiekiem fizyki cząstek elementarnych. Nauka eksperymentalna opiera się na odkryciach, a tylko raz można odkryć Amerykę - jak powiedzieliby panu Kolumbowi wikingowie.

Niektórzy uczeni i filozofowie przyjęli pogląd, że nauka jako całość przeżyła już Złoty Wiek, który ostatecznie zbliża się ku końcowi. Coraz trudniej będzie dokonywać prawdziwych odkryć; kuszącym celem staną się pomniejsze zagadnienia; osiągnięcie głębszego zrozumienia będzie wymagało coraz większych wysiłków wyobraźni; szersze zrozumienie struktury systemów o olbrzymiej złożoności będzie wymagało coraz potężniejszych komputerów. Żyła złota, jaką jest nauka użytkowa może pewnego dnia ulec wyczerpaniu, pozostawiając jedynie tu i tam nieliczne samorodki, które będziemy odkrywać z coraz większym wysiłkiem. Oczywiście, być może nie od razu spostrzeżemy, że kopalnia jest wyczerpana; na niebie nie pojawi się chorągiew, zawiadamiająca, że dalszy fundamentalny postęp będzie wymagał od Ludzkości olbrzymiego susa, a nie małych, szurających kroczków. Koszt finansowy wydobycia nowej wiedzy może w końcu nałożyć zbyt wielkie wymagania na skromne zasoby ludzi, a żadna potencjalna korzyść nie przeważy kosztów badań.

Nawet jeśli ten pesymistyczny scenariusz nie odnosi się do naszej najbliższej przyszłości, samo zastanawianie się nad nim może pomóc nam w bardziej oczywisty sposób przyrzeć się realiom. Koszt badań naukowych już teraz stał się sprawą polityczną. Jak dużą część produktu narodowego brutto danego kraju należy przeznaczać na badania naukowe o małych lub żadnych widokach na praktyczne korzyści czy przewrót techniczny? Jak niebezpiecznie potrafią być korzyści z nauki, a wciąż uważa się je za korzyści? W niniejszym rozdziale, zanim spojrzymy wstecz na prognozy dawnych proroków, którzy u schyłku swojego stulecia zastanawiali się, czy postęp zbliża się ku końcowi, przyjrzymy się pewnym współczesnym, prowokacyjnym opiniom na temat tegoż postępu naukowego. Dawni prognostycy, nie zadowolając się uogólnieniami, często naświetlali problemy naukowe, o których myśleli, że nigdy nie zostaną rozwiązane. Ich obawy były bardzo podobne do naszych.

Nie sami uczeni dyktują przyszłe drogi nauki. Kiedy działalność naukowa staje się bardzo kosztowna i nie ma bezpośredniego technologicznego ani militarnego znaczenia dla państwa, wtedy dalsze jej wspieranie jest uzależnione od innych wielkich problemów, z jakimi boryka się społeczeństwo. Jeśli są to problemy klimatyczne, wtedy fundacje rządowe łaskawszym okiem spoglądają na klimatologów i kosmologów niż na fizyków cząsteczek lub metalurgów. W przyszłości możemy oczekiwać, że coraz większy poklask, a więc i wystarczające środki będą zyskiwać tak zwane nauki problemowe - chodzi o badania potrzebne do rozwiązania wielkich problemów ochrony środowiska, problemów społecznych, i medycznych, zagrażających dalszemu istnieniu i zdrowiu ludzkości. W dziejach ludzkości groźba i istnienie wojen stwarzały pilną potrzebę skupienia się na określonych dziedzinach nauk przyrodniczych i matematyki. Możliwe, że w przyszłości taka pilna potrzeba skupi naszą uwagę na produktach ubocznych naszych własnych, przeszłych działań oraz na tym, jaki wpływ mają niepomyślne tendencje klimatyczne i ekologiczne na środowisko przyrodnicze. Po upływie bardzo długiego czasu mało prawdopodobne zagrożenie staje się pewne, jeśli mu się stale nie zapobiega.

Coraz bardziej widać, że społeczeństwa „rozwinęte” - takie, które mają rozległy kapitał oraz wierzą w naukę i technikę - stwarzają inne wewnętrzne problemy i napięcia oraz kosztowne do spełnienia oczekiwania. Te, które dysponują funduszami na inwestowanie w badania naukowe, i tak mają wiele innych, obciążających budżet potrzeb, wynikających nie tylko z potrzeby naprawiania nieostrożnych błędów. Równie kosztowny może być sukces. Wciąż odkrywamy nowe sposoby leczenia chorób, które kiedyś były nieuleczalne. Jednak koszt wprowadzenia tego leczenia na wielką skalę również może być dla społeczeństwa rujnujący. Rosnące koszty coraz bardziej skomplikowanych metod leczenia oraz tępienia chorób, niegdyś śmiertelnych dla osób w późnym wieku średnim, powodują stały wzrost kosztów utrzymania prywatnej i państwowej opieki społecznej. Każde kolejne zwycięstwo medycyny nad postępującą

chorobą stwarza bowiem nową grupę wyleczonych, których zetknięcie się z następnym schorzeniem wieku starszego stworzy nowe obciążenie dla społeczeństwa.

Jedyną nadzieją na podtrzymanie postępu naukowego może być rozwój systemów komputerowych, coraz bardziej zminiaturyzowanych, coraz szybszych i coraz bardziej skomplikowanych. Czysto naukowe przedsięwzięcia, sprzyjające rozwojowi tych nowych technologii, będą w przyszłości odgrywały pierwszoplanową rolę. Ów spodziewany zysk z badań w zakresie nauk podstawowych jest czymś już znanym z dawniejszych przedsięwzięć „wielkiej nauki”. Jedną z największych korzyści pierwszych amerykańskich badań kosmosu nie było zdobycie okazów skał księżycowych, lecz gwałtowny rozwój dużych i niezawodnych systemów komputerowych, pracujących w czasie rzeczywistym. Natomiast ostatnio z ośrodka badań jądrowych CERN wyłoniła się ogólnosiwiatowa sieć komputerowa - Internet.

Sukces nauki wyniósł jej działania na nowy poziom skomplikowania. „Wielka nauka” oznacza międzynarodową współpracę setek naukowców, budżety bieżące sięgające setek milionów funtów i czas prowadzenia badań przekraczający niekiedy długość życia zawodowego głównych uczestników. Różne dziedziny, jedna po drugiej, osiągną stan, w którym pragną ruszyć naprzód, rozpoczynając wielki projekt, który pozwoliłby im przyłączyć się do wielkiej nauki. Asymptotyczne przyciąganie takiego wspólnego przedsięwzięcia znamionuje

specyficzną dojrzałość nauk przyrodniczych, charakteryzującą się istnieniem centralnej teorii zdolnej do wykorzystania olbrzymiej liczby danych i wielkich ułatwień, jakie daje analiza komputerowa. Fizycy zrobili to pierwsi (z wykorzystaniem akceleratorów cząstek), następnie astronomowie (dzięki Teleskopowi Kosmicznemu Hubble'a), a obecnie biolodzy (wdrażający Human Genome Project). Z pewnością znajdą się też inni. Budżety badań naukowych w większości krajów musiały już pogodzić się z potrzebami działalności naukowej, która niegdyś nie wymagała wielkich nakładów - niewiele ponad kilka próbek, książek, odczynników, szklanych kolb i nieskomplikowanego technicznie wyposażenia, lecz obecnie potrzebne są wielkie systemy komputerowe, spektrometry, elektronowe mikroskopy skaningowe, małe akceleratory i inne bardzo drogie elementy oprzyrządowania, obciążone ponadto olbrzymimi kosztami eksploatacji, wymagające częstego unowocześniania, aby ich użytkownicy utrzymali się w światowej czołówce badaczy.

Nieprzeparłe pragnienie postępu, którego wynikiem jest owo niekończące się zapotrzebowanie na pieniądze i zasoby materialne, okazuje się bardzo głęboko zakorzenione w naszym charakterze. Nic w tym tajemniczego. Jesteśmy produktem długiego procesu ewolucji, który wybrał cechy najlepiej zapewniające przetrwanie. Zdolność przekształcania środowiska, a więc kształtowania własnej niszy ekologicznej pozwoliła nam prześcignąć inne gatunki i przetrwać w każdym zakątku powierzchni Ziemi. Im trudniejsze współzawodnictwo, tym większy nacisk na osiągnięcie nawet marginalnej korzyści przez przyjęcie pewnych innowacji. Postępowcy będą lepiej przystosowani, by przeżyć w zmieniającym się środowisku niż konserwatyści. Postępowa działalność zakrawa niekiedy wręcz na obłąd i stwarza wszelkie możliwe problemy, lecz, podobnie jak starzenie się, nie jest taka zła, biorąc pod uwagę alternatywę.

Dzisiaj większość mieszkańców krajów zachodnich żyje luksusowo w porównaniu z losem swoich odległych przodków. To może budzić obawy, że rosnący komfort spowoduje zanik bodźców dla innowacji. Patrząc wstecz coraz częściej zastanawiamy się, czy kierunek w którym dążą społeczeństwa rozwinięte technologicznie - zmniejszanie nakładu pracy, wydłużanie życia i wydłużanie czasu wolnego - nie doprowadzi do wyeliminowania bodźców oraz chęci do dalszego rozwijania nauki i technologii. Rządy coraz usilniej starają się tworzyć takie „środowiska ekonomiczne”, które pobudzałyby i nagradzały wynalazczość, a tym samym przeciwstawiały się rozwojowi kultury zależności z jednej strony i kultury letargii z drugiej. Jak potoczą się sprawy na dłuższą metę? Może być tak, że kreatywność zostanie skierowana w inne obszary, na przykład kiedy ludzie okażą się nieoczekiwanie podatni na działanie elektronicznych rzeczywistości wirtualnych i innych rozrywek, wymagających równie zaawansowanych technologii. Równie dobrze jednak problemem endemicznym może stać się apatia.

Sytuacja nie różni się bowiem zbyt od sytuacji człowieka, któremu powiedziano, że będzie żył wiecznie. No bo czy wówczas pędzilibyśmy, by rozpocząć pierwszą z niekończącego się szeregu nowych karier, czy też spoczniemy na laurach, wiedząc, że jest wystarczająco dużo czasu i miejsca, by zrobić wszystko *mañana*.⁴ Filozof i badacz społeczeństw, José Ortega y Gasset, przewidział taki podział, zauważając, że

najbardziej radykalny z możliwych podziałów, jakie można przeprowadzić wśród ludzi, to taki który dzieli ich na dwie klasy stworzeń - takich, którzy bardzo wiele wymagają od siebie, nie oszczędzając sobie trudności i obowiązków, oraz takich, którzy od siebie nie wymagają niczego szczególnego, lecz dla których żyć znaczy w każdym momencie być tym, czym naprawdę są, bez zmuszania się do jakiegokolwiek perfekcji, po prostu jak boje unoszące się na falach.⁵

Każdy z nas zna kogoś pasującego do pierwszej lub drugiej klasy.

Choć jest to wnikliwa ocena dwoistego podziału ludzkich osobowości, trzeba być bardzo ostrożnym w jej stosowaniu. Łatwo mówić o „społeczności ludzkiej” lub „naukowcach”, tak jakby były to pojedyncze jednostki. Prawda wygląda jednak inaczej. Są to bowiem całe populacje jednostek, przejawiających szeroki zakres różnorodnych motywacji i poglądów. Motywacje te mogą wprawdzie oscylować wokół dwóch przeciwnych biegunów, lecz w każdym społeczeństwie istnieje oprócz tego całe spektrum innych motywacji i poglądów, dających perspektywę zupełnie innych przyszłości z dowolnej mieszanki opisanych dwóch.

Podróż do Polinezji via Telegraph Avenue

We Włoszech przez trzydzieści lat rządów Borgiów mieli wojnę, terror, mord i rozlew krwi. Zrodzili Michała Aniota, Leonarda da Vinci i renesans. W Szwajcarii mieli braterską miłość, pięćset lat demokracji i pokoju i co zrodzili? Zegar z kukułką.

ORSON WELLES⁶

Rosnące koszty poszerzania granic nauki mogą prowadzić do coraz większego zainteresowania analizami filozoficznymi i dyskusjami nad pytaniami pokrewnymi pytaniami o „sens życia”, czy „jak zaczął się Wszechświat?”, na które nie da się znaleźć odpowiedzi. Tym sposobem można wyczerpać sedno nauki, pozostawiając jedynie powierzchowną warstwę pytań, co do których można mieć opinie, ale nie weryfikowalne odpowiedzi. Pogląd, że nauka jest zdolna dokonać własnej żałobnej dymisji wygłosił po raz pierwszy w swojej książce *The Corning*

of the Co/den Age, z 1969 roku⁷ wybitny biolog Gunther Stent, pracujący wówczas w Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley. Jego podejście zostało ostatnio ponownie przedyskutowane i powtórzone przez dziennikarza Johna Horgana w książce *Koniec nauki*.⁸

Stent uważał, że nauka osiągnęła kres swojej drogi - choć nie dlatego, że stała się zbyt kosztowna. Jego zdaniem wielkie odkrycia zostały już dokonane i nauki nie czeka już nic oprócz barokowych elaboratów, subiektywizmu oraz introspekcji, jakie już teraz można znaleźć w wielu dziedzinach twórczości. Historia uczy, że starożytni podjęli poszukiwanie tropu mitycznego Złotego Wieku, kiedy to uprzywilejowana rasa śmiertelnych ludzi żyła na Ziemi w raju. Według greckiej legendy ów stan ziemskiej błogości skończył się z chwilą, gdy podniesiono wieko puszeki Pandory i na świat wyroiła się horda nieznanego wcześniej zła. Po Złotym Wieku nastąpiły kolejno wieki coraz mniej świetne: Srebrny, Brązowy i Heroiczny, aż do czasów obecnego Wieku Żelaznego, czasów trudu i smutku, w którym Ludzkość zbiera gorzki plon zasiany przez bogów. Tradycja judaistyczna ma podobną, bardziej nam znaną opowieść o schyłku i wygnaniu z Rajskiej błogości w świat ziemski, pełen mozołu i niepokoju.

Stent dowodzi, że ten mitologiczny obraz trzeba odwrócić. Nasz naukowy Złoty Wiek nie leży w przeszłości; zdarzenia wskazują, że Złoty Wiek to nasze teraz. Najbardziej charakterystycznym rysem owego współczesnego nam Złotego Wieku jest nie blask jego osiągnięć, lecz fakt kulminacji gwałtownego wzrostu nauki. Wyglądało na to, że rówieśnicy Stenta praktycznie dotarli tam, dokąd zamierzali. Cóż więc włącza hamulec?

Stent nie uważał, że koniec nauki zbliża się głównie z powodu wyczerpania się zasobów łatwo rozwiązywalnych problemów. Paradoksalnie, uznał śmierć nauki za konsekwencję jej własnych sukcesów w podtrzymywaniu bezprecedensowe wysokich standardów życia, dobrobytu społecznego i bezpieczeństwa, jakie przysły po niedoborach i horrorze z czasów kolejnych wojen światowych. Nauka, jeśli odnosi sukcesy, ma skłonność do wytwarzania takich warunków społecznych, w których zanikają psychologiczne motywacje, niezbędne do manipulowania światem przyrody dla osiągnięcia korzyści. Tak o tym pisał:

Spróbuję wykazać, że wewnętrzne przeciwieństwa - tezy i antytezy - w postępie, sztuce, nauce i innych zjawiskach związanych z człowiekiem, sprawiają, iż owe procesy stają się samoograniczające oraz że osiągają te granice za naszych czasów, prowadząc do jednej, wielkiej końcowej syntezy, Złotego Wieku.⁹

Taki stan rzeczy da się porównać z charakterystyczną historią Oceanii. Została ona zasiedlona przez awanturniczą rasę żeglarzy, którzy trzy tysiące lat temu wyruszyli w małych odkrytych łódeczkach z południowo-wschodniej Azji na Ocean Spokojny, w poszukiwaniu lepszego miejsca do życia. W ciągu następnych dwóch tysięcy pięciuset lat żeglarze ci, motywowani poszukiwaniami pożywienia i ziemi, skolonizowali wszystkie nadające się do zamieszkania wyspy Pacyfiku. Lecz kiedy, jakieś kilkadziesiąt lat temu, proces osiedlania dobiegł końca, spirala skierowała się w dół. Żyzna ziemia i bogate plony morza sprawiły, że duch

przygody zanikł, pojawił się hedonizm, intelektualny wysiłek zmarniał, a dawniejszej twórczości pozwolono zblaknąć i zamrzeć.¹⁰ W smutnej historii Polinezji, Stent widział konsekwencje upadku ludzkiego ducha „faustowskiego”, z którego brało się pragnienie, by na nowe sposoby podporządkowywać sobie środowisko:

Wcześniej „groźba” wolnego czasu zaistniała co najmniej raz, po prostu wskutek prostego i łatwego porzucenia ewangelii pracy. To wskazuje, że ludzie niekoniecznie całkiem wariują, kiedy dzięki zabezpieczeniu ekonomicznemu, większość z nich nie ma już wiele użytecznego zatrudnienia. Owi wikingowie Pacyfiku musieli startować z silnym faustowskim zacięciem, lecz zanim odkrył ich kapitan Cook, faustowski człowiek całkiem zaginął...¹¹

Oceniając powyższe analogie trzeba pamiętać o sytuacji Stenta. Pisał te słowa w Berkeley w 1969 roku, zaraz po wielkich demonstracjach studentów, zorganizowanych przez Studencki Ruch Wolności Słowa (które stały się iskrą zapalającą podobne protesty na całym świecie). W Berkeley wielu uczonych i pracowników administracji dokonało wówczas wnikliwej introspekcji, szukając przyczyn i długofalowego znaczenia bezprecedensowych studenckich protestów. Ponadto z czasem wielka część amerykańskiej młodzieży wspólnie zmieniła swoje opinie na temat celów życiowych warty zachodu - Amerykańskie Marzenie zmieniło się w Amerykański Koszmar. Wstrząśnięty tą zmianą Stent uważał, że młodzież porzuciła dążenie do wiedzy i nigdy do niego nie wróci. Najbardziej przygnębiał go jednak charakter, a nie temat protestu. Protestujących uznano za antyracjonalnych i antysukcesowych. Krótko mówiąc antypostępowych. Długoterminowa przyszłość racjonalnych przedsięwzięć, w tym nauki, nie wyglądała różowo z perspektywy Faculty Club w kampusie Berkeley. Ścisłe związki nauki i naukowców Berkeley z amerykańskim wojskiem (zarządzane przez Edwarda Tellera laboratorium broni w Livermore leżało tylko 45 minut drogi od uniwersytetu i formalnie było jego częścią) także nie za dobrze wróżyły tej przyszłości. Nauka zwalniała bieg wskutek radykalnych zmian społecznych, a nie z powodu wyczerpania się materii przedmiotowej.

Myśl Stenta wykazuje znaczny wpływ dziewiętnastowiecznych filozofów, w badaniu naszej zdolności manipulowania światem przyrody upatrujących

obiektywnej miary ludzkiego postępu.¹² Na tej podstawie Stent uznał, że ewolucja wyposażała nas w instynkt pozwalający manipulować i rządzić środowiskiem. Możemy przekazywać go szybciej w takich procesach, jak nauczanie, zwłaszcza w odniesieniu do małych dzieci, bądź boleśnie powolną drogą dziedziczenia genetycznego, przy czym jest to instynkt, który stopniowo prowadzi do rozwoju uprzemysłowionych społeczeństw. Ponadto, kiedy udaje nam się manipulować Naturą w sposób dla nas optymalny, jesteśmy „szczęśliwi”. Lecz, gdy w latach powojennych społeczeństwo stało się bardziej zamożne, warunki społeczne, niezbędne do inspirowania tej manipulacji zaczęły zanikać. Jako pierwsze w warunkach względnego dobrobytu wychowało się pokolenie beatników. Ekonomiczne bezpieczeństwo studentów Stenta nadwątlilo pragnienie dokonywania postępu w sposób, stanowiący niegdyś drugą naturę ich przodków, którzy doświadczyli Wielkiego Kryzysu lub trudów wychodzenia z biedy czy prześladowań.

Przystępując do badania wzrostu i możliwych granic postępu technicznego, powinniśmy ponownie rozpatrzyć argumenty Stenta. Jego pogląd, w oderwaniu od specyficznych warunków Berkeley lat sześćdziesiątych XX wieku, jest po prostu taki, że postęp sam się ogranicza. Ponieważ zaś początkową inspiracją postępu jest psychiczne pragnienie kształtowania środowiska i kontrolowania przyszłości, a im lepiej nam się to udaje, tym bardziej zamożna i bezpieczna staje się nasza egzystencja i jednocześnie maleje potrzeba oraz pragnienie postępu. Patrząc z obecnej dogodnej perspektywy, prognozy Stenta wydają się przesadnie pesymistyczne. Kultura beatników była krótkotrwałym zakłóceniem, po którym nastąpił intensywny „wyszcig szczerów”, znany nam w kulturze wolnej przedsiębiorczości. Rosnący dobrobyt zrodził pragnienie jeszcze większego dobrobytu.

Spoglądając wstecz widzimy, że analiza Stenta była raczej nierealistycznie linearna. Nie dostrzegł on, że postęp jest czymś wielopłaszczyznowym. Postęp w jednej dziedzinie może w innej stworzyć problem. Istotnym czynnikiem napędowym nie był jednakowy dobrobyt; stały się nim odczuwalne różnice poziomu sukcesu pomiędzy jednostką a jej otoczeniem. Nierówności tego typu to znacznie bardziej prawdopodobny czynnik motywacyjny niż jednakowy dobrobyt. Choć nawet bez nich rosnący pokój i prosperity to delikatna rzecz. Zdaliśmy sobie sprawę, że potęg techniczny ma drugie dno. Często bowiem stwarza w środowisku naturalnym problemy, przewyższające dobrodziejstwa, jakie miał przynieść. Jeśli istnieją podobne negatywne skutki uboczne postępu technicznego w innych dziedzinach, wówczas chęć zapanowania nad nimi będzie stałym bodźcem dla ludzkiej wyobraźni. W takim razie dekadenski Złoty Wiek Stenta może nigdy nie nadejść.

Horgan widzi dla nauki inną przyszłość. Gdy Stent zastanawia się, czy kiedyś zblednie psychologiczna

motywacja nauki, osłabiona panującym na co

dzień spokojem i bezpieczeństwem, Horgan zastanawia się, czy to możliwe, że kiedyś wyschną wszystkie pytania, na które da się uzyskać odpowiedź, a nauka osłabnie w wyniku wewnętrznej dekadencji. Czy wszelkie fundamentalne pytania znajdują się wkrótce na granicy fascynujących spekulacji, niedostępnych dla definitywnego sprawdzenia przez eksperyment lub obserwację?

Na pierwszy rzut oka wydaje się to bardzo prawdopodobne. Nasza własna sytuacja we Wszechświecie i nasze umiejętności techniczne nie były „przeznaczone” od tego, by skompletować naszą wiedzę o Wszechświecie. Nie ma powodu, by sądzić, że Wszechświat powstał dla naszej wygody czy zabawy. Muszą istnieć jakieś granice do jakich możemy działać i wiedzieć. Jeśli granice te istnieją, a wiedza daje się gromadzić, możemy tylko się do nich zbliżać - nie ma alternatywy. Prędzej czy później, nieuchronnie osiągniemy stan wiedzy, dopuszczający znaczący „postęp” tylko drogą kreślenia scenariuszy mających pozory prawdopodobieństwa. Żaden eksperyment nie będzie mógł ich potwierdzić ani definitywnie wykluczyć. Ta „naiwnie ironiczna nauka”, jak ochrzcił ją Horgan, dostarczy interesujących tematów rozmów przy herbatce i może nawet zaowocować tysiącem popularnych książek, lecz nie pomoże nikomu zbudować lepszego urządzenia ani dodać nic nowego do kanonu wiedzy naukowej. W pewnym sensie taka przyszłość przedsięwzięć naukowych przypomina los wielu rodzajów sztuki. Przydomek „ironiczny” podkreśla podejście postmodernistyczne, że u korzeni dzieła nie istnieje jądro prawdy niezależnej od odbiorcy. Tekst jest tym, czym uważasz, że jest. Wszystkie testy mają wielorakie, zależne od odbiorcy znaczenia, a jedynym „prawdziwym” znaczeniem jest sam tekst. Krytyka literacka weszła w fazę dekonstruktywizmu, kiedy to każda interpretacja dzieła jest równie wartościowa jak wszystkie inne - w tym także interpretacja autora.¹³ Tak więc Horgan uważa, że tych którzy zajmują się fundamentalnymi naukami przyrodniczymi czeka przyszłość, w której będą musieli

uprawiać naukę w spekulacyjny, postempiryczny sposób, który ja nazywam nauką ironiczną. Nauka ironiczna przypomina krytykę literacką, gdyż także oferuje punkty widzenia, opinie, w najlepszym razie interesujące, które prowokują dalsze omówienia. Jednakże nie skupia się na prawdzie. Nie może zrodzić empirycznie weryfikowalnych niespodzianek, które zmuszają naukowców, by dokonać dogłębnych rewizji podstawowych opisów rzeczywistości.¹⁴

Możliwe, że nauka stoi w obliczu takiego właśnie losu - wielu uczonych uznałoby go za coś znacznie gorszego od śmierci nauki. Pomijając psychologiczną kwestię, czy podobne spekulacje są szczególnie atrakcyjne dla prężnych naukowców, zajmujących się naukami doświadczalnymi, jest to faktycznie przepowiednia dotycząca natury Wszechświata - przewidywanie, że istnieje granica na-

szych obserwacyjnych możliwości - prognoza istnienia rzeczy, których nie możemy zobaczyć, zdarzeń, których nie potrafimy zauważyć, możliwości, których nie będziemy umieli wykluczyć. W takiej sytuacji pozostanie nam tylko odmalowywać możliwe scenariusze, zgadzające się z tą odrobiną wiedzy, jaką naprawdę mamy. Luki jakie pozostaną w naszej wiedzy pozwolą jednak na istnienie wielu możliwości. Obecnie stanowią niewielką część nauki, lecz ich względny zasięg może stale rosnąć. Pewnego dnia nasi potomkowie mogą obudzić się i stwierdzić, że powiększyły się na tyle, iż obejmują całość granic między znanym i nieznanym.

Ostatnimi czasy wypowiedzi oraz przewidywania nauki stały się śmielsze i bardziej spekulacyjne. Wydaje się, że naukowców nie satysfakcjonuje już tylko opisywanie tego, co zrobili lub jaka jest Natura; aż rwą się do tego, by opowiadać swoim słuchaczom, jakie jest z n a c z e n i e dokonanych odkryć w zakresie coraz liczniejszych głębokich pytań psychologicznych (o sens życia) i spekulować na temat przyszłych możliwości w sposób bliższy *science fiction* niż faktom naukowym. Przykłady łatwo trafiają do umysłów: sprawa stworzenia sztucznej inteligencji, poszukiwanie rozwiniętych istot pozaziemskich, objaśnienie ludzkich uczuć i emocji w kategoriach ewolucji adaptacyjnej, możliwość odczytania kodu genetycznego i takiej jego znaczącej modyfikacji, by wykorzystać choroby i znacznie zwiększyć długość życia człowieka. Kosmologowie opowiadają nam o początkach Wszechświata (nie tylko naszego, lecz także innych!) i prognozują ostateczny kształt praw Natury, inni zaś kreślą naszą kosmiczną przyszłość. Każdy z tych przykładów ma swoje racje, lecz można by spytać, czy spekulacyjny zasięg nauki popularnej mówi nam coś głębszego o naturze przedstawianego przedmiotu oraz audytorium, któremu służy.

Niektórzy mogą uważać tę skłonność do transcendencji w popularyzacji nauki za zamiennik upadających religii. Wielu widzi naukę jako źródło transcendentálnych idei, prowadzących nas poza banalność nowości politycznych, najrozmaitszych skandali, wydarzeń ekonomicznych, przestępczości oraz poza mody społeczne. Fascynacja okultyzmem, astrologią i inne mistyczne tęsknoty do zjednoczenia z Wszechświatem (przypomnijmy sobie dziwaczny wygląd tak zwanej Partii Praw Naturalnych, z towarzyszącym jej bełkotem, biorącej udział w ostatnich brytyjskich i

amerykańskich wyborach). Wydaje się, że w ludziach istnieje głębokie pragnienie czegoś większego, niż my sami, oraz poznania sensu Wszechświata. Niektórzy autorzy poszli w tym dalej. Na przykład Paul Davies twierdził, że nauka oferuje pewniejszą drogę do Boga niż religia.¹⁵ Pogląd ten nie jest niczym nowym. W 1932 roku wpływowy matematyk i fizyk, Hermann Weyl, rozważał tę kwestię twierdząc, że

Wielu ludzi uważa, iż nauka współczesna znacznie oddaliła się od Boga. Ja, wręcz przeciwnie, odkryłem, że wykształconej osobie jest dziś znacznie

trudniej zbliżyć się do Boga od strony historii, od duchowej strony świata i od strony moralności; ponieważ napotykamy cierpienia i zło świata, które trudno pogodzić z miłosiernym i wszechmocnym Bogiem. W tej dziedzinie nie udało nam się jeszcze unieść zasłony, którą nasza ludzka natura okrywa istotę rzeczy. Lecz w naszej znajomości fizycznej natury dotarliśmy tak daleko, iż potrafimy uzyskać obraz nieskazitelnej harmonii będącej w zgodzie z najwyższą przyczyną

Dla tradycyjnej *science fiction* utrzymanie się w biznesie jest znacznie trudniejszym zadaniem niż dla teologii,¹⁷ ponieważ nauka regularnie odkrywa możliwości znacznie bardziej niezwykłe niż jakikolwiek autor *science fiction* potrafi sobie wyobrazić. Jednak wykorzystuje tę sytuację na swoją korzyść, poszerzając zakres działania i głębiej wnikając w problemy psychologiczne oraz nietechniczne.

Można by się także zastanawiać, czy to nie sukces rynkowy nauki popularnej wpłynął na jej prezenterów, by w swoim pragnieniu przyciągania czytelników, wdawali się w coraz głębsze spekulacje. Lecz jest prostsze wyjaśnienie. Dyscypliny naukowe dysponują czymś, co można nazwać „współczynnikiem wypełnienia” - jest to miara kompletności dokonanych odkryć w odniesieniu do zasięgu obecnej doświadczałnej dokładności, techniki komputerowej i ludzkich umiejętności matematycznych. Z uwagi na to, że wszystkie dostępne rezultaty zostały już w prosty sposób objaśnione niespecjalistom, pozostało jedynie zagłębianie się w spekulacyjne granice przedmiotu (i poza nie). Rozrastanie się wysoce spekulacyjnych ekstrapolacji poza obecną wiedzę o przedmiocie świadczy albo o tym, że nowe obserwowalne fakty są bardzo trudne do odkrycia (jak w badaniach odległej przeszłości Wszechświata), albo że rozważana gałąź nauki odniosła w obrębie swoich możliwości taki sukces, iż pozostało stosunkowo mało dostępnej informacji (jak w eksperymentalnej fizyce cząstek).

Postęp i przesąd

Optymista to ktoś, kto myśli, że przyszłość jest niepewna,
ANONIM

Założenie stałego postępu jest podejściem stosunkowo nowym,¹⁸ konsekwencją życia długo i szybko. Dawniej życie było powolniejsze; gorsza komunikacja; trudniej wprowadzało się zmianę i znacznie mniej ludzi potrafiło jej dokonać. Zwykle też powiązanie między zmianą a ulepszeniem było małe lub żadne; życie stanowiło kierat, gdzie mało było do zyskania, a wszystko do stracenia.

W niektórych kulturach postęp mogły blokować głęboko ugruntowane poglądy na temat biegu i celu historii. Wiele społeczeństw Wschodu, przez ana-

logię do zmian związanych z porami roku oraz obserwowanego w przyrodzie cyklu życia i śmierci, ściśle trzymało się tradycji cyklicznej powtarzalności.¹⁹ Chrześcijaństwo uważało historię ludzkości za odejście z raju, który pewnego dnia zostanie przywrócony Wybranym. Nie są to poglądy łatwe do pogodzenia z nieustannym, widocznym na przestrzeni dziejów postępu.

W czasach średniowiecza filozofowie i uczeni więcej czasu spędzali na spoglądaniu wstecz niż do przodu. Ogólnym poważaniem cieszyły się klasyczne dzieła Arystotelesa, uważane za konieczne oraz wystarczające do zrozumienia wszystkiego. Stanowiły autorytet, względem którego testowano i do którego dostosowywano wszelkie nowe idee. Przeciwnie niż obecnie, nie uważano obserwacji za najlepsze narzędzie do oddzielania faktów od fikcji. Galileuszowi nie udało się przekonać profesora filozofii w Pizie, że najlepszym sposobem sprawdzenia, że Jowisz ma księżycy, jest spojrzeć przez teleskop. Produktem ubocznym tego przesadnego szacunku dla tekstów pisanych i autorytetów był pogląd, że Złoty Wiek intuicji i odkryć należy do przeszłości. Wielcy filozofowie żyli w starożytnej Grecji - Platon i Arystoteles to „olbrzymy, na których barkach stoimy”. Płonne nadzieje, że ich prześcigniemy.

Renesans zaniechał owego nadmiernego szacunku dla przeszłości. Malarze, rzeźbiarze i uczeni tej epoki pokazali, że są lepsi od swoich poprzedników. Rozkwitłe wówczas ponownie zaufanie w zdolności człowieka wszczepiło nam pragnienie postępu i osiągnięć, które przetrwało aż do dzisiaj.

Rozwój nauk stosowanych stanowił dobrą miarę postępu. Na przykład dokładność określania czasu zawsze była punktem odniesienia w krajach morskich, gdyż od niej zależała dokładność, z jaką mierzono długość geograficzną. W czasach Newtona angielska Admiralicja oferowała olbrzymie nagrody pieniężne dla tych, którzy zbudują najdokładniejsze czasomierze dla potrzeb nawigacji.

Starożytni również przekazali nam inne podejście do przyszłości. Arystoteles oraz wielu innych myślicieli, którzy go naśladowali, położyli wielki nacisk na miejsce, jaki zajmował „zamyśl” w wyjaśnianiu, dlaczego coś się dzieje. Wydaje się to oczywiste, gdy mamy do czynienia z ludźmi lub zwierzętami, lecz wprowadza w błąd, gdy chodzi o obiekty nieożywione. Arystoteles utrzymywał, że zmiany mają zamyśl i punkt dojścia w przyszłości, czyli tak zwane „przyczyny ostateczne”, które ujawniają, dlaczego i po co dana rzecz się zdarzyła. Pogląd ten stoi u podstaw argumentów na rzecz przeznaczenia antropocentrycznego, wysuwanych w naukach biologicznych, które uważają formy świata żywego za produkt przeznaczenia. Ścisłe dopasowanie warunków, niezbędnych poszczególnym istotom żywym, do struktury ich środowisk interpretowano jako dowód celowego Boskiego zaprogramowania.²⁰ Jedną z konsekwencji owego poglądu teologicznego jest to, że obecny stan świata stanowi w pewnym sensie najlepszą z możliwości. Zbyteczny jest więc dalszy postęp w kierunku stanu jakiejś lepszej

adaptacji między istotami żywymi a ich habitatami. Wychwalając cud ludzkiego oka jako instrumentu optycznego, nie można równocześnie wyobrazić sobie postępu ani ulepszenia, nie przyznając jawnie, że cud ten ma niedoskonałości.²¹ Poza naukami biologicznymi istniały inne, subtelniejsze formy takiego sposobu myślenia. Nie dotyczyły zadziwiającego dopasowania cech środowiska i funkcjonowania istot żywych, lecz cudownej prostoty, uniwersalności i trafności odkrytych przez Newtona praw Natury, rządzących Ziemią i Układem Słonecznym.

Najbardziej prawdopodobne jest dostrzeżenie tej zmiany podczas badań nad istotami żywymi. Jednak biologia to nie astronomia - choć zmianę w organizmach żywych łatwo zobaczyć, trudno ją zrozumieć. Nielatwo bowiem zrekonstruować przeszłość i nie istnieją proste równania matematyczne, przepowiadające przyszłość. Życie jest zbyt skomplikowane. Centralny problem stanowiło uzyskanie przekonującego wyjaśnienia, skąd wzięły się żywe organizmy (chodzi o coś więcej niż na przykład stwierdzenie, że „rzeczy są, jakie są, gdyż były jakie były”) i dlaczego są wprost idealnie „przykrojone” na miarę swoich środowisk.

Pierwszą próbę dokonania tego w sposób przekonujący podjął francuski zoolog Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829). Lamarck dostrzegł fakt, że organizmy są zawsze dobrze przystosowane do warunków życia. Jego teoria mówi, że organizmy uczą się nowych zachowań lub wykształcają nowe struktury w odpowiedzi na zmiany środowiska, przy czym te nowe cechy są stopniowo wymuszane przez powtarzające się udane zastosowania. Organizmy w pewnym sensie przejmują kierunki swojego rozwoju od środowiska. Drzewa rosną coraz wyżej, więc żyrafy powoli rozwijają coraz dłuższe szyje i nogi, żeby móc nadal żywić się liśćmi. Rezultatem tego procesu jest nieprzerwana harmonia między budową a potrzebami organizmów. U podstaw tego wizerunku leży pogląd, że wszystko, co żyje rozwija się w kierunku form najbardziej harmonijnych i najdoskonalszych, i na nich rozwój się kończy. Główną luką teorii Lamarcka był oczywiście brak jakiegokolwiek mechanizmu przekazywania organizmom informacji o zmianach środowiska, dzięki której ich ciała „wiedziały”, że muszą się zmienić.

W połowie dziewiętnastego wieku Darwin i Wallace niezależnie od siebie przedstawili teorię ewolucji opartej na doborze naturalnym, skrajnie odmienną od teorii Lamarcka. Darwin zauważył, że środowisko jest niezwykle skomplikowaną mieszaniną konkurujących ze sobą wpływów i zmian, przy czym nie istnieje żaden powód, by jego kaprysy miały się łączyć ze zmianami w żywych organizmach. Zachodzi coś znacznie prostszego. Otóż, kiedy w środowisku następują zmiany, niektóre organizmy po prostu potrafią poradzić sobie z nowym środowiskiem, a inne nie. Przeżywają te pierwsze, co zwiększa prawdopodo-

bieństwo, że właśnie one przekażą potomstwu cechy umożliwiające przetrwanie w danym środowisku. Tak więc, ostatecznie, cechy korzystne dla przeżycia w danym środowisku (i podlegające dziedziczeniu) są preferencyjnie przekazywane następnym pokoleniom. Proces ten nosi nazwę „doboru naturalnego”. Nie gwarantuje on jednak, że następne pokolenie będzie dobrze przystosowane. Jeśli środowisko zmienia się nagle, wtedy dawne dobre przystosowanie może okazać się utrudnieniem. Jeśli zaś zmiany są zbyt duże, wtedy organizm może nie przystosować wystarczająco szybko i ginie.

Środowisko stawia organizmom zadania, a jedynym dostępnym źródłem rozwiązań ma być zmienność występująca w rozmnażającej się populacji. Jeśli zmiana środowiska jest rozciągnięta w czasie, wtedy efektem

preferencyjnego przetrwania osobników najlepiej sobie radzących jest stopniowa przemiana gatunku. Udana adaptacja ma tendencję do utrwalenia się, lecz nie oznacza to, że jest najlepsza z możliwych. W praktyce proces ewolucyjnego przystosowania bywa bardzo skomplikowany, gdyż środowisko danego organizmu obejmuje też inne organizmy oraz samo również jest przez organizmy zmieniane. Tak więc lepiej mówić o koewolucji różnych organizmów oraz ich środowisk, niż o ewolucji pojedynczego organizmu czy gatunku.

Darwin, w odróżnieniu od Lamarcka uważał że rozmnażające się organizmy losowo produkują różnorodność cech, zanim którekolwiek z nich okażą się potrzebne. Nie istnieje niewidzialna ręka, generująca jedynie te zmiany, które będą potrzebne, by stawić czoła naglącym wymaganiom najbliższej przyszłości. Te użyteczne są wybierane dlatego, że w ostatecznym rozrachunku zwiększają płodność.

O procesie doboru naturalnego można powiedzieć znacznie więcej, lecz dla naszej opowieści wystarczy tylko to co najważniejsze. Dobór naturalny uśmiercił ideę, że świat jest skończonym produktem otrzymanym celowo według jakiegoś planu. Cel jest zbyteczny. Ukończone dzieło jest niestabilne i wymaga ciągłego dopasowywania, by utrzymać stan doskonałego przystosowania w obliczu zmieniających się środowisk. Nadążanie za wszystkimi naturalnymi zmianami wymaga skomplikowanego procesu wzajemnych oddziaływań - tym procesem ma być właśnie dobór naturalny.

Natura nie przypomina mechanizmu zegara. Niedokończony zegarek nie będzie działać. Świat ma przyszłość, która różni się od teraźniejszości. Tę różnicę między przyszłością a teraźniejszością możemy nazywać „postępem”, jeśli przyznamy, że choć pod pewnymi względami jest dodatni pod innymi może być ujemny.

Po Darwinie mieliśmy wiele prób rozszerzenia pojęcia ewolucji na sferę społeczną i wyjaśniania wszystkiego według tej samej zasady „przeżycia naj-
le-

piej przystosowanego”. Tylko nieliczne z tych spekulacji miały solidne podstawy, lecz dały początek szczególnej koncepcji postępu i kierunku zmiany. Więcej powiemy o tym w Rozdziale 5., w którym przyjrzymy się postępowi w technice.

Ewolucja wyparła pogląd, iż świat żywy jest produktem ukończonym. A to otworzyło drzwi ideom postępu (i regresji) oraz spekulacjom, jaki będzie świat w przyszłości. Idee te najbardziej naturalnie przyjęły się wśród przyrodników. Fizycy, badający matematyczne prawa Natury, kładą większy nacisk na niezmienny charakter tych praw. Przed wiekiem dwudziestym ich najbardziej udanym zastosowaniem było opisanie orbit ruchów Księżyca i planet. Zmiany następujące w dziedzinie astronomii były wolniejsze, prostsze i bardziej przewidywalne niż te w świecie organizmów żywych. Dopiero w dwudziestym wieku astronomowie musieli pogodzić się z nowymi, radykalnymi teoriami na temat powstania oraz ewolucji gwiazd i galaktyk, a także z odkryciem, że wszechświat się rozszerza.

Odkrycia Newtona przez blisko dwieście lat wywierały tak wielki wpływ, że miały znamię ostatniego słowa. Nawet nie sugerowano ich udoskonalenia. Newtonowskie prawo grawitacji z powodzeniem tłumaczyło każdą obserwację astronomiczną (z wyjątkiem niewielkich anomalii orbity Merkurego). Już za życia Newtona sukces jego mechaniki zrodził nadzieję na uzyskanie z jej pomocą odpowiedzi na wszystkie pytania. Robiąca wrażenie zupełność newtonowskich *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687) oraz siła dedukcyjna jego matematyki spowodowały, że jak grzyby po deszczu wyrosli myśliciele wszelkiego autoramentu, małpujący metodę Newtona. Pojawiły się książki na temat newtonowskich modeli rządowej i społecznej etykiety oraz zasady Newtona dla dzieci i „pań”.²³ Nie umiano wyobrazić sobie niczego, co wykraczałoby poza zasięg podejścia newtonowskiego. Sam Newton także nie był całkiem wolny od tego entuzjazmu. Jego późniejsze prace na temat alchemii i krytyka biblijna ukazują głęboko zakorzenione przekonanie o własnej zdolności odsłonięcia wszelkich tajemnic rasy ludzkiej. Ujawniwszy prawdę o boskim celu świata fizycznego, wydaje się sądzić, że ma upoważnienie do spełnienia podobnej roli w dziedzinie duchowości i mistyki.²⁴ Newton, widziany przez pryzmat współczesnych postaw naukowych, jest postacią głęboko paradoksalną. Geniusz matematyczny, który posiadał najbardziej przenikliwą intuicję fizyczną ze wszystkich znanych uczonych, jedną nogą tkwił w średniowieczu, żywiąc magiczną wiarę w swoją zdolność do rozwiązania wszystkich problemów i przezwyciężenia wszystkich barier. Jego osiągnięcia musiały wpoić ludziom mu współczesnym przekonanie, że z końcem siedemnastego wieku wyjaśniono w nauce już wszystko.

Wielka idea nieograniczonej wiedzy

Definicja: Nauka jest to usystematyzowana pozytywna wiedza lub wiedza za taką w różnych wiekach i różnych miejscach przyjęta. Twierdzenie: Nabywanie i systematyzowanie pozytywnej wiedzy jest to jedyne działanie ludzkie, będące prawdziwie kumulacyjne i

postępowe. Wniosek: Historia nauki jest jedyną historią, która potrafi zilustrować postęp ludzkości. W rzeczywistości postęp nie ma sprecyzowanego i niekwestionowanego znaczenia w innych dziedzinach, jak tylko w dziedzinie nauki.

GEORGE SARTON

Dziewiętnastowieczni komentatorzy wykazywali niemal wszelkie możliwe podejścia do przyszłości i nauki. Byli tacy, którzy myśleli, że wyczerpanie zasobów wiedzy jest możliwe do pomyślenia, lecz niewykonalne w praktyce, inni zaś poszukiwali rozróżnienia między stopniem pewności różnych rodzajów wiedzy. W tym ostatnim aspekcie najbardziej znaczącym zwrotem było staranne rozróżnienie między światem takim, jaki jest naprawdę, a naszym postrzeganiem i rozumieniem go. To rozróżnienie, skrupulatnie przeprowadzone w dziewiętnastym wieku przez niemieckiego filozofa Immanuela Kanta, oznajmiało, że nasze zrozumienie świata zawsze podlega przetworzeniu poprzez mentalne koncepcje dostarczane przez mózg. W procesie tym coś zawsze umyka lub ulega zniekształceniu. Nie możemy mieć pełnego dostępu do surowej, nie okrojonej wiedzy. Zawsze musi istnieć luka między rzeczywistością a naszą wiedzą o niej. Tak więc Kant ukazuje, że istnieje fundamentalne ograniczenie naszej wiedzy - nieprzekraczalna przepaść między tym, co jest, a tym, co możemy o tym czymś wiedzieć. Wprawdzie przepaść ta niezaprzeczalnie istnieje, lecz można by dyskutować, jak jest wielka. Być może bardzo małe zniekształcenie wolno nam bezkarnie zignorować, bądź też nasze procesy psychiczne są specjalnie przystosowane do przyjmowania pewnego rodzaju informacji o świecie i w odniesieniu do tych wybranych aspektów zniekształcenie jest minimalne lub nawet zerowe. Na podstawie tego, czego dowiedzieliśmy się o doborze naturalnym, mamy pewne podstawy by wierzyć w ten ostatni pogląd, gdyż wiemy - czego Kant nie wiedział - że kategorie myślenia, jakie stosujemy, by nadać światu sens, są rezultatem procesu doboru naturalnego. Ich selekcja nastąpiła przypuszczalnie dlatego, że dają dokładną reprezentację tych partii rzeczywistości, które są ważne dla przetrwania organizmów. To wyjaśnia, dlaczego obraz i wrażenie świata są odbierane jednakowo przez wszystkich.²⁶ Lepiej jednak nie traktować tego jako niepodważalnej ochrony przed zniekształceniem rzeczywistości przez nasze kategorie rozumowania. Nie wszystkie one są bowiem bezpośrednią

konsekwencją ewolucji. Jeśli zaś stanowią produkt uboczny doboru naturalnego w zakresie innych zdolności i funkcji, wcale nie muszą być optymalne. Dopiero cały zestaw ludzkich zdolności determinuje przetrwanie.

Jest taki obszar ludzkiej dociekliwości, w którym od dawna już istniało ciche przeświadczenie o naszej zdolności do zgłębienia ostatecznej prawdy o Wszechświecie. A jeśli sukces ten był, jak wierzą, możliwy w jednej dziedzinie badań, to dlaczegoż by nie w innych? Źródło tego przeświadczenia leży w dawnych badaniach nad geometrią, którą Euklides i starożytni Grecy oparli na solidnych, logicznych podstawach.

Wielki sukces geometrii euklidesowej to coś znacznie więcej niż tylko pomoc dla architektów i kartografów. Teoria ta ustanowiła sposób rozumowania, w którym prawdę się dedukuje, stosując określone prawa, ze zbioru oczywistych aksjomatów. Ową „metodę aksjomatyczną” przejęły teologia i filozofia, także większość filozoficznych dyskusji powieliła ten ogólny wzorzec. W skrajnych przypadkach, jak na przykład w dziełach holenderskiego filozofa Spinozy, tezy filozoficzne są wręcz konstruowane jak definicje, aksjomaty, twierdzenia i dowody z prac Euklidesa.²⁷

Najważniejszą konsekwencją geometrii euklidesowej było przekonanie, że opisuje ona świat. Nie uważano jej ani za aproksymację, ani za ludzką konstrukcję. Stanowiła część absolutnej prawdy o świecie, a jej znajomość wielce dodawała odwagi. Była bowiem zabezpieczeniem naszego przeświadczenia o ludzkiej zdolności do zgłębienia absolutnej prawdy na temat świata. Jeśli krytykowano teologa za stawianie pytań o Boską Naturę, twierdząc, że prawdy absolutne leżą poza naszym zasięgiem, mógł on wskazać geometrię euklidesową jako dowód, że niektóre z tych prawd są nam dostępne - jeśli zaś niektóre, to dlaczegoż by nie inne?

To przekonanie zostało nagle zachwiane. Matematycy odkryli, że geometria euklidesowa na powierzchniach płaskich nie jest jedyną geometrią zgodną z logiką. Istnieją inne, nieeuklidesowe geometrie, opisujące powiązania między punktami i liniami na powierzchniach zakrzywionych (patrz rys. 2.1). Takie geometrie nie są wyłącznie problemem akademickim. W rzeczywistości jedna z nich opisuje geometrię na powierzchni Ziemi w odniesieniu do wielkich odległości. Geometria Euklidesowa na powierzchniach płaskich okazuje się doskonałym przybliżeniem lokalnym, gdyż Ziemia jest tak duża, że przy małych odległościach nie zauważa się jej krzywizny. Tak więc kamieniarz może stosować geometrię euklidesową, ale żeglarski na oceanie już nie.

Owo proste odkrycie matematyczne ukazało, że geometria euklidesowa to tylko jeden z wielu możliwych, spójnych logicznie systemów geometrycznych. Żaden jednak nie ma statusu prawdy absolutnej, gdyż powstały one w celu opisanie pomiarów na odmiennych rodzajach powierzchni, istniejących w rzeczywistości lub nie. To zachwiało

filozoficznym statusem geometrii euklidesowej. Już

nie można było stawiać jej za przykład naszego zrozumienia prawdy absolutnej. Na tym odkryciu wyrosły liczne odmiany relatywizmu dotyczące naszego rozumienia świata.²⁸ Zaczęto mówić o nieeuklidesowych modelach rządów, gospodarki i antropologii. Słowo „nieeuklidesowy” stało się synonimem wiedzy nieabsolutnej. Posłużyło także jako najjaskrawsza ilustracja przepaści pomiędzy matematyką a światem przyrody. Istniały wprawdzie systemy matematyczne opi-

sujące aspekty Natury, ale istniały i takie, które jej nie opisywały. Później matematycy wykorzystali odkrycia z dziedziny geometrii do wykazania, że istnieją także różne logiki. W rezultacie nawet pojęcie prawdy przestało być absolutne. To co jest fałszywe w jednym systemie logicznym, w innym może być prawdziwe. W płaskiej, euklidesowej geometrii linie równoległe nigdy się nie przecinają, a na powierzchniach zakrzywionych reguła ta przestaje obowiązywać. Odkrycia te ukazały różnicę między matematyką a naukami empirycznymi. Matematyka była czymś większym niż nauki empiryczne, czymś wymagającym jedynie logiczności, by mieć rację. Zawarły się w niej wszystkie możliwe wzorce logiki. Niektóre z nich znajdowały swoje odbicie w Naturze, inne zaś nie. Matematyka była więc nieograniczona, niekompletowalna, nieskończona; Wszechświat być może nie.

Negatywizm

„litanie” wyptywa o świecie. BOB DYLAN

Przejrzyjmy książki historyczne, a okaże się, że wśród wypowiadających się na temat prawdopodobnego postępu nauki istnieli zarówno optymiści, jak i pesy-

miści. W dziewiętnastym wieku grupa pesymistów przekształciła się w ruch filozoficzny, nazwany nieadekwatnie pozytywizmem.³¹ Bardziej właściwe będzie nazywanie go negatywizmem.

Pozytywizm został ogłoszony przez francuskiego filozofa Auguste'a Comte'a (1798-1857) i równocześnie podchwycony przez słynnego, wpływowego uczonego i filozofa nauki Ernsta Macha. Poglądy Macha na temat ruchu ciał wywarły głębokie wrażenie na Einsteinie i wpłynęły na rozważania, których kulminacją stały się szczególnie i ogólna teoria względności. Jednak Mach był filozofem niezwykle konserwatywnym. Podobnie jak Comte obstawał przy ograniczeniu pola wiarygodnej ludzkiej wiedzy do tych zjawisk, których dotyczy bezpośrednio postrzeganie zmysłowe. Miało to godne pożałowania następstwa. Filozofia ta zamiast po prostu zachęcić uczonych do bardziej intensywnego poszukiwania dowodów i wzbudzenia o wiele bardziej krytycznej postawy wobec własnych teorii, raczej odebrała im odwagę badania wielu obszarów, w których nowe odkrycia byłyby możliwe.

Comte podał liczne przykłady konkretnych problemów, niemożliwych, jak uważał, do rozwiązania.³² Ewolucję myślenia człowieka uważał za proces, który musi przejść trzy stadia. Pierwsze dwa - teologiczne i metafizyczne - były oznakami niedojrzałości i zaledwie zwiastunami trzeciego, najbardziej pożądanego stadium pozytywnego. W stadium „teologicznym” umysł ludzki wciąż tkwi w niezbędnym punkcie początkowym inteligentnego dociekania, lecz

kieruje swoje poszukiwania głównie ku wewnętrznej naturze rzeczy oraz ku pierwszym i ostatecznym przyczynom wszystkich obserwowanych zjawisk - słowem ku wiedzy absolutnej. Tak więc przedstawia te zjawiska tak, jakby powstały wskutek bezpośredniego i ciągłego działania mniej lub bardziej licznych nadnaturalnych czynników, których arbitralna interwencja objaśnia wszystkie widoczne anomalie wszechświata... [stadium teologiczne] osiąga najwyższą formę doskonałości, kiedy zróżnicowaną grę licznych niezależnych bogów wyobrażonych przez prymitywny umysł, zastępuje opatrnościowym działaniem pojedynczej istoty.³³

W drugim, czyli „metafizycznym” stadium widzi pewną poprawę, lecz niewielką, gdyż

W stadium metafizycznym, który w rzeczywistości jest tylko prostą ogólną modyfikacją stadium pierwszego, czynniki [nadnaturalne] zostają zastąpione przez siły abstrakcyjne, rzeczywiste istoty lub ucieleśnione abstrakcje,

tkwiące w różnych istnieniach w świecie. Istoty te postrzega się jako zdolne do wywoływania wszystkich obserwowanych zjawisk, a każde zjawisko zostaje objaśnione przez przypisanie go do odpowiedniej istoty [...]. Ostatnie stadium systemu metafizycznego polega na zastępowaniu różnych szczególnych istot przez ideę pojedynczej ogólnej istoty - natury - postrzeganej jako jedyne źródło wszystkich zjawisk.

Ostatecznie, w trzecim „pozytywnym” stadium, umysł odrzucił tęsknotę za wyjaśnieniem tego, co się wyjaśnić nie da, i daremną pogoń za odpowiedzią na ostateczne pytania. Teraz, kiedy dojrzał,

umysł ludzki, rozpoznając niemożliwość osiągnięcia prawdy absolutnej, porzuca poszukiwania początku i ukrytych przyczyn wszechświata oraz wiedzę o ostatecznych przyczynach zjawisk. Teraz usiłuje jedynie odkryć, przez połączone wykorzystanie rozumowania i obserwacji, aktualne prawa zjawisk - inaczej mówiąc ich niezmiennie związki następstw i podobieństwa. Objaśnienie faktów, realnie zredukowanych, odtąd polega tylko na związkach ustanowionych pomiędzy różnymi konkretnymi zjawiskami a pewnymi faktami ogólnymi, których liczbę postęp nauki coraz bardziej zmniejsza.

Przez analogię do ostatecznych rezultatów pierwszych dwóch stadiów rozumowania, owo trzecie stadium ma cel doskonały,

do którego stale dąży, choć według wszelkiego prawdopodobieństwa nigdy nie osiągnie takiego stanu, [który] dałoby się osiągnąć, gdybyśmy mogli spojrzeć na wszelkie, rozmaite zjawiska, obserwowalne jako liczne szczególne przypadki ogólnego faktu, na przykład grawitacji [...] fundamentalną cechą filozofii pozytywnej jest uznanie wszystkich zjawisk za przedmiot działania niezmiennych praw przyrody. Dokładne odkrycie tych praw i ich redukcja do możliwie najmniejszej liczby stanowi cel wszystkich naszych wysiłków; ponieważ poszukiwanie tego, co nazywamy przyczynami, czy to pierwszymi, czy ostatecznymi, traktujemy jako absolutnie nieosiągalne i nie mające sensu.

Comte przekonywał uczonych, by zadowalali się działającymi modelami Natury, w rodzaju newtonowskiego prawa grawitacji, i nie szukali przyczyny grawitacji lub powodów istnienia ciepła, gdyż uznawał te głębsze przyczyny za niepoznawalne. Widać już, jak niezadowolającą filozofię nauki można w ten sposób otrzymać. Choć to może i prawda, że nie jesteśmy zdolni do osiągnięcia zupełnej czyli ostatecznej wiedzy na temat natury na przykład takiej siły jak grawitacja, nie wiadomo jednak nic o tym, jak daleko nam do owej nirwany. Dalsze badania mogą pogłębić naszą wiedzę, wiążąc grawitację z innymi siłami lub z innymi aspektami budowy Wszechświata. Choć Comte uznawał, że zjednoczenie praw nauko-

wych w pojedyncze prawo Natury stanowi ostateczny cel ludzkich dociekań, nie wierzył, że ta ostateczna wiedza jest dla człowieka osiągalna, gdyż żywił

głębokie osobiste przekonanie, że owe usiłowania uniwersalnego wyjaśnienia wszystkich zjawisk przez pojedyncze prawo jest wysoce chimeryczne, nawet jeśli podejmują się tego najbardziej kompetentne umysły. Moim zdaniem źródła ludzkiego umysłu są zbyt kiepskie, a wszechświat zbyt skomplikowany, by kiedykolwiek umożliwić nam osiągnięcie takiej naukowej perfekcji; [...]. Wydaje mi się, że możemy mieć nadzieję na osiągnięcie jej tylko przez powiązanie wszystkich zjawisk przyrody z najbardziej ogólnym pozytywnym prawem jakie znamy - z prawem grawitacji - które już wiąże wszystkie zjawiska astronomiczne z niektórymi zjawiskami fizyki nieba [...]. Starając się, na ile to możliwe, zmniejszać liczbę praw ogólnych, niezbędnych do pozytywnego wyjaśniania ogólnego zjawiska [...] powinniśmy uznać za nieroztropną nawet nadzieję na zredukowanie tych praw, nawet w najdalszej przyszłości, do pojedynczego prawa.³⁷

Comte wyszczególnił cztery szczególne obszary, w których, jak uważał, naukowa docieklivość jest ograniczona przez niemożność uzyskania „pozytywnej” wiedzy - czyli bezpośrednich danych zmysłowych. W dziedzinie astronomii zaprzeczył możliwości uzyskania pozytywnej wiedzy o gwiazdach. Uważał (błędnie), że nie ma sposobu ustalenia ich składu chemicznego i (jak dotąd prawidłowo) że istnieje wiele niewidocznych gwiazd, których obserwacje optyczne nie wykrywają (to, co astronomowie nazywają teraz „ciemną materią”). Choć uważał astronomię za zwieńczenie pozytywnej nauki, gdyż jest wolna od bezpośrednich skażeń teologicznych i metafizycznych, jego poglądy były skrajnie geocen-tryczne. Wyśmiewał odkrycie Neptuna, nazywając je odkryciem, które, nawet dopuszczając jego

prawdziwość, ma jakiegokolwiek znaczenie jedynie dla mieszkańców Urana, i uważał astronomię za wartościową tylko w zakresie badania wpływów działających na Ziemię, twierdząc że

Kiedy przypuszczano, iż wszystkie ciała niebieskie mają związek z Ziemią lub raczej są jej podporządkowane, uzasadnione było nie pomijanie żadnego z nich. Lecz teraz znamy ruch Ziemi, więc nie ma potrzeby badania nieruchomych gwiazd, z wyjątkiem sytuacji, kiedy jest to wymagane podczas obserwacji nieba [...]. Nawet przypuszczając, że możliwe jest rozciągnięcie naszych badań na inne układy [słoneczne], czynienie tego jest niepożądane. Wiemy teraz, że takie badania nie prowadzą do użytecznych rezultatów: nie mogą wpływać na nasze poglądy na zjawiska niebieskie, a tylko one są warte ludzkiej uwagi.

Umnieszał także rolę biologii i chemii jako dziedzin, w których w sposób użyteczny daje się wykorzystywać matematykę, odrzucając usiłowania głębszego zrozumienia ciepła, światła i magnetyzmu oraz nie przyjmując rozumowania statystycznego, uważając je za irracjonalne. Przeciwstawiał się stosowaniu pojęcia „atomów” jako cegiełek materii, uważając, że „ostateczna budowa ciał musi zawsze przekraczać naszą wiedzę”. Historycy wciąż rozważają sugestię, że poglądy Comte'a są częściowo odpowiedzialne za przypadający na jego czasy upadek francuskiej nauki. Jedną z osobliwości wywodów Comte'a na temat ewolucji ludzkiej dociekliwości przez trzy stadia wiedzy: teologiczne, metafizyczne i pozytywne jest to, że wyglądają one jak odwrócenie trendu przepowiadanego przez Horgana. Kiedy doświadczalna zawartość kierunku badania jest wyczerpana, wchodzi ono w stadium analizy metafizycznej - „Co ta wiedza oznacza?”, „Czy świat może być inny?”, „Dlaczego to jest właśnie tak?” - po czym następuje jedna z analiz teologicznych - „Dlaczego istnieje coś, a nie nic?”, „Czy to co wiemy, jest zgodne, czy nie z istnieniem Boga?”, „Co nasza wiedza mówi nam o powstaniu, celu i ostatecznym końcu Wszechświata?” itd.

W obu analizach dochodzi do wielkiego uproszczenia. Nie tylko wszyscy naukowcy są traktowani jakby byli pojedynczą jednostką („nauką”), lecz także pojedynczych naukowców traktuje się jakby uprawiali jedną i tylko jedną działalność. W rzeczywistości współcześni uczeni, interesujący się na przykład ostatecznymi pytaniami kosmologicznymi, zwykle mają oprócz tego wiele innych zainteresowań badawczych, powiązanych bezpośrednio z astronomią obserwacyjną lub z badaniami struktur matematycznych.

Kilka dziewiętnastowiecznych koncepcji niemożliwego

Obdarzony na chwilę umysem, który potrafiłby pojąć wszystkie siły, którymi ożywiona jest natura, i odpowiadających im sytuacji istot które ją tworzą - umysem wystarczająco wielkim, by poddać te dane analizie - ująłby w jeden wzór wszystkie ruchy największych ciał wszechświata i najlżejszych atomów; dla niego nic w przyszłości nie byłoby niepewne, ponieważ przeszłość byłaby dla niego teraźniejszością.

LAPLACE⁴⁰

Kiedy do opisywania wzorców Przyrody wplecionych w przestrzeń i czas stosowano matematykę, efekty były często spektakularnie udane: najlepszym przykładem jest opisanie ruchów ciał niebieskich. Prawa Newtona stawiano za wzór naukowego determinizmu. Znając teraźniejszość, można zrekonstruować przeszłość i przewidzieć przyszłość. Sukces ten doprowadził dwóch wielkich uczo-

nych do spekulacji, czego moglibyśmy się dowiedzieć, gdybyśmy mieli nadnaturalne zdolności. Spekulacje te są interesujące, gdyż tworzą obraz, co by było, gdyby mieć nieograniczoną wiedzę. Biorą przy tym pod uwagę ograniczający proces, który zaczyna się od nas i tworzy wszechwiedzącą istotę przez proste powiększenie naszych własnych zdolności. Prowadzi to do koncepcji wszechwiedzącej istoty, która ma się różnić od nas tylko ilościowo (a nie jakościowo). Zobaczmy, co mieli na myśli.

Obaj nasi uczeni, Łapiące i Leibniz, uważali, że prawa Natury odkryte przez Newtona stworzyły sytuację, w której przyszłość może być całkowicie poznana przez umysł wystarczająco duży, by znać kompletny stan teraźniejszy Wszechświata i móc przeprowadzić obliczenia potrzebne do wyznaczenia stanu przyszłego. Choć wiadomo było, że daleko nam do osiągnięcia takiego poziomu wiedzy i mocy obliczeniowych, determiniści ci postrzegali różnicę między nami a takim superumysem raczej w kategoriach stopnia niż rodzaju poznania. W ich spekulacyjnych koncepcjach interesujący jest fakt, że otworzyli oni drzwi dla pojęcia wiedzy zupełnej - optymizm wynikający nie z nadziei na przyszły postęp, lecz po prostu z pełniejszego zastosowania wiedzy, którą już mieli. Leibniz rozciągnął ten optymizm na jeszcze szerszy obszar. Ułożył symboliczną procedurę manipulacyjną, programowaną zgodnie z prawami logiki. Z jej pomocą można było określić, czy jakieś zdanie jest prawdziwą czy fałszywą konsekwencją aksjomatów logicznych. Nieco zbyt optymistycznie wyobraził sobie, że ta formalna procedura pozwoli na logiczne rozstrzygnięcie wszelkich dyskusji. Na przykład prawdy religijne

mogłyby być dedukowane ściśle według wzorca dowodu matematycznego, co położyłoby kres nieskończonym dysputom teologicznym. Znow widać tu koncepcję nieograniczonej (choć niepełnej) wiedzy. Wymaga się tylko rozszerzenia zwykłych umiejętności, które już mamy, a nie jakiegoś wielkiego jakościowego rozszerzenia ludzkich zdolności. Wynika z tego, że na wszystkie pytania da się odpowiedzieć podchodząc do nich systematycznie. Z pewnością nie było mowy o istnieniu granic inicjatywy naukowej, których nie dałoby się przezwyciężyć poprzez stopniowe rozszerzanie naszych zdolności. Dzisiaj reakcja na wymyśloną przez Laplace'a koncepcję nadistoty jest zupełnie inna. Wiemy, że dokładne zlokalizowanie każdej cząsteczki we Wszechświecie wraz z określeniem jej stanu ruchu to nie tylko zwykła trudność - to jest niemożliwe z zasady. Ilościowy obraz materii uczy, że istnieje fundamentalne ograniczenie naszej zdolności jednoczesnego określenia położenia i ruchu cząsteczek materii. Nie byłoby to nic złego w sytuacji, gdyby mały błąd nie miał wielkiego znaczenia. Lecz niestety, stopniowo coraz bardziej uświadamiamy sobie fakt, że typową cechą układów naturalnych jest ich niezwykła wrażliwość na dokładne położenie i ruch. Tak więc jeśli odrobinę zmienimy parametry ruchu cząsteczki powietrza, bardzo gwałtownie zostanie ona wytrącona z położenia, jakie zaj-

mowała, gdy nie była niepokojona. Wrażliwość ta stała się znana jako „chaos”. Oznacza to, że nadistota Laplace'a nie może znać położenia i parametrów ruchu wszystkich składników Wszechświata z dokładnością wystarczającą nawet na to, by ze 100 procentową pewnością przewidzieć pogodę, przestrzegając praw fizyki. To zastrzeżenie jest ważne, gdyż Łapiące nie mówił o naszej zdolności do przewidywania przyszłości ciał niebieskich. Chodziło mu o „umysł ... [co do którego] ludzki intelekt daje [jedyń] poprzez doskonałość z jaką zrodził astronomię, nikłe pojęcie, jaki byłby ten umysł”.

Podczas gdy Comte wykazuje generalny sceptycyzm co do możliwości powiększania ludzkiej wiedzy, a Łapiące uosabia jakby nadpewność w determinizmie, istniał jeszcze trzeci nurt dziewiętnastowiecznych dyskusji o ograniczeniach nauki, pod pewnymi względami bardziej interesujący, gdyż dostarczał listy problemów nierozwiązywalnych.

Zgodnie z oczekiwaniem pod koniec dziewiętnastego stulecia coraz częściej dyskutowano o ograniczeniach nauki. Największy wpływ wywarła sprzeczka dwóch niemieckich uczonych, mających spore możliwości podawania wyników naukowych do szerszej wiadomości. Emil du Bois-Reymond był psychologiem, filozofem i historykiem nauki; jego oponent, Ernst Haeckel był zoologiem skłaniającym się silnie ku humanizmowi i monizmowi.

W 1880 roku du Bois-Reymond opublikował tekst dwóch znaczących wykładów publicznych o ograniczeniach nauki,⁴¹ jakie wygłosił w latach 1872 i 1880 -ten ostatni z okazji uroczystości ku czci Leibniza, celebrowanej latem tego roku w Pruskiej Akademii Nauk w Berlinie. W wykładach tych głosił, że istnieją wyraźne granice nauki, gdyż istnieją granice stosowania mechanistycznych objaśnień i metod eksperymentalnych. Dla du Bois-Reymonda nauki przyrodnicze obracały się wokół ruchów atomów - były tylko „analizą naturalnych procesów w kategoriach mechaniki atomów”. Jego konkluzje budziły większe kontrowersje, gdyż usiłował wyszczególnić procesy nierozwiązywalne: „Siedem zagadek Wszechświata”, jak je nazywał. Podnosząc koncepcję nadistoty Laplace'a, rozważał obraz wielkiej matematycznej teorii wszystkiego, którą dało by się oczywiście zastosować do przewidywania przyszłości Wszechświata na podstawie teraźniejszości;

możemy sobie wyobrazić sobie taki poziom nauk przyrodniczych, na którym cały proces we wszechświecie będzie można przedstawić w postaci jednej formuły matematycznej, przez jeden nieskończony układ równań różniczkowych, które dawałyby położenia, kierunki i prędkość ruchu każdego atomu we wszechświecie w każdym momencie.

Stosując je wstecz dowiemy się jaki był początek świata, gdyż

gdyby w swoim uniwersalnym wzorze podstawiał on $t = -\infty$, mógłby odkryć tajemnicze pierwotne warunki wszystkich rzeczy.

I w drugą stronę, gdybyśmy prowadzili swoje przewidywania dalej, w odległą przyszłość, moglibyśmy odkryć, że Wszechświat coraz bardziej się uspokaja, jak silnik ciepły Carnota⁴², zmierzając do stanu całkowitej równowagi i „śmierci cieplnej”, gdyż

Przypuśćmy, że pozwala on t [czasowi] rosnąć do nieskończoności w sensie dodatnim, wtedy mógłby określić czy twierdzenie Carnota nadaje wszechświatowi mroźną nieruchomość w czasie skończonym, czy tylko w nieskończonym.

Wprowadziwszy pojęcie nieograniczonej wiedzy, du Bois-Reymond przechodzi do rozważania jej granic w zetknięciu z

ograniczeniami ludzkich zmysłów. Uważa on, że różnice między wszechwiedzącą istotą Laplace'a a umysłem człowieka, choć wielkie, są sprawą stopnia; faktycznie:

Uosabiamy ów umysł [w stopniu] w jakim go pojmujemy. Możemy nawet spytać czy na przykład umysł Newtona nie różnił się mniej od umysłu wyobrażonego przez Laplace'a niż umysł dzikusa z Australii czy z Ziemi Ognistej różni się od umysłu Newtona.

Nasze ograniczenia są jasne - nigdy nie będziemy zdolni do zebrania wszystkich faktów niezbędnych do sporządzenia uniwersalnej formuły. Choć w zasadzie moglibyśmy wykorzystać uniwersalną formułę do zrekonstruowania przeszłości i przewidywania przyszłości, w praktyce nie możemy tego uczynić, gdyż

niemożliwość ułożenia i połączenia ze sobą równań różniczkowych uniwersalnej formuły, oraz dyskusja rozwiązań nie jest fundamentalna, lecz opiera się na niemożliwości otrzymania potrzebnych faktów, a nawet tam, gdzie to jest możliwe, na niemożliwości ogarnięcia ich bezgranicznej rozciągłości, wielości i złożoności.

Po tych ogólnych wnioskach du Bois-Reymond przechodzi do siedmiu nierozwiązywalnych problemów. Mieszczą się one w dwóch kategoriach. Pierwsza czwórka zawiera kilka problemów trudnych, lecz potencjalnie rozwiązywalnych - powstanie życia, powstanie języków i ludzkiego rozumu, oraz ewolucyjna adaptacyjność organizmów; drugi z nich zawiera w sobie dwa problemy, które du Bois-Reymond uważa za nierozwiązywalne z zasady oraz trzeci, którego natura może się okazać podobna. Pierwsza grupa problemów została dobrze dobrana. Ich ważność zachowała się do dzisiaj. Są to zagadnienia o których wiele wiemy, lecz o żadnym z nich nie można powiedzieć, że zostało „rozwiązane”. Znamy większość tworzących je fragmentów układanki, z których w każdym z przypadków wyłoni się rozwiązanie, lecz nie wszystkie te fragmenty są już na swoich miejscach. Nie ma jednak powodu, by uważać, że problemy te są w jakimś szczególnym stopniu bardziej nierozwiązywalne niż jakikolwiek inny skomplikowany problem naukowy. Problemy z drugiej grupy są zupełnie inne i intrygujące będzie zająć się nimi nieco dłużej, by porównać sposób myślenia du Bois-Reymonda z naszym własnym, a także z poglądami jemu współczesnych, reprezentujących bardziej optymistyczne nastawienie. Wybrane przez niego zagadnienia są prowokacyjnie zbliżone do większości tematów powszechnie rozważanych przez dzisiejszych autorów popularnonaukowych. Oto one:

Nierozwiązywalny problem numer 1: powstanie sił natury i natura materii

Du Bois-Reymond zastanawia się, czy kiedykolwiek możemy osiągnąć coś więcej niż tylko przedstawienie materii w postaci jakiegoś modelu pojęciowego - w tym przypadku „atomy” nie są to atomy we współczesnym sensie fizycznym i chemicznym; są po prostu najmniejszymi elementami materii. Gdy wyobrazimy sobie te cegiełki jako nieskończenie małe, może to być nic więcej niż „użyteczna fikcja matematyczna” lub „atom filozoficzny”. Rozważa też stary problem, w jaki sposób taka siła jak grawitacja może przemierzać pustą przestrzeń, oraz twierdzi, że rozwinęliśmy pojęcia siły i materii, ekstrapolując nasze ograniczone doświadczenia zmysłowe. Dokonując ekstrapolacji tak daleko poza obszar danych zmysłowych, otrzymujemy wiedzę mało wiarygodną i oszukujemy się, jeśli uważamy te ekstrapolacje za trwałe poszerzenie wiedzy. W rzeczywistości są to zaledwie spekulacje. Du Bois-Reymond uważa, że problemy te są niemożliwe do pokonania, nawet przez superumysł Laplace'a:

Nikt [...] nie może nie uznać transcendentalnej natury przeszkód, jakie tu napotykamy. Jakkolwiek staramy się je obejść, zawsze natrafiamy na nie w tej czy innej formie. Z którejkolwiek strony do nich podchodzimy lub pod jakąkolwiek przykrywką, zawsze okazują się niepokonane [...]. Nawet gdy umysł wyobrażony przez Laplace'a, tak wyniesiony, jakby był znacznie wyżej od nas, w tej materii nie miałby lepszych widoków, niż nasz własny, a tym samym sposób rozpaczliwie rozpoznajemy tu jedno z ograniczeń naszej wiedzy.

Du Bois-Reymond głosi więc, że nigdy nie poznamy cząstek elementarnych i sił Natury. Jego argumenty są natury pragmatycznej. Uważa, że aby odpowiednio sprawy te wyjaśnić, musimy znać wszystkie fakty dotyczące ich natury. Fakty te są ostatecznie przed nami ukryte, gdyż wymagają od nas umiejętności ekstrapo-

lowania do rozmiarów nieskończenie małych i znajomości wszystkich sił, jakie tam działają. Tego zaś nie umiemy.

Nierozwiązywalny problem numer 2: powstanie i natura świadomości oraz postrzegania zmysłowego

Drugi z nierozwiązywalnych problemów Du Bois-Reymonda dotyczy świadomości. Widzi on tutaj dwojakie ograniczenie. Pierwsze to problem objaśnienia co to jest świadomość; drugi pojawia się dlatego, że jej istnienie prowadzi do załamania się przewidywalności demona Laplace'a. W ewolucji na Ziemi świadomość jest

czymś nowym i niezwykłym; czymś niepojmowalnym, podobnie, jak w przypadku istoty materii i siły. Nić inteligencji, która rozciąga się wstecz w ujemnie nieskończony czas, zostaje przzerwana, a nasza nauka przyrodnicza dociera do otchłani bez mostu, przez którą nie przeniesie nas żadne przekonanie: znajdujemy się tutaj na innej granicy pojmowania.

Du Bois-Reymond próbuje wyobrazić sobie podchodzenie do problemów postrzegania zmysłowego i aktywności psychicznej z wykorzystaniem takich samych metod, jakie stosujemy do problemów mechaniki nieba - rejestrowanie położenia i prędkość wszystkich obiektów, a następnie na podstawie praw Newtona przewidywanie ich przyszłych torów. Stosując taką metodę do opisu mózgu, możemy łączyć występowanie pewnego zjawiska psychicznego ze specyficzną reakcją mięśni. Byłby to z pewnością

wielki tryumf ludzkiej wiedzy, gdybyśmy potrafili powiedzieć, w odniesieniu do danego zjawiska psychicznego, że pewien określony ruch określonego atomu wystąpi w pewnych określonych gruczołach i nerwach. Byłoby to niezwykle interesujące, gdybyśmy potrafili w ten sposób, okiem umysłu, dostrzec grę mózgowego mechanizmu podczas rozwiązywania problemu arytmetycznego, na wzór maszyny liczącej; lub gdybyśmy potrafili powiedzieć, w jaki sposób „gra” węgla, wodoru, azotu, tlenu, fosforu i innych atomów koresponduje z przyjemnością odczuwaną podczas słuchania muzyki; jak wirowanie tych atomów odpowiada klimaksowi radości zmysłowej; i jak wygląda burza molekularna, odczuwana przez nas jako wściekły ból, kiedy wadliwie funkcjonuje nerw trójdzielny [i boli nas głowa].

Lecz Du Bois-Reymond twierdzi, że nawet gdybyśmy posiadli taką znajomość przyczyny i skutku w ludzkim umyśle, i tak nie pomogłoby nam to w zrozumieniu jakości doświadczenia zmysłowego.

Niezależnie od tego, jakie możliwe do pojęcia połączenie istnieje między określonymi ruchami określonych atomów w moim mózgu z jednej strony, a tak niepodważalnymi faktami, jak: „czuję ból lub przyjemność; doświadczam słodkiego smaku, czuję zapach róży, słyszę organy, czy widzę coś czerwonego” oraz natychmiastową pewnością: „A więc istnieję?”, to absolutnie i na zawsze nieprzekonujące [pozostanie stwierdzenie], że niezliczone atomy węgla, wodoru, azotu, tlenu itp. nie będą im obojętne.

Nierozwiązywalny problem numer 3: Problem wolnej woli

Du Bois-Reymond uważa istnienie naszej wolnej woli za niezwykle kłopotliwe. Wydaje się ona nie do pogodzenia z mechanistycznym spojrzeniem na wszechświat. Jest jednak mniej pewny, jeśli chodzi o scharakteryzowanie owego problemu. Uważa, że stopień, do jakiego meritum wolnej woli jest niezgłębialne, zostanie ostatecznie zdeterminowany przez stopień, w jakim *zahacza* on o granice problemu świadomości.

Argumenty du Bois-Reymonda wywołały znaczącą dyskusję i to bynajmniej nie z powodu jego silnej pozycji wśród śmietanki naukowej. Najostrzejsza riposta wyszła spod pióra zoologa Ernsta Haeckela, w postaci szeroko czytanej książki *Riddle of the Universe*.⁴³ Oczywiście było, że Haeckel nie lubił du Bois-Reymonda niemal tak samo, jak jego poglądów co do ograniczeń nauki - nazywał siebie jednym z „nielicznych, którzy mają wystarczająco dużo wiedzy naukowej i odwagi moralnej, by sprzeciwić się dogmatowi wszechmocnego sekretarza i dyktatora Berlińskiej Akademii Nauk”. Haeckel uważał zagadki biologiczne - powstanie życia i języka oraz adaptacyjność organizmów - za problemy rozwiązywalne, które zostaną rozwiązane w oparciu o teorię doboru naturalnego. Problem wolnej woli uznał za pseudoproblem, gdyż nie ma dowodu, że jest ona czymś więcej niż tylko czystą iluzją. Dowodził przy tym, iż „jest [ona] czystym dogmatem, wynikającym ze zwykłej iluzji, i w rzeczywistości wcale nie istnieje”. Problemy zaś substancji, ruchu i siły widział jako pomieszczenie dwóch problemów. Pierwszy to problem filozoficzny a nie naukowy; drugi, naukowy, jest rozwiązany w oparciu o prawa zachowania masy i energii. Jego wniosek jest taki:

Liczba zagadek świata ulegała w dziewiętnastym wieku ciąglemu zmniejszaniu [...]. Jedyną godną uwagi zagadką wszechświata jaka pozostała, jest problem substancji [...lecz dzisiaj] mamy wielkie ogólne „prawo substancji”, podstawowe prawo stałości materii i siły. Fakt, że substancja jest wszędzie przedmiotem wiecznego ruchu i transformacji nadaje jej cechy także uniwersalnego prawa ewolucji. To najwyższe prawo jest trwałe, a wszystkie inne prawa jemu podporządkowane, doszliśmy więc do przekonania o uniwer-

salnej jedności natury i wiecznej wartości tych praw. Od ponurego problemu substancji doszliśmy do jasnego prawa substancji.⁴⁴

Haeckel błędził w swoim rozumowaniu tak samo jak du Bois-Reymond. Sądził, że nauka szybko zbliża się do stanu, w którym wszystkie główne problemy uzyskają rozwiązanie. Zostaną tylko lingwistyczne i filozoficzne pytania na temat znaczenia tych rozwiązań. Dla kontrastu du Bois-Reymond uważał natomiast, że nauka zmierza do kresu innego rodzaju - że wkrótce natknie się na fundamentalne granice. Pod pewnymi względami ich poglądy były bardzo zbliżone. Obaj uważali, że nauka dociera do kresu drogi. Du Bois-Reymond sądził, iż przyczyną tego są podstawowe ograniczenia człowieka; Haeckel uważał, że koniec jest bliski, gdyż wkrótce poznamy wszystko, co składa się na wiedzę naukową.

W okresie od 1870 do 1905 roku szeroko podzielano optymistyczny pogląd Haeckela. Amerykański filozof nauki Charles Sanders Peirce⁴⁵ głosił teorię prawdy, w której definiował „prawdę” jako kulminację odkryć naukowych;⁴⁶ a wielkie cele badań naukowych uważał za prawie osiągnięte - wielu fizyków uważało, że ich dziedzina jest niemal kompletna. Młody Max Planck wspomina, jak w 1875 roku, kiedy był początkującym studentem, jego mentorzy doradzali mu by zajął się naukami biologicznymi, argumentując, że wszystkie ważne problemy fizyki są już rozstrzygnięte:

Kiedy zaczynałem studia na wydziale fizyki i u swojego znakomitego nauczyciela Philipa von Jolly szukałem rady jak nimi pokierować, ten przedstawił mi fizykę jako wysoko rozwiniętą i w pełni dojrzałą naukę, która - od czasu gdy obrazu dopełniło odkrycie zasady zachowania energii - wkrótce osiągnie stabilną postać. Zapewne tu i ówdzie pozostaną jeszcze jakieś szczegóły do rozpracowania i skoordynowania, lecz system jako całość pozostanie stosunkowo bezpieczny i fizyka teoretyczna szybko dobiega takiego stopnia zupełności, jaki geometria osiągała przez setki lat.⁴⁷

Po drugiej stronie Atlantyku rozlegały się takie same głosy. Wybitny amerykański fizyk i przyszły laureat nagrody Nobla, Albert Michelson, ogłosił w 1894 roku na publicznym wykładzie na Uniwersytecie Chicagowskim, że

Najważniejsze fundamentalne prawa oraz fakty nauk fizycznych zostały [już] odkryte i obecnie są na tyle ustalone, że możliwość ich wyrugowania w wyniku nowych odkryć jest niezwykle odległa, niemniej jednak ustalono, iż istnieją wyraźne wyjątki od większości tych praw, co jest szczególnie widoczne kiedy obserwacje przeprowadza się na granicy [...] naszych przyszłych

odkryć należy szukać na szóstym miejscu po przecinku. Stąd wynika, że każde narzędzie, które poprawia dokładność pomiarów jest możliwym czynnikiem przyszłego odkrycia.

Ostatnie ćwierćwiecze dziewiętnastego stulecia był to czas, kiedy fizycy lubili gratulować sobie dawniejszych sukcesów. Ich prace były bardzo zaawansowane; wydawało się, że odkryto wszystkie wielkie zasady. Wyglądało na to, że zachowanie energii, prawa ruchu, grawitacja, termodynamika oraz elektryczność i magnetyzm poradzą sobie ze wszystkim, z czym przyjdzie im się zmierzyć. Sceptycyzm filozofów w głównej mierze kierował się ku niezbyt rozwiniętym naukom o człowieku lub ku takim zagadnieniom, jak podstawy przyrody (na przykład powstanie materii), które w sposób uzasadniony daje się przesunąć do obszaru problemów nie mających odpowiedzi, opatrując pomocniczo etykietką „problemów filozoficznych”.

Spoglądając wstecz, widzimy, że okres ten rzeczywiście zamknął pewien rozdział rozwoju fizyki. To, co często zwie się fizyką „klasyczną”, faktycznie zbliżało się ku końcowi. Lecz daleko było do końca całej fizyki, nie był to nawet początek końca. Rewolucja zaczęła się w 1905 roku. Wkrótce miał nastąpić rozwój, dzięki któremu na scenie znalazły się takie nowe teorie, jak mechanika kwantowa, teoria względności, budowa atomu i grawitacja. Co ciekawe, żadna z nich nie zawdzięcza swojego powstania niespotykanej dokładności nowych pomiarów zjawisk przyrody ani znalezieniu nowej i nieoczekiwanej warstwy nieoczekiwanych szczegółów. Cała rewolucja zaczęła się w samym sercu tego, co już wiedziano.

Streszczenie

Rozsądny człowiek dostosowuje się do świata, a człowiek nierozsądny uparcie stara się przystosować świat do siebie. Zatem cały postęp zależy od człowieka nierozsądnego.

GEORGE BERNARD SHAW⁴⁹

W tym rozdziale poszerzyliśmy zakres naszego myślenia o niemożliwym, przyjrawszy się jak niemożliwe określa nie tylko istnienie nauki, lecz także (do pewnego stopnia) jej granice, oraz rozmaite sposoby w jaki mogą się one pojawić. Wielkie przyspieszenie postępu naukowego oznacza, że jeśli istnieją granice, to właśnie do nich docieramy.

Zapoznaliśmy się z dwoma różnymi poglądami, że nauka szybko zbliża się do końca drogi (jeśli nie do końca drogi w ogóle). Jak na ironię obydwie wypływają z sukcesu nauki. Gunther Stent zwraca uwagę na utratę podstawowych

motywacji dla innowacji technicznych, wynikającą z rozrastania się czasu wolnego i braku wyzwań - tendencji w coraz większym stopniu widocznej w życiu obywateli zachodnich demokracji. Dziennikarz John Horgan widzi inny kres nauki. Przez to, że środki testowania nowych idei pozostają coraz bardziej w tyle za naszą zdolnością mnożenia owych idei, nauka na swoich pograniczach coraz bardziej skupia się ideach spekulacyjnych, znacznie oddalonych od rzeczy, jakie kiedykolwiek obserwowaliśmy lub testowaliśmy. Tak więc nauka niesie ryzyko utknięcia w grzęzawisku relatywizmu, gdzie nie ma nic poza przekonaniem. Są też i tacy, którzy przeciwnie, widzą naukę jako ewoluujące, postępowe przedsiębiorstwo. Przeanalizowaliśmy dziewiętnastowieczne tło tego poglądu, a także poglądu przeciwnego, że nauka napotkała problemy nierozwiązywalne - oba stały się niezwykle wyraźne w ostatnich latach dziewiętnastego wieku. Szczególnie interesujące są przewidywania pesymistyczne, które w owych czasach przyciągały tak wiele uwagi, ponieważ niektóre z nich są bardzo szczególne - identyfikują istotne problemy, które nie zostaną rozwiązane. Wśród nich znalazły się zagadnienia pochodzenia życia i materii, natury świadomości i wolnej woli, które i dzisiaj nie straciły na aktualności. A bardzo prawdopodobne, że także w przyszłości będą nam towarzyszyć.

Rozdział 3

Powrót do przyszłości

Nie można walczyć 2 przyszłością. Czas jest po naszej stronie.

WILLIAM EWERT GLADSTONE¹

Co rozumiemy przez „granice nauki”?

Niechęć do przyznania, że ludzkość może mieć jakichś rywali pod względem potęgi intelektu, występuje mocniej wśród intelektualistów niż wśród pozostałych ludzi - intelektualiści mają więcej do stracenia.

ALAN TURING

Prostota określenia „granice nauki” jest złudna. Znamy ograniczenia naukowców; jesteśmy obeznani z częściowymi teoriami na temat tego, jak wszystko działa; znamy też teorie, które są po prostu złe. A jednak to, co można by początkowo uznać za ograniczenie nauki, w rzeczywistości nim nie jest. Przypuszczalnie mimo wszystko wcale nie istnieją prawdziwe granice nauki.³ Przypuszczalnie wszystkie granice są iluzoryczne, czy to wzniesione przez nas wskutek braku informacji na temat istoty rzeczy, czy też wskutek wyboru uproszczonego (lub może zbyt skomplikowanego) modelu rzeczywistości? Jest to zagadnienie, które trzeba traktować poważnie. Wszystkie nasze usiłowania, by opisać funkcjonowanie Natury oraz przewidywać lub kontrolować przyszłe wydarzenia opierają się na naukowej metodzie, tworzącej „model” działania pewnego aspektu Natury. Im więcej dokonujemy obserwacji, tym pełniej i dokładniej możemy sprawdzić i poszerzyć tę reprezentację Natury. Nasze modele Natury niezmiennie jednak mają charakter matematyczny i nie jest to tak zawężone, jak w pierwszej chwili zabrzmiało. Choć ktoś z zewnątrz widzi matematykę jako zimny, analityczny sposób patrzenia na świat, jest to coś znacznie głębszego; coś blisko powiązanego z innymi ludzkimi obrazami świata. Matematyka to nazwa nadana zbiorowi wszystkich możliwych wzorów i wzajemnych relacji. Niektóre z nich zachodzą między kształtami inne są ciągami liczbowymi, a jeszcze inne, bardziej abstrakcyjnymi związkami między strukturami. Istota matematyki leży w relacjach między ilościami a jakościami. Tak

więc to związki między liczbami, a nie same liczby stanowią centrum zainteresowania współczesnych matematyków. Dlatego dziedzina ta obfituje w terminy takie jak „przekształcenia”, „symetrie”, „programy”, „operacje” i „ciągi”, opisujące wzajemne relacje.

Gdy tylko jakiś aspekt świata zostanie opisany modelem, czyli układem reguł matematycznych, stajemy w obliczu pewnych głębokich pytań.

- Czy luka między rzeczywistością a jej opisem matematycznym jest nie szkodliwa?
- Czy zastosowanie modelu matematycznego nakłada jakieś ograniczenia na to co możemy z tego modelu wydedukować?
- Jak można odróżnić granice narzucone przez wybór modelu od granic narzuconych przez jakiś wybór (lub brak wyboru) modelu, który pozwoli kodyfikować nasze obserwacje Natury?

Początkowo może nam się wydawać, że zastosowanie komputera do symulowania przebiegu jakiegoś skomplikowanego zjawiska nie oddaje rzeczywistości. A przecież zawsze jesteśmy ograniczeni przez ludzki umysł, który ma wiele cech skomplikowanego komputera. Wszelkie ograniczenia w zakresie systemów obliczeniowych mogą łatwo okazać się granicami możliwości ludzkiego myślenia. W ostatnich latach nastąpił gwałtowny wzrost zainteresowania problemami świadomości człowieka, ponieważ uczeni z różnych dziedzin usiłują ustalić, czym ona jest. Niektórzy z nich są pewni, że ludzki umysł różni się od komputera tylko mocą i zwartością, natomiast inni twierdzą, że różnica ta dotyczy jakości. Rzecznikiem tego ostatniego poglądu, najbardziej lubianym się wypowiadać, jest Roger Penrose.⁴ Głosi on, że kunszt matematycznej intuicji wymaga od umysłu umiejętności, jakich żaden algorytmiczny komputer nie potrafi naśladować.⁵

Zanim przyjrzymy się współczesnemu wizerunkowi nauki i jej możliwym granicom, warto byłoby uzyskać pewną perspektywę, powtórnie przejrzawszy niektóre przewidywania z przeszłości. Jakie było podejście do ludzkiego postępu w ostatnich kilku wiekach? Czy byliśmy oburzająco nadmiernie pewni ludzkich zdolności? Czy dawni myśliciele byli zbyt pesymistyczni w swoich oczekiwaniach, czy też po prostu na tyle pozbawieni odpowiedniej wyobraźni, że najwyraźniej nie mieli żadnej koncepcji, dokąd wszystko zmierza? Najznakomitsze stwierdzenia na ten temat zawsze pojawiały się po okresach wielkich sukcesów w którejs z dziedzin nauki.

Możliwe przyszłości

Za nieśmiertelnością tęsknią miliony, które nie wiedzą co zrobić ze sobą w deszczowe niedzielne popołudnie.

SUSAN ERTZ

Nie jesteśmy zbyt dobrzy w przepowiadaniu przyszłości. Bukmacherzy na to liczą. Astrologi to potwierdzają. Przypuśćmy, że obudzimy się jak Rip Van Winkle z opowiadania Washingtona Irvinga, nie w swoich czasach, na przykład w odległej o tysiące lub miliony lat przyszłości. Jaki będzie stan ludzkiej wiedzy? Jaki pułap osiągnie nauka? Czy będzie w jakimkolwiek sensie zupełna, a jeśli tak, to czy dlatego, że wszystkie

dostępne prawdy zostaną odkryte? Czy jakieś kierunki dociekań zostały zakończone? Czy na ich miejsce zawsze wylaniają się następne? Trzeba odwagi, żeby przepowiadać przyszłość. Spróbujemy zrobić coś łatwiejszego - nakreślimy niektóre możliwe drogi rozwoju ludzkiej wiedzy na temat Wszechświata. Lecz zanim przebadamy kilka wiarygodnych scenariuszy, należy powiedzieć kilka słów ostrzeżenia przed uproszczonymi wizjami postępu i naszkicować nowy obraz postępu naukowego.

Łatwo popaść w pułapkę myślenia, że postęp naukowy jest w całości kumulacyjny, że to nieubłagane gromadzenie faktów. Lecz w rzeczywistości wcale tak nie jest. Nauka czyni postępy nie tylko poprzez dokonywanie nowych odkryć. Czasem posuwa się naprzód, wykazując, że istniejące koncepcje są złe lub że dawne pomiary są w pewien sposób stroniczne. Ruch wypadkowy może odbywać się do przodu, jak przepływ wody w głównym nurcie rzeki, lecz liść na jej powierzchni może przy tym meandrować tam i z powrotem.

Przedstawiono wiele wyobrażeń postępu w nauce. Szczególnie interesujące są cztery i to bynajmniej nie tylko z uwagi na elokwencję ich orędowników. Pierwszym z nich jest wyobrażenie przypływu, przedstawione przez francuskiego fizyka Pierre'a Duhema:

Postęp naukowy często porównywano do spiętrzającego się przypływu; porównanie to zastosowane do ewolucji teorii fizycznych wydaje się bardzo odpowiednie i prześledźmy dalsze jego szczegóły.

Rzucając krótkie spojrzenie na fale uderzające o plażę nie widzi się szczytu przyływu; widać tylko, jak fala się pojawia się, przyływa, wygładza się i pokrywa wąski pas piasku, a po czym wycofuje się, pozostawiając suchy teren, który wydało się, że podbiła. Napływa nowa fala, czasem biegnie dalej niż poprzednia, lecz czasem nie sięga nawet muszli zmoczonej przez poprzednią falę. Lecz pod tym powierzchownym ruchem tam i z powrotem zachodzi inny, głębszy, wolniejszy ruch, niezauważalny dla przypadkowego obserwatora; jest to postępowy ruch zachodzący stale w tym samym kierunku, w wyniku czego morze stopniowo podnosi się. Przyływanie i odpływanie fal jest wiernym wizerunkiem tych teorii, które powstają tylko po to, by się rozpaść, które dążą do przodu tylko po to, by się cofnąć; wywołują one jednak stały powolny postęp, który nieustannie podbija nowe lądy i gwarantuje fizyce ciągłość tradycji.⁷

W obrazie tym Duhem uchwycił fakt, że choć ogólny trend może być postępowy, nigdy nie jest on jednorodny. Istnieją złe kierunki, powroty do punktu wyjścia i chwile ciszy, które często robią większe wrażenie niż powolne gruntowne zmiany.

Spójrzmy teraz na inny wizerunek, budowli konstruowanej przez wielu robotników, każdego z osobna. Przedstawił go Vannevar Bush, czołowa postać powojennego rozwoju nauki w USA i twórca Narodowej Fundacji Naukowej (National Science Foundation). Obraz to szczególnie interesujący, gdyż ukazał się pod tytułem *Endless Horizons* (Nieskończone Horyzonty) jako wołanie Busha o postęp w nauce. Zwrot ów często stosuje się w USA, gdzie dyskutuje się nad pytaniem o otwartą nieskończoność nauki.⁸ Bush zaczyna od ukazania mieszaniny porządku i nieporządku, charakteryzując w ten sposób działalność naukową, przy czym ów nieporządek jest szczególnie wyraźny dla kogoś z zewnątrz, oraz przyrównuje strukturę tej działalności do kolonii mrówek.

Proces, w wyniku którego przesuwają się granice wiedzy i buduje się struktura zorganizowanej nauki, jest bardzo skomplikowany. Można go przyrównać do eksploatacji trudnego kamieniołomu, skąd pozyskuje się budulec, by go dopasować do budowli; lecz istnieją znaczące różnice. Po pierwsze sam materiał jest bardzo zróżnicowany, ukryty i przesłonięty stosunkowo bezwartościowym gruzem [...]. Po drugie, cały wysiłek jest całkowicie niezorgani-zowany. Nie ma bezpośrednich wytycznych od architekta ani kamieniarza. Pojedyncze osoby i małe grupy krzątają się wokół swoich spraw nie zatrzymywani i nie kontrolowani przez nikogo, kopią gdzie chcą, obrabiają znalezione materiały i wtykają go w budowlę.

Dalej porusza zagadnienie, czy naukę się wynajduje, czy odkrywa - konstruowana budowla często odślania kawałki, które wydają się dobrze dostosowane, do innych, bardzo odległych części, co wygląda tak, jakby wszystkie były kształtowane w taki sposób, by pasowały do pozostałych.

W końcu sam gmach ma niezwykłą własność, jako że jego forma jest z góry określona prawami logiki i naturą ludzkiego rozumowania. Jest niemal taki, jakby kiedyś istniał, a tworzące go cegły zostały zgruchotane, ukryte i zakopane, każda z zachowaniem swojej unikatowej formy, pasującej tylko do konkretnego miejsca, z jednoczesnym ograniczeniem, że nie mogą one zostać znalezione ani rozpoznane, zanim budowa całości nie rozwinię się do punktu, w którym ich położenie i forma ujawniają się bystrym oczom utalentowanego robotnika w kamieniołomie. Niektóre części gmachu są użytkowane w trakcie budowy, gdyż naukę stale się stosuje, lecz inne tylko się podziwia z uwagi na ich piękno i symetrię, a ich możliwe wykorzystanie nie wchodzi w grę.

Bush *zauważa* też osobliwą socjologię społeczności budowniczych, robotników, organizatorów, trutni i widzów:

W tych okolicznościach wcale nie dziwi, że robotnicy czasem postępują dziwnie. Niektórzy są bardzo zadowoleni, jeśli tylko mogą, za pomocą skąpych narzędzi, wykopywać osobliwe cegły, gromadzić je w stosy na oczach kolegów, najwyraźniej nie troszcząc się o to, czy gdziekolwiek pasują, czy nie. Niestety są też tacy, którzy przyglądają się uważnie aż jakaś pracowita grupa wykopie konkretną dekoracyjną cegłę, po czym z wielkim smakiem wstawiają ją na miejsce i kłaniają się tłumowi. Niektóre grupy wcale nie kopią, lecz spędzają cały czas sprzecząc się o dokładne ułożenie gzymsów czy podpór. Jeszcze inni całe dni starają się wyjąć jedną lub dwie cegły, które ich rywale ułożyli na miejsce. Niektórzy zaś ani nie kopią ani się nie kłóć, lecz idą z tłumem, skrobiąc tu i tam, ciesząc się wszystkim wokół. Są też tacy, którzy siadają i udzielają rad, a niektórzy tylko siedzą.

Wyróżnia także szczególną klasę robotników mistrzów o niesamowitej przenikliwości, którzy widzą, co będzie działać najlepiej, wyczuwając jakoś strukturę nie widzianą przez innych, nawet jeśli znajduje się ona tuż przed ich oczami:

Są też i ci ludzie o rzadkiej zdolności widzenia, którzy doskonale potrafią dojrzeć z wyprzedzeniem cegłę potrzebną,

by umożliwić gwałtowny postęp w budowie fragmentu gmachu, którzy jakimś specjalnym zmysłem potrafią odgadnąć, gdzie jej szukać i mają ową zdolność, by oczyścić ją i wydobyć na światło dzienne. Są to robotnicy mistrzowie. Na każdego z nich może przypadać wielu pomniejszych, którzy pilnie kują i kopią, ale z niewielkim pojęciem, co dzieje się dookoła, a mimo to właśnie dzięki nim możliwe są wielkie kroki.

A wreszcie istnieją też poszukujący pełnych informacji dotyczących budowli, jej historii, jej znaczenia i jej piękna: wszyscy odgrywają rolę w doprowadzeniu dzieła do końca.

Ale są też tacy, którzy potrafią nadać budowli znaczenie, prześledzić jej ewolucję od najdawniejszych czasów i opisać przyszłą świetność w taki sposób, że inspirują zarówno tych, którzy pracują, jak i tych, którzy podziwiają. Potrafią natchnąć myślą, że nie jest to tylko zwykły budynek o jednostajnych murach, lecz że ma on swoją architekturę, mimo iż nie widać architekta, który nadzorowałby całość [...].

Jest też stary człowiek, którego dni pełnej zapału pracy minęły, którego oczy są zbyt słabe, żeby dostrzec szczegóły łuku lub potrzebną formę zamykającego go rygla, lecz który tu i tam wybudował ściany i długo mieszkał w gmachu; który nauczył się go kochać i nawet pojął sugestię jego ostatecznego znaczenia; a teraz siedzi w cieniu i dodaje odwagi młodemu.

Trzeci obraz, mający umożliwić zrozumienie rozwoju nauk eksperymentalnych i matematyki, przedstawia drzewo. W przeciwieństwie do przyływu i budowli jest to obiekt żywy, wypuszczający gałęzie o różnej sile, czerpiący moc z korzeni zapuszczanych do wielu źródeł. Karl Popper pisał, że:

musimy drzewo wiedzy przedstawić jako wielość odgałęzień wyrastających z niezliczonych korzeni, które wspinają się ku górze w powietrze raczej niż ku dołowi, i które ostatecznie, gdzieś wysoko, łączą się w jeden wspólny pień.

Dziewiętnastowieczny matematyk James Joseph Sylvester widział matematykę, również te jej części, które pozwalają na interpretację naukowych doświadczeń, jako szybko rosnące drzewo wiedzy, które nie ma końca, gdyż

matematyka nie jest książką zamkniętą w okładkach i ograniczoną mosiężnymi klamrami, której przejrzanie wymaga tylko cierpliwości; nie jest to kopalnia, której skarby, choć długo można je eksploatować, i tak zajmują ograniczoną liczbę żył i złóż; nie jest to gleba, której żyzność można wyczerpać przez ciągłe zbieranie plonów; nie jest to kontynent ani ocean, którego obszar można zbadać, a jego kontur zaznaczyć na mapie - jest ona tak nieograniczona, jak kosmos, który uważa za zbyt mały dla swoich aspiracji; jej możliwości są tak nieskończone, jak światy na zawsze tłoczące się i mnożące przed wzrokiem astronomów; jest tak niezdolna do zamknięcia w wyznaczonych granicach lub zredukowania do definicji o niepodważalnej prawdziwości, jak świadomość życia, która wydaje się drzeć w każdej monadzie, w każdym atomie materii, w każdym liściu i w każdym pączku kwiatu i jest stale gotowa, by wykwitnąć w nową formę roślinnego lub zwierzęcego istnienia.

Niektórzy komentatorzy trwają w przekonaniu, że analogia do żywej istoty lepiej oddaje charakter nauki niż wizerunek budowli. Sir Michael Foster tak przedstawia w 1899 roku dla Smithsonian Institution rozwój amerykańskiej nauki w dziewiętnastym wieku:

Ścieżka [naukowego postępu] nie zawsze bywa linią prostą; może skreślać w tę, czy w inną stronę; może się wydawać, że idee powracają ciągle do tego samego punktu intelektualnego kompasu; lecz zawsze się okazuje, że osiągnęły wyższy poziom [...]. Ponadto nauka nie jest kształtowana tak jak domostwo przez kładzenie cegły za cegłą, które gdy raz położone, są już ułożone na zawsze. Postęp w nauce przypomina raczej żywą istotę, jak w embrionie jedna faza następuje po innej, a każdy członek lub element przyjmuje coraz to inny wygląd, choć cały czas ten sam członek, a więc naukowa koncepcja jednego wieku, wydaje się różnić od koncepcji z wieku następnego.

Mimo to, choć analogie te mogą wydawać się z pozoru odmiennie, w istocie są takie same. Obie skupiają się bowiem na aspekcie zorganizowanej złożoności, charakteryzującej zarówno proces budowania jak i proces życia - wiele komponentów działających razem, by wytworzyć całość większą niż suma jej części. Wyniku żadnego z tych procesów nie można zrozumieć, wymieniając jego składniki lub wskazując działanie pojedynczego połączenia lub pojedynczego robotnika. Wynik ów jest tym czym jest, zarówno dzięki splecionej sieci wzajemnych powiązań między częściami, jak i dzięki tożsamości tych części.

Można przedstawić jeszcze jeden wizerunek naukowego postępu. Jest on nowy, lecz wychwytyje niektóre nieprzewidywalności postępu oraz wzajemne powiązania wielu osiągnięć w różnych dziedzinach nauki. Do opisu wykorzystano w nim mechanizmy rozprzestrzeniania się w populacji choroby lub pogłoski. Naszą wiedzę naukową możemy na każdym etapie przedstawić jako zbiór wysp informacji, wewnętrznie połączonych przez pomiar, związki teoretyczne, analogie itd. Im więcej jest tych wzajemnych powiązań, tym ściślej związane są ze sobą fakty, czyniąc zadość wymaganiu spójności. Oczywiście nie daje to gwarancji, że wszystkie powiązania są prawidłowe, lecz z pewnością trudniej nagromadzić fałszywe informacje. Przeważająca część codziennych zadań nauki to stopniowe rozszerzanie owych małych wysp wiedzy oraz pogłębianie wzajemnych powiązań między leżącymi w ich obrębie ideami i faktami. Postęp ten dokonuje się często nie w wyniku nowych odkryć, lecz poprzez znajdowanie nowych sposobów wywodzenia znanych rzeczy. Nowe wywody mogą być w jakiś sposób prostsze; nie tylko dlatego, że krótsze, lecz przypuszczalnie dlatego, że wykorzystują prostsze połączenia idei. (Na ironię zwykle oznacza to, że są one dłuższe). Patrzący z zewnątrz byłiby zdziwieni, jak wiele literatury naukowej traktuje o nowych sposobach wywodzenia tego, co już wiemy, lub powtórnych obserwacjach jakiegoś zjawiska, które obserwował już ktoś inny. Takie potwierdzenia umacniają jednak sieć wzajemnych powiązań wewnątrz poszczególnych wysp wiedzy, zwiększając liczbę nitek wiążących różne fakty.

Kiedy małe wyspy zwiększają swoje rozmiary, od czasu do czasu dzieje się coś bardziej spektakularnego. Zdarza się, że jakieś spostrzeżenie lub obserwacja, pozwalają jednej wyspie połączyć się z inną. Wielkie idee dają możliwość ustalenia wzajemnych powiązań między wielu wyspami, a kiedy tak się stanie, grupa powiązanych idei nagle gwałtownie się powiększa. Zjawisko to, które naukowcy zwą perkolacją (przesiąkaniem),¹³ różni się od dyfuzji idei (patrz rys. 3.1). Jego cechą charakterystyczną jest nagły skok wielkości obszaru objętego powiązaniem, kiedy szansa utworzenia połączeń między pojedynczymi

faktami powoli rośnie do poziomu „krytycznego”. To właśnie sprawia, że rozprzestrzenianie się wiedzy przypomina epidemię. Kiedy sad zaraża się chorobą, może być ona widoczna na jednym zarażonym jabłku. Stopniowo zarażają się inne jabłka na tym samym drzewie. Następnie zaraza rozprzestrzenia się, przeskakując z drzewa na drzewo. Im bliżej siebie rosną drzewa, tym szybciej choroba obejmie cały sad. Porównując sady, w których drzewa są różnie rozmieszczone, potrafimy określić prawdopodobieństwo, że choroba obejmie dany sad w zadanym czasie. Zmniejszając przestrzeń między drzewami, w pewnym momencie osiągamy taki punkt, w którym prawdopodobieństwo rośnie skokowo i całkowite porażenie staje się zdarzeniem pewnym. Z podobną gwałtownością rozprzestrzeniają się pogłoski, kiedy wystarczająco dużo osób wystarczająco często ze sobą rozmawia.

W praktyce naszej wiedzy daleko jeszcze do całkowitej perkolacji i utworzenia spójnego systemu koncepcji. Część biologii nie jest powiązana z biochemicznymi badaniami pochodzenia życia, a te z kolei są w nikły sposób połączone z naszą wiedzą astronomiczną o powstaniu planet. Nauka o komputerach usiłuje wkroczyć w zakres badań mózgu, lecz jak dotąd wspólny obszar jest mały i zaskakująco słabo zarysowany: tak słabo, że niektórzy w ogóle wątpią w jego istnienie.

W naszym dążeniu, by istniały takie perkolujące powiązania, najbardziej uderza powód, dla którego tak bardzo zależy nam, by je znaleźć. Z przyczyn estetycznych czy też wskutek odziedziczonej monoteistycznej wiary w jedność Wszechświata, mamy skłonność wierzyć, że wszystkie rzeczy są gdzieś tam głęboko ze sobą powiązane. Dowolny opis Wszechświata, wykorzystujący dwie zasady ostateczne, byłby uznany za podrzędny względem takiego, który opierałby się na pojedynczej zasadzie. W dyskusjach na temat praw podstawowych jedność uważa się za coś wyższego niż różnorodność.

Tendencję tę uchwyciono w przedstawieniu perkolacyjnym. Czasem przez długi czas jakiś zbiór koncepcji pozostaje oddzielony od głównej, rozrastającej się sieci wiedzy. Dzieje się tak, dlatego że koncepcje te są zle w jakiś fundamentalny sposób, więc nie daje się ich skoordynować z innymi. Lecz są też inne przykłady, jak ogólna teoria względności Einsteina, których odkrycie wydaje się znacznie wyprzedzać czasy. Niezwykła teoria Einsteina przez długi czas pozostawała samotną wyspą, zanim metody eksperymentalne w astronomii oraz doświadczalne badania grawitacji pozwoliły jej się rozwinąć. Dopiero niedawno jej koncepcje zaczęły przenikać do badań nad cząstkami elementarnymi i innymi siłami Natury. Jak na ironię, pomostowy rozwój wpływający na perkolację został opisany przez jednego z jego twórców, Eda Wittena z Uniwersytetu w Princeton, o pięćdziesiąt lat wyprzedzając swoją epokę.

Jedną z subtelności Natury jest jej struktura, dzięki której znaczący postęp wiedzy może się dokonać wewnątrz odseparowanych „wysp”, bez konieczności globalnej perkolacji. Modne dziś holistyczne przedstawianie wszystkiego, niezbędne do zrozumienia części całości, nie narodziło się z naszego doświadczenia metody naukowej. Te z kultur wschodu, które przyswoiły sobie filozofię holistyczną, dokonały niewielkiego postępu w nauce, jeśli twardo się jej

trzymały. Rzecz nie w tym, że pogląd holistyczny nie zajmuje ważnego miejsca w rozumieniu świata. Jak najbardziej zajmuje, tylko najpierw musi się dokonać stopniowo jakiś postęp w zrozumieniu Natury.

Inna cecha modelu perkolacyjnego to oczekiwanie nagłych zmian na poziomie wzajemnych powiązań elementów wiedzy. Mnóstwo małych osiągnięć -jeśli zachodzą we właściwym kierunku - może spowodować olbrzymi wzrost ogólnej, wzajemnie powiązanej wiedzy. Małe, lecz stale następujące kroczki są cechą postępu wewnątrz wysp wyspecjalizowanej wiedzy, przeskoki i przeplety-

wy charakteryzują perkolację tych wysp do innych. Obraz ów różni się od idei Thomasa Kuhna, zmiennych paradygmatów towarzyszących radykalnej przemianie.¹⁵ Koncepcja Kuhna nie docenia faktu, że istnieją konkretne powody przyjęcia nowych teorii i analogii, odmiennych od tych, jakimi można scharakteryzować jakąś zmianę mody we wspólnej działalności, jak moda paryska, przestępczość zorganizowana czy nawet fryzury.

Jedną z cech tego perkolacyjnego obrazu naukowego postępu jest to, że współbrzmi on z naszym odczuciem, które mówi nam, co składa się na wielki krok naprzód. Wielkie idee jednoczą koncepcje powierzchownie niepowiązane. To tu właśnie nasze poczucie piękna obejmuje zarówno sztukę, jak i naukę. Piękno to obecność jedności w obliczu powierzchownego zróżnicowania. Może ona wystąpić tak samo we wzorze idei jak i w układzie płatków kwiatu lub w zespole cech charakteru, określających bohatera tragicznego. Jednak kryje się w tym pewne niebezpieczeństwo. Szalona nauka jest pełna czczych usiłowań znalezienia „magicznej formuły”, która pozwoliłaby wyprowadzić stałe Natury z innych liczb, czy to będą wymiary Wielkiej Piramidy, nuty muzycznej oktawy czy też rozwinięcia dziesiętnej liczby n . Mamy instynkt ujednoczenia - stanowi on część tego, co określa naszą inteligencję. Potrafimy syntetyzować różne fakty, klasyfikować je w zbiory, dostrzegać wspólne elementy, redukując tym samym ilość informacji, wymaganej do jej gromadzenia i odtwarzania. Wszystko to pokazuje, że nie ma magicznej formuły ani definicji określającej dobrą naukę.

Higgledo-Piggledologia*

Nic, czego nie da się przeliterować, nie będzie działać

WILL ROGERS

Zastanawiając się, na czym w dalekiej przyszłości mogłaby koncentrować się nauka, trzeba uświadomić sobie dzisiejszy dwójaki tor naukowej docieklivosti. Na przykład w takiej dziedzinie, jak fizyka cząstek elementarnych chodzi o zidentyfikowanie najmniejszych cegiełek Natury i rządzących nimi praw. Obecnie uważa się, że istnieją tylko cztery takie „siły Natury” i że nie są one od siebie odseparowane, lecz stanowią różne przejawy pojedynczej „supersiły”. Te cztery siły-oddziaływania słabe, silne, elektromagnetyczne i grawitacyjne- rządzą każdym zjawiskiem fizycznym, jakie obserwujemy w Naturze. Każda zaś z opisujących je teorii matematycznych *zalicza* się do szczególnego rodzaju tak zwanych teorii cechowania, zawdzięczających swoją strukturę wymogom, by pewien abstrakcyjny wzorec, stworzony przez własności cząstek, był zachowywany przez prawa Natury, rządzące działaniem badanej siły. Poszukiwanie wielkiej unifikacji-

cji tych różnych sił w jedną teorię sprowadza się więc do poszukiwania pojedynczego, spinającego wszystko symetrycznego układu, który objąłby owe cztery wzorce i zjednoczył je w jednolity obraz, przekształcając je w coś więcej niż tylko fragmenty układanki. Niektóre ewentualne wnioski z tych badań będą dyskutowane w Rozdziale 5. Tutaj naszym celem jest wypuklenie jednego niezwykle ważnego punktu. Nawet jeśli ten mały zbiór praw Natury, jest wszystkim, co istnieje, i udałoby się ich unifikacja, jeszcze bardzo wiele pozostaje do zrobienia.

Jedną rzeczą jest znajomość praw Natury, a zupełnie inną znajomość tego, co z nich wynika. Rezultaty praw Natury są znacznie bardziej skomplikowane niż same prawa, gdyż nie muszą mieć ich symetrii. W danej chwili jestem umieszczony w konkretnym miejscu we Wszechświecie, lecz prawa Natury nie mają żadnych preferencji co do konkretnych miejsc ani czasu. Są absolutnie demokratyczne. Ściśle mówiąc w każdym ze skutków owych praw te symetrie są złamane lub ukryte, I właśnie ten prosty fakt odpowiada za to, że nasz Wszechświat jest rządzony, jak na to wygląda, przez kilka prostych, symetrycznych praw, a jednak przejawia szeroki wachlarz skomplikowanych asymetrycznych stanów i struktur. Pokazuje też, dlaczego nauka jest taka trudna. W otaczających nas zdarzeniach i strukturach widzimy świat rozbitych symetrii i musimy działać w wstecz, by zrekonstruować symetryczne prawa, które nimi *rządzą*.

Taki podział naukowej perspektywy na prawa i ich rezultaty pomaga nam zrozumieć, dlaczego niektóre dyscypliny

nauki tak różnią się między sobą strukturą. Zapytajmy fizyków cząsteczkowych, jaki jest świat, a oni odpowiedzą, że bardzo prosty - jeśli tylko patrzy się we „właściwy” sposób. Wszystkim zarządza zaledwie kilka podstawowych sił. Jeśli natomiast zadamy to samo pytanie biologom lub fizykom ciała stałego powiedzą nam, że świat jest bardzo skomplikowany, asymetryczny, przypadkowy i niesystematyczny. Fizyk cząsteczkowy bada siły fundamentalne z ich symetrią i prostotą; biolog widzi zaś skomplikowany świat niesymetrycznych rezultatów działania praw Natury, gdzie regułą są złamane symetrie i skomplikowane połączenia prostych składników. Obserwowane struktury istnieją, ponieważ są to najbardziej trwałe, a nie najbardziej symetryczne ze wszystkich możliwości.

Powracając do rozważań nad przyszłym kierunkiem nauki, wyobraźmy sobie, że nasz Wszechświat jest bardzo prosty, biorąc pod uwagę liczbę sił fundamentalnych i wielość różnych cząstek elementarnych. Być może uda się sporządzić logicznie konsekwentny opis tych sił. Niekiedy zupełność taką nazywa się „Teorią Wszystkiego”. Zauważmy jednak, że jest to w pewnej mierze określenie zastosowane niewłaściwie w języku angielskim. Dla osoby z zewnątrz „wszystko” oznacza to, co *oznacza* - a więc po prostu wszystko, nie pozostawiając nic na zewnątrz! Lecz nie to mają na myśli fizycy. Teoria Wszystkiego ma na celu zjednoczenie różnych sił Natury (obecnie uważa się, że ich liczba wynosi czte-

ry). Jednocześnie zaś, jako produkt uboczny, powinna spełniać inne wymagania. Na przykład powinna umieć przewidzieć tożsamość, a także właściwości wszystkich, najbardziej elementarnych cząstek materii. Gdyby jednak pozwoliła uzyskać to ostatnie, powinna dawać naprawdę jasne przewidywania, które można by poddać testom obserwacyjnym. Lecz trzeba być ostrożnym i nie oczekiwać zbyt wiele od takiej teorii. Nie jest to wyrocznia, która poda wyjaśnienie każdej z *rzeczy* widzianych we Wszechświecie, wraz z listą wszystkich innych rzeczy, jakie można zobaczyć, jeśli spojrzemy w odpowiednie miejsce. Mogą nie istnieć ograniczenia liczby różnych skomplikowanych struktur możliwych do wygenerowania przez połączenie materii i energii. Wiele najbardziej skomplikowanych przykładów jakie znamy - mózg, organizmy żywe, komputery, układ nerwowy - ma struktury, które dają się objaśnić bez Teorii Wszystkiego. Teoria ta oczywiście pozwala na ich istnienie, ale z uwagi na sposób zorganizowania części składowych, są one zdolne one przejawiać skomplikowane zachowania. Posiadanie Teorii Wszystkiego to jedno, ale znalezienie wszystkich (lub nawet tylko kilku) z jej rozwiązań to coś całkiem innego, i nie jest to bezzasadna obawa. Preferowana obecnie kandydatka na teorię tej wszechobejmującej różnorodności - teoria strun - wydaje się zawierać wszelką informację na temat cząstek materii, lecz jak dotąd, nikt nie wie, jak wyodrębnić z niej taką informację. Potrzebna do tego matematyka leży, przynajmniej na razie, poza naszym zasięgiem.

Tak więc, spekulując na temat losu nauki, musimy zdawać sobie sprawę z dwoistej natury postępu naukowego. Wprawdzie możemy wyobrazić sobie, że fundamentalna nauka w końcu osiągnęła swój cel. (Później przyjrzymy się niektórym ze sposobów, jakimi mogła tego dokonać). Nie łatwo jednak wyobrazić sobie, jak skatalogować rezultaty działania tych praw. A właśnie ów świat rezultatów napędza rozwój techniki i nauk stosowanych.

W ostatnich latach rozwój fizyki cząstek elementarnych sprawił, że skupiono uwagę na poszukiwaniu ostatecznych „praw Natury”. To zaś sprowokowało do pojawienia się stwierdzeń, że „koniec fizyki” może być bliski.¹⁶ Jednakże nikt jeszcze nie sugerował, że równie bliski może być kres badań rezultatów działania praw Natury. Aby uzyskać ogólny ogląd sytuacji, sporządźmy wykres stanu, w jakim znajdują się rozmaite dziedziny nauki, wiążący nasz stopień znajomości praw i równań rządzących tym co się dzieje (obszar praw Natury) z poziomem skomplikowania obserwowanych rezultatów działania tych praw (obszar rezultatów działania praw). Wraz ze wzrostem tego skomplikowania, maleje nasze zrozumienie i zdolność dokładnego przewidywania co się stanie w przyszłości (rys. 3.2).¹⁷ Na rysunku linia przerywana oddziela umownie te dziedziny, w których mamy bardzo dobrą znajomość zachodzących zjawisk (i ich natury), od tych, których dobrze nie rozumiemy. Zauważmy, że można

znać prawa rządzące przedmiotem naszych badań, jak to ma miejsce w badaniach silnie turbulentnych przepływów, a mimo to z trudem umieć wyjaśnić, to co się obserwuje.

Granice selektywne i absolutne

Wśród zwykłych liczb ukryta się nieskończoność liczb przestępnych, których obecności nigdy by się nie domyślono, gdyby nie zajrzano

w głąb matematyki,

CARL SAGAN¹⁸

Myśląc o ewentualnych granicach, przyszłego rozwoju naszej wiedzy o świecie fizycznym we wszystkich jego aspektach, trzeba rozróżnić odmiany owych granic. Przypuśćmy, że wszystko, co można poznać, zostało ułożone przed nami w rzędzie pudełek. Rząd ten może być nieskończony lub skończony. Przypuśćmy, że jest nieskończony. Wówczas mogłaby istnieć „absolutna” granica naszej wiedzy o świecie w tym sensie, że my lub nasi potomkowie możemy otworzyć tylko skończoną liczbę pudełek. Nawet jeśli każde nieotwarte pudełko kryło informację, którą

już znamy, nie będziemy tego wiedzieć, dopóki ich nie otworzymy. Tak więc, rzecz dziwna, nawet jeśli będziemy wiedzieć wszystko, nigdy się tego nie dowiemy.

Możliwe jest też dalsze utrudnienie. Pudełka mogą być coraz mniejsze, a więc coraz trudniejsze do otwierania, co odzwierciedlałoby coraz większy wysiłek potrzebny do wydobycia każdego następnego kęsa informacji o świecie. Wówczas w pewnym punkcie możemy natrafić na pudełko zbyt trudne do otwarcia, zapewne z jakiejś głębokiej przyczyny, mającej coś wspólnego z charakterem samego świata, lub przyziemnej, takiej jak zbyt duży koszt. Mielibyśmy więc granice odpowiednio: absolutne i praktyczne.

Jest jeszcze taka możliwość, że moglibyśmy mieć dostęp tylko do jednego pudełka na każde dziesięć z owego nieskończonego szeregu. Nasza eksploracja Natury byłaby wtedy skuteczna mniej niż w dziesięciu procentach, nawet gdyby liczba rzeczy do odkrycia była nieskończona. W takim przypadku można mówić o „granicach selektywnych” naszego poznania, lecz nie absolutnych. Obraz ten da się jeszcze udoskonalić. Powiedzmy, że wzrost naszej wiedzy może być nieskończony, lecz odsłania się przed nami tylko nieskończenie mało tego, co w danym stadium mogłoby być poznane. Jeśli rzeczy nieznanne byłyby tak gęsto upakowane, jak zbiór wszystkich ułamków dziesiętnych (także nieskończonych), a zbiór rzeczy, które mogłyby być poznane, oznaczylibyśmy naturalnymi 1, 2, 3, 4, 5..., itd., wtedy poznając cokolwiek zawsze opuszczalibyśmy nieskończoną liczbę rzeczy, nawet gdybyśmy nigdy nie opuścili ani jednej liczby naturalnej ze spisu. Owo rozróżnienie między „selektywnymi ograniczeniami” naszej zdolności poznania wszystkiego w jakiejś dziedzinie, na przykład wszystkich cząsteczek chemicznych lub wszelkich możliwych rozgrywek szachowych, a „granicami” których nie możemy przekroczyć, pojawia się po raz pierwszy w dziełach Immanuela Kanta, który pisał, że:

„W matematyce i przyrodoznawstwie rozum ludzki uznaje wprawdzie ograniczenie, lecz nie granice, tj. uznaje wprawdzie, że jest coś poza nim, dokąd on nie może nigdy dotrzeć, lecz nie uznaje, żeby jego wewnętrzny postęp mógł być w jakimś punkcie zakończony. Rozszerzanie poznania (*der Einsichten*) w matematyce i możliwość coraz to nowych odkryć idzie w nieskończoność; podobnie rzecz się ma z odkrywaniem nowych własności przyrody, nowych sił i praw,...

Najbardziej intrygującą rzeczą jeśli chodzi o granice selektywne jest to, że wcale nie musimy być świadomi ich istnienia. Granice absolutne dostrzegamy wówczas, kiedy przez długi okres nie dokonuje się żadnych nowych odkryć. Przeciwnie, z ludzkiego punktu widzenia, postęp naukowy może wydawać się przyspieszony (dziesięć procent pudełek, które otwieramy może zawsze zawierać ważne nowe informacje), nawet jeśli zdobywamy coraz mniejsze ułamki dostępnej informacji (nie otwarte pudełka mogą zawierać jej jeszcze więcej!).

Po namyśle okazuje się, że jest to zadowalający obraz aktualnego stanu rzeczy w przeszłości i przyszłości. Patrząc wstecz widzimy, że postęp niezmiennie się dokonywał, pomimo mnóstwa brakujących rzeczy, o których dziś wiemy, że były dostępne dla badaczy w danym czasie, gdyby tylko wiedzieli, gdzie ich szukać. W każdym momencie historii istnieją nie tylko pytania, które można zadać, lecz nie da się udzielić na nie odpowiedzi, istnieją również pytania, których nie ma powodu zadawać. Niezależnie od tego, jakie gospodarcze czy ludzkie zasoby udostępniono by Pitagorasowi, by ułatwić mu badanie świata przyrody, rezultat byłyby, nawet według naszych standardów, raczej skromny. Nie wiedziałby on, jakie pytania zadać ani nie mógłby tego wiedzieć. Nic nie skłania do wniosku, że obecny stan rzeczy jest choć trochę inny.

Jest jeden ważny aspekt przyszłości ograniczonej selektywnie, mający wielkie znaczenie praktyczne. Choć pewnie możemy bez końca dowiadywać się fundamentalnie nowych rzeczy, to jakie jest tempo ich poznawania i jaki koszt?

Czy będziemy budowniczymi czy chirurgami?

Historycy idei szybko się orientują - ku swemu przerażeniu - że ich przedmiot wydaje się matematycznie gęsty: okazuje się, że pomiędzy każdymi dwoma osobami, które piszą na ten temat, znajduje się jeszcze

Są dwie ważne drogi zdobywania wiedzy o świecie. Jedna to ścieżka, na której robimy postępy, rozdrabniając skomplikowane rzeczy, rozkładając je krok po kroku na prostsze, łatwiejsze do poradzenia sobie kawałki. Takie podejście do Natury zwane jest czasem „redukcjonizmem”. Pozwala „redukować” wyjaśnianie „skomplikowanych” rzeczy do stwierdzenia, z czego są one zrobione. Czasem zwiwie się to także podejściem *bottom-up*. W skrajnych zastosowaniach redukuje psychologię człowieka do biochemii, biochemię do struktury cząsteczkowej, strukturę cząsteczkową do fizyki atomowej, fizykę atomową do fizyki jądrowej, fizykę jądrową do fizyki cząstek elementarnych, fizykę cząstek elementarnych do pola kwantowego czyli superstrun, a superstruny do... no cóż, może do matematyki? Podejście to odgrywa ważną rolę w naszych badaniach świata i w oczywisty sposób przyczynia się do postępu. Granice fizyki cząstek elementarnych określają najmniejszą skalę w jakiej potrafimy rozdrobnić materię, starając się odkryć, z czego jest zbudowana. Lecz nie jest to jedyna droga pojmowania. Choć niezwykle efektywna, jeśli chodzi o zrozumienie stosunkowo

prostych rzeczy, *raczej* mało przydaje się, do najbardziej skomplikowanych struktur, jakie istnieją. Syrop jest lepki i wiemy, że składa się z atomów, lecz nie należy oczekiwać, że każdy z nich będzie mieć choć odrobinę lepkości.

Bardzo skomplikowane struktury mają jedną ogólną cechę: są skomplikowane, gdyż istnieje w nich zawiła organizacja bardzo dużej liczby prostych składników. Struktura taka, niezależnie czy chodzi o gospodarkę, pogodę, ciecz, czy mózg, jest tym czym jest i działa tak, jak działa, z uwagi na sposób, w jaki jej części składowe są zorganizowane, a nie na to, czym te części są. Jeśli wejrzeć dostatecznie głęboko, wszystkie wymienione struktury składają się z atomów, lecz wiedza ta nie pomoże nam pojąć różnicy między książką a mózgiem.

W odniesieniu do skomplikowanych struktur obserwujemy progi skomplikowania, których przekroczenie daje nagłe skoki skomplikowania. Na przykład ludzie - jedna osoba może robić wiele rzeczy; dodajmy drugą osobę, a staje się możliwy wzajemny związek; ale dodajmy stopniowo jeszcze kilka osób, a liczba skomplikowanych powiązań wzajemnych ogromnie wzrasta. Systemy ekonomiczne, systemy komunikacyjne, sieci komputerowe, wszystko to wykazuje gwałtowne skoki własności, kiedy wzrasta liczba powiązań pomiędzy ich częściami składowymi. Świadomość jest najbardziej spektakularną własnością, jaka może się w ten sposób wyłonić, kiedy sieć logiczna, na przykład mózg, osiągnie bardzo wysoki stopień skomplikowania.

Rozdział między symetrycznymi prawami a skomplikowanymi efektami ich działania często znajduje odbicie w sposobie zorganizowania nauki. Niektóre dziedziny, jak na przykład biologia, zajmują się wyłącznie badaniem niechlujnego świata skomplikowanych rezultatów, inne zaś, jak fizyka cząstek, opierają się głównie na pierwotnej symetrii fundamentalnych praw Natury. Kwalifikacje naukowców zajmujących się tak różnymi zagadnieniami są także odmienne. Sporadycznie jedna grupa podejmuje próbę zastosowania swoich ekspertyz w innej dziedzinie. To daje interesujące efekty. Próby zrozumienia świadomości dostarczają intrygującego przykładu różnych psychologii dwóch gałęzi nauki. Biolodzy i neurofizjolodzy przywykli do zajmowania się skomplikowanymi strukturami naturalnymi, jakie wyłoniły się w nieuporządkowany sposób jako rezultat historycznego procesu przypadków i doboru naturalnego. Oczekują, że skomplikowane zjawisko, jakim jest świadomość, da się przedstawić jako efekt olbrzymiej liczby zwyczajnych procesów organizujących się w ciągu długiego czasu w strukturę, która uczy się w taki sposób, jak sieć neuronalna - czyli, że jest to coś w rodzaju systemu komputerowego, „ewoluującego” w wyniku mikroskopowej wersji doboru naturalnego. Typowego przykładu takiego właśnie bałaganiarskiego wyjaśnienia, w którym symetria czy prostota odgrywają podrzędną rolę, a na dłuższą metę zdobywają przewagę trwałość i marginalne korzyści w stosunku do innych możliwości, dostarcza przedstawiony przez Edelmana darwinizm neuronalny.²² W ujęciu tym rozwój sieci mózgowej to stale ewoluujący byt, w sieci tej wzmocnione są połączenia użyteczne i często wykorzystywane, kosztem tych mniej używanych.

Fizycy cząsteczkowi przejawiają zupełnie inne nastawienie. W ich dziedzinie najgłębszą i najważniejszą rzeczą są leżące u podstaw praw Natury podstawowe struktury matematyczne. Oczekują oni, że „ważne” rzeczy będą najbardziej fundamentalne; „fundamentalne” czyli proste, symetryczne lub wyrafinowane matematycznie. Nie ma to wiele wspólnego z przeżyciem najlepiej przystosowanego. W rezultacie fizykom bardzo trudno wyobrazić sobie, że coś, co uważają za fundamentalne może mieć czysto przypadkowe, nieuporządkowane wyjaśnienie. Spodziewają się rozwiązań, wynikających z eleganckiego warunku matematycznej symetrii. Oczywiście uważają, że świadomość jest fundamentalnie istotna i warta objaśnienia, lecz ci, którzy się nad tym zastanawiają, przewidują że nie może to być jedno z tych skomplikowanych i niechlujnych wyjaśnień.²³ Dlatego, chcąc wytłumaczyć makroskopowe cechy umysłu, wprowadzają, ku zadziwieniu biologów,²⁴ coś takiego jak kwantowa grawitacja i wewnętrzna niepoliczalność na poziomie mikroskopowym.

Najłatwiej rozpocząć rozważania na temat możliwej przyszłości nauki biorąc pod uwagę tylko dwa aspekty: czy istnieje nieograniczony zasób fundamentalnej informacji na temat Natury, i czy nasze możliwości jej odkrywania są ograniczone, czy też nie. Mamy wówczas cztery różne możliwości:

Przyszłość 7. rodzaju: Natura nieograniczona i możliwości człowieka nieograniczone;

Przyszłość 2. rodzaju: Natura nieograniczona i możliwości człowieka ograniczone; *Przyszłość 3. rodzaju:* Natura ograniczona i możliwości człowieka nieograniczone; *Przyszłość 4. rodzaju:* Natura ograniczona i możliwości człowieka ograniczone.

Zanim je dokładniej zbadamy, trzeba uświadomić sobie pewne sprawy ogólne. Biorąc pod uwagę ewentualność, że możemy dowiedzieć się tylko skończonej liczby rzeczy o Naturze, mówimy nie o liczbie różnych rzeczy, jakie istnieją w Naturze - może istnieć nieograniczona liczba galaktyk w nieskończonym wszechświecie - lecz o podstawowych zasadach i „prawach”, które pozwalają nam scharakteryzować całe zbiory indywidualnych istnień w przyrodzie. W rzeczywistości to ograniczenie do skończoności nie jest tak ostre, jak się z początk-

ku wydaje. Mamy skłonność uważać, że liczba możliwych płatków śniegu, liczba możliwych utworów muzycznych lub liczba genetycznie możliwych istot ludzkich, jest „nieograniczona” w naszym potocznym użyciu tego słowa. Jednakże w każdym z tych przypadków liczba możliwości nie jest nieograniczona -choć olbrzymia, lecz nie mniej jednak skończona.

Jeśli istnieje nieskończona różnorodność form skomplikowania, wtedy stajemy przed wyzwaniem nie do pokonania. Filozof nauki William Kneale wyraża obawy co do perspektyw chwytania wszystkiego w skomplikowany świat wyników,

Jeśli przez „nieskończoną złożoność przyrody” rozumie się tylko nieskończoną mnogość zawartych w niej zjawisk, nie ma przeszkód w uzyskaniu ostatecznego sukcesu w tworzeniu teorii, dopóki teorie te nie zajmują się opisem jako takim. Podobnie, jeśli chodzi tylko o nieskończoną różnorodność zjawisk przyrodniczych [...] można to ująć w jednolitą teorię [...]. Nic nie da też stwierdzenie, że gdzieś w platońskim niebie istnieje prawdziwa teoria wyjaśniająca, lecz jest nieskończenie skomplikowana i dlatego nie może być pojęta przez człowieka. Jeśli bowiem istnieje nieskończenie skomplikowane twierdzenie, to z pewnością nie będzie pojedynczej teorii wyjaśniającej w żadnym zwykłym sensie tego sformułowania. W najlepszym razie można się spodziewać połączenia nieskończonej liczby teorii wyjaśniających. Przypuszczalnie potrafimy wyprodukować kolejne przybliżenia takiego połączenia, jeśli nie szukamy czegoś innego, lecz w takim wypadku największą nadzieję na sukces da nam sumienne gromadzenie oddzielnych pozycji, a nie bezustanna rewolucja.²⁵

Mówiąc o przyszłości ludzkich umiejętności nie musimy ograniczać się do tej, która dotyczy niewspomaganych badań człowieka. Chodzi o to, że potrafimy wykonywać „nadludzkie” zadania, wykorzystując szybkie komputery, więc w przyszłości możemy oczekiwać form sztucznej inteligencji, która będzie umiała znacznie więcej niż tylko zwiększać szybkość obliczeń lub ilość danych, które da się zebrać i porównać w tym samym czasie. Ostatecznie przedsięwzięcia naukowe mogą pójść do przodu dzięki formom mechanicznej inteligencji, rozszerzających ludzkie umiejętności w sposób zarówno przewidywalny, jak i nieprzewidywalny.

Aby określić przebieg wydarzeń, mogących doprowadzić do jednej z czterech możliwych przyszłości, wygodnie jest sporządzić wykres zmian wiedzy w czasie (rys. 3.3). Linia krzywa pokazuje wzrost wiedzy o Wszechświecie. Obszar ponad krzywą postępu zawiera to, co nieznanne; poniżej znajduje się to, co znane. Całkowita ilość zgromadzonej wiedzy jest to obszar pod krzywą postępu. Musimy jednak pamiętać, że badania mogą nie być działalnością, która

trwa w nieskończoność (bez względu na to, czy jest ona ograniczona w swojej zdolności dokonywania odkryć na temat widzialnego Wszechświata). Łatwo wyobrazić sobie przyszłość, w której człowiek ulega unicestwieniu.²⁶ Wiadomo, jak niebezpiecznie blisko jesteśmy wojen, mogących zakończyć się obustronnym atakiem jądrowym; skażenie przemysłowe zagraża klimatycznej stabilności naszej planety; źródła energii ulegają stopniowemu wyczerpywaniu, a

paliwa nie-kopalne stwarzają nowe zagrożenia dla środowiska; okresy zlodowaceń powracają co kilkaset tysięcy lat; spotkania z meteorem, kometą czy planetoidą to stała groźba dla życia na naszej planecie; nieustannym zagrożeniem jest też zachwianie się lub załamanie naszych głównych źródeł żywności. Egzystencja jest niepewna - świat stający się coraz bardziej skomplikowanym systemem technicznym, jest też coraz bardziej narażony na konsekwencje owej niepohamowanej pogoni za osiągnięciami.

Patrząc z tej perspektywy, łatwo się domyślić, że dla cywilizacji długie istnienie po etapie uprzemysłowienia może być bardzo trudne lub nawet niemożliwe. Krytyczny poziom wiedzy technicznej raczej nieuchronnie prowadzi do stopniowego (lub nagłego) wymierania tych, którzy ją posiadli. Jeśli tak, każda bardzo długo istniejąca cywilizacja byłaby czymś niezwykle i, jak sądzę, jakościowo (a nie ilościowo) różnym od naszej. Powinniśmy zdawać sobie sprawę, że wykazujemy brak realizmu, jeśli ekstrapolujemy ludzki (lub nawet nadludzki) postęp nieograniczenie w przyszłość. Nawet jeśli cywilizacje nie zniszczą się samoistnie, w końcu staną w obliczu kryzysów środowiska na skalę kosmiczną, kiedy gwiazdy wyczerpią energię jądrową i rozpadną się galaktyki. Niektóre cywilizacje mogą nawet mieć do czynienia z implozją całego wszechświata

w Wielkim Krachu, podczas którego zapanują warunki będące lustrzanym odbiciem tego, co działo się podczas Wielkiego Wybuchu.²⁷ Zignorujemy owe dal-szoplanowe problemy z wyjątkiem tych elementów, które dostarczają długowiecznym cywilizacjom problemów naukowych. Ostatecznie ich przetrwanie zależy od ich zdolności znajdowania rozwiązań. Nasze własne społeczeństwa również mogą nas czegoś w tym względzie nauczyć. Bardzo trudno skłonić polityków do planowania na daleką przyszłość. Mamy wystarczająco dużo problemów na dziś i na jutro, więc dajmy spokój tym tysiącom przyszłych lat. Jakie społeczeństwo zajęłoby się inwestowaniem olbrzymiej części swoich zasobów intelektualnych i materialnych, by zmagać się z problemami odległymi o dziesiątki tysięcy lat?

Przyszłość 1. rodzaju: Natura nieograniczona i możliwości człowieka nieograniczone

Przyszłość 1. rodzaju wydaje się prostą ekstrapolacją naszych dawnych i dzisiejszych doświadczeń. Stale pojawiają się nowe odkrycia, przynosząc nowe problemy, a także rozwiązania starych. Taki postęp nie musi biec nieustannie; mogą istnieć ciemne wieki, kiedy to postęp zwalnia lub nawet zanika, a następnie pojawiają się potężne szarże wywołane przez myśl w rodzaju teorii Einsteina lub Darwina (rys. 3.4).

Wygięcia linii postępu odzwierciedlają charakterystyczne odcinki czasu, jak na przykład długość ludzkiego życia lub trwanie poszczególnych szkół myślenia oraz środowisk społecznych, w których funkcjonowały. Jednakże to, że postęp jest nieograniczony, nie oznacza, iż koszt nabywania informacji jest stale ten sam. Ciąg, którego wyrazy są coraz mniejsze nadal może wnieść coś do nieskończonej sumy - weźmy na przykład szereg

$$1 + 1/2 + 1/3 + 1/4 + 1/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8... \text{ do nieskończoności}$$

Choć każdy wyraz szeregu jest mniejszy od poprzedniego, suma wszystkich wyrazów nie zbliża się do żadnej granicy. Jeśli, bowiem, weźmiemy wystarczająco dużą liczbę wyrazów, ich suma przewyższa każdą liczbę, jaką się wymieni.²⁸ Mówimy, że szereg jest „rozbieżny”. Tak więc, jeśli każdy wyraz szeregu miałby oznaczać postęp w każdej dekadzie w przyszłości, całkowity postęp nigdy nie jest ograniczony, lecz tempo postępu będzie coraz wolniejsze.

Przykład ten pokazuje, że nieograniczony postęp niekoniecznie oznacza postęp przyśpieszony. Krzywa postępu może coraz bardziej się prostować. Prawdopodobny jest moment, że będziemy mieć mniej niż jedno ważne nowe odkrycie naukowe w trakcie przeciętnego życia człowieka. Taka sytuacja może okazać się poważnym środkiem odstrasającym od dalszych badań. Inne umy-

słowe pogonie, z większym przepływem innowacji, dające więcej zajęć i satysfakcji mogą okazać się znacznie bardziej atrakcyjne.

Obrona tej długofalowej przyszłości wymaga poważnego potraktowania dwóch ekstrapolacji. Musimy rozważyć czy Natura jest skłonna ofiarować nam nieograniczoną liczbę ważnych rzeczy do odkrycia i czy powinniśmy oczekiwać, że nasze umiejętności są nieograniczone.

Aż do niedawna większość uczonych zaniepokoiłaby się koncepcją, że Natura może być wyczerpywalnym zasobem bogactw. Jednakże osiągnięcia w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych dały nadzieję, że podstawowe prawa Natury - cząstki elementarne materii, rządzące nimi siły i ich wzajemne zależności - są rzeczywiście Nieliczne, a przy tym tak skrupowane wymaganiami logicznej zgodności, że mogą przyjmować tylko kilka szczególnych form. Fizycy cząstek elementarnych nie byłiby zdziwieni, gdyby przemieszczający się w czasie turyści z przyszłości mieli

powiedzieć im, że istnieją tylko cztery podstawowe siły Natury i że wszystko opisuje jedna teoria superstrun.

Ta szczególna dziedzina badań naukowych jest być może jedyną, która da się jakoś zamknąć. Spoglądając głębiej w strukturę fundamentalnych praw Natury, odnosimy wrażenie, że wszystko jest znacznie prostsze niż moglibyśmy przypuszczać. Zgodnie z poczuciem, że najlepszym programistą komputerowym jest ten, który potrafi napisać najkrótszy program, wykonujący dane zadanie, możemy oczekiwać, że Konstruktor ostatecznego programu, który nazywamy prawami Natury, wykaże się elegancją i zmysłem ekonomicznym w zakresie logiki i surowców. Przywykliśmy uważać, że gdyby Wszechświat był bezgranicznie skomplikowany, stanowiłoby to oznakę jego głębi, ale to dziwaczne nastawienie. U podstaw tego poglądu tkwi koncepcja, że Stwórca musi być nadludzki - a jaki jest lepszy sposób osiągnięcia tej nadrzędności, jeśli nie przez niemożność zrozumienia? Tylko dlaczego miałoby to być prawdą? Każdy potrafi na pięciuset stronach podać instrukcję zbudowania modelu samolotu, ale nie tak łatwo zrobić to w dziesięciu liniijkach. Skrajna prostota robi znacznie większe wrażenie niż skrajne skomplikowanie. Najbardziej niezwykła właściwość Wszechświata może w ostateczności okazać się oparta na niewielkiej liczbie reguł i składników potrzebnych do jej zdefiniowania. Alternatywą jest istnienie bezkresnego skomplikowania - każdy krok w obszar rzeczy bardzo małych, ukazuje nowy świat struktur, każdy znaczący wzrost naszej umiejętności mierzenia słabych sił odsłania nowe, pierwotnie ukryte efekty. Owa bezkresna studnia informacji jako cecha charakterystyczna Natury pociągała nieżyjącego już Davida Bohma:

Ogólnie mówiąc, przez znalezienie jedności ukrytej pod różnorodnością, otrzymuje się prawa, zawierające więcej niż początkowe fakty [...] całe

przedsięwzięcie naukowe implikuje, że żadna teoria nie jest ostateczna [...] nauka zakłada nieskończoność natury przynajmniej jako hipotezę roboczą; i to założenie przystaje do faktów znacznie lepiej niż jakikolwiek inny, znany nam punkt widzenia.

Do tej nieograniczonej wizji Natury Bohma przyłącza się Eugene Wigner, jeden z największych fizyków dwudziestego wieku. Widzi on Naturę w postaci warstw skomplikowania, które jak łupiny cebuli odsłaniają pod spodem kolejne warstwy. By spenetrować te warstwy rzeczywistości, musimy rozwijać coraz głębsze pojęcia. Nie mówiąc nic o tym, czy stoimy w obliczu nieskończonego czy skończonego ciągu poziomów, Winger nie widzi uzasadnienia, dla którego mielibyśmy umieć zdjąć wszystkie bariery pojęciowe, dzielące nas od ostatecznego zrozumienia:

aby zrozumieć rosnący zbiór faktów, konieczne będzie wprowadzanie do fizyki coraz głębszych pojęć i jej rozwój nie zakończy się odkryciem pojęć ostatecznych i doskonałych. Wierzę, w prawdę, iż: nie mamy prawa oczekiwać, że nasz intelekt potrafi sformułować doskonale koncepcje, prowadzące do pełnego zrozumienia zjawisk przyrody nieożywionej.

Sytuacja się zmienia, kiedy zrezygnujemy z poszukiwań zrozumienia struktury Wszechświata i reguł, które jak się wydaje, nim rządzą. Nie ma końca przyrządom, jakie potrafimy zbudować, łącząc ze sobą atomy i cząsteczki (a przypuszczalnie nawet cząstki subatomowe takie, jak kwarki) w skomplikowane układy. Charles Babbage, dziewiętnastowieczny wynalazca maszyny liczącej, dostrzegał tę samowzmacniającą się możliwość, jaką stwarza technika:

nauka i technika to pod względem rozciągłości i wzrostu dziedzina praw zupełnie odwrotnych niż te, które rządzą światem materialnym [...im] dalej idziemy od początków wiedzy, tym obszerniejsza się ona staje, i tym większą siłą obdarza tych, którzy ją uprawiają, dodając nowe pola do jej dominiów [a ..] już zdobyta całość stanowi wciąż malejącą porcję tego, co zawiera w sobie coraz gwałtowniej rozszerzający się horyzont wiedzy [...] może się okazać, że panowanie umysłu nad światem materialnym postępuje z ciągle narastającą siłą.

Czy musi być jakieś ograniczenie dającej się skonstruować złożoności? O ile nam wiadomo, nie, choć jak zobaczymy, z pewnością będą ograniczenia naszej zdolności konstruowania przyrządów oraz sieci, badających te złożoności. Takie przedsięwzięcia wymagają czasu i zasobów. Zostaną więc podjęte tylko wówczas, kiedy zaistnieją po temu bardzo istotne przyczyny.

Przyszłość 2. rodzaju: Natura nieograniczona i możliwości człowieka ograniczone

Scenariusz 2. rodzaju (rys. 3.5) wymaga mniejszej gimnastyki wyobraźni. Jest to obraz, który prawdopodobnie otrzyma

największe poparcie. Jednocześnie jest to z pewnością najskromniejsze podejście do sprawy. Respektuje różnorodność Natury, widząc przy tym nasze własne ograniczenia (rys. 3.5).

Nawet jeśli nasza zdolność do dokonywania nowych odkryć może być ograniczona, nie oznacza to, że nasza wiedza nie będzie rosła w nieskończoność. Jednakże coraz bardziej będzie zbliżała się do granicy narzuconej przez któreś z wielu możliwych ograniczeń, na przykład naturę naszego mózgu, brak materiałów i energii, czy nasze rozmiary. W tym scenariuszu ostateczna granica wiedzy nigdy nie zostanie osiągnięta, niezależnie, jak długo będą kontynuowane badania.

Scenariusz alternatywny przewiduje, że możemy osiągnąć naszą granicę w skończonym czasie. Ewentualnie okaże się, że dalsze posunięcia nie są możliwe ze względu na koszty, bądź też ze względu na fundamentalne ograniczenie procesu obserwacji, gromadzenia informacji lub szybkości jej przetwarzania.

W przeszłości pogląd, że nasza wiedza o świecie prędzej czy później zatrzyma się, był zadziwiająco powszechny. Denis Diderot, wybitny francuski intelektualista dziewiętnastego wieku pisał w 1985 roku:

Śmiem gwarantować, że zanim minie sto lat, nie będzie w Europie nawet trzech wielkich matematyków. Ta nauka stanie w martwym punkcie mnie więcej wtedy, kiedy odejdą Bernoulli, Euler, Maupertuis, Clairaut, Fontaine, d'Alembert i Lagrange. Wzniesli oni słupy Herkulesa, poza którymi nie ma podróżywania.³²

Mniej więcej w tym samym czasie, po drugiej stronie Kanału La Manche uczoney George Gore uściślił te możliwości, zadając przede wszystkim pytanie, czy Natura mogłaby nie być skończona w swojej strukturze:

Choć wiemy niemało o aktualnych granicach możliwej wiedzy, istnieją symptomy, że natura nie pod wszystkimi względami jest nieskończona. Wysoce prawdopodobne, że liczba form energii i substancji podstawowych jest ograniczona [...]. Istnienie nieograniczonej różnorodności połączeń różnych atomów, złączonych w postaci rozmaitych substancji nie tylko wydaje się wysoce nieprawdopodobne; lecz wiele kombinacji i układów sił jest sprzecznych i nie mogą współistnieć. Zatem, biorąc to pod uwagę, przypuszczalnie istnieje granica [...] ilości możliwej wiedzy, która wszystko to respektuje. Także sama liczba praw rządzących ową skończoną liczbą substancji lub sił musi być skończona.

Gore wyraził następnie przypuszczenie, że ludzka wiedza zawsze pozostanie w tyle za wyzwaniami stawianymi przez Naturę:

Przyszłe granice ludzkiej wiedzy wydają się nieskończenie odległe [...]. Nasza wiedza jest skończona, lecz nasza niewiedza jest niemal nieskończona-Liczba odkryć w przyszłości wydaje się o wiele większa niż tych na
na
z przeszłości [jako że...] cały obszar dostępnej wiedzy wydaje się ogromny w porównaniu z możliwościami ludzkiego umysłu, a jej odkrycie będzie wymagało niemal nieskończonego wysiłku, a więc i niezwykle długiego czasu [...] dziś nikt nawet nie potrafi zgadnąć, ba ile człowiek, ze swoim skończonym intelektem, będzie zdolny w przyszłości objaśnić zjawiska z różnych części wszechświata i prawidłowo przewidzieć rezultaty.

Niemniej jednak Natura ma pewien ukryty antropocentryczny wzorec, stopniem skomplikowania odpowiadający skomplikowaniu czujących istot, które w nim istnieją:

Jednakże zasadne jest przypuszczenie, że cała natura jest systematycznie ujmowana według inteligentnego wzoru, nie ma w niej nic niepoznawalnego dla intelektu, a rozległe obszary prawdy, które pozostają nieznanne, są jedynie tymczasowo niepoznawalne, do czasu, kiedy nie uzyska się wiedzy niezbędnej do jej odkrycia. Ponieważ zaś niezmordowana aktywność jest

warunkiem koniecznym ludzkiej egzystencji, możemy także założyć, że zostanie wynaleziony nowy, ulepszony intelektualny proces badawczy, a cały wszechświat prawdy naukowej [ostatecznie] zbadany i odkryty.

Z ostatnich linijek rozważań Core'a przebijają nadzieja, że stawiający pytania ludzki duch przezwycięży wszelkie

bariery i podbije przyszłość, upodabniając intelektualną bitwę do naszej ewolucyjnej historii eksploracji i odkryć.

Przyszłość 3. rodzaju: Natura ograniczona i możliwości człowieka nieograniczone

Jeśli fundamentalne prawa Natury oraz zasady, rządzące organizacją materii i energii w skomplikowane struktury i konfiguracje, mają ograniczony zasięg, to nieograniczone możliwości człowieka wystarczą, by je wszystkie odkryć. Na pewnym etapie, pod pewnymi ważnymi względami zakończymy naukową wyprawę -wszystkie fundamentalne odkrycia zostaną dokonane (rys. 3.6). Pozostanie tylko dokonanie dokładniejszych pomiarów. Nowe fakty będą zaledwie drobnymi szczegółami, „dalszymi miejscami po przecinku”, na których nie oprze się żadna fundamentalna teoria ani żadna nie upadnie; dzieła naukowe mogą donosić, że istniejąca teoria została potwierdzona z nową dokładnością, lecz nie będzie więcej niespodzianek. Oczywiście, choć nie wiemy tego na pewno, początkowy entuzjazm przygaśnie. Twórcze umysły *zaczynają się rozglądać za nowymi wyzwaniem*. Przypuszczalnie bardziej interesujące stanie się projektowanie innych, bardziej skomplikowanych wirtualnych wszechświatów, niż badanie naszego.

Nieżyjący już Richard Feynman przypuszczalnie przychylił się, choć niechętnie, do tego poglądu. Badania w dziedzinie cząstek elementarnych przyniosły mu kontakt ze światem rządzonym przez bardzo niewielką liczbę praw i sił podstawowych. Byłoby interesujące dowiedzieć się, czy wiele lat później jego zapatrywania zmieniły się w wyniku zetknięcia się ze skomplikowanymi systemami obliczeniowymi. Oto, co pisał:

Jak wyglądać będzie przyszłość tej przygody? Jak to się skończy? Idziemy do przodu, odgadując kolejne prawa. Ile jeszcze praw musimy odkryć? Nie wiem. Niektórzy moi koledzy uważają, że proces poznawania fundamentalnych praw nigdy się nie skończy; ale ja uważam, że strumień nowych praw kiedyś się wyczerpie, z pewnością wcześniej niż, powiedzmy, za tysiąc lat. Niemożliwe, abyśmy wciąż odkrywali coraz to nowe prawa [...]. To tak, jak z odkryciem Ameryki - można to zrobić tylko raz. To cudowne, podniecające czasy, ale kiedyś się skończą. Rzecz jasna, w przyszłości będziemy mogli poświęcić się czemuś innemu [...] ale to już będą inne rzeczy niż te, którymi się teraz zajmujemy. [...] W świecie idei zacznie się degeneracja, podobna do tej, o jakiej mówią wielcy podróżnicy, gdy na nowo odkrytych terenach pojawiają się turyści.³⁴

Inny amerykański uczyony, Bentley Glass, w swoim wykładzie na temat czy nauka ma „nieskończone horyzonty”, jak przewiduje Vennevar Bush, podkreśla różnicę między fundamentalnymi odkryciami, które mogą ulec wyczerpaniu, a dopełnianiem szczegółów - wtórna działalność nauki - które spokojnie mogą trwać wiecznie.

To, co pozostało jeszcze do odkrycia rzeczywiście może przyćmić wyobraźnię. Niemniej jednak wszechświat jest zamknięty i skończony [...]. Jednolitość natury i ogólna stosowalność jej praw stawia ograniczenia nauce [...]. Jesteśmy jak badacze wielkiego kontynentu, którzy przemierzali go z krańca na kraniec niemal we wszystkich kierunkach i nanieśli na mapę wszystkie główne pasma górskie i rzeki. Wciąż jednak pozostają niezliczone szczegóły do naniesienia, lecz niezbadany horyzont przestał istnieć.³⁵

Przyszłość 4. rodzaju: Natura ograniczona i możliwości człowieka ograniczone

Przyszłość 4. rodzaju to najbardziej skomplikowana ze wszystkich ewentualności. Istnieją trzy główne możliwości (rys. 3.7).

Przez absurdalną koincydencję obie granice mogą zbiegać się ze sobą, więc możemy nauczyć się wszystkiego, co jest do nauczenia się, niezależnie czy jest skończone, czy nie (rys. 3.7 (a)). To zakładałoby istnienie pewnego kosmicznie-

go spisku, którego bylibyśmy przedmiotem, w rodzaju tego, o jakim mówił Gore. Bardziej realistyczne jest oczekiwanie, że granice natury i człowieka będą całkiem różne. Granice naszych możliwości mogą znajdować się na tak wysokim poziomie, że pozwolą nam ustalić wszystkie fundamentalne zasady *rządzące* Naturą (rys. 3.7 (b)). Byłaby to bardzo niezwykła sytuacja. Onaczałoby to, że mózg (lub jego sztuczni intelektualni następcy) musiałby mieć wyższy stopień komplikacji niż cały zbiór zasad rządzący wszystkimi możliwymi formami organizacji. To raczej niemożliwe. O wiele bardziej prawdopodobne, że nasze zdolności pojmowania są znacznie mniejsze niż możliwości Natury (rys. 3.7 (c)). Sytuacja taka sprowadza się w zasadzie do przedstawionej wyżej przyszłości 2. rodzaju.

Ile odkryć jest jeszcze przed nami?

Odkrycie składa się z dostrzeżenia tego, co widzą wszyscy

i myślenia o tym, o czym nikt nie pomyślał.

ALBERT VON SZENT-GYORGY-⁶

Choć to brzmi dziwnie, potrafimy sformułować pewne ilościowe stwierdzenia na temat liczby fundamentalnych odkryć, których dokonania wciąż możemy się spodziewać. Problem jest podobny wyszukiwania błędów korektorskich w artykule przygotowywanym do druku. Przypuśćmy, że dwójka redaktorów, Jack i Jill niezależnie od siebie czytają długi artykuł, mający się ukazać w naukowym czasopiśmie. Jack znalazł A błędów błędów, a Jill B błędów. Porównali swoje kopie i okazało się, że w C przypadków znaleźli ten sam błąd. Ilu nieodkrytych błędów należy się spodziewać w gotowym artykule?³⁷

Przypuśćmy, że całkowita liczba błędów wynosi E . To znaczy, że liczba nieodkrytych błędów równa się $E - A - B + C$. Ostatni składnik C został dodany, żeby nie policzyć podwójnie błędów znalezionych i przez Jacka i przez Jill. Jeśli prawdopodobieństwo znalezienia błędu przez Jacka wynosi p , a prawdopodobieństwo znalezienia błędu przez Jill wynosi q , to oczekujemy, że $A = pE$, $B = qE$, a $C = pqE$, gdyż oboje czytali artykuł niezależnie od siebie. Tak więc $AB = pqE \times E$, a stąd wynika, że $A^2 = C^2$. I mamy odpowiedź: liczba nieznaleszonych błędów wynosi $E - A - B + C = \frac{AB}{C} - A - B + C$, gdzie niewiadomą E zastąpiliśmy wyrażeniem AB/C . Porządkując równanie otrzymujemy wynik mówiący, że liczba nieodkrytych błędów równa się $(A - C)(8 - C)/C$, czyli

Liczba nieznaleszonych błędów =

$\frac{AB}{C} - A - B + C$ (Liczba błędów znalezionych tylko przez Jacka) x (Liczba błędów znalezionych tylko przez Jill) / (Liczba błędów znalezionych zarówno przez Jacka, jak i przez Jill)

Wynik ma sens. Jeśli Jack i Jill znajdą wspólnie mnóstwo błędów, lecz jeśli żaden z nich się nie powtórzy, to nie są oni dobrymi korektorami i bardzo możliwe, że w tekście zostało jeszcze wiele błędów, których nie dostrzegło żadne z nich.

Co ma wspólnego korekta tekstu z przyszłością nauki? To oczywiście, że to samo rozumowanie można przeprowadzić w odniesieniu do pytania: „ilu odkryć naukowych można jeszcze dokonać?”. Zamiast niezależnych korektorów weźmy różne sposoby badania Natury - na przykład obserwacje astronomiczne w różnych długościach fal elektromagnetycznych lub eksperymenty fizyki cząstek elementarnych w różnych przedziałach energii. I spytajmy, ile fundamentalnych odkryć zostało dokonanych przez pojedyncze, niezależne badania, a ile przez więcej niż jedno. Podaną wyżej równość łatwo rozszerzyć na dowolną liczbę niezależnych badań, otrzymując oszacowanie liczby fundamentalnych odkryć, jakich można jeszcze dokonać, przy czym nie musimy znać wartości p i q , czyli nie musimy wiedzieć, z jakim prawdopodobieństwem przy danym badaniu dokonuje się odkrycia.³⁸ Niezależnie od tego, czy do uzyskanych równań wstawimy liczby, czy nie, ich wartość polega na tym, że ukazują one stan nauki, sądząc po odkryciach dokonanych w różnych dziedzinach badawczych. Jako że Natura jest gęstym spletem różnych zjawisk, stopień do jakiego potrafimy powtarzać odkrycia z użyciem całkiem odmiennych technik obserwacyjnych, pozwala nam ocenić, na ile głęboko poznajemy strukturę Wszechświata. Dokonujący się przez ostatnie piętnaście lat rozwój powiązań między fizyką cząstek elementarnych a astronomią stanowi niezwykle przykład takiego wzajemnego związku. Wiele naszych hipotez na temat struktury Wszechświata - na przykład fakt, że zawiera on wielką ilość nieświecącej materii - to efekty niezależnych procesów badawczych w dziedzinie cząstek elementarnych i kosmologii. Kiedy tak się dzieje, całkiem usprawiedliwione jest myślenie, że mniej pozostało do odkrycia, niż gdybyśmy rozpatrywali tylko całkiem niezależne rodzaje przewidywań z dwóch dziedzin badawczych.

Streszczenie

wola jest nieskończona, a sity ograniczone ...

żądza jest bez granic, a działalność jest granic niewolnikiem

WILLIAM SHAKESPEARE³⁹

Istnieje wiele wyobrażeń nauki i działalności naukowej. Niektóre zakładają, że nauka się skończy, inne zaś skłaniają się raczej ku oczekiwaniu, iż jej horyzont nigdy się nie przybliży. Widzieliśmy najrozmaitsze alegorie obrazów postępu: przypływ morza, projekt budowlany, organizm żywy lub prekolacja epidemii wzajemnie powiązanej wiedzy.

Zdaliśmy sobie sprawę z dualnego charakteru Wszechświata - jednym jego aspektem są prawa Natury, drugim efekty ich działania. Prawa są nieliczne i proste, lecz efekty ich działania liczne i skomplikowane. Zastanowiwszy się nad sensem poszukiwanej przez fizyków tzw. Teorii Wszystkiego, stwierdziliśmy, że musimy dokonać starannego rozróżnienia między odkrywaniem praw Natury (to jest właśnie Teoria Wszystkiego⁴⁰), a zrozumieniem skomplikowanych skutków działania tych praw. Kiedy już dokonaliśmy tego rozróżnienia, przyjrzeliliśmy się kilku różnym typom granic

naukowego postępu, a następnie podjęliśmy próbę naszkicowania kilku prostych alternatywnych przyszłości. Cztery, z grubsza nakreślone rodzaje przyszłości, zostają zdefiniowane przez związek między informacją zawartą w Naturze, a informacją, którą jesteśmy w stanie odkryć poprzez nasze obserwacje i rozumowanie.

Rozdział 4

My, istoty ludzkie

Istoty ludzkie wiedzą mnóstwo rzeczy, z których część jest prawdziwa, i stosują je.

Kiedy podobają nam się rezultaty, nazywamy to mądrością,

HERBERT SIMON

Do czego służy umysł?

Najważniejszą rzeczą, z jakiej trzeba sobie zdać sprawę, jeśli chodzi o systemy komunikowania się zwierząt jest to, że nie oczekuje się od nich, by były systemami szerzenia prawdy. Oczekuje się natomiast, że będą systemami, poprzez które pojedyncze organizmy usiłują zmaksymalizować swoje dopasowanie, komunikując innym rzeczy, które mogą być prawdą lub fałszem.

ROBERT TRIVERS'

Czy istnieją granice ludzkiej zdolności pojmowania Wszechświata, narzucone nam przez naturę naszych umysłów? Brzmi to bardzo prawdopodobnie. Mózg człowieka ma historię - długą i krętą. Jak wszystkie ludzkie organy jego droga od przeszłości do teraz była pogmatwaną ścieżką prób i błędów. Następowala selekcja niewielkich przypadkowych zmian, dzięki którym zwiększała się przeżywalność i płodność. Wszystkie nasze obecne umiejętności to spuścizna z przeszłości. Jeśli, jak uważamy,² nie mogły one być w odległej przeszłości właściwie zaprogramowane, to przypuszczalnie są one dalekie od optimum, jeśli chodzi o nasze przyszłe starania zrozumienia Wszechświata.

Wiele naszych cech ma oczywiste znaczenie dla przetrwania. Nadzwyczaj pożyteczna jest na przykład mowa.³ Jednakże inne cechy nie są w tak jasny sposób pomocne. Dlaczego ziewamy? Dlaczego mamy małżowiny uszne? Dlaczego lubimy muzykę? Kiedy zastanawiamy się nad takimi pytaniami, musimy sobie uświadomić, że w niektórych przypadkach odziedziczyliśmy cechy, które były przydatne dawno temu w nieistniejących już środowiskach, gdzie przez bardzo długi czas żyli nasi najstarsi przodkowie. Jednakże mamy też cechy, będące po prostu produktem ubocznym innych cech. A to znaczy, że wiele naszych robiących wrażenie umiejętności psychicznych to niekoniecznie bezpośredni rezultat naturalnej selekcji działającej tak, by popierać dziedziczenie tej szczególnej cechy. Może to być produkt uboczny innych przystosowań do środowisk, które już nie istnieją.

Ludzki mózg jest najbardziej skomplikowaną rzeczą, z jaką zetknęliśmy się we Wszechświecie. Waży około trzech kilogramów, nie wiele więcej niż puszka oleju silnikowego, lecz wewnątrz tej małej masy zawiera się oszałamiająco skomplikowana sieć wzajemnych powiązań łączących setki miliardów neuronów. Przyj-

muje on informacje na temat ciała i środowiska, kontroluje kończyny i gromadzi ' Informację w sposób, który wciąż jest dla nas tajemnicą. Na szczęście nie jest ona / całkiem nieprzenikniona. Mózgi mają pewne elementy wspólne ze sztucznie wytworzonymi komputerami. Mają umiejętność „wykonywania” najrozmaitszych | programów (software), które nie są w nie wbudowane. Potrafimy nauczyć się gry W szachy, wykonać dzielenie dużych liczb bądź wykonywać najrozmaitsze inne, wysoko wyspecjalizowane zadania. Jednakże u podstaw owej elastyczności leży • wbudowany system, podobny do pamięci ROM w naszym domowym kompu-/terze, umożliwiający pracę tych wszystkich programów i definiujący nasze ogólne możliwości, szybkość myślenia i zdolność do uczenia się.

Działanie ludzkiego mózgu robi tak wielkie wrażenie, że łatwo dajemy się zwieść co do jego imperatywów. Największe komputery, jakie dotąd zbudowaliśmy, wypadają blade w porównaniu ze stopniem skomplikowania, elastycznością i zwartością ludzkiego umysłu. Pod pewnymi względami superkomputery zawsze lepiej sobie radzą niż ludzki mózg - zwłaszcza jeśli chodzi o szybkość wykonywania pewnych powtarzalnych zadań - lecz za to brak im zdolności adaptacji i umiejętności poznawania samych siebie. Dobrym przykładem wyspecjalizowanej umiejętności komputera były rozgrywki szachowe (w 1996 roku) między Deep Blue - grającym w szachy komputerem IBM, zdolnym do sprawdzania 200 milionów pozycji na sekundę - a arcymistrzem Gary Kasparowem, chyba najlepszym szachistą wszech czasów. Kasparow wygrał mecz trzema rundami do jednej. W1997 roku ulepszony Deep Blue był znacznie silniejszy. Kasparow grał

źle i ku zaskoczeniu wszystkich sromotnie przegrał. W przyszłości Deep Blue ma szansę być jeszcze mocniejszy.

Deep Blue jest znacznie lepszy od wszystkich wcześniejszych urządzeń grających w szachy i pobili by na głowę większość grających w szachy ludzi. Interesujący przykład prostego problemu szachowego, który przysparza kłopotów programom do gry w szachy, pokazano na rys. 4.1. Wzrost umiejętności komputerów przedstawiono na rys. 4.2.

Zdumiewająca wszystkich zdolność ludzkiego mózgu do logicznego rozumowania, dokonywania obliczeń matematycznych i pojmowania rzeczy nieuchwytnych, od kwarków po kwazary, łatwo może nas skusić do myślenia, że to jest właśnie to, do czego mózg jest „przeznaczony”.

W swoim księgozbiorniku mam dwa wielkie tomy zawierające reprodukcje wszystkich obrazów i rysunków Salvadora Dali. Zostały one pięknie wydane i zawierają mnóstwo fascynujących informacji na temat artysty, jego życia i pracy. Celem wydawców było wyprodukowanie dzieła, które przedstawiłoby postać artysty uczynnym, a także tym wszystkim, których on interesuje. Ja jednak odkryłem, że te ciężkie tomy doskonale nadają się do przytrzymywania rzędu książek na półce - są pod tym względem lepsze niż jakiegokolwiek podpórki znajdujące się w sprzedaży. To dość powszechna kolej rzeczy - spostrzegamy, że rzecz

przeznaczona do spełniania jakiejś funkcji, okazuje się przydatna także w innych celach, całkowicie nieprzewidywanych, a nawet nieprzewidywalnych w chwili, kiedy ją wykonywano. Te nieplanowane sposoby użytkowania, to produkt uboczny tych celów, jakie mieli na uwadze projektanci.

Nic dziwnego, że także organizmy żywe często mają podobną cechę. Dłoń nie rozwinęła się po to, by haftować tkaniny ani by zbudować szwajcarski zegarek; pierwotnie ucho nie zostało obdarzone zdolnością identyfikowania dźwięków muzycznych. A mimo to i ręka i ucho są doskonale do tych zadań przygotowane.

Dowiedzieliśmy się, że nasze zdolności psychiczne to wynik długiego procesu adaptacji do lokalnych warunków w obecności konkurencji. Przeważają te cechy, które mają większą szansę zapewnić przetrwanie na dłuższą metę. Owa „dłuższa meta” to cała historia ludzi i ich przodków, ciągnąca się przez wiele milionów lat. Nasza najnowsza historia, choć charakteryzuje ją niezwykle tempo postępu, to zaledwie kropelka w tym oceanie czasu. Pomimo że obecnie zajmujemy się racjonalnymi produktami ludzkiego umysłu - nauką, techniką, matematyką i komputerami - są to sprawy i działania całkiem dla nas nowe. Nasze uzdolnienia w tym kierunku trzeba uznać za produkt uboczny innych, bardziej podstawowych umiejętności, które umysł posiadał w odległej przeszłości, kiedy

to środowisko mogło pod pewnymi względami bardzo odbiegać od dzisiejszego, gdyż dawały większą szansę na przeżycie, niż dostępne w tamtych czasach alternatywy.⁶ Tempo, z jakim zmiany ewolucyjne zachodzą w człowieku, są o wiele wolne, żeby mogły w jakikolwiek sposób rzutować na nasze wewnętrzne predyspozycje w okresie objętym historią pisaną (około 9000 lat).

Ów prosty fakt ma dalekosiężne konsekwencje. Jeśli nasze umysły rozwinęły się po to, by radzić sobie z szeregiem skomplikowanych środowisk, z jakimi nasi dalecy przodkowie mieli do czynienia przez miliony lat, to proces ten wyposażył nasze mózgi w konkretne skłonności, odpowiednie do napotykaných wówczas problemów. Nie było wśród nich pisania prac egzaminacyjnych z fizyki cząsteczkowej ani objaśniania matematyki symetrii. Jednakże takie umiejętności mogły pojawić się jako produkt uboczny czegoś bardziej podstawowego, dającego wybiórcze korzyści. W Rozdziale 1 omówiliśmy cechę przystosowawczą, objawiającą się zamiłowaniem do symetrii u naszych przodków sprzed milionów lat. Obiekty nieożywione zwykle nie przejawiają symetrii, natomiast organizmy żywe zwykle są symetryczne w osi pionowej. Nie mają jednak symetrii w osi poziomej, z uwagi na działanie grawitacji, ani symetrii przód-tył, jeśli potrafią się poruszać.

Wykrywanie symetrii w skomplikowanej scenarii pozwalało wyróżnić potencjalne drapieżniki, partnerów czy pożywienie. Umiejętność ta daje znaczącą przewagę nad istotami, które jej nie posiadają, a zapewniający ją koktajl genetyczny ma większą szansę przetrwania. Kod genetyczny nie pozwalający na rozpoznawanie symetrii odpada z ewolucji, gdyż brak wycucia symetrii oznacza większe zagrożenie ze strony drapieżników, a także większe trudności ze znalezieniem pary oraz pożywienia. Ponadto taki sposób patrzenia implikuje, że nadwrażliwość na wzorce plastyczne może być po prostu lepsza niż wrażliwość przytępiona. Lepiej zostać uznanym czasem za lekkiego paranoika bojącego się wycia wilka niż pewnego dnia przeoczyć złego wilka, rzeczywiście ukrywającego się w krzakach.

Dziedziczymy konsekwencje podobnych adaptacji. Nasza wrażliwość na wzorce plastyczne w zatłoczonej lub niemal pustej scenarii uwidacznia się dziś w najrozmaitszych sytuacjach. Patrzymy na Marsa przez teleskop i widzimy na jego powierzchni „kanały”. Jest nawet grupa osób, które twierdzą, że na powierzchni Marsa widać rysunek ludzkiej

twarzy.⁷ Kiedy nasi przodkowie patrzyli na gwiazdy, widzieli wśród nich najrozmaitsze wzory - od pługów i węży, po niedźwiedzie i myśliwych. Współcześni astronomowie nie są wyjątkiem - Mgławica Jajo, Mgławica Krab, Mgławica Koński Łeb, jak i wiele innych, uzyskały swoje nazwy na podstawie swojego wyglądu. Wszystkie takie przykłady pokazują, jaki wpływ mają minione dzieje na nasze zdolności mentalne. Odziedziczyliśmy skłonność dostrzegania pewnych rzeczy lepiej niż pozostałych.

Trzeba zauważyć, że zdolności naszego umysłu i organizmu rozwinęły się jako rozwiązania problemów stwarzanych przez środowiska, których już dawno nie ma. Niektóre adaptacje do tych środowisk wciąż w nas istnieją, ale wiele już zniknęło. Wiele osób, nawet naukowców, którzy powinni się lepiej orientować, tak dały się zwieść zdumiewającemu skomplikowaniu przystosowań żywych organizmów, że uznali je za doskonałe. Jednakże jest to dalekie od prawdy. Ludzkie oko to wspaniały instrument optyczny, lecz trochę mu brakuje do najlepszego rozwiązania.⁸ Pszczoły doskonale radzą sobie z oszczędnością surowców przy budowie plastrów, lecz matematycy wiedzą, że mogłyby być jeszcze bardziej wydajne.⁹ To nic dziwnego. Hamulcem przeciwdziałającym doskonałym adaptacjom do warunków środowiska może być koszt. Za wszelki nadmiar zainwestowanych w nie zasobów trzeba zapłacić mniej doskonałą adaptacją w innym zakresie. Jaki jest sens kupować bardzo drogie, gwarantowane na 100 lat świece do naszego samochodu? Żadnego, gdyż reszta samochodu zepsułaby się znacznie wcześniej od nich.

Dlatego nie ma sensu oczekiwać, że ludzki mózg okaże się najlepszym możliwym wieloczynnościowym instrumentem rozumującym. Wystarczy, że będzie lepszy od podobnych mu alternatyw, w które mógł się rozwinąć dzięki małym zmianom, mającym na celu prześcignięcie mózgow rywali. Udaje mu się to mimo ewidentnej omyłności jego pamięci oraz zdolności rozumowania, a także zadziwiającego faktu, że wykorzystuje zaledwie część swoich całkowitych zasobów.

Trzeba mieć to na względzie, jeśli zastanawiamy się nad przyszłym potencjałem badań naukowych i rozważamy zagadnienie, czy granice wynikające z bycia człowiekiem w znaczący sposób ograniczają wiedzę o Wszechświecie. Jeśli ludzkie umysły są instrumentami zawodnymi, musimy uważniej przyjrzeć się, w jaki sposób ich wewnętrzne ograniczenia mogą wpłynąć ograniczająco na nasze możliwości poznania otaczającego nas świata fizycznego.

Uczeni rzadko uznają ograniczenia i wpływy umysłu za istotne. Postrzegają ludzki umysł, jako zestaw zdolności do rozwiązywania problemów, nadający się do wykorzystania przy dowolnym skomplikowanym zadaniu. Sądzą, że z pomocą szybkich komputerów, logika zwycięży, jeśli da się jej odpowiednią ilość czasu. Niektórzy filozofowie widzą to jednak całkiem inaczej. Dla nich ewolucyjna spuścizna ludzkiego umysłu daje pewność, że jest on zawodny. Najważniejszym rzecznikiem tego postmodernistycznego poglądu jest amerykański filozof Richard Rorty, który postrzega naukę jako część ogólnego ludzkiego przedsięwzięcia, zmierzającego do poradzenia sobie z otaczającym środowiskiem, a nie pragnieniem głębokiej wiedzy lub „prawdy”. Opierając swój wywód na darwinowskim podejściu do ewolucji człowieka, przekonuje, że

W naturze swojej nie różnimy się od zwierząt. Różni nas od nich jedynie zdolność do zachowywania się w bardziej skomplikowany sposób. Starsza, przeddarwinowska koncepcja głosi, że zwierzęta nie potrafią dostrzegać „jak to wszystko naprawdę wygląda”, natomiast ludzie potrafią. Po prostu ist-

nieją rozmaite opisy *rzeczy*, a my używamy tego, którzy wydaje się najlepszy do osiągnięcia danego celu. Mamy mnóstwo słowników, gdyż mamy mnóstwo powodów i celów. Historia toczy się, powstają nowe słowniki, gdyż pojawiają się nowe cele. Jednakże żaden z tych słowników czy celów nie będzie prawdziwszy dla „ludzkiej natury” czy też „wewnętrznego charakteru *rzeczy*”, choć cele, którym służą mogą się polepszyć.¹⁰

Obawy te mogą wprawdzie być znaczące, lecz w żadnym razie nie są to nieuniknione konsekwencje darwinowskiego spojrzenia na początki ludzkiej inteligencji. Nasze badania złożoności w wielu różnych przejawach nauczyło nas, że rzadko mamy do czynienia z gładkim, stałym wzrostem efektów podobnych zmian w złożoności - kiedy osiąga się kolejne progi, następuje ogromny skok. Nasze DNA może różnić się od DNA szympansa zaledwie w kilku procentach, ale wynikająca stąd złożoność intelektualna o lata świetlne wyprzedza podobną cechę u szympansa. Może być tak, że ów wielki skok przed wszystkie żywe istoty zaledwie pozwala nam wytworzyć bardziej rozbudowany język, którym opisujemy Naturę. Jednakże niewykluczone, że możemy jedynie ukrywać przekonanie, iż Natura to dzieło nieskończenie skomplikowane, a my tylko skrobimy je po wierzchu. Choć to nie musi tak wyglądać. Być może istnieje jakieś dno. Jak już widzieliśmy, istnieją różne opcje jeśli chodzi o Naturę i zdolność człowieka do jej odkrywania. Jak dotąd Wszechświat okazał się znacznie bardziej zrozumiały, niż mogliśmy oczekiwać. Jak na ironię, większość skomplikowanych *rzeczy*, z jakimi się zetknęliśmy w całej panoramie Natury, od przestrzeni wewnętrznej cząstek elementarnych materii po zewnętrzną przestrzeń odległych galaktyk, znajduje się w naszych głowach.

Polegamy na słowach

Nasi przodkowie bez wątplenia potrzebowali jakichś racjonalnych umiejętności, żeby przetrwać lecz [...] ludzki mózg ewoluował bardziej jako organ religijny niż rozumowy [...]. Nauka ścista to pomniejsze zainteresowanie [...]. Bardzo prawdopodobne, zatem, że pierwsze ludzkie mózgi rozwinęły się po to, by nadać znaczenie symboliczne zewnętrznemu światu, a później naukowy wirus zainfekował mniejszość ich potomków, w których obecnie świetnie się ma w obwodach nerwowych, które powstały na potrzeby innych idei.

NICHOLAS HUMPHREY*

Historia umysłu niesie jego użytkownikom pesymistyczne wieści. Angażując się w wielkie przedsięwzięcie zrozumienia najgłębszej logiki działania Wszechświata, od cząstek elementarnych materii do najdalszej przestrzeni międzygalaktycznej

stwierdzamy, że źle jesteśmy do tego wyekwipowani. Raczej nie było powodu, by nasze najwcześniejsze dzieje mogły wyposażyć nas do rozwiązywania podchwytliwych problemów matematycznych związanych z kwarkami lub czarnymi dziurami, żadnego powodu dla którego bylibyśmy zdolni wizualizować najbardziej abstrakcyjne struktury matematyczne ani też powodu, dla którego nasze umiejętności wizualizowania miałyby choćby zbliżyć się do poziomu wymaganego, by sporządzić opis praw Natury (jeśli takowe istnieją). Choć wszystkie te stwierdzenia mogą okazać się prawdziwe, spróbujmy sięgnąć nieco głębiej w naturę rzeczy. Optymizmem napawa fakt, że głębokie trudne koncepcje potrzebne do wejścia w głąb struktur Natury, tworzą się, krok po kroku, z bardzo prostych umiejętności takich, jak liczenie, przyczyna i skutek, symetria i wzór, zadawanie pytań rozstrzygnięcia (z odpowiedziami tak/nie) itd. Przy czym owe proste cegiełki głębokiego zrozumienia oferują oczywiste i proste korzyści tym ich posiadaczom, którzy przyłączają się do ewolucyjnego wyścigu szczurów. Koncepcje współczesnej nauki mogą powierzchownie wydawać się bardzo abstrakcyjne i dalekie od tego, co umożliwiło przetrwanie w trudnych dawnych środowiskach, lecz to niesamowite, jak proste są podstawowe koncepcje, z których je skonstruowano.

Często oczekuje się, że matematyka jest tak cudownie efektywnym narzędziem do odkrywania Natury, że równie dobrze może się okazać, iż w pewnym ostatecznym sensie, sama Natura po prostu jest matematyczna. Tym samym, nasz matematyczny opis Natury jest właściwie procesem odkrywczym, a nie wynalazczym. To może być oczywiście prawda, lecz w takim przypadku i tak powinniśmy się zastanowić, jak to jest, że wybraliśmy takie a nie inne rodzaje matematyki, w jaki sposób ustaliliśmy nasz zapis i koncepcje. Moim zdaniem, ma to ukryty związek z naszymi zdolnościami lingwistycznymi.

Ze wszystkich umiejętności człowieka największe wrażenie robi mowa. Patrząc ogólnie na populację widzimy, że zdolności matematyczne są u ludzi rozmaite. Większość dzieci w wieku szkolnym uważa matematykę za trudny przedmiot. Nikt raczej nie zna jej w sposób wrodzony. Musimy usiąść i nauczyć się jej reguł oraz struktur. Jednakże mowa przychodzi w sposób naturalny. Jest wiele osób, nie mających zdolności matematycznych ani muzycznych, lecz każdy niemal używa mowy o niezwykłym stopniu skomplikowania. Co więcej, umiejętność ta manifestuje się już bardzo wcześnie, co przemawia za tym, że język jest umiejętnością dziedziczną genetycznie. Słuchanie i uczenie się decyduje tylko o tym, którym z języków najpierw będziemy mówić. Wszystkie one mają wystarczająco głęboką strukturę logiczną, żeby istniejąca w mózgu wbudowana struktura logiczna umożliwiała nabycie umiejętności językowych. Ponadto, żeby ów wstępny program uczenia się języka mógł przebiegać, konieczny jest dostęp do nieograniczonych zasobów mentalnych. Kiedy nauczymy się już

języka, program ten może zostać wyłączony, a zasoby skierowane ku innym procesom poznawczym. Dlatego właśnie inaczej uczymy się języków innych niż ojczysty. Wymagają one świadomego wysiłku uczenia się i im jesteśmy starsi, tym trudniej nam to przychodzi.

Systemy liczenia, które rozwinęły się w starożytnych i tradycyjnych społeczeństwach wykazują wiele podobieństw.¹² We wszystkich mamy symbole ilościowe, a w większości z nich ilości pogrupowano w zbiory, których liczebność połączono najczęściej z liczbą palców u rąk (10) lub u rąk i nóg (20). Ważniejsze są wprowadzane przez te systemy koncepcje aby uwzględnić łączenie ilości - wykonując to, co nazywamy dodawaniem - i stworzyć poręczne notacje umożliwiające zapisywanie dużych liczb. Odnajdujemy je w kilku rozwiniętych kulturach takich, jak babilońska i wczesnoindyjska, które wprowadziło pojęcie notacji „pozycyjnej” oraz symbolu zera. Notacja pozycyjna jest niezwykle nośna, choć tak się do niej przyzwyczailiśmy, że przechodzi niezauważona. Polega na tym, że położenie poszczególnych symboli w zapisie niesie informację o ich wartości numerycznej. Pisząc „111” mamy na

myśli liczbę sto plus dziesięć plus jeden (razem, sto jedenaście), natomiast w starożytnym Egipcie odczytano by ją jako jeden i jeden i jeden (czyli trzy). System pozycyjny stwarza konieczność wypełnienia pustego miejsca - liczba zapisana jako „101” to sto, brak dziesiątek i jeden. Wynalezienie „zera” przez kulturę indyjską dopełniło tej wysoce skutecznej notacji, która obecnie jest całkowicie uniwersalna.

Owa znana nam struktura przedstawiania liczb przypomina struktury lingwistyczne, gdzie względne położenie słów niesie informację. Języki zwykle mają reguły rządzące względny położeniem przymiotników i określanych przez nie rzeczowników. Rozpoznajemy wzorce zdań, dzięki czemu możemy zamieniać czasowniki i rzeczowniki, wstawiając je w odpowiednie miejsca w strukturze. Podobieństwa wśród różnych starożytnych systemów liczenia i notacji, jakich używano do zapisywania liczb, w znacznej mierze są przejawem naszego instynktu językowego. Fakt, że o ilościach najpierw trzeba było mówić, zanim zapisano je za pomocą symboli, nasuwa wniosek, iż sposób, w jaki o nich mówiono, wpływa na sposób ich zapisywania. Wydaje się, że początkowo liczby używano jak rzeczowników. Istniało słowo oznaczające trzy kamienie, inne oznaczało trzy patyki, a jeszcze inne trzy ryby.¹³ Koncepcja troistości zawsze wiązała się z tożsamością rzeczy. To prowadzi do nadmiaru terminów i symboli. Pomyślmy tylko o liczbach jako o przymiotnikach, a już język nabiera płynności, dzięki wprowadzeniu jednego słowa oznaczającego „trzy”, które ustawiamy obok określenia dowolnej rzeczy, *które*] ilość chcemy określić.

Jeśli koncepcja ta jest prawdziwa, to mamy wyjaśnienie, w jaki sposób narodziły się nasze zdolności rachunkowe, wykorzystując te same ścieżki, które wykształciły się dla potrzeb języka. Liczenie doprowadziło w końcu do powstania matematyki. Nasz zapis matematyczny, podobnie jak pojęcia matematyczne, pojawiły się więc jako produkt uboczny instynktownej inteligencji związanej z inną działalnością.

Sztuka współczesna i śmierć kultury

Modne formy opartowskie i popartowskie dzisiejszej nie-sztuki tyle mają wspólnego z [...] kipiącą życiem twórczością [...] co dźwięk rozmyślnego pierdnienia i solo na trąbkę Purcella.

LEWIS MUMFORD¹⁴

Gunter Stent uważał, że przesłanką do jego hipotezy samoograniczającej się natury nauki mogło być to, co działo się w sztuce. Jak wielu innych z jego pokolenia i europejskiego tła kulturowego został zwiedziony przez kierunek, jaki obrała sztuka. Zauważył on, że wielu komentatorów (niektórzy nawet ze społeczności artystycznej) sądzi, iż sztuka nie jest już „rzeczywistą” sztuką, a zaledwie pewną formą rozbuchanych emocji. Chcąc ująć to dokładniej, Stent starał się interpretować obecny stan rzeczy jako efekt końcowy procesu ewolucyjnego, który stale zmniejszał ograniczenia kompozycyjne, nakładane na artystę. W ciągu wieków pojawiały się nowe materiały i środki, poszerzające możliwości ekspresyjne twórczości. Jednocześnie znikły stopniowo restrykcje, określające, co można przedstawiać, a co nie, oraz jak to należy robić. Kiedy zmalał nacisk ze strony konwencji, techniki czy indywidualnych preferencji, powstające struktury są mniej formalne pod względem wzornictwa, bliższe formom losowym i trudniejsze do odróżnienia od dzieł innych osób, pracujących w podobnej wolności od nacisku.

Jedną z charakterystycznych cech preferowanej we wszystkich kulturach muzyki jest sposób, w jaki łączy ona sekwencje dźwięków, tworząc optymalną równowagę między niespodzianką a przewidywalnością. Zbyt wielkie zaskoczenia i mamy niezajmujący przypadkowy hałas; zbyt wiele przewidywalności i nasze umysły szybko się nużą. Szczęśliwy środek leży gdzieś pośrodku. Ów intuicyjny obraz można oprzeć na mocniejszej podstawie. Kilka lat temu dwóch fizyków z Berkeley, Richard Voss i John Clarke, odkryli, że muzyka ma szczególną postać spektralną.¹⁵ Spektrum sekwencji dźwięków to obraz rozkładu natężenia dźwięku na różne częstotliwości. Clarke i Voss odkryli, że wszystkie badane przez nich formy muzyczne mają charakterystyczne spektrum zwane przez inżynierów „szumem 1/r”, odzwierciedlające doskonałą równowagę między nieprzewidywalnością a przewidywalnością - w sekwencji dźwięków istnieją korelacje między wszystkimi interwałami czasowymi.

Możemy nieco rozszerzyć tę charakteryzację muzyki, stosując ją do stylu kompozycji. Kiedy styl utworu muzycznego jest skrepowany przez liczne regu-

ły dotyczące kompozycji i wykonania, otrzymamy dzieło o wiele bardziej przewidywalne niż kiedy styl jest wolny od ograniczeń. Słuchacz nie otrzymuje wówczas zbyt wiele nowych informacji ponad tę, która kreuje ramy stylistyczne. Z drugiej strony, jeśli styl utworu ma zbyt mało reguł, nieprzewidywalność sekwencji dźwięków może być za duża. Trudno uzyskać natychmiastową akceptację słabych układów probabilistycznych dźwięków, więc efekt będzie postrzegany jako mniej atrakcyjny niż optymalny wzorzec spektralny *Mi*.

Stent twierdzi, że muzyka musi ewoluować w kierunku większej swobody stylu. Z uwagi na kumulatywną naturę uprzednio stworzonych dzieł i coraz wyższe wymagania słuchaczy, jest to jedyny kierunek, w którym można iść. Poczynając od maksymalnej sztywności rytmicznego bębnienia w czasach starożytnych, muzyka kolejno wyczerpywała poszczególne poziomy ograniczeń, po czym je rozluźniała i przenosiła się na nowy poziom swobody ekspresji. Na każdym etapie, od starożytności do średniowiecza, renesansu, baroku, romantyzmu po style atonalne i nowoczesne, ewolucja schodziła w dół drabiny coraz luźniejszych reguł, a każdy następny krok w dół, spowodowany był wyczerpaniem się repertuaru poprzedniego poziomu.

Ewolucja ta należy do takich, które z biegiem czasu zwiększają wyrafinowanie przetwarzania informacji. Wynalazek notacji muzycznych oraz nowe środki zapisywania i odtwarzania muzyki w warunkach domowych bardzo przyśpieszyły ów proces, co dało jeszcze więcej możliwości rozwoju z dala od ograniczeń przeciętnych gustów. Kulminacja z lat sześćdziesiątych XX wieku to okres, kiedy kompozytorzy tacy jak John Cage, rezygnowali z wszelkich ograniczeń, pozostawiając słuchaczom swobodę kreacji na podstawie tego, co słyszą

- było to coś w rodzaju muzycznego testu Rorschacha. Zamiast przekazywać satysfakcjonujące wzory muzyczne, starali się wywołać transcendentalne doświadczenie. Ich muzyka nie wprowadza interpretacji w postaci skorelowanych czasowych sekwencji dźwięków; ona po prostu jest. Odróżnienie muzyki od hałasu całkowicie zależy od kontekstu; czasem jest wręcz niemożliwe, a nawet niepożądane.

Inne rodzaje działalności twórczej, jak architektura, poezja, malarstwo i rzeźba miały tę samą tendencję odchodzenia od ograniczeń. Stent podejrzewał, że wszystkie one były bardzo bliskie osiągnięcia asymptoty stylistycznej ewolucji

- ostatecznego stanu bezstrukturalnego, wymagającego czysto subiektywnej reakcji odbiorcy. Muzykolog Leonard Meyer przepowiadał, że

nadchodząca epoka (jeśli już w niej nie żyjemy) będzie okresem „stylosta-zy”, okresem charakteryzującym się nie linearnym, kumulatywnym rozwojem pojedynczego stylu podstawowego, lecz czasem koegzystencji wielości bardzo odmiennych stylów w stacjonarnym stanie fluktuacji i dynamizmu.¹⁶

Alternatywą tego wizerunku rozpadu i rozproszenia jest ewolucja cykliczna, w której style z przeszłości zostają wskrzeszone i ponownie wykorzystane. Jeśli taka forma sztuki, jak muzyka popularna, wykazuje stały rozwój techniczny w dziedzinie wytwarzania i przetwarzania dźwięku, to taki recykling starego materiału może być bardzo kuszący. Z pewnością też jest bardzo rozpowszechniony.

Ów pesymistyczny obraz ewolucji sztuki, dla uproszczenia odniesiony tylko do rozwoju muzyki, powraca coraz słabiej, w obliczu udanej eksploracji poszczególnych stopni skrępowanej twórczej ekspresji. Aby wyrwać się z jego szponów, sztuka indywidualna musi się umocnić. Należy podsycać różnorodność. To powinno dać nam przerwę na pomyślenie, gdyż rozwój wielu innych dziedzin technicznych i społecznych, powoduje coś wręcz przeciwnego. Bardziej rozwinięta współpraca i łatwiejsza łączność między ludźmi a organizacjami, to dla nas miara postępu. Jednakże jeśli taka szeroka współpraca ma miejsce w twórczości artystycznej, istnieje też niebezpieczeństwo, że zginie różnorodność. Do tego zagadnienia powrócimy nieco dalej w tym rozdziale, kiedy zbadamy wpływ sztucznych umysłów na nasz własny.

Dopasowywanie złożoności - wspinaczka na Górę Nieprawdopodobieństwa

Mózg to trzyfuntowa masa, którą można zmieścić w dtoni, zawierająca wszechświat o średnicy stu miliardów lat świetlnych.

MARIAN DIAMOND

Nasze dążenie do zrozumienia struktury Wszechświata oraz rządzących nim zasad może zakończyć się sukcesem lub porażką. Nie ma gwarancji. Wynik zależy od stopnia dopasowania skomplikowania ludzkiego mózgu do skomplikowania Wszechświata. Jako że dopasowanie takie wydaje się nieprawdopodobne, możemy oczekiwać, iż nasze umysły albo okażą się za słabe, albo znacznie przekroczą moc wymaganą do zrozumienia Wszechświata. Dobre dopasowanie to byłby za piękny zbieg okoliczności.

Fakt, że nasze umysły rozwinęły się w ramach procesu adaptacyjnego oznacza, że nasz poziom mentalnego skomplikowania został wymuszony przez konkretne problemy, jakie stawiał przed nami świat rzeczywisty. Zdolność rozwiązywania ich lepiej niż robili to konkurenci dawała przewagę, więc ruszyła selekcja. Gdyby to było wszystko, to szybko doszlibyśmy do wniosku, że nasze umysły zetknęły się tylko z maleńką cząstką naturalnych struktur Przyrody, nie mogą więc być na takim poziomie, by ułożyć całą układankę. No, ale nic nie jest aż tak proste. Nasze umysły wydają się

o wiele potężniejsze niż to konieczne do samego przeżycia. Posiadamy wiele umiejętności, które nie są tylko odrobinę lepsze od umiejętności innych żywych istot. Jesteśmy o wiele dalej od nich; odległość ta jest

tak wielka, że obecnie przekroczyliśmy ewolucję wykorzystującą mechanizm doboru naturalnego. Potrafimy wykorzystać wyobraźnię do symulowania rezultatów naszych działań. Nie musimy uczyć się tylko na swoich błędach, przekazując następnym pokoleniom zdobyte informacje wyłącznie drogą genetyczną; możemy przekazywać je z ust do ust, przez fale głosowe, przez Internet lub drukiem. Informacja ta może mieć wpływ na każdego członka gatunku, który ją słyszy. Czas potrzebny na przekazanie informacji jest obecnie bardzo krótki, a jej wpływ niezwykle rozległy.

Pomimo tego niezwyklego stanu rzeczy, który pojawił się całkiem nagle w pewnym momencie naszej historii, z przyczyn do dziś niejasnych,¹⁷ jesteśmy w oczywisty sposób ograniczeni. Skonstruowaliśmy komputery elektroniczne, umiające liczyć o wiele szybciej i sprawniej niż my. Zaczynamy już przeczuwać, że niektóre przyszłe generacje maszyn mogą przyćmić nas także w wielu innych dziedzinach. Kiedy próbujemy ekstrapolować ludzką wiedzę w daleką przyszłość, wydaje się jasne, że sztuczne formy inteligencji rozwiną się o wiele gwałtowniej niż nasze wewnętrzne zdolności psychiczne. Te ostatnie mogą nawet się zmniejszyć w pewnych dziedzinach, gdyż obecnie nie musimy już wykorzystywać niektórych umiejętności, będących niegdyś w codziennym użyciu. Szybkie pamięciowe liczenie szybko zanika wśród młodych ludzi - skutecznie wyparty je kalkulatory. Trzydzieści lat temu dziecko, które chciało w weekendy dorabiać w sklepie, musiało przejść sprawdzian na dokładność i szybkość pamięciowego liczenia. Obecnie wszystkie towary przesuwają się nad skanerem, a drukarka wydaje gotowy rachunek - wyliczona zostaje nawet reszta.

Rozwój systemów sztucznej inteligencji i potężnych komputerów widziany w ten sposób, wydaje się następnym decydującym krokiem w procesie ewolucji, podobnie jak ewolucja języka. Mowa pozwala nam rozwijać rozległe interakcje między jednostkami, gromadzić informacje i doświadczenia, a także uczyć się szybciej niż gdybyśmy żyli i uczyli się w izolacji. Ewolucja cywilizacji świadczy o ciągłych poszukiwaniach coraz lepszych środków komunikacji. W erze techniki nasze największe odkrycia dotyczyły środków niemal natychmiastowego przekazywania informacji na wielkie odległości. Fale radiowe, telefony, włókna optyczne, Internet, satelitarne systemy komunikacyjne - wszystko to pozwala, by więcej umysłów zajmowało się większą liczbą problemów, w krótszym czasie niż kiedykolwiek przedtem. Niedaleki jest już czas, kiedy wszystkie komputery na planecie zostaną prosto i tanio połączone w sieć globalną. Osiągnięcia te mogą spowodować, że komputerowa przyszłość będzie bardzo odmienna od tej, jaką przewidywali futurologowie nie tak dawno temu. W 1943 roku Thomas Watson, prezes IBM powiedział: „Sądzę, że na świecie jest rynek może dla pięciu komputerów.” Jeszcze w 1977 roku Ken Olsen, założyciel i prezes Digital Equipment Corporation (DEC) był przekonany, że: „nie ma powodu, by każdy miał komputer w domu.”

Wszyscy spodziewali się, że komputery będą coraz większe i coraz potężniejsze (a także coraz droższe). Ale stało się całkiem inaczej. Komputery są coraz mniejsze i tańsze (i coraz tańsze). Ma je też coraz więcej ludzi, a ich skuteczność niesamowicie wzrasta, kiedy połączy się je w olbrzymie sieci. Podobnie niewiele pozostało do osiągnięcia w dalszej ewolucji zdolności intelektualnych pojedynczych mózgów. Kiedy osiągnęły one poziom skomplikowania wystarczająco głęboki, by docenić efekty współpracy, to uzyskane w ten sposób korzyści niebotycznie przewyższyły te, jakie dałoby się osiągnąć zwiększając moc pojedynczych mózgów. W każdym skomplikowanym systemie najważniejszą rzeczą jest nie rozmiar poszczególnych składowych, lecz liczba wzajemnych powiązań między nimi. Liczba ta wzrasta bardzo szybko, kiedy rośnie liczba połączonych punktów. Rysunek 4.3 pokazuje, że liczba możliwych połączeń między sześcioma punktami jest o wiele większa niż liczba połączeń w dwóch oddzielnych zbiorach składających się z trzech elementów.

Tak więc, nawet nie zwiększając spekulatywnych (choć nie niemożliwych do spełnienia) oczekiwań odnośnie naszej zdolności znalezienia szybszych i tańszych urządzeń obliczeniowych, możemy się spodziewać, że w przyszłości sieci komputerowe pozwolą na symulację i rozwiązywanie problemów o wielkim stopniu skomplikowania. Wewnętrzne skomplikowanie programów oraz zdolność komputerów do samoprogramowania się, dzięki której będą się one same uczyć, stopniowo zbliżą się do poziomu skomplikowania fizycznych problemów,

jakie podejmiemy się rozwiązać, I tu należałoby się zastanowić, co rozumie się pod sformułowaniem, że komputery „rozwiązały” problem. Kiedy wprowadzimy wiele danych wejściowych i zasad liczenia, powinniśmy uznać, że nieważne, jak skomplikowana jest droga do danych wyjściowych, jeśli zgadzają się one z tym, co widzimy, poznaliśmy

rozwiązanie postawionego problemu.

Zapewne rozumowanie takie zadowoli nas, jeśli komputer wykonuje dla nas wiele prostych działań, których wynik łatwo potrafimy wizualizować. Jeśli jednak komputer ma przeprowadzić długi proces obliczeniowy, składający się z kroków o takim stopniu skomplikowania, że nie potrafimy w pełni ogarnąć ich wyników, wówczas zaczynamy się zastanawiać, czemu tak naprawdę odpowiada nasze „rozumienie”. Pełna symulacja skomplikowanego zjawiska natury wymagałaby programu o stopniu skomplikowania porównywalnym ze skomplikowaniem badanej rzeczy. Przypomina to posiadanie mapy w skali 1:1, tak wielkiej jak opisywane terytorium - niezwykle dokładnej, ale niezbyt użytecznej i okropnie trudnej do składania.

Rozważania te pozwalają nam lepiej zrozumieć, dlaczego nasze umysły mogą okazać się za małe w stosunku do tego, co trzeba by mieć, żeby zrozumieć wszechświat - nawet maleńkie jego części. Może się w końcu okazać, że nasze umysły nie potrafią ogarnąć pewnych pojęć leżących u samych podstaw rzeczywistości. Jesteśmy ograniczeni przez naszą ewolucyjną historię i wrodzone umiejętności lingwistyczne (które niewiele się różnią u poszczególnych osób), i możemy uznać za wielkie szczęście, jeśli okażemy się wystarczająco bystrzy, by przyswoić sobie wszystkie koncepcje potrzebne na przykład do sformułowania prawdziwej Teorii Wszystkiego. Parafrazując J. B. S. Haldane'a, Wszechświat może być nie tylko dziwniejszy niż sobie wyobrażamy, on może być dziwniejszy niż potrafimy sobie wyobrazić.

Nasze zdolności mentalne narodziły się na długo przedtem, zanim w naszych umysłach pojawiły się pojęcia współczesnej fizyki. Naszą jedyną nadzieją na poradzenie sobie z tym jest mieć nadzieję, że pojęcia abstrakcyjne zawsze dadzą się podzielić na zestaw prostszych idei. Choć bez trudu wyobrażamy sobie, iż zawsze będziemy umieli radzić sobie z nowymi koncepcjami, coraz lepiej widać, że struktury matematyczne wykorzystywane u granic teorii cząstek elementarnych stają się coraz mniej dostępne - nawet dla fizyków. Liczba osób potrafiących pojąć matematyczną strukturę teorii superstrun jest stosunkowo niewielka, i wystarczy, że struktury te staną się tylko odrobinę bardziej skomplikowane, żeby liczba ta zmalowała do zera.

Obecnie w modzie jest pogląd, że istnieje jakieś „dno” fizyki cząstek elementarnych - podstawowy zestaw niewidocznych obiektów funkcjonujących zgodnie z kilkoma matematycznymi regułami, za pomocą których wszystko inne da się w zasadzie opisać. Jednak świat nie musi tak wyglądać. Podobnie jak rosyjskie matrioszki chowają się jedna w drugą, tak może istnieć niekończący się ciąg poziomów skomplikowania słabo widoczny (lub wcale) na niższym poziomie. Jeśli tak właśnie jest, to jesteśmy tak samo daleko od poznania całości, jak zawsze byliśmy i zawsze będziemy.

Bardziej ograniczającą niż to ograniczenie pojęciowe, może być nasza niezdolność do wizualizowania i koordynowania dużych skomplikowanych struktur. Szybkie komputery wprowadzą nas w nowy świat trudnych problemów. Jak dotąd strawiliśmy tysiące lat budując naszą wiedzę o prostych strukturach Natury i logiki. Proste struktury to takie, które można zbudować w elementarny sposób, z podstawowych komponentów w małej liczbie kroków. „Mały” i „elementarny” oznaczają tu pióro i ołówek lub inne proste przybory do liczenia. Rzadko interesowaliśmy się problemami, których najkrótsze rozwiązanie byłoby niesamowicie długie. Matematyka, jaką znamy i stosujemy, mieści się w wąskich granicach. Przypuszczalnie najgłębsze dociekania są najdłuższe. To tak, jak że wspinaniem się na wysoką górę. Bez wyposażenia nie można dojść daleko; wspinacz wyposażony w liny i inny ekwipunek dojdzie o wiele dalej. Przy czym największe wysokości wymagają jeszcze więcej sztucznych elementów pomocniczych: butli z tlenem, specjalnej odzieży i pożywienia. Może jednak istnieć góra tak wysoka, że zaopatrzenie i ekwipunek, potrzebne by się na nią wspiąć, okazały się niemożliwe do zabrania w drogę.

Niepodatność

A synowie Izraela rozradzali się, pomnażali, potężnieli i umacniali się coraz bardziej, także cały kraj się nimi napętnił.

Rozstrzygnięcie, jak trudny może okazać się dany problem, jest rzeczą raczej subiektywną. To, co jedna osoba uzna za łatwe, dla innej może być trudne. Na szczęście to nie wszystko, co można na ten temat powiedzieć. Przez ostatnie 25 lat naukowcy informatycy starali się opracować klasyfikację problemów ze względu na trudności, jakie mogą one sprawiać komputerom. To zaś doprowadziło do rozróżnienia między zadaniami, niemożliwymi do rozwiązania z zasady, o których dowiemy się więcej w Rozdziale I', oraz zadaniami „niemożliwymi ze względów praktycznych”. Przez „praktycznie niemożliwe” rozumiemy, że rozwiązanie takiego zadania wymagało niezwykle długiego czasu nawet przy zastosowaniu najszybszego programu, jaki dałoby się napisać. O takich problemach mówi się ogólnie jako o „niepodatnych”. Typowym ich przykładem jest tzw. problem komiwojażera. Przypuśćmy, że komiwojażer musi odwiedzić N różnych miast; mając spis owych miast i ich wzajemne odległości, znajdziemy optymalną trasę, która

zminimalizuje drogę, jaką komiwojażer musi przebyć. Kiedy

liczba miast do odwiedzenia jest niewielka, łatwo rozwiązać problem, wypróbując alternatywne drogi. Na rys. 4.4 pokazano prosty przykład sześciu miast, z wytyczoną najkrótszą drogą. Jeśli jednak zaczniemy zwiększać N , wraz z nim gwałtownie wzrasta czas potrzebny na sprawdzenie wszystkich dróg. Jak dotąd nie znamy ogólnego przepisu na szukanie optymalnej drogi dla komiwojażera. Na rys. 4.5 przedstawiono największą liczbę punktów, dla której problem rozwiązano. Przy czym rozwiązanie to okazuje się bardzo ważne. Nie jest to już bowiem droga komiwojażera wędrującego od miasta do miasta, ale plan połączeń na obwodzie drukowanym komputera, minimalizujący czas i zużyta energię. Liczba produkowanych obwodów drukowanych jest tak wielka, że wszelkie usprawnienia zmniejszające czas produkcji przekładają się na wymierne korzyści materialne w postaci oszczędności finansowych.

Istnieje wiele innych, podobnych problemów kombinatorycznych - na przykład odpowiednie przydzielenie nauczycieli do klas w szkolnym planie lekcji czy też znalezienie najmniejszej objętości, w jakiej można zmieścić zbiór danych obiektów o różnych kształtach i wielkościach.

Rozważmy jeszcze dwa zagadnienia, które powiedzą nam coś więcej o tym, jak ciężko musimy pracować, żeby rozwiązać problemy możliwe do rozwiązania. Jako pierwszy, omówimy małą układankę (rys. 4.6). Jest to kostka Rubika dla ubogich. Składa się z dziewięciu kwadratowych kart, na których narysowano po cztery połówki różnokolorowych małych. Chodzi o to, żeby znaleźć takie ułożenie kart, w którym wszystkie połówki małych będą do siebie dopasowane. Komputerowy algorytm dla tego zadania będzie musiał sprawdzić $9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 362\,880$ konfiguracji. Taką liczbę nazywa-

my „dziewięć silnia” i przedstawiamy symbolicznie jako $9!$. Liczby takie rosną bardzo szybko. Wartość $36!$ zawiera 41 cyfr, a komputer, sprawdzający taką liczbę możliwości w tempie miliona na sekundę, musiałby pracować ponad jedenaście miliardów miliardów lat. To w oczywisty sposób „praktyczna” niemożliwość.

Drugi przykład to starożytny problem wieży Hanoi. Po raz pierwszy postawił go matematykom Walter Rouse Ball, angielski koneser problemów matematycznych, który wysnuł go z następującej legendy:

W wielkiej świątyni w Benares ... pod kopułą wyznaczającą centrum świata, spoczywa mosiężna płyta, na której zamocowano trzy diamentowe igły, każda wysoka na łokieć i gruba jak pszczoła. Na jedną z tych igieł w dniach

stworzenia Bóg nałożył 64 dyski z czystego złota - największy z nich spoczywa na mosiężnej płycie, a każdy następny jest mniejszy i spoczywa na wierzchu poprzedniego. Jest to Wieża Brahmy. Dzień i noc nieustannie kapłani przekładają dyski z jednej diamentowej igły na drugą [...] [w taki sposób, że za jednym razem można przełożyć tylko jeden dysk i nie można położyć większego dysku na mniejszy] [...]. Kiedy wszystkie dyski zostaną w ten sposób przełożone z igły, na której w dniach stworzenia umieścił je Bóg, na jedną z pozostałych dwóch igieł, wówczas wieża, świątynia i bramini rozpadną się w pył i świat zniknie z hukiem gromu.

Sytuację początkową przedstawiono na rys. 4.7. Pomysłowy twórca tego zadania z całą pewnością chciał zająć kapłanów na bardzo długi czas. Jeśli bowiem liczba dysków wynosi N , to nie można dokonać przeniesienia ich na inną z trzech igieł, z zachowaniem zasady, że „za jednym razem można przełożyć tylko jeden dysk” i „nie kładziemy dysków większych na mniejsze” w liczbie ruchów mniejszej niż $2^N - 1$ ruchów.²² W naszym przypadku, kiedy $N = 64$, nawet jeśli przekładamy dyski z prędkością jednego ruchu na sekundę, nie skończymy wcześniej niż za 10^{44} miliardów lat! Dla porównania Wszechświat rozszerza się krócej niż 10^{11} lat. Nawet gdybyśmy zminiaturyzowali operację przekładania i wykorzystali komputer pracujący z szybkością miliarda ruchów na sekundę, to i tak cała operacja trwałaby 10^{44} lat.

Oba te problemy stanowią przykład sytuacji, w której algorytm potrzebny do rozwiązania rośnie szybciej niż dowolna potęga liczby N (czyli szybciej niż N do potęgi k dla dowolnej liczby naturalnej k), kiedy wzrasta N , czyli liczba składników zaangażowanych w operację. Problemy, których trudność rośnie jak któraś z potęg liczby N , zalicza się do kategorii

zwanej klasą P, od angielskiego słowa *polynomial* (wielomianowy), by podkreślić, że czas ich rozwiązania zależy jedynie od pewnej potęgi ich wielkości N. Ktoś mógłby uznać takie problemy za „łatwe”. Należy do nich większość zadań, do wykonania których zaprzęgamy kalkulatory lub komputery, takie jak dodawanie kolumn liczb lub adresowanie kopert dla wielu adresatów, z wykorzystaniem funkcji adresowej. Ani mała układanka, ani wieże Hanoi nie należą do klasy P, gdyż 2^N i $N!$ rosną szybciej niż N^k dla dowolnej wartości k, jeśli N jest bardzo duże.

Rysunek 4.8 daje pewne wskazówki, jak szybko zwiększają się niektóre omawiane przez nas liczby, kiedy rośnie N.

Trudniejsze problemy klasyfikuje się jako NP, od angielskiego określenia *non-deterministic polynomial*, jeśli ich rozwiązania nie można zweryfikować w czasie wielomianowym.²³ Najbardziej stroma krzywa na rys. 4.8 charakteryzuje wzrost w przypadku problemów NP. Zauważmy, że we wszystkich podanych przykładach skoncentrowaliśmy się tylko na czasie znalezienia rozwiązania; nie powiedzieliśmy nic o pojemności pamięci, potrzebnej do przechowania informacji wygenerowanej w trakcie obliczeń. Nawet najskromniejsze obliczenie (algorytm), którego wyniki rosną w tempie 2^N , wraz ze wzrostem liczby kroków N, szybko będzie potrzebować całego widzialnego wszechświata, żeby zapisać tymczasową informację obliczeniową, nawet jeśli jeden bit informacji zapisze się na jednym protonie. A we wszechświecie jest tylko 10^{79} protonów.

W praktyce bardzo trudno dowieść, że jakiś problem nie da się rozwiązać w wielomianowym czasie (przykłady, które podaliśmy, należą do bardzo prostych). Obecnie nie ma więcej niż około tysiąca problemów podejrzanym

o przynależność do klasy NP. Jednym z wielkich nierozwiązanych problemów współczesnej matematyki jest ustalenie, czy któryś z problemów NP nie okaże się problemem P - a więc czy nie da się znaleźć rozwiązania w wielomianowym czasie, jeśli do sprawdzenia, czy jest ono prawdziwe, wystarczy czas wielomianowy.

Zaskakujące, że wszystkie znane problemy NP, okazują się bardzo podobne w swojej wewnętrznej trudności. W 1970 roku Stephen Cook, wówczas absolwent Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, dokonał wielkiego odkrycia - wykazał mianowicie, że wszystkie problemy NP można powiązać z jednym i tym samym problemem logicznym, stosując ogólną procedurę transformacji, którą można przeprowadzić w czasie wielomianowym.²⁴ Oznacza to, że jeśli ktokol-

wiek znajdzie sposób na szybkie rozwiązanie któregośkolwiek z problemów NP, to będzie możliwe szybkie rozwiązanie wszystkich problemów NP.

Niepodatność to kłopotliwy problem także w biologii molekularnej. Otóż każdy żywy organizm zawiera białka, utworzone z łańcuchów aminokwasów, przypominających sznury koralu. Kiedy aminokwasy znajdują się we właściwym porządku, DNA dostarcza informacji określającej, w jaki sposób cząsteczka białka ma się zwinąć, tworząc skomplikowaną trójwymiarową strukturę. Proces ten nazywa się zwijaniem białek. Na rys. 4.9 pokazano przykładową zwiniętą cząsteczkę.²⁵

Problem, który chcieliby rozwiązać biolodzy molekularni jest następujący: jeśli mamy dany linearny łańcuch aminokwasów, jaka będzie jego ostateczna trójwymiarowa konfiguracja, kiedy się zwinie? Niesamowite jest to, że łańcuchy zawierające kilka tysięcy aminokwasów zwijają się w swój ostateczny kształt w ciągu mniej więcej jednej sekundy. Uważa się, że ostateczny kształt cząsteczki białka to taki, który minimalizuje energię potrzebną do podtrzymania jego struktury. Kiedy jednak próbujemy zaprogramować komputer, żeby zwinął białko, okazuje się to niemożliwe. Jeśli w cząsteczce jest tylko 100 aminokwasów, zwinienie jej zajęłoby komputerowi ponad 10^{27} lat! A problem, okazuje się, jest jeszcze głębszy - w 1993 roku matematyk Aviezi Fraenkel wykazał, że sformułowanie problemu zwijania białek jest typu NP, a więc równie niepoddające się rozwiązaniu jak problem komiwojażera.²⁶ Inne badania, z wykorzystaniem programowanego rozumowania heurystycznego, rozszerzającego zasięg badań komputerowych, przeprowadził George Rosę i jego współpracownicy.²⁷ Wprowadzili rozmaite proste zasady, by pomóc białku się zwinąć - podali komputerowi proste reguły chemiczne, dzięki czemu nie musiał on sprawdzać wszystkich możliwości. Za pomocą tej techniki można przewidzieć większą część struktury zwiniętego białka. Wydaje się, że albo proces doboru naturalnego promował systemy żywe zbudowane z białek, które szczególnie łatwo się zwijają, albo problem zwijania białek nie musiał być rozwiązany przez Naturę z doskonałą dokładnością. Wystarczyło więc powtarzać proces mniej więcej jednakowo. Białka, dla których niewielkie niedokładności okazały się śmiertelne, po prostu nie przetrwały. Inni badacze sugerują, że być może Natura przeprowadza swoje obliczenia w sposób równoległy, jak komputer „kwantowy”, a nie liniowo, jak my.²⁸

Niepodatność na rozwiązanie problemów, które łatwo postawić, jak na przykład znalezienie najmniejszych dzielników bardzo dużych liczb, jest obecnie tak wielka, że stanowią one bazę całej nowoczesnej sztuki szyfrowania.²⁹ Aby złamać szyfr wystarczy tylko znaleźć dwie wielkie liczby pierwsze, które pomnożone przez siebie

dadzą liczbę mającą powiedzieć sto cyfr. Rozwiązanie tego zadania wymaga tak długiego czasu pracy komputera, że dany szyfr jest praktycznie całkowicie bezpieczny. Największa jak dotąd liczba, którą rozłożono na

dwa czynniki pierwsze, ma 167 cyfr. Jej dzielniki mają 80 i 86 cyfr. Znalezienie ich zajęło Samuelowi Wagstaffowi i jego kolegom z Uniwersytetu Indiany 100 tysięcy godzin czasu komputerowego.³⁰ Wynik przedstawiono na rys. 4.10.

Przedstawione przykłady dają nam pewien pogląd na to, czym jest nie-podatność, kiedy do atakowania trudnych problemów korzystamy z pomocy komputerów (lub jakichś innych urządzeń liczących). Nieważne, jak zaawansowana staje się nasza technika komputerowa, gdyż stawiane zadania mogą być astronomicznie długie (jest to pewne niedopowiedzenie, gdyż w naszej galaktyce jest tylko około 10^{11} gwiazd i mniej więcej tyle samo galaktyk zawiera się w widzialnym Wszechświecie). Być może przyjdzie nam się zmierzyć z zadaniem przełamania kodu, który wszechświat użył, żeby zakodować informację. Być może prawa Natury przekształcają początkowy stan Wszechświata w skomplikowany stan przyszły w taki sposób, że nawet jeśli znamy zarówno te prawa, jak i to, co się zmienia, oraz stan obecny, nie potrafimy odwrócić procesu i wy-dedukować, jaki był stan początkowy, gdyż obliczenia są „niepodatne”.

Problem ten zaczyna się jako niedociągnięcie ludzkiego umysłu. Doskonale zdajemy sobie sprawę, że istnieją obliczenia, których zasada jest prosta, ale które wymagają tak długiego czasu, iż w praktyce ich wykonanie jest niemożliwe dla „nieuzbrojonego” ludzkiego umysłu (spróbujmy spisać pierwsze dwa miliony liczby naturalnych, używając pióra i papieru). Rozwój komputerów niewiele zmienia. Nawet jeśli połączymy w sieć olbrzymią liczbę tych urządzeń, może się okazać, że pełne zrozumienie skomplikowanego zjawiska w wielu naturalnych sytuacjach zajmie więcej czasu, niż możemy poświęcić na ich analizowanie. Życie jest krótkie, a obliczenia czasem bardzo, bardzo długie.

Duch pogranicza

Jednakże w górach nawet Nowogwinejczycy nie potrafią znaleźć dziko rosnącego pożywienia w ilości dostatecznej do przeżycia. [...] A zatem przed nadejściem epoki samolotów, które umożliwiły dokonywanie zrzutów z powietrza, wszystkie ekspedycje nowogwinejskie, penetrujące głębiej niż na odległość siedmio-milowego marszu od wybrzeża [...] czyniły to zakładając magazyny żywności w głębi łąd przy pomocy zespołów tragarzy wędrujących tam i / powrotem

JARED DIAMOND

Stając w obliczu problemu, czy człowiek jest zdolny poradzić sobie ze stale narastającą wiedzą, należy wziąć pod uwagę ewentualność pojawienia się wzajemnie powiązanych inteligencji, o połączonej zdolności gromadzenia informacji oraz jej przetwarzania. Jeśli po prostu wyobrazimy sobie, że obecne tempo gromadzenia wiedzy jeszcze się zwiększy, to wygląda na to, że zbliżamy się do kryzysu ludzkich możliwości. Obecnie trzeba około sześciu lat gimnazjum i szkoły średniej, a następnie trzech lat studiów uniwersyteckich, żeby studenci zaczęli rozumieć, co dzieje się na którymś z przyczółków nauk matematycznych. Następnie trzeba około dwóch, trzech lat, żeby potrafili oni dodać swój wkład w tę naukę. Oczywiście ten tok edukacji nie został zoptymalizowany dla potrzeb badań naukowych - musi obejmować wszystkich ludzi. Widać więc, że potrzeba dłuższego czasu i znacznego wysiłku, żeby dotrzeć na którąś z pierwszych linii ludzkiego poznania. Większość studentów nigdy nie dociera nawet w ich pobliże. Jednakże nasza wiedza pogłębia się i poszerza, więc dłużej będzie trwało dotarcie na pogranicze. Sytuacji tej można zaradzić tylko zwiększając specjalizację, a wówczas celem jest coraz mniejszy odcinek pogranicza, albo wydłużając okres nauki i nowicjatu. Żadna z tych opcji nie jest w pełni satysfakcjonująca. Rosnąca specjalizacja rozbija nasze pojmowanie Wszechświata. Wydłużenie okresu treningu może spowodować stratę wielu twórczych jednostek, gdyż droga będzie zbyt długa, a jej zakończenie niepewne. A poza tym, zanim się zorientujemy, że nie interesują nas badania, może już być za późno, żeby zmienić zawód, gdyż wiele dziedzin będzie już niedostępnych. Jeszcze bardziej prawdopodobne jest to, że twórczy okres życia naukowego będzie o wiele krótszy niż czas potrzebny na przetrwanie tego, co już wiadomo i dotarcie na pogranicze.

Problem wzrostu i fragmentaryzacji wiedzy to jeden z tych, z którymi mamy do czynienia już teraz. Spójrzmy na aparat telefoniczny na biurku. Ilu ludzi wie wszystko, co trzeba wiedzieć, żeby wykonać działający telefon? W grę wchodzi akustyka, elektronika, wzornictwo i obróbka plastiku, reklama, księgowość, metaloplastyka, materiałoznawstwo, chemia, pakowanie itd. Nikt nie zna się na tym wszystkim w wystarczającym stopniu. To samo dotyczy któregokolwiek z

urządzeń,

których tak wiele jest w naszych domach: komputery, elektryczne maszyny do pisania, kuchenki mikrofalowe, sprzęt hi-fi, telewizory itp. Wszystko to są owoce naszego kolektywnego działania. Nauczyliśmy się koordynować pracę różnych specjalistów, dzięki czemu wynik ich działalności to coś więcej niż suma jej części. Jeśli chcielibyśmy, żeby specjalistą od produkcji i sprzedaży telefonów była jedna osoba, to telefony byłyby jeszcze bardzo nieliczne i prymitywne. Z nauką jest tak samo. Stała się ona w większej części działalnością kolektywną. Teoretycy rzadko przeprowadzają eksperymenty. Ważne eksperymenty i obserwacje prowadzą wielkie zespoły ludzi, obdarzonych odmiennymi talentami - menadżerów, inżynierów, fizyków, statystyków, informatyków i specjalistów od elektroniki. A gwałtowny rozwój nauki świadczy o wydajności takiej współpracy. Najbardziej kosztowne projekty naukowe, których celem jest przesunięcie granic astronomii, fizyki cząsteczkowej czy biologii molekularnej, są już tak skomplikowane i kosztowne, że wymagają wspólnego działania na skalę międzynarodową.

Taki stan rzeczy niesie perspektywę, że może uda nam się uniknąć problemu kurczenia się granic nauki, a także wzrostu wiedzy potrzebnej, by je osiągnąć, dzięki rozszerzaniu współpracy - podejmowanie pracy zespołowej, przy czym w zespołach tych z czasem komputery mogą stać się ważniejsze niż ludzie. Ów obraz przyszłej strategii, mającej na celu utrzymanie granic nauki w naszym zasięgu tak długo, jak to tylko możliwe, daje podstawy do optymizmu. Nauka jawi się jako przedmiot coraz rozleglejszej międzynarodowej współpracy. Można się w tym dopatrzeć wielu potencjalnych korzyści. Współpraca naukowa stała się już modelem cywilizowanych kontaktów międzyludzkich. Wielkie międzynarodowe przedsięwzięcia, takie jak podejmowane przez CERN badania w dziedzinie fizyki eksperymentalnej, są doskonale prowadzone i wolne od wielu przesądów oraz irracjonalnych koncepcji, tak charakterystycznych dla innych dziedzin międzynarodowej współpracy. Przypuszczalnie dlatego, że obejmują stosunkowo nieliczną grupę osób, zdążających do tego samego wspólnego celu. Lub może dlatego, że jest coś takiego w naukowej umysłowości, co wygładza wszystkie działania. Owa coraz bardziej rozwinięta współpraca przyszłości wydaje się rozwiązaniem wszystkich naszych kłopotów z fragmentaryzacją wiedzy i nadmierną specjalizacją. Jednakże, czy to naprawdę taka dobra perspektywa?

Koniec z różnorodnością

Przewidywanie przyszłości komputerów i form przetwarzania informacji to ryzykowny interes. Postęp jest szybki i nieoczekiwany dla niewinnych obserwatorów. Jednakże, kiedy przyjrzymy się obecnemu kierunkowi postępu, łatwo dostrzec

pewne wskazówki co do przyszłości. Gra nie idzie o to, by, jak trzydzieści lat temu przewidywali luminarze, budować coraz większe pojedyncze urządzenia zdolne do przetwarzania i gromadzenia coraz większej ilości bitów informacji. Nasze komputery są coraz mniejsze i tańsze. Rośnie za to wydajność sieci - tworzenie mocy wielkiego komputera poprzez sieć powiązań między coraz większą liczbą małych urządzeń. Natura była tu pierwsza. Jest to *wzorzec*, jaki rozwinął się w ludzkim mózgu i w innych skomplikowanych systemach świata przyrody. Niektóre, jak na przykład złożona organizacja kolonii mrówek, stawiają pod znakiem zapytania nasze poglądy na to, co składa się na gatunek lub żywy organizm. Dzięki wykształceniu kolonii, której członkowie mają rozmaite umiejętności i pełnią zróżnicowane funkcje, nastąpiła optymalizacja ogólnej skuteczności. Komputery i naukowcy starają się odkryć działanie mózgu i powtórzyć niektóre jego triki i sukcesy, możemy więc oczekiwać, że dowiemy się czegoś o sposobach, dzięki którym równoległe przesyłanie danych kanałami informacyjnymi działa szybciej i lepiej.

Odejdźmy teraz nieco od tematu i zajmijmy się szerszymi implikacjami ogólnego trendu do konstruowania sieci. Najbardziej znanym obecnie przykładem jest Internet oraz związana z nim sieć www. Wynalazek ten zmienił oblicze wielu ludzkich działań i zawodów. Sporo wprowadzonych przez to zmian jest pozytywnych. Uczniowie pracujący w krajach ekonomicznie słabszych mają obecnie możliwość ciągłego kontaktu z najnowszymi osiągnięciami w nauce i medycynie. W erze przedelektronicznej musieli oni prenumerować mnóstwo drogich czasopism w formie drukowanej. Teraz nowe odkrycia docierają do zainteresowanych niemal natychmiast. Grupy badawcze oszczędzają pieniądze na telefonach, faksach i przesyłkach pocztowych. Wideokonferencje, choć jeszcze niezbyt powszechne, dają szansę oszczędzenia na podróżach. Wydajność procesu naukowego niewątpliwie wzrosła. W mojej własnej dziedzinie lata pięćdziesiąte i sześćdziesiąte XX wieku to okres wyraźnego spowolnienia postępu - a stało się tak dlatego, że dwie wiodące w świecie grupy badawcze, w Princeton i Laboratoriach Bella nie wiedziały o wcześniejszych teoretycznych przewidywaniach istnienia w całym Wszechświecie mikrofalowego promieniowania tła. Dziś to raczej nie mogłoby się zdarzyć. Komunikacja jest szybsza, a jej zakres o wiele większy niż przedtem.

Coraz liczniejsze wzajemne powiązania dają wiele innych korzyści we wszystkich dziedzinach ludzkiej wiedzy. A jakie są jej słabe strony? Rzadko się o nich mówi, ale mimo że są niewielkie, jednak istnieją, a więc na dłuższą metę

mogą zacząć dominować nad korzyściami. Choć owe niekorzystne czynniki raczej nie zahamują dążenia człowieka do zdobywania wiedzy, nawet jeśli jakiś niekontrolowalny wirus komputerowy zniszczy wszystko, ani nie spowodują buksowania w miejscu z powodu nadmiernego wyeksploatowania, ale mogą sprowadzić ludzki postęp na określone ścieżki. Niezauważenie mogą zacząć dyktować rodzaj zadawanych pytań oraz uzyskiwanych odpowiedzi.

Jednym z najbardziej widocznych efektów globalnej łączności między uczonymi jest skłonność do organizowania rozległej międzynarodowej współpracy i wielkich grup badawczych. Ma to związek również z szerszymi (i często bardzo kontrowersyjnymi) aspiracjami politycznymi krajów rozwiniętych gospodarczo. Internet sprawia, że nie zwraca się uwagi na pokrewieństwo i skalę. Łatwo nakreślić wspólnie plany grup w różnych krajach. Unia Europejska próbowała wykorzystać to, zachęcając do stworzenia sieci badaczy z różnych krajów Europy, aby rozwinięci pod względem nauki członkowie Unii uczyli i wspomagali słabo rozwinięte kraje. Jednym z niekorzystnych skutków takiego działania, który z czasem może się zwielokrotnić, jest redukcja różnorodności punktów widzenia. Stopniowo każda dziedzina badawcza stanie się domeną pojedynczej grupy uczonych. Dawniej istniały oddzielne grupy w różnych częściach świata, które opracowywały własne podejście do problemów, zanim podjęły współpracę z innymi. To się zmieniło. Dziś wzmocniły się pojedyncze, centralne paradygmaty i młodzi badacze coraz bardziej wnikają się w szczegółowe elaboraty na ich temat. Efektem tego jest rosnąca specjalizacja. Wpływa to nie tylko na przedmiot badań, lecz także ich na styl. Kontakt interpersonalny zostaje zredukowany, a kontakt z książką i drukowanymi pismami zminimalizowany. Paradoksalnie trendy te mają wspólne konsekwencje - odbierają szansę odkrywania nowych rzeczy przypadkiem. Otóż czasopisma naukowe publikują mieszankę artykułów na tematy czasem nawet tak szerokie, jak „astronomia” lub „fizyka matematyczna”. Jeśli szukamy artykułu, który, jak pamiętamy, pojawił się gdzieś w połowie lat osiemdziesiątych XX wieku w „Societ Astronomy”, musimy przekopać się przez kilka tomów indeksu dziedzin lub autorów. Z mojego doświadczenia wynika niezmiennie, że proces takiego poszukiwania prowadzi do odkrywania innych interesujących rzeczy - niekiedy bezpośrednio związanych z moim obecnym zainteresowaniem, bądź też zaskakujących, lecz na razie nieprzydatnych, ale zapadających w pamięć do późniejszego wykorzystania. Natomiast komputerowe archiwa pozwalają na znalezienie potrzebnej rzeczy bez żadnego ryzyka niespodziewanego odkrycia. Podobnie rzecz się ma w odniesieniu do ludzi. Jeśli uzyskujemy szukaną informację z sieci komputerowej, mniej prawdopodobne, że będziemy starać się znaleźć jakieś osoby, które moglibyśmy spytać o to, co nas nurtuje. Dostęp do komputerów jest tak łatwy, natomiast wyszukiwanie osób do dyskusji wymaga wysiłku, na który ludzie zapracowani najprawdopodobniej się nie zdobędą.

Te dwa proste przykłady nie wyczerpują wszystkich negatywnych konsekwencji globalnej sieci komputerowej. Pokazują tylko, w jaki sposób narzędzie to może powodować subtelne zmiany w sposobie wzajemnych kontaktów między umysłami i zmieniać rodzaj stawianych pytań, a także zmniejszać prawdo-

podobieństwo nieoczekiwanych, przypadkowych odkryć. Obecnie wpływy te są jeszcze małe, ale w odpowiednio długim czasie ich skutki mogą stać się dramatyczne i nieodwracalne.

Czy nauka zawsze powoduje własny zgon?

Ze wszystkich rzeczy na świecie najbardziej mitosierna [...] jest niezdolność ludzkiego umysłu do skorelowania swojej zawartości [...]. Poszczególne dziedziny nauki, każda ciągnąca w swoim kierunku, jak dotychczas uczyniły nam niewielką krzywdę; jednak pewnego dnia zgromadzenie razem całej rozproszonej wiedzy odstoni tak straszliwe horyzonty rzeczywistości [...], że albo zwariujemy od tych rewelacji, albo uciekniemy od śmiertelnie groźnego światła w spokój i bezpieczeństwo nowych mrocznych wieków.

H. P. LOVECRAFT

Wiedza niesie niebezpieczeństwa. Można jej używać lub nadużywać. Może prowadzić do zamierzonej lub przypadkowej katastrofy. Wiedza naukowa i technika przyśpieszyły i teraz przyszło nam zaakceptować to niebezpieczeństwo. W drugiej połowie dwudziestego wieku ludzkość osiągnęła krytyczne stadium rozwoju. Po raz pierwszy posiadliśmy środki, by zapoczątkować globalną katastrofę o sile wystarczającej, żeby zniszczyć samych siebie. Wiemy, że wystarczyło kilka fałszywych ruchów politycznych, żeby w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku ściągnąć na nasze głowy zagładę nuklearną. Dziś zagrażają nam nowe choroby, na które nie mamy naturalnej odporności; nieodpowiedzialne uprzemysłowienie być może wprawilo w ruch nieodwracalne zmiany klimatyczne, które sprawiają, że nasza planeta stanie się miejscem mniej wygodnym, a w końcu nie nadającym się do zamieszkania. Stale rośnie eksploatacja naturalnych zasobów żywności i surowców. Nie trudno sobie wyobrazić sobie przyszłość, w której nie ma przyszłości. Rozwój techniki i polityczna tendencja do deregulacji sprawiają, że potężne urzędnicy i procesy

trafiają do coraz mniej odpowiednich rąk. Całkowite uzależnienie gromadzenia i *zarządzania* istotnymi danymi systemów komputerowych, *naraża* je na ryzyko kradzieży, manipulacji lub korupcji. Wszystkie te wrażliwe czynniki stają się coraz bardziej skomplikowane, a tym samym również bardziej wrażliwe.

Rozmyślnie nakreśliłem ów pesymistyczny obraz. Chciałem pokazać, jak bardzo zasadne jest przypuszczenie, że społeczeństwa techniczne nigdy nie rozwinęły się zbyt daleko ponad pewien punkt, którym jest uzyskanie środków do samozniszczenia. Gdyby broń jądrową wynaleziono tylko odrobinę wcześniej w Niemczech lub USA, zapewne użyto by jej przy wielu okazjach podczas

II wojny światowej. Trzeba też sobie zdać sprawę ze ścisłych powiązań między techniką niezbędną dla przyszłych badań w fizyce cząstek elementarnych a przemysłem produkującym broń masowego rażenia. Każda cywilizacja pozaziemska, która potrafi rozwinąć fizykę cząsteczkową, będzie miała środki do produkcji broni jądrowej. Podobnie z rozwojem nauk biologicznych. Broń biologiczną wyprodukowano w olbrzymich ilościach, choć na razie użyto jej w niewielkim zakresie, w lokalnych konfliktach. To może jednak łatwo ulec zmianie. Także osiągnięcie pewnego stadium rozwoju w dziedzinie biochemii, inspirowanego godną pochwałą dociekliwością w medycynie, z pewnością ma także swoją ciemną stronę. Ów janusowy aspekt wielu dziedzin nauki skłania do poważnego potraktowania poglądu, że kultury naukowe, w rodzaju naszej własnej, muszą zawierać w sobie ziarna własnej destrukcji.

Wniosek ten, jeśli jest prawidłowy, oznacza że raczej mało prawdopodobne, by nasze konceptualne czy techniczne ograniczenia sprawiły nam jakieś kłopoty. Wręcz przeciwnie, prawdziwym zagrożeniem jest dla nas ich względny brak. Nasze instynktowne pragnienie postępu i nowych odkryć powstrzyma nas przed odwróceniem fali postępu, a demokratyczne ciągoty nie dopuszczą do uregulowania działalności organizacji. Skłonność do krótkoterminowych korzyści zamiast do ultradługoterminowego planowania nie pozwoli nam powstrzymać katastrof, które powoli i stopniowo stają się coraz bardziej realne, choć niezauważalne w ciągu jednego ludzkiego życia.

Jeśli katastrofa ma nie nastąpić, powinniśmy przezwyciężyć problemy, o których dopiero co mówiliśmy, a także wiele innych, które jeszcze się nie ujawniły. Jednakże nawet jeśli nasz geniusz i wspólna odpowiedzialność są wystarczające, by poradzić sobie z wyzwaniem, chęć sprostania im tak silnie zdominuje kierunek, w jakim kierowane są nasze zasoby, oraz rodzaj problemów podejmowanych przez uczonych, że nasza kultura ulegnie znaczącej zmianie. Wiedza dla samej wiedzy może stać się coraz bardziej marnotrawnym inwestowaniem ludzkich zasobów. Podobnie, jak niegdyś w czasach wojny czołowi uczeni podejmowali pracę zespołową, by wynajdować nowe techniki ataku i obrony, tak być może w przyszłości uczeni będą zmuszeni przekierować swoje wysiłki na rozwiązywanie problemów zagrażających życiu na planecie.

Śmierć i śmierć nauki

Natura, panie Alnutt, to coś, w czym się znaleźliśmy, aby wyrosnąć ponad.

KATHLEEN HEPBURN

Rozwój nauki ma wiele wspólnego z rozwojem organizmów żywych. Koncepty mnożą się i podlegają mutacjom, udane idee trwają, żeby przekazać informację przyszłości. Jednakże żywe organizmy nie są odporne na wymieranie, nie bardziej

niż ich indywidualne życia są odporne na śmierć. Rozważyliśmy niektóre drogi dalszego istnienia nauki, jej znacznego spowolnienia lub nawet całkowitego zastopowania. W praktyce granice nauki są zdeterminowane przez ograniczenia uczonych, a nie przez fundamentalne granice tego, co może zostać poznane. Możemy więc wyobrazić sobie przyszłość, w której ludzka zawodność stanie się coraz bardziej *znacząca*. Popelniane błędy oraz błędne wnioski wyciągane z przesłanek, można sklasyfikować, biorąc pod uwagę czas potrzebny na korektę błędu. Niektóre poprawia się niemal natychmiast, inne - jak „zimna synteza” - wymagają więcej czasu, jeszcze inne - jak arystotelesowska teoria ruchu - mogą trwać dłużej niż tysiąc lat. Przywykliśmy do tego, że naukowe sukcesy przewyższają liczebnie popelniane błędy, a więc że zestaw sprawdzonych i skutecznych informacji o Wszechświecie stale się powiększa. Jednakże złoża łatwo dostępnej wiedzy są wyczerpane, musimy więc kopać głębiej, by znaleźć nowe prawdy. Prawdy te będzie ciężiej znaleźć i będą bardziej narażone na błędne lub niekompletne sformułowania, a tym samym mniej wiarygodne jako podstawa technicznych innowacji. Bez trudu można przedstawić sobie sytuację, kiedy błędne dedukcje staną się regułą, a nie wyjątkiem, przez co wiedza naukowa będzie niewiarygodna. Taki *wzorzec* zgonu nauki ma wiele wspólnego z niektórymi teoriami na temat starzenia się i śmierci ludzi. Kiedy jesteśmy w pełni sił, błędy podczas kopiowania DNA są natychmiast korygowane dzięki specjalnym procedurom, wbudowanym w kod genetyczny. Z wiekiem to narzędzie korekcji staje się coraz mniej efektywne i błędy kopiowania mogą się akumulować aż do śmiertelnego poziomu. Jeśli odniesiemy ten mechanizm do nauki, otrzymamy scenariusz zapowiadający nieoczekiwany zgon - świat,

który nie kończy się z hukiem lecz z żalnym piskiem, pokonany przez falę niepewności i drobnych błędów. Początkowo po prostu zmniejszają one skuteczność; jednakże w końcu ich skutki są paraliżujące, a skąpe zasoby zostają zmarnowane. Rozważaliśmy już pytanie, czy ludzka zawodność może sprawić, że nasze dążenie do pełnego zrozumienia wszechświata nie powiedzie się. Powinniśmy się także zastanowić, czy ta sama zawodność mogłaby zatrzymać wzrost zasobów wiarygodnej wiedzy tak daleko od ostatecznego celu, że nasze istnienie zostałoby zagrożone.

Psychologia ograniczeń

Różnica między magikiem a psychologiem jest taka, że ten pierwszy wyciąga króliki z kapelusza, a drugi nawyki ze szczura.

ANONIM

Zastanawialiśmy się nad tym, jak dalece ograniczenia ludzkiego umysłu mogą wpływać na ostateczne osiągnięcia nauki. Nie powinniśmy przy tym zapominać, że takie rozważania same w sobie są produktem umysłu i nie od rzeczy byłoby

pytanie o wpływ tego stanu rzeczy na ich ostateczny wynik. Czy istnieje jakaś psychologiczna składowa wypowiedzi na temat granic nauki? Czy dany eksperyment naukowy sam w sobie indukuje konkretną postawę względem przyszłego rozwoju nauki? Rozważmy niektóre możliwe korelacje.

Naukowiec znajdujący się właśnie w rozkwicie kariery badawczej, kiedy nowe wyniki przychodzą szybko i są znaczące, pragnie by ten złoty okres nigdy się nie skończył i będzie wierzył, że nie może się skończyć i że się nie skończy. Przekonanie to może się wzmocnić, jeśli nowa faza gwałtownego postępu, w której odgrywa on czołową rolę, stanowi bezpośredni rezultat odrzucenia starej teorii. Kiedy jednak jego moc twórcza zaczyna słabnąć, może uznać, że najwygodniejszą racjonalizacją przygaśnięcia efektywności jest stwierdzenie, iż dana dziedzina jako całość stała się mniej owocna; że plon jej nowych odkryć stopniowo maleje i pewnego dnia całkiem zaniknie. Łatwo sobie wyobrazić, że nasz własny *wzorzec życia* jest podstawą rozwoju nauki jako całości. Co ciekawe, to nie musi mieć żadnego związku z rzeczywistym stanem *rzeczy* w danej dziedzinie, a raczej korelacja bywa odwrotna. Aktywny niegdyś badacz może silniej odczuwać własne słabnące siły w okresie, kiedy inni entuzjastycznie coraz bardziej rozwijają „jego” dziedzinę wiedzy. Taka reakcja silnego przeciwstawiania się (często z przyczyn filozoficznych) całemu kierunkowi rozwoju występuje często u byłych liderów w jakimś przedmiocie. Jeśli kiedyś czynili oni znaczące postępy, płynąc pod prąd naukowych opinii, teraz chcą robić to samo, niemal nie zwracając uwagi na siłę dowodów.

Pewnie zadajemy sobie pytanie, czy zajmowanie się granicami nauki to przypadkiem nie jest działalność wyłącznie starszych naukowców. Młodych ludzi, jeśli mają być dobrymi naukowcami, musi zżerać pragnienie rozwiązania rozwiązywalnych problemów. Jednakże naukowcy im młodszy, tym bliższy swojej studenckiej praktyce systematycznych instrukcji. W tym okresie widzą jedynie problemy możliwe do rozwiązania; metody nauczania, sprawdzanie wiedzy za pomocą kwantytatywnych ocen, studiowanie problemów, do których rozwiązania wystarczy papier i ołówek oraz rozsądny do poświęcenia czas, wszystko to tworzy pewną skłonność. Owa skłonność przekazywana podczas kształcenia naukowców, szczególnie matematyków, prowadzi do podświadomego przekonania, że wszystkie problemy można rozwiązać. Kiedy młodzi ludzie rozpoczynają studiowanie matematyki lub fizyki, skłonni są uważać, że wszystkie równania różniczkowe i całkowe są rozwiązywalne. Oczywiście nie są, lecz studenci widzieli tylko takie, które są. Ci, którzy zaczynają karierę jako studenci nauk eksperymentalnych, muszą przyswoić sobie wiele zaawansowanych zagadnień. Bardzo ważne, jak to robią, gdyż to nałoży na nich ograniczenia. Wydaje się korzystne obieranie zawsze łatwiejszej drogi - uczyć się nowego przedmiotu ze standardowych, dobrze sprawdzonych książek lub od doświadczonego wykład-

dowcy. Może i tak, lecz bądźmy ostrożni. Doświadczenie uczy, że właśnie w tym procesie początkowego uczenia się przedmiotu mamy największe szansę na uchwycenie nowych idei. Kiedy pozwolimy, by proces ten przebiegał według standardów ustalonych przez kogoś innego, tracimy okazję do ujrzenia go we własny sposób. Globalizacja edukacji, dzięki której wiele osób może pobierać nauki u jednego nauczyciela, z wykorzystaniem łączy wideo, daje wiele oczywistych korzyści. Jednak na wyższym poziomie ma swoje braki.

Niektórzy uczeni zainwestowali kariery w przedsięwzięcia, dające nadzieję na dramatyczną zmianę w dziejach nauki. Może oczekują nagłego skoku w technice, dzięki któremu drobne efekty dadzą się nagle zmierzyć. Albo angażują się w poszukiwanie inteligencji pozaziemskich, a te badania w pewnych przypadkach mogą mieć wpływ na historię cywilizacji. Postęp to coś, co jak wierzą, istnieje jako uniwersalny czynnik we Wszechświecie. W przeciwnym razie

musieliby zapakować swoje zabawki i wracać do domu.

Komentatorzy, nie będący aktywnymi naukowcami często mają mocno określone poglądy na przyszłość nauki, I są nie mniej odporni na powiązania psychologiczne. Nienaukowcy chętnie wierzą, że istnieje, istniało i zawsze będzie istnieć coś poza nauką. Może to być impuls religijny, przyjmujący niekiedy bardzo wymyślną formę, jak hipoteza „Boga luk” będąca argumentem na istnienie Boga. Czasem w grę wchodzi zazdrość o wszelką działalność, która wydaje się choć trochę zbyt udana. Może to być też reakcja typowa dla każdego człowieka. Uczni, którzy poświęcili lata życia i ogromną energię pewnej linii działania, która spektakularnie upadła, rzadko zmieniają kierunek i wybierają nową. Trudno im zaakceptować nowy schemat (często uważają go za mniej ciekawy niż ten nieudany, który muszą porzucić) i stają się względem niego hiperkrytyczni, żądając standardów dowodzenia, jakich nigdy nie wymagali dla swoich koncepcji.

Streszczenie

Jak mógłby mechanizm skomponowany z okoto miliarda zawodnych elementów funkcjonować niezawodnie, kiedy komputery mające dziesiątki tysięcy części, regularnie padają.

JOHN VON NEUMANN³³

W tym rozdziale przedyskutowaliśmy kilka ewentualnych rodzajów granic, wynikających z naszej ludzkiej konstrukcji, jakie mogą zawęzić poznanie Wszechświata. Nasze umysły nie są zaprojektowane pod kątem nauki ani też ewolucja ich do tego nie przygotowała. Posiadane przez nas fizyczne i mentalne cechy to wynik niejednorodnego procesu adaptacji do dawnych środowisk, których wyzwania dziś nas już nie dotyczą. Jesteśmy pakietem umiejętności przydatnych w interakcjach społecznych, znajdowaniu bezpiecznego schronienia i żywności, unikania zbytniego wyziębienia lub nagrzania, wabienia partnera, trzymania się z daleka od niebezpieczeństw i drapieżników oraz posiadania możliwie największej liczby potomstwa. Rozumowanie naukowe jest tylko produktem ubocznym umiejętności wyselekcjonowanych dla innych, znacznie bardziej przyziemnych potrzeb. Wiedząc to, nie mamy podstaw oczekiwać, że mamy konceptualną zdolność zrozumienia mechanizmów funkcjonowania Wszechświata. Trzeba by niezwyklej zbieżności kosmicznych proporcji, jeśli Wszechświat jest na tyle skomplikowany, że mogło powstać życie, a jednocześnie na tyle prosty, żeby jeden gatunek rozumiał jego najgłębszą strukturę już po kilkuset latach badań naukowych. Nie ma powodu spodziewać się, że Wszechświat został skonstruowany dla naszej wygody.

Przekonaliśmy się, jak można uniknąć tego pesymistycznego obrazu. Najprawdopodobniej egzotyczne koncepcje, których jak się wydaje potrzebujemy, żeby pojąć Wszechświat, da się konstruować - krok po kroku - z bardzo prostych elementów, takich jak liczenie, przyczyna i skutek, albo-albo, które nasze umysły odziedziczyły dzięki korzyściom, jakie ich posiadanie wносиło do gry o przeżycie. Patrząc na osiągnięcia maszyn liczących, stwierdzamy, jak wiele można uzyskać powtarzając bardzo proste instrukcje.

Jednakże, choć to może nam pomóc zasklepić każdą szczelinę między mentalną zdolnością do konceptualizacji, jaką mamy, a tą, jaka jest potrzebna do zrozumienia Wszechświata, nie oznacza końca problemów. Odstania się przed nami coraz większa złożoność stanów, które Natura stworzyła we Wszechświecie, stosując bardzo proste prawa.

Cały ten kram z poznaniem Wszechświata wymaga korzystania z pomocy komputerów, żeby symulować działanie najbardziej skomplikowanych i długofalowych procesów. Niestety to stawia nas w obliczu ogromnych problemów z rozwiązywalnością. Nawet zadania, które dają się rozwiązać metodą kolejnych obliczeń, zawierają mnóstwo bardzo małych problemików, których rozwiązanie wymaga ogromnie długiego czasu (znacznie dłuższego, niż czas istnienia Wszechświata!). Owe kłopoty z wykonaniem praktycznym nałożą mocne granice na naszą zdolność przewidywania, reprodukcji, wyjaśniania i zrozumienia funkcjonowania Wszechświata, dopóki nie znajdziemy całkowicie nowych metod symulowania przebiegu naturalnych procesów.

Przekonaliśmy się także, iż przedsięwzięcia naukowe to nie jest dzieło jednego umysłu, tylko wspólne działanie, często przekraczające ograniczenia poszczególnych umysłów poprzez kolektywną, powiązaną działalność. Jest to siła, którą dzięki sztucznym środkom da się zwiększyć do nieprawdopodobnych rozmiarów. W przyszłości coraz powszechniej wykorzystywane sieci komputerowe staną się potężnym narzędziem, pozwalającym przewyżnić indywidualne

alne ograniczenia. W efekcie będziemy ewoluującą sztucznie, wielkoskalową wersją ludzkiego mózgu. Wiemy, że proces ten już się rozpoczął poprzez stworzenie międzynarodowych sieci komputerów. Jednakże ów krok ewolucyjny, choć niesie wiele korzyści, ma też swoje pułapki. Rosnąca wzajemna łączność prowadzi bowiem do

likwidacji różnorodności, a uzyskane korzyści i tak nie są panaceum na kłopoty. Pozostają problemy niepodatne na rozwiązanie, wymagające tak wiele czasu komputerowego, że są ze względów praktycznych nierozwiązywalne.

Rozdział 5

Ograniczenia techniczne

„Sądziacie, że umiejętności bytyby powstały i urosły, gdyby nie byli biegli przed nimi czarodzieje, alchemicy, astrologowie i czarownice, jako ci, którzy swymi obietnicami i przygrywkami musieli wpieryw stworzyć pragnienie, gład i smakowanie w zakrytych i zabronionych mocach?”

FRIEDRICH NIETZSCHE

Czy wszechświat jest ekonomicznie żywotny?

Bo któż z was, chcąc zbudować wieżę, nie usiądzie wpieryw a nie oblicza wydatków, czy ma na wykończenie?

ŁUK. 14:28

Zastanawiając się nad ewentualną przyszłością, łatwo myśleć o postępie w sposób całkowicie idealistyczny - uważać, że wszystko, co może być zrobione, zostanie zrobione. Wiemy jednak, że tak się nie stanie. Zachodnie demokracje są coraz bardziej krępowane przez swoją ekonomię. Jest wiele wielkich odkryć naukowych, którymi pragnęlibyśmy i moglibyśmy się zająć, gdybyśmy mieli nieograniczone zasoby pieniężne. Sprawy te są podnoszone od czasu do czasu, kiedy trzeba podjąć decyzję odnośnie bardzo kosztownych przedsięwzięć, kiedy trzeba naprawić błędy medycyny lub kiedy przy realizacji jakiegoś projektu zdarzy się katastrofa - jak w przypadku nieudanego startu rakiety *Ariane-5* - kiedy to w ułamku sekundy marnują się miliony funtów.

Istnieje wiele rzeczy, które teoretycznie można by osiągnąć, a które w praktyce są nieosiągalne. W tym rozdziale zbadamy niektóre z owych praktycznych ograniczeń. Niektóre wiążą się z problemem nakładów finansowych, lecz nie wszystkie. Słowo „koszt” ma bardziej ogólną interpretację, dzięki której możemy analizować wiele form zdobywanej wiedzy. Drugie prawo termodynamiki mówi, że musimy wykonać pracę, żeby zdobyć informację.³ Taki sposób myślenia ma wysoki stopień ogólności i pozwala podać ilościową miarę kosztów dowolnego obliczenia. W każdej sferze ludzkiej działalności nie wystarczy być w posiadaniu procedury rozwiązania problemu. Trzeba też wiedzieć, jaki jest koszt jej zastosowania na przykład w określonych warunkach czasowych, finansowych, energetycznych czy przy ustalonej mocy obliczeniowej. Wiedząc to, możemy wybrać procedurę lepszą pod względem oszczędności kosztów.

Sprawa kosztów zdobywania wiedzy zaznacza się bardzo słabo w przeddwo-dziewiętnastych dyskusjach na temat postępu nauki. Dziś jednak jest to temat dominujący. Dawniej eksperymenty nie były zbyt kosztowne i przeprowadzano je na małą skalę. Uczony dżentelmen budował własne przyrządy, a jego naukowe doświadczenia rozmachem przypominały te, które obecnie przeprowadza

się na lekcji w profilowanej szkole średniej. Rewolucja przemysłowa zapoczątkowała stąpienie się nauki i techniki, prowadząc do badań w dziedzinie cząstek elementarnych, tak charakterystycznych dla dwudziestowiecznej fizyki, oraz zainicjowała wzrost wielkich zespołów eksperymentalnych i powstanie „wielkiej nauki”. Przede wszystkim właśnie tutaj koszty stają się najważniejszym czynnikiem stanowiącym o być albo nie być przedsięwzięć badawczych. Cztery lata temu podobnie miała się rzecz z eksploracją świata. W zasadzie można było bez ograniczeń wysłać na morze floty okrętów, ale w praktyce podróże te wymagały sponsorów, a sponsorzy wymagali jakiegoś zwrotu swoich inwestycji.

Tak więc sprawa kosztów i przydatności zdominowała techniczne spojrzenie na naukę. W dziewiętnastym wieku koncepcja postępu była osiowa. Konsekwencją rozwoju techniki było gwałtowne uprzemysłowienie państw europejskich. Całości dopełniło odkrycie przez Darwina i Wallace'a⁴ zasady ewolucji działania doboru naturalnego, dostarczając innej koncepcji postępu. Tacy filozofowie jak Nietzsche i Spencer,⁵ zainspirowani tymi ideami, zaproponowali koncepcję, zwaną niekiedy „faustowskim” obrazem nauki. Według tej hipotezy ludzkość nieustannie walczy o podporządkowanie sobie sił Natury i zaprzęgnięcie ich do użytecznych działań. Nietzsche uważał, że wynika to z głęboko zakorzenionego, dziedzicznego instynktu kontrolowania środowiska, który był niegdyś jednym z czynników umożliwiających przetrwanie człowieka w mglistej i odległej przeszłości. Istoty ludzkie różniły się od pozostałych pragnieniem i umiejętnością zmieniania środowiska na swoją korzyść. Ta „wola władzy”, jak ją nazwał, miała być teraz widoczna w zastosowaniu środków technicznych do kontrolowania środowiska.

Jest to pogląd skrajny. Wprawdzie nikt nie zaprzecza, że zawsze stanowiło to jedną z motywacji dla nauki, lecz nie jedyną. Jednakże taka techniczno-manipulacyjna perspektywa rzuca światło na działalność nauk stosowanych oraz ich

pochodnych. W niniejszym rozdziale przyjrzymy się postępowi, jakiego dokonaliśmy w manipulowaniu Naturą, a następnie zajmiemy się niektórymi ograniczeniami, jakie mogą zawęzić nasze działania. Zanim jednak zobaczymy, jak dalece sięgnęła nasza manipulacja, powinniśmy bliżej przyrzeć się naszej pozycji w kosmicznym schemacie rzeczy. Poznawszy nasze rozmiary i lokalizację w kosmicznej historii, będziemy mogli lepiej zrozumieć, dlaczego i w jaki sposób musimy manipulować Naturą za pomocą sztucznych środków, jeśli mamy pojąć jej strukturę.

Dlaczego jesteś tu, gdzie jesteś

Życie nie jest spektaklem ani festą; to jest kłopot. GEORGE SANTAYANA

Biochemicy uważają, że poziom złożoności wymagany, żeby zakwalifikować się do tytułu „życia” może rozwinąć się spontanicznie jedynie wówczas, kiedy opie-

ra się na niezwyklej własnościach chemicznych pierwiastka węgla.⁶ Nie chodzi o to, że żywa złożoność nie może istnieć, jeśli jej podstawą będzie inny pierwiastek. Rzecz w tym, że niewęglowe życie może zaistnieć tylko wówczas, kiedy zostanie zainicjowane przez życie oparte na węglu. Na przykład obecnie obserwujemy, jak pewna szczególna forma zorganizowanej złożoności, oparta na fizyce krzemu (nie na jego własnościach chemicznych) stopniowo zbliża się do takiego stopnia złożoności, że może się kwalifikować do tytułu „sztucznego życia”, a nawet „sztucznej inteligencji”. Jednakże dokonuje się to wyłącznie dzięki pomocy ze strony istniejącej wcześniej formy życia opartej na węglu - czyli nas!

Węgiel powstaje w gwiazdach. Proste pierwiastki, jak hel, który stanowi 99,99999 procent materii Wszechświata, narodził się w pierwszych kilku minutach ekspansji Wszechświata, kiedy był on znacznie gorętszy i gęstszy niż jest obecnie.⁷ Jednym z wielkich sukcesów niezwyklej teorii „Wielkiego Wybuchu”, opisującej obecną strukturę i minione dzieje Wszechświata, jest to, że z powodzeniem przewiduje ona istnienie obfitości helu i innych lekkich pierwiastków, które powstały w reakcjach jądrowych na wczesnych etapach jego istnienia. Wodór i hel młodego Wszechświata zostaje spalony we wnętrzach gwiazd, dając cięższe, biologiczne pierwiastki takie, jak węgiel, tlen, azot i fosfor. Kiedy gwiazdy docierają do kresu swojego życia, eksplodują i rozpraszają owe cegiełki życia w przestrzeni kosmicznej. Tutaj pierwiastki kondensują w ziarna, a następnie w planety, by w końcu znaleźć drogę do naszych organizmów.

Proces ten, podczas którego pierwotne pierwiastki powstałe w Wielkim Wybuchu są przekształcane w cegiełki organizmów biologicznych to długotrwałe i powolne przedsięwzięcie. Zajmuje miliardy lat. Ten prosty fakt odsłania coś tajemniczego i ważnego na temat otaczającego nas Wszechświata. Tłumaczy, dlaczego jest on tak wielki.

Wszechświat się *rozszerza*. Odległe gromady galaktyk oddalają się od siebie nawzajem z prędkością, która rośnie razem z ich wzajemną odległością. To oznacza, że pytania o wiek i wielkość Wszechświata są ze sobą nierozłącznie powiązane. Fakt, że Wszechświat musi mieć miliardy lat, aby wystarczyło czasu na wyprodukowanie pierwiastków biologicznych, dzięki którym możliwa stała się spontaniczna ewolucja złożoności, *oznacza*, iż każdy wszechświat, w którym rozwinęło się jakiegokolwiek życie, musi rozpościerać się na miliardy lat świetlnych. Wszechświat musi być wielki na miliardy lat świetlnych, żeby mógł w nim powstać choćby najmniejszy przyczótek życia.

Z tego wynika inna zaskakująca cecha obserwowalnego wszechświata. To właśnie długi wiek i wielkie rozmiary Wszechświata, w którym powstało życie, sprawiają, że niebo w nocy jest ciemne, a w przestrzeni kosmicznej jest bardzo zimno. Rozszerzanie się przestrzeni prowadzi bowiem nieuchronnie do zmniejszenia gęstości materii oraz promieniowania we Wszechświecie do bardzo

144

Kres możliwości?

Ograniczenia techniczne

145

niskiego poziomu. Nie ma tyle energii, żeby niebo w nocy mogło świecić, a galaktyki i gwiazdy są oddzielone od siebie bardzo wielkimi odległościami. Jak na ironię fakt, że Wszechświat jest wielki, stary, ciemny, zimny i samotny, to rzecz niezbędna, jeśli mają powstać cegiełki, z których da się zbudować jakąkolwiek postać chemicznej złożoności.

Jeśli przyjrzymy się dokładnie naszemu środowisku, poznamy jego ogólne charakterystyki. Przypuśćmy, że mamy skatalogować wszystkie najbardziej zadziwiająco naturalne agregaty materii, z jakimi zetknęliśmy się we wszechświecie - począwszy od świata cząstek elementarnych aż po krainę galaktyk. Umieszczając je na wykresie, wiążącym masę i średnie rozmiary, otrzymamy rezultat pokazany na rys. 5.1.

Okazuje się, że wszystkie obiekty pokazane na rys. 5.1 leżą wzdłuż pasa biegnącego od lewej strony u dołu ku prawej stronie u góry. Reszta płaszczyzny jest pusta. Nic w tym tajemniczego. Pas ten wyznacza stałą gęstość.⁸ Dla pokazanych obiektów odpowiada ona gęstości atomowej - czyli gęstości tego, co jest zbudowane ze skupisk atomów. Jest ona bardzo zbliżona do gęstości pojedynczego atomu. Jedynie u góry po prawej stronie wykresu, poza skalą gwiazd, obserwowane struktury nieco odchodzą od tej linii. Dzieje się tak dlatego, że gromady gwiazd i galaktyki nie są stałymi ciałami

atomowymi, lecz skupiskami ciał krążących w oparciu o prawa zapewniające równowagę między wzajemnym oddziaływaniem grawitacyjnym, a energiami ruchu.

Ułożenie obiektów wzdłuż linii stałej gęstości nie jest przypadkowe. Znajdują się one w tych miejscach, gdzie możliwe są rozmaite rodzaje równowagi między przeciwnie działającymi siłami. Posłużmy się przykładem planet. Planeta nadająca się do zamieszkania musi być wystarczająco duża, żeby siła jej grawitacji mogła *zatrzymać przy* niej atmosferę, ale nie za wielka, żeby nie rozrywała delikatnych wiązań chemicznych w skomplikowanych cząsteczkach biochemicznych. Te przeciwstawne wymagania zawężają granice rozmiarów takiej planety i sprawiają, że jej powierzchnia musi również mieć pewne określone właściwości. Jeśli na jakimś obszarze planety nadającej się do zamieszkania temperatura ma przez dłuższy czas umożliwić istnienie wody w stanie ciekłym, to zestaw cech planety, pozwalających na powstanie życia może być jeszcze węższy. W tym względzie równie ważne są najbardziej skomplikowane aspekty ruchu planety wokół jej gwiazdy macierzystej. Orbita planety musi znajdować się w odpowiedniej odległości od gwiazdy, żeby zapewnić życiu odpowiednią temperaturę. A to oznacza, że średnia odległość planety od Słońca musi zawierać się w bardzo wąskich granicach, a kształt orbity nie może zbytnio odbiegać od kołowego. Co więcej, nachylenie osi obrotu planety do płaszczyzny orbity nie może być zbyt duże, żeby zmiany klimatyczne związane z porami roku nie były za wielkie. W przeciwnym razie potężne zmiany poziomu morza i okreso-

we zlodowacenia nadałyby środowisku cechy, przy których obszar powierzchni planety nadający się do rozwoju zaawansowanego życia, byłby bardzo mały.

Niektóre konsekwencje rozmiarów

Nie należy wyolbrzymiać blahostek. Takie życie na przykład, jest zbyt krótkie, żeby brać je poważnie.

NICOLAS BENTLEY

Siła grawitacji na powierzchni planety nadającej się do zamieszkania określa, jak wielkie mogą być obiekty, żeby ich rozmiary nie stały się ryzykowne. Siła nie rośnie w tym samym tempie, co ciężar i objętość struktury. Koń nie może unieść na swoim grzbiecie innego konia, ale mały pies z łatwością poniesie na grzbiecie dwa podobne pieski, a mrówka może dźwigać ciężar wiele razy cięższy niż sama waży. (Można wykonać interesujące doświadczenie, dzieląc ciężar podnoszony przez światowych rekordzistów przez ciężar ich ciała. Patrz rys. 5.2). Gdybyśmy powiększyli poszczególne organizmy, okazałoby się że są one zbyt słabe, żeby unieść własny ciężar. Po prostu upadłyby pod jego naciskiem.

Nasz własny rozmiar jest interesujący z wielu powodów. Wydaje się, że stopniowo ulegał zwiększeniu w toku ewolucji człowieka. Można powiedzieć, że znajdujemy się pośrodku skali między światem atomów a obiektami astronomicznymi. Okazuje się też, że choć wśród innych istot żywych na Ziemi zajmujemy pod względem rozmiarów niezbyt *znaczącą* pozycję, wyróżnia nas to, że jesteśmy największą żywą istotą, która chodzi na dwóch nogach. Można by też powiedzieć, że nasze rozmiary są kluczową cechą jeśli chodzi o wzorzec zachodzącego postępu społecznego i technicznego. Dzięki naszym rozmiarom jesteśmy wystarczająco silni żeby rozerwać wiązania cząsteczkowe w ciałach stałych. Możemy gruchotać i ciosać kamienie oraz łupać twarde materiały takie jak krzemień. Możemy zginać i kształtować metale. Możemy miotać odłamki skał i oszczepy z energią kinetyczną wystarczającą, żeby zabijać członków naszego gatunku, jak i zwierzęta. Zdolność ta, której w oczywisty sposób nie mielibyśmy, gdybyśmy byli mniejsi, miała odegrać ważną rolę w naszej ewolucji. Dzięki niej możliwe były pierwsze techniczne wynalazki, lecz także uczyniła z nas niebezpieczny, wojowniczy gatunek, zdolny z łatwością posługiwać się śmiertelnością siłą. Umożliwiło to gwałtowny postęp, lecz także wyposażyło w środki doprowadzenia wszelkiego postępu do kresu.

Inną ciekawą konsekwencją naszych względnie dużych rozmiarów jest zdolność do wykorzystania ognia do wielu szczególnych celów. Żadne inne zwierzę tego nie potrafi. Można podać wielkość najmniejszego płomienia, określony przez równowagę między objętością materiału palnego a powierzchnią, która wystarcza, żeby tlen mógł wejść w reakcję spalania. Kiedy objętość paliwa maleje poniżej pewnej granicy, powierzchnia ta staje się zbyt mała, by płomień mógł nadal istnieć, więc ogień gaśnie. Mrówki nie potrafią używać ognia, gdyż najmniejszy stabilny ogień okazałby się zbyt wielki, żeby mogły bezpiecznie się doń zbliżyć i podłożyć paliwo. Małe stabilne płomienie są dobrze dostosowane do potrzeb stworzeń o rozmiarach ludzi. (Choć to nie gwarantuje, że będą umiały posłużyć się ogniem. Szympanse tego nie potrafią). Posługiwanie się ogniem niesie najrozmaitsze ważne konsekwencje. Dzięki ogniewi można aktywnie wykorzystywać więcej godzin w ciągu doby; daje ochronę przed drapieżnikami; poprawia zdrowie i dietę, gdyż gotowane pożywienie zawiera mniej niebezpiecznych bakterii i jest lepiej strawne. Ponadto gotowanie

pokarmów zwiększa zasoby smacznej żywności, dzięki czemu można mniej czasu spędzać na polowaniu, więc jest go więcej na inną działalność.

Wreszcie, u istot żywych istnieje też ścisła korelacja między rozmiarem a czasem życia. Duże zwierzę jest znaczną inwestycją skąpych zasobów i musi długo żyć, żeby jego istnienie opłaciło się w terminach ewolucyjnych („samolubnego genu”). W efekcie duże zwierzęta rodzą jednorazowo mało młodych i opiekują się nimi z wielką troską i uwagą. Małe zwierzęta przyjęły inną strategię.

Rodzają dużo młodych i krótko żyją. Szansa przeżycia pojedynczego osobnika jest mniejsza, lecz przeciwdziała temu duża liczba młodych. Duże rozmiary człowieka sprawiają, że żyje on stosunkowo długo i że niezwykle długi jest okres dzieciństwa, kiedy to opiekują się nim rodzice. Ma to wiele konsekwencji społecznych. Długi okres bliskich związków z rodziną i członkami społeczności prowadzi do powstania skomplikowanych powiązań społecznych. Uczenie się jest intensywne, a grupy mogą uzyskiwać znaczną wiedzę o środowisku, którą następnie przekazują swoim bliskim towarzyszom.

Na rys. 5.1 pokazano, że nasze położenie w kosmicznym schemacie obiektów jest określone ogólnie, przez względną moc sił natury. Obecny zakres naszych rozmiarów to konsekwencja zarówno tych zasad, jak i szeregu historycznych przypadków oraz skomplikowanych interakcji ze środowiskiem oraz innymi gatunkami.⁹ Jest to ważne dla badań nad technicznym postępem człowieka oraz jego ograniczeniami, gdyż pokazuje, dlaczego potrzebna nam jest technika. Jeśli mamy manipulować środowiskiem w skalach o wiele większych lub o wiele mniejszych od naszych własnych rozmiarów, to musimy to robić za pomocą sztucznych środków.

Nasze rozmiary determinują naszą siłę, a więc i stopień do jakiego musimy posługiwać się pomocami sztucznymi, żeby konstruować lub rozrywać wiązania stworzone przez siły Natury. Środowisko określa zaś czułość naszych zmysłów i stopień do jakiego musimy je wspomagać, żeby badać świat z większą szczegółowością. Tylko niezwykle koincydencja między zasięgiem techniki a tymi własnościami Natury, które chcemy odkrywać, zlikwiduje techniczną barierę ludzkiego pojmowania naukowego.

Siły Natury

Maszyny, które konstruuje się jako pierwsze, w celu wykonania jakiegoś konkretnego zadania, zwykle są najbardziej skomplikowane, a dopiero następnymi artyści zwykle odkrywają, że przy mniejszej liczbie kot, przy mniejszej liczbie zasad ruchu, niż początkowo zastosowano, można łatwiej osiągnąć ten sam efekt. Podobnie ma się rzecz z pierwszymi systemami filozoficznymi, zawsze są najbardziej skomplikowane.

ADAM SMITH

Od dawna wiemy o istnieniu sił grawitacji i magnetyzmu. Żadne stworzenie naziemne nie może nie uświadamiać sobie grawitacji. Jednakże magnetyzm poznaliśmy tylko dzięki istnieniu ziemskiego pola magnetycznego oraz odkryciu rud magnetycznych na powierzchni ziemi. W czasach współczesnych odkrycie, że poruszający się magnes może wytwarzać prąd elektryczny i odwrotnie, że

w odpowiednich warunkach prąd elektryczny może wytwarzać pole magnetyczne, doprowadziły do uświadomienia sobie, że u podstaw obu tych zjawisk leży jakaś inna siła Natury. Nazwaliśmy ją elektromagnetyzmem. Zachowuje się tak samo w każdym miejscu obserwowanym przez nas we Wszechświecie, a matematyczne jej sformułowanie jest niezwykle dokładne - do $1/10^{11}$. Przytaczając analogię, podaną przez Richarda Feynmana, jednego z twórców tej teorii, jest to równoważne mierzeniu odległości z Londynu do Nowego Jorku z dokładnością większą niż grubość ludzkiego włosa.¹¹ Zachowanie grawitacji potrafimy przewidzieć z jeszcze większą dokładnością. Potrafimy monitorować ruchy pary gwiazd neutronowych odległych od Ziemi o 30 tysięcy lat świetlnych, w środowisku, w którym siła grawitacji jest 10^5 razy większa niż w jakimkolwiek miejscu Układu Słonecznego. W okresie ponad 20 lat udało nam się stwierdzić, że ruchy te zgadzają się z przewidywaniami teorii grawitacji Einsteina z graniczną dokładnością pomiarów¹² - wynoszącą $1/10^{14}$.

Grawitacja i elektromagnetyzm to nie jedyne siły Natury. Jak dotąd odkryliśmy jeszcze dwie inne: oddziaływanie słabe i oddziaływanie silne. Oddziaływanie słabe jest źródłem promieniotwórczości, natomiast silne wiąże w całość jądra atomów pierwiastków chemicznych. Kiedy owa energia wiążąca zostanie uwolniona, uzyskujemy olbrzymie ilości energii jądrowej. Siły te mają bardzo krótki zasięg, a efekty ich działania na Ziemi można oddzielić od oddziaływania grawitacji i elektromagnetyzmu tylko w specjalnych okolicznościach, których uzyskanie wymaga wielkiego doświadczenia technicznego. Jednakże w świecie astronomii siły te odgrywają bardziej dramatyczną rolę. Są one odpowiedzialne za

energię wytwarzaną przez gwiazdy, za stabilność Słońca, a więc za istnienie wszystkich planet nadających się do zamieszkania, takich jak nasza. Aby poznać podstawowe cechy oddziaływania silnego, musimy zająć się odległościami rzędu 10^{-13} cm, a oddziaływania słabego - odległościami sto razy mniejszymi, czyli 10^{-15} centymetra.

Obecnie owe cztery siły Natury to jedyne jakie znamy. Zaskakujące, że wystarczą tylko te cztery podstawowe oddziaływania, żeby wyjaśnić każdą interakcję fizyczne i strukturę, jaką widzimy lub tworzymy we Wszechświecie.¹³ Fizycy uważają, że siły te nie różnią się zbyt między sobą, jak sugerowałyby różnorodność ich znanych przejawów. Wręcz przeciwnie oczekuje się, że okażą się one manifestacją różnych aspektów jednej siły. Początkowo wydawało się to niemożliwe, gdyż owe cztery oddziaływania znacznie różnią się między sobą siłą działania. Jednakże w latach siedemdziesiątych XX wieku odkryto, że ich efektywna siła zmienia się wraz z temperaturą najbliższego otoczenia, w którym działają. Oddziaływanie słabe i elektromagnetyczne zmieniają siłę, kiedy temperatura rośnie i stają się mniej więcej jednakowe, kiedy wynosi ona około 10^{14} K. Następnie łączą się ze sobą, tworząc jedno oddziaływanie elektroślabe.

Natomiast oddziaływanie silne słabnie wraz ze wzrostem temperatury i zaczyna zbliżać się do oddziaływania elektroślabe. W końcu wszystkie powinny osiągnąć jednakową siłę i tylko olbrzymia energia około 10^{15} gigaelektronowoltów (10^{28} K), leżąca poza zasięgiem ziemskich akceleratorów cząstek, stoi temu na przeszkodzie (rys. 5.3).

Czwartą, najbardziej nam znaną siłą jest grawitacja, jednakże, mimo swojej pospolitości, ma głęboko tajemniczą strukturę i jest osobiwa w relacjach z pozostałymi trzema siłami. Jest ściśle *związana* z naturą czasu i przestrzeni. Zmiana siły grawitacji może zmienić ich charakterystyki. Obecnie mamy atrakcyjną teorię matematyczną, zwaną teorią superstrun, która pozwala wprowadzić unifikację grawitacji z pozostałymi trzema siłami Natury. Unifikacja ta mogłaby się pojawić w najwyższej temperaturze, jaka kiedykolwiek pojawiła się w Naturze, i być może istniała wyłącznie zanim jeszcze narodził się Wszechświat. Jak zobaczymy, to stwarza problemy ze sprawdzeniem ostatecznej Teorii Wszystkiego.

Powyższy krótki opis naszej pozycji we Wszechświecie, w porównaniu ze skalą struktur astronomicznych i cząstek elementarnych materii wskazuje, że jednocześnie możemy i nie możemy zdobyć wiedzy na temat świata. Istnieją proste zasady fizyczne, ograniczające wielkość żywych istot na powierzchni planet. Nasz rozmiar oznacza, że łatwo nam poznać powierzchowne cechy obiektów o rozmiarach w skali centymetrów lub metrów. Jednak, jeśli mamy pojąć strukturę ciał astronomicznych i królestwo cząsteczek, atomów i jeszcze mniejszy obiektów, potrzebujemy sztucznych urządzeń do pomocy. Jeśli mamy dowiedzieć się wszystkiego na temat sił rządzących światem cząstek elementarnych,

to musimy „przyłapać” Naturę w okolicznościach bardzo odległych od granic naszych zmysłów.

Trudności, jakie napotkamy podczas rozszerzania kontroli nad Naturą, są więc konsekwencją naszych rozmiarów i cech środowiska, zdolnego podtrzymać na planecie formy życia. Istoty żywe muszą znaleźć się w środowiskach sprzyjających zorganizowanej złożoności. Czyli takich, które są wystarczająco chłodne, żeby nie naruszyć wiązań cząsteczkowych, ale i na tyle ciepłe, żeby mogła istnieć woda i inne proste ciecze. Możemy się spodziewać, że wszystkie inne inteligentne formy życia na planetach spotkają się z podobnymi ograniczeniami i że pokonają je w sposób niezbyt odmienny od naszego.

Interesującym produktem ubocznym środowiska podtrzymującego życie jest to, że atmosfera kreuje kolory wskutek rozpraszania światła gwiazdy macierzystej (w naszym przypadku, Słońca). Obecność kolorów napędza dobór naturalny, faworyzujący adaptacje, które potrafią uczynić z nich użytek. Rozwój barwnej flory kreuje barwne warianty zasobów żywności i przynajmniej części adaptacyjne prostym formom odróżniana kolorów. Obrót planety wokół osi, czego nie da się uniknąć, wywołuje zmiany oświetlenia powierzchni. Dzięki temu planeta i jej atmosfera, wraz z określonymi właściwościami cząsteczek, stają się źródłem adaptacyjnej ewolucji widzenia barwnego. Niezależnie od ostatecznej formy zmysłu wzroku, oczywiste, że jego funkcjonowanie i cechy są adaptacją do lokalnego środowiska, a nie do badania większych i mniejszych fragmentów Wszechświata, jakie ma miejsce w nauce. Zostaliśmy po prostu wyposażeni w zmysł, który miał do odegrania ważną rolę. Musieliśmy wyczuwać niebezpieczeństwo, odróżniać owoce jadalne od zielonych liści i wykrywać dzienne zmiany światła i półmroku. Każdy gatunek rozwijający się w tym środowisku dzięki doborowi naturalnemu będzie miał ograniczony zakres zmysłów i jeśli zechce manipulować Naturą, będzie musiał sięgnąć po sztuczną pomoc, jeśli pragnie wymknąć się z nałożonego przez zmysły więzienia.¹⁴

Dla niektórych więzienie to może być ciemniejsze niż dla pozostałych. Jesteśmy szczęściami, że przez większość czasu niebo nad nami jest czyste. Dzięki temu mogła powstać astronomia. Z jej badań wyłoniła się wiedza o grawitacji i

wielu innych aspektach ziemskiej fizyki, które stały się widoczne dopiero wówczas, kiedy spojrzeliśmy na nie od strony astronomii. Hel, który odgrywa tak ważną rolę w badaniach nad zachowaniem się materii w niskich temperaturach, odkrył francuski astronom Pierre Janssen w 1868 roku w widmie koronalnym Słońca podczas zaćmienia (stąd nazwa tego pierwiastka).¹⁵ Gdyby niebo było stale pochmurne lub przesłonięte, to nie narodziła by się astronomia optyczna. Mielibyśmy niewielką lub żadną wiedzę o własnym Układzie Słonecznym, nie mówiąc już o miriadach odległych galaktyk. Życie mogło rozwinąć się do poziomu porównywalnego z *Homo sapiens*, na planecie, która nie ma na powierzchni-

ni żadnej rudy metalu. Wówczas postęp techniczny byłby zahamowany, a długa, aczkolwiek wymyślna epoka kamienia mogła by stać się cechą planetarnej ewolucji. Sztuczki geologii dały by nam środki do rozwijania techniki zdolnej do badania mikroskopowej struktury materii i odkrycia elektryczności.

Płynie stąd prosta nauka, że w różnych zakątkach Wszechświata rozwinęłyby się różne inteligencje, aby sprostać wyzwaniom stawianym przez specyficzne środowiska. Właśnie te środowiska determinują kierunki rozwoju, będące najbardziej reprodukcyjnie korzystne i najmniej kosztowne jeśli chodzi o skape zasoby. Będą też określać, co jest niemożliwe dla ich mieszkańców. To zaś z kolei wpłynie na kierunki, w których podążą istoty rozumne, w poszukiwaniu wiedzy i postępu.

Manipulowanie Wszechświatem

Filozofów można podzielić na dwie klasy: takich, którzy wierzą, że filozofów można podzielić na dwie klasy, i takich, którzy w to nie wierzą.

ANONIM

Faustowski obraz ludzkości funkcjonujący na potrzeby starań manipulowania Naturą na coraz szerszą skalę jest niekompletny, lecz stanowi użyteczny sposób odmalowywania obrazu ludzkich osiągnięć technicznych. Możemy zyskać pewną perspektywę, dokąd udało nam się dojść, i jak daleko zaszliśmy, patrząc jak dobrze udało nam się manipulowanie materią w skalach większych i mniejszych niż skala naszego ciała, a więc w dwóch dziedzinach, w których potrzebna nam jest pomoc techniki.

W latach sześćdziesiątych XX wieku koncepcja poszukiwania inteligencji pozaziemskich (ETI) była nowa i nowatorska, mając do dyspozycji wiele nowych technik obserwacji astronomicznych. Rosyjski astrofizyk, Mikołaj Kardeszew zaproponował, żeby podzielić zaawansowane ETI na trzy kategorie - Typ I, Typ II i Typ III, w zależności od ich poziomu techniki.¹⁶ Owe stopnie cywilizacji szkiecowo określono jak następuje:

Typ I jest zdolny do restrukturyzowania planety i zmieniania środowiska planetarnego; potrafi wykorzystywać istniejący ekwiwalent energetyczny ziemskiej cywilizacji do komunikowania się i przesyłania informacji. **Typ II** jest zdolny do restrukturyzowania układów słonecznych; potrafi wykorzystywać obecny ekwiwalent energetyczny Słońca do komunikacji międzygwiazdnej.

Typ III jest zdolny do restrukturyzowania galaktyk. Potrafi przesłać sygnały przez cały obserwowalny Wszechświat wykorzystując znane nam prawa;

potrafi wykorzystać istniejący ekwiwalent energetyczny Galaktyki do komunikacji międzygwiazdnej.

Impulsem do sporządzenia tej klasyfikacji była potrzeba oszacowania, ile ciepła odpadowego będzie dawać działalność techniczna poszczególnych cywilizacji, co pozwoliłoby ustalić, czy któraś z nich może być wykryta przez astronomów.¹⁷ Widać stąd, że łatwiej wykryć bardzo odległą cywilizację Typu III niż znajdującą się blisko Typ I.¹⁸ Jednakże nie ten aspekt klasyfikacji Kardaszewa jest głównym przedmiotem naszego zainteresowania. Nam chodzi o takie jej *rozszerzenie*, żeby określić „drabinę” kamieni milowych w rozwoju techniki.

W niniejszym schemacie widzimy, że z pewnością jesteśmy cywilizacją Typu I. Na wiele sposobów zmieniliśmy topografię powierzchni Ziemi - wznosząc budowle, rozkopując i kopiąc w głąb, usuwając lasy i wydzierając łąd morzu. Nasza działalność industrialna zmieniła zachowanie ziemskiej atmosfery i temperaturę Ziemi. Jesteśmy zdolni do dokonania wielkich zmian na Ziemi i jej najbliższym otoczeniu albo planowo, albo przypadkiem. Eksploracja i eksploatacja wewnętrznej struktury Ziemi była jak dotąd dość skromna, zrobiliśmy niewiele więcej nad wydobywanie paliw kopalnych i minerałów.

Jesteśmy blisko dolnego pułapu cywilizacji Typu II. Potrafimy zmienić bieg ewolucji niektórych planet wewnętrznych (na przykład, zasiedlając Venus prymitywnymi formami życia, które zmieniają chemię jej atmosfery), a także (i pewnie będziemy do tego zmuszeni) wykorzystać technikę w stylu Gwiezdnych Wojen, żeby ochronić siebie

przed planetoidami i kometami, kiedy znajdują się one w obrębie zewnętrznego Systemu Słonecznego. Dojrzała cywilizacja Typu II może spowodować zmianę składu chemicznego swojej gwiazdy macierzystej (przypuszczalnie przez kierowanie na nią komet), aby tą drogą zmienić naturę biosfery. Taka cywilizacja mogłaby wyławiać minerały i pierwiastki ciężkie z przestrzeni kosmicznej i nauczyć się pozyskiwać energię słoneczną z wydajnością o wiele większą niż pozwala na to nasza obecna technologia.

Cywilizacja Typu III to rzecz rodem z science fiction i nawet trudno sobie wyobrazić manipulowanie materią na tak ogromną skalę (przypuszczalnie poprzez wpływanie na kosmiczne dżety radiowe - największe koherentne struktury widziane we Wszechświecie), z uwagi na długi czas, jakiego potrzebują sygnały, żeby pokonać tak wielkie odległości.¹⁹ Aby cywilizacja mogła tak mocno się rozwinąć, musi mieć pod kontrolą wszystkie ewentualne problemy lokalne, a jej członkowie powinni żyć bardzo długo (może nawet wiecznie). Jeśli problemy środowiska lokalnego będą wciąż stwarzały znaczące problemy, to mało prawdopodobne, by udało się podjąć jakieś szczególnie marnotrawne przedsięwzięcia naukowe. Jednakże, gdyby kłopoty te zwiększyły się na tyle, by zagrażać przyszłości całej cywilizacji, najpewniej wszystkie zasoby zostaną

skierowane, ku poszukiwaniom sposobów przeniesienia się w bezpieczniejsze miejsce.

Początkowo może się wydawać, że kosztowne, ultradługoterminowe przedsięwzięcia nigdy nie zostaną podjęte, jeśli czas ich trwania znacznie przekracza średnią długość życia poszczególnych członków społeczeństwa. Jak można to przewyciężyć? Wyobraźmy sobie sytuację, w której koncepcja długości życia jednostki staje się nieistotna. Otóż, przy bardzo wymyślnej technice komputerowej, potrafiącej poradzić sobie ze sporządzeniem kopii poszczególnych umysłów, pojedyncze istoty mogą przewyciężyć „śmierć” w zwykłym rozumieniu tego słowa. Być może stracą jakąś krótką chwilę, kiedy informacja jest przesyłana do innego nośnika, lecz będzie to tylko niewielkie zakłócenie. Można sobie wyobrazić różne komputery rywalizujące o to, który sporządzi najpełniejszą kopię - taki, który utracił ostatnie dane i taki, który usunie pewne niepożądane cechy lub „złą” pamięć.

W ostatnich latach pojawiły się szczegółowe spekulacje na temat odległej przyszłości Wszechświata, dopuszczające istnienie cywilizacji jeszcze bardziej rozwiniętych niż cywilizacje Typu III.²⁰ Przypuśćmy, że rozszerzamy podaną klasyfikację w górę. Członkowie tych hipotetycznych cywilizacji typów IV, V, VI... itd. będą potrafili manipulować strukturami Wszechświata w coraz większej skali - grupami, gromadami i supergromadami galaktyk. Możemy również wyobrazić sobie cywilizację typu Q, która będzie potrafiła manipulować całym Wszechświatem (a nawet innymi wszechświatami). Jeśli podróże w czasie są praktycznie możliwe, to ich odbywanie otworzyłoby cały nowy świat możliwości dla cywilizacji tego ostatniego typu. Byłyby one określone przez ich zdolność do sięgnięcia możliwie jak najbliższej wszystkich fundamentalnych ograniczeń gromadzenia danych, przetwarzania, odporność na chaotyczną nieprzewidywalność i wytrzymałość.

Przeprowadzono wiele szczegółowych przewidywań, jaka miałaby być ta cywilizacja typu Q, pod względem tego, co i jak potrafiłaby zrobić. Autor, wraz z Frankiem Tiplerem wykazał, że możliwe jest, by w pewnych typach rozszerzającego się wszechświata, przetwarzanie informacji trwało nieprzerwanie i nieskończenie oraz że nie muszą istnieć bariery przeszkadzające rozciągnięciu tego wpływu, jeśli wszechświat posiada pewną określoną strukturę ogólną.²¹ Jednakże badania te zaledwie identyfikują najlepszą możliwą sytuację; całkiem inną sprawą jest osiągnięcie tego.

W podobnym kierunku poszły rozważania Alana Cutha, który zbadał, co trzeba zrobić, żeby stworzyć „wszechświat” w laboratorium.²² Jest to raczej niemożliwe przy naszym obecnym pojmowaniu fizyki, lecz stosunkowo małe zmiany naszej wiedzy być może uczynią to technicznie możliwym w odległej przyszłości. Trzeba dodać, że nie będziemy mogli widzieć tego „niemowlęcego

wszechświata” ani z nim oddziaływać po jego zainicjowaniu. W bardziej ogólnej wersji w scenariuszu inflacyjnego wszechświata, który omówimy w następnym rozdziale, możliwe jest nawet, że poszczególne regiony Wszechświata są wyposażone w inne niż nasze stałe lokalne oraz inne prawa Natury.²³

Lee Smolin rozważał spekulacyjny scenariusz, w którym wartości stałych Natury ewoluują przez wiele „wydań”, kiedy z zapadających się czarnych dziur wyłaniają się nowe wszechświaty, z małymi przesunięciami wartości określających je stałych, występującymi na poszczególnych etapach.²⁴ Przesunięcia są „selekcjonowane” zgodnie z trendem do zwiększania produkcji czarnych dziur, a więc tworzenia liczniejszych okazji do powstawania nowych wszechświatów niemowlęcych z nieco przesuniętymi stałymi. Motywacją tej propozycji była próba wyjaśnienia wielu osobliwych koincydencji, obserwowanych między wartościami rozmaitych stałych Natury. Koincydencje te są wynikiem procesu, który trwał przez niezwykle długi czas. Można sobie wyobrazić, że obserwowana przez nas, precyzyjnie zrównoważona sytuacja, jako efekt procesu selekcji, jest w odniesieniu do tego procesu optymalna. W takim przypadku każda zmiana istniejących wartości stałych powinna obniżyć tempo produkcji czarnych dziur.²⁵

Amerykański kosmolog Edward Harrison, wzięwszy pod uwagę spektrum wszystkich tych możliwości, postawił interesujące pytania na temat stopnia do jakiego istoty inteligentne mogą wpływać na wartości stałych Natury, definiujących charakter ich swojego Wszechświata.²⁶ Ich cywilizacja musiałaby być odmianą Typu Q. Harrison przyjął, że fakt, iż tak wiele stałych Natury przyjmuje wartości, które są zadziwiająco dopasowane do ewolucji życia, może być konsekwencją zdolności kolejnych pokoleń rozwiniętych cywilizacji do tworzenia rozszerzających się „wszechświatów” i takiego dobierania wartości ich stałych fizycznych, by zbliżały się one do optymalnych wartości umożliwiających jednocześnie istnienie i przetrwanie życia. Przyjrzymy się bliżej tej koncepcji.

Wiemy, że stałe Natury, definiujące nasz własny Wszechświat są pod wieloma względami zwodnicze.²⁷ Nie potrafimy wyjaśnić, dlaczego mają taką, a nie inną wartość, lecz gdyby któreś z nich choć trochę się zmieniły, nie byłoby możliwe istnienie zorganizowanej złożoności (której ekstremalnym przykładem jest życie). Istnieje wiele słynnych i precyzyjnie zrównoważonych koincydencji związanych z wartościami stałych; gdyby te koincydencje nie zaistniały, nie byłoby też nas. Nie wiemy jednak, czy te koincydencje to tylko szczęśliwy wynik wszystkich (lub szerokiego wachlarza) możliwości, czy też istnieje tylko jedna możliwa, logicznie spójna kombinacja stałych Natury. Jeśli możliwe są inne wartości stałych, a pierwsze przymiarki do teorii superstrun, kandydatki na „Teorię Wszystkiego”, wskazują, że są, to wartości stałych dadzą się dostrajać, kiedy tylko będzie można eksperymentalnie „tworzyć” wszechświaty z fluktuacji próżni. Każda cywilizacja wystarczająco wysoko rozwinięta technicznie, mogłaby

więc tak dostroić stałe, żeby nieco bardziej sprzyjały ewolucji życia, niż to miało miejsce w jej własnym wszechświecie. Nietrudno sobie wyobrazić, że po wielu etapach dostrajania przez kolejne rozwinięte cywilizacje, stałe będą miały precyzyjnie dobrane wartości bliskie optimum, jeśli chodzi o warunki niezbędne żeby życie mogło się pojawić i z powodzeniem rozwijać. Fakt, że nasz świat posiada coś, co niektórzy uważają za tak podejrzanie precyzyjne, można by nawet uznać za dowód, iż owo udane dostrajanie długowiecznych wszechświatów przez rozwiniętych mieszkańców już wielokrotnie miało miejsce w kosmicznych historiach. Niestety ta zabawna koncepcja nie pozwala wyjaśnić, dlaczego stałe uzyskały swoje wartości na długo przed zaistnieniem jakiegokolwiek możliwości dostrojenia niemowlęcych wszechświatów. Musielibyśmy uznać, że życie miało szczęście, iż wszechświat okazał się tak gościnnie lub że powstanie życia jest praktycznie nieuniknione dla wielkiego przedziału wartości stałych Natury. Jednakże w takim razie trudno pojąć, dlaczego cywilizacja Typu Q miałaby przebywać olbrzymie odległości, żeby je dopasować. Może jednak wielkie odległości są niepotrzebne.

Brytyjski kosmolog Fred Hoyle tak zareagował kiedyś na dokonane przez siebie odkrycie niezwyklej przypadkowości lokalizacji poziomów energii w jądrach atomów węgla i tlenu, bez których nasze istnienie raczej nie byłoby możliwe:

„Nie wierzę, żeby jakikolwiek uczone, który zbadał dowody, nie wyciągnął wniosku, iż prawa fizyki jądrowej zostały celowo zaprojektowane z myślą o konsekwencjach, jakie z nich wynikają we wnętrzach gwiazd. Jeśli tak jest w istocie, to żadne takie, najwyraźniej przypadkowe kaprysy nie mogłyby stać się częścią owego misternego schematu. Jeśli jednak nie, to znów wracamy do potwornego szeregu przypadków.”²⁸

Podobne, teologiczne podejrzania znajdujemy w reakcji Freemana Dysona na dalsze odkryte zbiegi okoliczności, dotyczące sił oddziaływań: elektromagnetycznych i jądrowych,²⁹ które nie pozwalają, by reakcje jądrowe tak gwałtownie wyczerpywały materiał gwiazd, iż środowiska umożliwiające powstanie życia zniknęłyby na długo przed tym, zanim ewolucja mogłaby rozwinąć złożone struktury biologiczne:

„Kiedy patrzymy na Wszechświat i widzimy, jak wiele przypadków z dziedziny fizyki i astronomii zadziało na naszą korzyść, to wygląda niemal tak, jakby w pewnym sensie Wszechświat musiał wiedzieć, że się pojawimy.”³⁰

Trzeba podkreślić, że wprowadzenie koncepcje Smolina i Harrisona są skrajnie spekulacyjne, dostarczają jednak przykładów z naszej własnej, ograniczonej

wyobraźni, na temat niektórych sposobów, jakimi cywilizacja Typu Q, mogłaby wpłynąć na substancję Wszechświata w odległej przyszłości.³¹

Wprowadziliśmy podział cywilizacji na „typy”, biorąc pod uwagę ich zdolność do manipulowania otaczającym je wielkoskalowym światem. Jest to najtrudniejszy rodzaj manipulacji. Wymaga olbrzymich zasobów energii i bardzo trudno odwrócić skutki, jeśli coś się nie uda. Nie da się uniknąć grawitacji, a ponieważ jest to jedyna znana siła Natury, która działa na wszystko bez wyjątku, nie można jej też wyłączyć. Tak więc w praktyce okazuje się, że o wiele mniej kosztowne byłoby rozszerzenie naszych umiejętności manipulowania światem na coraz mniejsze wymiary, zamiast na

coraz większe i większe. Powiększmy zatem proponowaną klasyfikację rozwiniętych technicznie cywilizacji o wartości ujemne - czyli Typ I-minus, Typ II-minus, ... itd., aż do Typu Q-minus, według zdolności do kontrolowania coraz mniejszych obiektów. Cywilizacje można by opisać następująco:

Typ I-minus jest zdolny do manipulowania obiektami o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami poszczególnych osobników: wznoszenie budowli, prace kopalniane, łączenie i łamanie ciał stałych;

Typ II-minus jest zdolny do manipulowania genami oraz zmieniania środowiska organizmów żywych, transplantacji czyli wymiany części organizmów poszczególnych osobników, odczytania i manipulowania kodem genetycznym; **Typ III-minus** jest zdolny do manipulowania cząsteczkami i wiązaniami cząsteczkowymi, a więc tworzenia nowych substancji; **Typ IV-minus** jest zdolny do manipulowania pojedynczymi atomami, tworzenia nanotechnologii na skalę atomu i tworzenia skomplikowanych form sztucznego życia;

Typ V-minus jest zdolny do manipulowania jądrami atomów oraz składającymi się na nie nukleonami;

Typ VI-minus jest zdolny do manipulowania elementarnymi cząstkami materii (kwarkami i leptonami) by tworzyć zorganizowane systemy w populacji cząstek elementarnych;

całość wieńczy

Typ Q-minus zdolny do manipulowania podstawową strukturą czasu i przestrzeni.

Spróbujmy i tym razem zlokalizować siebie w tej klasyfikacji możliwości technicznych. Od dawna już jesteśmy cywilizacją Typu I-minus, a nowoczesna genetyka pozwala nam zaliczyć się pod pewnymi względami do Typu II-minus.

Wykorzystanie tej umiejętności jest jednak kontrowersyjne i pełne niebezpieczeństw oraz potencjalnie grozi pogwałceniem wolności osobistych i obywatelskich. Human Genome Project to międzynarodowy program badawczy, którego celem jest odczytanie informacji genetycznej człowieka, by na tej podstawie ustalić przyczyny najróżniejszych ludzkich dolegliwości i chorób. Oznacza on wejście biologii do grona wielonarodowej ligi „wielkiej nauki”, zdominowanej dotąd przez fizykę i astronomię.

Mamy też pewne umiejętności cywilizacji Typu III-minus, gdyż rutynowo wytwarzamy nowe substancje o pożądanym właściwościach, a w medycynie naukowcy projektują antybiotyki mające określone właściwości lecznicze. Całkiem niedawno weszliśmy także do klasy cywilizacji Typu III-minus, ale choć jesteśmy nowicjuszami, rozwinięliśmy umiejętność przemieszczania pojedynczych atomów i modelowania powierzchni z dokładnością do rozmiarów atomowych (patrz rys. 5.4).

Pozwala nam to na stopniowe rozwijanie nanotechnologii. Od dawna marzeniem uczonych było konstruowanie urządzeń mikroskopowych rozmiarów- motorów, zaworów, czujników i komputerów- aż do skali molekularnej. Można by je wszczepiać w większe struktury, gdzie w niezauważalny sposób pełniłyby rozmaite funkcje - na przykład monitorowały serce pacjenta lub pilnowały, by ważne arterie były wolne od zatorów. Niektóre takie urządzenia już istnieją (patrz rys. 5.5). Jest duża szansa, że w nadchodzących latach zaczną one odgrywać coraz większą, choć niezauważalną rolę w życiu codziennym.

Nie jest nam łatwo utrzymać status cywilizacji Typu V-minus. Potrafimy w kontrolowany sposób wykorzystywać siły jądrowe i cząstki elementarne do wytwarzania energii z rozszczepienia jąder atomowych, czy wywoływania wybuchów, generowanych rozszczepieniem i łączeniem jąder, lecz nie udaje nam się bezpiecznie i pewnie kontrolować powstających przy tym odpadów. Mimo przeprowadzanych w wielu krajach kosztownych badań nie udało nam się również znaleźć sposobu na eksploatację energii z reakcji łączenia jąder atomowych. Choć jest to źródło energii jądrowej bezpieczniejsze i mniej szkodliwe dla środowiska niż reakcja rozszczepiania, mamy poważne problemy z kontrolowaniem i utrzymaniem plazmowych składników reakcji. Jak dotąd kontrolowana emisja energii trwała bardzo krótko, a sam proces jest o wiele kosztowniejszy niż konwencjonalne sposoby otrzymywania energii. Włoski fizyk Carlo Rubbia

nakreślił sposoby uzyskiwania „czystej” energii w wyniku bombardowania jąder atomowych szybkimi cząstkami. Premią, jaką oferuje ta technika, jest prostota procesu unieszkodliwiania odpadów oraz to, że (w przeciwieństwie do istniejących reaktorów i obecnie wykorzystywanych procesów) jej odpady nie mają żadnego znaczenia militarnego.

Innym najnowszym sukcesem cywilizacji Typu V-minus jest stworzenie jąder antymaterii (antywodoru) w CERN w Genewie. Kontrolowane spotkanie materii i antymaterii może również dostarczyć nam czystej, bezpiecznej energii. Jak zwykle chodzi nie tylko o to, żeby to po prostu wykonać, lecz żeby dokonać tego jak najmniejszymi nakładami finansowymi. Inaczej nie będzie warte zachodu.

Nie jesteśmy jeszcze cywilizacją Typu VI-minus. Potrafimy wprawdzie wytwarzać cząstki elementarne podczas zderzeń między rozpędzonymi do wielkich prędkości protonami oraz w innych procesach fizyki cząstek wysokiej energii, lecz wciąż jeszcze nie przekroczyliśmy etapu obserwowania powstających przy tym okruczków. Na razie staramy się rozwinąć i skonsolidować wiedzę o samych cząstkach elementarnych - dowiedzieć się, ile ich jest, poznać ich masy i czas życia, ustalić identyfikujące je cechy charakterystyczne oraz te, które ograniczają zakres ich wzajemnych oddziaływań. Nadal jednak nie potrafimy składać tych cząstek w skomplikowane agregaty o zadanych właściwościach (femtoinżynieria?). Nie wiemy też, czy takie struktury mogłyby istnieć w innych postaciach niż znane nam agregaty tworzące hadrony i mezony.

Warto zauważyć, że manipulacje na najmniejszych komponentach materii prowadzą do dziwnego stanu rzeczy. Mamy precyzyjne teorie matematyczne, które prognozują zachowanie obiektów mikroskopowych z bezprecedensową dokładnością, przy czym przewidują więcej na temat świata niż dowiedzieliśmy się obserwując go. Niekiedy pozwalają nam stworzyć bardzo specyficzną sytuację, która być może nigdy nie powstała w żadnym zakątku Wszechświata w całej jego minionej historii, chyba że jakieś inne czujące istoty przeprowadziły podobne eksperymenty. Na przykład w początkach dwudziestego wieku w Lejdzie holenderski fizyk Heike Kamerlingh-Onnes po raz pierwszy zaobserwował w roku 1911 zjawisko nadprzewodnictwa. Zauważył on całkowity zanik oporu w przepływie prądu elektrycznego w rtęci oziębionej do -269°C , zaledwie 4 stopnie powyżej zera absolutnego (-273°C). Nie ma powodu spodziewać się, że gdziekolwiek we Wszechświecie w sposób naturalny występują tak niezwykle niskie temperatury, a w takim razie zjawisko nadprzewodnictwa zapewne nigdy wcześniej się nie zmanifestowało, aż do momentu wystąpienia w 1911 roku w Lejdzie. Podobnie, odkrycie nadprzewodnictwa w wysokich temperaturach, dokonane w Zurichu w 1987 roku przez Georga Bednorza i Alexa Muellera, mogło nigdy wcześniej nie wystąpić we Wszechświecie. Zjawisko to (do dziś jeszcze nie do końca poznane przez fizyków) zachodzi w wyż-

szych temperaturach niż zwykle nadprzewodnictwo, ma więc odmienny mechanizm fizyczny i pojawia się w materiałach będących nietypową mieszanką minerałów. Owe mikstury chemiczne są raczej delikatne (coś na kształt sekretnej formuły alchemików), trudno się zatem spodziewać, że wystąpią spontanicznie w naturalnym środowisku, pojawią się na powierzchni planety lub wyewoluują z materii międzygwiazdowej. W takim razie zjawisko to będzie miało swój debiut jako efekt manipulowania materią w warunkach sztucznie stworzonych przez ludzi. To bardzo uspokajające.

Ostatecznym wyzwaniem technicznym dla cywilizacji Typu Q-minus będzie manipulacja przestrzenią i czasem.³² Przypuszczalnie będzie ona umiała czerpać energię z punktu zerowego czyli próżnię wykorzystać jako źródło energii. Obecnie potrafimy określić (teoretycznie) niektóre operacje, które taka super-cywilizacja będzie mogła wykonać w przestrzeni i w czasie, lecz warunki potrzebne do przeprowadzenia takich zmian leżą daleko poza zasięgiem naszej techniki.

Einstein uczył, że poruszające się zegary chodzą wolniej oraz że zwalniają w silnym polu grawitacyjnym. Dostrzegamy to zjawisko w eksperymentach z cząsteczkami o wysokich energiach, w promieniowaniu kosmicznym oraz podczas obserwacji ruchów w Układzie Słonecznym i poza nim. Jednakże nie jesteśmy jeszcze na etapie kreowania okoliczności, w których efekty te będą dawały jakąś korzyść technologiczną. Klasycznym przykładem, znanym czytelnikom powieści science fiction, jest przemieszczanie się z prędkością bliską prędkości światła do układów gwiazdnych odległych o wiele lat świetlnych w czasie, który po powrocie podróżnika do domu okazuje się bardzo krótki. Przyznajemy także, iż może istnieć szczególna konfiguracja masy i energii, pozwalająca na podróżowanie w czasie lub na stworzenie lokalnego „tunelu” czasoprzestrzennego, łączącego części Wszechświata ogromnie odległe według miary konwencjonalnych jednostek świetlnych.³³

Tego rodzaju spekulacyjne możliwości mają cechy, które nie pozwalają nam od ręki je odrzucić. Mamy teorię grawitacji, czyli ogólną teorię względności, która działa z fantastyczną dokładnością wszędzie tam, gdzie ją testowano. Znamy także niektóre jej ograniczenia. To że musi zawieść w skrajnych warunkach temperatury lub gęstości materiału (co do których wiadomo, że w najbliższej przyszłości z pewnością nie wystąpią). Teoria ta dopuszcza również takie

rzeczy, jak podróże w czasie. Nie znamy jednak pełnego zestawu restrykcji, jakie powinniśmy nałożyć na jej przewidywania, żeby wyłowić te, które nie są kompatybilne z innymi właściwościami naszego Wszechświata. Jednak, jeśli to zrobimy, powinniśmy zadać pytanie o prawdopodobieństwo wystąpienia jakiegoś zjawiska. Podróż w czasie może być teoretycznie dopuszczalna i nie pociągać za sobą pogwałcenia praw Natury, lecz prawdopodobieństwo, że w praktyce kiedykolwiek-

wiek nastąpi, może być zbyt małe (z uwagi na konieczność zaistnienia bardzo szczególnych warunków). Na przykład lewitacja jest kompatybilna ze znanymi prawami fizyki w takim sensie, że jeśli wszystkie cząsteczki naszego ciała nagle jednocześnie podryfują do góry, to oderwiemy się od ziemi. Żadne prawo fizyki tego nie zabrania. Istnieje szansa, że taka nietypowa sytuacja nastąpi, lecz jest ona zbyt mała. Z pewnością wszelkie doniesienia, iż tak się stało, z większym prawdopodobieństwem będą błędne niż prawdziwe.

Ciekawe, że umiejętności cywilizacji typu Q i Q-minus w skali makro i mikro zataczają pełne koło i łączą się. Zdolność kontrolowania całych wszechświatów lub tworzenia ich z kwantowej próżni wymagają mikroskopowej kontroli nad przestrzenią i czasem. Tak naprawdę bowiem wszechświaty nie zawierają niczego oprócz przestrzeni i czasu. Cała materia to nic innego jak fale na czymś, co w przeciwnym razie byłoby doskonale gładkim podłożem przestrzeni i czasu.

Zanim zakończymy nasze rozważania nad klasyfikacją technicznych osiągnięć powinniśmy rozważyć, czy nie istnieje trzecia główna kategoria czy też dziedzina manipulacji. Oprócz tego, co bardzo duże i tego, co bardzo małe, jest jeszcze to, co złożone. W naszym doświadczeniu najbardziej skomplikowane obiekty zajmują przestrzeń rozmiarów pośrednich między bardzo małym i bardzo dużym. Na rys. 5.6 umieszczono niektórych członków owego „klubu złożoności”. Wyróżnia je organizacja wewnętrzna, czyli liczba wzajemnych połączeń między częściami składowymi. Kiedy liczba tych połączeń zwiększa się, potencjalne możliwości złożonego zachowania dramatycznie skaczą w górę.

Wchodząc w krainę rzeczy złożonych, przenosimy się w świat, który porządkuje siebie całkiem inaczej niż proste światy rzeczy dużych i małych. Stabilność nie jest tylko wynikiem współgrania i równowagi dwóch przeciwstawnych sił Natury. Okazuje się że może być ona dynamiczna, a przy tym stacjonarna i że cały porządek może opierać się zachodzącej nieustannie lokalnej zmianie. Świat złożoności to obszar, w którym stabilność rzeczy jest stabilnością płomienia świecy, a nie wosku, z którego tę świecę zrobiono.

Krytyczność - zagadka piasku

Świat zobaczyć w ziarnku piasku, Niebo w dzikiej roślinie,
Nieskończoność uchwycić w dłoni, A Wieczność w godzinie.

WILLIAM BLAKE

Jak dotąd nie ma ogólnej teorii opisującej złożoność. Podobnie jak życie, jest bowiem trudna do zdefiniowania, ale rozpoznajemy ją, kiedy ją ujrzymy. Znamy wiele konkretnych przykładów. Mają one pewne cechy wspólne, lecz nie wyłania się z nich prosty zestaw praw, obejmujący sedno wszystkich form złożoności. Zapewne jest to zbyt wygórowane wymaganie. Bardziej realistyczne może być odkrycie, że istnieje tylko skończona liczba różnych odmian złożoności i że każdy nowy egzemplarz znajdzie się w jednej z tych klas. W ostatnich latach zidentyfikowano ważną formę złożoności, która może charakteryzować którąś z nich. Struktura o takim typie złożoności przejawia zachowanie, które nazwano samorganizowanym stanem krytycznym (*self-organizing criticality*, SOC).³⁶ Centralnym paradygmatem SOC jest zwykły kopiec piasku. Wyobraźmy sobie, że ziarna piasku spadają jedno po drugim na płaską powierzchnię, na przykład blat stołu, otwartą na brzegach, żeby wszelki nadmiar piasku swobodnie spadał. Najpierw kopiec robi się coraz bardziej stromy. Kolejne ziarna oddziałują na zachowanie tylko tych ziaren, które znajdują się w bezpośrednim

sąsiedztwie miejsca, na które spadną, i występują tylko okazjonalne lawiny piasku. W miarę przybywania ziaren, stromizna kopca przestaje się jednak zwiększać. Jego stok stopniowo uzyskuje „krytyczny” kąt nachylenia. Kiedy go osiągnie, w równowadze utrzymują go lawiny zsypanych się piasku (patrz rys. 5.7).

Stan krytyczny ma kilka fascynujących własności. Jest to skomplikowany stan zorganizowany, istniejący dzięki

powiązaniu wydarzeń (takich jak spadanie, osypywanie się ziaren piasku), które rozpatrywane pojedynczo są chaotycznie nieprzewidywalne. To nie jedyna zaskakująca cecha kopca piasku. Otóż kopiec ten znajduje się w stanie stacjonarnym (tempo przybywania piasku zostaje w końcu zrównoważone tempem osypywania piasku poza krawędzie stołu), który zawsze będzie balansował na krawędzi niestabilności. Każde ziarnko piasku spadające się nań z góry, powoduje lawiny oraz wywołuje zmiany, służące podtrzymaniu ogólnego kształtu stoku. Taki rodzaj równowagi nazywamy krytycznym. Stanowi on ciekawą mieszaninę przewidywalności i nieprzewidywalności. Choć ogólny kształt stoku tworzy się niezależnie od tego, jak sypany jest piasek,³⁷ cały kopiec, zbliżając się do stanu krytycznego, staje się stopniowo coraz bardziej wrażliwy na przybywanie pojedynczych ziaren. Tak więc najpierw spadające ziarna oddziałują tylko na ziarna w swoim najbliższym sąsiedztwie,

lecz z czasem, im bardziej kopiec zbliża się do stanu krytycznego, efekt wywierany przez każde spadające ziarno rozprzestrzenia się coraz bardziej na powierzchni kopca. W momencie krytycznym ziarna często wywołują lawiny,¹ obejmujące zasięgiem cały stok kopca.

Kopiec piasku ma cechy wspólne z wieloma skomplikowanymi układami zorganizowanymi, występującymi w przyrodzie. Niezbędną składową systemu, który ma się zorganizować w ten rodzaj stanu krytycznego, wydaje się istnienie obszernego zakresu zachowań (lawiny piasku), nie mających określonych rozmiarów.³⁸ W kopcu piasku oznacza to, że lawiny piasku nie muszą mieć jakiejś konkretnej wielkości, byle mieściła się ona między rozmiarami pojedynczego ziarna piasku a całego kopca. W stanie krytycznym występują lawiny wszelkich możliwych wielkości, ze zmieniającym się prawdopodobieństwem.³⁹

Wydaje się, że kopiec piasku jest reprezentantem systemów, które na pierwszy rzut oka wydają się całkiem różne. Jeśli lawiny piasku zastąpimy wymieraniem w skomplikowanym ekosystemie, to odpowiednikiem stanu krytycznego może być dynamiczny stan ekologicznej równowagi.⁴⁰ Wymierania odgrywają w tym układzie pozytywną rolę, jak lawiny w kopcu piasku, gdyż opróżniają nisze ekologiczne dla nowych gatunków. Przykładem SOC może być również ogólna równowaga naprężeń powierzchni Ziemi, podtrzymywana przez wybuchy wulkanów i trzęsienia ziemi.⁴¹ Innym interesującym przykładem, jaki obecnie szczegółowo się bada, jest ruch drogowy. Optymalny stan przeciążonej sieci dróg jest, jak się wydaje, samorganizowanym stanem krytycznym, w którym mogą powstawać korki dowolnej długości, żeby podtrzymać optymalny ruch. W obrębie wielkich korków występują małe, a mały ruch pojedynczego samochodu może mieć rozległe skutki.⁴² Fluktuacje te są irytujące, kiedy musimy w nich tkwić, ale jest to sposób na podtrzymanie możliwie najefektywniejszego ogólnego przepływu samochodów. Gdybyśmy mieli przepływ z mniejszą liczbą fluktuacji, to albo droga byłaby zbyt słabo uczęszczana, przepływ samochodów byłby zbyt mały, albo zakorkowała by się całkiem, bez możliwości ruchu. Natomiast w optymalnym stanie krytycznym doświadczamy irytujących korków, które pojawiają się nieustannie bez żadnego powodu, i rzeczywiście trudno podać jakąś jedną ich przyczynę. Jest to SOC w pełnej krasie i stanowi część całkowitej nieprzewidywalności zdarzeń w pobliżu stanu krytycznego. Podobnie, jeśli, jak się podejrzewa, trzęsienia ziemi i inne zjawiska wulkaniczne rzeczywiście są przykładem takiej formy krytycznego zachowania, to nawet nie warto starać się je przewidywać.

Inne ważne przykłady samoorganizującego się stanu krytycznego pochodzą z gospodarki.⁴³ Otóż spójrzmy na gospodarkę jak na układ w stanie krytycznym, w którym lawinom piasku odpowiadają krachy i bankructwa (w tym przypadku chodzi o uwolnienie funduszy i ludzi, żeby można było uruchomić nową działalność). Trzeba też brać pod uwagę duże fluktuacje rynku i całkowicie nieprze-

widywalne aspekty zmian gospodarczych. Co więcej, proste modele wyidealizowanych zrównoważonych gospodarek, tak powszechne w rozważaniach ekonomistów nie wychwytyją najważniejszych cech samoorganizacji.

Jeszcze innym, nieoczekiwanym przykładem zjawiska krytyczności może być muzyka. Kilka lat temu dwóch amerykańskich fizyków Richard Voss i John Clarke zauważyło, że bardzo szerokie spektrum kompozycji muzycznych, obejmujące zarówno kultury zachodnie, jak i inne, mają charakterystyczny zakres (1/ft wariacji natężenia dla długości fali f , uśredniony w dłuższym okresie.⁴⁴ Po zastanowieniu stwierdzamy, że wzorzec spektralny M_i , jaki mają wszystkie rodzaje muzyki - od Beethovena po Beatlesów - to taki, który znajduje się w samorganizowanym stanie krytycznym. Przypuszczalnie dlatego, że obecność wzorców, charakteryzujących ten stan, we wszystkich interwałach czasowych, daje najprzyjemniejsze wrażenia, gdyż stanowi optymalną mieszankę nowości i struktury. Ponadto, będąc w bliskości stanu krytycznego, wzorce te są w nieprzewidywalny sposób wrażliwe na niuanse wykonania, zwłaszcza niuanse tempa, co pokazuje, dlaczego należałoby spodziewać się, że stan krytyczny będzie najbardziej pociągający dla ludzkiego umysłu.

Obserwując intrygujący przykład kopca piasku dowiedzieliśmy się, że w reprezentowanej przezeń klasie zorganizowanych zjawisk złożonych istnieją nieprzewidywalne aspekty stanu krytycznego. Kiedy dowiemy się więcej o możliwych formach złożoności - wierzę, że znajdziemy inne paradygmaty, charakteryzujące inne klasy złożoności - być może odkryjemy, że połączenie nieprzewidywalności i złożoności jest bardzo powszechne. Zwykliśmy myśleć, że coś, co jest niestabilne, nie wystąpi w Naturze, a w najlepszym wypadku jego żywot będzie krótki. Powiedzmy jak igły balansującej na swoim ostrym końcu. Jednakże kopiec piasku pokazuje, że wiele niestabilnych wydarzeń może dać w efekcie skomplikowany przejaw długoterminowego porządku. Czasem życie też się takie wydaje! Nie musimy daleko szukać, żeby znaleźć przykłady takich stanów w przyrodzie. Tak właśnie wygląda turbulentny przepływ wody w wodospadzie: każdy mały wirek jest chaotycznie nieprzewidywalny, a mimo to pomaga podtrzymać przepływ energii z dużych rozmiarów do najmniejszych, dzięki któremu ogólny przepływ jest stabilny. Jakiś rys owego stanu krytycznego możemy nawet dostrzec w jądrze naszego świadomego umysłu, gdyż mózg samoorganizuje się i również zbliża do stanu krytycznego. „Iskwienie” neuronów, jeden po drugim, wyzwalające działanie innych grup neuronów, ma wiele wspólnego z lawinami piasku. Funkcjonalność mózgu rozwija się z czasem i nic nie stoi na przeszkodzie, żeby zbliżyła się do stanu krytycznego. Wówczas byłaby najsilniej rozbudowana i maksymalnie wrażliwa na niewielkie zmiany. Ten rodzaj podatności wydaje się bardzo pożądaną cechą systemu i może mieć pewne subtelne koneksje z pojawieniem się świadomości.

Zaczęliśmy rozumieć pewne istniejące wokół nas złożone zorganizowane struktury. Możemy mieć nadzieję, że pełniejsze zrozumienie tych struktur i systemów pozwoli nam kiedyś wytwarzać je dla celów użytkowych. Rozwinięte cywilizacje, dysponujące umiejętnością stwarzania optymalnych stanów krytycznych na potrzeby swoje, techniki i środowiska, będą bardzo różnić się od naszej. Będą musiały się zdecydować na życie o wysokim poziomie nieprzewidywalności. To zaś sprawi, że ich przyszłość będzie również pod wieloma względami ciągłą niespodzianką, lecz będzie wiadomo, iż innowacji, wyznaczającej krytyczną efektywność nigdy nie da się usunąć. Jest to znak ostatecznej złożoności, jaką może ofiarować Natura.

Na rys. 5.6 widzimy najrozmaitsze złożone struktury, które odkryliśmy lub skonstruowaliśmy. Jak dotąd zajmują one przedział średnich rozmiarów, są większe od atomów, ale mniejsze od obiektów astronomicznych. Nie ma żadnego nakazu, żeby liczba zorganizowanych układów złożonych była ograniczona. Może istnieć niekończąca się ilość struktur zbudowanych przez świadome istoty lub stworzonych przez Naturę w odpowiednich, naturalnych warunkach. W tej właśnie dziedzinie złożoności, rozwinięte cywilizacje mogą naprawdę nas prześcignąć. Badania świata cząstek elementarnych mogą się nagle skończyć; badania astronomiczne wszechświata mogą mieć bardzo ograniczone zastosowania techniczne, ale dziedzina złożoności daje się natychmiast na niezliczone sposoby wykorzystać. Otwiera drogę do zrozumienia życia i świadomości oraz tworzenia innych przykładów tych fantastycznych procesów. Liczba struktur złożonych będzie gwałtownie rosła, wraz z liczbą permutacji połączeń między różnymi stanami. Nasza technika będzie miała trudny orzech do zgryzienia, żeby w sposób znaczący wpłynąć na ów niekończący się świat możliwości.

Demony - rachunek kosztów

Ludzie, którzy myślą naukę z techniką zwykle mają mylne pojęcie o granicach [...] wyobrażają sobie, że nowa wiedza zawsze oznacza nowe umiejętności; niektórzy nawet myślą, że wiedząc wszystko, potrafimy też wszystko zrobić.

ERIC DREXLER

Wiek dziewiętnasty był okresem rewolucji industrialnej. Uczeni studiowali wydajność najrozmaitszych maszyn i stopniowo gromadzili wiedzę na temat reguł rządzących zachowaniem i wykorzystaniem energii. Jednym z rezultatów tych badań są prawa termodynamiki. Najsłynniejsze jest „drugie prawo”, które mówi, że entropia układu zamkniętego nigdy nie ulega zmniejszeniu. W praktyce oznacza to, że mimo iż w procesie fizycznym jest zachowana energia, podlega ona degradacji do mniej uporządkowanych i mniej użytecznych

form, o których mówimy, że mają wyższą entropię. Istnieje o wiele więcej sposobów przechodzenia systemów z uporządkowania do nieuporządkowania niż odwrotnie, gdyż zwykle obserwujemy takie systemy zamknięte, które stają się coraz bardziej nieuporządkowane.⁴⁶ Jest to zasada czysto statystyczna, a nie prawo Natury o tym samym charakterze, co prawo powszechnego ciężenia. Ma jednak wielką wagę dla *rozważań*, na temat możliwości techniki. Nadaje naukową precyzję koncepcji, że nie można uzyskać czegoś z niczego -w rzeczywistości znaczy to, że nie można nawet wyjść na zero. Później kolejni uczeni badali związek między entropią a uzyskiwaniem lub traceniem informacji. Jeśli mamy uzyskać informację na temat stanu jakiegoś układu, to ona kosztuje. Trzeba włożyć pracę.

Drugie prawo termodynamiki pozwala nam oszacować koszt uzyskania informacji. Nasza droga ku poznaniu tego związku zaczyna się od niemal frywolnej sugestii, rzuconej przez jednego z największych uczonych dziewiętnastego wieku.

Aż do ostatniej dekady dziewiętnastego wieku prawa Natury były tak nieosobiste, jak się tylko dało. Obserwatora i przedmiot obserwowany trzymano w możliwie najściślejszej izolacji. Był to całkowicie kartezjański styl badań naukowych, ignorujący wszelkie efekty aktu obserwacji na uzyskiwane dane. Nauka przypominała obserwację ptaków z doskonałej kryjówki. W 1871 roku James Clerk Maxwell, największy brytyjski fizyk od czasów Newtona, po raz pierwszy rozpatrzył sytuację, w której dopuszczono, by inteligencja podobna do ludzkiej została włączona w prawa fizyki. Zaproponował czytelnikom, żeby rozważyli rzeczy następującą:

przyjmijmy, że jest ktoś, czyje zmysły są tak wyostrome, iż może śledzić każdą cząsteczkę w ruchu. Taka istota, choć jej cechy są równie ograniczone jak nasze własne, będzie umiała dokonać tego, co obecnie jest dla nas niemożliwe. Wiemy bowiem, że cząsteczki w naczyniu pełnym powietrza o jednolitej temperaturze poruszają się z prędkościami, które w żadnym razie nie są jednakowe, choć średnia prędkość każdej wielkiej ich liczby, wybranej arbitralnie, jest niemal dokładnie jednolita. Teraz wyobraźmy sobie, że takie naczynie zostało podzielone na dwie części, A i B, przegrodą z małym otworem, oraz że owa istota, która widzi poszczególne cząsteczki, otwiera i zamyka ów otwór, pozwalając tylko wolniejszym cząsteczkom przechodzić z A do B. W ten sposób, bez wydatkowania pracy, istota ta będzie mogła podnieść temperaturę w części B i obniżyć ją w części A, sprzeciwiając się drugiemu prawu dynamiki.⁴⁷

Pomysł Maxwella polegał na tym, że ów „demon porządkujący”⁴⁸ (lub „demon Maxwella”) jak później nazwano tę hipotetyczną „istotę”, potrafi identyfikować

szybsze cząsteczki gazu i skierowywać je do jednej części naczynia, a cząsteczki wolniejsze do drugiej, jak pokazano na rys. 5.8 (nie tak, jak w nocnym klubie, w którym bramkarz wpuszcza tylko „atrakcyjnych” klientów). W rezultacie otrzymamy różnicę temperatur między dwiema częściami naczynia, którą można wykorzystać do napędzania silnika. Zmiana układu z takiego, w którym temperatura jest jednolita, a entropia duża, na taki, w którym są dwie temperatury i mniejsza entropia to oczywiście pogwałcenie drugiego prawa dynamiki. Czy rzeczywiście?

Słabe miejsce w przedsięwzięciu demona wskazał Leo Szilard w 1929 roku,⁴⁹ a rzesze następnych badacze jeszcze bardziej rzecz uszczegółowiły. Problem w tym, że demon musi rozróżniać szybkie i wolne cząsteczki, rozmieszczać je w różnych komorach, a następnie być gotowym zrobić to ponownie. Aby to wykonać, musi oddziaływać z cząsteczkami, powiedzmy oświetlając je i obserwując kolor odbitego światła. Praca włożona w odróżnienie cząsteczek szybkich od wolnych oraz zniszczenie tej informacji, aby mógł powtórzyć operację z „czystego” startu zawsze przewyższa pracę, jaką można by wykonać, wykorzystując uzyskaną w tym procesie różnicę temperatur.⁵⁰ Demon Maxwella został więc wypędzony. Jego usiłowania, żeby złamać drugie prawo termodynamiki można przyrównać do wygrywania w ruletkę metodą stawiania zawsze na wszystkie numery. Koszt takiej długoterminowej strategii zawsze przewyższy wynikające z niej korzyści.

Przeprowadzone na ten temat badania wykazały, że istnieje absolutne minimum energii koniecznej do przetworzenia pojedynczego bitu informacji.

Minimum to jest określone przez drugie prawo termodynamiki. Ponadto fizyk Jakob Bekenstein odkrył, że można określić maksymalną liczbę bitów informacji, jaką da się zgromadzić w z góry zadanej objętości.⁵¹

Przeprowadziliśmy klasyfikację cywilizacji ze względu na ich zdolność zbliżenia się do fundamentalnych granic nałożonych przez te restrykcje, tak aby stworzyć lub opanować systemy o określonym stopniu złożoności lub o szczególnym poziomie zawartości informacji. Dążenie to ma kilka bardzo specyficznych aspektów. Na przykład rozwój coraz większych komputerów o coraz większej szybkości przetwarzania danych. Można powiedzieć, że przebiega on na dwóch poziomach - z jednej strony mamy do czynienia ze wzrostem mocy pojedynczych urządzeń, który uzyskuje się dzięki optymalizacji ich wewnętrznej sieci powiązań, z drugiej zaś wzrost kolektywnej siły wynikający z połączenia w sieć wielu pojedynczych komputerów. Najbardziej znanym przejawem tej tendencji jest Internet, lecz za przykład tego typu można uznać wszystkie nielocalne systemy rozprowadzania i wydawania informacji, takie jak międzynarodowe sieci telefoniczne. Z minimalistycznej perspektywy możliwa jest klasyfikacja wszystkich przedsięwzięć technicznych pod względem ilości informacji potrzebnej do całkowitego określenia struktury oraz tempa, w jakim ta informacja powinna być zmieniana, żeby zmienił się system. Patrząc w ten sposób dostrzegamy, że

termometr jest prostszy (no bo trzeba mniej informacji, aby go dokładnie opisać) niż komputer osobisty. Wzrost zdolności cywilizacji do gromadzenia i przetwarzania informacji ma co najmniej dwa różne oblicza. Z jednej strony musi istnieć rosnąca zdolność do radzenia sobie z rzeczami, które stają się duże i skomplikowane, z drugiej istnieje konieczność kompresowania zasobów informacji do coraz mniejszej objętości. Ta kompresja zasobów zachodzi w obrębie konkretnej hardwerowej architektury, jest więc blisko związana z rozwojem nanotechnologii.

Odkrycia te nauczyły nas, że informacja jest towarem. Uzyskanie jej wymaga wysiłku. Badając bardziej szczegółowo fizykę maszyn obliczeniowych zaczęliśmy dostrzegać ograniczenie, nałożone na technikę i na komputery przez prawa termodynamiki i fizyki kwantowej. Każda forma mikroskopowego osiągnięcia nanotechnologicznego musi się w końcu otrzeć o te fundamentalne ograniczenia. Najbardziej interesujące jest odkrycie przez fizyka Eugene Wigner, laureata Nagrody Nobla, ograniczeń rozmiaru lub masy najmniejszego możliwego zegara.⁵² Można by oczekiwać, że granica miniaturyzacji zegara jest wyznaczona po prostu przez zasadę nieoznaczoności Heisenberga. Jednakże zegar jest urządzeniem, którego wskazania muszą być stale odczytywane, jeśli ma pełnić swoją funkcję. Ograniczenia nakładane na jego rozmiary są więc znacznie mocniejsze niż te, które nakłada zasada nieoznaczoności mechaniki kwantowej, o czynnik równy maksymalnemu czasowi działania zegara podzielonemu przez najmniejszy interwał czasowy, jaki chcemy, żeby zegar ów odmierzał. Okazuje się, że najwyraźniej bliskie osiągnięcia tej granicy są najmniejsze mikrobakterie, jeśli ich wewnętrzne biocykle uznamy za „zegary”.⁵³ Bakterie *f. coli*, mające średnicę 0,01 mikrometra, są zaledwie sto razy większe od granicznych rozmiarów zegara kwantowego określonych dla struktury mającej taką samą masę, jak one. Należy oczekiwać, że w dalekiej przyszłości zegary te nałożą na rozwój zaawansowanych nanotechnologii ograniczenia znacznie mocniejsze niż te, które wynikają z zasady nieoznaczoności Heisenberga. Wszystkie urządzenia wymagają koordynacji i harmonogramu w określonym czasie. Ustalona przez Wignera granica wielkości minimalnego zegara ogranicza rozmiary wszelkich czasomierzy, jeśli mają one być wystarczająco mocne, by wytrzymać zakłócenia wynikające z powtarzających się odczytów. Żywy organizm, który tego nie ma, może spodziewać się załamania synchronizacji i organizacji swojej złożoności. Istnieje więc granica miniaturyzacji złożoności i technologii.

Przekonał się, że istnieje trójstronne powiązanie między czasem, energią i informacją, rządzone przez ograniczenia ilości informacji, jaką można uzyskać przy danym budżecie energetycznym, zasadę nieoznaczoności czasu i energii oraz wignerowskie ograniczenie wielkości zegara. Wzajemną grę tych trzech wielkości obserwujemy także w życiu codziennym. Jeśli robimy coś wolno, zużywamy mniej energii, niż kiedy robimy to szybko. (Pamiętamy apele do amerykańskich kierowców, żeby zwalniali do 55 mil na godzinę, gdyż wówczas lepiej wykorzystuje się chemiczne właściwości benzyny). Ów związek między prędkością a energią pokazuje, że procesy odwracalne są bardziej wydajne (powstaje mniej dodatkowego ciepła) niż nieodwracalne. Doskonale odwracalne procesy przebiegają nieskończenie wolno. Ogrzanie naszego domu trwałoby wiecznie, gdybyśmy chcieli, żeby jakość energii na końcu procesu ogrzewania była taka sama, jak na początku.

Szwajcarski fizyk Daniel Spreng sporządził schemat zależności między energią, czasem a informacją i przestawił go na trójkącie, który podajemy na rys. 5.9.⁵⁴ Każde dwie z tych wielkości (energia f , czas t , informacja I) można wymieniać na pozostałe dwie. Każdy punkt trójkąta przedstawia określoną mieszaninę tych trzech składników, potrzebną do wykonania danej pracy. Kiedy dostępna jest duża ilość energii, to znajdujemy się w pobliżu górnego wierzchołka trójkąta, a im jest jej mniej, tym bliżej jesteśmy prawego dolnego rogu, gdzie $f = 0$. Na rysunku widać, jak można uzyskać zmiany energii (lub konkretnej wielkości), stosując określone połączenie zmian ilości czasu i informacji. W pobliżu wierzchołków trójkąta zachodzą trzy charakterystyczne sytuacje: w $E = 0$ można znaleźć zamyślnego filozofa, który potrzebuje bardzo wiele mnóstwo informacji, żeby wykonać swoje zadanie; prymitywny

przo-

dek człowieka żył przypuszczalnie w pobliżu $I = 0$, zużywający mnóstwo energii i czasu na swoje zajęcia, gdyż brak mu informacji na temat usprawniających pracę urządzeń; w pobliżu $t = 0$ znajduje się świat współczesnego i przyszłego społeczeństwa technicznego, gdzie zużywa się mnóstwo informacji i energii, żeby wykonać wszystko bardzo szybko - świat Concorda i Internetu. Rysunek pokazuje także, co powinniśmy zrobić, żeby przemieszczając się z jednego punktu trójkąta do innego zachować energię. Jeśli mamy mnóstwo czasu nie potrzebujemy wiele informacji, gdyż możemy prowadzić badania metodą prób i błędów. Jednak jeśli czas jest drogi, to musimy znać najszybsze sposoby wykonywania zadań, więc potrzeba nam mnóstwo informacji. Alvin Weinberg twierdził, że to oznacza, iż najprawdopodobniej czas stanie się naszym najważniejszym zasobem. Wartość energii i informacji jest ostatecznie tym, co da nam więcej

wolności w wydatkowaniu czasu.

Sugerowałbym, że w [...] erze komputerów reorganizacja wydatkowania czasu może okazać się najgłębszym i długotrwałym społecznym efektem niezwykłych osiągnięć w posługiwaniu się informacją, wynikającym w znacznej mierze z działania coraz wydajniejszych urządzeń komputerowych.

Dwa rodzaje przyszłości

Zadufane artykuły na temat przyszłości wydają mi się pod względem intelektualnym najbardziej niecną ze wszystkich form publicznej wypowiedzi.

KENNETH CLARK

Podobnie, jak zachodnie społeczeństwa, w których działa większość uczonych, mają tendencję do tworzenia dwóch skrzydeł opinii politycznej, prawicy i lewicy lub liberałów i republikanów, tak i eschatologiczne prognozy dzielą się na dwie koncepcje. Są tacy, którzy widzą przyszłość życia we Wszechświecie jako niekończącą się bitwę między konkurentami w postaci rywalizujących inteligencji (do których w końcu będą zaliczać się maszyny) i samej Natury. Inni zaś widzą przyszłość jako oświecenie, współpracę i harmonijną równowagę. Pod wieloma względami owe alternatywy odzwierciedlają dwa możliwe stany końcowe, jakie mogą zostać osiągnięte przez dwie rywalizujące ze sobą populacje. Problem był intensywnie analizowany przez matematyków pod nazwą „teorii gier”. „Gra” jest to zbiór alternatywnych strategii, wybieranych przez dwóch lub więcej graczy (świadomie lub nieświadomie) oraz odpowiadające im wypłaty. Na przykład graczami mogą być osoby zajmujące się interesami, a możliwe strategie to „stawiać tyle co konkurent” lub „stawiać mniej niż konkurent”. Możemy zastanowić się, która strategia jest lepsza na dłuższą metę, oceniając wszystkie możliwe wyniki oraz ich plusy i minusy. Każdy chciałby znać najlepszą strategię, to znaczy taką, która jest najlepszą z możliwych (lub najmniej ryzykowną) niezależnie od tego, co robią konkurenci.

Chcielibyśmy wiedzieć, czy po odpowiednio długim czasie współzawodnictwo osiągnie jakiś ostateczny stan równowagi, czy też konflikt będzie się nasilał. Jeden z ewentualnych stanów końcowych nazywa się strategią ewolucyjnie stabilną (evo/ut/onary stafa/e strategy, ESS), którą przyjmują wszyscy gracze.⁵⁷ Strategia ta jest stabilna w takim sensie, że każdy gracz, który od niej odejście, znajdzie się w najgorszym położeniu. Zawsze jest jednak może się okazać, że takiej strategii nie ma dla danej gry. Zależy to od reguł. Na przykład, weźmy starą dziecięcą zabawę *rock-scissors-paper* (kamień-nożyczki-papier), z dwoma graczami. Wówczas, jeśli obaj gracze w razie remisu (czyli, jeśli obaj pokażą to samo) mają płacić jednakową karę to ESS dla każdego z nich jest strategia mieszana, w której kamień, nożyczki i papier pojawiają się na dłuższą metę z takim samym prawdopodobieństwem (jeden do trzech). Jeśli jednak zmienimy zasady i obaj gracze będą otrzymywać taką samą nagrodę, kiedy pokażą to samo, to okazuje się że nie ma ESS.

Wręcz przeciwnie, wówczas gracze mogą rozpocząć „wyścig szczurów”, w którym każdy eskaluje swoją odpowiedź w stosunku do ruchu poprzednika,

jak podczas wyścigu zbrojeń. Tym sposobem dwa rywalizujące ze sobą gatunki w ograniczonym siedlisku mogą ewoluować przez długi okres, przy czym jeden z nich wykształca ostrzejsze zęby, a drugi twardszą skorupę. Zwykle oczekuje się, że gry obejmujące zasoby w jakiś sposób ograniczone, mają tendencję do przyjmowania ESS, jeśli chodzi o użytkowanie tych ograniczonych zasobów, natomiast w odniesieniu do aspektów, które nie są tak limitowane, mogą stać się wyścigiem szczurów. Jeśli na przykład w gęstym lesie różnorodne drzewa rywalizują o światło słoneczne w sklepieniu lasu, to każde z nich musi starać się wyrosnąć wyżej niż inne, lecz taki wyścig zbrojeń jest ograniczony, gdyż strategia jest kosztowna pod względem czasu i energii.

Większość osób, spekulujących na temat ostatecznego losu przedsięwzięć nauki i uczonych, można umieścić w jednym z tych dwóch obozów - ESS lub wyścig szczurów. Jedna grupa komentatorów uważa, że era techniki zostanie ostatecznie pohamowana przez rasę mózgowców, którzy nauczą się przeciwstawiać swojemu popędowi do ekspansji terytorialnej i manipulowania Naturą, jak Władcy (Over/ords) w powieści Arthura C. Clarke'a *Koniec dzieciństwa*.⁵⁸ Jedyne zatrzymując postęp techniczny będą potrafili żyć w granicach swojego systemu planetarnego i pozostawać w jakiejś takiej równowadze ze środowiskiem. Prognoza ta jest w wielkiej mierze ekstrapolacją poważnych rozważań na temat wyczerpywania się obecnych zasobów naturalnych Ziemi. Często mówi się, że owe wysoko rozwinięte istoty będą posiadały wymyślne zasady altruistyczne i etyczne, gdyż to stanie się warunkiem koniecznym, żeby jakakolwiek ultradługowieczna cywilizacja mogła przetrwać.⁵⁹ Scenariusz ten jest całkowicie zgodny z oczekiwaniem, że jedną z konsekwencji ultrarozwiniętej cywilizacji stanie się przypuszczalnie ogromne (jeśli nie nieskończone) wydłużenie życia

jednostki. To doprowadzi do spowolnienia ewolucji różnorodności, można się nawet spodziewać długich okresów hibernacji, a efektem tego będzie wypracowanie ESS. Pogląd ten jest powszechny wśród entuzjastów inteligencji pozaziemskiej oraz tych, którzy aktywnie angażują się w jej poszukiwanie.⁶⁰ Nic w tym dziwnego. Z uwagi na to, że największą możliwą premią w takich poszukiwaniach będzie kontakt z niezwykle rozwiniętymi formami inteligentnego życia, ważne żeby się upewnić, iż ich intencje wobec nas są całkowicie zgodne z dobrymi obyczajami. Gdybyśmy uważali inaczej, to najlepszą strategią byłoby wytworzenie jak najgęstszej zasłony dymnej, żeby ukryć nasze istnienie, a nie rozgłaszać swoją obecność (oraz brak inteligencji) w całym międzygwiazdowym spektrum radiowym. Jednym z astronomów preferujących ów pogląd jest Michael Papagiannis z Uniwersytetu Bostońskiego. Uważa on, że idealna rozwinięta cywilizacja,

której uda się przezwyciężyć swoje wewnętrzne tendencje do ciągłego wzrostu materialnego i zastąpić go celami niematerialnymi, przetrwa kryzys.

W efekcie cała Galaktyka na okres w skali kosmicznej krótki zostanie zamieszкана przez wysoce etyczne i duchowe cywilizacje.⁶¹

Alternatywa jest taka, że dla długowiecznych cywilizacji przetrwanie stanie się coraz trudniejsze. Może nawet zaistnieć konieczność regenerowania się przy najróżniejszych okazjach, po katastrofalnych wojnach lub po zderzeniach ich planet macierzystych z kometami i planetoidami. Ich zachowanie może rozwijać się bardzo niezwykle ścieżkami, a efektem ich ewolucji mogą być całkiem nieoczekiwane produkty uboczne (matematyka, muzyka... itd.). Oczekuje się, że im bardziej rozwinięta będzie inteligencja, tym bardziej rozległe, nieliniowe i nieprzewidywalne będą jej produkty uboczne. Biologowie mają poważne powody, by uważać, że altruizm to strategia optymalna w ogólnych warunkach, a niektóre zachowania altruistyczne mogą zostać wyodrębnione przez dobór, bez konieczności nakładania jakiegoś specjalnego kodeksu etycznego. Jednakże cnoty i prawości cenionych w wielu ziemskich religiach nie da się wyjaśnić wyłącznie jako adaptację ewolucyjną. Opowiadają się one za aktami bezinteresownymi, które znacznie przewyższają poziom altruizmu i samo poświęcenia, stanowiącego formę optymalną z wąskiej perspektywy ewolucyjnej.⁶²

Uczeni i futuryści jak Hans Moravec⁶³ czy Olaf Stapleton widzieli postęp naukowy jako wynik występujący nieodwrotnie we współzawodnictwie między „komputerami” lub podobnie rozwiniętymi inteligencjami. Nie wiemy jednak, czy współzawodnictwo jest taką fazą ewolucji, którą oplaci się ostatecznie zastąpić przez kooperację. Na Ziemi w wielu sferach widzimy globalne przesunięcie w kierunku współpracy, narzucane przez ograniczenia gospodarcze. Przymuszalnie w odległej przyszłości wzorzec ten będzie się powtarzał na coraz większą skalę.

Czy postęp techniczny jest nieunikniony (albo zawsze pożądany)? - opowieść

Przyszłość jest tkaniną z przeplatających się możliwości, z których część stanie się prawdopodobieństwami, a kilka nabierze statusu rzeczy nieuniknionych, lecz są też niespodzianki wszyte w wątek i osnowę, które mogą tę tkaninę poszarpać*

ANNÉ RICE

„Stąd nie da się tam dojechać”. Taką odpowiedź mamy ochotę dać zmotoryzowanemu nieszczęśliwemu, zagubionemu w płątaniu jednokierunkowych dróg, który chce dojechać na drugą stronę miasta. Podobnie, kiedy stajemy w obliczu odległej przyszłości, gdzie wszystko jest lepsze i szybsze niż tu i teraz. Wszyscy

doświadczaliśmy „usprawnionej usługi”, która jest gorsza od swojej poprzedniczki - stanowiąc wyłącznie ulepszenie dla usługodawcy, który za nieco mniej może dać o wiele mniej. Jeszcze gorsze jest to, że istnieje forma postępu, dającego nieuniknione niekorzystne skutki uboczne, które zbyt późno się ujawniają. Znamy wiele produktów żywnościowych lub leków dających poważne skutki uboczne. Zbyt późno uświadomiliśmy sobie, że industrializacja poważnie zmieniła równowagę naszego klimatu i ekosystemów. Jest w tym oczywista prawidłowość. Im większe i dalej sięgające są dobrodziejstwa techniki, tym poważniejsze mogą być skutki uboczne jej niewłaściwego wykorzystania. Im większa jest struktura, jaką technika może wytworzyć z przypadkowości, tym dalej od równowagi termicznej znajdują się jej produkty i tym trudniej odwrócić proces, który powołał je do życia. Planując przyszłość, w której postęp techniczny ma narastać, możemy stanąć w obliczu przyszłości coraz bardziej niebezpiecznej i wrażliwej na nieodwracalną katastrofę.

Wielu ludziom trudno sobie wyobrazić, w jaki sposób postęp może przynieść szkody. Szczególnie intrygujący przykład, z wykorzystaniem aż nadto nam znanych impulsów psychologii, stworzył w 1951 roku pisarz science fiction Arthur C. Clarke. *Superior/ty*⁶⁶ to opowieść o superrozwinętej technicznie cywilizacji, która została pokonana w wojnie kosmicznej przez siłę technicznie gorszą. Historię opowiada ich zdemoralizowany i pokonany naczelny dowódca, zamknięty w więziennej celi, w której czeka na wyrok i karę za niekompetencję. Usprawiedliwienie przyjęte przez radę obrony było takie, że do katasrofalnej klęski z rąk mniej naukowo rozwiniętych przeciwników doprowadziła niewzruszona wiara w postęp techniczny i naukowy. W swojej obronie dowódca ten opowiada nam paradoksalną historię pokonania swojej gwiazdnej floty.

Na początku naczelny dowódca był pewien, że większa liczebność gwiazdnej floty i lepiej rozwinięta nauka przyniesie szybkie i łatwe zwycięstwo nad nieprzyjacielem, jednakże, choć w pierwszych bitwach flota zwyciężała, margines zwycięstw okazał się o wiele węższy niż się spodziewano. Sytuacja łatwo mogła się odwrócić przeciw niej. Zwołano więc konferencję, na której wystąpił nowy szef badań nad bronią generał Norden, bardzo przekonująco mówiąc, że obecnych systemów obrony nie da się dalej rozwijać. Są one zbyt konserwatywne. Nie ma sensu starać się poprawiać starą broń, dokonując niewielkich ulepszeń. Potrzebne są nowe systemy, wysoko rozwinięte technicznie. Norden zastąpił stary zespół uczonych nowymi i zapowiedział, że przyspieszy produkcję nowej broni, która wciąż jest jeszcze w fazie badań.

Dowódca i jego zespół generałów byli ze zrozumiałych powodów zdenerwowani, lecz nie mogli wpłynąć na swoich zwierzchników politycznych, po tym, jak już cztery tygodnie później Norden z powodzeniem zademonstrował nową broń, Sferę Anihilacji. Urządzenie powodowało całkowitą dezintegrację wszelkiej materii w obrębie setek metrów. Wszystkie istniejące systemy naprowadzania pocisków przystosowano do spektakularnej nowej broni. Ale nie przebiegło to tak gładko, jak się spodziewał Norden. Jedyne największe pociski mogły poradzić sobie z ładunkiem, a to powodowało, że można je było umieścić tylko na najcięższych okrętach gwiazdnej floty. Jednakże Norden był takim charyzmatycznym technicznym geniuszem, że nikt się nie martwił tymi ograniczeniami. Każdy wierzył w zwycięstwo.

Wkrótce zaczęło się dziać jeszcze gorzej. Jeden z własnych okrętów gwiazdnej floty zniknął, po tym, jak sfera wybuchła tuż po wystrzeleniu. Morale spadło, a stosunki między załogami floty a naukowcami Nordena znacznie się pogorszyły. Norden zapowiedział dziesięciokrotne zwiększenie zakresu działania Sfer, lecz wymagało to wprowadzenia dalszych zmian w całym systemie wystrzeliwania. Nadal jednak każdy pocieszał się, że usprawniona technologia będzie warta czekania. W międzyczasie jednak nieprzyjaciel po prostu uderzył na siły dowódcy, ośmielony brakiem ataków z ich strony. Mimo większej liczebności sił obrońcy z trudem sobie poradzili, ponieważ większość ich broni nie działała, gdyż właśnie ją ulepszano. Kilka małych baz na pograniczu Imperium zostało całkowicie straconych.

Nieprzyjaciel gorączkowo budował coraz więcej swoich przestarzałych okrętów i prymitywnej broni. Wkrótce miał już znaczną przewagę liczebną. Norden przekonywał, że ilość nie może się równać z jakością. Wyglądało na to, że ma rację. Choć były problemy ze sferą, kiedy już zadziałała, niszczyła mnóstwo nieprzyjacielskich okrętów. Wciąż jednak tracono terytorium, a wróg robił się coraz śmielszy. Zaczęto ostro krytykować Nordena i dowództwo gwiazdnej floty. Odpowiedzią była nowa supertajna broń - Analizator Bitew. Był to inteligentny system komputerowy, przeznaczony do samodzielnego prowadzenia skomplikowanych batalii. Niestety zły los nie spał. Pierwszy system, razem z pięcioma tysiącami najlepszych techników umieszczono na okręcie, który wpadł na minę. Strata była niepowetowana. Norden, zarzucony oskarżeniami, zaproponował broń tak fantastyczną, że dowódcy wojskowi z trudem w nią uwierzyli. Pole Wykładnicze. Norden objaśnił osłupiałemu audytorium, że potrafi ono zmniejszać porcje materii do nieskończoności. Nawet okręt całkowicie otoczony przez nieprzyjaciół był nie do pokonania. Zaatakowany, mógł zniknąć, a następnie zmaterializować się bez ostrzeżenia tuż obok wrogiego okrętu, zniszczyć go, a następnie znów zniknąć. Była to ostateczna tajna broń, a potrzebne wyposażenie proste i niezbyt kosztowne. Wszystkie okręty zostały wyposażone w Pole, co znów na jakiś czas wyłączyło je z użytku, lecz wróciła pewność siebie. Zaawansowana technika się opłaciła... lub tak się wydawało.

Początkowo wszystko szło dobrze. Dowództwo wojskowe było zdumione, jak łatwo udawało się skakać po całym Wszechświecie. Jednakże pojawiły się jakieś niewielkie problemy z łącznością. Nic poważnego. Po prostu obwody ko-

munikacyjne nie działały właściwie. Okręty wróciły do bazy na naprawę, lecz wówczas nieprzyjaciel nagle ruszył z potężną ofensywą i okręty z Polem na pokładzie musiały wrócić w kosmos, zanim zdążono je w pełni przetestować po naprawie. Widząc wielkie siły wroga, cała flota włączyła Pole i natychmiast zniknęła w hiperprzestrzeni. Drobiazgowo wykonano instrukcję, planując dokładnie powrót w grupach, żeby przytłoczyć nieprzyjacielskie okręty i zniszczyć jeden po drugim. Nie wiadomo było, co poszło nie tak. Katastrofa nastąpiła wówczas, kiedy okręty powróciły, w całkiem inne miejsca niż planowano. Niektóre w sam środek nieprzyjacielskich eskadr, gdzie zostały natychmiast zniszczone. Inne znalazły się w odległych zakątkach Galaktyki. Najgorsze jednak, że żaden okręt nie mógł

nawiązać łączności z pozostałymi. Wyglądało jednak na to, że urządzenia komunikacyjne działają doskonale, więc każdy dowódca sądził, że jego okręt jest jedynym, który pozostał.

Dopiero później, po zupełnej klęsce i zajęciu ojczystej planety przez wroga, poznano straszną prawdę. Przy każdym włączeniu Pola, w momencie zmniejszania do nieskończoności, powstawało hiperprzestrzenne zniekształcenie okrętu i wszystkich jego składowych. Po odwróceniu Pola zniekształcenia były również odwracane, lecz nigdy dokładnie. Zawsze pozostawały pewne niedokładności. Entropia całości rosła. Nic nigdy nie wracało do stanu poprzedniego ani na swoje miejsce w stosunku do najbliższego sąsiedztwa. Początkowo drobne przesunięcia w systemach elektronicznych nie miały żadnego wpływu na ich funkcjonowanie. Jednakże kumulowały się z czasem - po kilkakrotnym włączeniu i wyłączeniu Pola części okrętu i jego obwody elektryczne przemieszczały się i zaczynały się różnić od podobnych detali na innych okrętach. Częstotliwości komunikacyjne i kody zaczynały się rozszynchronizowywać, a niektóre delikatne systemy po prostu w ogóle nie działały. Sytuacja się pogarszała, aż zakończyła się całkowitym chaosem. Nieprzyjaciel atakował tysiącami na swoich prymitywnych okrętach z przestarzałą bronią. Za każdym razem kiedy okręt włączał Pole, żeby uniknąć ataku, jego wyposażenie coraz bardziej się psuło. Flota została pokonana. Naczelny dowódca mógł się tylko poddać, przyczyną zagłady floty był zbyt zaawansowany poziom techniczny.

Morał z tej historii jest oczywisty. Pogoń za postępem, w połączeniu z malejącą wiedzą naukową ostatecznych użytkowników i politycznych animatorów może prowadzić do nieodwracalnej katastrofy. Im bardziej skomplikowany i potężniejszy staje się jakiś układ, tym bardziej jest wrażliwy. Bardziej prawdopodobne są awarie i subtelne usterki. Podobnie dalekosiężne mogą być konsekwencje takich awarii.

Postęp sprawia, że egzystencja staje się bardziej skomplikowana, a katastrofy bardziej niszczące. Nie oznacza to, że powinniśmy reagować negatywnie, unikając jakiegokolwiek postępu, przewidując zawsze najgorsze i głosząc paranoiczne obawy na temat niebezpieczeństw techniki. Z pewnością możemy określić postęp, który zechcemy odrzucić, gdyż niesie z sobą niemożliwe do zaakceptowania ryzyko, lecz nasza ogólna reakcja powinna iść w kierunku upewnienia się, że analizy ryzyka i standardy bezpieczeństwa rozwijają się ręką w rękę z techniką. Elektryczność jest niebezpieczna, ale to nie oznacza naszego weta dla jej dalszych zastosowań. Staramy się jednak wprowadzać ścisłe standardy praktyczne, zapewniające bezpieczeństwo.

Streszczenie

Trudne jest to, co może być zrobione natychmiast, niemożliwe zaś to, co zajmuje nieco więcej czasu. GEORGE SANTAYANA

Ktoś kiedyś powiedział, że najlepszym sprawdzianem wszelkiego postępu naukowego jest to czy dzięki niemu potrafimy budować lepsze maszyny. Pogląd ten wynika z pozycji, jaką zajmujemy w spektrum rozmiarów obiektów naturalnych, jesteśmy znacznie więksi niż atomy i o wiele mniejsi niż gwiazdy. Musimy więc tworzyć sztuczne zmysły, jeśli chcemy badać światy obiektów wielkich i małych, zrozumieć środowiska wykazujące ekstremalne wartości temperatury i gęstości lub poradzić sobie z przytłaczającą złożonością. Okazało się, że ścieżka zrozumienia głębokiej struktury Wszechświata, jego praw i skomplikowanych stanów, prowadzi nas w kierunku badania warunków bardzo odległych od tych, jakie znali nasi przodkowie. Granice, do których jesteśmy w stanie ostatecznie dotrzeć są najprawdopodobniej wyznaczone przez granice techniki a nie przez ograniczoną wyobraźnię. Choć najbardziej udane teorie na temat sił Natury dają precyzyjne przewidywania na temat funkcjonowania Wszechświata w warunkach, których obecnie nie możemy poznać w bezpośrednim doświadczeniu. Wydaje się przy tym, że aby odkryć, czy nasza wersja praw Natury jest prawidłowa, trzeba badać, co się dzieje kiedy materia jest poddawana działaniu temperatur ponad 10^{15} (1 000 000 000 000 000) razy wyższych niż te, które można otrzymać w najpotężniejszych ziemskich eksperymentach. Mało prawdopodobne, żeby bezpośrednie doświadczenia tego rodzaju były kiedykolwiek możliwe.

Niestety nasze możliwości techniczne są w rozmaity sposób ograniczone. Niektóre z tych ograniczeń są finansowe, inne wiążą się z wykonaniem pewnych rzeczy w praktyce. Trudno raczej oczekiwać, że jakieś państwa poświęcą wielką część swojego dochodu narodowego na przeprowadzenie działań, nie dających natychmiastowych korzyści, kiedy społeczeństwo stoi w obliczu poważnych problemów środowiskowych lub medycznych, wymagających rozwiązania przez naukę. Ograniczenia te znikną jedynie wówczas, gdy znajdziemy całkowicie no-

we sposoby generowania energii. Jednakże istnieją jeszcze głębsze granice eksperymentalnego dociekania.

Spekulowaliśmy na temat kroków, jakie mogą podjąć cywilizacje, żeby opanować dziedzinę małych i wielkich

obiektów. Prędzej czy później rozwój musi dotrzeć do granic, nakładanych przez samą Naturę na szybkość przesyłania informacji, dokładność pomiarów czasu, ilość energii potrzebnej do zebrania informacji, stopień zbliżenia znanych nam skomplikowanych systemów do stanu krytycznego oraz wrażliwość naszej techniki na błędy i chaotyczne wzmocnienie niepewności.

Rzeczywiście, rozwój techniki i zdolność do testowania posiadanych teorii na temat zachowania materii w warunkach ekstremalnych, wymaga od nas manipulowania materią, energią i informacją w obrębie wymiarów, które coraz bardziej odbiegają od tych, jakie spotykamy w życiu codziennym. Intrygujące jest to, że jak się zdaje, w owych ekstremalnych warunkach manifestują się najważniejsze prawa Natury. Dociekając ich staramy się nie tylko uzyskać kompletną wiedzę dla samej sztuki teoretyzowania - zachowanie materii w ultrawysokich temperaturach jest najważniejszą cechą, określającą jej podstawowy charakter. Jednym ze sposobów obejścia nałożonych ograniczeń wytwarzania wysokich energii są obserwacje astronomiczne. Wszechświat się rozszerza i wygląda na to, że we wczesnych stadiach jego rozwoju panowały w nim ekstremalne temperatury i energie.⁶⁷ Jeśli po tych ognistych narodzinach i ekstremalnych początkach został jakikolwiek obserwowalny ślad, to być może uda nam się jednak poznać zachowanie materii w najwyższych wyobraźalnych energiach. Ku tej właśnie kosmologicznej opowieści zwrócimy teraz nasze rozważania.

Rozdział 6

Granice kosmologiczne

Nie wiem, co myśli Wszechświat - jeśli w ogóle myśli -ale jestem całkowicie pewien, że cokolwiek to jest, w niczym nie przypomina tego, co my myślimy. To raczej nieźle, biorąc pod uwagę, to o czym myśli większość z nas.

RALPH ESTLING

Ostatni horyzont

„Kolejny problem wiąże się z prędkością światła i perturbacjami pojawiającymi się przy próbach jej przekroczenia. Oczywiście, nie da się tego dokonać. Nic nie porusza się szybciej od światła, może z wyjątkiem złych wieści, ale one kierują się własnymi, szczególnymi prawami.”

DOUGLAS ADAMS²

Kosmologia to szczególna dziedzina -jej przedmiot jest jedyny w swoim rodzaju i metody badawcze także. Żadna gałąź nauki nie wnika tak daleko w nieznane i żadne ludzkie rozumowanie nie jest tak narażone na ryzyko wszelkiego rodzaju ograniczeń. Kosmolog musi przewyższać problemy techniczne związane z oglądaniem słabych obiektów z dużej odległości i radzić sobie bez większości tego oręża, jakie nauka ma w swoim uzbrojeniu.

Niestety nie możemy eksperymentować na Wszechświecie. Możemy tylko przyglądać się temu, co sam nam ofiaruje. Patrząc na obiekty astronomiczne takie jak gwiazdy i planety, potrafimy spojrzeć na nie z zewnątrz. Jednakże, jeśli chodzi o Wszechświat jako całość, nie możemy wyjść na zewnątrz niego - jesteśmy częścią systemu, który staramy się opisać. To stwarza określone problemy, do których rozwiązywania metody naukowe nie były przeznaczone.

W minionej dekadzie zaznaczył się ogromny postęp w wiedzy naukowej na temat astronomicznego Wszechświata. Dzięki rozwojowi techniki mamy detektory światła o niesłychanej czułości. Agencje kosmiczne wystrzeliły satelity astronomiczne, zdolne do obserwowania Wszechświata w całym spektrum elektromagnetycznym. Ukoronowaniem tego programu było wniesienie na orbitę okołozemską Teleskopu Kosmicznego Hubble'a (oraz korygującego jego optykę systemu COSTAR). Dzięki temu urządzeniu możemy obserwować planety, gwiazdy i galaktyki z niezwykłą rozdzielczością.³ Zniknęło rozmycie obrazów, powodowane rozpraszaniem światła w ziemskiej atmosferze, tym samym, które wywołuje mruganie gwiazd. Znane z wcześniejszych obserwacji obiekty ujrzeliśmy obecnie z taką ostrością, że wyłoniły się najrozmaitsze nieoczekiwane struktury, rzucając nowe światło na mechanizmy powstawania gwiazd i galak-

tyk. Co najważniejsze udało się także zobaczyć obiekty, znajdujące się dalej niż wszystko, co widzieliśmy do tej pory (rys. 6.1). Zdjęcia te co i raz pojawiają się w światowych mediach, budząc podziw widzów, natomiast astronomowie na wyścigi rzucają się opracowywać zalew uzyskanych stąd nowych informacji.

Obserwując odległe galaktyki takim przyrządem jak Teleskop Kosmiczny Hubble'a, musimy przypomnieć sobie najbardziej zaskakujące fakty na temat Wszechświata. Światło porusza się ze skończoną prędkością, więc dalekie obiek-

ty, na które patrzymy dzisiaj, ukazują nam się w takiej postaci, jaką miały wówczas, kiedy światło je opuściło. Jest to coś w rodzaju wehikułu czasu, dzięki któremu możemy zajrzeć w odległą przeszłość. Najdalej położone obiekty, jakie udało nam się zobaczyć, znajdują się miliardy lat świetlnych od nas - ich światło biegło do nas miliardy lat. Są to zatem młodsze wersje dojrzałych galaktyk, takich jak nasza własna, które obserwujemy wokół. Niektórzy ludzie zastanawiają się, skąd możemy się dowiedzieć, jak wyglądał Wszechświat miliardy lat temu. W rzeczywistości wystarczy tylko uważnie przyjrzeć się, jaki jest teraz.

Owe ekscytujące odkrycia zainspirowały wiele popularnych poglądów na temat obecnego stanu Wszechświata⁴ oraz nowych teorii na temat jego początków i możliwych stanów przyszłych. Ekstrapolacje naszych obecnych obserwacji są możliwe, gdyż dysponujemy teorią,⁵ mówiącą w jaki sposób Wszechświat zmienia się w czasie. Podstawowym narzędziem badawczym jest einsteinowska ogólna teoria względności. Zawarte w niej równania pokazują, w jaki sposób każdy wszechświat zawierający materię i promieniowanie, będzie się zmieniał pod wpływem grawitacji. W przeciwieństwie do teorii Newtona, można ją stosować do ruchu z prędkością światła lub bardzo do niej zbliżonej oraz w przypadku bardzo silnych pól grawitacyjnych. Równania Einsteina pozwalają nam zrekonstruować historię Wszechświata, a więc dowiedzieć się, jakiego rodzaju przeszłość leży u podstaw teraźniejszości. To stwarza określony problem, gdyż Wszechświat się rozszerza. Dlatego zajrzenie w przeszłość oznacza spotkanie z czasami, kiedy był on bardziej gęsty i gorętszy niż obecnie, jeśli zajrzemy dostatecznie głęboko, to nie będzie już galaktyk, następnie gwiazd, potem znikną cząsteczki i atomy, następnie cząstki elementarne, a w końcu także protony i neutrony - zostanie pierwotny bulion najmniejszych cząstek materii i promieniowanie. Jak dotąd dość dobrze przewidujemy skład Wszechświata, jaki będzie on miał po pierwszej sekundzie życia. Kiedy jednak próbujemy wnikać jeszcze głębiej w przeszłość, okazuje się, że nasza obecna wiedza na temat cząstek elementarnych materii jest niewystarczająca. Warunki, z jakimi mielibyśmy do czynienia, są bardziej ekstremalne niż te, jakie potrafimy stworzyć w akceleratorach. Tak więc rekonstrukcja przeszłości Wszechświata staje się w istotny sposób niepewna.

Obecnie ekspansja Wszechświata wydaje się zachodzić niezwykle jednolicie. W każdym kierunku przebiega w tym samym tempie, z dokładnością

większą niż jeden do miliona. Obserwacje fal radiowych, pozostałych z czasu, kiedy Wszechświat miał około miliona lat, pokazują, że wówczas rozkład materii był dość jednolity. Dopiero po miliardach lat zaczęła się ona gromadzić w jasno świecące zbiory gwiazd i galaktyk. Dlatego kosmolodzy przyjmują najprostsze założenie, że Wszechświat zawsze był jednolity, z zaledwie minimalnymi nieregularnościami ekspansji. Nieregularności te okazały się jednak bardzo znaczące. Miejsca zawierające więcej materii niż wynikałoby to ze średniej, przyciągają ku sobie jeszcze więcej materii, kosztem mniej zagęszczonych regionów, jakby działała kosmiczna wersja „zasady Mateusza” („Kto ma, temu będzie dane i nadmiar mieć będzie; kto zaś nie ma, temu zabiorą również to, co ma”⁶). Po jakimś czasie w regionach, gdzie materia miała większą gęstość od średniej, pojawiły się galaktyki, gwiazdy i ludzie.

Jednym z zadań kosmologów jest znalezienie lepszego wyjaśnienia niż ta uproszczona wizja: na przykład pokazanie, że obecny stan Wszechświata jest nieuniknioną konsekwencją tego, co równania Einsteina mówią o rozszerzającym się wszechświecie lub o zachowaniu się materii o bardzo dużej gęstości. Chcielibyśmy zaprojektować realistyczne symulacje całych sekwencji wydarzeń, które przekształciły regiony o większej gęstości w struktury, wyglądające jak prawdziwe galaktyki gwiazd oraz gaz, pył i inne rodzaje nieświecącego materiału.

Obecnie przyjmuje się, że w pierwszym przybliżeniu Wszechświat jest wszędzie taki sam i *rozszerza* się w jednakowym tempie we wszystkich kierunkach. Ekspansję tę można opisać jakąś wielkością, czynnikiem, będącym czymś w rodzaju miary oddzielenia dwóch punktów odniesienia. Jego faktyczna wartość nie ma znaczenia fizycznego. Ważna jest tylko proporcja jego wartości w dwóch różnych momentach. Mówi nam ona, kiedy nastąpiła większa część ekspansji Wszechświata. Ten tzw. czynnik skali (nazywany czasem nieprawidłowo „promieniem wszechświata”) może zmieniać się w czasie na dwa charakterystyczne sposoby, jak pokazano na rys. 6.2. Może zawsze rosnać (wszechświat „otwarty”) lub zwiększać się do maksimum, a następnie maleć (tzw. niekiedy wszechświat „zamknięty”). Między nimi znajduje się wszechświat kompromisowy (zwany niekiedy wszechświatem „płaskim” lub „krytycznym”), który rozszerza się zaledwie na tyle szybko, żeby ruch ten nigdy nie ustał. Jest to linia kosmicznego podziału między wszechświatami otwartymi a zamkniętymi.

W popularnych przedstawieniach kosmologii dla niespecjalistów (a nawet w niektórych przeznaczonych dla specjalistów) wprowadza się zwykle liczne założenia upraszczające, przesłaniające fundamentalne ograniczenia naszej zdolności do odpowiedzi na znane pytania na temat Wszechświata⁷. Zobaczymy, że wiele pytań, jakie rodzi popularne podejście do kosmologii, oraz na jakie niekiedy dość pewnie odpowiada, odwołuje się do rzeczy, na które nie ma odpowiedzi. Dzieje się tak dlatego, że aby uprościć problem lub wykluczyć niektóre

możliwe wyniki, przemycia się pewne nieweryfikowalne założenia. Jednakże istnieją granice tego, co możemy dowiedzieć się o Wszechświecie. Biegają one przez wszystkie główne nierozwiązane problemy kosmologii.

Ważną rzeczą, którą powinniśmy zauważyć odnośnie prostego obrazu rozszerzającego się Wszechświata to efekt owego uproszczonego założenia, jakie zostało implicite zawarte w rysunku na rys. 6.3 - a mianowicie, że Wszechświat jest wszędzie taki sam. To oznacza, że możemy mówić o ekspansji Wszechświata w kategoriach pojedynczego pomiaru jego wielkości a nie zbioru pomiarów - jeden dla każdego miejsca we Wszechświecie. Łatwo można popaść w nawyk myślenia, że nasze obserwacje charakteryzują cały Wszechświat, a nie tylko jego część - tę którą widzimy. Przyjrzyjmy się bliżej temu problemowi.

Najpierw musimy rozróżnić dwa znaczenia słowa „wszechświat”. Jest coś takiego, jak cały Wszechświat (pisany dużą literą) - czyli wszystko, co istnieje. Może on być skończony lub nieskończony. Ale oprócz niego istnieje coś mniejszego, co nazywamy obserwowalnym (widzialnym) wszechświatem. Jest to sferyczny obszar o promieniu równym odległości, jaką mogło przebyć światło od czasu rozpoczęcia ekspansji. Światło rozchodzi się w próżni ze skończoną prędkością (i nic nie przemieszcza się szybciej od niego), więc wszechświat obserwowalny ma skończone rozmiary. Zawiera wszystko, co moglibyśmy obecnie zobaczyć za pomocą doskonałych przyrządów pomiarowych o nieograniczonej czułości. Granicę obserwowalnego wszechświata nazywamy horyzontem. Wyznacza on gra-

nice nauk obserwacyjnych, a jego zasięg rośnie, w miarę upływu czasu, gdyż coraz więcej światła ma czas, żeby do nas dotrzeć.

Z tej pierwszej lekcji widzimy, że astronomia może dostarczyć nam informacji o strukturze obserwowalnego wszechświata. Nie możemy dowiedzieć się niczego o tym, co leży poza horyzontem. Choć potrafimy powiedzieć coś na temat cech obserwowalnego wszechświata, nie umiemy stwierdzić niczego na temat właściwości całego Wszechświata, jeśli nie przemycimy założenia, że Wszechświat za horyzontem ma taką samą lub mniej więcej taką samą naturę, jak wszechświat obserwowalny, leżący w obrębie horyzontu. Nie możemy jednak sformułować żadnych testowalnych stwierdzeń na temat początkowej struktury lub powstania całego Wszechświata.

Jeśli Wszechświat jest skończony, to jego obserwowalna część zawsze będzie skończonym fragmentem całości. Jeśli jednak rozmiary Wszechświata są nieskończone, to nasze obserwacje obejmą zaledwie nieskończenie mały ułamek całości. Nigdy nie będziemy wiedzieli z pewnością, która z tych sytuacji zachodzi. Równania Einsteina, które mówią nam, jaki wszechświat może istnieć, dopuszczają zarówno skończone, jak i nieskończone wszechświaty.⁹ Możliwe więc, że w przyszłości badania nad ujednoczeniem grawitacji i fizyki kwantowej dadzą jakieś mocne sformułowanie, że Wszechświat musi być skończony lub teoria fizyki kwantowej nie może istnieć, albo że musi być nieskończony, żeby uniknąć jakiegóż innej głębokiej wewnętrznej sprzeczności. Rezultat teoretyczny tego typu mógłby być bardzo przekonujący dla kosmologów. Choć nie byłoby obserwacyjnych dowodów skończoności czy nieskończoności Wszechświata, taki wywód postrzegano by jako mocny logiczny dowód, element wewnętrznej niesprzeczności teorii kwantowej.

Przedstawmy całość przestrzeni i czasu na prostej ilustracji zwanej wykresem czasoprzestrzennym. Mijanie czasu w kierunku przyszłości przedstawimy na osi pionowej, a wszystkie trzy wymiary przestrzenne na osi poziomej (patrz rys. 6.4). Jeśli cały czas znajdujemy się w jednym punkcie przestrzeni, to nasza droga na wykresie będzie pionową linią, wydłużającą się ku górze. Jeśli poruszamy się po okręgu (a poruszamy się, jeśli uwzględnimy ruch Ziemi po robocie) to na wykresie czasoprzestrzennym będziemy przemieszczać się po spirali. Droga promienia światła będzie jedną z dwóch ukośnych linii (jedna dla ruchu od lewej do prawej, a druga odwrotnie), przedstawionych na rys. 6.5.

Przypuśćmy, że znajdujemy się „tu i teraz” w jakimś miejscu na wykresie czasoprzestrzennym. Możemy wyizolować ten region przestrzeni, który potrafimy zbadać dzięki docierającym do nas promieniom świetlnym lub innym, wolniej przemieszczającym się sygnałom. Region ten ma kształt stożka (zacięniowana część rysunku) i nazywa się stożkiem przeszłości. Kiedy astronomowie odbierają jakiegokolwiek promieniowanie-swiatłne, rentgenowskie, podczerwone, nadfioletowe czy radiowe - uzyskują informację na temat struktury brzegów tego stożka. Im dalej od nas, a więc im wcześniej powstaje to promieniowanie, tym większa jest powierzchnia stożka, którą możemy badać.

Kiedy docierają do nas cząstki mające masę, jak promieniowanie kosmiczne lub meteoryty, które poruszają się wolniej od światła, to uzyskujemy informację na temat wnętrza naszego stożka przeszłości. Zbierając skamieliny lub

badając wnętrze Ziemi, to także uzyskujemy informacje o tej części Wszechświata, jaka znajduje się wewnątrz

stożka przeszłości.

Jeśli zaznaczymy region, z którego odbieramy bezpośrednią informację, to okaże się, że jest bardzo mały. Na zewnątrz stożka przeszłości - poza horyzontem - nie możemy niczego zbadać. Większa część naszej wiedzy opisuje dawną strukturę stożka przeszłości. Jeśli sądzimy, że znamy matematyczną teorię *rzządzającą* zmianami Wszechświata w czasie, to możemy wykorzystać ją do obliczeń wewnątrz i na zewnątrz brzoju stożka. Obliczenia dotyczące Wszechświata wewnątrz możemy przetestować, natomiast obliczenia na zewnątrz są niesprawdzalne.

Jeśli naukowiec lub filozof chce przyjąć jakieś założenie na temat struktury w jakimś punkcie Wszechświata, który obecnie znajduje się daleko poza powierzchnią stożka (na przykład w punkcie P) to nietestowalną ekstrapolację można przeprowadzić na dwa sposoby, pokazane na rys. 6.6.

Droga 1 zakłada, że w danym momencie Wszechświat jest wszędzie taki sam (lub mniej więcej taki sam). Droga 2 zakłada, że obecny stan w punkcie P można określić idąc w górę od miejsca, gdzie jego historia przecina się z naszym stożkiem przeszłości, czyli że na zewnątrz stożka zmiany przebiegają tak samo, jak podczas astronomicznej historii obserwowalnego wszechświata.

Obserwacje dokonane przez satelitę COBE (*Cosmic Background Explorer*) dostarczają pewnych informacji na temat struktury stożka przeszłości, w chwili kiedy obserwowalny wszechświat był mniej więcej tysiąc razy mniejszy niż

obecnie, a więc około trzystu tysięcy lat od rozpoczęcia ekspansji. W ciągu tych trzystu tysięcy lat wszechświat rozszerzył się na tyle, że promieniowanie zdążyło nieco wygasnąć w interakcji z elektronami, a całość znacznie wystygła. Dopiero wówczas mogło zacząć swobodnie przepływać w naszą stronę w czasoprzestrzeni. COBE wykrył, że w owym czasie obserwowalny wszechświat był niezwykle jednorodny we wszystkich kierunkach. Jednakże przed upływem tego czasu był nieprzejrzysty dla fotonów. Rozproszenie fotonów przez elektrony nie pozwala nam zajrzeć w przeszłość ani trochę głębiej. Jeśli nawet uda nam się wykryć neutrony z młodego wszechświata, będziemy mogli zajrzeć tylko do momentu, w którym upłynęła jedna sekunda od rozpoczęcia ekspansji, kiedy nasz obserwowalny

wszechświat był dziesięć miliardów razy mniejszy niż obecnie. Wcześniej wszechświat był nieprzejrzysty także dla neutronów. Naszą jedyną nadzieją na bezpośrednie obserwacje będzie promieniowanie grawitacyjne. W zasadzie moglibyśmy wówczas zajrzeć w przeszłość do momentu, kiedy wszechświat był 10^{32} razy mniejszy niż obecnie. Jest to techniczne wyzwanie dla dalekiej przyszłości.

Na szczęście dzisiejsza technika pozwala nam na zdobywanie wiedzy o Wszechświecie, kiedy miał on jedną sekundę, metodą obserwowania obfitości najbliższych pierwiastków chemicznych. Takie pierwiastki jak hel i lit, razem z izotopami wodoru (np. deuter), powstają w reakcjach jądrowych pod koniec procesu, który rozpoczął się, kiedy wszechświat miał sekundę, a zakończył, kiedy miał kilka minut. Porównując obserwacje tych pierwiastków z przewidywaniami wynikającymi z modelu przedstawiającego wszechświat w pierwszej sekundzie, możemy ów model przetestować. Niestety nie udaje się nam to dla momentu wcześniejszego (poniżej jednej sekundy). Jak dotąd nie odkryliśmy żadnych „skamielin” sprzed pierwszej sekundy historii wszechświata. Potrafimy jednak odwrócić to postępowanie. Istnieje wiele modeli, przedstawiających wszechświat w czasie owej pierwszej sekundy swojej historii, opartych na różnych teoriach zachowania się cząstek elementarnych o dużej energii. Niektóre z nich można wykluczyć, gdyż przewidują istnienie rzeczy, których dziś nie obserwujemy.

Na ile powinniśmy się martwić ową absolutną granicą naszych możliwości określenia struktury Wszechświata? Mniej więcej przed rokiem 1980 różnicę między obserwowalnym wszechświatem a całym Wszechświatem ignorowano, gdyż kosmolodzy nie umieli podać wiarygodnego powodu, by sądzić, że Wszechświat za horyzontem bardzo się różni od naszego. Wszelkie różnice wydawały się antykopernikańskie - dlaczego nasz obserwowalny wszechświat miałby być jakiś szczególny lub w jakikolwiek sposób nietypowy. W latach osiemdziesiątych XX wieku sytuacja stopniowo się zmieniła. Nowa wersja teorii Wielkiego Wybuchu dała podstawy by oczekiwać, że Wszechświat jest całkiem inny wewnątrz horyzontu niż na zewnątrz.

Inflacja - nadal szalona po tych wszystkich latach

- jak długo będą trwały te wykłady? - zapyta) prezydent Gilman lorda Rayleigha, wychodząc z sali wykładowej.
- Nie wiem - padła odpowiedź. - Przypuszczam, że kiedyś się

skończą, ale przyznam, że nie widzę powodu, dla którego miałyby to nastąpić.

SILVANUS THOMPSON

Od 1980 roku w zakres uznanej teorii bardzo młodego Wszechświata wchodzi okres przejściowy zwany inflacją. Dodaje nieco blasku prostemu obrazowi roz-

szerzającego się wszechświata. Jednakże blask ów ma ogromne implikacje. Standardowy wizerunek rozszerzającego się wszechświata, jaki towarzyszył nam od lat dwudziestych XX wieku, miał szczególną cechę: ekspansja była coraz wolniejsza. Niezależnie od tego, czy wszechświat miał się rozszerzać bez końca, czy też zapaść się w siebie w Wielkim Krachu (Big Crunch), ekspansja była stale spowalniana wskutek oddziaływania grawitacyjnego całej materii we Wszechświecie. Była to więc po prostu konsekwencja przyciągającego charakteru siły grawitacji.

Zawsze zakładano, że wskutek grawitacji materia i energia będą przyciągać inne formy materii i energii. Jednakże w latach siedemdziesiątych fizycy cząsteczkowi zaczęli odkrywać, że ich teorie zachowania się materii w wysokich temperaturach zawierają zbiory pól materii, zwanych polami skalarnymi, których wzajemny efekt grawitacyjny może być odpychający. Jeśli w jakimś momencie wczesnej historii wszechświata pola takie stanowiły duży wkład w gęstość wszechświata, to zamiast spowolnienia ekspansji mielibyśmy nagle przyśpieszenie. Co dziwniejsze, wygląda na to, że jeśli pola skalarnie istnieją, to muszą być najbardziej wpływowym składnikiem wszechświata, a ich wpływ maleje jedynie wówczas, kiedy rozkładają się na zwykłą materię i promieniowanie.

Teoria inflacyjnego wszechświata mówi po prostu, że na bardzo wczesnym etapie istnienia Wszechświata wystąpił okres bardzo gwałtownej ekspansji, przypuszczalnie dlatego, że jedno z owych wszechobecnych pól skalarnych zdominowało gęstość materii. Pole to musi gwałtownie osłabnąć. Kiedy tak się dzieje, ekspansja przyjmuje swoje zwykłe, coraz wolniejsze tempo (rys. 6.7). Brzmi to niewinnie, lecz bardzo krótki okres przyśpieszonej ekspansji rozwiązałby wiele uporczywych problemów kosmologicznych.

Pierwszą konsekwencją krótkiego zaistnienia w przeszłości okresu przyśpieszonej ekspansji jest to, że potrafimy zrozumieć, dlaczego obserwowalny wszechświat rozszerza się w tempie tak bliskim krytycznemu podziałowi na wszechświaty otwarte i zamknięte. Fakt, że po około piętnastu miliardach lat nadal znajdujemy się tak blisko tej linii, jest zdumiewający. Jako że z upływem czasu wszelkie odchylenie od linii krytycznej stale zwiększa się, początkowa ekspansja musiała przebiegać niezwykle blisko niej, żeby dziś być tak blisko - do tego stopnia blisko, że wciąż nie wiemy, po której stronie tak naprawdę się znajdujemy. (Nie możemy znajdować się dokładnie na niej¹¹). Jednakże tendencja ekspansji do odchodzenia od linii krytycznej to jeszcze jedna konsekwencja przyciągającego charakteru siły grawitacji. Jeśli grawitacja jest odpychająca i ekspansja przyśpiesza, to z biegiem czasu jeszcze bardziej zbliży się do linii krytycznej. Gdyby inflacja trwała wystarczająco długo, pozwoliłaby wyjaśnić, dlaczego obserwowalny wszechświat jest nadal tak blisko linii krytycznej.¹²

Innym produktem ubocznym krótkiego zrywu kosmicznego przyśpieszenia jest to, że wszelkie nieregularności w ekspansji wszechświata zostały wygładzone i bardzo szybko zaczęła ona przebiegać w tym samym tempie we wszystkich kierunkach, dokładnie tak, jak i dzisiaj. To pozwala wytłumaczyć tę cechę ekspansji wszechświata, która zawsze zadziwiała kosmologów jako tajemnicza i nieprawdopodobna - gdyż jest przecież tyle różnych możliwości ekspansji na różne sposoby i w różnych kierunkach.

Po trzecie obserwowalny wszechświat wokół nas zacząłby się rozwijać z obszaru o wiele mniejszego niż gdyby przyjął, że ekspansja stale zwalnia, jak to przyjmuje konwencjonalna teoria Wielkiego Wybuchu. Owa małość naszych inflacyjnych początków ma przyjemne implikacje na przyszłość oraz wyjaśnia zarówno wysoki stopień jednorodności całościowej ekspansji wszechświata, jak i niewielkie niejednorodności zaobserwowane przez satelitę COBE. Otóż są to zarodki przyszłych galaktyk i gromad.

Jeśli Wszechświat przyśpiesza, to cała jego obserwowalna część powstała dzięki ekspansji obszaru wystarczająco małego, żeby światło mogło go bardzo wcześnie przemierzyć (rys. 6.8). Ta wędrówka światła wytworzyłaby warunki, dzięki którym pierwotny obszar mógł pozostać gładki. Wszelkie nieregularności od razu były wygładzane. W starej, nieinflacyjnej teorii Wielkiego Wybuchu sytuacja przedstawiała się całkiem inaczej. Obserwowalny wszechświat musiał powstać z obszaru znacznie większego, niż ten, gdzie dochodzą promienie świetlne. Było całkowitą tajemnicą, dlaczego obserwowalny wszechświat jest tak jednorodny we wszystkich kierunkach z dokładnością do jeden na 100 tysięcy, jak pokazują obserwacje. Zabrakłoby więc czasu, żeby jedna część wszechświata otrzymała światło z innej odległej części.

Małeńki obszar, który rozrósł się w obserwowalną część wszechświata, nie mógł być doskonale gładki na samym początku. To niemożliwe. Musiały istnieć jakieś choćby niewielkie fluktuacje - wymaga tego zasada nieoznaczoności Heisenberga. Warto zauważyć, że okres inflacji rozciąga wszelkie fluktuacje do ogromnych, astronomicznych rozmiarów, dzięki czemu stały się one widoczne dla wystrzelonego przez NASA satelitę COBE.¹³ W ciągu następnych kilku lat będą one przedmiotem drobiazgowego badania ze strony dwóch dodatkowych, wypełnionych przyrządami satelitów, które obecnie przygotowuje się do wystrzelenia. Jeśli inflacja miała miejsce, zaobserwowane przez nie sygnały przyjmą bardzo szczególną postać. Jak dotąd dane zgromadzone w ciągu czterech lat przez COBE bardzo dobrze zgadzają się z przewidywaniami, jednakże naprawdę istotne cechy nie mogą być zaobserwowane przez tego satelitę. Dwa satelity, MAP (wystrzelone w 2001 roku) i Planck Surveyor (do wystrzelenia w 2005 roku) rozstrzygną wszelkie wątpliwości.

Kosmolodzy zawsze mieli dylemat z początkiem Wszechświata. Jeśli jego obecna struktura w jakiś sposób zależy od sposobu, w jaki się narodził (lub czy w ogóle miał jakieś początki), to obserwacje astronomiczne mogą nam powiedzieć coś na temat początkowego stanu obserwowalnej części. Jednak jest i druga strona medalu. To oznacza, że „objaśnienie” dlaczego Wszechświat, jest taki, jaki widzimy dzisiaj, zamieni się w pytanie, dlaczego był, jaki był, a w końcu w pytanie o jego początkową strukturę. Niestety nie oczekujemy, aby wiedza o jego stanie początkowym była nam dostępna, zawsze będzie pragnienie uzyskania jakiegoś innego wyjaśnienia kosmologicznego. Przypuśćmy, że można wykazać, iż elementy obserwowalnego wszechświata nie zależą od tego, w jaki sposób wszechświat ten się narodził, jeśli tylko ekspansja trwała wystarczająco długo. W takim przypadku potrafimy wyjaśnić obecną strukturę Wszechświata bez żadnej konieczności drobiazgowego rozumienia, jaki był na początku.

W 1967 roku odkryto izotropię mikrofalowego promieniowania tła. Okazało się, że temperatura całego nieba jest niemal jednakowa, z dokładnością do jednej tysięcznej. Ta niezwykle jednorodność sprowokowała kosmologów do wyjaśnień. Przedtem mieli kłopot ze znalezieniem wytłumaczenia, w jaki sposób małeńkie nieregularności stały się w końcu w pełni wykształconymi galaktykami, a tu nagle okazało się, że o wiele bardziej konieczne jest objaśnienie leżącej u podstaw wszystkiego jednorodności (a nie małych zgęstkwów i kłaczków).

Amerykański kosmolog Charles Misner stwierdził, że możliwe jest wykazanie, iż jeśli stan początkowy wszechświata był wysoce nieregularny i anizotropowy, to proces tarcia wcześniej zatarłby wszelkie nieregularności.¹⁴ Wszechświat sam przyjąłby stan symetryczny, jaki obserwujemy dzisiaj, gdyby tylko mógł się rozszerzać wystarczająco długo.

Ogólna koncepcja wykazania, że wszechświat, który narodził się jako chaotyczny i nieregularny, z czasem się wygładzi, spowodowała powstanie „programu chaotycznej kosmologii”. To ambitne przedsięwzięcie runęło. Zbyt wiele było niewygodnych form nieregularności, które nie chciały zniknąć wystarczająco szybko, a niektóre z nich nie zniknęły wcale. Ponadto pozbywanie się nieregularności przez rozpraszanie tarcie dawało znacznie więcej dodatkowego ciepła niż jest go w dzisiejszym wszechświecie.¹⁵

Najważniejsze, co trzeba sobie uświadomić w odniesieniu do chaotycznej kosmologii jest to, że gdybyśmy potrafili znaleźć wytłumaczenie niektórych (lub nawet wszystkich) obserwowanych własności astronomicznych wszechświata, które nie zależą od wiedzy na temat stanu początkowego (ani od tego czy miał on stan początkowy), to te same obserwacje pozwoliłyby nam na określenie struktury (lub istnienia) owego stanu. Nie może być wilk syty i owca cała.

Na wszechświat inflacyjny można spojrzeć jako na pewien rodzaj „chaotycznej kosmologii”, której szukaliśmy - jednak z subtelną różnicą. Kosmolodzy „chaotyczni” szukali sposobu zlikwidowania nieregularności poprzez proces fizyczny. Wszechświat inflacyjny pokazuje, jak to możliwe, że cały obserwowalny wszechświat może być rozszerzonym wizerunkiem pierwotnego obszaru, tak małego, że procesy fizyczne utrzymywałyby jego gładkość i jednorodność, pomimo niewielkich statycznych fluktuacji. Tak więc obraz tego małeńkiego obszaru wykazuje obserwowany przez nas olbrzymi stopień regularności, a także małe fluktuacje. Żadne nieregularności nie zostały zlikwidowane przez tarcie. Jeśli istniały przed inflacją, to nadal są, lecz zostały zepchnięte poza obserwowalny horyzont. Nie możemy ich zobaczyć.

Tym sposobem inflacja może dostarczyć wyjaśnienia cech obserwowalnego wszechświata, w dużej mierze niezależnie od jego początków. Jeśli tylko pojawią się warunki, które pozwolą na rozdymanie małego obszaru przez wystarcza-

jąco długi czas, powstanie duży, gładki wszechświat zawierający małe nieregularności. Będzie się on rozszerzał bardzo blisko linii krytycznej, oddzielającej wszechświaty zamknięte od otwartych. Na rys. 6.8 pokazano, jak nieregularność wszechświata traci znaczenie, kiedy zaczyna się inflacja. Przekształca ona małe fragmenty Wszechświata, tak przyspieszając w tym miejscu ekspansję, że ów fragment staje się większy niż nasz dzisiejszy horyzont.

Teraz rozumiemy, dlaczego wszechświat inflacyjny jeszcze bardziej ogranicza naszą zdolność do determinowania struktury wszechświata w bardzo odległej przeszłości. Przekonaliśmy się już, że skończona prędkość światła nakłada ograniczenia na obszar czasoprzestrzeni, o którym astronomowie są w stanie uzyskać informacje. Jednakże inflacja usuwa informację na temat struktury nie-obszernego wszechświata z czasów zanim wystąpiła inflacja.

Inflacja to bardzo kusząca koncepcja, jeśli się jest astrofizykiem szukającym wyjaśnienia powstania galaktyk lub jeśli chce się zrozumieć, dlaczego wszechświat obserwowalny wygląda podobnie we wszystkich kierunkach. Jeśli jednak chcielibyśmy wiedzieć, jak wyglądał wszechświat, zanim zaczęła się inflacja (powiedzmy przed 10^{-35} sekundy) albo usiłujemy określić, czy wszechświat obserwowalny miał początek, bądź szukamy pozostałości po bardzo młodym

wszechświecie, które rzuciłyby światło na fizykę cząstek elementarnych o energiach większych niż 10^{15} eV, to inflacja jest bardzo złą nowiną.

Widzimy, że kosmologia i względy ekonomiczne zawiązały spisek, żeby w sposób fundamentalny ograniczyć nasze możliwości testowania zachowania materii w ultrawysokich energiach. W obliczu dużych kosztów wytwarzania takiej energii na Ziemi fizycy cząsteczkowi od dawna żyją nadzieją, że kosmolodzy udostępnią im niedrogi „laboratorium”, w którym da się zbadać strukturę Teorii Wszystkiego. Jednakże, tak jak niewielkie rozmiary naszego stożka przeszłości nie pozwalają nam wyciągnąć jakichkolwiek wniosków na temat struktury i początków Wszechświata, tak inflacja wymiecie z obserwowalnego wszechświata wszelką informację, jaka mogłaby rzucić światło na ostateczne prawa fizyki cząstek o wysokich energiach.

Inflacja działa jak kosmiczny filtr. Spycha informację na temat początkowej struktury Wszechświata poza obecny horyzont, gdzie nie możemy jej zobaczyć, po czym zapisuje obserwowalną część Wszechświata nową informacją. To ostateczny kosmiczny cenzor.

Chaotyczna inflacja

Pewien młodzieniec z miasteczka Quest przyjmował życie takim, jakie jest, bo dawno go nauczyło, że gdyby jakie jest nie było, to nie mogłoby być tym, czym jest.* ANONIM

Pokazaliśmy restrykcje jakie teorie naukowe nakładają na badania obserwowalnej części Wszechświata wewnątrz horyzontu. Czy jednak warto się nimi martwić? Ile informacji tak naprawdę tracimy przez ograniczenia wynikające ze skończonej wartości prędkości światła?

Zanim odkryto, że mogła nastąpić inflacja, ogólnie uważano, iż Wszechświat poza horyzontem obserwowalnych zdarzeń powinien być dokładnie taki sam, jak wewnątrz niego. Założenie przeciwne byłoby równoznaczne z przyjęciem, że zajmujemy szczególne miejsce we Wszechświecie - pokusa, której starał się oprzeć Kopernik. Kiedy jednak z niechęcią zgodziliśmy się, że być może się mylimy, pogląd ten uznano za pedantycznie pozytywistyczny. Owa postawa filozoficzna uległa transformacji. Ogólny charakter inflacyjnego wszechświata pokazuje, że należy się spodziewać, iż struktura Wszechświata jest o wiele bardziej egzotyczna pod względem czasu i przestrzeni niż poprzednio sądziliśmy.

* Przet. H. Turczyn-Zalewska.

Jeśli początkowy stan Wszechświata był chaotyczny i nieregularny, wówczas niektóre regiony uległy inflacji, inne zaś nie. Wielkość inflacji także wahałaby się w zależności od miejsca, a wynikiem tego byłby postinflacyjny wszechświat, bardzo zróżnicowany strukturalnie. Każdy obszar, w którym nastąpiła inflacja przypominałby bąbel, w którym panują jednorodne warunki (im większa inflacja, tym większa jednorodność) lecz całkiem inne niż w pozostałych bąblach. Nasz bąbel musi być bardzo duży, większy niż horyzont, lecz poza nim powinny znajdować się inne bąble różnych rozmiarów, w których panują warunki różniące się od naszych. Schematyczny obraz sytuacji przedstawia rys. 6.9 (s. 195).

Kiedy zbadaliśmy uproszczenie wprowadzone do tego scenariusza, okazało się, że wszelkie inne właściwości Wszechświata mogą być odmienne w każdym z rozdętych bąbli. Niektóre wartości, zwane przez nas stałymi

fizycznymi - stała grawitacyjna, masy cząstek elementarnych, lub nawet liczba wymiarów przestrzeni - mogą być inne w każdym bąblu.¹⁶ Wszystkie obserwacje astronomiczne, jakie dotąd wykonaliśmy, pokazują, że stałe Natury są takie same niezależnie od miejsca wewnątrz obserwowalnego horyzontu - i to z niezwykle dokładnością (w niektórych przypadkach lepszą niż $1/10^{15}$). Dokładnie takiego wyniku się spodziewaliśmy, nawet jeśli stałe te są różne w różnych miejscach Wszechświata. Kiedy małeńki region zostaje poddany inflacji, wszyscy znajdujący się w nim obserwatorzy przekonają się, że stałe Natury są wszędzie takie same, z wielką dokładnością, gdyż dawno temu wyłoniły się z tego samego inflacyjnego skrawka.

Obraz ten bardzo poszerza nasz wizerunek możliwej złożoności przestrzennej Wszechświata. Niestety odsuwa owo skomplikowanie poza zasięg naszej nauki. Pewnego dnia astronomowie w dalekiej przyszłości być może dostrzegą oznaki istnienia najbliższych leżących bąbli. Nigdy jednak się nie dowiedzą, ile ich leży jeszcze dalej.

Wszechświat jest otwarty czy zamknięty?

Nie mam aspiracji, żeby zrozumieć Wszechświat - on jest o wiele większy ode mnie.

THOMASCARLYLE"

Jednym z najistotniejszych pytań, jakie postawiła przed nami teoria Wielkiego Wybuchu i rozszerzającego się wszechświata jest to, czy nasz wszechświat będzie się rozszerzał wiecznie, czy też kiedyś zacznie się kurczyć, by z czasem zniknąć w Wielkim Krachu. Te dwie ewentualności są rozdzielone wszechświatem pośrednim („krytycznym”). We wszechświecie „krytycznym” występuje pełna równowaga między energią ekspansji a grawitacyjnym przyciąganiem znajdującej się w nim materii. We wszechświatach „otwartych” energia ekspansji jest

większa od siły grawitacji, a w „zamkniętych” odwrotnie - grawitacja przeważa nad ekspansją. Dokonując pomiarów tempa ekspansji wszechświata i ustalając ilość materii, jaką potrafimy wykryć za pomocą teleskopów, staramy się dowiedzieć, kto wygrywa - ekspansja czy grawitacja. Niestety nie jest to łatwe przedsięwzięcie. Astronomia potrafi wykrywać światło, lecz większość materii we wszechświecie jest ciemna. Świecącej materii jest o wiele za mało, żeby zamknąć wszechświat, lecz między galaktykami może znajdować się wystarczająca ilość materii ciemnej.

Przekonaliśmy się już, że wszechświat rozszerza się blisko krytycznej linii podziału między wszechświatami otwartymi i zamkniętymi. Jak dotąd obserwacje nie są wystarczająco dokładne, żebyśmy mogli wybrać którąś z możliwości. Jeśli jednak teoria wszechświata inflacyjnego jest prawidłowa, nigdy nie dowiemy się czy wszechświat będzie się wiecznie rozszerzał, czy się skurczy.

Inflacja przewiduje, że każdy duży region Wszechświata, w którym zmieściłby się nasz obserwowalny wszechświat, powinien obecnie rozszerzać się w tempie różniącym się od krytycznego o jedną stutysięczną. (Nie mówi jednak, po której stronie tej linii się znajdujemy. To zostało zaprogramowane na początku istnienia Wszechświata i nie podlega zmianie). Żadne możliwe do przewidzenia obserwacje astronomiczne nie będą wystarczająco dokładne, żeby to stwierdzić. A nawet gdyby były, to i tak nie uzyskalibyśmy odpowiedzi na to pytanie. Różnica między gęstością obserwowalnego wszechświata a wartością krytyczną, przewidzianą przez model wszechświata inflacyjnego jest tego samego rzędu (a nawet mniejsza) co różnice gęstości w przestrzeni, jakie powoduje inflacja. Oczekujemy, że różnice gęstości w całym Wszechświecie poza horyzontem są przynajmniej takie same. To oznacza, że jeśli dziś, za pomocą doskonałych przyrządów, ustalilibyśmy ilość materii w całym obserwowalnym wszechświecie i okazałoby się, że jest mniejsza niż gęstość krytyczna z dokładnością do jednej stutysięcznej, to wcale nie oznaczałoby, iż Wszechświat jest otwarty i będzie się rozszerzał wiecznie. Tego typu konkluzja zakłada, że Wszechświat poza horyzontem jest taki sam jak wewnątrz niego. Jeśli podobne oszacowanie masy przeprowadzilibyśmy dzień później, kiedy obserwowalny wszechświat jest o dzień większy,¹⁸ to mogłoby się okazać, że nowy materiał, który pojawił się w polu naszego widzenia wystarczy, aby zwiększyć ustaloną gęstość o jedną stutysięczną ponad krytyczną, co świadczyłoby, że Wszechświat jest zamknięty i pewnego dnia nastąpi jego implozja. Jednakże i taki wniosek nie byłby prawidłowy.

Całość jest bardzo precyzyjnie zrównoważona. Obserwowalny wszechświat rozszerza się blisko linii krytycznej - małe fluktuacje gęstości mogą zadecydować o istnieniu bądź braku równowagi między energią ekspansji a grawitacją. Wszechświat obserwowalny może być podgęstym, otwartym bąblem w nadgęstym zamkniętym Wszechświecie lub bąblem zamkniętym, znajdującym się wewnątrz otwartego Wszechświata. Astronomia obserwacyjna nigdy nie będzie w stanie odpowiedzieć czy cały Wszechświat będzie rozszerzał się wiecznie, ani czy jest skończony, czy nieskończony. Nawet jeśli nas ma spotkać Wielki Krach, nie dowiemy się, jaką część pozostałego Wszechświata spotka taki sam los.

Wieczna inflacja

Poeta prosi tylko, żeby jego głowa wzniosła się ku niebiosom. Logik zaś stara się, żeby niebo mieć w głowie, I to właśnie jego głowa pęka.

G. K. CHESTERTON

Skomplikowane wariacje przestrzenne, jakie chaotyczna inflacja powinna zrodzić w młodym Wszechświecie, to jeszcze nie wszystko. Andriej Linde odkrył, że inflacja ma tendencję do samoodtworzenia się.¹⁹ Co więcej, wygląda na to, że wywołane przez nią fluktuacje mają postać, która nieuniknienie indukuje dalszą inflację w małych obszarach bąbli, które już podlegają inflacji. Inflacja jest więc potencjalnie procesem niekończącym się i samoodtworzalnym - krótko mówiąc, epidemią (rys. 6.10). Każdy bąbel, w wyniku tego procesu powstający gdzieś w przestrzeni i czasie, może mieć odmienne wartości licznych stałych

Natury, definiujących formę struktur fizycznych, jakie mogą się w nim pojawiać. Tak więc rozwój Wszechświata i jego wariacje przestrzenne, mogą się okazać o wiele bardziej skomplikowane niż przypuszczaliśmy.

Jak dotąd nasze badania matematyczne wykazują, że ów proces namnażania będzie nieskończony, choć pojedyncze „bąble-wszechświaty”, jeśli są wystarczająco gęste, mogą się zapadać i ulegać zniszczeniu. Niemniej jednak, jeśli staramy się rekonstruować minioną historię tego egzotycznego procesu ewolucyjnego, wydarzenia nie są tak oczywiste. Nie udało nam się odkryć, czy musiał on mieć swój początek. Przypuszczalnie cała ta samoreprodukująca się sieć inflacyjnych bąbli-wszechświatów nie musi mieć początku, lecz poszczególne bąble mogą mieć początek, jeśli prześledzimy wstecz ich historię. Początki te będą odpowiadać kwantowo-mechanicznym fluktuacjom energii Wszechświata w zależności od miejsca, i od czasu do czasu pojawiają się spontanicznie z pewnym prawdopodobieństwem.

Nasze własne miejsce w tej fantastycznej wieczystej panoramie jest niezwykle intrygujące. Żyjemy w konkretnym bąblu, z konkretnym zestawem stałych fizycznych, w konkretnej epoce w najwyraźniej wiecznej sekwencji inflacji. Wiemy tylko tyle, że nasz bąbel musiał wystarczająco długo powiększać się i wyrosnąć wystarczająco wielki, żeby w gwiazdach powstały pierwiastki, stanowiące podstawę wszelkich form złożonych i życia. Nie mamy żadnej realnej koncepcji, jak prawdopodobne może być powstanie bąbla tej wielkości ani jakie jest prawdopodobieństwo, że pojawi się zestaw stałych fizycznych sprzyjających powstaniu życia.²⁰ Jak na ironię, nigdy też nie dowiemy się, czy ten samoodtworzący się Wszechświat, z całą swoją barokową złożonością, rzeczywiście istnieje. Nasz pogląd na Wszechświat jest ograniczony przez fakt, że prędkość światła jest skończona, a tym samym z góry skazany na prowincjonalizm.

Co gorsza, obecnie mamy uzasadniony powód, by oczekiwać, że Wszechświat ma niezwykle skomplikowaną strukturę, a nasza obserwowalna część jest nietypowa pod wieloma istotnymi względami. Ograniczenia nakładane przez fakt, że prędkość światła jest skończona, nie pozwalają nawet przetestować naszych oczekiwań dotyczących struktury Wszechświata poza horyzontem. W rezultacie obraz wiecznej inflacyjnego wszechświata nie da się uzasadnić obserwacjami w rodzaju tych, które pozwalają nam stwierdzić czy żyjemy w bąblu, który w przeszłości przeszedł inflację - wypatrując szczegółowych oznak małych wariacji temperatury promieniowania kosmicznego wokół nas. Pozostanie to inspirującym wyzwaniem.²¹

Jeśli satelity, zaprojektowane na najbliższe dziesięć lat, dowiodą z całą pewnością, że nasz obserwowalny wszechświat nie nosi oznak minionej inflacji, to wieczna inflacja utraci wiarygodność. Okaze się, że żyjemy w dziwnym bąblu, który nie przeszedł inflacji, i nic nie będzie przemawiać za poglądem, że gdzieś tam są niezliczone inne światy. Jednakże, jeśli satelity potwierdzą naszą inflacyjną przeszłość, koncepcja nieobserwowalnego wszechświata gdzieś za horyzontem, uzyska mocne poparcie, nawet jeśli satelity nie będą mogły dostarczyć na jego temat żadnych danych.²²

Pomimo takich ograniczeń wiedzy kosmologicznej, znaczenie inflacji, jako możliwego scenariusza polega na tym, że daje nam wszelkie podstawy sądzić, iż ograniczenie obserwacji astronomicznych do gromadzenia danych z wnętrza horyzontu to dramatyczne ograniczenie naszej wiedzy o całościowej strukturze Wszechświata. Wszechświat za horyzontem powinien być zupełnie inny niż nasz. Pociąga to za sobą niemożliwość rozstrzygnięcia ostatecznego pytania na temat jego początków i końca.

Teorię wszechświata podlegającego wiecznej inflacji przyrównuje się często do dawno już zarzuconej teorii stanu stacjonarnego, zaproponowanej w 1948 roku przez Hermana Bondiego, Thomasa Golda i Freda Hoyle'a. W tej teorii

rozszerzającego się Wszechświata nie było Wielkiego Wybuchu - materia powstawała stale w tempie wystarczającym, by cały czas nie zmieniała się gęstość Wszechświata. Wymagane tempo kreacji materii jest tak naprawdę bardzo małe - znacznie mniejsze niż można bezpośrednio wykryć. Średnio powinno być takie samo dla wszystkich obserwatorów we wszystkich czasach i wszystkich miejscach. Byłby to wszechświat podobny do inflacyjnego, który stale się rozdyma. Standardowy wszechświat Wielkiego Wybuchu był całkowicie odmienny - cała materia powstała w jednym początkowym momencie, a następnie uległa ekspansji, ostygła i rozrzedziła się. W przeciwieństwie do modelu stanu stacjonarnego, przeszłość różniła się od przyszłości. W przeszłości wszechświat Wielkiego Wybuchu był gorętszy, bardziej gęsty i niezamieszkały przez istoty żywe w rodzaju nas, ludzi.

Wersja Bondiego, Colda i Hoyle'a została w końcu wykluczona na podstawie najrozmaitszych obserwacji. Okazało się, że takie obiekty kosmiczne jak radiogalaktyki i kwazary rodzą się w tempie, które zmienia się wraz z kosmiczną epoką. Jednakże najbardziej znaczące było odkrycie w 1965 roku mikrofalowego promieniowania tła, którego istnienie dowodzi, że Wszechświat był niegdyś gorętszy i bardziej gęsty niż obecnie.

W obliczu nowych faktów obserwacyjnych teoria stanu stacjonarnego utraciła rację bytu, lecz niektórzy jej obrońcy podjęli desperackie wysiłki jej uratowania. Jedną z propozycji była nawet taka, że wprawdzie obserwowalny wszechświat narodził się w Wielkim Wybuchu, lecz jest to zaledwie rozszerzający się bąbel w nieskończonym, stacjonarnym Wszechświecie.²⁴ Żadne obserwacje nie mogą potwierdzić ani obalić tej koncepcji, jeśli tylko skala stacjonar-ności jest wystarczająco duża.

Czasem przyrównuje się tę starą koncepcję do teorii chaotycznej lub wiecznej inflacji. Należy jednak pamiętać, że istnieją między nimi istotne różnice. Bą-

bel wszechświata stanu stacjonarnego zrodził się tylko jako ostatnia deska ratunku dla ukochanej koncepcji przed starciem jej z powierzchnią ziemi przez obserwacje. Nie było żadnego naukowego powodu przemawiającego za bąblami Wielkiego Wybuchu w środowisku stanu stacjonarnego. Co więcej był to krok zaprzeczający duchowi filozofii stanu stacjonarnego, w myśl której Wszechświat jest zawsze i wszędzie mniej więcej taki sam.²⁵ Natomiast wszechświat inflacyjny, chaotyczny bądź wieczny, nie jest propozycją mającą uratować prostsze wersje teorii od zaprzeczających im faktów obserwacyjnych. Wyłonił się on jako nieunikniona (i dla wielu umysłów, niechciana) logiczna konsekwencja teorii, której nie zaprzeczały obserwacje.

Dobór naturalny wszechświatów

Wszystko, co wytworzyła ewolucja, musi być odrobiną bałaganu.

SYDNEY BRENNER

Samoodtworzący się, inflacyjny wszechświat wprowadza do kosmologii szersze rozważania. Dziedziny naukowe dzielą się na dwie kategorie, biorąc pod uwagę ich sposób objaśniania złożoności. Są takie, w których, jak w biologii, wytłumaczenie istnienia wśród żywych organizmów skomplikowanych struktur, przypisuje się procesowi doboru naturalnego, działającego przez bardzo długi czas. Na każdym etapie występują bardzo małe wariacje, przypuszczalnie losowo, a te bardziej korzystne, zostają przekazane z większym prawdopodobieństwem niż te mniej korzystne. Obecnie trwa poważna dyskusja na temat roli, jaką może odgrywać w tym procesie samoorganizujący się charakter procesów fizycznych (któremu przyglądaliśmy się w rozdziale o kopcu piasku). Jednakże większość biologów zajmujących się ewolucją raczej mocno się tej koncepcji opiera,²⁷ natomiast wyjaśnienie istnienia skomplikowanych struktur przez mechanizmy ewolucji i dobór naturalny nie odegrało żadnej roli w astronomii. Strukturą takich obiektów, jak gwiazdy i galaktyki, rządzą przede wszystkim prawa fizyki. Są one stanami równowagi między przeciwstawnymi siłami Natury. Ważne obiekty, którymi zajmuje się fizyka - cząsteczki, atomy, nukleony i cząstki elementarne - mają niezmiennie właściwości, określone wartościami stałych fizycznych i prawami Natury. Nie mają zdolności tworzenia wariacji, jaką posiadają geny. Fizycy i astronomowie mogli więc tylko dojść do wniosku, że wszystko, co jest prawdziwie fundamentalne, musi być wyjaśnione wyłącznie poprzez jakąś bezpośrednią cechę charakteryzującą prawa rządzące czterema siłami Natury. Byliby niepokieszeni, gdyby się okazało, że jakiś fundamentalny aspekt obserwowalnego wszechświata miał nieporządne wyjaśnienie, na przykład że jest pozostałością pewnego procesu selekcji. Za to biologia zajmuje się włącznie takim bałaganiarstwem.

W poprzednim rozdziale przyjrzelśmy się spekulacyjnym koncepcjom Smolina i Harrisona na temat ewentualnej ewolucji Wszechświata i określających go stałych w procesie doboru. W przypadku Smolina dobór można by nazwać „naturalnym”, kiedy to większa liczba czarnych dziur zwiększa szansę przetrwania konkretnej odmiany wszechświata. Jednakże u Harrisona zmiany dokonują się dzięki świadomej interwencji inteligentnych umysłów, więc bardziej odpowiednią byłaby dla nich nazwa „sztucznej selekcji” lub „wymuszonej hodowli” bąbli wszechświatów.

Samoodtworzącą się inflację Lindego także można by nazwać ewolucją przez dobór naturalny.²⁸ Każdy powiększający

się bąbel daje początek potomstwu, które także pęcznieje (re p rod u kej a). Te niemowlęce wszechświaty charakteryzują się niewielkimi wariacjami wartości stałych fizycznych i innych właściwości (zmiennosc), lecz także mają pewną pamięć owych cech i wartości, wyniesionych z bąbla, który je zrodził (dziedziczność). To właśnie te bąble, które wytwarzają najwięcej niemowlęcych wszechświatów, będą się powielać i na dłuższą metę zdominują Wszechświat. Najdziwniejsze jednak jest to, że jeśli wierzyć biologom, którzy określają życie jako proces charakteryzujący się reprodukcją, zmiennością i dziedzicznością,²⁹ to samoodtworzający się inflacyjny wszechświat jest żywy!

Topologia

Pewna tancerka burleski z USA umiała każdego zrobić wygibusa, lecz naczytała się mądrości i zmarła z połamania kości, próbując się wygiąć we wstęgę Móbiusa,* CYRILKORNBLUTH

Przyzwyczailiśmy się do przestrzeni, która jest w ten czy inny sposób zakrzywiona. Wiemy, że powierzchnia Ziemi jest zakrzywiona. Strona tej książki jest zakrzywiona. A w początkach dwudziestego wieku Einstein stwierdził, że cały Wszechświat czasu i przestrzeni jest zakrzywiony wskutek obecności materii. Co to oznacza? Możemy uzyskać jakiś pogląd na zakrzywienie przestrzeni, wyobrażając ją sobie jako rozpiętą gumową płachtę, ulegającą deformacji, kiedy położymy na niej jakiś obiekt mający masę. Wszystkie takie obiekty wywierają czysto lokalny wpływ na geometrię przestrzeni. Ujawnia się on, kiedy obok danego obiektu przemieszcza się światło lub inny obiekt. Wyczuwają one najkrótszą możliwą drogę, jak strumień spływający w dół zbrocza, jednakże wskutek za-

krzywienia wywołanego obecnością masy, ta najkrótsza droga sprawia wrażenie, jakby na obiekt działała siła przyciągania („grawitacja”).

Przed radykalną propozycją Einsteina uważaliśmy, że przestrzeń to coś niezmiennego, w czym zachodzą wszelkie ruchy i interakcje materii. Przestrzeń była czymś w rodzaju twardego blatu, a nie dającej się deformować gumowej płachty. To wielka różnica. Zakręćmy kulka na stole, jej ruch nie będzie mieć wpływu na inne leżące na nim kulki. Ale kiedy zakręcimy kulka na rozpiętej gumowej płachcie, jej ruch skręci płachtę i spowoduje, że pobliskie obiekty także zmienią swoje położenie, przemieszczając się w kierunku skreću kulki.

Dzięki tym analogiom można sobie wyobrazić zakrzywioną przestrzeń, ale sformułowanie „zakrzywiony czas” brzmi dziwnie. Znaczy ono, że tempo przepływu czasu jest zdeterminowane siłą pola grawitacyjnego w miejscu, w którym mierzymy czas. W silnym polu grawitacyjnym (a więc tam, gdzie przestrzeń jest silnie zakrzywiona) czas biegnie wolniej, w porównaniu z tempem przepływu w miejscach o słabszej grawitacji (gdzie przestrzeń jest niemal doskonale płaska).

Zakrzywienie przestrzeni i czasu to sprawa geometrii. Równania Einsteina mówią nam, jak obliczyć zakrzywienie przestrzeni i czasu, spowodowane każdym rozkładem materii i energii, jaki nam przyjdzie na myśl (wzalożeniu! -w praktyce równania te są bardzo trudne do rozwiązania i udało nam się to zrobić tylko dla bardzo prostych układów mas, charakteryzujących się wysokim stopniem symetrii). Najprostsze modele wszechświata (na przykład wszechświat rozszerzający się w każdym miejscu w tempie granicznym) opisują rozszerzającą się przestrzeń (gumowa płachta ulega rozciąganiu), która wygląda na całkiem płaską w każdym momencie. Lokalna geometria tej przestrzeni nie zostanie zakłócona, jeśli płachtę zwiniemy w kształt walca. Lokalnie nadal będzie ona płaska - trzy wewnętrzne kąty dowolnego trójkąta zawsze zsumują się do 180 stopni. Jednak coś się zmieniło.

Nastąpiła zmiana topologii Wszechświata. Topologia ulega zmianie tylko w wyniku rozdarcia, wycięcia otworów lub sklejenia części przestrzeni ze sobą. Jeśli dwie powierzchnie można przekształcić wzajemnie przez rozciąganie (bez rozdierania), to mają one tę samą topologię. Tak więc obwarzanek jest topo-logicznie równoważny filiżance do kawy, ale już nie filiżance do barszczu, która ma dwa uszka. Rysunek 6.11 pokazuje, co się dzieje, kiedy sklejemy dwa brzegi powierzchni (przestrzeni). Możemy też połączyć wszystkie cztery boki parami. Powstająca topologia nosi nazwę topologii trójwymiarowego torusa („to-rus” to matematyczna nazwa obwarzanka).

Chcielibyśmy wiedzieć, jaką topologię ma nasz Wszechświat, ale równania Einsteina milczą na ten temat. Mówią nam, w jaki sposób można ustalić geometrię Wszechświata na podstawie rozkładu gwiazd i galaktyk, ale nie ma w nich nic na temat topologii. Astronomowie przyjmują, dla uproszczenia, że jeśli Wszechświat jest krytyczny lub otwarty, to jego topologia jest topologią nieskoń-

czonej płaskiej płachty i nazywają ją topologią naturalną. Jednakże, choć to ułatwia im życie, nie widać powodu, dla którego przestrzeń miałaby być właśnie taka. Gdyby była połączona tak, jak walec we wszystkich trzech kierunkach, miałaby skończoną objętość, nawet jeśli jej ekspansja byłaby charakterystyczna dla krytycznego lub otwartego wszechświata.

Z uwagi na to, że istnieje o wiele więcej sposobów uzyskania topologii nienaturalnych niż naturalnych, istnieje znacznie większe prawdopodobieństwo, iż topologia wszechświata nie jest naturalna.³⁰ Mimo wszystko astronomia może nam pomóc. Możemy spróbować sprawdzić, czy są jakiegokolwiek dowody obserwacyjne na topologię trójwymiarowego torusa. Topologia taka prowadziłaby do zwielokrotnienia obrazów odległych galaktyk, kwazarów i gromad, gdyż światło biegłoby w kółko, po ścianie walca. Podobne zjawisko zachodzi, kiedy staniemy między dwoma równoległymi lustrami - widzimy niekończącą się sekwencję coraz mniejszych obrazów. Jak dotąd nie zaobserwowaliśmy ani śladu jakiegokolwiek powtarzających się obrazów, które można by przypisać temu zjawisku. Ostatnio niektórzy z nas zbadali, co by się stało z promieniowaniem tła z wczesnego stadium ekspansji, gdyby topologia była nienaturalna.³¹ Odkry-

liśmy, że mapy nieba sporządzone przez satelitę COBE wyglądałyby zupełnie inaczej, gdyby topologia Wszechświata różniła się od topologii płaskiej płachty w wymiarze mniejszym niż mniej więcej piętnaście miliardów lat. Jeśli Wszechświat rzeczywiście ma jakąś niezwykłą topologię, to identyfikujące ją cechy są dziś ukryte za obserwowalnym horyzontem.

Informacja, na podstawie której można by określić całościową topologię Wszechświata jest dla nas niedostępna. Możemy określić granice rozmiarów, w których może się ujawnić, lecz nigdy nie przeprowadzimy obserwacji, pozwalających określić jej całościowy charakter. To wielki pech, gdyż odpowiedź na fascynujące pytanie, czy fizyka może dostarczyć opisu, czy i jak Wszechświat powstał z „niczego” prawdopodobnie w dużej mierze zależy od tego, jaka miała być topologia nowopowstającego Wszechświata. Niektóre topologie będą bardziej prawdopodobne niż inne. Jeśli więc nie znamy topologii Wszechświata, zapewne brak nam ważnego fragmentu naszej kosmicznej układanki.

Czy Wszechświat miał początek?

Na początku byto nic. I rzekł Bóg: „Niechaj stanie się światłość”

i dalej nic nie byto, tylko teraz można to zobaczyć.

TERRY PRATCHETT

Przekonaliśmy się, że na wielkie pytanie „czy Wszechświat miał początek?” nie można uzyskać odpowiedzi na podstawie danych obserwacyjnych. Nadal jednak można się starać odpowiedzieć na znacznie skromniejsze pytanie, „czy obserwowalny wszechświat miał początek?” Pytania o początek Wszechświata trudno oddzielić od odziedziczonych przesądów religijnych. Choć zadaniem uczonych nie jest potwierdzenie ani odrzucenie religijnych czy mitologicznych koncepcji narodzin Wszechświata, bez wątpienia są pod ich wpływem. Wyrośli bowiem w konkretnych współczesnych kulturach i zaznajomili się z tradycyjnymi spekulacjami i dogmatami. Zawarte w nich poglądy nieco narzucają kierunki, w jakich mogą się rozwijać teorie kosmologiczne.

Kultury zachodnie mają kilka tradycji religijnych, omawiających początek świata. Przez tysiące lat teolodzy sprzeczali się co do ich interpretacji i o znaczenie „początku” dla samego Wszechświata, a także o takie subtelności jak to, czy czas został stworzony razem ze Wszechświatem, czy nie. W efekcie wszyscy znają koncepcję, że Wszechświat został stworzony z niczego, i wiele osób - uczonych i nieuczonych - czuje się z nią wygodnie. To nie oznacza, że jest ona dokładnie zrozumiana czy też logicznie niesprzeczna (koncepcja jednorożca nie jest dla mnie równie wygodna) - po prostu ów ogólnie przyjęty pogląd wydaje się przekonujący.

To kulturowe tło stanowi płodny grunt dla koncepcji rozszerzającego się Wszechświata. W sposób naturalny popiera ideę wszechświata, który „zaczął” się w jakimś momencie, od którego dzieli nas skończony przedział czasu. Gdybyśmy żyli w świecie statycznym, trudniej byłoby nam to pogodzić z naszym dziedzicznym przekonaniem, że Wszechświat miał początek.

Odziedziczone wierzenia religijne (lub nasza ku nim antypatia) mogą sprawić, że będziemy bardziej skłonni rozwijać matematyczną kosmologię w pewnych kierunkach. Niektórzy kosmolodzy szukają modeli mających początek i starają się znaleźć jego matematyczną charakterystykę. Inni uważają przewidywania dotyczące początku za znak, że teoria się rozpada pod wpływem ekstremalnych warunków i starają się ich uniknąć, zmieniając w pewien sposób teorię grawitacji. Dla nich zmodyfikowana teoria, likwidująca osobliwość na początku czasu, jest teorią bardziej poprawną. Są też fizycy, jak Roger Penrose, którzy uważają osobliwy początek Wszechświata za ważny

składnik jego struktury, bez którego nie miałyby pewnych ważnych cech.

W latach 1922-1965 panowało poważne zamieszanie co do interpretacji osobliwości u początków Wszechświata, których istnienie implikują proste modele ekspansji (pokazane na rys. 6.2). Wszystkie te wszechświaty rozszerzają się i, jeśli prześledzimy tę ekspansję wstecz, odkryjemy stan nieskończonej gęstości i zerowych rozmiarów w skończonej odległości czasowej.

Naukowa podstawa początków nie była nowa sama w sobie. W dziewiętnastym wieku pierwsi badacze termodynamiki, stosując jej drugie prawo wydedu-kowali, że w przeszłości musiał istnieć moment maksymalnego porządku, który interpretowali jako początek wszystkiego.³⁴ Pogląd ten nie jest jednak do końca prawidłowy. Entropia nie musi mieć minimum tylko dlatego, że stale rośnie.

Początkowo kosmolodzy podejrzewali, że „początek” przewidywany przez teorię rozszerzającego się wszechświata nie był rzeczywisty. Wysunięto trzy wątpliwości. Niektórzy przekonywali, że obecność kosmicznego materiału z realnym ciśnieniem będzie hamować kompresję do zerowych rozmiarów (tak, jak w przypadku ściskanego balonu) i Wszechświat „odskoczył” kiedy promień miał pewną długość. Kiedy jednak odkryto wszechświaty, w którym istniało ciśnienie, okazało się, że rozpoczęły się przy zerowych rozmiarach. Zwykle ciśnienie nie pomogło uniknąć osobliwości.

Następnie wystapiono z koncepcją, że początek był artefaktem, wynikającym z przyjęcia modelu wszechświata rozszerzającego się w tym samym tempie we wszystkich kierunkach. Kiedy prześledzi się je wstecz, wszystko zbiega się w jednym punkcie, I znów znaleziono inne modele wszechświata. Niektóre rozszerzały się w różnym tempie, zależnie od kierunku, w innych tempo ekspansji było różne w różnych miejscach. We wszystkich przypadkach początkowa osobliwość istniała nadal.

Na koniec pojawiło się bardziej subtelne zastrzeżenie. Przypuśćmy, że osobliwość zerowych rozmiarów to po prostu defekt naszego sposobu kartowania i opisywania Wszechświata, a nie jakaś jego cecha fizyczna. Podobna dychotomia pojawia się wówczas, gdy patrzymy na południki i równoleżniki, które służą nam do określania położenia czegoś na powierzchni Ziemi. Kiedy przemieszczamy się w kierunku biegunów na globusie, południki stopniowo zbliżają się do siebie i w końcu przecinają się. Współrzędne mapy na biegunach stają się osobliwością. Ale to nie znaczy, że coś dziwnego dzieje się na powierzchni Ziemi. Badacze biegunów mogą, jeśli chcą, zmienić zastosowany system współrzędnych na taki, który lepiej odpowiada ich potrzebom. Skąd wiadomo, że osobliwość Wielkiego Wybuchu nie jest właśnie czymś takim?

Odpowiedzi udzielił Roger Penrose, który odkrył nowy sposób zaatakowania tego problemu, bez konieczności zajmowania się współrzędnymi i asymetriami wszechświata.³⁷ Razem ze Stephenem Hawkingiem wykazali, że jeśli spełnione są pewne istotne założenia na temat wszechświata, to musi on mieć początek.³⁸ Najważniejszym z owych znaczących założeń jest to, że grawitacja zawsze musi działać przyciągająco. Jeśli tak, to podróż w czasie jest niemożliwa i jeśli w dzisiejszym świecie istnieje wystarczająco dużo materii i promieniowania, to musi też istnieć co najmniej jedna droga przez przestrzeń i czas, którą podąża światło lub cząstki elementarne mające masę, której nie da się nieskończenie rozciągnąć w przeszłość - musi mieć jakiś początek.

Wystarczy dokładnie jedna droga, która ma początek, bez żadnych dodatkowych ekstremów temperatury i gęstości. Twierdzenie nie może nam powiedzieć nic więcej. W praktyce kosmolodzy sądzą, że jeśli istniał jakiś początek, to towarzyszyły mu owe ekstremalne warunki fizyczne. Przedstawiony przez konwencjonalną teorię Wielkiego Wybuchu obraz początków wszechświata, z fizycznymi ekstremami w każdym miejscu, jest całkowicie niesprzeczny z twierdzeniem Hawkinga i Penrose'a, choć przez nie niewymagany. Jest to twierdzenie, a nie teoria. Jeśli jego założenia są poprawne, to historia wszechświata musi mieścić się w skończonym odcinku czasu. Jeśli nie są poprawne (na przykład, jeśli we wszechświecie istnieje jakiś rodzaj materii, który nie przyciąga grawitacyjnie), to nie możemy niczego w ogóle wnioskować - być może był początek, a być może go nie było.

W latach 1966-1975 to „twierdzenie o osobliwości” stanowiło bardzo mocny grunt dla poglądu, że obserwowalny wszechświat (którego większość ówczesnych komentatorów nie odróżniała od całego Wszechświata) miał początek. Podstawowe założenia twierdzenia - że grawitacja przyciągała i że wszechświat zawiera wystarczająco dużo materii - wydawały się prawdziwe. Mikrofalowe promieniowanie tła pozwoliło wnioskować, że materii i energii było dosyć, a wszystkie formy materii, z jakimi mieli do czynienia fizycy w swoich eksperymentach lub jakie wymyślali teoretycznie, wykazywały przyciąganie grawitacyjne. Wydawało się, że twierdzenie stosuje się do naszego wszechświata.

Ale po 1975 roku sprawy zaczęły przyjmować inny obrót. Kosmolodzy zajęli się poważnie zagadnieniem, w jaki sposób kwantowa nieoznaczoność, może wpływać na przyciągający charakter grawitacji. Nowe odkrycia z dziedziny fizyki cząstek elementarnych o wielkich energiach zmieniły podejście do rekonstrukcji najwcześniejszej historii

wszechświata, oraz skłoniły do podjęcia prób obserwacyjnego potwierdzenia nowych teorii. Doprowadziło to do zaproponowania przez Alana Gutha koncepcji inflacyjnego wszechświata, którą już omówiliśmy.³⁹ Z tych badań jedno wynikało jasno - nasze teorie dotyczące cząstek elementarnych nieuchronnie postulują istnienie nowych rodzajów materii we wszechświecie, a mianowicie cząstek zwanych polami skalarnymi, które napędzają inflację. Okazało się też, że cząstki te mogą wywierać ujemne („ściąające”) ciśnienie i gdyby we wczesnych etapach istnienia wszechświata zmieniały się bardzo wolno, działałyby antygravitacyjnie. Podważa to założenie twierdzenia Hawkinga-Penrose'a. Ponadto, dokładnie ta właśnie zdolność pozwoliła im na krótki moment przyspieszyć ekspansję młodego wszechświata, wywołując tym samym zjawisko inflacji. Nagle kosmolodzy przestali wierzyć, że podstawowe założenia twierdzenia Hawkinga-Penrose'a są spełnione w Naturze. Teorie fizyki cząstek elementarnych dostarczały wielu wiarygodnych pól materii, których działanie w warunkach wielkich energii mogło być antygravitacyjne - sytuacja jak znalazł, żeby objawiły się wszystkie dobrodziejstwa okresu inflacji.

Nasuwał się prosty wniosek, że jeśli chcemy mieć inflację, nie możemy wyciągać żadnych konkluzji na temat osobliwości w początkach historii. Podważenie warunku, że wszystkie pola materii przyciągają gravitacyjnie, nie oznacza nieistnienia początkowej osobliwości, a tylko to, że nie możemy stwierdzić czy istniała, czy nie. Prześledziliśmy już, jak wieczna inflacja prowadzi do skomplikowanego obrazu Wszechświata jako „wielopoziomowego”, pączkującego małymi wszechświatami „niemowlęcymi”, z których część rozedmie się do wielkości naszego własnego obserwowalnego wszechświata, a pozostałe po prostu zapadną się i rozproszą w mgłę przestrzeni i czasu. Proces ten wydaje się nie mieć końca, ale czy miał jakiś początek? Odpowiedź nie jest jeszcze jasna.

Nikt nie wątpi, że takie ekstrapolacje w przeszłość w końcu muszą się załamać, gdyż nasza wiedza z dziedziny fizyki wielkich energii jest niekompletna lub w jakiś sposób nie sprawdzalna. Z naszych rozważań przeprowadzonych w tym i w poprzednim rozdziale wynika, że istnieją uzasadnione powody, by oczekiwać, iż nigdy nie dowiemy się pewnych rzeczy, których znajomość jest nam potrzebna, aby określić, czy nasz obserwowalny wszechświat miał początek, czy nie.

Jedną z interesujących cech einsteinowskiej teorii grawitacji jest to, że przewiduje, że nie potrafi przewidzieć. W przeszłości jest taki moment, przed

którym wszelkie założenia, na których oparta jest ta teoria muszą się załamać. Przestrzeń i czas podlegają bowiem wówczas kwantowej nieoznaczoności, które ignoruje się, stosując teorię grawitacji do badania struktur o rozmiarach mniejszych niż 10^{-33} cm, czasu krótszego niż 10^{-43} sekundy lub energii przekraczających 10^{19} GeV. Te granice są nazywane skalą Plancka, od nazwiska Maxa Plancka, wielkiego niemieckiego fizyka, który stworzył podstawy teorii kwantów. Kiedy zbliżymy się do początków wszechświata na mniej niż 10^{-43} sekundy, einsteinowska teoria grawitacji przestaje działać. Nie wiemy, czy osobliwość, której istnienie dopuszcza, to konsekwencja załamania się teorii, czy jest to rzeczywiste zjawisko fizyczne. Aby zbadać ów najkrótszy odcinek czasu, potrzebna jest kwantowa teoria grawitacji. Obecnie istnieją różne podejścia do tego tematu. Najbardziej atrakcyjną drogę proponuje teoria superstrun, lecz nie wiadomo, czy dopuszcza ona istnienie osobliwych wszechświatów, czy nie.

Nagie osobliwości - ostatnia granica

Stożek ekscentryczności w społeczeństwie jest proporcjonalny do zawartego w nim geniuszu, materialnego wigoru i odwagi moralnej.

JOHN LOCKE

Przeszłość Wszechświata to nie jedyne miejsce do szukania osobliwości. Za każdym razem, kiedy gwiazda o masie co najmniej ponad trzykrotnie większej niż masa Słońca wyczerpie zapasy jądrowego paliwa i zaczyna się kurczyć pod działaniem własnej grawitacji, może powstać osobliwość. Do tej właśnie sytuacji zastosowano pierwsze twierdzenie Penrose'a „o osobliwości”. Początkowo można było sądzić, że otwiera to drogę do obserwowania, co dzieje się bardzo blisko osobliwości i wykorzystać tę wiedzę do rekonstrukcji zdarzeń zachodzących wokół kosmologicznej osobliwości w przeszłości.

Niestety, to jest raczej niemożliwe. Kiedy agregaty materii o wielkiej masie zapadają się pod działaniem grawitacji, w pewnym momencie kompresują tak wielką masę na tak maleńkiej przestrzeni, że nic nie może przezwyciężyć przyciągania grawitacyjnego - nawet światło nie może stamtąd uciec, jest to powierzchnia z której nie ma powrotu - zwie się „horyzontem zdarzeń” - pod którą niczego nie da się zobaczyć. Obszar otoczony horyzontem zdarzeń nazywa się „czarną dziurą”. Astronomowie sądzą, że zidentyfikowali kilka z nich.⁴⁰ Kiedy czarna dziura okrąży zwykłą gwiazdę,

wyciąga z jej powierzchni materiał, powodując przy tym gwałtowne błyski promieniowania rentgenowskiego, po których można wywnioskować obecność czarnej dziury.

Kiedy powstanie horyzont zdarzeń czarnej dziury, obserwatorzy z zewnątrz widzą ją jako niezmiennie źródło przyciągania grawitacyjnego. Jednakże matematycy mówią nam, że wewnątrz horyzontu materiał po prostu spada, aż do cen-

trum, gdzie jego gęstość stale zwiększa się. Równania przewidują wystąpienie osobliwości o nieskończonej gęstości, gdzie czas i przestrzeń przestają istnieć, aż do momentu, kiedy pojawią się nowe prawa fizyki i grawitacja zmiesza się z kwantową nieoznaczonością, właśnie tak, jak w początkowym momencie ekspansji Wszechświata. Spadanie do centrum czarnej dziury to dokładnie to samo, co zbliżanie się zamkniętego wszechświata do ostatecznego Wielkiego Krachu.

Taki stan rzeczy ilustruje dziwną cechę Wszechświata. Dopuszcza on tworzenie się osobliwości wewnątrz czarnych dziur, powstających z zapadających się gwiazd o wielkiej masie, lecz otacza je horyzontem zdarzeń, nie pozwalającym, by dotarły do nich jakiegokolwiek wpływu z zewnątrz. Początkowo wydawało się, że jest to irytujące ograniczenie naszych możliwości zobaczenia, co dzieje się w pobliżu osobliwości. Jednakże po zastanowieniu okazuje się, że być może jest to konieczne, aby zachować racjonalną niesprzeczność Wszechświata. Osobliwości to (z definicji) miejsca, w których przestają działać prawa fizyki. Z osobliwości może powstać wszystko - telewizory, wehikuly czasu, nawet całe wszechświaty - nie ma żadnych reguł. Gdyby taka osobliwość znajdowała się w pobliżu, moglibyśmy wykorzystać prawa Natury, żeby przewidzieć przyszłość. Czarne dziury nas przed tym chronią. Jesteśmy osłonięci przed całkowicie nieprzewidywalnymi efektami lokalnych osobliwości, które mogą pojawiać zawsze, kiedy tylko w Galaktyce zapadnie się wielka gwiazda i powstanie horyzont zdarzeń. Filmy science fiction *zawsze* dramatyzują horyzont *zdarzeń*, robiąc z niego coś w rodzaju syreniej pułapki. Ale istnieje rzeczywista konieczność osłaniania nas przed tym, co w przeciwnym razie mogłoby pojawić się w naszym Wszechświecie.

Istnienie horyzontu zdarzeń wokół osobliwości jest tak ważne, że Roger Penrose przekonywał nawet, iż osobliwość nigdy nie może być „naga”, lecz zawsze musi spowijać ją horyzont zdarzeń. Pogląd ten nazwano kosmiczną cenzurą. Istnieją dowody potwierdzające różne jego wersje, lecz nie wiadomo, czy jest ogólnie prawdziwy, nawet jeśli zignorujemy wpływ fizyki kwantowej na grawitację. Kiedy zaś włączymy fizykę kwantową, może być całkiem nieprawdziwy. Stephen Hawking wykazał, że włączenie procesów kwantowych do badań nad czarnymi dziurami oznacza, iż nie są one całkiem „czarne”,⁴¹ lecz ich powierzchnia emituje cząstki i promieniowanie, co prowadzi do ich stopniowego wyparowywania. Wraz ze spadkiem masy rośnie temperatura wypromienio-wywanych cząstek oraz tempo parowania. Horyzont zdarzeń staje się coraz ciaśniejczy. Kiedy osiągnie skalę Plancka, *czarna dziura* eksploduje, jak miniaturowa wersja Wielkiego Wybuchu. Co po niej pozostaje, nie wiemy. Jednakże, jeśli udałooby się zaobserwować taki lokalny wybuch czarnej dziury, uzyskalibyśmy chwilowy choćby wgląd w fizykę w pobliżu skali Plancka, poza osłoną tarczy horyzontu zdarzeń.

Takie wybuchy nie mogą nastąpić w wyniku parowania czarnych dziur powstałych z zapadnięcia się wielkich gwiazd. Mają one zbyt wielką masę, więc tempo ich parowania jest bardzo powolne. W taki sposób kończą swój żywot znacznie mniejsze czarne dziury, jakie mogły powstawać tylko w bardzo wczesnym stadium rozwoju wszechświata. Czarne dziury o masie bliskiej 10^{14} g (mniej więcej masa dużej góry), które mogły powstać, kiedy Wszechświat miał około 10^{-23} sekundy, dziś właśnie dożywałyby ostatnich chwil przed wybuchem. Astronomowie wypatrują tych eksplodujących czarnych dziur na najrozmaitsze sposoby. Przy wybuchu emitowałyby wysokoenergetyczne promieniowanie γ (gamma) i wywoływały silne błyski fal radiowych oraz promieniowania kosmicznego. Jak dotąd nie ma pozytywnych dowodów, że zaobserwowano jakikolwiek tego typu wybuch na poziomie, jaki mogą wykryć nasze teleskopy. Dziś możemy tylko powiedzieć, że jeśli rzeczywiście takie czarne dziury istnieją, to jest ich mniej niż jeden wybuch na parsek sześcienny (ponad 29×10^{39} km³) rocznie. Równie mało nadziei daje teoria. Jeśli we wczesnym okresie życia Wszechświata nastąpiła inflacja, to do tego stopnia wygładziła ona wszelkie nieregularności na obszarze zawierającym 10^{14} g masy, że materiał ten nie mógł zapaść się pod własną grawitacją, żeby zmienić się w czarną dziurę. Istniały pewne światopoglądowo niezależne wersje inflacji przewidujące, że takie bardzo małe czarne dziury mogły się tworzyć pod koniec okresu inflacji.

Wymiary

„Na samym początku [...] należy uzmysłwić, że wszechświaty równoległe wcale nie są równoległe. Następnie należy sobie uzmysłwić, że mówiąc ściśle, nie są też wcale wszechświatami, tego lepiej jednak nie uzmysławiać sobie od razu, lecz później, dopiero po

tym, jak uświadomimy sobie, że wszystko, co sobie dotychczas uświadomiliśmy, to nieprawda."

DOUGLAS ADAMS⁴²

Problem poznania struktury naszego obserwowalnego wszechświata w pobliżu skali Plancka to jak otwieranie rosyjskiej matryoszki. Przesuwając się wstecz, natykamy się na coraz to nowe ograniczenia, nie pozwalające nam sięgnąć głębiej wstecz. Najpierw ograniczenia te wydają się zwykłymi niedogodnościami. Nieprzejrzystość wszechświata dla fotonów oznacza, że musimy rozglądać się za produktami nukleosyntezy. Z inflacją sprawa jest już jednak poważniejsza. Jeśli okaże się jedną z tych cudownie prostych koncepcji, których Architekt Wszechświata postanowił nie włączać do swojego planu, wówczas będziemy mogli zajrzeć głębiej w przeszłość, obserwując grawitony przylatujące ku nam

swobodnie przez czas i przestrzeń ze skali Plancka. Jednakże teoria superstrun otworzyła następną puszkę Pandory z dziedziny możliwości. Teorie superstrun to obecnie jedyne teorie fizyczne, nie prowadzące do wewnętrznych sprzeczności ani przewidywań, że wielkości mierzalne mogą mieć nieskończone wartości, kiedy grawitacja łączy się z innymi oddziaływaniami Natury. Jednakże owe niesprzeczne teorie fundamentalnych oddziaływań Natury wymagają, by Wszechświat miał o wiele więcej wymiarów przestrzeni niż tylko trzy, w których żyjemy. Oryginalne teorie strun żądały ich dziewięciu lub dwudziestu pięciu! Jako że widzimy tylko trzy wymiary, albo musimy uznać, że teorie te są błędne, albo że postulowane wymiary to coś całkiem innego, niż do tej pory myśleliśmy. A być może mnóstwo wymiarów przestrzeni po prostu gdzieś się przed nami chowa. Choć któraś z pierwszych dwóch ewentualności może okazać się prawdziwa, ogólnie przyjmuje się, że właściwej odpowiedzi dostarcza trzecia możliwość. Należy znaleźć pewne procesy, w wyniku których rozrosną się trzy (i tylko trzy) wymiary z wszystkich wymiarów przestrzeni, a reszta pozostanie w obrębie skali Plancka, gdzie ich istnienie jest dla nas niewykrywalne. Przyglądając się bliżej, widzimy, że bardziej prawdopodobne jest pozostanie wszystkich wymiarów w obrębie skali Plancka. Zagadką jest, w jaki sposób aż trzy z nich rozrosły się do takiej wielkości - są 10^{60} razy większe od długości Plancka. Potrzebny jest proces, który doprowadziłby do inflacji tylko tych trzech wymiarów. Obecnie nie znamy żadnego, który spełniłby ten warunek. Ów hipotetyczny proces mógłby mieć charakter losowy, wówczas wybór trzech dużych wymiarów nie byłby zaprogramowany w prawach fizyki. Może jednak istnieć głęboka przyczyna, dla której trzy i tylko trzy wymiary mogły się zwiększyć. Możliwe są inne wszechświaty inflacyjne, w których proces wzrostu objął inną liczbę wymiarów w innych miejscach, lecz są one sztuczne i jak dotąd nieprzekonujące.

Odlóżmy na bok tajemnicę selektywnego procesu inflacji, widzimy, że stoimy w obliczu wielkiej nieoznaczoności. Prawdziwe stałe Natury i formy jej praw są tak naprawdę objęte dziewięcioma, dwudziestoma pięcioma lub może jeszcze inną liczbą wymiarów przestrzeni. Skomplikowany proces fizyczny pozostawił tylko trzy z nich, aby utworzyły astronomiczny wszechświat, który nas otacza. Wielkości, które nazywamy stałymi fizyki są tylko trójwymiarowymi cieniami rzucanymi przez prawdziwe stałe, które funkcjonują w pełnej liczbie wymiarów. Co ciekawsze, jeśli owe dodatkowe wymiary istnieją i zmieniają swoje wymiary, rozszerzając się tak samo, jak nasza trójwymiarowa część Wszechświata, to powinno to się uwidocznić w zmianie wartości naszych „stałych”, następującej w takim samym tempie.

Ewentualność, że nasz Wszechświat zawiera o wiele więcej niż trzy wymiary przestrzeni, uwięzione w skali Plancka, oznacza, że nasz dostęp do całościowej

struktury Wszechświata może być jeszcze bardziej ograniczony, niż początkowo przypuszczaliśmy.

Przełamanie symetrii

Nauki ścisłe zaczynają się od założenia, że w końcu będzie można zrozumieć naturę, w każdej, nawet całkiem nowej dziedzinie, ale nie możemy czynić żadnego założenia a priori, co do znaczenia słowa „zrozumieć”.

WERNERHEISENBERG

Dopuszczając możliwość, że liczba wymiarów przestrzeni, które się rozrosły, została określona losowo, wprowadzamy nowy sposób, w jaki Wszechświat mógł uzyskać swoje własności. Niektóre z jego obecnych cech to odbicie praw fizyki i własności większości cząstek elementarnych materii. Inne są być może wynikiem historycznych przypadków, które z jakichś powodów nastąpiły. Te przypadkowe efekty mogą wpłynąć na fundamentalne aspekty Natury. Na przykład obserwowana nierównowaga między materią a antymaterią w obserwowalnych wszechświecie,

może być bezpośrednim odbiciem nierównowagi między materią a antymaterią wbudowanej w prawa Natury. Bądź też część lub całość tej nierównowagi jest wynikiem losowego procesu. Jeśli tak, to nierównowaga będzie różna, w zależności od miejsca we wszechświecie i nie da się przewidzieć w taki sposób, w jaki można by ją przewidzieć, gdyby stanowiła uniwersalną konsekwencję praw Natury.

Wspomnieliśmy, że wymiary przestrzeni oraz równowaga materii i antymaterii mogły być historycznymi przypadkami. Możliwe jest też, że wartości mierzonych przez nas stałych fizycznych są takim samym przypadkiem i w różnych miejscach wszechświata mogą być różne. Z początku wygląda to nieprawdopodobnie, gdyż za pomocą bezpośrednich pomiarów potrafimy stwierdzić, czy któreś ze stałych miały w przeszłości znacząco odmienne wartości. Siła oddziaływania elektromagnetycznego, a wraz z nią i cała struktura atomowa i cząsteczkowa, chemia i materiałoznawstwo, jest określona przez liczbę zwaną stałą struktury subtelnej. Wynosi ona $(7,29735 \pm 0,00003) \times 10^{-3}$ czyli mniej więcej 1/137. Jest to jedna ze słynnych niewyjaśnionych liczb, charakteryzujących własności wszechświata. (Założę się, że występuje w kodach bezpieczeństwa, hasłach i pinach zadziwiająco dużej liczby fizyków).

Potrafimy zmierzyć stałą struktury subtelnej z bardzo wielką dokładnością, lecz jak dotąd żadna z naszych teorii nie podaje wyjaśnienia, dlaczego ma ona taką, a nie inną wartość, jednym z celów teorii superstrun jest jej dokładne teoretyczne ustalenie. Każda teoria, która by to potrafiła, stałaby się bardzo poważną kandydatką na „Teorię Wszystkiego”.

Czy stała struktury subtelnej jest rzeczywiście stała? Doświadczenia laboratoryjne pokazują, że jeśli się zmienia, to stosunek tej zmiany do obecnej wartości stałej wynosi mniej niż $3,7 \times 10^{-14}$ rocznie.⁴⁴ Rozszerzający się wszechświat ma obecnie około 10^{10} lat, co oznacza, że w ciągu całego tego czasu stała struktury subtelnej zmieniła się mniej niż o 1/10 000 swojej wartości. Astronomia daje nawet lepsze wyniki. Obserwując kwazary, które zaczęły wysłać ku nam swoje światło, kiedy wszechświat był miliardy lat młodszy i kilka razy mniejszy niż obecnie, zauważyliśmy, że badając to światło szczegółowo, potrafimy z niego odczytać właściwości atomowe medium międzygalaktycznego, leżącego między nami a kwazarami. Wzajemne relacje są identyczne z tymi, jakie obserwujemy, patrząc na światło emitowane przez taki sam zestaw pierwiastków w naszych laboratoriach, z dokładnością błędu pomiaru.

Niektórzy z nas wykazali ostatnio, że jeśli stała struktury subtelnej zmienia się z wiekiem wszechświata, to musi to następować w tempie wolniejszym niż 5×10^{-16} rocznie, w stosunku do jej obecnej wartości.⁴⁵ Co więcej, obserwując różne kwazary w różnych miejscach nieba, udało się również ustalić, że stała struktury subtelnej jest taka sama, w miejscach odległych w przestrzeni o miliony parseków, z dokładnością do jednej milionowej swojej wartości.

Jest jeszcze inny sposób uzyskiwania informacji na temat wartości „stałych” Natury w przeszłości. Niemal dwa miliardy lat temu, tam gdzie obecnie znajduje się odkrywkowa kopalnia uranu w Oklo w afrykańskiej Republice Cabańskiej, zaistniały geologiczne warunki do wystąpienia naturalnej reakcji jądrowej.⁴⁶ Francja od dawna już wydobywała rudę uranu w swojej dawnej kolonii. Kiedy w 1972 roku wydobyto próbki zawierające 71,71 procent izotopu uranu-235, zamiast rudy o oczekiwanej zawartości 72,02 procent, to początkowo podejrzewano sabotaż, lecz dalsze badania pokazały, że zawartość izotopu zmniejszyła się w wyniku działania procesu naturalnego rozpadu promieniotwórczego. W efekcie, w nietypowych warunkach geologicznych, jakie panowały w tym miejscu, powstał krótko działający reaktor jądrowy. Pewna ilość rudy uranu znalazła się na warstwie granitu, nachylonej pod kątem 45 stopni, wewnątrz warstwy piaskowca (patrz rys. 6.12). Nachylenie warstw sprawiło, że uran skumulował się do wartości krytycznej i mogła zacząć się reakcja łańcuchowa, łagodzona przez obecność wody.

Reakcje jądrowe, które wówczas nastąpiły, pozostawiły po sobie sygnaturę w postaci produktów odpadowych, dzięki którym można było odtworzyć przebieg reakcji. Sama reakcja jest niezwykle ciekawa. Jak dziś wiemy, może ona wystąpić tylko wówczas, kiedy wartości sił naturalnych oddziaływań oraz masy jąder będą odpowiednie. Fakt, że taka zbieżność zaistniała 1,8 miliarda lat temu, kiedy zaszła ta reakcja, pozwala nam określić ówczesne granice wartości stałej struktury subtelnej. Okazuje się, że mogła różnić się od obecnej nie bardziej niż

o jedną dziesięciomilionową. W przeciwnym razie naturalny reaktor nie mógłby działać. Jeśli stała struktury subtelnej się zmienia, to musi to następować wolniej niż $6,7 \times 10^{-17}$ na rok.⁴⁷

Przykład ten jest bardzo przekonujący. Czy jednak implikuje, że stała struktury subtelnej jest rzeczywiście stała w całym Wszechświecie? Niestety nie -jeśli inflacyjny model ekspansji Wszechświata jest prawdziwy, to cały nasz obserwowalny wszechświat to zaledwie powiększony obraz maleńkiej, przyczynowo koherentnej fluktuacji. Jego wielkoskalowe własności odzwierciedlają mikroskopowe powiązania tej małej plamki. Tak więc, nawet gdyby wartość „stałej” struktury subtelnej tuż przed inflacją była w różnych miejscach Wszechświata różna, to na maleńkim

obszarze, który przeszedł inflację, byłaby taka sama. W rezultacie, każdy rozdęty bąbel będzie dziś miał tę samą wartość stałej struktury subtelnej w całej swojej przestrzeni. Poza jego horyzontem istnieją jednak inne bąble, w których wartość struktury subtelnej, jak wartość gęstości lub poziomu fluktuacji gęstości może się bardzo różnić od naszej, gdyż tam tempo

i czas trwania inflacji były inne. I znów widzimy, że całkiem realny jest Wszechświat, w którym „stałe” natury są różne w różnych miejscach, lecz w którym zaobserwowanie tego jest niemożliwe, z uwagi na ograniczenia nałożone przez fakt, że prędkość światła jest skończona, i niemożność sprawdzenia, czy możliwy jest wieczny chaotyczny proces inflacji.

Streszczenie

W jednym niepojmowalnie skomplikowanym kosmosie, kiedy tylko stworzenie miało do wyboru kilka możliwych kierunków działania, przyjmowało je wszystkie, stwarzając tym samym wiele różnych czasowych wymiarów i różnych historii kosmosu. Ponieważ zaś w każdej sekwencji ewolucyjnej było bardzo wiele stworzeń, a każde z nich stałe miało do wyboru wiele różnych kierunków i kombinacje wszystkich tych kierunków były niezliczone, z każdej czasowej sekwencji owego kosmosu wyłaniała się nieskończoność różnych wszechświatów.

OLAF STAPLETON

W niniejszym rozdziale głębiej przyjrzeliliśmy się problemom kosmologii, które od tak dawna są dla nas wyzwaniem. Mimo sukcesu, jakim była einsteinowska teoria grawitacji dla opisu naszego obserwowalnego wszechświata, wiemy że istnieje fundamentalne ograniczenie kosmologicznych dociekań. Skończona wartość prędkości światła sprawia, że Wszechświat dzieli się na części, które są od siebie niezależne przyczynowo. Możemy gromadzić wiedzę o Wszechświecie tylko z obszaru wewnątrz horyzontu, który określa dla nas prędkość światła. To nie pozwala nam odpowiedzieć na głębokie pytania dotyczące powstania globalnej struktury całego Wszechświata. Nie możemy ustalić, czy jest on skończony, czy nieskończony, czy ma jakiś początek, czy entropia rośnie tak, jak w małych systemach, czy jest otwarty, czy zamknięty. Nasze obserwacje sprowadzają się do określenia struktury obserwowalnego wszechświata. Choć kiedyś uważano, że owe ograniczenia nie są umotywowane tym, co wiemy o Wszechświecie, dziś zmieniliśmy zdanie. Teoria wszechświata inflacyjnego, we wszystkich swoich odmianach przekonuje, że powinniśmy się spodziewać Wszechświata o skomplikowanej strukturze przestrzennej i w rozwoju. Wygląda na to, że prawdopodobnie żyjemy w rozszerzającym się bąblu, pozbawieni możliwości zbadania, czy za naszym horyzontem rzeczywiście kwitnie skomplikowany, niekończący się Wszechświat. Przyszłe misje satelitarne dostarczą danych, które pozwolą ostatecznie stwierdzić, czy faktycznie mieszkamy w bąblu, który w przeszłości przeszedł inflację, lecz nie będziemy mogli zobaczyć nic, co dzie-

je się w innych bąblach, poza horyzontem. Na koniec przyjrzeliliśmy się, jak zjawisko inflacyjnego wszechświata, choć daje wyjaśnienie kilku własności obserwowalnego wszechświata, nie pozwala nam uzyskać danych na temat zdarzeń, poprzedzających inflację. Nawet początki obserwowalnego wszechświata są przed nami ukryte. Okazuje się, że połączenie wielkich teorii - teorii względności i mechaniki kwantowej - daje nam wgląd we wszechświat, który obserwujemy, niezależnie od tego, jak powstał. Cena, jaką musimy zapłacić za ten nieoczekiwany dar, jest rezygnacja z informacji o tym, w jaki sposób, jeśli w ogóle, Wszechświat zaczął swoje istnienie, oraz pożegnanie się z nadzieją na uzyskanie danych o światach spoza horyzontu. Wszechświat nie tylko jest większy niż sobie wyobrażaliśmy, jest znacznie większy niż kiedykolwiek będziemy w stanie sobie wyobrazić.

Rozdział 7

Głębokie granice

Aby móc nakreślić granicę myśli, powinniśmy poznać obie strony tej granicy [...] musielibyśmy umieć pomyśleć, czego nie można pomyśleć.

LUDWIG WITGENSTEIN

Wzorce rzeczywistości

On jest Prezesem Balliol College.

Wszelkie rozmowy o granicach nauki dla wielu osób są niepokojące, a innym dodają otuchy. Są tacy, którzy wszelką koncepcję ograniczeń wiedzy naukowej utożsamiają z pogwałceniem naszej wolności myśli i działania. Granice wyznaczone przez koszty to jedno, ale absolutne granice to oczywiście coś zupełnie innego. Pokażcie mi jedną z nich, a przeskoczę ją, podkopię się pod nią lub po prostu ją obejdę. Im bardziej jednak staramy się pojąć, czym jest nauka, i jak wiąże się z aktywnością ludzkiego umysłu, tym bardziej skłonni jesteśmy uznać ewentualność, że granice mogą być głęboko zakorzenione w naturze *rzeczy*. Mogą nawet definiować naturę *rzeczy*. Być może nie powinno nas to dziwić - nauka istnieje tylko dlatego, że niektóre rzeczy są niemożliwe.

Granice to ryzykowna rzecz. Jeśli mielibyśmy ustalić definicję „nauki” lub „wiedzy”, to natychmiast musimy określić, co uważamy za naukowo poznawalne. Ustalamy granice. Niestety może się okazać, że ów dylemat dotyczy każdego stosowanego przez nas systemu zasad i reguł. W pewnym sensie tak *rzeczywiście* jest. Jeśli ustalimy system zasad rozumowania, to z definicji nakładamy ograniczenia na to, co uznamy za prawdziwe. Nie powinno być dla nas niespodzianką, że istnieją granice tego, co można wydedukować lub wykluczyć na podstawie jakiegoś zespołu zasad. Kiedy trzymamy w ogrodzie same króliki, nie dziwny się, że w rezultacie otrzymujemy króliki i tylko króliki.

Mimo narzekań, lubimy zasady i reguły. We wszystkich kulturach pełno jest samoograniczeń. Lubimy grać w różne gry, rozwiązywać zagadki. Tworzymy muzykę, poddaną sztywnym regułom formy. Sztuka tradycyjnie zgłębia granice ograniczonych obszarów przestrzeni lub czasu, wykorzystując odpowiednie materiały. Niekiedy artysta odkrywa nowe rejony lub ostentacyjnie przełamuje stare zasady, lecz po tym następuje zwykle nowa eksploracja nieco poszerzonej dziedziny z jej własnymi, choć nieco innymi zasadami.

Mamy interesujący historyczny przykład niefortunnego sposobu wprowadzania równowagi, który jest jednak konieczny, jeśli chcemy myśleć o ogranicz-

niach myślenia. Starożytni filozofowie i teolodzy mieli poważne trudności, kiedy usiłowali mówić o takich pojęciach jak „Bóg”. Pojawiła się więc tradycja „negatywnej teologii”, stwierdzająca, że Bóg przekracza wszelkie opisy. Zdefiniowano Boga, wymieniając wszystko to, czym nie jest: niepojmowalny, bezczasowy itd. Od razu widać, że to niebezpieczny grunt, gdyż nawet powiedzenie, że Bóg jest niepojmowalny, nie podaje żadnego faktu na temat Boga. Powiedzenie, że Bóg jest nieskończony, to jakby zapewniać, że ma on nadludzkie cechy, lecz dlaczego mielibyśmy nie pojmować nieskończoności? Liczby naturalne 1, 2, 3, 4, 5... tworzą ciąg nieskończony, lecz to w niczym nie przeszkadza nam ich rozumieć. Cała dyskusja wydaje się skażona wiarą, że aby opis był prawdziwy, musi mieć cechy, które opisuje. Na przykład dobry opis nieskończoności musi sam być nieskończony. Jednakże żaden z opisów *rzeczy*, które nas otaczają, nie ma tej niezwykle sztywnej cechy. Uwaga, że jest nam ciepło, sama w sobie nie jest ciepła. Uwaga, że coś jest kwadratowe, sama kwadratem nie jest, itd. podobnie, nie ma żadnego powodu, żeby natura niepoznawalności sama w sobie była niepoznawalna.

Spółczesność *rządzą* się zasadami i regułami, a ich charakter wynika z natury i liczby owych zasad, sposobu ich wprowadzania i konsekwencji z ich pogwałcenia. Większość nas żyje w społeczeństwach, gdzie dozwolone jest wszystko, co nie jest zabronione, nie zaś w okrutnych dyktaturach, gdzie zakazane jest wszystko, czego się nie wymaga.

Wszechświat także ma ograniczenia. Wygląda na to, że istnieją wzorce zachowania, od których - jak mówi nasze doświadczenie - Wszechświat nigdy nie odstępował. Nie powinno nas to dziwić. Jeśli Wszechświat nie miałby wzorców zachowania, to istniejąca zamiast nich totalna, chaotyczna anarchia, nie zrodziłaby świadomej inteligencji, takiej jak nasza. Dopóki nie ma ograniczeń na to, co może się pojawiać we Wszechświecie, nie powstanie ani nie rozwinie się żadna zorganizowana złożoność.

Ewolucja życia poprzez powolny proces doboru naturalnego jest możliwa tylko dlatego, że w obrębie Natury istnieją reguły. Określają one rzeczywistość, do jakiej zbliża się stopniowy proces adaptacji. Czy istoty żywe są czy nie są tego świadome, stanowią ucieleśnienie teorii na temat praw Natury, wywiedzionych z tej części Natury, z którą się zetknęły. Rozmiary i siła ptasich skrzydeł odzwierciedlają siłę grawitacji, co do której ptaki nie mają wiedzy teoretycznej. Struktura naszych oczu i uszu odzwierciedla prawdę o zjawisku zwanym przez nas „światło i dźwięk”, niezależnie od teorii i przekonań, jakie o nim mamy.

W Naturze przejawiają się wzorce, a więc stosuje się ona do zasad i jest poddana ograniczeniom - są *rzeczy*, które nie mogą się zdarzyć. Wzorce naturalne pozwalają nam budować wzorce sztuczne o coraz większej złożoności. Można je uznać za konsekwencje interakcji naturalnego wzorca, który nazywamy „życiem”, z innymi wzorcami. Nasze wzorce zachowania społecznego to konsekwencje innych, luźniejszych

interakcji między dużą liczbą obiektów żywej złożoności, która jest świadoma samej siebie.

Nieuchronność istnienia wzorca w każdym poznawalnym Wszechświecie oznacza, że mogą też istnieć opisy wszystkich tych wzorców. Mogą nawet istnieć układy w zbiorach układów i wzorców itd. Aby je opisać potrzebny jest katalog wszystkich możliwych wzorców. Katalog taki nazywamy matematyką. Jej istnienie nie jest więc czymś dziwnym - jest nieuchronne. W każdym Wszechświecie, w których istnieje jakikolwiek porządek, musi też istnieć wzorzec, a więc i matematyka.¹

Niektóre z tych wzorców, które kataloguje matematyka, to widziane przez nas kształty i symetrie, jak na tkaninie lub mozaice. Inne, to związki między bardziej abstrakcyjnymi obiektami - programy odwzorowujące grupy liczb na inne grupy, instrukcje zmieniające kształt lub wzór, logiczne związki między właściwościami rzeczy lub powtarzające się układy w ciągach liczb. Rysunek 7.1 przedstawia niektóre wzory istniejące w naturze.

To pokazuje, dlaczego wszelkie dyskusje na temat Wszechświata i jego zawartości tak szybko i nieuchronnie prowadzą do matematyki - bez niej nie istnieje nauka. Nie znaczy to wcale, że cała nauka musi być naszpikowana algebrą i równaniami. Czasem wzorce kodyfikowane przez matematykę dadzą się łatwo *zawrzeć* w zwykłych słowach. Wprawdzie słowa można zastąpić symbolami i znakami równości, ale nie jest to konieczne. Tylko wówczas, kiedy wzajemne związki stają się skomplikowane, a liczba zmiennych jest wielka, wskazane jest użycie zamiast nich symboli (dokładnie tak samo, jak zwykły język często ucieka się do akronimów czy skrótów: OK?). Jeśli w Naturze istnieją wzory, to będą też istnieć wzajemne związki między jej obiektami lub wystąpią pewne konsekwencje określonych wydarzeń, a wtedy możemy wprowadzić symbole i reguły, żeby te związki przedstawić. Stopniowo, w wyniku tego procesu powstaje struktura, zwana przez nas matematyką.

Matematyka, widziana jako galeria wszystkich wzorów i układów, to coś nieskończenie większego niż nauka przyrodnicza. Ta ostatnia potrzebuje tylko kilku z całego kalejdoskopu możliwych wzorów, żeby opisać wszechświat fizyczny. Tak więc matematyka, choć oferuje opisy lub przewidywania rzeczy występujących w Naturze, nie jest nauką przyrodniczą. Nie potrafi powiedzieć nam, czy rzeczy istnieją, czy nie istnieją w fizycznej rzeczywistości. To ograniczenie widać wyraźnie po tym, jak pracują matematycy. Często zadowolają się badaniem struktur, które są nierealistyczne, w takim sensie, że nie wydaje się, by stanowiły opis czy wyjaśnienie czegoś rzeczywistego. Zastanawiające jest jednak to, jak często się okazuje, iż wzorce lub układy odkryte najpierw przez matematyków z powodów czysto estetycznych, odgrywają kluczową rolę w strukturze fizycznego świata.

To prowadzi nas do rozważenia dwóch światów: fizycznego świata materii i energii oraz świata matematycznego, używanego przez nas do kodowania wzorów, dostrzeganych w świecie fizycznym. Na rys. 7.2 przedstawiono schematycznie, w jaki sposób można powiązać świat matematyki, w którym odzwierciedlamy obserwowane wzorce, z fizycznym światem zdarzeń. W każdym z tych światów istnieje proces przyczyny i skutku oraz sposoby wzajemnego wiązania założeń i wniosków obu. Dlaczego nie mielibyśmy spróbować zakodować wydarzeń fizycznych w świecie matematyki, w którym można przeprowadzić dedukcję, a wnioski przetransponować z powrotem do świata naturalnego.

Inną ciekawą cechą matematyki jest to, że jest niewyczerpywalna. Potrafimy sobie wyobrazić, że wiemy wszystko na temat geologii czy praw fizyki, ale trudno powiedzieć to samo w odniesieniu do matematyki, uważać, że kiedykolwiek stanie się wiedzą zamkniętą. Jak zobaczymy później, nieograniczoność matematyki przybiera niezwykle i nieoczekiwany charakter.

Kiedy mówimy o poznaniu świata, mamy na myśli że potrafimy zastąpić wszystkie grupy faktów wzorami, które w jakiś sposób je ze sobą powiążą. Taki wzorzec musi stanowić część systemu, który nazywamy matematyką. W rezultacie wszystkie wewnętrzne ograniczenia, jakie ewentualnie ma matematyka, mogą ujawnić się jako ograniczenia naszej zdolności do kodowania i pojmowania wzorów i ich odgałęzień. Choć bez trudu oddzielamy świat rzeczywisty od matematycznego (jak na rys. 7.2), kiedy tylko chcemy zrozumieć porządek świata fizycznego, zostajemy zmuszeni do ustanowienia punktów styczności między nim a matematyką.

Przekonamy się, że świat matematyczny ma najrozmaitsze nieoczekiwane własności i ograniczenia. Niektóre partie matematyki wymykają się nam - ich

pełne zbadanie przekracza możliwości każdego komputera i w żaden sposób nie da się rozstrzygnąć prawdziwości lub

falszu wszystkich występujących w nich twierdzeń. Zbadamy niektóre wątki tego typu pod kątem programów badawczych nauki. Rozważania z poprzednich rozdziałów koncentrowały się na praktycznych ograniczeniach nauki, nakładanych na nią z racji miejsca i okresu historii Wszechświata, w których przyszło nam się *znaleźć*, *teraz* jednak zbadamy ograniczenia nakładane przez naturę samej wiedzy.

Paradoksy

- Czy istnieje Bóg, Lasher?
- Nie wiem, Rowan. W czasach, w których się nad tym zastanawiałem, odpowiedziałem sobie twierdząco, ale to napelniło mnie gniewem,
- Dlaczego?
- Ponieważ cierpię, i jeżeli jest Bóg, to on stworzył to cierpienie.
- Tak, rozumiem cię doskonale, Lasher. Ale jeżeli on istnieje, to stworzył też miłość.
- Tak, miłość. Miłość stanowi źródło mojego cierpienia.

ANNE RICE

Kiedy uświadamiamy sobie, że mamy do dyspozycji wszelkie możliwe systemy logiczne, musimy stąpać ostrożnie. Możemy tworzyć stwierdzenia (zdania) w języku jednego z naszych systemów, ale równie dobrze możemy tworzyć zdania o jednym języku, wykorzystując do tego inny. Na przykład „ $2 + 2 = 4$ ” jest stwierdzeniem w języku arytmetyki, ale „ $2 + 2 = 5$ jest nieprawdą”, to stwierdzenie o arytmetyce. Podobnie jest ze zwykłymi językami: możemy mówić po niemiecku o zdaniach w języku angielskim. Język zawierający wszystkie stwierdzenia o innym języku nazywa się metajęzykiem. W ostatnim przykładzie język niemiecki został użyty jako metajęzyk w stosunku do angielskiego. Każdy metajęzyk może z kolei mieć własny metajęzyk - mogę pisać po grecku o kimś, kto pisze po niemiecku o tekstach angielskich. Istnieje niekończąca się hierarchia metajęzyków. Rozróżnienie między językami i metajęzykami jest bardzo ważne, jeśli mamy określić granice wykorzystania logiki oraz ustalić, co rozumiemy pod pojęciem prawdy. Bez tego rozróżnienia logika popada w chaos i każde zdanie, jakie przyjdzie nam na myśl, jest „prawdziwe”. Przypuśćmy, że chcemy wykazać, iż Ziemia jest płaska. W tym celu wystarczy rozpatrzyć następujące zdanie:

Albo całe to zdanie jest fałszywe, albo Ziemia jest płaska.

Zdanie to jest albo prawdziwe, albo fałszywe. Jeśli jest fałszywe, to zgodnie z jego treścią, Ziemia musi być płaska. Jeśli zaś jest prawdziwe, to prawdziwa musi

być albo jego pierwszą część „całe to zdanie jest fałszywe”, albo drugą „Ziemia jest płaska”. Jako że przyjęliśmy, iż całe zdanie jest prawdziwe, pierwszą możliwość należy wykluczyć, a więc druga część musi być prawdziwa. Tak więc Ziemia jest płaska! Co więcej, można zastąpić zdanie „Ziemia jest płaska” dowolnym innym zdaniem, jakie nam się nasunie i mocą tego samego rozumowania wykazać, że jest ono prawdziwe.

Polski matematyk Alfred Jarski ostatecznie wyjaśnił tę alarmującą sytuację w 1939 roku. Zdania w jakimkolwiek języku logicznym nie można nazwać prawdziwym ani fałszywym, jeśli się nie wyjdzie poza ten język i nie użyje jego metajęzyka. Jeśli chcemy powiedzieć, że jakieś zdanie na temat świata jest prawdziwe, to musimy zrobić to wykorzystując metajęzyk. Tarski zaproponował jednoznaczny metodę określania, co rozumiemy pod stwierdzeniem, że jakieś zdanie jest „prawdziwe”. Otóż uważa on, że możemy uznać zdanie „Ziemia jest płaska” za prawdziwe wtedy i tylko wtedy, gdy Ziemia naprawdę jest płaska. Oznacza to, że zdanie w cudzysłowie na temat Ziemi jest prawdziwe wtedy i tylko wtedy, gdy można rzeczywiście zademonstrować, iż jest płaska, zastępując słowo „Ziemia” prawdziwą planetą, bez zmieniania jego znaczenia. Tak więc możemy rozważać zdanie w cudzysłowie, zastanawiać się czy jest prawdziwe, czy fałszywe oraz sprawdzać jego zgodność z danymi geograficznymi, lecz zdanie to nie ma sensu, dopóki nie wykonamy tego w metajęzyku bez cudzysłówów.

To wyraźne rozróżnienie likwiduje wszelkie starożytne paradoksy lingwistyczne w rodzaju „to zdanie jest fałszywe”.⁴ Widzimy teraz, że stanowiły one wynik zwykłego pomylenia języka z jego metajęzykiem. Taką samą skazę ma nasz przykład „Albo całe to zdanie jest fałszywe, albo Ziemia jest płaska”. Łączy ono zdania i (meta) zdania o zdaniach. Ziemia przecież nie jest płaska.

Ta wygodna konkluzja ma jedną zdumiewającą konsekwencję - nie istnieje nic takiego, jak Prawda Absolutna. Można dokonywać dedukcji w obrębie języka (dowody), które określają, co rozumiemy przez prawdę w danym systemie, lecz nie ma końca wznoszącej się nad nim hierarchii metajęzyków, a każdy ma własny, określony obszar prawdy. Tarski pokazał, że niemożliwe jest skonstruowanie formalnej definicji prawdy lub fałszu. Prawdy nie da się rygorystycznie zdefiniować w tym samym języku, w którym wypowiadamy zdanie. Można to uczynić tylko w metajęzyku.⁵

Wydaje się, że daleko odeszliśmy od świata nauki, lecz skutki naszych rozważań z pewnością są w nim odczuwalne. Odkrycie, że istnieje nieskończona liczba geometrii i logik, niesprzecznych lecz różniących się między sobą, podziało wyzwalające na fizykę. Młody Werner Heisenberg podążył za nowym myśleniem o alternatywnych geometriach i logikach, które podkopało koncepcję prawdy absolutnej. Możliwość istnienia innych podstaw aksjomatycznych dla

fizyki zachęciły go do poszukiwania kwantowomechanicznego opisu świata. Tak o tym pisał:

Słyszałem o kłopotach matematyków. Po raz pierwszy okazało się, że można mieć aksjomaty logiki, odmiennej od logiki klasycznej, a mimo to nie-sprzecznej [...] dla wielu było to nowością [...]. Nie mogę powiedzieć, że istniał jakiś dokładnie określony moment, w którym uświadomiłem sobie niezbędną niesprzeczność schematu, jednakże odmiennego niż aksjomaty fizyki Newtona. To nie stało się tak prosto. Sądzę, że stopniowo w umysłach wielu fizyków rozwijała się idea, że z trudem daje się opisać naturę, nie mając czegoś niesprzecznego i że możemy zostać zmuszeni do opisanie natury na podstawie jakiegoś systemu aksjomatycznego, całkowicie innego niż stara fizyka klasyczna, a nawet na podstawie systemu logicznego, całkowicie różniącego się od starego.⁶

Heisenberg zwrócił uwagę, jak istotna jest własność niesprzeczności. Łatwo można stworzyć zdanie matematyczne sprzeczne ($0 = 1$), lecz co ze sprzecznością fizyczną. Jak ona wygląda? Czy w ogóle jest do pomyślenia?

Niesprzeczność

Sądzę, że mistycyzm można scharakteryzować jako badanie tych propozycji, które są równoważne swoim własnym zaprzeczeniom. Z zachodniego punktu widzenia, klasa takich propozycji jest pusta. Ze wschodniego punktu widzenia klasa ta jest pusta wtedy i tylko wtedy kiedy nie jest pusta.

RAYMOND SMULLYAN

Konwencjonalna mądrość mówi, że systemy rozumowania muszą być niesprzeczne. Czyli że żadne zdanie nie może być jednocześnie prawdziwe i fałszywe. W przeciwnym wypadku cały system rozpada się, gdyż nie ma w nim ograniczeń na to, co może być prawdziwe albo fałszywe - można udowodnić prawdziwość (a także fałszywość!) każdego zdania. Kiedy Bertrand Russell wypowiedział ten warunek na jednym z publicznych wykładów, jakiś sceptyczny złośliwiec poprosił, by udowodnił, że jeśli 2 razy 2 jest 5, to osoba pytająca jest Papieżem. Russell odparł: „Jeśli 2 razy 2 jest 5, to 4 jest 5; odejmujemy stronami 3 i wówczas $1 = 2$. A że pan i Papież to 2, więc pan i Papież jesteście jednym.”!

Sytuacja ta pokazuje, jak dalece nasze umysły różnią się sposobem rozumowania od komputerów (w przeciwieństwie do podobieństw operacji na poziomie neurologicznym). Każdy z nas ma najrozmaitsze wzajemnie wykluczające

się poglądy, które, gdybyśmy byli maszynami liczącymi, doprowadziłyby nas do sprzeczności. Mimo to my nie uważamy, że każde zdanie jest prawdziwe.

Przekonaliśmy się, że przeprowadzona przez Jarskiego analiza hierarchii zdań i metazdań likwiduje pewien zbiór oczywistych sprzeczności, które groziły załamaniem się całego gmachu logiki. Interesujące będzie pytanie, jak wyglądałaby fizyczna analogia tego rodzaju przeciwstawności i czy Natura może być w jakimś sensie sprzeczna, czy też da się ją opisać (w całości lub częściowo) systemem matematycznym zawierającym sprzeczność.

Niesprzeczność Natury musi *oznaczać*, że w pewnym sensie nie ma w niej prawdziwych paradoksów (lub, mówiąc mniej stanowczo, że żadnych nie obserwujemy). Nasze sposoby podejścia do tego założenia mają długą i niezwykłą historię. Znajdujemy wiele przykładów istniejących razem przeciwstawnych koncepcji, dopasowanych dzięki dodaniu jakiejś cechy komplementarności. Wielką grę tego typu prowadziło wiele religii („Jam jest Alfa i Omega”) jako sposób potwierdzenia i wzmocnienia transcendentnej natury Bóstwa.⁸ To stawia wiele aspektów istnienia i natury Bóstwa poza zasięgiem ludzkiego rozumowania i sceptycyzmu. Jednakże faktem jest również, że wielkie wiary monoteistyczne dostarczyły pewnych podstaw racjonalności Natury. Widziały one świat jako wytwór umysłu racjonalnego Stwórcy, oczekiwano więc jego niesprzeczności. Choć ewentualność chaosu i nieracjonalności, czy to w przeszłości, przed aktem twórczym Bóstwa, czy też w jakimś momencie w przyszłości, to już całkiem inna sprawa. Inną komplikacją, mącą ten obraz, to cuda, które wspomniane systemy religijne zwykle sankcjonują. Nie muszą to być zdarzenia sprzeczne z normalną kolejną rzeczy - choć oczywiście mogą.

Niektóre z najdawniejszych zmagañ z podobnymi problemami logicznymi, sięgającymi jądra naszej kontemplacji racjonalności Wszechświata, wyrosły na gruncie średniowiecznej teologii chrześcijańskiej. Dotyczą one drażliwego problemu, czy Bóg może zmieniać przeszłość. Jeśli tak, to moralny i racjonalny porządek rzeczy zostaje postawiony na głowie. Jeśli nie, to jak się to ma do wszechmocy Boga? Najbardziej znanym rzecznikiem poglądu, że przeszłość może podlegać zmianom, był włoski święty z jedenastego wieku, Damian. Utrzymał on, że moc Boga nie jest ograniczona przez czas i że „Bóg może sprawić, że Rzym, nawet po swoim założeniu, nie zostanie założony”.

Przeciw temu radykalnemu pogładowi występował głównie Tomasz z Akwi-ny, dwieście lat później. Jego koncepcja Boga wymagała, żeby nie było sprzeczności i że Bóg powinien być ograniczony swoimi własnymi prawami. Jak wykazaliśmy w Rozdziale 1, doprowadziło to do stwierdzenia, że Bóg może zrobić wszystko, co może zostać zrobione (a nie wszystko, co sobie wyobrazimy). Inni komentatorzy jeszcze bardziej ograniczyli działania Boga w zbiorze działań, które są możliwe, tylko do tych, które są działaniami właściwymi. Taką postawę

przyjął Milton w swoim, *Raju utraconym*. Działania właściwe nie tylko muszą być dobre pod względem moralnym, lecz muszą być również logicznie niesprzeczne i racjonalne.

Dyskusje te dały początek trwającym po dziś dzień debatom na temat teologii zmiany przeszłości lub modlitw, by takie zmiany nastąpiły. Czy można modlić się o zmianę przeszłości? Kilku chrześcijańskich teologów popiera tę ideę, jeśli przeszłość, która ma ulec zmianie, jest znana osobie proszącej. A co, jeśli nastąpiło wydarzenie, którego skutki dla nas nie są jeszcze znane? Albo jeśli chodzi nam o wynik jakiegoś wydarzenia, na przykład egzaminu, który już został przesądzony, ale jeszcze nie ogłoszony? W swojej księdze cudów,¹⁰ C. S. Lewis, wpływowy, popularny pisarz zajmujący się kwestiami teologicznymi, wystąpił z koncepcją, że racjonalne są modlitwy o wynik wydarzeń, który został już przesądzony, gdyż z perspektywy Boga nasze przyszłe wstawiennictwo może być składową globalnych zdarzeń, które mogą wpłynąć na wynik wydarzeń, o który prosimy. Lewis przyjmował taki obraz czasoprzestrzeni, nazywany przez fizyków „block universe”, w którym cała czasoprzestrzeń istnieje jako byt dokonany¹¹. Wyobrażał sobie, że Bóg patrzy z zewnątrz na całą przestrzeń i cały czas, więc modlitwy były znane Bogu, zanim jeszcze się narodziły. To pozwala na istnienie wolnej woli razem z doktryną o boskiej wszechwiedzy. Uprzedzająca wszystko wiedza Boga nie uprzedza z góry naszych działań. To raczej nasze działania determinują wiedzę Boga. Wprowadzamy te interesujące zagadnienia teologiczne, żeby pokazać, iż pytanie o zmianę przeszłości i wyciąganie wniosków z wynikającej stąd koherencji wszechświata nie są pytaniami wyłącznie z dziedziny fizyki.

Zaproponowaliśmy pogląd, że Natura może zawierać sprzeczności. Co rozumiemy jako sprzeczność w Naturze? Jak ją rozpoznamy, kiedy się na nią natkniemy? Początkowo wydaje się, że takie rzeczy są niewyobrażalne, dopóki nie popełnimy jakiegoś poważnego błędu w sformułowaniu praw Natury. Lecz sprawy mogą nie przedstawiać się tak prosto.

Podróż w czasie - czy Wszechświat jest bezpieczny dla historyków?

Fizycy mogą odkryć sekret podróży w czasie, lecz o ich wykorzystaniu w charakterze broni zadecydują historycy.

PAULNAHIN

Teoria grawitacji Einsteina - tak zwana ogólna teoria względności - to najdokładniejsza teoria naukowa, jaką w ogóle mamy. Przewiduje ona zmiany obserwowane w odległych pulsarach z dokładnością do $1/10^{14}$. Jak dotąd nie dokonano

w całej przyrodzie żadnej obserwacji sprzecznej z przewidywaniami tej teorii. Jednakże, wraz z udanymi predykcjami na temat takich obiektów i zjawisk występujących we Wszechświecie jak czarne dziury, gwiazdy neutronowe, soczewki grawitacyjne i zakłócenia w ruchu Merkurego, kryją się w niej inne, bardzo zaskakujące rzeczy. Amerykański fizyk Michio Kaku pisze, że

Równania Einsteina w pewnym sensie przypominają konia trojańskiego. Z wierzchu koń ten wygląda niewinnie, jak zwykły prezent, dając nam wyjaśnienie uginania się światła gwiazd pod wpływem grawitacji i wymuszając wytłumaczenie początków wszechświata. Jednakże wewnątrz czają się najrozmaitsze dziwne demony i gobliny, pozwalające na międzygwiazdne wędrówki tunelami czasoprzestrzennymi oraz podróże w czasie. Cena, jaką musimy zapłacić za to, że zajrzeliśmy w najciemniejsze sekrety wszechświata, jest potencjalny upadek naszych najsilniej ugruntowanych wierzeń o wszechświecie - że jego przestrzeń jest prosto połączona, a jej historii nie da się zmienić.

W 1949 roku logik Kurt Godeł,¹⁴ o którym wiele jeszcze usłyszymy na następnych stronach, odkrył, że teoria Einsteina pozwala na odbywanie podróży w czasie. Nie wiadomo jeszcze, czy można je odbywać w naszym konkretnym wszechświecie,¹⁵ ale wielki matematyk i fizyk Hermann Weyl pisał o tej możliwości już w 1921 roku, w swoim słynnym tekście *Space, Time and Matter*.¹⁶ Oto ta niezwykła przepowiednia o blisko trzydzieści lat wcześniejsza niż odkrycie Godła:

Możliwe jest doświadczanie dziś tych wydarzeń, które częściowo będą efektem moich przyszłych rozwiązań i działań. Co więcej, dla linii świata (w szczególności dla linii świata mojego ciała), choć ma ona kierunek cza-sopodobny w każdym punkcie, całkiem możliwy jest powrót do sąsiedztwa punktu, przez który już kiedyś przechodziła. Rezultatem będzie obraz spektralny świata bardziej przerażający niż wszystko, co zrodziła niesamowita fantazja E. T. A. Hoffmanna [dziewiętnastowieczny autor literatury fantastycznej]. W rzeczywistości naprawdę znaczące fluktuacje [metrycznego tensora czasoprzestrzeni], niezbędne żeby wytworzyć ów efekt, nie występują w tym regionie świata, w którym my żyjemy. Choć pojawiają się paradoksy tego typu, nigdzie nie znajdziemy żadnego rzeczywistego zaprzeczenia faktom prezentowanym nam bezpośrednio w doświadczeniu.

Warto zauważyć, że Weyl był członkiem Institute of Advanced Study w Princeton w okresie, kiedy przebywali tam Einstein i Godeł. Z całą pewnością często

rozmawiali ze sobą o nierozwiązanych problemach naukowych (Einstein i Godeł rozmawiali ze sobą niemal codziennie). Czyżby Weyl wywarł w jakiś sposób wpływ na rozważania Godła o podróżach w czasie?

Jeśli podróż w czasie jest możliwa, to najwyraźniej stoimy w obliczu sprzeczności Natury. Wygląda to tak, jakbyśmy umieli stwarzać faktyczną sprzeczność, tak zmieniając przeszłość, że nie będzie z niej mogła wynikać teraźniejszość. Możemy uśmiercić swoich przodków, tym samym uniemożliwiając sobie własne narodziny. Nasze obecne istnienie zawierałoby więc logiczną sprzeczność. Możemy także stwarzać informację z niczego. Mógłbym nauczyć się twierdzenia Pitagorasa z dzisiejszego podręcznika matematyki, po czym przenieść się w czasie, spotkać Pitagorasa jako młodzieńca, żeby przekazać mu ideę jego własnego twierdzenia, zanim jeszcze o nim pomyślał. Skąd w takim przypadku wzięła się informacja o tym twierdzeniu? Ja nauczyłem się go ze spuścizny po Pitagorasie, ale Pitagoras nauczył się jego ode mnie! Nagle znaleźliśmy się w świecie nieskończonych możliwości. Podróże w czasie to UFO człowieka myślącego. Zastanówmy się nad przedstawioną niżej króciutką opowieścią Dennisa Pipera, noszącą tytuł *The Oscillating Universe*.

Pewnego dnia Profesor wezwał mnie do swojego laboratorium.

W końcu rozwiązałem to równanie - powiedział. - Czas jest polem. Zbudowałem urządzenie odwracające to pole. Patrz! Naciskam ten guzik i czas będzie się biegł w tył się będzie czas i guzik ten naciskam. Patrz! Pole pole to odwracające urządzenie zbudowałem. Polem jest czas - powiedział. -Równanie to rozwiązałem końcu w. Laboratorium swojego do mnie wezwał Profesor dnia pewnego.

- Na Boga, niech pan wciśnie z powrotem guzik! - wrzasnąłem. Klik! Wrzasnąłem - Guzik powrotem z wciśnie pan niech, Boga na. Pewnego dnia Profesor wezwał mnie do swojego laboratorium...

Paradoksy logiczne w rodzaju „a co będzie, jak zabiję swojego dziadka?” stanowią grupę, którą filozofowie interesujący się podróżami w czasie nazywają właśnie „paradoksami dziadka”. Wszelkie podróże w przeszłość są nimi najeżone, stanowią też ważny składnik powieści science fiction na temat przemieszczania się w czasie, od czasów ukazania się klasycznej już pozycji *The Time Machine* H. G. Wellsa z 1895 roku, która pojawiła się w odcinkach w *New Review*. Bardziej współcześnie „paradoks dziadka” stał się głównym motywem filmu *Terminator* z 1984 roku (a także jego wersji 2, 3..., N -><>), w którym przenoszący się w czasie robot z roku 2029 pojawia się w dzisiejszym Los Angeles (a gdzieżby indziej?), aby zamordować kobietę, mającą urodzić syna, który w przyszłości narobi sobie wrogów. Już w rok później inny film *Powrót do przyszłości*, omawiał

ten sam problem, choć z większą dozą komizmu. Bohater, Marty McFly, przenosi się w przeszłość do roku 1955, kiedy jego rodzice chodzili do szkoły i przypadkiem prawie nie dopuszcza do ich małżeństwa. Przeżył też szokujące doświadczenie, patrząc jak jego podobizna znika z rodzinnej fotografii, którą nosił w portfelu. W Wielkiej Brytanii długim, kultowym serialem telewizyjnym był *Doctor Who*. „Doktor”, wraz z grupą swoich młodych towarzyszy, przenosił się w czasie w przerobionej policyjnej budce telefonicznej o staroświeckim kształcie. Niestety zniknął już z ekranów.

Są najróżniejsze wnioski i opinie na temat ewentualnych konsekwencji podróży w czasie. Niektórzy uważają

paradoks dziadka za oczywisty dowód, że podróże w czasie są zakazane w naszym Wszechświecie (słabsza wersja tego zakazu dopuszcza podróże w czasie, jeśli nie wprowadzają one żadnych zmian w przeszłości). Na przykład znany autor science fiction Larry Niven w 1971 roku napisał artykuł, zatytułowany *The theory and practice of time travel*, w którym ogłosił „prawo Nivena” dotyczące podróży w czasie: „Jeśli jakiś Wszechświat dopuszcza podróże w czasie i zmianę przeszłości, to w takim Wszechświecie nie zostanie wynaleziony wehikuł czasu”. Niven jest pewien, że podróż w czasie jest równoważna z wprowadzeniem do Wszechświata niedopuszczalnej sprzeczności, musi więc być zabroniona przez jakąś zasadę niesprzeczności, tkwiącą głęboko w prawach Natury. Jako że nie znaleziono żadnej takiej wykluczającej zasady, musimy ją wprowadzić odgórnie.

Nie tylko pisarze science fiction mają takie obawy. W 1992 roku fizyk Stephen Hawking nadał owej ogólnej koncepcji „żadnych podróży w czasie” nazwę „domniemanie o ochronie chronologii” (*Chronology Protection Conjecture*).¹⁸ Hawking uważa, że podróże w przeszłość nie mogą być możliwe, gdyż „nie przeżywamy najzdużej hord turystów z przyszłości”, przybywających do nas, żeby przyglądać się wielkim momentom historii lub je zmieniać. Równie dobrze możemy jednak spytać, skąd wiadomo, gdzie ich szukać lub w jaki sposób stwierdzimy, że „normalny” bieg historii został przerwany przez podróżników w czasie: Czy na przykład John F. Kennedy rozpocząłby w 1964 roku III wojnę światową, gdyby nie to, że rok wcześniej zginął z rąk zamachowców?

Domniemanie o ochronie chronologii mówi, że prawa fizyki zapobiegają stworzeniu wehikułu czasu, z wyjątkiem początkowego momentu początkowego, kiedy to nie było przeszłości, w którą można by się przenieść. Jej celem jest zachęcenie fizyków do badania równań Einsteina oraz tych, które opisują nową teorię wszystkiego czyli teorię superstrun, i znalezienia warunków, w których domniemanie to jest prawdziwe.

Problem „turystów z przyszłości” ma długą historię. Wśród autorów science fiction znany jest jako „paradoks kumulującej się audiencji” - nazwę tę wprowadził w 1969 roku Robert Silverberg. Chodzi o to, że kiedy podróżnicy w czasie

tłumnie ruszą w przeszłość, w znaczących chwilach historii będzie się gromadzić coraz więcej ludzi. Silverberg uważa, że takie wydarzenia jak Ukrzyżowanie, będą przyciągać miliardy podróżników, choć „nie było takich hord” w chwili, kiedy to miało miejsce. Ogólnie mówiąc, może się okazać, że nasza przeszłość i teraźniejszość stopniowo wypełnią się tłumami podróżników z przyszłości: „Zbliża się czas kiedy podróżnicy w czasie zapełnią przeszłość do granic możliwości. Wypełnimy sobą nasze wczoraj i stłamsimy naszych przodków”.¹⁹ Goście ci byłiby w efekcie bogami - mieliby kontrolę nad czasem i dostęp do wszelkiej wiedzy. Także poziom wiedzy technicznej, dzięki którym takie podróże byłyby możliwe, kryje w sobie głęboki problem, jaki stworzyłoby wykorzystanie tej wiedzy, mądrość gwarantuje jednak, że nie zostanie ona wykorzystana. Podróż w czasie stwarza możliwość zniszczenia spójności Wszechświata, tak jak wiedza z zakresu fizyki jądrowej daje nam środki umożliwiające zniszczenie Ziemi. W swojej opowieści science fiction pt: *Millennium* (1983) John Varley przestrzega, że

Podróże w czasie są tak niebezpiecznie, iż bomby wodorowe wydają się przy nich absolutnie bezpieczną dziecinną zabawką. Cóż bowiem może spowodować broń jądrowa? Umrze kilka milionów ludzi: drobnostka. Podróże w czasie mogą zniszczyć cały Wszechświat [...].

Na szczęście, choć wiemy, że podróże w czasie są możliwe, nie musimy tej wiedzy wykorzystywać. Dojrzałość, czy to u młodych ludzi, czy też narodów lub całych cywilizacji, w znacznym stopniu wiąże się ze wzrostem samoopanowania - to znaczy z coraz dobitniejszym uświadomieniem sobie, że nie wszystko, co można lub co chce się zrobić, powinno być zrobione.

Argumenty w rodzaju „gdzie oni są?” w odniesieniu do podróży w czasie to reminiscencja słynnego pytania „gdzie oni są?” Enrico Fermiego, będącego reakcją na zapewnienia o istnieniu rozwiniętych „obcych”.²¹ Niektóre z przyczyn, nieobecności rozwiniętych cywilizacji pozaziemskich są następujące:

- 1) Nie istnieją jeszcze takie, które mogłyby wysyłać sygnały. Jesteśmy bowiem najbardziej rozwiniętą formą życia w zakresie komunikacji.
- 2) Cywilizacje techniczne nie mogą przetrwać na tyle długo, by stać się superrozwinętymi. Same siebie rozbijają w puch, zostają zmiecione przez zderzenia z planetoidami lub mają inne problemy na skalę planetarną - choroby, wyczerpanie zasobów surowcowych czy też nieodwracalną degradację środowiska wskutek skażeń.
- 3) Istnieje mnóstwo cywilizacji i nasza jest zaledwie średniakiem wśród milionów innych. Dlatego najbardziej rozwinięte z nich nie mają żadnego

- powodu, by szczególnie interesować się właśnie nami. Jesteśmy jak jeszcze jeden gatunek pospolitych owadów.
- 4) Rozwinięte cywilizacje pozaziemskie mają sztywny kodeks niewtrącania się w historię tych bardziej prymitywnych. Jesteśmy czymś w rodzaju rezerwy w kosmicznej grze. Stanowimy przedmiot badania, ale w niena trętny sposób.
 - 5) Rozwinięte cywilizacje pozaziemskie istnieją, ale komunikują się tylko z techniką przewyższającą nas poziomem. Wymagają bowiem pewnego poziomu naukowej dojrzałości, zanim zdecydują się włączyć jakąś cywilizację do „klubu”.

Każdą z wymienionych przyczyn można odnieść do problemu, dlaczego nie ma podróżników z przyszłości. Jednak w przypadku podróży w czasie istnieje możliwość fundamentalnego samozakazu, nałożonego przez superrozwinięte cywilizacje pozaziemskie, gdyż pełniej rozumieją one, że jeśli zaczną się podróżować w czasie, będzie to miało opłakane skutki dla spójności całej czasoprzestrzeni. Pod tym względem nie ma analogii do komunikacji z rozwiniętymi cywilizacjami.

Najnowszą wersję pytania „gdzie oni są?” z całą pewnością stanowi podejście ekonomisty M. R. Reinganuma, który napisał artykuł pod tytułem *Is t/me tra-vel poss/b/e?: a financial proof*.²² Jego zdaniem fakt, że obecnie mamy dodatnie stopy procentowe dowodzi, iż podróżnicy w czasie nie istnieją. (Twierdzi także, iż jest to powód, dla którego nie mogą istnieć, co wcale nie wypływa z poprzedniego stwierdzenia). Rozumowanie jest proste - podróżnicy z przyszłości mogliby wykorzystywać swoją technikę do uzyskiwania tak wielkich dochodów ze wszystkich inwestycji i przyszłych rynków, że stopy procentowe spadłyby do zera. Ów argument przypomina mi jedno z uzasadnień, że nie ma czegoś takiego, jak jasnowidzenie - moce metapsychiczne dałyby przecież takiej osobie umiejętność ciągnięcia zysków z dowolnego hazardu. Po co zajmować się gięciem łyżeczek i męczyć zgadywaniem kart, kiedy co tydzień można wygrywać milion w totka? Gdyby ludzie mieli taką moc, mogliby czerpać z niej takie korzyści, że mogliby dominować na najróżniejsze sposoby, a zdolności te powinny jakoś się rozwinąć u pewnej odnoszącej sukcesy grupy.

Innym lekarstwem na paradoksy podróży w czasie jest wprowadzenie nieco innej zasady, mniej bezlitosnej od wykluczającej wszelkie podróże propozycji Nivena czy Hawkinga - takiej, która po prostu postuluje niezmiennosc przeszłości, aby zagwarantować naszą odporność na paradoksy i sprzeczności. Przypuszczalnie nasze pole działania jest znacznie ograniczone przez wymaganie nie-sprzeczności, gdyż nie można zmienić przeszłości, bez zmiany teraźniejszości. Bądź też zasada zachowania rzeczywistości jest tak potężna, że nie ma mowy o żadnym kombinowaniu z przeszłością, zwłaszcza o podróżowaniu do niej.

Mogą też oczywiście istnieć bardziej przyziemne ograniczenia, które po prostu sprawiają, że podróże w czasie są nieekonomiczne. Być może turystyka z przyszłości wymaga tak olbrzymiego nakładu energii, że cały ten pomysł jest beznadziejnie niepraktyczny, nawet jeśli dałoby się go przeprowadzić. Sam Godeł oferuje w swoim artykule tylko taką przyziemną praktyczną ochronę przeciwko paradoksom podróży w czasie. Zauważywszy, że w jego nowoodkrytym modelu wszechświata

możliwe jest w tych światach podróżowanie do dowolnych zakątków przeszłości, przyszłości i znowu przeszłości, dokładnie tak samo, jak w innych światach możliwe jest podróżowanie do odległych miejsc w przestrzeni. Taki stan rzeczy wydaje się implikować absurd, gdyż umożliwia komuś podróżowanie w niedaleką przeszłość w te miejsca, w których mieszkał. Tam zaś mógłby spotkać osobę, która była nim w jakimś wcześniejszym okresie życia. Po czym mógłby zrobić tej osobie coś takiego, o czym wie, że się jej nie przydarzyło [...]. Jednakże sprzeczność ta, jak i jej podobne, przyjmują z góry wykonalność podróży we własną przeszłość, aby udowodnić niemożliwość istnienia takich światów. Jednakże prędkości niezbędne, żeby ukończyć podróż w rozsądnym czasie, znacznie przewyższają wszelkie nasze praktyczne możliwości [musiałby przekraczać 71 procent prędkości światła]. Dlatego, na gruncie przytoczonych argumentów nie można a priori wykluczyć, że struktura czasoprzestrzenna rzeczywistego świata jest właśnie takiego typu, jak opisano.²³

Nie każdego jednak przekonują owe argumenty o niewykonalności podróży w czasie. We wszystkich koncepcjach czasu jest coś nie do końca spójnego. Przeszłość była, jaka była. Nie można jej zmienić i oczekiwać, że doświadczana dziś teraźniejszość będzie nadal istnieć. Być może byliśmy tam i mieliśmy na nią wpływ; ale jak mogłyby istnieć dwie przeszłości - jedna ta, która była, i druga, która będzie, kiedy ją zmienimy - w jakiś sposób ze sobą sprzeczne? Jeśli przenieśliśmy się w przeszłość, żeby zapobiec swoim narodzinom, to nie byłoby nas tutaj teraz, żeby w tym celu cofnąć się w czasie.

Amerykański filozof David Malament analizuje ów powszechny pogląd, że z uwagi na paradoks dziadka

podróż w czasie [...] jest zwykłym absurdem i prowadzi do logicznej sprzeczności. Wiadomo, jak przebiega to rozumowanie. Gdyby podróż w czasie była możliwa, to ktoś mógłby się cofnąć w przeszłość, żeby ją zmienić. Chodzi o uzyskanie warunku P i nie-P w tym samym punkcie czasoprzestrzeni. Na przykład mógłbym przenieść się do przeszłości i zabić siebie samego w wieku niemowlęcym, co uniemożliwiłoby temu wcześniejszemu mnie

stanie się dzisiejszym mną. Chcę powiedzieć, że tego typu argumenty nigdy nie wydawały mi się przekonujące [...]. Problem z nimi polega na tym, że nie określają dokładnie, tego co trzeba. Po prostu, gdybym mógł cofnąć się w czasie i zabić samego siebie jako niemowlę, to pojawiłaby się jakaś sprzeczność. Ale jedyną konkluzją, jaką można stąd wysnuć to ta, że gdybym cofnął się w czasie i próbował zabić siebie samego, to - z jakiegoś powodu - nie udałoby mi się tego zrobić. W ostatniej chwili coś by się zdarzyło. Zwykłe rozumowanie nie mówi, że podróż w czasie jest niemożliwa, lecz tylko tyle, że gdyby była możliwa, to pewnych działań nie można by było wykonać.²⁴

Argument ten jest ciekawy, lecz nie do końca przekonujący. Możliwość odbywania podróży w czasie jest dopuszczona przez prawa rządzące grawitacją. Byłoby więc bardzo dziwne, gdyby ochrona przed wewnętrzną sprzecznością musiała wynikać z czegoś, co z tymi prawami nie ma nic wspólnego - jak wydarzenia historyczne - i co nie dopuściłoby do zaistnienia zwyczajnych sytuacji, gdyż ich efekty prowadziłyby w przyszłości do paradoksów. Przypuszczalnie owe dopuszczone przez zbiór praw podróże w czasie trwałyby tak długo, że nie starczyłoby na nie wieku Wszechświata i dlatego nie występują w praktyce. To, czego brak argumentom przeciwko podróżom w czasie dobrze pokazuje sytuacja z lat siedemdziesiątych XX wieku, jaka zaistniała podczas badania czarnych dziur. Roger Penrose postawił hipotezę, że miejsca, w których prawa fizyki się załamują - osobliwości w czasoprzestrzeni - mogą istnieć tylko wewnątrz czarnych dziur, w których są osłonięte przed światem zewnętrzną powierzchnią graniczną horyzontu zdarzeń. Jako że nic nie może wydostać się przez ten horyzont do świata zewnętrznego, jesteśmy chronieni przed nieprzewidywalnymi produktami osobliwości we wnętrzu czarnej dziury. Koncepcję tę, nazwaną hipotezą kosmicznej cenzury, omawialiśmy w poprzednim rozdziale. Jej protekcyjny cel ograniczenia nieracjonalności jest bardzo podobny do zasady domniemania o ochronie chronologii. Oczywiście podstawową sprawą jest to, czy owa osobliwość w ogóle powstaje tam (nawet we wnętrzu czarnej dziury), gdzie działają wszystkie prawa fizyki (zwłaszcza prawa kwantowej grawitacji). Jednakże, ignorując teorię kwantów, wyzwaniem jest dla nas sprawa decyzji, czy we Wszechświecie może powstać naga osobliwość (taka, której nie osłania horyzont). W tej kwestii, w przeciwieństwie do hipotez na temat ochrony przed skutkami podróży w czasie ustalono, że grawitacja skrycie nie dopuszcza do powstawania nagich osobliwości. Wiadomo było, że jeśli udałoby się wprawić czarną dziurę w rotację z prędkością przekraczającą pewną prędkość krytyczną, to jej horyzont skurczyłby się do zera i obserwatorzy z zewnątrz, tacy jak my, zobaczyliby centralną osobliwość i zostali wystawieni na jej wpływ. Przypuśćmy więc, że mamy czarną dziurę obracającą się bardzo szybko, lecz

niewiele wolniej niż trzeba, żeby zobaczyć osobliwość. Wrzucamy do niej jakieś ciało, obracające się w tym samym kierunku, a jego masa nieco zwiększa masę całej czarnej dziury, która zwiększa prędkość obrotu ponad wartość krytyczną.

Jednakże, kiedy dokładnie przeanalizowano ten prosty eksperyment myślowy, wyniki były zaskakujące. W einsteinowskiej teorii grawitacji istnieją równania siły grawitacyjnej, których nie ma w teorii Newtona. Jedną z tych sił jest siła odpychająca, działająca między dwoma ciałami obracającymi się w tym samym kierunku. Okazało się więc, że jeśli ciało spadające na czarną dziurę obracało się w taki sposób, że jego przechwycenie zwiększyłoby prędkość rotacji czarnej dziury ponad wartość krytyczną, odpychająca siła grawitacji była wystarczająca, żeby nie dopuścić do spadku tego ciała na czarną dziurę. Jest to niezwykle przykładowe działanie kosmicznej cenzury. W przypadku podróży w czasie, w obrębie teorii, na mocy której podróże te są możliwe, nie ma śladów żadnego fizycznego mechanizmu, w podobny sposób chroniącego chronologię i determinizm historyczny.

Innym znanym filozofem, płynącym pod prąd i przekonującym o racjonalności podróży w czasie, pomimo paradoksu dziadka, jest David Lewis. W 1976 roku pisał:

Uważam, że podróż w czasie jest możliwa. Paradoksy podróży w czasie to osobliwości, nie niemożliwości. Dowodzą jedynie tego, w co i tak niewiele wątpi, że ewentualny świat, w którym odbywają się podróże w czasie, byłby najdziwniejszy, w fundamentalny sposób różny od świata, który uważamy za swój.²⁵

Jeśli bliżej przyjrzymy się logice paradoksów dziadka, zobaczymy, że jest pewien dokuczliwy problem z ich spójnością, niepokojący Malamenta i Lewisa. Podróż w czasie nie może wiązać się ze zmianą przeszłości w sposób, który pociągałby za sobą istnienie dwóch przeszłości - jednej bez naszej interwencji i drugiej, po niej. Jeśli cofnęlibyśmy się w czasie, żeby wpłynąć na jakieś wydarzenie historyczne, to byłoby ono częścią owego wydarzenia w chwili jego wystąpienia. Ówczesne zapiski historyczne wspomniałyby o naszej obecności (gdybyśmy byli zauważalni). Podróżujący w czasie nie zmieniają przeszłości, gdyż nie mogą w roku 1066 dokonać niczego, co nie wydarzyło się naprawdę w tymże 1066 roku. Ktoś może być obecny przy dowolnym wydarzeniu z przeszłości i mieć swój udział w tym wydarzeniu, ale z tego wcale nie wynika, że może zmienić przeszłość. Jeśli zmiana następuje, możemy zapytać o jej datę. Podobnie argumentuje filozof Larry Dwyer

Podróż w czasie, choć wprowadza wsteczną przyczynę, nie pociąga za sobą zmiany przeszłości. Osoba przemieszczająca się w czasie nie poprawia, nie zmienia tego, co zostało dokonane lub tego, czego nie dokonano, gdyż jej

wizyta w dawniejszych czasach nie zmienia wartości prawdy żadnej propozycji dotyczącej ówczesnych wydarzeń [...]. Według mnie trzeba wprowadzić jasne rozróżnienie między przypadkiem, kiedy przyjmuje się, że osoba zmienia przeszłość, co tak naprawdę pociąga za sobą sprzeczność, a drugim, kiedy przyjmuje się, że osoba wpływa na przeszłość poprzez swoją rzeczywistą w niej obecność.²⁶

Następnym kłopotem z analizą podróży w czasie jest wyłączenie wszelkich odniesień do mechaniki kwantowej. Nasze doświadczenie z teorią kwantów uczy, że jest ona o wiele mniej restrykcyjna co do zachodzących w świecie wydarzeń niż fizyka niekwantowa. Zamiast mówić nam, że dana przyczyna ma określony efekt, podaje tylko tyle, że istnieje cały zestaw różnych możliwych skutków danej przyczyny, z przypisanymi do nich różnymi prawdopodobieństwami. W niektórych przypadkach, jak wówczas, kiedy na przykład upuszczamy szklanę na podłogę, prawdopodobieństwo jest zdominowane przez jeden rodzaj wyniku - zgodny z oczekiwaniami teorii Newtona. Jednakże w świecie cząstek elementarnych te prawdopodobieństwa mogą być bardziej równomiernie rozłożone między różnymi możliwościami i obserwujemy najróżniejsze skutki identycznych przyczyn.

Mechanika kwantowa wyklucza bardzo niewiele. Niemal wszystko może się zdarzyć z pewnym prawdopodobieństwem, lecz prawdopodobieństwa wystąpienia zjawisk, które nazwalibyśmy cudami (jak lewitacja) są tak małe, że możemy być pewni iż nie ujrzymy ich w swoim otoczeniu w ciągu całej historii rasy ludzkiej. Z kwantowymi problemami podróży w czasie zmagają się David Deutsch i uznał, że powinniśmy bardzo poważnie brać prawdopodobieństwo ich wystąpienia, jeśli chcemy uzyskać prawidłowe sformułowanie kwantowej teorii grawitacji.²⁷ Obliczając prawdopodobieństwa wystąpienia określonych zmian we Wszechświecie, możemy albo uwzględnić, albo zignorować drogę podróży w czasie. Chcielibyśmy znaleźć eksperymentalną sytuację, w której względne częstości różnych skutków różniły się między sobą, gdy uwzględniamy drogę podróży. To dałoby możliwość eksperymentalnego sprawdzenia, czy te drogi są obecnie w rzeczywistości, czy nie. Deutsch podaje możliwe kwantowe rozwiązanie paradoksów dziadka, pokazujące, że „kwantowy wszechświat”, do którego powraca osoba podróżująca w czasie, nie jest już taki sam (w sensie everettowskich „wielu światów”). Deutschowi nie podoba się sprawa uzyskiwania informacji z niczego, przez samo tylko podróżowanie w czasie z posiadaną wiedzą, żeby coś „wynaleźć”. Oczywiście jest, że w ten sposób można by okpić całą teorię ewolucji życia przez dobór naturalny- organizmy mogłyby być trenowane lub ostrzegane o zagrożeniach, z jakimi przyjdzie im się zmierzyć w przyszłości. Idąc za tendencją ustanawiania „zasad”, mających uśmierzyć nieprzyjemne odczucia na temat podróży w czasie powołuje następną „zasadę”,

k którą nazwał „zasadą ewolucji”, zakazującą uzyskiwanie informacji znikąd, w wyniku owych podróży.

Zupełność

Nie wierzę w matematykę, ALBERT EINSTEIN

Pod koniec dziewiętnastego wieku pęd fin de siecle do dopełniania wszystkiego wyraźnie zaznaczył się w świecie matematyki. Rzecz nie w tym, że matematycy myśleli, iż potrafią odkryć całą istniejącą matematykę. Wiedzieli, że tego nie da się zrobić. Pojawił się jednak w ich gronie ruch, którego motorem był David Hilbert, największy matematyk tamtych czasów, zmierzający do uchwycenia sedna istniejących problemów i paradoksów. Skąd pewność, że matematyka jest wiarygodnym systemem rozumowania? Jeśli ktoś wypowie zdanie na temat liczb, jak można udowodnić, czy jest ono prawdziwe, czy fałszywe? Hilbert postawił przed matematykami zadanie znalezienia przepisu na sprawdzenie

prawdziwości każdego zdania w matematyce. Jeśli tym sposobem dałoby się sprawdzić wszystkie zdania, to system logiczny, do którego należą, nazywamy rozstrzygalnym. Jeśli wszystkie prawdy w tym języku można wydedukować z jego aksjomatów, to mówimy, że jest zupełnym. Ilustracją może być jakaś gra planszowa, na przykład szachy czy Go. Niezupełność oznaczałaby, że istnieją takie konfiguracje bierek na planszy, których nie da się uzyskać z początkowego układu, stosując reguły gry.

Hilbert zaniepokojony zagrożeniem, jakie dla gmachu matematyki stanowiły proste paradoksy, zajął się poszukiwaniem gwarancji, że arytmetyka jest nie-sprzeczna, czyli że nie da się na gruncie jej aksjomatów dowieść prawdziwości stwierdzenia $0 = 1$. Jednakże niesprzeczność była dla niego czymś więcej niż polisą ubezpieczeniową dla zdrowego ciała matematyki. Chciał ją wykorzystać, jako definicję prawdziwości matematycznej. Każde zdanie niesprzeczne „istnieje” jako stwierdzenie matematyczne. Matematyka staje się przez to czymś więcej niż fizycznym światem popartym doświadczeniem, jako że nie wszystko co może być opisane językiem matematycznym może okazać się fizycznie poznawalne.

Realizację swojego programu zaczął od słynnego systemu logicznego, doskonale znanego pokoleniom uczniów-geometrii Euklidesowej, z jej punktami, liniami prostymi i kątami. Po ustaleniu wszystkich aksjomatów i reguł wykazał, że geometria euklidesowa jest zupełnym, rozstrzygalnym systemem logicznym -każde zdanie na temat punktów, linii i kątów można było wyprowadzić z aksjomatów, po pewnej liczbie kroków dedukcyjnych lub sprowadzić do sprzeczności, a więc wykazać jego fałszywość.

Hilbert i inni rozszerzyli nieco ten program, dowodząc że pewne inne proste systemy logiczne także są zupełne. Badania te stanowiły rozgrzewkę przed

atakiem na główny problem - dowód, że wszystkie zdania arytmetyki można zweryfikować jako prawdziwe lub fałszywe. To o wiele trudniejsze, gdyż arytmetyka jest systemem znacznie obszerniejszym i bogatszym niż geometria Euklidesa. Hilbert chciał podejść do tego rozszerzając złożoność każdego następnego systemu, którego zupełność zostanie dowiedziona. Spodziewał się, że w ten sposób, krok po kroku, w końcu zdobędzie fortecę arytmetyki.

Dążenie Hilberta do wykazania zupełności ma ciekawe związki z ogólnym pesymizmem końca wieku na temat zasięgu nauki, wyartykułowane przez Emila Du Bois Reymonda i jego zwolenników. Hilbert chciał potwierdzić nieograniczoną zdolność matematyki do określania, czy stwierdzenia matematyczne są prawdziwe, czy fałszywe. Był przekonany, że

każdy sprecyzowany problem matematyczny musi poddawać się dokładnemu rozliczeniu, czy to w formie odpowiedzi na zadane pytanie, czy poprzez dowód niemożliwości jego rozwiązania, a tym samym wykazanie bezowocności wszelkich prób jego rozwiązania.

Podczas gdy dewizą Du Bois Reymonda było *Ignoramus et ignorabimus* (nie wiemy i nie będziemy wiedzieć), Hilbert postawił przed matematykami wyzwanie zignorowania jej, twierdząc, że

słyszemy w sobie ów wieczny zew. Jest problem. Szukaj rozwiązania. Potrafisz je znaleźć z prostej przyczyny, że w matematyce nie ma *ignorabimus*.

Z podobnym wstrętem odnosił się do poglądów Comte'a, którego koncepcje rozważaliśmy także w Rozdziale 2, uważając że

moimi zdaniem prawdziwym powodem, dla którego Comte nie mógł znaleźć żadnego nierozwiązywalnego problemu, jest fakt, że nie istnieje nic takiego, jak nierozwiązywalny problem.

W swoim najświetniejszym wykładzie na Międzynarodowym Kongresie Matematyków w 1900 roku, na którym przedstawił szereg jego zdaniem największych nierozwiązanych problemów, jakie przyjdzie rozwiązywać matematykom dwudziestego wieku, powrócił znów do głęboko pojętej rozwiązywalności i jej powiązań z naturą matematyki oraz z ludzkim umysłem, pytając:

Czy ów aksjomat rozwiązywalności każdego problemu jest tylko dziwactwem myśli matematycznej, czy też ewentualnym ogólnym prawem wrodzonym w naturę umysłu, przekonaniem że wszystkie pytania, które zadaje, mu-

lub wymazujący

są dać się przezeń rozwiązać? W innych dziedzinach nauki także spotyka się stare problemy, które określono w bardziej satysfakcjonujący i użyteczniejszy dla nauki sposób, dowodząc ich niemożliwości. Przycoczę problem

nieustannego ruchu. Po bezowocnych usiłowaniach zbudowania maszyny, która byłaby w nieustannym ruchu, uczeni przebadali związki, jakie muszą zachodzić między siłami natury, jeśli taka maszyna miałaby być niemożliwa do zbudowania. A to odwrócone pytanie doprowadziło do odkrycia prawa zachowania energii, które wyjaśniło niemożliwość nieustannego ruchu, który chciano uzyskać.

Choć było jasne, że arytmetyka to system o wiele obszerniejszy niż geometria, nie rzucało się w oczy nic, co by jakoś specjalnie różniło oba systemy. A mimo to Hilbertowi nie udawało się rozciągnąć swoich eleganckich dowodów zupełności geometrii na większe systemy. Nieco później okazało się, dlaczego było to takie trudne. W 1930 roku Kurt Gödel (ten sam, który 19 lat wcześniej zaskoczył świat naukowy odkryciem, że równania Einsteina dopuszczają podróże w czasie) ogłosił sensacyjny i całkowicie nieoczekiwany rezultat - że każdy system wystarczająco bogaty, żeby zawierać arytmetykę, musi być albo niepełny, albo sprzeczny. W arytmetyce muszą bowiem istnieć zdania, których prawdziwości ani fałszu nie da się określić przez zastosowanie reguł dedukcyjnych arytmetyki do zbioru jej aksjomatów. Twierdzenie to miało zmienić kierunek myślenia o ludzkim rozumowaniu i wielu uznało je za największe odkrycie matematyczne, jakiego kiedykolwiek dokonano. Po raz pierwszy za pomocą logiki dowiedziono, że istnieją rzeczy, których nie da się udowodnić. Logika stała się prawdziwą religią.

Należy dobrze rozumieć, co twierdzenie Gödla mówi o niesprzeczności arytmetyki. Rzecz nie w tym, że nie możemy dowieść niesprzeczności arytmetyki. Możemy. Jednak nasz dowód nie może zostać sformalizowany w języku arytmetyki. Twierdzenie Gödla mówi po prostu, że arytmetyka nie może udowodnić niesprzeczności arytmetyki. Nic w tym złego. Gdyby bowiem arytmetyka mogła dowieść własnej niesprzeczności, to cała sytuacja nie byłaby przekonująca. Coś jak policja prowadząca śledztwo w sprawie skarg na policję, czy polityk przekonujący, że należy mu wierzyć, gdyż jest godzien zaufania.

Przez ponad czterdzieści lat, wpływ odkrycia Gödla był całkowicie negatywny. Stanowiło ono dowód, że cel Hilberta jest nie do osiągnięcia - matematyka jest w tajemniczy sposób nieograniczona. Gödel wykazał także, iż nie da się wykazać niesprzeczności aksjomatów tak skomplikowanych systemów, jak arytmetyka. Jednocześnie stawały się jasne szersze implikacje wyników Gödla, kiedy jego dowód przełożono na inne formy, prowadzące do dalszych mocnych twierdzeń.

Alan Turing był pierwszym, który zastanawiał się nad możliwościami automatycznych urządzeń liczących - które dziś nazwalibyśmy komputerami. Hipotetyczna maszyna umiała czytać ciąg liczb i zmieniać go na inny ciąg. Chodziło o to, żeby dowiedzieć się, jakie są jej ostateczne możliwości. Czy potrafi obliczyć każdy podany wzór matematyczny? Nie! Z podobnych powodów, jak te, które przedstawił Gödel, istnieją problemy matematyczne, których „komputer” nie rozwiąże w żadnym skończonym ciągu operacji - istnieją problemy matematyczne, których rozwiązywanie przez komputer trwałoby wiecznie. Ten ogólny problem z określeniem, czy obliczenia komputera kiedykolwiek się skończą, czy nie, stał się znany jako „problem zatrzymania”. Te pytania matematyczne, które można rozstrzygnąć w skończonej liczbie kroków obliczeniowych nazywają się „obliczalnymi”, a pozostałe „nieobliczalnymi”.

Chcąc poznać możliwości dowolnego urządzenia liczącego, Turing wymyślił wyidealizowaną maszynę. (Było to przed epoką komputerów - słowo „komputer” oznacza po prostu liczydło). Maszyna ta została nazwana maszyną Turinga (rys. 7.3).

Nieobliczalność budzi zwykle negatywne reakcje u tych, którzy się o niej dowiadują, jednakże matematycy reagują zupełnie inaczej. Oni uznali niedokończoność matematyki za coś wspaniałego. G. H. Hardy tak wyraził niesmak, jaki budzi w nim świat matematyczny, w którym dałoby się osiągnąć cel Hilberta:

Przypuśćmy na przykład, że potrafimy znaleźć skończony zbiór reguł pozwalający nam określić, czy dowolne sformułowanie da się udowodnić, czy nie. System taki obejmowałby twierdzenie z zakresu metamatematyki. Nie ma oczywiście takiego twierdzenia i to się bardzo szczęśliwie składa, gdyż gdyby było, mielibyśmy mechaniczny zbiór reguł rozwiązywania problemów matematycznych i skończyłaby się nasza działalność jako matematyków.

Konstrukcje niemożliwe

Większość architektów myśli całami, mówi jardami, a kopnąć by ich należało stopą.

KSIAŻĘ KAROL

Istnieje wiele obszarów ludzkiej działalności, w których celowo utrudniamy sobie wykonanie pewnych zadań. Do

takich działań, na których wykonanie nakłada się dodatkowe utrudnienia, należą na przykład gra w szachy na ślepo, wyścigi chodźarzy, czy wyścigi terenowe koni. Ale nie tylko w sporcie wykorzystuje się ten sposób uatrakcyjniania sobie życia. Matematycy od dawna interesują się ustalaniem, czy możliwe jest wykonanie zadanych rzeczy, przy użyciu określonych narzędzi. Zamiłowanie starożytnych Greków do geometrii doprowadziło do określenia, co można zrobić, posługując się wyłącznie cyrklem i linijką (bez podziałki). Linijka pozwala na kreślenie linii prostych przechodzących przez dwa punkty, a za pomocą cyrkla możemy zaznaczyć łuk lub koło oraz wyznaczać równe odległości. W tamtych czasach były to jedyne narzędzia architekta, a cała sprawa miała poważny cel praktyczny, polegający na znalezieniu procedur, których należy przestrzegać, wykonując pewne standardowe konstrukcje lub rysując plany budowli. Także w innych rozwiniętych kulturach można napotkać ten problem podobnie postawiony i rozwiązany, na przykład w starożytnych Indiach, gdzie konstrukcje takie służyły do budowania ołtarzy i podczas ceremonii religijnych.²⁹

Rozważmy najprostszy problem konstrukcyjny: jak podzielić odcinek na pół, używając tylko cyrkla i linijki? Aby znaleźć środek dowolnego odcinka, należy cyrklem narysować okręgi (lub ich fragmenty) o środkach w końcach dzielonego odcinka, promieniem dłuższym niż połowa odcinka, żeby okręgi się przecięły, a następnie poprowadzić linię prostą przez punkty przecięcia łuków. Przechodzi ona dokładnie przez środek odcinka (rys. 7.4).

Następnym zadaniem jest znalezienie sposobu podzielenia, za pomocą tych samych prostych narzędzi, dowolnego kąta na połowę (rys. 7.5). Narysujmy dowolny kąt, a następnie nóżkę cyrkla postawmy w wierzchołku A i narysujmy łuk, odcinający na ramionach kąta jednakowe odcinki. Teraz wystarczy tylko znaleźć środek łuku łączącego dwa ramiona. W tym celu nóżkę cyrkla stawia-

my kolejno w punktach B i C i rysujemy tuż o promieniu nieco większym niż odległość BC, żeby się przecięły. Przez punkt przecięcia łuków i wierzchołek A prowadzimy prostą - dzieli ona kąt na połowy.

Wszystko to było dziecinną igraszką dla starożytnych greckich geometrów. Cały czas zgłębiali oni swoją metodę cyrkla i linijki, wierząc niezachwianie, że tą metodą da się uzyskać wszystko, jeśli jest się wystarczająco genialnym. Ich zainteresowania skupiły się wokół jednego problemu, którego nie potrafili rozgryźć - jak dokonać trysekcji dowolnego kąta (jak konstrukcyjnie podzielić dowolny kąt na trzy równe części). Problem ten pozostał nierozwiązany do 1837 roku, kiedy to Pierre Wantzel udowodnił, że nie da się tego dokonać za pomocą cyrkla i linijki. Co ciekawe Wantzel nawet we własnych czasach pozostał niezbyt znany jako matematyk i nie bardzo go doceniono, choć rozwiązał problem nie poddający się rozwiązaniu przez dwa tysiące lat. Swój wynik uzyskał, zamieniając język z geometrycznego na algebraiczny. W tej dziedzinie ważnych odkryć dokonali Ruffini i Abel, a Wantzel wykorzystał je w swoim dowodzie niemożliwości trysekcji kąta. Abel stał się o wiele bardziej znany za swoje zasługi na tym polu. Ruffini i Abel wykazali, że żadne równanie algebraiczne stopnia wyższego niż cztery nie ma algorytmu rozwiązania. Problem ten również ma swoją historię.³⁰ Rozwiązanie równania stopnia pierwszego jest trywialne; dla równania stopnia drugiego, znane od tysięcy lat; stopnia trzeciego, znalezione przez renesansowych matematyków Scipio del Ferro w 1515 roku i Ferrariego w 1545 roku. Od tego momentu wśród matematyków trwało współzawodnictwo, kto rozwiąże równanie czwartego stopnia - spodziewano się przy tym, że być może znajdzie się jakaś sprytna zasada, pozwalająca rozwiązywać za jednym zamachem równania wszystkich stopni.

Sprawę rozstrzygnął Abel, który korzystając z wyników uzyskanych przez Galois'a, sformułował twierdzenie o niemożliwości. Później zajął się ogólną kwestią rozwiązywalności w matematyce i uświadomił sobie, niemal jak Hilbert wiele lat później, że całkowite rozwiązanie problemu matematycznego może nastąpić tylko w wyniku jednego z dwóch sposobów podejścia. Jeden polega na znalezieniu dokładnego rozwiązania, drugi na ustaleniu, czy rozwiązanie to jest możliwe, czy nie. Jest to jedyny sposób ustalenia, czy problem został zamknięty, gdyż

Aby uzyskać w tej materii cokolwiek pewnego, musimy pójść inną drogą. Możemy nadać problemowi taką formę, że jego rozwiązanie zawsze będzie, i możemy to zrobić z każdym problemem. Zamiast pytać o relację, o której nie wiadomo czy istnieje, musimy pytać, czy relacja taka jest rzeczywiście możliwa [...] Kiedy postawimy problem w taki sposób, zawiera on zarodek rozwiązania i wskazuje, jaką drogę obrać. Uważam, że tylko w nielicznych

przypadkach nie uda nam się uzyskać mniej lub bardziej istotnego wyniku, nawet jeśli komplikacje w obliczeniach nie pozwalają na całkowite rozwiązanie.³¹

Abel sądził początkowo, że znalazł ogólne rozwiązanie dla równań stopnia piątego. Zanim jednak opublikował swoją pracę, znalazł w niej błąd i w efekcie ujrzał problem w całkiem nowym świetle. Ta istotna zmiana perspektywy dopro-

wadziła w końcu do wykazania niemożliwości uzyskania rezultatu, który, jak sądził, udało mu się znaleźć.

Wyniki pracy Abela jakoś nie stały się początkiem głębokich filozoficznych rozważań ani spekulacji teologicznych, dlatego rozwiązywalność równań zatrzymała się na stopniu czwartym, choć z pewnością mogły. Równania wyższych stopni mają rozwiązania. Potrafimy rozwiązać niektóre z nich, metodą zgadywania, aproksymacji lub jeszcze inną (podobnie jak matematycy w czasach Abela), jednakże dowód Abela otworzył szczelinę między tym, co może osiągnąć ludzkie rozumowanie, a tym, co jest prawdziwe w transcendentnym świecie prawd matematycznych czyli w umyśle Boga.

Wiele rozważań filozoficznych wynikających z twierdzenia Godła można by także oprzeć na odkryciu, że istnieją granice naszych zdolności do rozwiązywania równań algebraicznych lub niemożność przeprowadzenia trysekcji kąta, lecz tak się nie stało. A przecież istnieje wiele analogii między obiema liniami dociekań, I Abel, i Godeł zaatakowali problemy, które wszyscy uważali za możliwe do rozwiązania. Obaj też wykazali niezwykłą elastyczność umysłu, w wykrywaniu twierdzenia o niemożliwości - Abel w ostatniej minucie zmienił swoje podejście, choć początkowo sądził, iż znalazł twierdzenie o „możliwości”, a Godeł tak naprawdę dowodził zupełności mniejszych od arytmetyki systemów logicznych (był to temat jego pracy doktorskiej) zaledwie na kilka miesięcy przed ogłoszeniem twierdzenia o niemożliwości w odniesieniu do arytmetyki.

Godeł ustalił odpowiedniość między zdaniami w języku matematyki a zdaniami o matematyce (a więc w metajęzyku). Dokonał tego, wykorzystując liczby pierwsze do zakodowania każdego składnika zdania matematycznego lub logicznego. Całe zdanie jest więc zdefiniowane przez iloczyn liczb pierwszych. Iloczyn ten zwany jest obecnie liczbą Godła dla danego zdania. Ponieważ jednak każdą liczbę można przedstawić jako iloczyn liczb pierwszych tylko na jeden sposób (na przykład: $51 = 3 \times 17$; $54 = 2 \times 3^3$; $9000 = 2^3 \times 3^2 \times 5^3$), odpowiedniość ta jest jednoznaczna - każdej liczbie Godła odpowiada zdanie w języku logiki. Tak więc każda liczba Godła odpowiada jednemu zdaniu logicznemu na temat liczb (niekoniecznie bardzo interesującemu), a każde zdanie na temat liczb odpowiada jakiejś liczbie Godła.³² Na przykład liczba Godła $243\,000\,000 = 2^6 \times 3^5 \times 5^6$. Zdanie logiczne jest zdefiniowane przez potęgi liczb pierwszych, zapisane w kolejności, a więc 656. Symbol 6 odpowiada arytmetycznemu obiektowi O,

a 5 odpowiada znakowi =. Stąd wynika, że podana liczba Godła reprezentuje mało interesującą formułę arytmetyczną $0 = 0$.

Decydującym krokiem Godła było rozważenie wyrażenia

„Twierdzenie o liczbie Godła X jest nierozstrzygalne”.

Obliczył on liczbę Godła dla tego zdania i podzielił ją przez X, uzyskując w ten sposób twierdzenie, które stwierdza swoją własną niedowodliwość.

Cecha niezupełności bierze się z odpowiedniości między arytmetyką a wyrażeniami o arytmetyce. Jest to możliwe jedynie w systemach logicznych wystarczająco skomplikowanych, żeby pozwolić na jednoznaczne i pełne zakodowanie zdań o nich wewnątrz samego systemu, dzięki czemu każdy możliwy składnik zdania logicznego jest opisany przez inną liczbę pierwszą, a więc każde pełne zdanie może mieć swoją liczbę Godła, którą da się podzielić na jeden sposób, uzyskując tym samym odpowiadające tej liczbie zdanie o arytmetyce. Niektóre teorie logiczne, jak geometrie, nie mają wystarczająco obszernego aparatu, żeby można było w nich samych kodować zdania o nich samych. Teorie te nie mają więc cechy niezupełności.

Niemożliwości metaforyczne

Żadne niepoetyckie podejście do rzeczywistości nie może być! kompletne.

JOHN MYHILL

Podjęto pewne wysiłki, żeby stworzyć metaforyczne rozszerzenie dokonań Godła i Turinga, starając się odkryć, co w naszym doświadczeniu może wymykać się formalizacji i ograniczeniom. W 1952 roku amerykański logik John Myhill uzyskał najciekawszy wynik.³⁴ Otóż sklasyfikował on możliwości, zapożyczając terminologię z logiki matematycznej i dzieląc idee na trzy klasy: „efektywne”, „konstruktywne” i „perspektywiczne”.³⁵

Najbardziej dostępne i wymierne aspekty świata mają cechę obliczalności. Istnieje określona procedura mechaniczna, rozstrzygająca, czy coś ma daną liczbę, czy jej nie ma. Komputery i istoty ludzkie można uczyć reagowania na obecność lub nieobecność tej cechy. Prawda nie jest cechą obliczalną, ale bycie liczbą pierwszą, tak.

Bardziej nieuchwytny zbiór atrybutów to takie, które dadzą się zaledwie wyszczególnić. Dla takich cech da się

skonstruować procedurę, pozwalającą zestawić wszystkie przypadki posiadania żądanego atrybutu (choć wykonanie tego może trwać nieskończenie długo). Nie ma jednak sposobu wyszczególnienia wszystkich przypadków nieposiadania danego atrybutu. Wiele systemów logicznych można w ten sposób zdefiniować, lecz nie są one obliczalne, czyli że wszystkie ich twierdzenia można kolejno wypisać, ale nie ma mechanicznej pro-

cedury określenia, czy dane zdanie jest czy nie jest twierdzeniem. W świecie matematycznym bez twierdzenia Godła każde zdanie dałoby się w ten sposób zdefiniować. W świecie bez turingowskich operacji nieobliczalnych każda własność świata byłaby obliczalna.

Problem ustalenia, czy niniejszy tekst ma atrybut poprawności gramatycznej jest obliczalny. Jednak tekst ten nadal może być niezrozumiały dla czytelnika nie znającego jego języka. Z czasem czytelnik nauczyłby się go coraz lepiej, dzięki czemu fragmenty tekstu stałyby się zrozumiałe, lecz nie ma sposobu przewidzenia, w którym miejscu tekstu znajdują się te zrozumiałe fragmenty.

Nie każdy atrybut można opisać czy obliczyć. Jeden z przykładów to cecha bycia zdaniem prawdziwym w arytmetyce. Atrybuty, których nie można opisać ani obliczyć nazywa się „perspektywicznymi” - nie mogą być ani rozpoznane, ani wygenerowane w skończonej liczbie kroków dedukcyjnych. Ich istnienie zapewnia miejsce dla geniuszu i nowatorstwa. Istnieją rzeczy, których nie da się objąć żadnym skończonym zbiorem zasad ani procedur. Do cech potencjalnych należą na przykład piękno, prostota, brzydota i prawda. Są one niewyczerpywalne. Żaden program ani wzór nie pozwoli na wygenerowanie wszystkich przykładów piękna czy brzydoty. Żaden program nie rozpozna ich wszystkich, kiedy je zobaczy, ani my także, w sposób, jaki wyobrażają sobie romantycy. Mówiąc słowami Myhilla: „Analogia estetyki z twierdzeniem Godła będzie więc taka: nie ma takiej szkoły sztuki, która pozwalałaby na stworzenie całego piękna i wykluczyła powstawanie całej brzydoty”.

Cechy perspektywiczne leżą poza zasięgiem czystej techniki. Nie dadzą się ująć w ramy żadnej matematycznej Teorii Wszystkiego. Dlatego żadne niepoetyckie podejście do rzeczywistości nie może być kompletne.

Streszczenie

Twierdzenie 100: jest to ostatnie twierdzenie w tej książce.

(dowód oczywisty).

JOHN HORTON CONWAY³⁶

Aby istniało świadome życie, potrzebne są wzory rzeczywistości. Nasze opisy tych wzorów to coś, co nazywamy matematyką. Możemy jednak rozszerzać te wzory znacznie poza kalejdoskop form i zjawisk rzeczywistości fizycznej. Uczyniliśmy pierwszy wgląd w subtelność kryjącą się za maskami matematyki. W początkach dwudziestego wieku tacy matematycy jak Hilbert zajęli się likwidowaniem paradoksów i nierozstrzygalności w matematyce. Jednakże, mimo obiecujących początków, koniec tego przedsięwzięcia przeszedł wszelkie oczekiwania. Zamiast definicji matematyki jako logicznie niesprzecznej i zupełnej, w obrębie własnych odniesień, uzyskano coś całkiem przeciwnego. W tym roz-

dziale zaczęliśmy zgłębiać wynikające stąd koncepcje oraz fizyczne przykłady ich ewentualnego znaczenia. Powierzchnie patrząc, pogląd, że natura mogłaby być w jakimkolwiek sensie sprzeczna, wydaje się trudny do przyjęcia. Jednakże możliwe, iż podróże w czasie taką sprzeczność dopuszczają. Przyglądaliśmy się koncepcjom nauki, teologii i science fiction, aby ocenić, czy podróże w czasie rzeczywiście są fizycznym paradoksem.

Odkrycie niezupełności i nierozstrzygalności doprowadziło do uświadomienia sobie, że istnieją dalsze ograniczenia naszej zdolności ustalania rozstrzygalnych prawd matematyki. Alan Turing wynalazł „komputery” zdefiniowane przez serie działań wykonywanych krok po kroku. Wykazał on, że takie urządzenia mogą określić tylko część zbioru rozstrzygalnych prawd.

Odkrycia Godła i Turinga wywołały falę zainteresowania konsekwencjami, wypływającymi z nich dla filozofii. Nie były to jednak w żadnym razie pierwsze twierdzenia „o niemożliwości”, jakich dowiedli matematycy. W dziewiętnastym wieku podano pierwszy taki dowód, wykazujący niemożliwość wykonania, za pomocą cyrkla i linijki, niektórych konstrukcji geometrycznych, takich jak try-sekcja kąta. Dziwne jednak było to, że owe fakty nie przyciągnęły uwagi niema-tematyków ani nie skłoniły do głębszych badań nad ograniczeniami rozumowania matematycznego na temat fizycznego świata. Na koniec przyjrzelśmy się, jak dzięki odkryciom Godła i Turinga można określić cechy przekraczające zakres aksjomatów i reguł.

Pojawił się więc nowy rodzaj niemożliwego, którego istnienie można udowodnić i który ogranicza nasze najbardziej żywotne systemy rozumowania, zagrażając konsekwencjom wszystkich jego zastosowań do zrozumienia

otaczającego nas świata.

Rozdział 8 Niemożliwe i my

/ trzech głównych źródeł niemożliwego w polityce - biurokracji, frakcji i elekcji - największym źródłem niemożliwego jest biurokracja.

ADAM YARMOLINSY¹

Twierdzenie Godła a fizyka

Kafkowski aspekt boskiego dzieła i charakteru wyraża się w słynnym „twierdzeniu o niezupełności” [...]. Uczni zostali postawieni w sytuacji podobnej do sytuacji Kafki w *Zamku*. Prowadząc swoje badania, bez końca spieszenie przemierzamy korytarze, spotykamy ludzi, pukamy do drzwi. Jednakże ostateczny sukces nigdy nie będzie naszym udziałem. Nigdzie w zamku nauki nie istnieje ostateczne wyjście ku absolutnej prawdzie.

RUDY RUCKER²

Przedstawiona przez Godła monumentalna demonstracja, że systemy matematyczne mają ograniczenia, stopniowo wpłynęła na perspektywę, z jakiej filozofowie i naukowcy patrzą na świat, oraz na sposób, w jaki starają się go zrozumieć. Może się wydawać, że wszystkie ludzkie badania Wszechświata muszą być ograniczone. Nauka opiera się na matematyce, a matematyka nie może odkryć całej prawdy, a tym samym i nauka nie może odkryć całej prawdy. Tak właśnie wygląda to rozumowanie. Komentatorzy, którym odpowiadała pewna doza religijnej pokory, także zainteresowali się granicami możliwości ludzkiego rozumowania, które zaimplikował Godeł. Uczeń Hilberta, Hermann Weyl pisał, że odkrycie Godła wywołuje u niego „ciągły odpływ entuzjazmu” jakie dają badania naukowe. Uważał, że ów pesymizm, tak odmienny od ożywczego wezwania Hilberta do matematyków w 1900 roku, podzielają „inni matematycy, którym nie jest wszystko jedno, co oznaczają ich naukowe przedsięwzięcia w kontekście całej ludzkiej wiedzy i chęci, cierpienia i twórczego istnienia w świecie”. W czasach bardziej współczesnych Stanley Jaki, płodny autor z dziedziny teologii i nauki stwierdza, że Godeł nie pozwala nam uzyskać wiedzy o kosmosie jako koniecznej prawdy.

Tak więc w oczywisty sposób, żadna naukowa kosmologia, która z konieczności musi być wysoce matematyczna, nie może być naukowo niesprzeczna w obrębie siebie samej, dokładnie tak samo jak matematyka. Przy braku takiej niesprzeczności żaden model matematyczny, żadna z teorii fizyki cząstek elementarnych, włączając teorię kwarków i gluonów [...] nie stanie się tą teorią, która w swojej istocie pokazuje a priori prawdę, że świat może być tylko tym,

czym jest i niczym więcej. Jest to prawdziwe, nawet jeśli teoria doskonale pasuje do wszystkich zjawisk świata fizycznego, znanych w danym momencie.³

W twierdzeniu Godła o niezupełności Jaki widzi również fundamentalną barierę w zrozumieniu Wszechświata:

Wydaje się, że na mocy twierdzenia Godła ostateczne fundamenty śmiałych konstrukcji symbolicznych fizyki matematycznej na zawsze pozostaną ukryte na owym głębszym poziomie myślenia charakteryzującym się zarówno mądrością, jak i mglistością analogii i intuicji. Dla fizyka teoretycznego oznacza ono, że istnieją granice precyzji pewności, że nawet w czystym myśleniu fizyki teoretycznej istnieje granica [...]. Integralną częścią tej granicy jest sam uczoney, myśliciel [...].

W minionej dekadzie przemyślenia Godła zyskały jeszcze większą jasność, kiedy przymierzono je do języka informacji i losowości, w sposób zapoczątkowany przez Grega Chaitina.⁵ Pozwoliło to inaczej spojrzeć na implikacje, jakie mają one dla fizyki. Nauka jest to dążenie do kompresji strumieni danych w skrócone kody (prawa Natury), zawierające tę samą informację. Każdy ciąg symboli, który da się zastąpić wzorem lub regułą o mniejszej długości niż sam ciąg, nazywamy kompresowalnym, a taki, który nie daje się w ten sposób skrócić - nie-kompresowalnym. Zawsze możemy wykazać, że strumień danych jest kompresowalny, pokazując wzór pozwalający na jej wykonanie. Jednakże nie ma sposobu, żeby dowieść, iż ogólny ciąg symboli jest niekompresowalny. Wzorec potrzebny, aby skrócić zbiór symboli

może być jedną z tych prawd, których nie potrafimy dowieść. Tak więc nigdy nie będziemy wiedzieli, czy nasza ostateczna teoria jest ostateczna, czy nie. Zawsze może istnieć jakaś głębsza jej wersja - może po prostu być częścią obszerniejszej teorii.

Powiązania między nierozstrzygalnością a losowością także pozwalają bardziej wnikliwie przyjrzeć się związkom Godła z wydajnością maszyn.⁶ Nierozstrzygalność nałoży ograniczenia na wydajność maszyn w dalekiej przyszłości. Weźmy na przykład dzisiejszą kuchenkę gazową. Jest naszpikowana mikroprocesorami, mającymi wyczuwać temperaturę wewnątrz piekarnika i kontrolować przebieg zadanego programu. Mikroprocesory magazynują przez pewien czas informację, dopóki nie zostanie ona zastąpiona nową instrukcją lub informacją. Im wydajniej informację tę uda się zakodować i zmagazynować w mikroprocesorach, tym lepiej działa kuchenka, gdyż minimalizuje niepotrzebną pracę przy przenoszeniu, wymazywaniu i zapisywaniu instrukcji wprowadzonych do jej pamięci.⁷ Jednakże badania Chaitina pokazują, że twierdzenie Godła jest równoważne stwierdzeniu, iż nigdy nie będziemy mogli powiedzieć, czy dany program jest najkrótszy

z możliwych, wykonujących dane zadanie. Tak więc nigdy nie uda nam się znaleźć najbardziej zwięzłego programu gromadzącego instrukcje potrzebne do działania kuchenki. W efekcie użyte mikroprocesory zawsze będą zapisywać więcej informacji, niż potrzeba - zawsze będą miały pewną redundancję, a więc będą mniej wydajne. W praktyce owo „tarcie logiczne” powoduje zmniejszenie wydajności kuchenki, która obecnie jest miliardy razy mniejsza niż mogłaby być. Niemniej jednak rozważania te mogą pewnego dnia okazać się ważne dla delikatnych urządzeń nanotechnologicznych, a staną się niezbędne, jeśli mamy określić ostateczną wydajność jakiegokolwiek technologii.

Niektórzy uczeni, jak na przykład Freeman Dyson, chcąc po prostu pokazać, jak ważną rolę odgrywa ludzka psychologia w określaniu znaczenia granic, ogłosili, że wprawdzie Godeł nałożył ograniczenia na naszą zdolność odkrywania prawd matematyki i nauki, lecz należy to uznać za gwarancję, iż nauka będzie zawsze rozwijać się. Dyson postrzega twierdzenie o niezupełności jako polisę ubezpieczeniową projektu naukowego, którą bardzo sobie ceni, i tak podsumowuje swoje rozważania:

Godeł dowiódł, że świat czystej matematyki jest niewyczerpany; żaden skończony zbiór aksjomatów i reguł nie obejmie całości matematyki; mając jakikolwiek zbiór aksjomatów, możemy znaleźć problem matematyczny, który na gruncie tych aksjomatów pozostanie bez odpowiedzi. Mam nadzieję, że analogiczna sytuacja zachodzi w świecie fizycznym. Jeśli mój sposób widzenia przyszłości jest poprawny, to świat fizyki i astronomii jest także niewyczerpywalny - niezależnie od tego, jak dalece zagłębimy się w przyszłość, zawsze będzie się dziać coś nowego, będą nadchodzić nowe informacje, pojawiać się nowe światy do badania, ciągle rozszerzający się obszar życia, świadomości i pamięci.

Tak więc poznaliśmy optymistyczne i pesymistyczne reakcje na twierdzenie Godła. Optymiści, w rodzaju Dysona, uważają je za gwarancję, iż prowadzone przez człowieka badania nigdy się nie skończą. Poszukiwania naukowe są dla nich istotną częścią ludzkiego ducha, a ich całkowite dokończenie miałyby katastrofalny skutek. To właśnie miał na myśli Karl Popper, pisząc, że „ciągły postęp jest najważniejszy dla racjonalnego i empirycznego charakteru wiedzy naukowej. Gdyby postęp został zatrzymany, nauka utraciłaby ów charakter”. Pesymiści, jak Jaki, przeciwnie - dla nich wyniki Godła oznaczały, iż umysł ludzki nie może poznać wszystkiego (przypuszczalnie nawet przeważającej części) tajemnic Natury. Kładą oni większy nacisk na posiadanie i stosowanie wiedzy niż na proces jej zdobywania. Pesymista nie uważa, żeby główną korzyścią, jaką daje człowiekowi nauka, było samo dążenie do wiedzy.

Nie powinno nas zbytnio dziwić, że ta sama sytuacja budzi tak diametralnie różne reakcje. Wiele rzeczy w życiu przyjmuje się dwojako. Wszystko zależy od tego, czy się uważa, że szklanka jest w połowie pusta, czy w połowie pełna. Własne poglądy Godła były jak zawsze nieoczekiwane. Uważał on, że intuicja, dzięki której „widzimy” prawdę matematyczną lub naukową, jest narzędziem, które pewnego dnia stanie się cenione tak samo formalnie i z szacunkiem, jak sama logika.

Nie widzę powodu, dla którego mamy mniejszym zaufaniem darzyć ten rodzaj percepcji, czyli intuicję matematyczną, niż percepcję zmysłową, która skłania nas do budowania teorii fizycznych i każe nam oczekiwać, że przyszła percepcja zmysłowa będzie zgodna z nimi, a co więcej, wierzyć, iż pytanie nierozstrzygalne dzisiaj ma sens i może być rozstrzygalne w przyszłości.⁸

Godeł nie zamierzał wyciągać ze swojego twierdzenia o niezupełności jakichś categorycznych wniosków dla fizyki. Nie powiązał go z zasadą nieoznaczoności w mechanice kwantowej, równie silnie ograniczającą naszą zdolność rozumienia, sformułowaną przez Heisenberga zaledwie kilka lat przed tym, nim Godeł dokonał swojego odkrycia. Tak

naprawdę był bardzo niechętny wszelkim rozważaniom na temat mechaniki kwantowej. Ci, którzy pracowali w tym samym instytucie (nikt właściwie nie pracował z nim) uważali, że był to efekt jego częstych rozmów z Einsteinem, który, mówiąc słowami Johna Wheelera (znającego ich obu) „zrobił Gódlowi pranie mózgu” i wpoił niewiarę w mechanikę kwantową oraz zasadę nieoznaczoności. Greg Chaitin przytacza opowieść Wheelera o tym, jak próbował uzyskać od Godła odpowiedź, czy jest związek między niezupełnością Godła a nieoznaczonością Heisenberga:

Cóż, pewnego dnia byłem w Institute of Advanced Study, poszedłem do gabinetu Godła i zastałem go tam. Była zima i Godeł miał włączony elektryczny grzejnik, a nogi owinał kocem. Powiedziałem: „Profesorze Godeł, jakie widzi pan powiązania między pańskim twierdzeniem o niezupełności a heisenbergowską zasadą nieoznaczoności”? A Godeł wściekł się i wyrzucił mnie z gabinetu!⁹

Czy Godeł utrudnia fizykę?

Maszyny latające cięższe od powietrza są niemożliwe.

LORD KEIYIN (1895)

Od dawna jest w obiegu pogląd, że skoro matematyka zawiera twierdzenie nie dające się dowieść, a fizyka jest oparta na matematyce, więc i fizyka nie może odkryć niczego, co jest prawdziwe. Skonstruowano też jego bardziej wymyślne

wersje, rozważające sytuację, kiedy potrzebne są nieobliczalne matematyczne operacje, aby przewidzieć obserwowalne wartości. Na tej podstawie fizyk i matematyk Stephen Wolfram stwierdza, że

Można by się zastanawiać, czy nierozstrzygalność jest powszechna we wszystkich teoriach fizycznych, z wyjątkiem tych najbardziej trywialnych. Nawet prosto sformułowane problemy fizyki teoretycznej mogą okazać się nierozwiązywalne.¹⁰

Prawda jest taka, że nierozstrzygalność to raczej zasada niż wyjątek wśród prawd matematyki.¹¹

Mając to wszystko na względzie, przyjrzyjmy się nieco bliżej temu, co odkrycie Godła może powiedzieć o sprawach fizyki. Sytuacja nie jest jasna, jak chcieliby komentatorzy. Warto podać precyzyjne założenia, stanowiące podstawę dedukcji Godła o niezupełności. Twierdzenie Godła mówi, że jeśli system formalny jest (1) skończenie określony, (2) wystarczająco obszerny, żeby zawierać arytmetykę, (3) niesprzeczny, to jest niezupełny.

Warunek (1) oznacza, że dla danego systemu istnieje możliwa do zdefiniowania nieskończoność aksjomatów. Musi więc istnieć określony algorytm ich określania. Nie możemy na przykład wybrać jako systemu wszystkich prawdziwych stwierdzeń na temat matematyki, gdyż zbioru tego nie da się zdefiniować w powyższym sensie.

Warunek (2) oznacza, że system formalny zawiera wszystkie symbole i aksjomaty stosowane w arytmetyce. Symbole te to: 0 (zero), S (następny), +, x oraz =. Tak więc liczba dwa jest następną po następnej po zerze i zapisuje się ją SSO, a równanie „dwa plus dwa jest cztery” wyraża się jako SSO + SSO = SSSSO.

Struktura arytmetyki odgrywa centralną rolę w dowodzie twierdzenia Godła. Do ustalenia odpowiedniości między zdaniami matematyki a zdaniami o matematyce wykorzystał on szczególne właściwości liczb: istnienie liczb pierwszych oraz fakt, że każdą liczbę można tylko w jeden sposób przedstawić jako iloczyn jej dzielników będących liczbami pierwszymi. Tym sposobem w strukturach samej matematyki dało się umieścić, jak konie trojańskie, paradoksy lingwistyczne w rodzaju „paradoksów kłamcy”. Tylko systemy logiczne wystarczająco obszerne, żeby zawierać matematykę pozwalają na takie kazyrodcze kodowanie zdań o nich samych w ich własnym języku.

Warto również przyrzeć się, kiedy takie warunki nie mogą być spełnione. Jeśli weźmiemy teorię obejmującą tylko dziesięć pierwszych liczb naturalnych (0,1,2,3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) oraz relacje między nimi, to warunek 2 nie jest spełniony i taka miniarytmetyka jest zupełna. Arytmetyka zawiera zdania mówiące o poszczególnych liczbach czyli równania (jak przedstawione wyżej SSO). Jeśli

system nie ma takich stwierdzeń, ale jak geometria euklidesowa wypowiada zdania wyłącznie na temat punktów, linii i okręgów, to nie może spełniać warunku 2. Stąd wynika, jak pokazał Tarski, że geometria euklidesowa jest zupełna. Nie ma też nic magicznego w płaskiej euklidesowej naturze geometrii - geometrie nieeuklidesowe na zakrzywionych powierzchniach także są zupełne. Podobnie z teoriami logicznymi zajmującymi się liczbami, ale używającymi jedynie pojęcia „większy od” nie odnosząc się do żadnych konkretnych liczb - są one zupełne. Potrafimy ustalić prawdziwość lub fałszywość każdego zdania na temat liczb, objętych zależnością „większy od”.

Innym systemem mniejszym od arytmetyki jest arytmetyka bez operacji mnożenia (x), nazywana arytmetyką

Presburgera (pełna arytmetyka nazywa się arytmetyką Peano, od nazwiska matematyka, który w 1889 roku pierwszy przedstawił ją aksjomatycznie). Z początku to się wydaje dziwne. Przecież na co dzień wiadomo, że mnożenie jest skróconym sposobem dodawania (na przykład $2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 2 \times 6$), lecz w pełnym logicznym systemie arytmetyki, w obecności kwantyfikatorów logicznych „istnieje taki że” i „dla każdego”, mnożenie dopuszcza konstrukcje, które nie są tylko równoważnikiem dodawania.

Godła wykazał, jako część swojej pracy doktorskiej, że arytmetyka Presburgera jest zupełna - prawdziwości wszystkich zdań na temat dodawania liczb naturalnych można dowieść lub zaprzeczyć. Wszystkie zdania prawdziwe można wyprowadzić z aksjomatów.¹² Podobnie, jeśli stworzymy inną okrojona wersję arytmetyki, bez dodawania, tylko z mnożeniem, to ona także będzie zupełna. Tylko wówczas, kiedy dodawanie i mnożenie występują razem, pojawia się niezupełność. Rozszerzanie tego systemu przez dokładanie dodatkowych operacji takich, jak podnoszenie do potęgi, nie wprowadza żadnej różnicy. Niezupełność pozostaje, lecz nie pojawia się żadna jej nowa forma. Arytmetyka jest przełomem w dziedzinie złożoności.

Zastosowanie wyniku Godła do wyznaczenia granic tego, co matematyczna teoria fizyki (lub czegośkolwiek innego) może ostatecznie nam powiedzieć, wydaje się oczywistą konsekwencją. Jednakże, kiedy uważniej się przyjrzeć, sprawy okazują się nie tak proste. Przypuśćmy, że wszystkie warunki wymagane przez twierdzenie Godła są spełnione. Jak niezupełność wyglądałaby w praktyce? Znana jest nam sytuacja, kiedy teoria fizyczna daje dokładne przewidywania na temat szerokiego spektrum obserwowanych zjawisk - nazwijmy taką teorię „modelem standardowym”. Pewnego dnia może nas jednak zaskoczyć obserwacja, która nic nie mówi, której nie można włączyć w ramy modelu. Przykładów dostarczają niektóre tak zwane wielkie teorie zunifikowane w fizyce cząstek elementarnych. W myśl niektórych wcześniejszych sformułowań tych teorii neutrino musiało mieć zerową masę. Gdyby więc okazało się, że neutrino ma niezerową masę (każdy uważa, że ma, a niektórzy twierdzą nawet, że ją zmierzili), to taka sytuacja nie będzie akceptowalna na gruncie istniejącej teorii. Co wtedy robić? Natknęliśmy się w praktyce na pewien rodzaj niezupełności teorii, lecz reagujemy na nią rozszerzeniem lub modyfikacją teorii, pozwalającą na włączenie nowego faktu. Tak więc w praktyce niezupełność teorii bardzo przypomina jej nieadekwatność.

W przypadku arytmetyki, jeśli wiemy, że jakieś zdanie o arytmetyce jest nie-rozstrzygalne (znamy takie zdania - zarówno ich prawdziwość, jak i fałszywość są niesprzeczne ze zbiorem aksjomatów arytmetyki), to mamy dwa sposoby na rozszerzenie struktury. Możemy stworzyć dwie nowe arytmetyki - pierwszą, zawierającą nierozstrzygalne wyrażenie jako dodatkowy aksjomat, oraz drugą, zawierającą zaprzeczenie wyrażenia nierozstrzygalnego, jako dodatkowy aksjomat. Oczywiście nowa arytmetyka nadal będzie niezupełna, lecz zawsze można ją znów rozszerzyć, włączając każdą niezupełność. W praktyce teorię fizyczną zawsze można rozszerzyć, dodając nowe zasady, spychające wszelką nierozstrzygalność do tej części obszaru matematycznego, który nie ma odniesienia fizycznego. Wówczas bardzo trudne, jeśli nie całkiem niemożliwe będzie odróżnienie niezupełności od błędności czy nieadekwatności.

Interesującego przykładu tego dylematu dostarcza historia matematyki. W szesnastym wieku matematycy zaczęli badać, co się dzieje, kiedy dodajemy do siebie nieskończone ciągi liczb. Jeśli liczby w ciągu są coraz większe, to suma będzie „rozbieżna”, czyli jeśli liczba wyrazów ciągu biegnie do nieskończoności, to tak samo dzieje się z jego sumą. Przykładem jest suma

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + \dots = \text{nieskończoność}$$

Jednakże, jeśli poszczególne liczby wystarczająco gwałtownie maleją,¹³ to suma nieskończonej liczby wyrazów ciągu coraz bardziej zbliża się do skończonej wartości, którą nazywamy sumą ciągu. Na przykład

$$1 + 1/9 + 1/25 + 1/36 + 1/47 + \dots = n^2/8 = 1,2337005\dots \text{ Ale co zrobić z taką oto sumą}$$

nieskończoną

$$1 - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 + 1 - \dots = \text{????}$$

Jeśli pogrupujemy wyrazy ciągu po dwa, otrzymamy $(1 - 1) + (1 - 1) + \dots$ itd. A to jest po prostu $0 + 0 + 0 + 0 + \dots = 0$, czyli suma tego ciągu wynosi zero. Jeśli jednak pogrupujemy wyrazy w inny sposób: $1 - \{(1 - 1) + (1 - 1) + (1 - 1) + \dots\}$, to otrzymamy $1 - 0 = 1$. Wygląda na to, że udowodniliśmy iż $0 = 1$.

Matematycy mają wiele sposobów postępowania z takimi zagadkowymi sumami. Mogą wykluczyć z matematyki nieskończoność i zajmować się tylko skończonymi sumami liczb lub, jak wykazał Cauchy w początkach dziewiętnastego wieku, szukając sumy takiego ciągu, jak pokazany wyżej, musimy dokładniej

określić, co rozumiemy przez jego sumę. Ograniczająca wartość sumy musi zostać określona wraz z procedurą jej

obliczania. W podanych dwóch przypadkach procedury są różne, więc i odpowiedź nie jest taka sama. Widzimy więc, w jaki sposób obchodzi się granice, rozszerzając koncepcję, która stwarza ograniczenie. Można radzić sobie z ciągami rozbieżnymi w sposób niesprzeczny, jeśli odpowiednio rozszerzymy pojęcie sumy ciągu.¹⁴

Jeśli chodzi o praktyczne skutki twierdzenia Godła, to całkiem możliwe, że świat fizyczny wykorzystuje tylko rozstrzygalną część matematyki. Wiemy, że matematyka jest bezkresnym morzem możliwych struktur. A tylko niektóre z tych struktur i wzorów pojawiają się i mają zastosowanie w świecie fizycznym. Możliwe, że wszystkie one pochodzą z podzbioru prawd rozstrzygalnych. Hierarchię pokazano na rys. 8.1 i 8.2.

Możliwe też, że warunki wymagane do dowodu niezupełności Godła, nie stosują się do teorii fizycznych. Warunek 1 wymaga, żeby aksjomaty teorii były możliwe do wyszczególnienia. Może się okazać, że aksjomatów fizyki nie można wyszczególnić w takim sensie. A to stanowiłoby radykalne odejście od sytuacji (która, jak sądzimy, właśnie ma miejsce), gdzie zbiór fundamentalnych praw nie tylko jest wyszczególniony, ale nawet skończony (i bardzo mały). Zawsze jednak istnieje możliwość, że dobraliśmy się do powierzchni niebotycznej i że tylko jej wierzchołek ma znaczący wpływ na nasze doświadczenie. Choć, jeśli zbiór praw fizyki byłby nieskończony i niemożliwy do wyszczególnienia, to stanęlibyśmy w obliczu znacznie groźniejszego problemu niż niezupełność.

Prawdy matematyczne

Rys. 8.1 „Wszechświat” wszystkich prawd matematycznych zawiera podzbiory, w których mieszczą się wszystkie prawdy obliczalne i wszystkie prawdy praktycznie obliczalne (czyli takie, których obliczenie nie będzie trwać dłużej niż, powiedzmy, wiek Wszechświata, czyli około 15 miliardów lat; patrz rys. 8.2).

Jednakże w 1940 roku jeden z młodych uczniów Hilberta, Gerhard Gentzen, który wkrótce po ogłoszeniu wyników swoich dociekań zginął w walkach podczas II wojny światowej, wykazał, że można ominąć wnioski Godła i wyde-

dukować dowolną prawdę arytmetyki, jeśli dołączymy procedurę indukcji po-zakończonej. Operacje Natury także mogą zawierać taki nieskończony system aksjomatów. Mamy skłonność uważać niezupełność za coś niepożądanego, gdyż implikuje, iż nie będziemy mogli czegoś „zrobić”. Możemy jednak odwrócić rzecz do góry nogami i wywnioskować, że Natura jest niesprzeczna i zupełna, gdyż nie można jej określić skończonym zbiorem aksjomatów. Jest coś estetycznie satysfakcjonującego w takim postawieniu sprawy.

Równie interesującą sprawą jest skończoność. Może się okazać, że wszechświat możliwości fizycznych jest skończony, choć astronomicznie rozległy. Niezależnie jednak od tego, jak duża jest liczba podstawowych wielkości, do których odnoszą się prawa, dopóki są one skończone, cały system wzajemnych powiązań będzie zupełny. Należy podkreślić, że choć zazwyczaj przyjmujemy, iż w przestrzeni i czasie istnieje continuum punktów, jest to tylko założenie, bardzo wygodne dla stosowania prostej matematyki. Nie ma jednak głębokiej przyczyny, dla której mielibyśmy uważać, że na najbardziej mikroskopowym poziomie przestrzeń i czas są ciągłe, a nie dyskretne - w rzeczywistości istnieją pewne teorie grawitacji kwantowej przyjmujące, że czas i przestrzeń nie są ciągłe. Teoria kwantowa wprowadziła dyskretność i skończoność w wielu miejscach, w których kiedyś wierzyliśmy w continuum możliwości. Ale kiedy odrzucimy tę ciągłość, czyli że niekoniecznie między każdymi dwoma wybranymi punktami musi znaleźć się trzeci, struktura czasu i przestrzeni staje się o wiele bardziej skomplikowana. Wiele znacznie bardziej skomplikowanych rzeczy może się zdarzyć. Pytanie o skończoność może również wiązać się z pytaniem o to, czy objętość Wszechświata jest skończona i czy liczba cząstek elementarnych (lub wszelkich możliwie najdrobniejszych obiektów) Natury jest skończona, czy nieskończona. Wówczas mogłaby istnieć tylko skończona liczba sytuacji, do których stosowała by się ostateczna teoria logiczna świata fizycznego. A więc byłby on zupełny.

Interesującą możliwością zastosowania wyników Godła do praw fizyki jest to, że warunek 2 twierdzenia o niezupełności może nie być spełniony. Jak to możliwe? Choć wydaje nam się, że szeroko stosujemy arytmetykę i o wiele większe struktury matematyczne do naukowego badania praw Natury, nie oznacza to, że wewnętrzna logika fizycznego Wszechświata wymaga stosowania tak wielkich struktur. Wykorzystanie wielkich struktur matematycznych oraz takich pojęć jak nieskończoność, jest dla nas niewątpliwie wygodne, lecz może być tylko antropomorfizmem. Głęboka struktura Wszechświata może wyrastać z *znacznie* prostszej logiki niż logika pełnej arytmetyki, a tym samym może być zupełna. Wówczas struktura bazowa mogłaby zawierać albo dodawanie, albo mnożenie, ale nie obie te operacje jednocześnie. Przypomnijmy sobie, że wszelkie sumowania, jakie kiedykolwiek wykonywaliśmy, można było w skrótowy sposób wykonać jako mnożenia. Takie mnożenie jest dopuszczalne także w arytmetyce

Presburgera. Podstawowa struktura rzeczywistości, która wykorzystuje proste związki geometryczne lub opiera się na związkach „większy niż” i „mniejszy niż” albo ich kombinacjach, również może pozostać zupełna.¹⁵ Z faktu, że ogólna teoria względności Einsteina zastępuje wiele takich wielkości fizycznych jak siła i ciężar zniekształceniami czasoprzestrzeni, także mogą wpływać pewne wskazówki, co jest w tej czasoprzestrzeni możliwe.

Być może prawa fizyki dają się w pełni wyrazić w kategoriach systemu matematycznego, który jest kompletny, lecz w praktyce zawsze bardziej będziemy się starać, żeby system ten był prawidłowy, niż zupełny.

Istnieje inny ważny aspekt, z którego należy sobie zdać sprawę. Nawet jeśli system logiczny jest zupełny, zawsze zawiera jakieś niemożliwe do udowodnienia „prawdy”. Są to definiujące go aksjomaty. Kiedy się je już ustali, cały system logiczny może tylko dedukować z nich wnioski. W prostych systemach logicznych, jak arytmetyka Peano, aksjomaty wydają się oczywiste, gdyż myślimy wstecz - formalizujemy coś, co robiliśmy intuicyjnie przez tysiące lat. Patrząc na taką dziedzinę jak fizyka, widzimy podobieństwa, ale i różnice. Aksjomaty czyli prawa fizyki są jej podstawowym celem badawczym. W żadnym razie nie są intuicyjnie oczywiste, gdyż rządzą obszarami niekiedy bardzo odległymi od naszych codziennych doświadczeń. Skutki działania tych praw są w pewnych okolicznościach nieprzewidywalne, gdyż obejmują łamanie symetrii. Dedukowanie tych praw na podstawie rezultatów ich działania, to nie coś, co da się zawsze zrobić, posługując się tylko i wyłącznie programem komputerowym.

Tak więc wykryliśmy ogromną różnicę między formalnymi systemami logicznymi a fizyką. W matematyce i logice zaczynamy od zdefiniowania systemu aksjomatów i praw dedukcji. Następnie możemy starać się wykazać czy system jest zupełny, czy niezupełny oraz wydedukować z aksjomatów tyle twierdzeń, ile zdołamy. W innych naukach nie mamy tej swobody wyboru dowolnego logicznego systemu praw. Dopiero staramy się znaleźć system praw i aksjomatów (przyjmując, że jakiś istnieje - albo może więcej niż jeden), z którego wynikałyby obserwowane rezultaty. Jak podkreślaliśmy wcześniej, zawsze daje się znaleźć taki system dla dowolnego zbioru obserwacji. Jednakże właśnie ten system nie dających się dowieść zdań, które logicy i matematycy ignorują - aksjomaty i prawa dedukcji - najbardziej interesuje naukowców z innych dziedzin, więc starają się go odkryć, a nie po prostu przyjąć. Żeby i w fizyce można było postępować tak, jak robią to logicy, musiałby istnieć z jakiegoś powodu tylko jeden zbiór aksjomatów i praw fizyki. Jak dotąd nie wykluczono, że istnieje;¹⁶ ale nawet jeśli tak, to nie będziemy umieli tego dowieść.

Znane są przykłady problemów fizycznych, które są nierozstrzygalne. Jak można się spodziewać zważywszy to, co powiedziano wcześniej, nie dotyczą one niemożności ustalenia czegoś fundamentalnego na temat natury praw fizyki czy najdrobniejszych cząstek materii. Nie da się jednak przeprowadzić pewnych obliczeń matematycznych, co uniemożliwia przewidzenie biegu wydarzeń w dobrze określonych problemach fizycznych. Jednakże, nawet jeśli problem jest matematycznie dobrze określony, to nie znaczy wcale, że uda się stworzyć dokładnie takie warunki, jakich potrzeba, żeby ta nierozstrzygalność rzeczywiście zaistniała.

Interesujący zestaw tego typu przykładów przedstawili brazylijscy matematycy Francisco Doria i Newton da Costa.¹⁷ W odpowiedzi na problem postawiony przez rosyjskiego matematyka Władimira Arnolda, zajęli się badaniem, czy możliwe jest uzyskanie ogólnych kryteriów matematycznych określających czy dana równowaga jest stabilna, czy nie. Równowagę stabilną ma na przykład kulka leżąca na dnie zagłębienia - kiedy ją trochę przemieścimy, powróci do poprzedniego położenia. Równowagę niestabilną ma stojąco pionowo igła - kiedy ją ruszymy, natychmiast się przewraca.¹⁸ Opisane sytuacje przedstawiono na rys. 8.3. W prostych przypadkach równowagi problem staje się elementarny. Uczą się tego studenci pierwszego roku. Kiedy jednak równowaga ma istnieć w obliczu bardziej skomplikowanych związków między różnymi współzawodniczącymi oddziaływaniami, problem szybko staje się mocno skomplikowany. Dopóki oddziaływań tych jest niewiele, badając równania opisujące sytuację, można nadal ocenić stabilność równowagi. Arnold chciał odkryć algorytm, który mówiłby, czy zawsze można tego dokonać, niezależnie od tego, ile oddziaływań ze sobą współzawodniczy ani jak skomplikowane są ich wzajemne związki. Przez „odkrycie” rozumiał on znalezienie formuły, do której można by podstawić równania oraz definicję stabilności, a w wyniku uzyskać jednoznaczną odpowiedź - „stabilna”, „niestabilna”.

Niestety, da Costa odkrył, że taki algorytm nie może istnieć. Są bowiem takie rodzaje równowagi, scharakteryzowane specjalnymi rozwiązaniami równań matematycznych, których stabilność jest nierozstrzygalna. Aby owa nierozstrzygalność miała jakiś wpływ na istotne problemy fizyki matematycznej, równowagi te musiałyby dotyczyć współdziałania wielkiej liczby rozmaitych sił. Choć takich rodzajów równowagi nie można wykluczyć, nie pojawiły się jeszcze one wśród rzeczywistych problemów fizycznych. Da Costa i Doria zajęli się identyfikacją podobnych problemów, w których odpowiedź na takie proste pytanie jak: „Czy orbita cząsteczki stanie się chaotyczna?” jest góldowsko nierozstrzygalna. Inni

także próbowali zidentyfikować problemy formalnie nierozstrzygalne. Geroch i Hartle rozważali problemy z dziedziny kwantowej grawitacji, które przewidywały wartości potencjalnie obserwowalnych wartości jako sumę warunków, których spisanie jest znane jako „operacja turingowsko nieobliczalna”.¹⁹ Pour-El i Richards wykazali, że pewne szeroko stosowane w fizyce, bardzo proste równania różniczkowe, jak na przykład równanie falowe, mogą dawać nieobliczalne wyniki, kiedy dane początkowe nie są „gładkie”.²⁰ Ów brak gładkości powoduje, że problem staje się, jak mówią matematycy, „źle postawiony”. Właśnie ta cecha prowadzi do nieobliczalności. Jednakże Traub i Woźniakowski wykazali, że każdy źle postawiony problem staje się dobrze postawiony pod pewnymi ogólnymi warunkami.²¹ Wolfram podaje zaś przykłady niepodatności i nie-rozstrzygalności pojawiające się w fizyce ciała stałego.²²

Badanie ogólnej teorii względności Einsteina także prowadzi do problemu nierozstrzygalnego, jeśli wielkości matematyczne są nieograniczone.²³ Znalazłszy dokładne rozwiązanie równań Einsteina zawsze trzeba ustalić, czy nie jest to postać jakiegoś innego, znanego rozwiązania. Zwykle daje się to określić od ręki, ale dla skomplikowanych rozwiązań pomocą jest komputer. W tym celu potrzebne jest oprogramowanie do manipulacji algebraicznych, które pozwoli sprawdzić rozmaite wielkości i ustalić, czy uzyskane rozwiązanie nie jest już identyczne z którymś przechowywanym w banku znanych rozwiązań. W praktyce procedura sprawdzająca daje wynik po kilku krokach. Jednakże w ogólnym aspekcie porównywanie takie jest procesem nierozstrzygalnym, równoważnym słynnemu nierozstrzygalnemu problemowi czystej matematyki (ang. word *problem*) z teorii grup.

Z tych rozważań wynika, że w żaden sposób nie jest oczywiste, by twierdzenie Godła nakładało jakiegokolwiek bezpośrednie ograniczenia na zdolność fizyki do poznawania natury Wszechświata, tylko dlatego, że fizyka wykorzystuje matematykę. Matematyka, której stosowania wymaga od nas Natura może być mniej obszerna i prostsza niż to potrzebne do uzyskania niepełności i nierozstrzygalności. Choć w naukach takich jak fizyka, istnieje mniejszy nieco problem niepodatności i nierozstrzygalności obliczeniowej.

Godeł, logika i ludzki umysł

Uważam, że ludzie żyliby do dzisiaj, gdyby za śmierć groziła grzywna.

NANCY REAGAN

Jedną z wciąż powracających implikacji twierdzenia Godła jest przekonanie, że umysł ludzki stoi w pewnym sensie wyżej od maszyn liczących. Paradoksalnie argumentem za wyższością umysłu nad maszynami jest jego zawodność. Jako że

maszyna ślepo stosuje się do praw logiki, które jej zaprogramowano, obejmuje ją przekleństwo twierdzenia Godła i dlatego nie potrafi ona ocenić prawdziwości ani fałszu wszystkich zdań w swoim języku. Natomiast umysł ludzki nie jest niewolnikiem argumentów dedukcyjnych. Aby poznać prawdę, może używać intuicji, zgadywania, indukcji i wszelkich innych środków niededukcyjnego rozumowania. Jaki stwierdza, że

Twierdzenie Godła podkreśla przeogromną wyższość ludzkiego umysłu nad takimi jego produktami jak najbardziej zaawansowane komputery²⁴

a Nagel i Newman uważają, że

Wnioski Godła podnoszą kwestię, czy można skonstruować maszynę liczącą, która dorówna ludzkiemu umysłowi w matematycznej inteligencji [...] jak wykazał Godeł [...] istnieją niezliczone problemy w elementarnej teorii liczb, wychodzące poza ustalone metody aksjomatyczne, których takie maszyny nie są zdolne rozwiązać, niezależnie od tego, jak skomplikowane i genialne mogą być wbudowane w nie mechanizmy i jak szybko mogą przeprowadzać swoje operacje [...] umysł ucieleśnia strukturę reguł operacyjnych, znacznie potężniejszą niż struktura obecnie budowanych sztucznych maszyn [...] zasoby ludzkiego intelektu nie były i nie mogą być w pełni sformalizowane, a nowe zasady dowodzenia zawsze czekają na wynalezienie i odkrycie.

Sprzeciwiano się ostro takim konkluzjom. Filozof Michael Scriven tak wypowiadał się o Nagel u i Newman ie:

Nagela i Newmana uderza fakt, że niezależnie od aksjomatów i reguł ich wykorzystania, jakie zada się komputerowi, będzie istnieć prawda matematyczna, której komputer ten nigdy nie „osiągnie” wychodząc z danych aksjomatów i

reguł. To prawda, ale ich założenie, że my zadamy maszynie właściwą koncepcję prawdy matematycznej, dając jej aksjomaty i reguły ich wykorzystania, nie jest prawdą [...]. Twierdzenie Godła jest dla komputerów nie większą przeszkodą niż dla nas [...]. Tak, jak my potrafimy rozpoznać prawdziwość formuły, której nie da się dowieść, porównując to, co ona mówi, z tym co wiemy, że jest prawdą, dokładnie tak samo potrafi to zrobić komputer.

Najsłynniejszym argumentem za wyższością ludzkiego rozumowania w porównaniu z komputerem była praca oksfordzkiego filozofa Johna Lucasa zatytułowana *Minds, machines and Godel*, w której autor przekonywał, że

Istota świadoma może poradzić sobie z pytaniami Godła w sposób, w jaki maszyny nie potrafią, gdyż istota świadoma potrafi rozważać zarówno siebie, jak i swoje dokonania a jednocześnie być tym, kto działa. Można sprawić, żeby maszyna „rozważała” swoje dokonania, ale nie może wziąć tego „pod uwagę”, nie stając się przy tym inną maszyną z dodaną „nową częścią”. A [...] świadomy umysł [...] może zastanawiać się nad samym sobą [...] i niepotrzebna jest dodatkowa część.

Rozumowanie to przyciągnęło uwagę mnóstwa krytyków z obszaru nauk ścisłych. Wiele wypowiedzi można znaleźć u Douglasa Hofstadtera.²⁸ Argumenty w stylu Lucasa rozwinęli Rudy Rucker i Roger Penrose.²⁹ Rucker zastanawia się nad ostateczną sztuczną inteligencją, którą nazwał uniwersalną maszyną prawdy (*Uniwersal Truth Machine*, UTM). Wykazuje, że na mocy twierdzenia Godła można skonstruować zdanie prawdziwe, którego UTM nigdy nie zbuduje. Zdanie Godła jest

specyficznym problemem matematycznym, na który znamy odpowiedź, nawet jeśli UTM jej nie zna! Tak więc UTM nie zbuduje i nie potrafi zbudować najlepszej i ostatecznej teorii matematycznej.³⁰

Penrose podjął to rozumowanie i użył go jako odskoczni dla argumentu za specyficznymi niealgorytmicznymi procesami zachodzącymi w mózgu. Także i tym razem pojawiło się wiele krytyk, przy czym na część z nich Penrose odpowiedział.³¹ Jednakże najbardziej interesujący przyczynek wszystkich wspomnianych rozważań nad stwierdzeniami gódlowskimi, i ich rolą jako dowodu na wyższość ludzkiej intuicji nad „inteligencją” maszyn wyłonił się podczas debaty między Johnem Lucasem, przedstawicielem nauk ścisłych Christopherem Longuet-Higginsem i filozofem Anthonym Kennym opublikowanej pod tytułem *Naturę of the Mind* (była to część Wykładów Gifforda z roku 1970 na uniwersytecie w Edynburgu). Podkreślono symetryczne związki między ludźmi a maszynami w tym sensie, że każda ze stron potrafi zrobić coś, czego druga nie potrafi. Każda osoba i każda maszyna może wypowiedzieć zdanie, którego inni nie mogą logicznie uzyskać, lecz fakt ten nikomu nie przyznaje wyższości. Kenny zabiera głos:

Pamięta pan, jak John Lucas przekonywał, iż umysły nie są maszynami, gdyż wszystkie maszyny działają algorytmicznie, a my potrafimy skonstruować coś, co będzie zdaniem gódlowskim [...] potrafimy przedstawić je wraz z formułą, o której wiemy, że jest prawdziwa, a której prawdziwości maszyna nie potrafi dowieść [...] jeden z jego krytyków powiedział: Weźmy zda-

nie „John Lucas nie może niesprzecznie dokonać tego osądu” [...]. Z całą pewnością każda inna istota ludzka, z wyjątkiem Johna Lucasa może ujrzeć w tym prawdę, bez sprzeczności. Jednak z całą pewnością John nie może dokonać tego osądu bez sprzeczności, co pokazuje, że wszyscy mamy cechę, której on nie ma, co stawia nas o tyle wyżej od niego o ile wyżej my stoimy od komputerów...”

Podobny argument, choć bardziej szczegółowy, przytoczył w odniesieniu do wywodów Penrose'a specjalista od komputerów John McCarthy w *The Emperor's New Mind*.³³ U podstaw wszystkich tych debat zawsze czai się jedno założenie - że działanie mózgu jest niezawodne, jeśli spojrzeć nań jak na procesor logiczny. Tak naprawdę, nie ma powodu, żeby tak uważać (a istnieje ich wiele, żeby tak nie uważać!). Mózg jest etapem w toczącym się procesie ewolucji. Umysł nie rozwinął się po to, żeby zajmować się matematyką. Jak większość produktów ewolucyjnych nie musi być doskonały, wystarczy, że będzie tylko trochę lepszy od poprzednich swoich wydań i na tyle dobry, żeby uzyskać przewagę selekcyjną. Jeśli przyjmujemy, że mózg jest zawodny, to oszacowywanie zdań gódlowskich nie ma nic do rzeczy. Trzeba będzie się zgodzić, że umysł jest ostatecznie sprzeczny a nie niepełny. W efekcie nie można nic więcej powiedzieć na temat jego porównania z algorytmicznymi maszynami.

Problem wolnej woli

Musimy wierzyć w wolną wolę. Nie mamy wyboru.

ISAAC SINGER

Karl Popper jako pierwszy zastosował gódlowski styl argumentacji do zagadnienia zupełnego poznania siebie, wolnej woli i determinizmu, w swoich dwóch artykułach do pierwszego wydania „The British Journal of the Philosophy of Science” w 1950 roku.³⁵ Popper wykazał, że deterministyczna maszyna licząca nie może dokonać predykcji swojego przyszłego stanu, który pozostałby w mocy, będąc zawartą w samej sobie, gdyż proces zawierania nieuchronnie sprawi, że stanie się przestarzała. Fizykom znany był heurystyczny obraz heisenbergowskiej zasady nieoznaczoności, czyniącej dokładny pomiar niemożliwym, gdyż każdy akt mierzenia zakłóca system tym bardziej im mniejsze są mierzone wymiary. Popper wykorzystał logiczny ekwiwalent tego zakłócenia, będący prostą konsekwencją wcześniejszych stwierdzeń Godła i Turinga, by wykazać ograniczenie zdolności komputera do zrozumienia i przewidzenia swojego zachowania w sposób zupełny - zupełny opis samego siebie jest logicznie niemożliwy. Dylemat ten niewiele różni się od tego, jaki dręczył fikcyjną postać Tristrama Shandy, który uznał, że jego autobiografia nie jest w stanie nadażyć za jego tempem życia, gdyż

Aby w sposób zupełny przewidzieć samego siebie, trzeba w sposób zupełny przewidzieć samego siebie, przewidującego samego siebie, a wówczas trzeba przewidzieć samego siebie, przewidującego samego siebie, przewidującego samego siebie. Nieskończoność tego jest oczywista.

Argument ten podchwycił i zastosował do zagadnień teologicznych i filozoficznych brytyjski uczony Donald Mackay. Był on płodnym autorem prac na temat religii i nauki. Pisał stylem oszczędnym i logicznym, a jego podejście nosiło ślady kalwińskiego wychowania. Najbardziej interesowały go sprawy wolnej woli i determinizmu, starał się więc wykorzystać argumenty Godła i Poppera do wyklarowania niejasności, wykrywanych przezeń w większości dyskusji na temat determinizmu, przeznaczenia i wolnej woli. Jego wywody, choć logicznie precyzyjne i rygorystyczne, były bardzo bezpośrednie, więc prezentowano je w wielu magazynach przeznaczonych dla ogółu czytelników. Godne uwagi są zwłaszcza te, które opublikowano w dwóch numerach „The Listener” - tygodniku BBC, w maju 1957 roku.

Mackay proponuje rozważyć świat całkowicie deterministyczny (na chwilę zapominamy o takich rzeczach jak nieoznaczoność mechaniki kwantowej i skończona dokładność przyrządów pomiarowych). Wszystkie zjawiska, nawet decyzje osobiste i opinie, powinny być całkowicie zdeterminowane przez system sztywnych praw Natury. Zrealizowana zostaje wizja Laplace'a. Teraz zadajemy pytanie, czy byłoby możliwe, choćby teoretycznie, w sposób zupełny przepowiedzieć czyjeś zachowanie w tym świecie?

Na pierwszy rzut oka można by pomyśleć, że tak. Lecz przyjrzyjmy się temu wnikliwiej. Rozważmy osobę, która ma zdecydować, czy na obiad będzie jeść zupę, czy sałatkę. Jeśli do sytuacji wprowadzimy bystrego naukowca, który nie tylko zna dokładny stan mózgu rozważanej osoby, lecz także stan całego obecnego wszechświata, moglibyśmy zapytać, czy uczony ten mógłby bezbłędnie powiedzieć, jakiego wyboru dokona badana osoba. Odpowiedź brzmi „nie”. Badana osoba zawsze może okazać się uparta i przyjąć strategię typu: „jeśli ty powiesz, że wybiorę zupę, to ja wybiorę sałatkę i odwrotnie”. W takich warunkach okazuje się logicznie niemożliwe, żeby uczony - jeśli tylko oznajmi swoje przewidywania - mógł bezbłędnie przewidzieć, co osoba ta wybierze.

To nie oznacza, że nie będzie on bezbłędnie wiedział, co badana osoba wybierze. Dopóki zatrzyma tę wiedzę dla siebie, jego deterministyczna teoria na temat wyboru dania może cały czas być bezbłędna. Może przekazać ją innym ludziom. Może nawet napisać swoje przewidywania na kartce i pokazać je badanej osobie po tym, jak wybierze ona danie. W obu przypadkach jego przewidywania mogą być prawidłowe, lecz nie wywrą żadnej presji na wolny wybór badanej osoby. Tylko wówczas, kiedy zdecyduje się ujawnić je tej osobie, że jej

wybór został zdeterminowany, może ona zawsze, jeśli zechce, sfalsyfikować to przewidywanie. Kiedy bowiem przewidywanie staje się znane, nie może w sposób nieuwarunkowany wiązać osoby, której działanie zostało przewidziane. Osoba ta zawsze może zadziałać w taki sposób, żeby sfalsyfikować przewidywanie. Nie musi tego zrobić, lecz może. Nie mamy żadnej pewności, że tego nie zrobi. Przyjrzyjmy się sprawie jeszcze bliżej. Przypuśćmy, że jesteśmy w posiadaniu teorii zupełnej pozwalającej przewidywać nasze następne działanie, jeśli znamy obecny stan swojego mózgu. Chcemy wykazać, jak dobrzy w tym jesteśmy i pokazujemy swoje przewidywania innym osobom, które chcemy przekonać, że działamy dokładnie tak, jak przewidzieliśmy. Przypuśćmy, że nasz mózg jest w stanie 1, a my przewidujemy, że zadziałamy w sposób P(1). Czy mamy rację, wierząc w prawdziwość przewidywania P(1), jeśli zostanie ono nam pokazane?

Najpierw musimy rozważyć, jaki efekt na mózg będzie miała wiara w przewidywanie P(1). Jeśli wiara w to

przewidywanie zmieniała stan naszego umysłu na 2, to akt wiary w P(1) wprowadzi mózg w stan odmienny od tego, na którym przewidywanie było oparte. Nowy stan mózgu 2 spowoduje pojawienie się nowego przewidywania P(2). Kluczową kwestią jest to, czy możemy wbudować w nasze przewidywania efekt dokonania znanego nam przewidywania P(1), tak byśmy mogli dokonać przewidywania P(2). Jeśli jednak tak właśnie zrobiliśmy, nie możemy twierdzić, że P(2) jest właściwym przewidywaniem, gdyż to stan mózgu 2 prowadzi do przewidywania P(2), a jeśli wierzymy w P(2), to nasz mózg zmienia stan 2 na nowy stan 3 i wówczas P(2) nie jest prawidłowym przewidywaniem działania, które nastąpi przy wyjściowym stanie mózgu 3. Warunkiem dokładności wszelkich przewidywań na temat naszego zachowania jest niewiara w nie.

To wielce interesujący stan rzeczy. Zwykle myślimy o czymś, co jest „prawdziwe”, że jest prawdziwe dla każdego. Tutaj taka uniwersalność nie zachodzi. Korelacja między stanami mózgu a wiedzą stwarza logiczną nieoznaczoność przyszłości - istnieje rozróżnienie między czymś, co jest przewidywalne dla innych, a nieuchronne dla nas.

Celem Mackaya było wykazanie, że deterministyczny model działania mózgu nie wyklucza wolnej woli jednostek (w zwykłych warunkach). Mackay nie odnosi się do nieoznaczoności kwantowych ani do nieobliczalności. Dokonuje również najmocniejszego założenia na temat modelu mózgu kodującego myśli i uczucia danej osoby - że wszystko, co osoba ta widzi, słyszy, czuje, uważa itp. jest całkowicie i w jedyny sposób zakodowane w fizycznym stanie jej mózgu. Tak więc zmiana przekonania na jakiś temat (czyli zmiana poglądów) będzie reprezentowana przez specyficzną transformację mózgu z jednego stanu w inny.

Wyjaśniając, co rozumie przez „wolność”, Mackay pisze: nazwanie człowieka „wolnym” może oznaczać (a), że działanie było nieprzewidywalne dla nikogo. Nazwałbym to wolnością kaprysu; lub (b), że jego decyzja należy do niego, w takim sensie, iż dopóki nie podejmie on decyzji, nie zostanie ona podjęta i że to on ma ją podjąć oraz że nie istnieje żadna w pełni zdeterminowana specyfikacja owej decyzji, którą mógłby prawidłowo zaakceptować jako nieuchronną i nie mógł jej sfalsyfikować, gdyby ją znał.³⁷

Mackay stosuje do rozumowania do zagadnienia boskiej wszechwiedzy na temat przyszłości, przekonując, że

boska wszechwiedza o przyszłości to nie jest coś, w co możemy wierzyć, jeśli tylko ją znamy - ponieważ dla nas (przeciwnie niż dla Boga) pociągałoby to za sobą sprzeczność.

Wychodząc z tego punktu, wyciąga wniosek, że fizyczny determinizm (przetwarzania neuronalnego) nie implikuje „metafizycznego determinizmu (zaprzeczając ludzkiej wolności i odpowiedzialności)”. Ponadto to, co wielu uznaje tradycyjnie jako doktrynę teologiczną przeznaczenia, jest logicznie niemożliwe. Wcześniejsze dysputy dotyczyły poważnych uchybień logicznych tej sytuacji:

Może to brzmieć dziwnie dla tych z nas, którzy przywykli sądzić, że doktryna boskiej wszechwiedzy o przyszłości oznacza tylko to - że już teraz istnieje opis nas i naszej przyszłości, a także wyborów, których jeszcze nie dokonaliśmy, opis ten jest dla nas wiążący, jeśli go znamy, gdyż jest on znany Bogu. Mam jednak nadzieję, że teraz stało się jasne, iż dla Boga takie stwierdzenie to żaden honor, gdyż w ten sposób tylko umieszczamy go w logicznej sprzeczności. W tym momencie nie znamy żadnych takich opisów przyszłości - jeśli jednak jakiś istnieje, musi opisywać nas jako tych, którzy weń nie wierzą. Ale w takim przypadku, wierząc weń, będziemy w błędzie, gdyż nasza wiara go sfalsyfikuje! Z drugiej strony takie zmienienie tego opisu, żebyśmy występowali w nim jako ci, którzy weń wierzą, także nie będzie miało sensu, gdyż w tym momencie jest to fałszywe, czyli, choć wiara weń byłaby prawidłowa, nie popełniamy też błędu, jeśli weń nie wierzymy! Tak więc boska wiedza o naszej przyszłości, rzecz zastanawiająca, nie ma nad nami bezwarunkowej logicznej mocy, jeśli jest nam nieznaną.

Moim zdaniem, to ujawnia fałszywe rozumowanie leżące u podstaw zarówno dysputy teologicznej między arminianizmem a kalwinizmem, jak i filozoficznej między fizycznym czy psychologicznym determinizmem [...] a libertynizmem w odniesieniu do ludzkiej odpowiedzialności [... gdyż] na-

wet Boska nadrzędność nad każdym poruszeniem naszego dramatu nie zaprzecza [...] naszemu przekonaniu, iż jesteśmy wolni w takim sensie, że nie istnieje żadna determinująca specyfikacja, co do której - gdybyśmy ją tylko znali - nie popełnilibyśmy błędu, w nią wierząc, a myliliśmy się, nie wierząc, czy by nam się to podobało, czy nie.

Argumenty te stanowią jasną i prostą przesłankę dla wszelkich badań nad przewidywalnością i wyjaśnianiem. Mówią one, że istnieją nieprzewidywalne aspekty zjawisk deterministycznych w sposób zupełny.

Pojawia się jednak kolejny dylemat, który można wyprowadzić na podstawie rozważań Poppera i Mackaya. Otóż Mackay wprowadza Nadistotę dokonującą przewidywań, a przedmiotem przewidywań tej Nadistoty są dwa różne „umysły”. A co był się stało, gdyby umysły te były jednym? Przypuśćmy, że wiemy tak wiele na temat działania mózgu i zewnętrznego Wszechświata, iż potrafimy obliczyć, jakie danie wybiorę na obiad. Przypuśćmy dalej, że jestem przewrotny i postanawiam celowo nie jeść tego, co według swoich obliczeń będę jadł. Tym sposobem udało mi się sprawić, że przewidzenie, co wybiorę, jest logiczną niemożliwością. Gdybym jednak postanowił być miły, mógłbym umówić się z sobą, że jednak wybiorę do jedzenia to, co według swoich obliczeń będę jadł. W takim przypadku udaje mi się przewidywać swoje przyszłe działania -choć jedynie wówczas, kiedy tak postanowię. Paradoksalne wychodzi na to, że od mojej decyzji zależy, czy potrafię przewidywać swoją przyszłość, czy nie.

Przyjrzyjmy się, jakie problemy stwarza to dla Nadistoty. Jeśli jednak złośliwie postanowi działać przeciwnie do swoich przewidywań, nie może przewidywać przeszłości, a więc Wszechświat nie może być deterministyczny w sposób zupełny. W takim przypadku Nadistota nie może znać całej struktury Wszechświata. Wszechmoc jest dla niej logicznie niemożliwa, jeśli chce działać sprzecznie. Jeśli jednak nie chce działać sprzecznie, to może być wszechmocna. Żadna istota nie może przewidzieć, co będzie robić, jeśli nie będzie robić tego, co przewidziała, że będzie robić!

Gra reakcji

Nigdy nic nie przewidujesz. Przewidujesz tylko to, co się już stało.

EUGENE IONESCO"

Powiada się, że prognozowanie gospodarcze różni się od prognozowania pogody, gdyż prognozowanie gospodarcze może zmienić gospodarkę, a prognozowanie pogody nie może zmienić pogody. Taka działalność jak prognozowanie gospodarcze wykazuje nieuniknioną zależność od tego, co zostało przewidziane w procesie przewidywania, jak to zostało pokazane w rozważaniach Mackaya

nad ludzkimi wyborami. Jednakże, mimo tej oczywistości, ekonomista, laureat Nagrody Nobla Herbert Simon wysunął błędną hipotezę, że jest możliwe sporządzenie przewidywań wyników wyborów, automatycznie dostosowanych do tego, by brały pod uwagę reakcję wyborców. Politolodzy nazwali to „paradoksem reakcji”, jakby byli całkiem nieświadomi wniosków Poppera i Mackaya.⁴² Simon posuwa się aż do stwierdzenia, że jego wniosek „obala rozumowanie, iż byłoby logicznie niemożliwe dokonywanie dokładnych przewidywań [wyników...]”⁴³

W pracy z 1954 roku, zatytułowanej *Bandwagon and underdog effects in election predictions*,⁴⁴ Simon twierdzi, że znalazł sposób na dokonywanie prawidłowych przewidywań, nawet jeśli przewidywania te podane zostaną do wiadomości wyborców, zamykając wywód (sprzecznie z wnioskami Poppera i Mackaya, których prac jest najwyraźniej nieświadomy) stwierdzeniem, że „Dowód ten obala wysnuwane powszechnie wnioski, iż prawidłowe przewidywanie zachowań społecznych jest niemożliwe”.

Dowód Simona jest jednak błędny. W sposób nieuprawniony wykorzystuje bowiem twierdzenie matematyczne, zwane twierdzeniem Brouwera o punkcie stałym.⁴⁵ Aby twierdzenie to można było stosować, musielibyśmy mieć nieskończony elektorat i kontinuum przewidywań oraz odpowiedzi. Ciekawe, że fałszywe „twierdzenie” Simona zajmuje poczesne miejsce w literaturze polito-logicznej. Miejmy nadzieję, że żaden ze strategów wyborczych zbytnio nań nie liczy. „Polityka praktyczna”, jak powiedział kiedyś Henry Brooks Adams, „polega na ignorowaniu faktów” - jest to jednak ryzykowny sposób działania.

Jednakże Karl Aubert wykazał, że jeśli problem reakcji zanalizuje się prawidłowo, z uwzględnieniem, że istnieje tylko skończona liczba różnych reakcji na przedwyborcze prognozy i skończona liczba wyników wyborów (a nie nieskończone kontinuum), to możemy obliczyć prawdopodobieństwo, że przewidywanie wyników będzie trafne. Jeśli wybory mają n ewentualnych wyników i przyjmiemy, że wszystkie możliwe reakcje na przewidywania przedwyborcze są jednakowo prawdopodobne (co oczywiście nie zawsze musi być spełnione w praktyce), to prawdopodobieństwo trafnego przewidzenia wyników dla danego n wyraża się prostym wzorem:

$$\text{Prawdopodobieństwo } (n) = 1 - (1 - 1/n)$$

Kiedy jest tylko jeden możliwy wynik, to prawdopodobieństwo ($n = 1$) = 1 i możemy mieć 100 procent pewności, że dobrze zgadniemy. Przy dwóch wynikach nasze szansę wynoszą 75 procent; przy trzech - 70 procent, jednym słowem wraz ze wzrostem n , wartość prawdopodobieństwa (n) maleje, zbliżając się coraz bardziej do wartości 0,63. Wynik ten jest zaskakujący. Jest co najmniej 63 procent szansy, że prawidłowo odgadniemy wynik wyborów, nawet

jeśli liczba możliwych wyników jest bardzo duża. To nieco lepiej niż przy przypadkowym wyborze (szansa trafienia wynosi wówczas 50 procent), ale nigdy nie będzie to 100 procent dla większej liczby kandydatów.

Ostatnio przeprowadzono badania, które zaowocowały mocniejszymi twierdzeniami na temat niemożliwości przewidywania przyszłości.⁴⁷ Można wykazać, że niemożliwa jest budowa komputera, który potrafiłby prawidłowo przewidzieć swój przyszły stan, zanim stan ten rzeczywiście zaistnieje. Niemożliwość ta nie znika nawet wówczas, kiedy staramy się przewidzieć przyszłe stany skończonych systemów niechaotycznych (czyli takich, które nie są wrażliwe na nieprecyzyjność zadanego stanu początkowego), nieprzejawiających kwantowomechanicznej nieoznaczoności. Jest to prawda nawet jeśli komputer jest nieskończenie szybki i o wiele potężniejszy niż maszyna Turinga. Rezultat ten przypomina fizyczne analogie twierdzenia Godła - mówi nam, że nie można przetwarzać informacji szybciej, niż może to zrobić Wszechświat.

Matematyka ożywiona

Co to jest takie, co napelnia równania ogniem i sprawia, że ożywają?

JOHN A. WHEELER

Jak dotąd uważaliśmy matematykę za coś całkiem odmiennego od świata, który badają naukowcy z innych dziedzin. Widzieliśmy w niej zbiór wszystkich możliwych wzorców, z których musimy wybierać te, nadające się do opisu niektórych aspektów zachowania Natury. Istnieje jednak inny, bardziej niezwykły sposób myślenia o matematyce, który przedstawiłem w swojej książce *U razy drzwi*. *

W fizyce i kosmologii zwykle wyobrażamy sobie zbiór możliwych światów, a następnie zadajemy pytanie - jak mały jest podzbiór wszystkich możliwości, pozwalający na ewolucję zorganizowanej złożoności, wystarczająco skomplikowanej, by ją nazwać „żywą”? Zbiór warunków utrzymujących życie wydaje się bardzo mały, w takim sensie, że gdyby choć jedna z wielu charakterystyk obserwowalnego wszechświata oraz praw i stałych fizyki choć odrobinę się zmieniło, to obserwatorzy nie mogliby istnieć. W takim razie to odkrycie być może mówi nam coś ważnego i głębokiego na temat powstania struktury Wszechświata i definiujących go cech.

Zastosujmy ten sposób rozumowania do matematyki. Aby to zrobić, powinniśmy radykalnie zmienić perspektywę. Znamy dwa poglądy na to, co rozumie się pod słowem „istnienie”. Dla matematyków o podejściu formalnym, na przykład dla Hilberta, to nic innego jak tylko logiczna niesprzeczność - w świecie

matematyków wszystko, co jest wolne od logicznej niesprzeczności dopuszcza się do istnienia.⁴⁸ Dla uczonych z innych dziedzin istnienie czegoś oznacza, że obserwujemy to coś we Wszechświecie. Musi być fizycznie rzeczywiste. Zwykle też przyjmują, że to musi oznaczać, iż rzeczywistość fizyczna jest o wiele mniejsza niż matematyczny wszechświat logicznie niesprzecznych możliwości. A co, jeśli tak naprawdę są one jednym i tym samym?⁴⁹ Taką możliwość badałem w książce *U razy drzwi*. Wyobraźmy sobie zbiór wszystkich możliwych systemów matematycznych, zdefiniowanych przez wszystkie możliwe systemy aksjomatów i reguły dedukcji. Po czym zadajmy pytanie „jak skomplikowana musi być struktura matematyczna, żeby pozwoliła na charakteryzowanie świadomego obserwatora”? Jeśli Penrose miał rację, co do związków między świadomością a zdaniem Godła, to konieczna będzie niezupełność, aby można było w tym formalizmie zawrzeć świadomość. A to oznacza, jak przekonałem się na wcześniejszych stronach tego rozdziału, że formalizm musi być wystarczająco skomplikowany, żeby zawierać arytmetykę - geometria nie wystarczy. Można posunąć się dalej i zobaczyć, które aspekty logiki, rachowania i innych podstawowych wzorców matematycznych będą konieczne dla reprezentacji zorganizowanej złożoności, wystarczająco egzotycznej, aby opisywała życie. Jeśli przyjmujemy bezkompromisową postawę Platona (jak to zrobił Godeł⁵⁰), to pogląd ten staje się bardzo naturalny, gdyż formalizm jest reprezentacją jakiejś rzeczywistości.

Dziwniejszy rodzaj niemożliwego

Wybory wygrywa się głównie dlatego, że większość ludzi głosuje przeciwko komuś, a nie na kogoś,

FRANKUN P. ADAMS⁵¹

Socjologowie i politycy od dawna interesują się subtelnościami głosowania. Dzisiaj bowiem głosowanie nie ogranicza się tylko do uczestnictwa w wyborach czy zawodów narciarskich - na przykład sondy kosmiczne (jak również inne nowoczesne systemy techniczne), często znajdują się pod kontrolą dużej (nieparzystej!) liczby komputerów, które na podstawie dokonanej przez siebie analizy danych „głosują”, czy nastąpi wystrzelenie, czy nie. Jeśli dwa głosują „przerwać”, a jeden „wystrelić”, to misja zostaje przerwana. Jeszcze dziwniejsze, że istnieją poważne teorie na temat funkcjonowania ludzkiego umysłu, które przedstawiają go jako wielopoziomowy system czynników, współdziałających

raczej jak społeczeństwo i głosujących, każdy osobno, za podjęciem określonego działania. Jakoś w końcu dochodzi do konkretnego wyboru. Taki obraz „społeczeństwa umysłu” zaproponowany po raz pierwszy przez Marviną Minsky'ego, z pewnością zgadza się z naszym poczuciem, bycia w rozterce lub niezdecydowania w obliczu skomplikowanych alternatyw. Łatwo sobie wyobrazić, że każda

forma naturalnej złożoności wystarczająca aby wytworzyć myślenie o sobie samej czy pozwolić na świadome wybory, będzie mieć wszelkie ograniczenia wspólne dla procedur wyborów.

W niniejszym rozdziale rozważaliśmy rozmaite sposoby, jakimi całościowe struktury systemów logicznych mogą kreować niemożliwości. Kończymy pokazaniem, jak można stworzyć kolektywną niemożliwość, dodając do siebie dużo doskonale racjonalnych wyborów.

Wyobraźmy sobie, że słuchamy debaty rządowego trybunału, który musi podjąć daleko idące decyzje na temat przyszłości kraju. Mamy trzy możliwości: (1) w kraju będzie działać tylko państwowa służba zdrowia - PSZ, (2) tylko system prywatnych ubezpieczeń, (3) będą działać oba te systemy.

Członków trybunału nazwijmy literami A, B i C. Każdy głosuje zgodnie ze swoim przekonaniem - A głosował za opcją 1 przeciw 2 i przeciw 3, B za opcją 2 przeciw opcji 3 i opcji 1, a C za opcją 3 przeciw opcji 1 i opcji 2. Urzędnicy uważnie spisali wyniki i policzyli głosy. Okazało się, że opcja 1 przeważała nad opcją 2 dwoma głosami do jednego, a opcja 2 przeważała nad opcją 3 dwoma głosami do jednego. „Tak jest!” ogłosił A. „Od tej chwili mamy tylko PSZ, doskonale!” „Chwileczkę, to trochę dziwne”, wtrącił się sir Humprey. „Opcja 3 przeważa nad opcją 1 dwoma głosami do jednego; 1 bije 2 i 2 bije 3, ale 3 bije 1. O co tu chodzi, panie ministrze?”

Ten drobny przykład jest niezwykle niepokojący. Po raz pierwszy rozpatrzył go w 1785 roku francuski matematyk i socjolog, markiz Condorcet. Demokratyczny system wyborczy wydaje się powodować logiczną sprzeczność. Paradoks pojawia się, kiedy przechodzimy od indywidualnych wyborów do kolektywnych. Wspólne rozumowanie raczej nie jest sumą rozumowań indywidualnych.

Wybory społeczne to stworzenia całkiem odmienne od wyborów indywidualnych, pomimo faktu, że składają się z tychże indywidualnych wyborów. W rezultacie kolektywne wybory społeczne przejawiają niekiedy arbitralność, która nie odzwierciedla sposobów podejmowania prywatnych decyzji. Te ostatnie wynikają ze skłonności i gustu jednostki, a kolektywne wybory społeczne nie. Społeczeństwo samo w sobie nie ma skłonności czy gustu.

Najważniejszym współczesnym odkryciem odnoszącym się do przykładu „trybunału” było to, że ów scenariusz tylko wydaje się nierealny i tylko na pozór nie może pojawić się w rzeczywistym życiu.⁵² Amerykański politolog Alan Taylor wykazał, że problem ten wystąpił naprawdę podczas wyborów deputowanego ze stanu Nowy Jork do amerykańskiego senatu w 1980 roku. Kandydatów było trzech - konserwatysta Alphonse D'Amato (który jednocześnie stał się znany jako przewodniczący komitetu badającego aferę Whitewater, w którą zamieszani byli Clintonowie) i dwoje liberałów, Elizabeth Holtzman i Jacob Javits. Przeprowadzono sondaże wśród opuszczających punkt wyborczy (tzw. metoda

ex/t po// - każdy wyborca miał podać przewidywaną przez siebie kolejność kandydatów), więc należało się spodziewać, że łatwo będzie uzyskać wiarygodny obraz preferencji wyborców. Sześć możliwych kolejności określono procentowo, jak pokazano w tabeli 8.1.

Oficjalne rezultaty dwóch kandydatów były dość wyrównane - D'Amato uzyskał 45 procent głosów, Holtzman 44 procent, a Javits tylko 11 procent. Jednakże, patrząc wnikliwiej na wyniki, Holtzman pokonała Javitsa 66 procent do 34 procent głosów, ale pokonała również D'Amato 51 procent do 49 procent. Okazało się jasne, że wynik wyborów jest bardzo wrażliwy na to, w jaki sposób opracowuje się głosy.

Owe paradoksy racjonalnego wyboru demonstrują zjawisko, które logicy nazywają nieprzechodnością - fakt, że z tego, iż A woli B, a B woli C, wcale nie wynika, że A woli C. Jeśli A woli B i B woli C *oznacza*, że A woli C, to mówimy o przechodności. Przekonaliśmy się, że preferencje mogą być nieprzechodnie. Wygrane w meczach piłkarskich są nieprzechodnie - jeśli Arsenal pokonał Spurs, a Spurs pokonało Chelsea, to wcale nie znaczy, że Arsenal wygra z Chelsea. Inną nieprzechodnią relacją jest „lubienie” - to że „Peter lubi Pippę”, a „Pippa lubi Paula”, wcale nie *oznacza*, że „Peter lubi Paula”. Natomiast relacja „większy od” jest przechodnia. Jeśli liczba A jest większa od liczby B, a liczba B jest większa od liczby C, to liczba A musi być większa od liczby C. W odniesieniu do dokonywania wyborów paradoksalne jest to, że - o czym się przekonamy - nie ma żadnej reguły dotyczącej podejmowania decyzji, która regulowałaby przekazywanie koncepcji racjonalności opartej na przechodności od jednostek do zbioru jednostek.

Nieprzechodność pojawia się także w innych postaciach, na przykład kiedy wyborcy głosują na partie zależnie od ich stanowiska co do różnych spraw. Przypuśćmy, że wyborcy głosują na kandydatów zajmujących stanowisko w

dwóch ważnych sprawach. Alternatywami są, powiedzmy - „państwowa służba zdrowia” (S) i „prywatna służba zdrowia” (P) oraz „więcej pracy” (J)

i „niższe podatki” (T). Cztery możliwe kombinacje stanowisk kandydatów to -SJ, ST, PJ i PT. Przypuśćmy, że preferencje trzech wyborców są następujące

Wyborca 1:(SJ, ST, PJ, PT) Wyborca 2: (ST, PT, SJ, PJ) Wyborca 3:
(PJ, PT, SJ, ST)

Widzimy, że żadne ze stanowisk nie ma przewagi nad innymi, jeśli porównuje się je po kolei (patrz rys. 8.4).

Ciekawe w tym prostym przykładzie jest to, że gdybyśmy wzięli pod uwagę oddzielne głosy na poszczególne sprawy, to wyborcy 1 i 2 woleliby S od P, a wyborcy 1 i 3 woleliby J od T. A jednak, mimo iż większość wolałaby S od P i J od T, gdyby liczyć głosy oddzielnie, to połączone stanowisko PT przebija stanowisko SJ, gdyż taki układ wspiera większość głosujących (wyborcy 2 i 3). Warto wiedzieć, że większość takich połączonych stanowisk można skomponować z alternatyw popieranych tylko przez mniejszości. Dlatego politycy lubią tworzyć agendy przemawiające do najróżniejszych grup mniejszościowych, I znów widzimy, że przejście od indywidualnych preferencji do życzeń ogółu może być niezgodne z intuicją.

Proste formy tych paradoksów wyborczych znane są od dziewiętnastego wieku, lecz zwykle uważano je za ciekawostki i zjawiska, których z łatwością da się uniknąć w życiu, coś w rodzaju omawianych wcześniej logicznych paradoksów, poprzedzających rozwój logiki. Sytuacja dramatycznie się zmieniła w 1950 roku, kiedy amerykański ekonomista Kenneth Arrow w sposób ogólny i przejrzysty zanalizował problem demokratycznego wyboru. Rezultat tych badań, które przyczyniły się do otrzymania przez Arrowa Nagrody Nobla w dziedzinie ekonomii za rok 1972, zostały opublikowane pod niewinnym tytułem *A difficulty in the concept of social welfare*.⁵⁴ Obecnie pesymiści nazywają go twierdzeniem Arrowa o niemożliwości, a optymiści twierdzeniem Arrowa o możliwości!

Twierdzenie Arrowa o niemożliwości

W autokracji jedna osoba działa tak, jak chce, w arystokracji kilku ludzi działa tak, jak chce, w demokracji nikt nie działa tak, jak chce.

CELIA GREEN

Arrow chciał, na podstawie różnych możliwych systemów wyborczych, wyizolować najważniejsze cechy systemu demokratycznego, żeby dowiedzieć się, czy istnieją jakieś sposoby na uniknięcie nieprzechodniości. Przyjął, że indywidualne preferencje spełniają dwie proste reguły:

- a) *Porównywalność alternatyw*. Jeśli mamy dwie możliwości, x i y, to albo x ma przewagę nad y, albo y ma przewagę nad x. To wymaga, żeby obie możliwości miały pewne cechy wspólne, dzięki czemu można porównać ich wartość. Remis jest w tym przypadku niedozwolony.
- b) *Przechodniość*. Indywidualne decyzje wyborców zawierają się w porządku preferencji. To znaczy, że jeśli x ma przewagę nad y i y ma przewagę nad z, to x musi mieć przewagę nad z. Zauważmy, że staramy się ustalić, czy tę własność będzie miała także kolektywna „wola” wyborców.

Następny krok polega na wybraniu cech określających wybór demokratyczny lub jak kto woli, dowolny system społecznego wyboru, wynikający z wielu indywidualnych wyborów. Ustalono pięć takich cech:

Warunek 1. *Nieograniczona wolność indywidualnego wyboru*

Każdy pojedynczy wyborca może wybrać jakąkolwiek kolejność kandydatów. Żadna organizacja nie może zakazać wyboru pewnych preferencji.

Warunek 2. *Wybór społeczny powinien pozytywnie odzwierciedlać indywidualne wybory*

Jeśli wybór społeczny jest taki, że x przeważa nad y i nikt z indywidualnych wyborców nie zmienia preferencji x

przed y, to x musi pozostać społecznie preferowane nad y. Zmiana preferencji dla innych alternatyw powinna być nieistotna dla problemu, czy x ma przewagę nad y. To daje pewność, że metoda podliczania indywidualnych głosów, aby uzyskać odpowiedź zbiorczą, nie jest stronicza.

Warunek 3. *Alternatywy nieistotne nie powinny mieć wpływu*

Uporządkowanie niektórych podzbiorów decyzji na mocy wyboru społecznego nie podlega zmianie, wskutek porządkowania innych możliwości, nie należących do podzbioru.

Warunek 4. *Liczy się rzeczywista wola ludzi*

Wynik wyborów nie jest wymuszony. Społeczny wybór nie może być nie-związany z indywidualnymi decyzjami wyborców. To zapobiega wpływaniu na wybór społeczny z zewnątrz, na przykład ze strony pewnych wierzeń religijnych.

Warunek 5. *Nie ma dyktatury*

Nie ma takiej osoby, której indywidualny wybór zawsze determinuje wybór społeczny. To zapobiega wpływaniu na wybór społeczny z wewnątrz, przez jedną osobę.

Warunki te postawiono po to, żeby można było rygorystycznie zbadać konsekwencje wielu możliwych powiązań między wyborem indywidualnym a kolektywnym -ograniczonych jedynie rzeczywiście uzasadnionymi restrykcjami, które większość członków społeczeństwa uzna za pożądane, jeśli nie kluczowe dla demokratycznego wyboru. Arrow udowodnił, że jeśli liczba indywidualnych wyborów jest skończona i spełniają one warunki (a) i (b), to nie istnieje metoda takiego połączenia indywidualnych preferencji, żeby wynikający z nich wybór społeczny spełniał warunki (1)-(5).

Każda metoda, sprawiająca, że wybór społeczny będzie spełniał warunki (1)-(3), albo pogwałci warunki (4) lub (5), albo naruszy któryś z warunków (a) lub (b). Zauważmy, że społeczna nieprzechodniość nie wynika z nieprzechodniości indywidualnych preferencji, gdyż są one explicite zakazane przez założenie (b). Jeśli warunki demokratyczne (1)-(5) są spełnione to w wynikach musi pojawić się nieprzechodniość. Nie ma czegoś takiego, jak konsensus społeczny.

Podobnie jak w przypadku twierdzenia Godła o niepełności, tak i tutaj trzeba przyjrzeć się przyjętym założeniom, żeby zobaczyć, gdzie znajduje się najsłabsze ogniwo. Wszystkie warunki podane przez Arrowa są konieczne, w takim sensie, że jeśli którykolwiek z nich opuścimy, to razem z nim znika wniosek. To znaczy, że jeśli uda się któryś z tych warunków podważyć, wniosek, iż przechodni wybór społeczny nie jest możliwy, przestanie obowiązywać. Najbar-

dziej interesujący i godny przyjrzenia się jest warunek (1) - nieograniczona wolność indywidualnych wyborów.

Jeszcze przed Arrowem wiadano, że decyzje przechodnie większościowo można uzyskać, ograniczając w pewien sposób indywidualne preferencje. Praca Duncana Blacka,⁵⁶ rozwinięta przez Amarty Sena,⁵⁷ wykazała, że wybór większościowy (preferowanie jednej z możliwości przez większość wyborców) nigdy nie jest możliwy, jeśli każda z ewentualności jest szacowana przez każdego z wyborców. Widać to na rozpatrzonym wcześniej prostym przykładzie „trybunału”. Sytuacja, kiedy każda możliwość jest oceniona różnie przez każdego wyborcę, zawsze prowadzi do nieprzechodniości i paradoksu. Jeśli zaś poszczególni wyborcy zgadzają się, który z kandydatów jest najlepszy, średni, ..., najgorszy, to sytuacja spełnia warunki (a)-(b) oraz (2)-(4), ale nie warunek (1). Widzimy więc, że niemożliwości Arrowa można uniknąć, jeśli preferencje wyborców wykazują pewien stopień podobieństwa i formuje się coś w rodzaju opinii publicznej. Sen nazwał zbiór preferencji wyborcy „wartością ograniczoną”, jeśli wszyscy wyborcy zgadzają się, że są takie alternatywy, które nigdy nie zostaną uznane za najlepsze, średnie lub najgorsze, dla dowolnego zbioru trzech możliwości (oraz analogicznie dla dowolnej liczby wyborców i alternatyw).

Inną reakcją na przedstawione paradoksy jest nadzieja i modlitwa, żeby wynikały one bardzo, bardzo rzadko. W takim przypadku, można by je wykluczyć, traktując to jako nieszkodliwy zabieg techniczny. Prawdopodobieństwo łatwo obliczyć, wykorzystując wniosek Sena, że nieprzechodniość pojawia się, kiedy istnieją różne preferowane porządki dla poszczególnych wyborców. Przypuśćmy, że trzech wyborcy wybrali trzy preferowane porządki - jakie jest prawdopodobieństwo, że wynik będzie paradoksalny, czyli że A ma przewagę nad B, B ma przewagę nad C, ale C ma przewagę nad A?

Każdy z trzech wyborców ma sześć sposobów uporządkowania swoich preferencji (ABC, ACB, BAĆ, BCA, CAB i CBA), a trzech wyborców razem może uzyskać którykolwiek z $6 \times 6 \times 6 = 216$ wyników. Paradoks pojawia się tylko wówczas, kiedy pierwszy, drugi lub trzeci wybór którykolwiek dwóch wyborców nie zgadzają się ze sobą. Ustalmy, ile jest sposobów pojawienia się tej sytuacji. Po tym, jak pierwszy wyborca podjął którąś z sześciu możliwych decyzji, drugi wyborca ma tylko dwie możliwości, dające te same preferencje na pierwszym, drugim lub trzecim miejscu, a trzeci tylko jedną. Tak więc liczba wspólnych decyzji, prowadzących do paradoksu wynosi $6 \times 2 \times 1 = 12$. Prawdopodobieństwo wystąpienia takiej sytuacji w rzeczywistości wynosi zaledwie $12/216$ czyli 0,056, czyli 5,6 procenta.

Jeśli zwiększymy liczbę głosujących, wybierających trzy możliwości, to prawdopodobieństwo wzrośnie bardzo niewiele, zbliżając się do granicznej wartości 8 procent. Jednakże, jeśli zwiększy się liczba możliwych wyborów, to praw-

dopodobieństwo wystąpienia paradoksu szybko rośnie do 100 procent. Jeśli liczba wyborców jest parzysta, to zwiększa się prawdopodobieństwo remisu i wyborcy mogą wybrać więcej niż jednego kandydata.

Prawdopodobieństwo paradoksu wyborczego wynikającego z nieprzechodności, w zależności od zmian liaby wyborców i wyborów. Kiedy zwiększa się liaba wyborców mających trzy alternatywy, prawdopodobieństwo wystąpienia paradoksu zbliża się do 8 procent. Kiedy zwiększa się liczba wyborów, to dla dowolnej liczby głosujących prawdopodobieństwo zbliża się do 100 procent. Dane z S. Brams, *Paradoxes in politics* (1976).

Problem paradoksu ujawniony przez twierdzenie Arrowa o niemożliwości wydaje się wszechobecny i trudno go nazwać technicznie nieszkodliwym. Trzeba ostrożnie odnosić obliczone prawdopodobieństwa do rzeczywistych wyborów, gdyż dla uproszczenia przyjmują one, że każdy wybór jest jednakowo prawdopodobny. W praktyce, oczywiście tak nie jest. Percepcję wyborców zakłóca wiele subiektywnych czynników. Jednakże w praktyce skomplikowane elektoraty (zwłaszcza małe, w obrębie instytucji politycznych) mogą reagować na ewentualność paradoksu celowym działaniem na korzyść swojej partii. Jedynym systemem, odpornym na jakąkolwiek strategię, jest dyktatura.

Innym sposobem obejścia wniosków z twierdzenia Arrowa jest zastąpienie Dyktatora „losem” -jakimś arbitralnym sposobem wymuszającym społeczny wybór, kiedy sytuacja jest nieprzechodnia. Dokonując w życiu jakichś wyborów, często z tego korzystamy - albo „zamykając oczy” i wybierając jedną z opcji, albo dosłownie wzywając na pomoc „los” (rzucając monetą, ciągnąc losy itd.), chcąc w ten sposób przezwyciężyć brak czysto racjonalnego wyboru lub przełamać impas. Frank Tipler zasugerował, że być może okaże się konieczne wpro-

wadzenie „losowości” jako podpoziomu do każdego „umysłu” (ludzkiego czy sztucznego), aby w ten sposób przełamywać powstający niekiedy impas powodowany nieprzechodnością.⁵⁹ „Losowość” ta mogłaby się wiązać z kwantowymi nieoznaczonościami, które być może, jak sądzi na przykład Roger Penrose, odgrywają rolę w neuronalnym przetwarzaniu informacji.⁶⁰ Jeśli przełamywanie tych impasów jest ważne dla działania decyzyjnego, to stanowi ono cechę, która wspomaga przetrwanie, a więc powinno być adaptacyjne.

Powyższe wyniki są zaskakujące. Pokazują, jak przeciwne intuicji może być zachowanie się skomplikowanych systemów. Mówią też coś na temat redukcjo-nistycznych wyjaśnień systemów w rodzaju ludzkiego umysłu. Przekonałiśmy się, że kolektywne wybory nie muszą zależeć w prosty sposób od wyborów indywidualnych (niezależnie czy dokonują ich wyborcy stawiając krzyżyki na papierze, czy rejestrują głosy komputerowo, czy też wybierają losowo). Co ciekawe, techniczne usprawnienia, dzięki którym indywidualne wybory będzie można *zliczać* natychmiast, dając obywatelom demokracji więcej możliwości decyzji o tym, jak chcą być rządzeni lub o dostępnych produktach, sprawiają, że przyszłość stanie się w pewien głęboki sposób mniej racjonalna, dopóki na wyborców i zbiór ich wyborów nie nałoży się pewnych ograniczeń.

Streszczenie

W niniejszym rozdziale rozważaliśmy nieprzewidywalny wpływ jaki mają na nas rozmaite rodzaje niemożliwego. W niektórych przypadkach ograniczają one naszą zdolność prognozowania lub odstawiają przyszłe horyzonty niemożliwego, które staną na drodze naszym wysiłkom poznania Wszechświata. Jednak sytuacja odnośnie twierdzenia Godła jest o wiele bardziej skomplikowana niż przedstawiali to wcześniejsi komentatorzy. Zobaczyliśmy jak niewidoczne gołym okiem implikacje tego twierdzenia, dopuszczają wyciąganie najrozmaitszych

wniosków na temat jego wpływu (lub braku wpływu) na przedsięwzięcia naukowe. Wielu uczonych próbowało wykorzystać koncepcje Godła do wyciągnięcia konkluzji ograniczających możliwości komputerów w odniesieniu do

możliwości ludzkiego umysłu. Jak dotąd nie jest to do końca przekonujące. Tylko biorąc poważnie zawodność ludzkiego umysłu potrafimy odróżnić jego działanie od działania sztucznej inteligencji. Prace Turinga, Poppera i Mackaya pozwalają nam wejrzeć głębiej w psychologiczne konsekwencje tych wniosków, pokazując w jaki sposób odnoszą się one do problemu wolnej woli. Po drodze odkryliśmy, że powszechnie cytowane twierdzenie z dziedziny polityki teoretycznej, mówiące o przewidywalności wyników wyborów, jest tak naprawdę fałszywe. Na zakończenie sięgnęliśmy dalej w obszar nauk społecznych, aby zbadać dziwną niemożliwość, jaką znalazł Arrow w obrębie systemów wyborczych. Proces przenoszenia demokracji z wyborów jednostkowych na kolektywne jest skażony niemożliwością - nie ma wiarygodnego sposobu uzyskania racjonalnych wyborów kolektywnych. Choć paradoksy te wykryto, badając systemy głosowania w kontekście politycznym i gospodarczym, mają one fascynujące zastosowania do pewnych teorii działania ludzkiego umysłu, przedstawiających jego działanie jako funkcjonowanie „społeczeństwa” neuronalnych wyborców.

Rozdział 9

Kres możliwości? - bilans końcowy

Za możliwe uważa się wszystko, z wyjątkiem tego, co jest niemożliwe / natury rzeczy.

KODEKS CYWILNY STANU KALIFORNIA

Odróżnianie tego, co jest od tego, czego nie ma

człowiek nie jest okręgiem z jednym środkiem - jest elipsą z dwoma ogniskami. Jedno to fakty, a drugie, poglądy.

WIKTOR HUGO, *NĘDZNICY*

Koncepcja, że coś może być nieosiągalne albo niewyobrażalne, wyzwala u naukowych (oraz niezbyt naukowych) komentatorów bezwarunkową reakcję odruchową. Tak, jakby to był afront wobec ducha ludzkiej dociekliwości - wywieszenie białej flagi w walce z siłami niewiedzy. Inni zaś obawiają się, że mówienie

O niemożliwym jest na rękę przeciwnikom nauki, budząc wątpliwości, których nie należy wypowiadać, gdyż podkopują publiczny wizerunek nauki jako niekończącego się pasma sukcesów. Są również i tacy, którzy skwapliwie wykorzystują wszelkie rozmowy na temat niemożliwego, jako poparcie dla własnego sceptycyzmu co do nieokiełznanego postępu technicznego, niszczącego środowisko

1 depczącego ludzką godność - niepohamowany w pogodni za niepewnym.

Mam nadzieję, że ta książka uświadomiła czytelnikowi, iż niemożliwe jest znacznie subtelniejsze niż wynikałoby z naiwnych założeń o nieskończonych horyzontach nauki lub pobożnych życzeń, ukrócenia zapędów uczonych pracujących dla wojska. Granice są wszechobecne. Nauka istnieje tylko dlatego, że istnieją granice tego, na co pozwala Natura. Prawa Natury i niezmiennie „stałe” Natury definiują granice odróżniające Wszechświat od mnóstwa innych możliwych do pomyślenia światów, gdzie wszystko jest możliwe. W tych wymyślonych światach nieograniczonych możliwości nie może istnieć ani złożoność, ani życie. Nie ma w nich wyobraźni. To, że możemy myśleć o logicznych i praktycznych niemożliwościach jest odbiciem samoodzwierciedlającej się świadomości, tak unikatowej wśród otaczających nas stworzeń, z którymi dzielimy naszą planetę. Niemożliwości pozwalają tym świadomym złożonościom istnieć.

W ciągu tysięcy tysięcy lat eksploracja i kreowanie niemożliwego w języku i sztuce wyposażyły umysł w stymulujące środowisko wirtualne, w którym może on ćwiczyć skłonność do skojarzeń i racjonalizacji. Filozofowie zmagali się z koncepcjami, tkwiącymi jednocześnie po obu stronach granicy możliwego i niemożliwego. Teolodzy starali się pogodzić ideę Istoty, dla której nic nie jest niemożliwe, z wymaganiami logiki i praw Natury.

Zobaczyliśmy, jak wiele z tych rozważań sprowokowało głęboki rozwój sposobu myślenia o Wszechświecie. Artystyczna kreacja figur niemożliwych dała

wyobrażenie o funkcjonowaniu umysłu. Jak wszystkie rodzaje sztuki, także i ta, stwarza bezpieczne alternatywne rzeczywistości, które umysł może badać. Z prowokacyjnego zapętlenia lingwistycznego i logicznego paradoksu wyłoniły się głębokie odkrycia dotyczące natury logiki i matematyki. Dowiedzieliśmy się, że struktury logiczne, wystarczająco skomplikowane, by wyrażać prawdy o sobie, nie dadzą się do końca ująć w przewidywalne zbiory praw i aksjomatów. W każdym obszarze ludzkiej wiedzy i kompetencji dokonaliśmy ogromnego postępu.

Najbardziej widać to po ilości otaczających nas technicznych gadżetów. Tu ludzki geniusz znalazł skarbnicę możliwości. Trudno sobie wyobrazić, że źródło to mogłoby kiedykolwiek wyschnąć. O wiele łatwiej *przylać*, że ten produktywny postęp jest nieprzemijającą cechą ludzkiej przedsiębiorczości; widzieć naturę rzeczywistości jako sumę wszystkiego, co jest technicznie możliwe; uznać granice za rzecz nieistotną, coraz bardziej tracącą na ważności. Zbadaliśmy niektóre sposoby rozgrywania naukowej gry, ujrzeliśmy, jak wielki musiał zaistnieć zbieg okoliczności, żebyśmy mogli dopasować się do subtelności Natury oraz ustaliliśmy swoje miejsce na drabinie postępu, definiujące naszą obecną zdolność do manipulowania obiektami większymi, mniejszymi oraz bardziej skomplikowanymi niż my sami.

Może się okazać, że granice tego, co niemożliwe definiują Wszechświat o wiele silniej niż lista możliwości. Na rozmaitych frontach stwierdziliśmy, że wzrost złożoności prowadzi w końcu do sytuacji, że jest ona nie tylko ograniczona, ale że sama te ograniczenia na siebie nakłada. Rozwój każdej z naszych najmocniejszych teorii stale powtarzał ten schemat - są one tak dobre, że uważa się, iż wyjaśnią wszystko. Komentatorzy oczekują rozwiązań wszystkich problemów, które dana teoria obejmuje. Idea „teorii wszystkiego” kolejny raz podnosi głowę. Wówczas zdarza się coś nieoczekiwanego. Teoria pozwala ustalić, jakich rzeczy nie może przewidzieć - mówi, że są *rzeczy*, których nie potrafi nam powiedzieć. Co dziwniejsze, wygląda na to, że tylko nasze najpotężniejsze teorie naukowe mają tę zdolność samokrytyki.

Zbadaliśmy najrozmaitsze ograniczenia istniejące w naszym dążeniu do poznania Wszechświata, którego jesteśmy częścią. Istnieją granice ludzkie, wynikające z natury naszego człowieczeństwa i naszej spuścizny ewolucyjnej. Są też granice technologiczne, wyrastające z naszej biologicznej natury. Nasze ograniczone rozmiary i siła, oraz umiarkowana natura otaczającego nas, przyjaznego życia środowiska, wymuszają postęp techniczny-wynajdowanie sztucznych środków badania ekstremalnych rozmiarów, złożoności i temperatur istniejących w świecie. Zdobywanie informacji jest kosztowne. Czas i energia są drogie. Istnieją ograniczenia prędkości transferu informacji oraz granice dokładności, z jaką można ją określać lub przypominać. Jednak najważniejsze ze wszystkiego jest to, że istnieją potężne granice, określające ile informacji można przetworzyć w rozsądnym

czasie. Mamy wokół mnóstwo problemów praktycznych, zbyt skomplikowanych dla ludzkiego umysłu, których nawet najpotężniejsze, dopuszczalne przez Naturę komputery nie mogą rozwiązać. Są to problemy niepodatne na rozwiązanie. Wiele z nich na pierwszy rzut oka wygląda na proste, ale ich rozwiązanie wymaga więcej pamięci i czasu niż może ofiarować cały Wszechświat.

Ograniczenia te są narzucone przez praktykę, koszt i czas. Niektóre stanowią po prostu ekstrapolację naszych codziennych doświadczeń. Ale okazuje się, że istnieje nieoczekiwana granica, dotycząca bardziej fundamentalnych poziomów niemożliwego. Im dalej odходимy od codziennego doświadczenia, tym bardziej zaskakujące są ograniczenia, na które się natykamy.

Może się okazać, że wysiłki astronomów, by zrozumieć strukturę Wszechświata, to zaledwie rysa na powierzchni problemów kosmologicznych. Wszystkie wielkie pytania o naturę Wszechświata - od jego początków do końca - nigdy nie doczekają się odpowiedzi. Istnieje fundamentalny podział na tę część świata, którą możemy obserwować, i całą, przypuszczalnie nieskończoną, resztę. Istnieje wizualny horyzont, poza który nie możemy wyjrzeć ani niczego z zewnątrz niego poznać. Jest jednak i dobra strona tego ograniczenia. Jeśli by nie istniało, to my także byśmy nie istnieli - każdy ruch każdej gwiazdy i galaktyki byłby natychmiast odczuwalny tu i teraz.

Całkiem do niedawna uczeni uznawali za uzasadnione założenie, że to co znajduje się poza horyzontem jest mniej więcej takie samo, jak to, co obserwujemy wewnątrz niego. Niestety, najbardziej prawdopodobne teorie ewolucji i struktury Wszechświata wymiotły te proste oczekiwania - obecnie sądzimy, że Wszechświat jest nieskończenie zróżnicowany, zarówno geograficznie, jak i historycznie. Jest wielce nieprawdopodobne, żeby wykazywał jakąkolwiek, choćby najmniejszą jednorodność. Najprawdopodobniej zamieszkujemy małą wysepkę umiarkowanego spokoju pośród rozległego oceanu kosmicznej złożoności, na zawsze niedostępnego naszym możliwościom obserwacji.

Prędkość światła jest ograniczona, równie ograniczona jest więc nasza wiedza o strukturze Wszechświata. Nie możemy dowiedzieć się, czy jest skończony, czy nieskończony, czy miał początek i czy będzie miał koniec, czy struktura fizyki jest taka sama wszędzie ani czy Wszechświat jest uporządkowanym, czy nieuporządkowanym miejscem.

Badając niemożliwości ukryte głębiej w naturze *rzeczy*, przekonujemy się, że logika i matematyka także są ograniczone w swojej mocy przewidywania i wyjaśniania. Proste struktury logiczne są w pełni poznawalne, tak samo, jak gra w kółko i krzyżyk nie kryje tajemnic dla doskonałych graczy. Jeśli jednak struktura logiczna stanie się bardziej skomplikowana, sytuacja gwałtownie się zmienia. A po osiągnięciu pewnego krytycznego stopnia komplikacji, przestaje być w pełni poznawalna - nie można wykazać, że jest niesprzeczna. Ten poziom kry-

tyczny jest zadziwiająco niski - wystarczy, żeby struktura zawierała znaną wszystkim arytmetykę liczb naturalnych, głęboko zakodowaną w ludzkiej intuicji i pozwalającą zrozumieć złożoność otaczającego nas świata fizycznego.

Te głębokie ograniczenia przenoszą się też na obliczenia, dedukcję matematyczną oraz założenia złożoności i losowości. Wydają się tak wszechogarniające, że wielu uczonych starało się ustalić, jakie są konsekwencje tych ograniczeń dla działania ludzkiego umysłu lub perspektyw skonstruowania sztucznej inteligencji, przewyższającą naszą własną. Inni uważają owe granice za ostateczne zabezpieczenie przed pełnym zrozumieniem praw Natury. Jeśli bowiem matematyka nie może uchwycić całej prawdy w skończony zbiór reguł, to tym bardziej fizykom nie uda się zamknąć działania fizycznej rzeczywistości w skończonym zbiorze praw Natury? Ten wniosek jest zbyt daleko idący. Przekonaliśmy się, jak ważne jest to, co kryje się w słynnym twierdzeniu Godła o niezupełności. Jest to najważniejszy składnik, jak tekst pisany mikroskopijnym drukiem na odwrocie polisy ubezpieczeniowej - jeśli nie jest to spełnione, nie działa również główna gwarancja.

W ostatnim rozdziale prześledziliśmy możliwe implikacje tych głębokich form niemożliwego dla pewnych aspektów ludzkiego umysłu. Przyglądaliśmy się de-terminizmowi i wolnej woli oraz dowiedzieliśmy się, dlaczego komputery i umysły nie mogą w pełni poznać samych siebie ani przewidzieć swojej przyszłości. Podróżowanie w czasie zmusza nas do wyobrażenia sobie światów, które są nie tylko nieprzewidywane, ale i niezupełne. Widzieliśmy ile pospolitych paradoksów związanych z podróżowaniem w czasie opiera się raczej na nieporozumieniu, a nie na sprzeczności. Na koniec zajęliśmy się zaskakującą niemożliwością zawartą w każdym procesie głosowania. Czy to wybory prezydenckie lub senackie, czy też sieć połączonych komputerów albo „głosujące” neurony w naszych mózgach, niemożliwe jest przełożenie racjonalnych wyborów indywidualnych na racjonalność kolektywną, i tu także kryje się przyszłe zagrożenie dla ekstrapolacji na temat zachowania skomplikowanych kolektywnych inteligencji. Nasze doświadczenie ze skomplikowanymi systemami wykazuje, że mają one tendencję do organizowania się w optymalnie czuły stan krytyczny, tak że nawet małe zmiany powodują efekty kompensacyjne systemu. W rezultacie nie da się ich dokładnie poznać. Czy są to ziarna piasku, czy myśli, jeśli wykazują one jakąś sa-moorganizację, ich następny ruch będzie zawsze nieprzewidywalny.

Żyjemy w dziwnych czasach. A także w dziwnych miejscach. Jeśli sięgniemy głębiej w skomplikowane struktury logiczne leżące u podstaw natury rzeczywistości, sądzę że możemy oczekiwać, iż natrafimy na jeszcze więcej takich ograniczeń, limitujących to, co jesteśmy w stanie poznać. Nasza wiedza o Wszechświecie ma kres. W końcu możemy nawet stwierdzić, że ów kres o wiele precyzyjniej niż się spodziewamy określa charakter Wszechświata - czyli że to, czego nie można poznać, odsłania przed nami więcej niż to, co można poznać.