

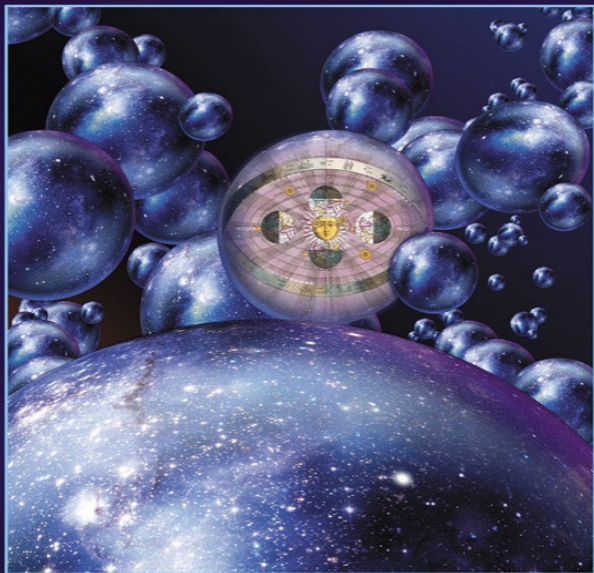
wiedza i życie

ORBITY NAUKI

KOMPLEKS KOPERNIKA

KOSMICZNY SENS NASZEGO ISTNIENIA WE WSZECHŚWIECIE
PLANET I PRAWDOPODOBIENSTW

CALEB SCHARF



Prószyński i S-ka

W SERII UKAZAŁY SIĘ:

w 2010 roku:

John Gribbin. *W poszukiwaniu Multiświata*

Richard Holmes. *Wiek cudów. Jak odkrywano piękno i grozę nauki*

James Le Fanu. *Niezwykła istota. Zmagania nauki z tajemnicami człowieka*

w 2011 roku:

Marcia Bartusiak. *Dzień w którym odkryliśmy Wszechświat*

Richard Conniff. *Poszukiwacze gatunków. Bohaterowie, głupcy i szalony pościg by zrozumieć życie na Ziemi*

Steven S. Gubser. *Teoria strun bez tajemnic*

Leonard Susskind. *Bitwa o czarne dziury. Moja walka ze Stephenem Hawkingiem o uczylenie świata przy jazynym mechanice kwantowej*

Anil Ananthaswamy. *Tajemnice Wszechświata. Podróż do granic fizyki*

w 2012 roku:

Hugh Aldersey-Williams. *Fascynujące pierwiastki. W krainie fundamentalnych składników rzeczywistości*

Daniel F. Styer. *Teoria względności dla dociekliwych*

Edward Dolnick. *Wielki zegar Wszechświata. Wiek geniuszy i narodziny nowoczesnej nauki*

Nick Lane. *Największe wynalazki ewolucji*

Kenneth W. Ford. *101 kwantowych pytań. Wszystko, co chcielibyście wiedzieć o świecie, którego*

nie widać

w 2013 roku:

Jim Baggott. *Teoria kwantowa. Odkrycia, które zmieniły świat*

Bryan Gaensler. *Potęga i piękno. Ekstremalne zjawiska w kosmosie*

Anton Zeilinger. *Od splątania cząstek do kwantowej teleportacji*

w 2014 roku:

John Gribbin. *Skąd się wziął kot Schrödingera. Geniusz z Wiednia i kwantowa rewolucja*

Brian Clegg. *Jak zbudować wehikuł czasu. Nauka a podróże w przeszłość i w przyszłość*

Paul Halpern. *Nasz inny Wszechświat. Poza kosmiczny horyzont i dalej*

Jim Al-Khalili. *Paradoks. Dziewięć największych zagadek fizyki*

Robert M. Hazen. *Historia Ziemi. Od gwiazdowego pyłu do żyjącej planety*

w 2015 roku:

Pedro G. Ferreira. *Teoria doskonała. Stulecie geniuszy i bitwa o ogólną teorię względności*

Edward Frenkel. *Miłość i matematyka. Istota ukrytej rzeczywistości*

Simon Mitton, Jeremiah P. Ostriker. *Jądro ciemności. Ciemna materia, ciemna energia i niewidzialny Wszechświat*

Jim Al-Khalili. *Kwanty. Przewodnik dla zdezorientowanych*

John Gribbin. *Kubity i kot Schrödingera. Od maszyny Turinga do komputerów kwantowych*

KOMPLEKS KOPERNIKA

KOSMICZNY SENS NASZEGO ISTNIENIA
WE WSZECHŚWIECIE PLANET I PRAWDOPODOBIENSTW

CALEB SCHARF

Przełożyli
Urszula i Mariusz Seweryńscy

Prószyński i S-ka

Tytuł oryginału
THE COPERNICUS COMPLEX
OUR COSMIC SIGNIFICANCE
IN A UNIVERSE OF PLANETS
AND PROBABILITIES

Copyright © Caleb Scharf 2014
Published by arrangement with Scientific American,
an imprint of Farrar, Straus and Giroux, LLC, New York
All rights reserved

Zdjęcie na okładce
© Indigo Images

Projekt okładki
Prószyński Media

Redaktor serii
Adrian Markowski

Redakcja
Anna Kaniewska

Konsultacja naukowa
Robert Bachliński

Korekta
Bronisława Dziejczak-Wesołowska

ISBN 978-83-8097-452-4

Warszawa 2016

Wydawca
Prószyński Media Sp. z o.o.
02-697 Warszawa, ul. Rzymskiego 28
www.proszynski.pl

PROLOG

Od mikrokosmosu do kosmosu

Wszystko zaczy na się od jednej kropli wody.

Antonie van Leeuwenhoek¹, przedsiębiorca trudniący się handlem tkaninami i początkujący naukowiec, przymykając jedno oko, w skupieniu spogląda drugim przez malutką soczewkę, którą samodzielnie sporządził, obrobiwszy kawałek szkła z wapna sodowanego. Po drugiej stronie tego połyskującego paciorka znajduje się drżąca próbka wody ze stawu, pobrana poprzedniego dnia w trakcie spaceru po Delft, jednym z holenderskich miast. Po wyregulowaniu instrumentu i odczekaniu chwili, aż wzrok przywyknie do nowych warunków, van Leeuwenhoek nagle uświadamia sobie, że oto wkroczył do zatłoczonej metropolii o nieznannej wcześniej architekturze i znalazł się w całkiem nowym, obcym świecie.

Ten jak dotąd niewidzialny wszechświat pojedynczej kropelki wody wypełniają pięknie zakrzywione spirale, przemieszczające się pęcherzyki i stworenia o kształtach przypominających dzwonek z doczepionym wątlm ogonkiem, zajęte nieustannym wierceniem się, pływaniem i wirowaniem, absolutnie nieprzejmujące się faktem, że ktoś je podgląda. Widok ten jest dla van Leeuwenhoeka szokujący. Okazuje się, że jest on kimś więcej niż tylko człowiekiem, jest kosmicznych rozmiarów gigantem, przeprowadzającym obserwację innego świata, który okazuje się ukryty tuż obok, zatopiony we wnętrzu świata ludzi. Jeśli ta jedna kropla może być domeną dla całego wszechświata, to czego się należy spodziewać po każdej innej kropli, po wszystkich znajdujących się na Ziemi kroplach wody?

Jest rok 1674. Od jakiegoś czasu w cywilizacji Zachodu zachodzą głębokie przeobrażenia, postęp dokonujący się w nauce jest podstawą zmian w sposobie myślenia. Mniej więcej sto lat wcześniej polski uczyony, człowiek wszechstronnie wykształcony, Mikołaj Kopernik, opublikował dzieło zatytułowane *De revolutionibus orbium coelestium* (O obrotach sfer niebieskich). Zawarł w nim kompletny wywód dotyczący heliocentrycznego modelu Wszechświata, w którym Ziemia zostaje przesunięta z centrum kosmosu na drugorzędne miejsce, przynależne planecie wirującej wokół własnej osi i obracającej się wokół Słońca – ta bezprecedensowa degradacja diametralnie zmieni bieg historii nauki.

W następnych dekadach Włoch Galileo Galilei zbudował teleskopy, które pozwoliły mu dostrzec księżyc Jowisza i zaobserwować fazy Wenus, co przekonało go o słuszności tezy Kopernika, choć w tamtych czasach poglądy te uchodziły za herezję i drogo Galileusza kosztowały, gdy przy ciągnęły uwagę Świętego Oficjum. Współczesny mu niemiecki naukowiec, Johannes Kepler, posunął się nawet dalej, stwierdzając, że orbity planet, w tym także Ziemi, nie są idealnymi okręgami, lecz raczej elipsami, co podważało wszelkie rozważane dotąd koncepcje budowy Wszechświata. Upłył nie nieco ponad dziesięć lat od chwili, gdy van Leeuwenhoek po raz pierwszy spojrzął przez przygotowaną przez siebie soczewkę, a wielki angielski uczyony, Izaak Newton, opublikuje swe monumentalne dzieło *Principia*, w którym zawarł prawa grawitacji i mechaniki, nieświadomie kreśląc opis surowego piękna, kryjącego się za porządkiem Układu Słonecznego i całego Wszechświata, nieustalonego przez żadne siły sprawcze poza fizyką i matematyką. Pod każdym względem jest to niezwykły czas w historii ludzkiej cywilizacji.

* * *

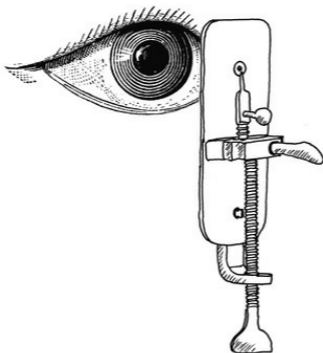
Antonie van Leeuwenhoek przyszedł na ten gwałtownie zmieniający się świat w Delft w 1632 roku. Pierwsze lata jego życia upływały dość zwyczajnie. Nigdy nie uzyskał wykształcenia wykraczającego poza podstawowe. Już jako młodzieniec szybko odnalazł się w roli kupca, odnosząc sukcesy w handlu białyną i odzieżą wełnianą. Był człowiekiem niezwykle ciekawym świata, zawzięcie szukającym odpowiedzi na nurtujące go pytania, „łakącym wiedzy”, jak sam siebie kiedyś opisał. Charakterystyka ta zaowocuje obfitą spuścizną w postaci obserwacji i notatek dotyczących jego największej pasji – mikrokosmosu.

Gdzieś w 1665 roku van Leeuwenhoek natknął się na wielkie dzieło zatytułowane *Micrographia*², autorstwa angielskiego uczonego Roberta Hooke’a³. *Micrographia* była fenomenem: pierwsza publikacja niedawno powstałego w Anglii Towarzystwa Królewskiego, pierwsza książka naukowa aspirująca do rangi bestsellera i przebogata w bajecznie szczegółowe ilustracje powiększonych struktur budowy wszystkiego, od owadów do minerałów, ptasich piór i fragmentów roślin. Był to atlas świata widzianego nowymi oczami, uzbrojonymi w soczewki mikroskopu.

Innowacje techniczne, stojące za sztuką powiększania obrazu za pomocą szeregu soczewek, pojawiły się niewiele wcześniej, pod koniec XVI wieku. Mikroskop z układem optycznym

wykorzystującym kilka soczewek⁴ pozwolił Hooke'owi, obdarzonemu bystrym wzrokiem błyskotliwemu naukowcowi, stworzyć piękne ilustracje wszystkich tych niesamowitych rzeczy, które każdy człowiek miał tuż obok siebie, dosłownie pod swoim nosem. Jednak najlepsze mikroskopy Hooke'a dawały zaledwie dziesięciokrotne, może piętnastokrotne powiększenie. Co mogło skrywać się jeszcze głębiej, poza ich zasięgiem? Van Leeuwenhoek nie mógł oprzeć się pragnieniu zbadania tego sekretu, dlatego postanowił nauczyć się czegoś nowego – jak zbudować układy optyczne, które pozwolą mu poczynić własne odkrycia w tym niezbadanym dotąd królestwie.

Do dziś właściwie nie wiemy, jak van Leeuwenhoekowi udało się stworzyć swoje mikroskopy⁵. Utrzymywał te działania w ścisłej tajemnicy i był w tej jednej sprawie niezwykle kategoryczny. Wszystko działo się za zamkniętymi drzwiami jego domu, ale sądząc z instrumentów, które zapisał w testamencie Towarzystwu Królewskiemu, a także z relacji odwiedzających go osób, można wywnioskować, iż zasadniczo sztuczka polegała na kształtowaniu małych, idealnych szklanych paciorków – prawdopodobnie przez rozciąganie roztopionych włókien szklanych i łączenie końców. Uzyskane w ten sposób sferyczne soczewki, których ogniskowa wynosiła zaledwie kilka milimetrów, umieszczał następnie w małych mosiężnych płytkach z gwintowanymi statywami, pozwalającymi ulokować próbkę precyzyjnie pod soczewką. Trzymając płytkę przed okiem, van Leeuwenhoek uzyskiwał zdumiewająco duże powiększenia, sięgające w najlepszych wypadkach nawet pięciuset razy.



Schemat mikroskopu van Leeuwenhoek. Próbki umieszcza się na końcu metalowego statywu, którego pozycję można regulować w celu ulokowania próbki dokładnie pod otworem w płytce, gdzie znajduje się szklana soczewka. Zbliżenie oka do płytki dopełnia układ optyczny.

Nie poprzestał na skonstruowaniu jednego mikroskopu czy nawet kilku. Na fali innowacyjnego zapału zbudował ich ponad dwieście⁶. Wydaje się wręcz, że wymyślał kolejny model mikroskopu za każdym razem, gdy chciał zbadać coś nowego – przyrząd zawsze był dostosowany do obiektu. Po kilku latach tych zmagani holenderski kupiec postanowił przyjrzeć się kropli wody. To właśnie wtedy, we wrześniu 1674 roku, umieścił ją⁷ na statywie tuż pod soczewką specjalnie do tego zadania skonstruowanego mikroskopu.

Wrodzony dar van Leeuwenhoek do budowania układów optycznych zawiódł go nie w przestrzeń kosmiczną, lecz w domenę mikrokosmosu, przy puszczałnie była to jednak dla niego wyprawa obfitująca w równie szokujące doznania. W kroplach wody⁸ odkrył nieznanе rodzaje organizmów żywych, ukryte przed wścibskim gatunkiem *Homo sapiens* tylko dlatego, że ich rozmiary były zbyt małe, aby dostrzec je nieuzbrojonym okiem. Van Leeuwenhoek szybko zdał sobie sprawę, że jeśli te małe stworzonka pływają sobie w kropli wody ze stawu, to muszą być wszędzie wokół. Natychmiast poszerzył krąg badań.

Tym sposobem zaczął penetrować tak fascynujące, aczkolwiek rzadko doceniane obszary naukowych dociekań, jak najgłębsze zakamarki ludzkiej jamy ustnej, gdzie można znaleźć lepką mieszkankę śliny i płytki nazębną⁹. Umieściwszy te próbki pod stworzoną przez siebie soczewką, van Leeuwenhoek znalazł jeszcze bogatsze zasoby żywych organizmów: dziesiątki, setki, tysiące jeszcze mniejszych „żyjatek”, pluskających się we własnych budzących obrzydzenie oceanach. Za sprawą tych zróżnicowanych i aktywnych organizmów ludzkim oczom po raz pierwszy ukazały się bakterie, jednokomórkowe drobnoustroje, o których dzisiaj wiemy, że stanowią najliczniejszą grupę ożywionego świata, przewyższając wszystkie inne różnorodnością i liczebnością, jak działo się to przez ostatnie 3 do 4 miliardów lat.

Często zastanawiam się, co czuł Leeuwenhoek, gdy natknął się na te rojące się populacje „żyjatek”. Niewątpliwie był zdumiony i oczarowany – jego notatki i zapiski wyrażają radość przemieszana z satysfakcją, że udało mu się uchylić zasłonę tajemnicy skrywającą coś, co do tej pory było dla nas niewidzialne. Kilka następných lat poświęcił na kontynuowanie badań i sporządzanie zapisków dotyczących coraz to nowych i nowych okazów i próbek. Czy jednak kiedykolwiek przyszło mu do głowy, że któreś z tych pływających, wirujących małych stworzeń mogłoby spojrzeć na niego? Zastanawiał się, czy mieszkańcy kropli wody przeżyją rozerki

związane z ich miejscem we Wszechświecie? Czy rozważał, że uznają swoją kropkę za centrum wszechrzeczy i próbują wydedukować, jakie prawa mechaniki rządzą ich niebiosami, których elementem zdaje się zawieszono nad nimi giganty czne oko?

Nie ma dowodów świadczących o tym, że van Leeuwenhoek rozmyślał nad odpowiedziami na podobne pytania. Z całą pewnością ludzie byli zafascynowani odkryciami tego rodzaju, lecz nie ma wskazówek przemawiających za tym, że uczyony, albo któkolwiek ze współczesnych mu ludzi, rozważał sens dokonanego odkrycia w jakimś szerszym, kosmicznym kontekście. Jest dla mnie czymś wręcz niepojętym, że nikt nie wybiegał na ulicę, głośno przekazując nowinę: „Nie jesteśmy sami! Pełno w nas małych stworzeń!”. Nie wydaje się jednak, by wraz z odkryciem tych mikroskopijnych podstaw ludzie odczuli, iż oto doszło do kataklizmu, w wyniku którego zostali wyrzuceni z zajmowanego przez siebie miejsca we Wszechświecie – nawet mimo faktu, że ujawniono warstwę rzeczy wistości, która w ogóle nas nie obejmowała¹⁰.

Trzeba przyznać, że po części wynikało to z tego, iż nie potrafiliśmy wówczas jeszcze dostrzec prawdziwych relacji między życiem mikrobów a naszym własnym. Upłył kolejnych dwieście lat, nim w połowie XIX wieku formalną akceptację zyska idea, iż choroby wywołane są przez bakterie¹¹. Potem upłył jeszcze jedno stulecie, nim zrozumiemy, że ci mieszkańcy mikrokosmosu są integralną częścią naszej własnej budowy, setkami bilionów kłębią się w naszych trzewiach, a ich obecność nierozzerwalnie łączy się z naszym dobrym samopoczuciem. Nawet teraz, w XXI wieku, dopiero oczynamy rozumieć, na czym polega ta niezwykła symbioza.

W XVII wieku odkryty przez van Leeuwenhoeka ogromny świat niedostrzegalnych żyjątek był przyjmowany jako interesująca ciekawostka, ale nie przypisywano mu dużego wpływu na to, jak wygląda nasze własne miejsce we Wszechświecie. Ten ciasny światopogląd nie był wytworem tamtych czasów. Był on odbiciem tendencji tak głęboko zakorzenionej w ludzkiej psychice, że musiał mieć związek z najstarszymi etapami ewolucji gatunku i pierwotnym instynktem przetrwania. Jest to model zachowania, którym obciążony jest każdy z nas nawet w dzisiejszych czasach – mamy tendencję do automatycznego stawiania ludzkiego gatunku ponad wszytkimi innymi, niezależnie od przedstawianych dowodów na fałszywość tego poglądu.

Stopień szacunku, jakim ludzie darzą ich naturalne środowisko i stworzenia zamieszkujące wraz z nimi w tym samym świecie, z pewnością jest różny w poszczególnych kręgach kulturowych, ale mając do wyboru dwie oceny naszej sytuacji, czy zajmujemy uprzywilejowaną pozycję, czy też nasze istnienie jest całkowicie bez znaczenia, większość z nas skłania się ku tej pierwszej. To samolubne podejście ujawnia się raz za razem pomimo faktu, że bez końca dręczą nas niezaspokojone pragnienie poznania odpowiedzi na pytania, skąd się wzięliśmy i jaki jest sens naszego istnienia. Możliwe, iż podświadomie wy czuwamy, że pytania te otwierają drzwi do scenariuszy, w których zostajemy sprowadzeni do roli budzących obrzydzenie i zupełnie pozbawionych znaczenia odpadków w procesach zachodzących w takt kosmicznego zegara. Najpoważniejszym przykładem takiego stanu rzeczy jest zasada kopernikańska, zgodnie z którą to Słońce, nie Ziemia, znajduje się w centrum niebios, natomiast wirująca Ziemia, podobnie jak wszystkie inne planety, obraca się wokół tej ogromnej kuli ognia. Pogląd ten prowadzi do konkluzji, że nie stanowimy centrum wszelkiego istnienia, nie jesteśmy „wyjątkowi”. Tak naprawdę jesteśmy aż do bólu zwyczajni.

Istotnie, w ciągu ostatnich pięciuset lat nauka zatrzęsała kielichem naszej wartości bardziej niż kiedykolwiek przedtem w udokumentowanej historii człowieka. Nakładające się na siebie rewolucyjne zmiany zachodzące w nowoczesnej optyce, astronomii, biologii, chemii i fizyce z całą siłą ujawniły fakt, że zamieszkujemy jedynie jeden z drobnych skrawków natury, a nasza normalna świadomość otaczającego świata nie wywodzi się ani z obszaru mikroskopii, ani bezkresnego kosmosu, lecz ze strefy, którą można uważać za wąski pas graniczny między nimi dwoma. Obecnie, w XXI wieku, стоимy w obliczu przełomu, którego skala oddziaływania będzie wszechogarniająca i który radykalnie zakłóci spokój naszej egzystencji: realną możliwością jest odkrycie życia w innych miejscach, poza Ziemią. Możemy odkryć, że jesteśmy zupełnie jak te żyjątka w kropli wody ze stawu w Delft – jednym zamieszkanym światem pośród miliardów innych. Ewentualnie przekonamy się, że jesteśmy sami w całym kosmosie, malutkim rojem egzystującym w jednym jedynej zamarku niewytłumaczalnie ogromnej paszczy nieustannie rozszerzającej się czasoprzestrzeni.

Co najbardziej zaskakujące: mamy obecnie powód, aby podejrzewać, iż oba wspomniane warianty mogą także być związane z jeszcze głębszym pytaniem: czy ten Wszechświat jest tylko jednym ogniwem w niemal nieskończonej sieci istniejących równoległe wszechświatów, których pojawienie się wynika z najbardziej podstawowych właściwości próżni? Niektóre z tych idei prowokują i nakłaniają do myślenia, wzbudzają ten sam rodzaj uczucia bliskiego zawrotom głowy, który musiał być udziałem van Leeuwenhoek'a w chwili, gdy po raz pierwszy rzucił okiem na ujawniony za sprawą swoich soczewek mikrokosmos.

Duża część tej książki jest poświęcona temu, *jakim sposobem* może uda się nam uzyskać odpowiedzi na te pytania, jakie praktyczne i zauważalne postępy robimy na drodze do zrozumienia naszego miejsca w kosmosie, rzucając przy okazji wyzwania tak wielu uprzedzeniom i funkcjonującym koncepcjom. Będę bronił tezy, że już teraz możemy pokusić się o sformułowanie pewnych wniosków, zaprezentuję też własną propozycję, w jaki sposób możemy wzbogacić wiedzę na temat życia w kosmosie, podnieść naszą świadomość na nowy poziom wtajemniczenia.

Dotarcie do sedna sprawy wymaga przeprowadzenia wnikiwej analizy jednej z najpotężniejszych zasad, jakie kiedykolwiek służyły nauce i filozofii. Korzenie tej idei są skromne, tkwią, ni mniej ni więcej, w doświadczeniach dobowego rytmu zmian, jakim podlega niebo nad naszymi głowami.

Zobaczmy, że proponowana przez Kopernika zdecentralizowana wizja świata była logicznym i przekonującym rozwiązaniem, ponieważ pomagała objaśnić obserwowany ruch Słońca, Księżyc'a i planet, a objaśnienie to można było dzięki niej zrealizować w sposób elegancki i bardziej bezpośredni, niż pozwalały na to poprzedzające ją teorie. Jednak głoszona przez Kopernika koncepcja była dla wielu współczesnych mu ludzi okropnym pomysłem, niepoprawnym teologicznie, sugerowała bowiem, iż gatunek ludzki nie zajmuje żadnej

uprzywilejowanej pozycji, lecz po części niezgodnym nawet z kanonami nauki, gdyż rzucała wyzwanie absolutnie fundamentalnym założeniom panujących poglądów na temat mechaniki kosmosu.

Z czasem posunęliśmy się w tej decentralizacji jeszcze dalej i obecnie uważamy, że z natury błędna jest każda teoria naukowa, która wymaga istnienia wyróżnionego punktu początkowego lub odwołuje się do unikatowego punktu widzenia. Jest to nadzwyczaj rozsądne. Jeśli takie uogólnianie nie byłoby słuszne, prawa fizyki, którym podlegasz, mogłyby już nie obowiązywać twojego przyjaciela, który ma pecha zamieszkiwać gorszą część miasta. Wszystko, co wiemy, jednoznacznie wyklucza taką ewentualność. Będę jednak dowodził, że być może zasada kopernikańska już nie będzie użyteczna jako wszechobejmująca przewodniczka w określonych kwestiach naukowych.

Należy podkreślić, że choć nie możemy uzurpować sobie prawa do centralnego miejsca Wszechświata, o którym wiemy teraz, że nie ma żadnego wyróżnionego centralnego punktu, to jednak wydaje się, że zajmujemy w nim bardzo interesujące miejsce, zarówno w czasie, jak i przestrzeni oraz skali. Niewątpliwie już wcześniej przedstawiano przemawiające za tym różnorakie argumenty, czasem doprowadzając argumentację do hipotezy, zgodnie z którą Ziemia jest wyjątkowo „rzadkim” okazem, szczególnie ze względu na fakt, że jest kolebką inteligentnego życia, zdolnego zbudować cywilizację techniczną. Wniosek taki należy jednak uznać za radykalny i nie wierzę, aby dało się go przekonująco uzasadnić. Pokażę dlaczego.

Niemniej jednak szczegóły dotyczące naszego położenia – miejsce pośrednie między skalą mikroskopową i kosmiczną na skalistej planecie, krążącej wokół gwiazdy o określonym wieku – z całą pewnością wpływają na sposób, w jaki wchodzimy w interakcje ze środowiskiem naturalnym, a także na to, jak szukamy innego życia we Wszechświecie. Szczegóły naszego własnego kosmicznego „adresu” również dostarczają istotnych wskazówek. Zamierzam wykazać, że jeśli chcemy dokonać prawdziwego postępu nauki w zakresie rozpoznania naszej pozycji w kosmosie, musimy znaleźć sposób na wyzwanie się z oków własnej przeciętności. Wskażę, jak można to osiągnąć.

Wyruszący na wyprawę, której celem jest znalezienie odpowiedzi na pytanie o miejsce ludzi w kosmosie i rozwiązanie konfliktu między naszą kopernikańską przeciętnością i wyjątkowością, która poprowadzi nas od najbardziej zamierzchłych etapów historii Ziemi do jej najbardziej odległej przyszłości, zabierze nas do rozsznyczonej po całej Galaktyce układów planetarnych, nakazuje spojrzeć na świat z perspektywy astronomii, badającej cały ogrom Wszechświata, a także z perspektywy biologii, zajmującej się wszechświatem ujawnianym przez soczewki mikroskopu. Po drodze będziemy mieli okazję poznania nowatorskich metod badań naukowych, zmierzających do rozjaśnienia mroków spowijających nasze kosmiczne początki – prowadzonych z wykorzystaniem niezwykle zaawansowanych technik matematycznych i wnikliwych obserwacji przyrody. Doprowadzi nas to do rzetelnego i dogłębnego przeglądu szczególnych uwarunkowań, w jakich się znajdujemy, oraz ewaluacji naszego miejsca w kosmosie.

1 Istnieje bogata literatura i wiele materiałów źródłowych na temat Leeuwenhoeka, nazywanego

czasem ojcem mikrobiologii. Mimo że zajmował się nauką amatorsko, w tym sensie, iż nie zdobył formalnego wykształcenia, został członkiem angielskiego Towarzystwa Królewskiego. Napisał ogółem ponad pięćset listów do Towarzystwa i innych instytucji naukowych, w których opisywał swoje odkrycia, w tym pierwsze w historii obserwacje komórek krwi i plemników. Interesującą ciekawostką jest to, że w 1676 roku został zarządcą posiadłości słynnego malarza, Jana Vermeera. Van Leeuwenhoek zmarł w 1723 roku, w wieku lat dziewięćdziesięciu. Znakomitym źródłem informacji jest witryna www.vanleeuwenhoek.com/.

2 Pełny tytuł brzmiał: *Mikrografia albo pewne fizjologiczne opisy maleńkich ciał uzyskane dzięki powiększającym szklom, które posłużyły do prowadzenia obserwacji i związanych z tym badań* (uff!). Opublikowane w 1665 roku dzieło (pierwsze wydanie – J. Martyn i J. Allestry, Londyn) zawierało wiele, bardzo wiele rysunków i opisów: „O żądle pszczoły; o piórach pawia; o odnóżach much i innych owadów; o głowie muchy; o zębach ślimaka; o kłosach dzikiego owsa; o diamentach w krzemieniu; o warzywach rosnących na rozkładających się liściach; o podobnym do kraba owadzie”. Praca odbiła się szerokim echem. Angielski pamiętnikarz Samuel Pepys pisał o niej, że „jest najbardziej pomysłową ksiązką, jaką kiedykolwiek w życiu czytałem”. Warto zerknąć do krótkiego artykułu, którego autorem jest P. Fara, *A Microscopic Reality Tale*, „Nature” 2009, nr 459, s. 642–44.

3 Wszechstronnie wykształcony Anglik, urodził się w 1635 roku, zmarł w 1703. Był niezwykle pomysłowym człowiekiem, wywodzącym się z nizin społecznych. W świeżo powstałym Towarzystwie Królewskim został „kuratorem eksperymentów”. Oprócz dokonania postępu w mikroskopii był bardzo bliski wyprowadzenia pewnych kluczowych elementów prawa ciężenia Newtona. Przypisuje mu się zastosowanie terminu „komórka” w biologii, którego pierwszy użył do opisu obserwowanych pod mikroskopem kanciastych komórek roślin.

4 Przed wkroczeniem na scenę Leeuwenhoeka mikroskopy do powiększania próbek budowano z wykorzystaniem wielu soczewek – najprostsza konfiguracja opierała się na dwóch soczewkach o różnych ogniskowych, umieszczanych na dwóch końcach tubusa.

5 Wciąż nie do końca wiadomo, jakimi technikami posługiwał się van Leeuwenhoek. Prawdopodobnie dzięki konstrukcji małych sferycznych soczewek udało mu się poprawić ich ogólną jakość optyczną i uniknąć pieczołowitego polerowania. Kropelki wody, w których znajdowały się okazy, mogły pełnić funkcję soczewek i w efekcie tworzyć niewielkie złożone układy optyczne.

6 Źródła podają różne wartości, niektóre wspominają o ponad pięciuset, chodzi jednak raczej

o liczbę wykonanych soczewek a nie mikroskopów. Van Leeuwenhoek poświęcił tej pracy niemal pięćdziesiąt lat, liczby więc raczej nie są przesadzone.

7 Z notatek van Leeuwenhoeka wynika, że woda pochodziła z Berkelse Mere, małego jeziora w pobliżu Delft.

8 Van Leeuwenhoek napisał: „zobaczywszy wodę, jak wyżej opisałem, zaczerpnąłem nieco do szklanej fiolki; poddawszy tę wodę badaniu następnego dnia, znalazłem zanurzone w niej cząstki ziemi oraz jakieś zielone pasemka, spiralnie zakręcone niczym węże, regularnie ułożone, na podobieństwo miedzianych lub cynowych rurek, jakich używają gorzelnicy do schłodzenia napojów alkoholowych w procesie destylacji. Całkowita średnica każdego z tych pasemek była równa grubości ludzkiego włosa”.

9 Próbkę ludzkiego kamienia nazębnego powędrowały pod mikroskop w 1683 roku i, jak się zdaje, musiały zawierać występujące w kształcie pręcików bakterie *Bacillus*.

10 Mikroskopijny świat intrygował naukowców, a obserwacje rozmnażania mikroorganizmów przeczyły dominującym wówczas poglądom o „spontanicznej genezie”. Niemniej jednak wydaje się, iż odkrycie wzbudziło znacznie mniejsze kontrowersje niż rezultaty obserwacji nieba.

11 Najlepiej znana jest praca Louisa Pasteura, który w jednoznaczny sposób obalił ideę spontanicznej genezy i postawił tezę, iż bakterie mogą nie tylko zepsuć jedzenie, ale również wywołać u ludzi choroby. Podgrzewanie („pasteryzowanie”) żywności pomagało zachować ją w dobrym stanie. Robert Koch wykazał, że wąglik wywoływany jest przez bakterię.

ROZDZIAŁ 1

Kompleks Kopernika

W III wieku przed naszą erą, w dość przyjemnym zakątku Morza Egejskiego, na bogatej w winną latorośl wyspie Samos, położonej niedaleko zachodnich brzegów dzisiejszej Turcji, grecki filozof Arystarch wpadł na wspaniałą pomysł¹². Sformułował tezę, że Ziemia obraca się wokół Słońca, umieszczając tym samym ciało niebieskie w samym centrum niebios. Było to, mówiąc ogólnie, śmiałe posunięcie – głoszona przez Arystarcha idea „heliocentryzmu” była w jego czasach równie szokująca, jak wiele stuleci później nowsza wersja zaprezentowana przez Kopernika.

Dysponujemy zaledwie częścią dorobku Arystarcha, a większość znanych nam prac dotyczy pomysłowej analizy geometrycznej, którą posłużył się do udowodnienia, że Słońce jest znacznie większe od Ziemi. Jest jednak czymś oczywistym, że właśnie te rozważania naprowadziły go na myśl, iż Słońce znajduje się w centrum znanego kosmosu, a gwiazdy są obiektami nadzwyczaj odległymi. W świetle ówczesnego stanu wiedzy był to ogromny krok naprzód. Przy okazji zostało objaśnione zjawisko *paralaksy*.

Paralaksa ma zastosowanie w warunkach obserwacji na powierzchni Ziemi, jak też w obserwacji nieba. Dość łatwo można pojąć, na czym zjawisko to polega. Zamknij jedno oko, podnieś rękę, rozprostuj palce i patrz na dłoń ustawioną bokiem do twarzy. Jeśli teraz przesuń rękę w jedną, a potem w drugą stronę, zobaczysz, jak różne palce to pojawiają się, to znikają jeden za drugim, w miarę jak zmienia się punkt obserwacyjny lub kąt widzenia. Właśnie tym jest paralaksa: pozorną zmianą wzajemnego położenia odległych obiektów w zależności od linii wzroku. Im dalej znajdują się te obiekty, tym mniejsza jest pozorna zmiana położenia – tym mniejsze dostrzegalne kątowne przesunięcie obiektów.

Śmiałe twierdzenie Arystarcha po części wzięło się stąd, że wydaje się, iż widziane na niebie gwiazdy *nie mają* najmniejszej paralaksy, nie widać, aby poruszały się względem siebie, nie

robią tego nigdy. Tak więc jeżeli Ziemia *nie jest* nieruchoma w samym centrum wszystkiego, co istnieje, rozumował Arystarch, to gwiazdy musiałyby się znajdować naprawdę bardzo daleko, w tak zawrotniej dużej odległości, że nie byliśmy w stanie zmierzyć ich paralaksy związanej ze zmianą położenia Ziemi.

Niedługo przed ogłoszeniem przez Arystarcha swoich idei wielki filozof Arystoteles odrzucił możliwość, by gwiazdy znajdowały się w większej odległości od planet, powołując się w swej argumentacji, między innymi, na ten sam fakt braku paralaksy. Fundamentami rozumowania Arystotelesa były rozum i zdrowy rozsądek. Zbudował je na funkcjonujących wcześniej poglądach, zgodnie z którymi Ziemia miała zajmować centralne miejsce pośród wszelkiego stworzenia. Formułował swą tezę w prosty sposób: skoro w wypadku gwiazd nie rejestrujemy żadnej paralaksy – w ogóle nie zmieniają one swojego położenia względem innych gwiazd – to muszą być przytwierdzone do jakiejś otaczającej nas nieruchomej warstwy nieba.

Wszystko to brzmiałoby całkiem logicznie, gdyby nie fakt, że preferowany przez Arystotelesa model kosmologiczny (powstały w wyniku rozwinięcia idei głoszonych przez jego mentora, Platona) zakładał istnienie w przybliżeniu pięćdziesięciu pięciu¹³ rozlokowanych koncentrycznie ponad nieruchomą Ziemią solidnych, krystalicznych, przezroczystych sfer, po których poruszały się planety i gwiazdy. W tym geocentrycznym Wszechświecie znajdowaliśmy się w ognisku wszelkich naturalnych ruchów, gwiazdy i planety bezustannie krążyły wokół nas po swych kołowych ścieżkach, zwyczajnie tkwiąc na obracających się i ślizgających krystalicznych sferach.

Może zastanowiło cię, dlaczego Arystoteles potrzebował aż pięćdziesięciu pięciu krystalicznych, sferycznych warstw, aby skonstruować swój model kosmologiczny. Częściowo przyczyna tkwiła w konieczności odwzorowania układu mechaniki kosmicznej, przenoszenia sił w sytuacji, gdy jedna powłoka styka się z drugą i wprawia ją w ruch – niezbędny był wielki system wzajemnie zależnych od siebie ruchów i maszynieria, dzięki której wszystkie ciała niebieskie pozostawały na swoich miejscach. Struktura ta musiała poradzić sobie jeszcze z najbardziej niepokojącym, domniemanym problemem kosmologów tamtych czasów: otóż, w przeciwieństwie do gwiazd planety *zmieniają* swoje położenie na tle gwiazd i czynią to w dość skomplikowany sposób.

Te zawiłe ruchy były głównym elementem zagadki, którą Arystarch, a później także Kopernik próbował rozwiązać przez zabranie Ziemi z centralnego miejsca w całym układzie. Słowo „planeta” pochodzi od greckiego wyrażenia oznaczającego „błądzącą gwiazdę”, co znakomicie oddaje stan faktyczny, nasze odbijające słoneczne światło planety bowiem z całą pewnością błądzą po niebie. Nie tylko poruszają się względem gwiazd, dostrzegalnie zmieniając położenie w miarę upływu kolejnych nocy, ale czasem wręcz wydaje się, jakby zawracały na swej drodze, zakreślają na niebie w ciągu kilku miesięcy pętlę, po czym wracają do normalnego ruchu. Merkury i Wenus zachowują się jeszcze bardziej wywrotowo – często w ogóle nigdzie nie można ich dostrzec. Nawet prędkość ruchu planet w ich ruchu przez niebiosa wydawała się w różnych okresach raz większa, raz mniejsza, zmieniała się również jasność tych szubrawców.

Można by pomyśleć, że gdy Arystarch zaproponował układ heliocentryczny, wszyscy odetchnęli z ulgą, ponieważ umieszczenie Ziemi na jej własnej orbicie kołowej wokół Słońca szybko okazało się znakomitym lekarstwem na większość objawów związanych z intrygującym

cofaniem się planet – czyli objaśniało zjawisko, które w późniejszym czasie znane będzie pod nazwą ruchów „wstecznych”. W tej konfiguracji powód tak dziwnego zachowania był prosty: kiedy Ziemia porusza się po okręgu wokół Słońca, nasz punkt obserwacyjny stale zmienia położenie. Naturalną kolejną rzeczą jest to, że ruch naszej planety względem innych planet w pewnych okresach jest postępujący, w innych zaś wsteczny, ulega też zmianie odległość Ziemi od innych planet, co prowadzi do pozornej zmiany ich jasności.

Był to pomysł piękny, elegancki i oparty na faktach, ale... wielu ludzi go nienawidziło. Jeśli Ziemia by się poruszała, paralaksa gwiazd byłaby zauważalna, ponieważ gwiazdy z całą pewnością nie mogą być aż tak odległe. Nawet gdybyśmy pominęli brak dostrzegalnej paralaksy, przemieszczenie Ziemi z zazwyczaj, centralnej pozycji w układzie równało się anatemie. Absurdem było rozważanie sytuacji, w której kolebka naszego istnienia nie znajduje się w samym środku wszystkiego. Biedny Arystarch dostał za to po głowie.

Drugim czynnikiem generującym fale antypatii skierowane przeciw heliocentryzmowi było najprawdopodobniej obrzydzenie, z jakim przyjmowano idee zawierające jakiegokolwiek aluzję do pluralizmu. W opozycji do poglądów Platona i Arystotelesa, którzy utrzymywali, iż akt stworzenia Ziemi jest unikatowy i zawiera w sobie element boski, greccy myśliciele w rodzaju Demokryta i Epikura wspierali wizję rzeczywistości, która opierała się na pojęciach niepodzielnych składników materii i wolnej od niej próżni – czyli pojęciach atomów i przestrzeni. Atomy te nie były podobne do atomów znanych nam dzisiaj, rozumiano je jako wytwór filozoficznej koncepcji elementarnych cegiełek materii – były jednorodnymi ciałami stałymi, zbyt małymi, aby je dostrzec, różniącymi się rozmiarami, kształtem i ciężarem – której można użyć do opisania nieskończonej liczby istniejących struktur. Przyjęcie idei atomów prowadziło tych myślicieli do sformułowania wniosku, iż jest mało prawdopodobne, by Ziemia była miejscem unikatowym. Wprost przeciwnie, powinno istnieć nieskończenie wiele zamieszkałych światów, umiejscowionych w abstrakcyjnie pojmowanej przestrzeni i czasie, co musiało skutkować występowaniem światów równoległych. Nic dziwnego, że wielość światów nie pasowała żadnemu zwolennikowi platońskiej lub arystotelesowskiej szkoły filozoficznej.

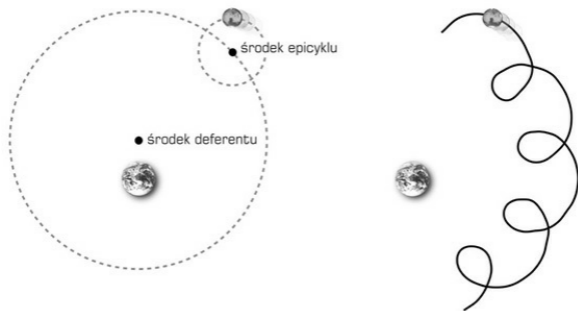
Zamiast heliocentrycznej rewolucji przez całe dziesięciolecie po Arystarchu, pewna liczba filozofów natury bezkrytycznie przyjmowała geocentryczne „podejście”¹⁴ do problemu denerwująco niekonwencjonalnego ruchu planet na niebie i utrzymywała Ziemię osadzoną w roli unikatowego środka wszystkiego, co istnieje. Preferowane przez nich rozwiązanie problemu ruchów ciał niebieskich prawdopodobnie pojawiło się po raz pierwszy niemal sto lat po tym, jak Arystarch i Arystoteles polemizowali ze sobą, a jego autorem na przełomie III i II wieku przed naszą erą był astronom i geometra Apoloniusz z Pergii.

Później rozwiązanie to włączył do swych prac Klaudiusz Ptolemeusz. Ten urodzony ponad trzysta lat po śmierci Arystarcha obywatel Grecji i Rzymu mieszkał w Egipcie, znajdującym się wówczas pod rządami imperium rzymskiego. Był niezwykle płodnym myślicielem, jego prace wniosły znaczący wkład w wiele dziedzin nauki, wśród których można wymienić astronomię, geografii, astrologię i optykę. Najważniejszym jego dziełem była rozprawa naukowa na temat astronomii, znana jako *Almagest*¹⁵, zawierająca kosmologiczną wizję świata, która miała przetrwać następne 1400 lat.

W modelu ptolemejskim Ziemia znajdowała się w centrum Wszechświata. Wokół niej

poruszały się po okręgach o coraz większym promieniu Księżyc, Merkury, Wenus, a dalej Słońce, jeszcze dalej Mars, Jowisz i Saturn, za którymi znajdowała się już tylko sfera gwiazd stałych. Aby układ ten prawidłowo oddawał skomplikowany ruch ciał na niebie, do podstawowych sfer został dodany pomysłowy zestaw ruchów odbywających się po specjalnych okręgach nazywanych deferentami i epicyklami. Okręgi te, co zakrawa na ironię, miały swój środek w punkcie położonym *poza* Ziemią (osobliwość ta, jak się zdaje, przez stulecia umykała uwagi gorliwych wyznawców geocentryzmu).

W tym zmyślnym układzie planety i Słońce poruszały się po mniejszych, idealnych okręgach zwanych epicyklami, które z kolei krążyły po większych okręgach zwanych deferentami, obracającymi się wokół punktu niezwiązanego z Ziemią. Rezultatem był model dobrze oddający ruch planet, łącznie z ich dziwnym ruchem wstecznym. Osiągnąć to można było tylko pod warunkiem bardzo dobrego dostrojenia do autentycznych obserwacji planet. Wszystkie deferenty i epicykle, co do jednego, miały skrupulatnie dobrane rozmiary i położenie, tak aby uzyskać najlepsze dopasowanie do prawdziwych torów, po jakich błędziły znane światy.



Szkic przedstawiający jedną z prostszych wersji zaproponowanego przez Ptolemeusza geometrycznego objaśnienia ruchów planetarnych w kosmologii geocentrycznej. Mars wędruje po mniejszym okręgu nazywanym epicyklem, który z kolei porusza się po większym okręgu zwanym deferentem. Rezultat? Wydaje się, że Mars zatacza na niebie pętle, jest też raz bliżej Ziemi, raz dalej.

Nawet mimo tak wyśmienitej inżynierii układ nie pozwalał odwzorować poprawnie wszystkiego – pomiary dokonywane przez astronomów na przestrzeni lat wskazywały na niewielkie odstępstwa w tym czy innym miejscu¹⁶. Zdarzało się, że planety osiągały określone położenie na niebie za wcześniej lub za późno – nie były to jednak na tyle duże niedokładności, aby kogokolwiek zniechęcić. Oto był wiarygodny model opisujący naturę i ruch Słońca, Księżyca oraz planet, geocentryczny, oparty na precyzyj i niezawodności geometrii, będący w zgodzie z poglądami głoszonymi przez Wielkich Filozofów. Model zadowalający zarówno matematyków, jak i teologów.

W późniejszym czasie, gdy pomysły Ptolemeusza zostały przejęte i wplecione w treść religijnych i filozoficznych doktryn świata Zachodu, stały się w średniowieczu nieodłączną częścią jednolitej struktury pojęciowej. Podobnie jak naczynia krwionośne pozwalają podtrzymać przepły w krwi, tak geocentryczne sfery i ich epicykle były kluczowym elementem maszynierii dostrzegalnego Wszechświata. Jeżeli podważało się słuszność kosmologii geocentrycznej, w rzeczywistości rzucało się wyzwanie całej konstrukcji utkanej z intelektualnej materii nauki, filozofii i religii... a także potężnym organom administracji i władzy.

Mimo znaczenia, jakie przypisywano geocentryzmowi, na przestrzeni czternastu wieków, jakie dzieliły Ptolemeusza i Kopernika, tak naprawdę nie było jednego powszechnie akceptowanego obrazu szczegółowo odnoszącego się do budowy Wszechświata. Ten brak spójności jest jednym z najbardziej interesujących aspektów rozwoju „kosmologii” czy rozwoju modelu naszego własnego Układu Słonecznego. W ciągu tych czternastu stuleci skrawki pomysłów i poglądów zazwyczaj łączono, jak było wygodnie i kiedy zachodziła potrzeba – taki kosmiczny miszmasz. Składniki dobierano w zależności od tego, jaki wszechświat był pożądany, podporządkowany regułom matematyki, czy też bardziej abstrakcyjny wytwór filozofii. Wszystkie te pomysły ostatecznie i tak powracały do różnych hipotez i propozycji ogłoszonych już kiedyś przez multum greckich myślicieli, od dawna nieobecnych wśród żywych.

Równie ważne dla tej kosmologicznej historii było to, że jej charakter w dużej mierze zależał od dokładności dostępnych instrumentów. Arystoteles i Arystarch nie byli żadnymi miernotami w dziedzinie wnikliwych obserwacji astronomicznych, lecz mocno ograniczała ich skromność dostępnych narzędzi, mogli bowiem liczyć tylko na swój wzrok i podstawowe instrumenty do określania kątów i odległości. Ograniczenie to znaczyło, że właściwie nie mieli pojęcia, jaka tak naprawdę jest rzeczywista paralaksa gwiazd – zwyczajnie przyjęli założenie, że jest równa zeru.

Dane dotyczące ruchu planet również charakteryzowała ograniczona dokładność, wiedza zawierała lukę, dzięki którym Arystoteles i Ptolemeusz mogli wcisnąć wyobrażenia w gorset modeli geocentrycznych wraz z ich coraz bardziej wyszukanymi aranżacjami. Modele może nie były doskonałe, ale obserwacjom nieba brakowało jakości niezbędnej do ich podważenia.

Tak więc aż do końca XV wieku nie odnotowano żadnych znaczących postępów na drodze do sformułowania lepszego modelu ruchów Ziemi, planet i gwiazd – szczególnie jeśli weźmie się pod uwagę przyjętą potrzebę zachowania spójności z religijnymi i filozoficznymi doktrynami świata Zachodu. W gruncie rzeczy wydaje mi się, że w naszych oczach, nowoczesnych ludzi

obytych z nauką, średniowieczne modele kosmologiczne wyglądają na szalenie skomplikowane i niespójne. Z całą pewnością był to już najwyższy czas na wprowadzenie radykalnych poprawek. Musiał tylko pojawić się odpowiedni człowiek.

* * *

Mikołaj Kopernik urodził się 19 lutego 1473 roku. Dzieciństwo spędził w części Prus, która niedawno znalazła się w granicach Polski, wychowując się w dobrze sytuowanej i obytej w świecie rodzinie. Odebrał znakomite wykształcenie, na które składały się podstawy filozofii (co z definicji oznaczało intensywne studiowanie prac starożytnych Greków), matematyki i nauk przyrodniczych, w tym astronomii. Jego apetyt na wiedzę był wręcz niepokonany, nie wy daje się też, aby przez całe życie uchylał się od ciężkiej pracy, której owocami były nie tylko prace naukowe, ale nawet manuskrypty wskazujące na jego zainteresowanie poezją i polityką.

Po zdobyciu podstaw na dalsze studia wyjechał do Włoch, gdzie zaczął coraz mocniej interesować się obserwacjami astronomicznymi, zwłaszcza tymi, które miały związek z pomiarami ruchu Księżyca i planet wskazującymi na odstępstwa od systemu Ptolemeusza. Inni badacze z tamtych czasów również mieli świadomość tych odchyleń, jednak to pracowity Kopernik był szczególnie zmotywowany do wyjścia poza typowe granice i szukania tam odpowiedzi, miał też ochotę znaleźć dokładniejsze rozwiązanie niż to, które zaproponował tak dawno temu Ptolemeusz.

Na początku XVI wieku Kopernik nakreślił szkic tego, co później stanie się fundamentem jego kompletnego, heliocentrycznego modelu Układu Słonecznego. Zawarł go w blisko czterdziestostronicowej rozprawie znanej pod nazwą *Commentariolus*, czyli „drobny komentarz”. Za jego życia oficjalnie jej nie opublikowano, kilka kopii krążyło w bardzo ograniczonym obiegu, wzbudzając zainteresowanie i szacunek współczesnych, jak też, niewątpliwie, przyciągając srogie spojrzenia ze strony przedstawicieli organów władzy. Może był to drobny komentarz, lecz zawierał siedem kluczowych i wizjonerskich aksjomatów¹⁷.

Oto przekształcony z myślą o bardziej współczesnym języku zapis tego, co Kopernik miał do powiedzenia na temat kosmosu:

- Nie istnieje jeden środek Wszechświata.
- Środek Ziemi nie jest środkiem Wszechświata.
- Środek Wszechświata znajduje się w pobliżu Słońca¹⁸.
- Odległość dzieląca Ziemię i Słońce jest niezwykle mała w porównaniu z odległością do gwiazd, dlatego nie dostrzegamy paralaksy gwiazd.
- Obrót Ziemi dookoła osi skutkuje obserwowanym na niebie pozornym ruchem Słońca i gwiazd, które w rzeczywistości są nieruchome.

- Coroczne odchylenia w ruchu Słońca na niebie są w rzeczywistości spowodowane ruchem obrotowym Ziemi wokół Słońca.
- Pętle (ruch wsteczny) obserwowane w trakcie wędrówki planet są w rzeczywistości spowodowane ruchem Ziemi.

Po sformułowaniu tej ostatniej tezy Kopernik był na tyle podekscytowany, że dodał jeszcze krótki komentarz: „Sam ruch Ziemi wystarczy więc, aby wytłumaczyć tak wiele nieregularności w obserwacjach nieba”.

To w tych zdaniach skrywał się załączek kolosalnej rewolucji w ludzkim myśleniu. Korzystając niemal wyłącznie z mocy logicznego rozumowania, Kopernik ruszył z posad ukochaną Ziemię i posłał ją w podróż przez Wszechświat. Choć obieg *Commentariolusa* pozwolił mu zyskać znaczny rozgłos, dopiero kilka dziesięcioleci później zdecydował się zebrać notatki i dopracować matematyczne fragmenty teorii, aby przygotować ją do publikacji w wielkim dziele zatytułowanym *De revolutionibus orbium coelestium*, czyli *O obrotach sfer niebieskich*, które ostatecznie ukazało się w zasadzie po jego śmierci, w 1543 roku. Dlaczego zabrało mu to tak dużo czasu, pozostaje jedną z frajdujących zagadek historycznych¹⁹. Można jedynie spekulować, iż jednym z głównych czynników przyczyniających się do nietypowej dla Kopernika opieszałości była obawa przed konfrontacją z potęgą Kościoła, który był już rozdrażniony i rozchwiany naporem reformacji.

Model nadawał kształt niebiosom, ale wciąż był bardzo daleki od doskonałości. Mimo prawidłowego, jak dzisiaj wiemy, ustawienia Ziemi, Słońca, planet i gwiazd, rozważając właściwości całej konstrukcji, Kopernik nadal trwał przy pewnych założeniach, które sprawiały, iż dopasowanie modelu do obserwacji astronomicznych było uciążliwe. Tak naprawdę, zamiast całkowicie pozbyć się skomplikowanej geometrycznej maszyny Ptolemeusza, Kopernik zrezygnował zaledwie z niektórych jej części. Wciąż wykorzystywał epicykle, aby uzyskać lepsze dopasowanie do prawdziwego zachowania planet i Słońca w ich rocznym ruchu po sklepieniu niebieskim.

Fizyczne podstawy modelu zostały poprawione, jednak jego praktyczne stosowanie nadal przypominało koszmar, a powodem było to, że Kopernik kurczowo trzymał się zestawu pomysłów, które świeże były w czasach Arystotelesa. Zakładał, że wszystkie ruchy, zarówno w wypadku większych sfer, jak i epicykle, odbywają się po idealnych okręgach i ze stałą prędkością. Było to w pełni zgodne z klasycznymi ideami, wspaniale geometryczne i... całkowicie błędne. Kopernik nie był tego świadomy, jednak z całą pewnością udało mu się zasiać ziarno rewolucyjnych zmian w naukowym rozumowaniu. Miała to być wielka rewolucja.

W dekadach, które nastąpiły po publikacji kopernikańskiego *De revolutionibus*, pojawiły się całe zastępy nowych zwolenników odejścia od ptolemejskiej wizji świata, która jednak wciąż miała również wielu krzydkich obrońców. Niektórzy ze zwolenników zmian, w tym Giordano Bruno²⁰, drogo za swe poglądy zapłacili. Ten dominikanin urodził się w 1548 roku, pięć lat po śmierci Kopernika. Podjęte przez niego badania naukowe i filozoficzne dociekania sprawiły, że stał się obrońcą nie tylko teorii heliocentrycznej, lecz wspierał również poglądy, zgodnie z którymi Wszechświat jest prawdziwie nieskończony, Słońce jest jedynie jedną z wielu gwiazd, a pośród bezmiaru wszelkiego stworzenia musi istnieć nieskończona liczba innych zamieszkałych światów. Wnioskując na bazie prac, których autorami byli starożytni greccy atomiści, Bruno popierał proroczą wizję natury, co w połączeniu z jego skrajnie prowokacyjnym stanowiskiem w innych kwestiach religijnych przyciągnęło pełną uwagę władz. W 1600 roku inkwizycja rzymska spaliła biednego byłego zakonika na stosie za głoszenie herezji.

W tym samym okresie bogaty duński szlachcic i astronom, Tycho Brahe²¹, czynił ogromne postępy w sztuce prowadzenia obserwacji astronomicznych i zapisu ich wyników. Śledził zachodzące w kosmosie zmiany bez użycia teleskopu, wykorzystując jedynie własny wzrok i myślnie urządzenia pomiarowe – wynalazł nowe rodzaje kwadrantów, sekstantów i sfer armilarnych, za pomocą których mierzył kąty, położenie i współrzędne z zaskakującą dokładnością. Pewnej listopadowej nocy w 1572 roku dwudziestosekstoletni Brahe był świadkiem pojawienia się na niebie nad Europą Zachodnią nowej gwiazdy²². Obserwacja obiektu nie wykazała dostrzegalnej paralaksy, ale z całą pewnością nie było go w tym miejscu żadnej minionej nocy. Brahe doszedł do wniosku, że Wszechświat nie jest niezmienny – mógł się zmieniać, i to w gwałtowny sposób.

Obecnie wiemy, że był wówczas świadkiem wybuchu supernowej, tym razem potężnej implozji białego karła, będącego pozostałością po masywnej gwiazdzie, położonej w odległości około 8000 lat świetlnych od Układu Słonecznego. Przeżycie związane z oglądaniem tego pierwotnego zjawiska stanowiło dla astronomów Zachodu zachętę do opracowania jeszcze lepszych metod pomiaru położenia i jasności ciał niebieskich, a także do objaśnienia budowy świata. Brahe również ciężko pracował nad połączeniem albo przynajmniej pogodzeniem kosmologii Ptolemeusza z ideami Kopernika. Wykreował własny „tychonowy” system geoheliocentryczny, w którym Słońce i Księżyc okrążyły Ziemię, lecz pozostałe planety poruszały się wokół Słońca.

Choć było to naciągane rozwiązanie, uznał je za satysfakcjonujące, ponieważ nadal nie był w stanie wykryć paralaksy gwiazd, a utrzymywanie „ociężałej” Ziemi w stanie spoczynku oznaczało, że wspomniany brak paralaksy łatwo można było wytłumaczyć. Jeszcze lepsze było to, że jego system umożliwił osiągnięcie wygodnego kompromisu wszystkim zwolennikom wizji proponowanej przez Kopernika, którzy nie mogli spokojnie spać z powodu głoszonych poglądów naukowych. W rzeczywistości to jednak skrupulatność Brahego w zakresie prowadzonych obserwacji astronomicznych umożliwiła przygotowanie gruntu pod kolejne działania, rewolucyjne posunięcia, których autorem okazał się jego były asystent, pochodzący z Niemiec Johannes Kepler.

Cztery lata przed poznaniem Brahego w 1600 roku Kepler opublikował dzieło zatytułowane *Mysterium Cosmographicum (Tajemnica Kosmosu)*, w którym zawarł porywającą obronę

kopernikańskiej wizji budowy niebios. Co ciekawe, oprócz tego, że wprost obsesyjnie zagłębiał się w niuanse matematyczne, Kepler był człowiekiem głęboko religijnym i czuł, że w każdym aspekcie położenia i ruchu ciał niebieskich należy doszukiwać się boskiej interwencji. (Fakt ten może nieco tłumaczyć, dlaczego pierwsze podejście Keplera do heliocentrycznego modelu budowy kosmosu opierało się na wykorzystaniu szeregu trójwymiarowych wielościannów, umieszczanych jeden w drugim – co było koncepcją mocną pod względem logiki geometrii i ponętą, aczkolwiek głęboko błędną).

Historia życia i badań naukowych Keplera jest zawiła. Był niezwykle pracowitym i twórczym człowiekiem, zwłaszcza na polu nauki. Badania w dziedzinie optyki pozwoliły mu sformułować podstawowe prawo jasności: natężenie źródła światła jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu jego odległości. Po zaobserwowaniu w 1604 roku kolejnej supernowej Kepler również wysnuł ten sam wniosek, który wcześniej formułował Brahe: wobec braku mierzalnej paralaksy arystotelesowski model wszechświata niezmiennego i trwałego w jednym kształcie najprawdopodobniej nie jest poprawny. Co jednak najważniejsze, w odniesieniu do problemów, jakie miały modele Ptolemeusza i Kopernika z objaśnieniem ruchu planet, Kepler otrzymał od losu niezwykle podarunek

Widzący światowe życie Tycho Brahe w 1601 roku nieszczęśliwie zapadł na jakąś infekcję i przedwcześnie odszedł z tego świata, zostawiając Keplerowi w spadku²³ kompletny zestaw precyzyjnych tablic pozycji ciał niebieskich. Niektóre źródła sugerują, że Kepler sam zadbał o to, żeby wpadły mu w ręce zapiski jego mistrza, zanim masa spadkowa zostanie podzielona. Zdążył już rozpocząć pracę z Brahem, toteż doskonale wiedział, czego potrzebuje.

Bezprecedensowa jakość pomiarów Brahego dała Keplerowi szansę uporania się z odwiecznym i dokuczliwym problemem, jakim było znalezienie doskonałego dopasowania modelu do rzeczy wistego ruchu planet. Istniejące rozwiązania wciąż pełne były dziur, tolerowano nawet tak zwane residua, luki między przewidywanymi pozycjami planet i ich rzeczywistym położeniem w różnych momentach. W określone noce planety zwyczajnie nie chciały znaleźć się dokładnie tam, gdzie według modelu być powinny, co należało uznać za irytujący problem.

Kiedy Kepler zasiadł do studiowania tego obszernego zbioru danych, zdecydował się skupić uwagę na obserwacjach Marsa. Wybór ten, jak sądzę, jest jednym z najlepszych przykładów szczęśliwego trafu w całej historii zachodniej nauki, nawet biorąc pod uwagę fakt, że mógł on być zainspirowany wcześniejszymi sugestiami Brahego.

Z sześciu planet, o których wiedział Kepler, Mars charakteryzował się najbogatszym zestawem anomalii. W gruncie rzeczy Kepler wykazał, że Mars nie mógłby wędrować po ustalonej orbicie, gdyby Ziemia znajdowała się w centrum wszechświata. Poszedł dalej i rozważył czynnik, którego do tej pory brakowało we wszystkich modelach budowy Wszechświata: możliwość, że obiekty nie poruszają się przez cały czas z tą samą prędkością. Włączając tę ewentualność do zbioru komponentów modelu, otworzył na oścież nowe okno w myśleniu o przyrodzie, ponieważ jeśli ciała mogły poruszać się ze zmienną prędkością, to mogły też poruszać się po torach, które nie były idealnymi okręgami. Nie było to łatwe zadanie – Kepler zmagął się z nim długo, od chwili rozpoczęcia badań do uzyskania rozwiązania upłynęło osiem lat.

Kepler wypróbował różne kształty torów, po których poruszałyby się planety. Jajowate owale nie zdawały egzaminu, nie pasowały też inne kształty. Zdecydował się podejść do

problemu ruchu ciał niebieskich uzbrojony jedynie w matematykę, uzyskał rozwiązanie i odrzucił je, aby niedługo potem metodą prób i błędów dojść do tego samego wyniku. Ostatecznie zdał sobie sprawę, że tory wszystkich ruchów planetarnych należą do grupy krzywych znanych jako krzywe stożkowe²⁴. Zaliczają się do nich okręgi, parabole, hiperbole, a także, co najważniejsze, elipsy.

Przyczyna wykazywania przez ruch Marsa w modelu Kopernika tak potwornych anomalii tkwiła w tym – dziś to wiemy – że w porównaniu z Wenus, Ziemią, Jowiszem i Saturnem orbita tej planety jest najmniej zbliżona do okręgu albo, mówiąc inaczej, najbardziej eliptyczna. Spośród planet znanych Keplerowi tylko Merkury porusza się po orbicie o większej ekscentryczności. Problem w tym, że obserwacje Merkurego komplikuje bliskość Słońca. Kepler wysnuł wniosek, że planeta lub każde inne ciało znajdujące się na orbicie eliptycznej będzie zwalniać w miejscu najdalej położonym od środka i przyspieszać w tym położonym bliżej środka. Wprowadzenie tej jednej poprawki eliminowało nęklące Marsa anomalie.

Kepler zebrał wszystkie pomysły i w 1609 roku opublikował *Astronomia nova*, „nową astronomię”, w której zaprezentował pierwsze dwa ze swych słynnych praw, opisujących ruch planet: orbita każdej planety jest elipsą, a w jednym z ognisk tej elipsy znajduje się Słońce; w trakcie ruchu orbitalnego planety linia łącząca planetę i Słońce zakreśla równe pola w jednakowych odstępach czasu.

Kepler uświadomił sobie, że pomiędzy Słońcem i planetami może zachodzić jakaś niewidzialna gra wpływów (dziś użylibyśmy określenia oddziaływanie). Koncepcja ta zaślugała na miano rewolucyjnej i choć całość formułowana była w dość tajemniczy sposób, jej autor posunął się nawet do sugestii, że wspomniane wpływy mogą słabnąć wraz z odległością od Słońca. Dlatego też planety bardziej oddalone od Słońca poruszałyby się wolniej, co, oczywiście, faktycznie się dzieje.

W 1610 roku, zaledwie rok po ukazaniu się dzieła *Astronomia nova*, Galileo Galilei²⁵ (Galileusz) zaobserwował przy użyciu teleskopu okresowy ruch najjaśniejszych księżyców Jowisza i fazy Wenus. Obie obserwacje doprowadziły spór pomiędzy zwolennikami różnych poglądów na budowę niebios do temperatury wrzenia, dostarczyły bowiem jeszcze więcej mocnych dowodów przemawiających za systemem heliocentrycznym i jednocześnie ustawiły Galileusza na kursie kolizyjnym z obowiązującymi w tamtym czasie doktrynami. Jednak wizja Wszechświata, która wyłaniała się z prac Keplera, skrywała jeszcze jeden drobiazg o kolosalnym znaczeniu, jeśli dąży my do zrozumienia naszej pozycji w kosmosie.

Jeżeli ogólną zasadą jest to, że planety poruszają się po orbitach eliptycznych, a orbity te nie muszą wszystkie leżeć w tej samej płaszczyźnie wokół masywnej, centralnej gwiazdy, otwiera się możliwość istnienia niezwykle szerokiego zakresu ruchów planet i różnego ich rozmieszczenia, a wciąż pozostają spełnione prawa Keplera (wkrótce będzie to fizyka Newtona). Wątpię, aby ktokolwiek podejrzewał to w tamtych czasach, ale otwarto drzwi do wszechświata o większej obfitości i różnorodności, niż można było sobie wymarzyć, wykraczającej poza wyobrażenia dawnych atomistów i pluralistów. Obserwacje Galileusza przyniosły jeszcze inne niespodzianki.

Przy użyciu teleskopu mógł on zobaczyć gwiazdy zbyt słabe, aby dostrzec je nieuzbrojonym okiem. Kiedy skierował instrument na pozornie jednolity i gładki obszar Drogi Mlecznej, ze zdumieniem odkrył, że w rzeczywistości tworzą ją gwiazdy, które są tak drobne i których jest tak wiele, że dla nieuzbrojonego oka zdają się zlewać w jedną całość. Jego obserwacje tych innych zjawisk przykrywają zwykle mniej uwagi, niż na to zasługują, ponieważ to dzięki nim zaczęto ujawniać prawdziwy ogrom natury.

Podobnie jak szok, jakim było dostrzeżenie supernowej przez Tychona Brahego, myśl, że na niebie są ukryte obiekty, wbijała się klinem w kosmologiczne koncepcje tamtych czasów. Obserwacje te, w połączeniu z odkryciem przez Antoniego van Leeuwenhoecka kilka dziesięcioleci później rojnego, mikroskopijnego wszechświata, kryjącego się w każdej kropelce wody i ludzkiej śliny, zaczęły unosić nieprzejrzystą do tej pory zasłonę, za którą czekała rzeczywistość o kolosalnej złożoności i głębi. Tymczasem jednak te kluczowe odkrycia, wskazujące na ogrom przyrody – rozciągający się w obu kierunkach skali rozmiarów – nie wywołały nawet w drobnej części takiej kontrowersji, jak zwykła decentralizacja naszego położenia we Wszechświecie.

Wstrząs spowodowany tym przesunięciem dotyczył głównie kręgów kościelnych i dworskich koterii. Nie wydaje się, aby Galileusz lub Kepler postrzegali heliocentryzm jako *degradację* statusu Ziemi. Wprost przeciwnie, oznaczał on dla nich, że Ziemia przestała zajmować miejsce „na samym dnie” zbioru planet – znajdowaliśmy się na szlachetnym globie, wewnątrz orbit innych planet. Jak na ironię, Kepler napisał nawet, że według niego oznacza to, iż Ziemia znajduje się *pośrodku* rodziny planet (ich orbit), w której Merkury, Wenus i Słońce zajmowały miejsca wewnątrz jej orbity, a Mars, Jowisz i Saturn na zewnątrz. Prawdę mówiąc, tak silne przekonanie o doniosłym znaczeniu człowieka w wielkim planie stworzenia osłabiło cios, jakim był rosnący materiał dowodowy świadczący o autentycznym bezmiarze natury, od rzeczy najmniejszych do największych.

* * *

Mijały lata, aż nadszedł rok 1642, który w styczniu przyniósł śmierć Galileusza, a w grudniu narodziny Izaaka Newtona. Historia życia Newtona, podobnie jak Kopernika, Bruna, Brahego, Keplera i Galileusza, jest niezmiernie bogata. Najważniejszy dla naszej sprawy moment zbiega się z publikacją w 1687 roku monumentalnego dzieła *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematyczne zasady filozofii przyrody*), bardziej znanego pod skróconą nazwą *Principia*. W dziele tym Newton wyłożył nie tylko matematyczne prawa ruchu ciała, łącznie z pojęciami bezwładności, pędu, siły i przyspieszenia, ale sformułował też prawo powszechnej grawitacji.

Newton dostrzegł, że wzajemne przyciąganie dwóch ciał można opisać za pomocą siły, której wartość jest tym większa, im większa jest masa, jednak maleje wraz z kwadratem odległości. Obrawszy za punkt wyjścia własną hipotezę, wyprowadził matematyczny dowód praw Keplera, po raz pierwszy pokazując, że prawa rządzące ruchem planet wywodzą się bezpośrednio z podstaw fizyki. Newton zaprezentował też analizę ruchu Księżyca, orbit komet i grawitacyjnego

oddziaływania więcej niż dwóch ciał. Zauważył, że pomimo wyraźnie heliocentrycznej natury Układu Słonecznego Słońce tak naprawdę również porusza się wokół pewnego punktu, będącego środkiem masy lub punktem równowagi dla wszystkich ciał należących do Układu Słonecznego. Wyznaczył nawet położenie tego punktu – miał się znajdować w pobliżu obserwowanej powierzchni Słońca, mocno odsunięty od jądra, głównie w wyniku grawitacyjnego oddziaływania Jowisza i Saturna. (Ten ostatni fakt jest doskonale znany współczesnym astronomom, ponieważ taki sam rodzaj przesunięcia środka ciężkości w innych układach planetarnych pozwala na zastosowanie kluczowej techniki poszukiwania egzoplanet, czyli planet leżących poza naszym Układem Słonecznym, o których będziemy mówić więcej w jednym z kolejnych rozdziałów. Mierzy się ruch orbitalny gwiazdy wokół tego punktu, gdyż wskazuje on na obecność niedostrzegalnych, lecz masywnych ciał).

Newton był dziwnym człowiekiem o dość skomplikowanej osobowości, głęboko religijnym. Piękne fizyczne objaśnienie ruchów planet było dla niego dowodem istnienia najwyższego boga, który steruje mechanizmem utrzymującym tory ciał niebieskich w idealnym tańcu przez przestworza. Dla innych myślicieli działających w następnym stuleciu, takich jak wielki francuski matematyk i naukowiec Pierre-Simon Laplace, oznaczało to coś wręcz przeciwnego. We wszechświecie Kopernika żadna sterująca mechanizmem dłoń nie była potrzebna, nie wymagał on żadnych ustalonych z góry trajektorii lub konfiguracji, wystarczały prawa fizyki, determinujące, gdzie i kiedy dane ciało niebieskie się znajduje. Jednak Laplace czuł również, że uzbrojeni we wspomniane prawa, a także dysponujący kompletną wiedzą na temat położenia i ruchu wszystkich ciał w dowolnej chwili, znalibyśmy przeszłość i przyszłość. Może we Wszechświecie nie było żadnej sterującej dłoni, ale był on deterministyczny [26](#).

Mijały kolejne stulecia, w których stale poprawiano jakość obserwacji pobliskiego kosmosu, wzbogacano też aparat matematyczny i arsenał fizyki teoretycznej. Mistyczne i filozoficzne racje przemawiające za istniejącym w naturze porządkiem ustępowały miejsca zastosowaniu prostszych, bardziej uniwersalnych praw. W tym samym czasie nasza wiedza o budowie kosmosu stawała się coraz bogatsza, rosło przekonanie o ekstremalnie wielkiej skali i szalonej różnorodności zjawisk, które skrywał przed nami upływ czasu lub ich niewielka intensywność. Coraz większą akceptację w kręgach filozofów i naukowców zyskiwała myśl, że gwiazdy są nie tylko bardzo odległe, lecz także zapewne rozsiane po całej przestrzeni o ogromnej objętości. Wraz z wrażeniem rosnącej skali ludzie zaczęli nawet ponownie rozważać refleksje starożytnych greckich atomistów, według których kosmos jest nieskończony.

Wielokierunkowo ewoluowały również poglądy na to, jak ważną rolę w tym wszystkim odgrywa człowiek. Newtonowi deptał po piętach holenderski uczony Christiaan Huygens. Tuż przed śmiercią w 1695 roku podzielił on się ze światem swoimi przemyśleniami na temat możliwości życia na innych ciałach niebieskich [27](#). Huygens był przekonany o „mnogości światów”. Prowadząc przy użyciu teleskopu obserwacje planet, a nawet księżyców Jowisza i Saturna, wyobrażał sobie, że są tam miejsca zasobne w wodę i zdatne do zamieszkania. Zdawało mu się, że niemal nieuniknione jest występowanie życia podobnego do naszego w innych

światach. Z całą pewnością pogląd ten nie był podzielany przez wszystkich, toteż rozgorzał spór o miejsce człowieka wśród gwiazd.

W okresie tym działo się coś jeszcze: trwała hałaśliwa i zaskakująco niedoceniana debata naukowa, rozpoczęta na początku XVIII wieku, w której jednak nie osiągnięto satysfakcjonującego rozwiązania aż do lat siedemdziesiątych XX wieku²⁸. W wyniku imponującego postępu, jaki dokonał się w fizyce za sprawą takich naukowców, jak Kepler, Galileusz, Newton i Laplace, Układ Słoneczny zyskał konkretne oblicze i aż prosił się o należyte naukowe objaśnienie jego początków.

Skąd wzięły się planety i Słońce, jeśli coraz mniej przemawiało za aktem boskiego stworzenia, a coraz więcej świadczyło o skutkach działania praw natury? Odpowiedź, jak wkrótce pokażę, jest dość szokująca i doskonale wpasowuje się we współczesną debatę, dotyczącą naszych początków i znaczenia. Zanim jednak do tego przejdziemy, musimy w krótkiej historii rozwoju perspektywy kosmicznej sięgnąć czasów obecnych.

Przed końcem wieku XIX zaczęliśmy doceniać autentyczny bezmiar Wszechświata. Gwiazdy oficjalnie uznano za ciała podobne do Słońca, położone w niezwykle dużej odległości – dowodziły tego prace astronomów, którym w końcu, po zbadaniu rocznego ruchu Ziemi w przestrzeni kosmicznej, udało się zmierzyć ledwie zauważalną paralaksę gwiazd. Odkryto też nowe planety w Układzie Słonecznym – w odległych mrokach Uran i Neptun, oraz nieco bliżej, tuż za orbitą Marsa, mniejsze, lecz wciąż masywne obiekty: Ceres i Węstę²⁹. Analiza widmowa światła gwiazd zaczęła ujawniać ich skład chemiczny, we wnętrzu Słońca odkryto nowy pierwiastek – dzisiaj nazywamy go helem³⁰.

Bez odpowiedzi pozostawały jednak ważne pytania. Czy Wszechświat ma nieskończone wymiary, a może nawet nieskończony jest jego wiek? Czy składająca się z gwiazd smuga na niebie, którą nazywamy Drogą Mleczną, stanowi cały Wszechświat, czy też inne, małe smużki mgławic, jak ta nazywana Andromedą, są w rzeczywistości innymi „wszechświatami wyśpomy mi”, innymi galaktykami?

W trzech pierwszych dekadach XX wieku, które wyróżniał wysyp odkryć i wynalazków na niespotykaną wcześniej skalę, doszło do kolejnej serii naukowych rewolucji. Te historie opowiedziano już nieskończenie wiele razy: sformułowanie teorii względności przez Alberta Einsteina, przeprowadzenie pomiarów ukazujących prawdziwą skalę kosmosu i ujawniających naturę galaktyk, rozwinięcie mechaniki kwantowej. Wszystkie te osiągnięcia owocowały radykalnymi poglądami na kształt natury, które były próbą pogodzenia splatających się właściwości ciał bardzo dużych i ciał submikroskopowych, szybkich i obdarzonych wielką energią, a także sięgnięcia fundamentów samej rzeczywistości. Rewolucje te również czekała konfrontacja i rywalizacja z wyobrażeniami na temat naszego miejsca w kosmosie.

Z heliocentrycznego modelu Kopernika wynikało, że Wszechświat wyglądałby mniej więcej jednakowo niezależnie od tego, na jakiej planecie znajdowałby się obserwator. Oczywiście rozszerzeniem tego wniosku jest teza, że Wszechświat wyglądałby mniej więcej jednakowo z *każdego* miejsca w jego wnętrzu – czy będzie to punkt w naszym Układzie Słonecznym, czy też

układzie innej gwiazdy, znajdującym się w naszej Galaktyce, albo w dowolnej innej, którą mogą dzielić od naszej dziesiątki milionów lat świetlnych. Dla Einsteina, dopracowującego swą teorię po 1915 roku, była to propozycja bardzo wygodna pod względem filozoficznym, dzięki której zastosowanie jego ogólnej teorii względności do Wszechświata jako całości wyglądało znacznie prościej. Tak zrodziła się *zasada kosmologiczna*³¹.

Jeśli sięgnąć po nieco bardziej hermetyczny żargon naukowy, to zgodnie z tą ideą Wszechświat jest jednorodny. Podczas gdy może w nim istnieć wiele małych asymetrii, takich jak skupiska gwiazd i galaktyk, to jednak niezależnie od miejsca, liczba tych bryłek i grudek wszędzie jest jednakowa. Podobnie jest z powierzchnią Ziemi: niektóre partie są góryste, inne to płaskie tafle oceanów, lecz po uśrednieniu, jakikolwiek obszar na Ziemi wybierzemy, znajdziemy w nim tę samą mieszaninę gór i oceanów. Takie uśrednienie było użyteczne w sytuacji, w jakiej znalazł się Einstein, gdy za pomocą uogólnionej teorii czasoprzestrzeni próbował opisać funkcjonowanie kosmosu.

Oznacza ona jeszcze przyjęcie założenia, iż Wszechświat jest izotropowy, czyli że wygląda tak samo dla każdego obserwatora, niezależnie od miejsca i kierunku obserwacji. To już trochę trudniej przełknąć. Przecież nie można utrzymywać, że właśnie w taki sposób postrzegamy otaczający nas świat i Układ Słoneczny – wystarczy podnieść wzrok na nocne niebo, aby dostrzec wyraźne niejednorodności w rodzaju jasnego pasa Drogi Mlecznej. Jednak w większej skali, gdy mamy do czynienia z ogromną liczbą galaktyk w dalekim kosmosie, liczba i rozmieszczenie obiektów widzianych w dowolnym kierunku byłyby mniej więcej jednakowe.

Wydaje się, że po raz pierwszy tę zasadę kosmologiczną powiązano z ideami Kopernika na początku lat pięćdziesiątych XX wieku. Wtedy to urodzony w Austrii fizyk Hermann Bondi³² w omówieniu swego modelu kosmologicznego, znanego pod nazwą teorii stanu stacjonarnego i uznawanego dziś za błędny, użył frazy „kopernikańska zasada kosmologiczna”.

Teoria stanu stacjonarnego stwierdzała, na co w dużej mierze wskazuje jej nazwa, że Wszechświat jest wieczny, nie ma ani początku, ani końca. Chcąc uczynić teorię łatwiejszą do przyjęcia, Bondi obmyślił jeszcze silniejszą zasadę: Wszechświat miał wyglądać identycznie we wszystkich kierunkach nie tylko dla obserwatora znajdującego się w dowolnym miejscu, ale także w *dowolnej chwili*. Choć wiemy teraz ze stuprocentową pewnością, że nasz Wszechświat nie jest w stanie stacjonarnym, kopernikańska zasada kosmologiczna wzmocniła ogólne wrażenie, iż absolutnie nie ma nic szczególnego w naszym miejscu w kosmosie, w żaden sposób nie jesteśmy uprzywilejowani, ani pod względem położenia, ani momentu.

Mniej więcej w połowie XX wieku dokonał się błyskawiczny postęp w najróżniejszych dziedzinach nauki, od kosmologii do mikrobiologii i genetyki, pojawiło się też kilka generacji nadzwyczaj wpływowych naukowców. Kiedy jednak stawało się coraz bardziej jasne, że Wszechświat sam w sobie jest miejscem kipiącym różnorodnością i podlegającym ewolucyjnym zmianom, kilku badaczy zaczęło dostrzegać dziwne koincydencje w zakresie wartości fundamentalnych stałych fizycznych. Są to liczby opisujące takie zjawiska, jak siła grawitacji lub masy cząstek subatomowych, w szczególności szacowany wiek Wszechświata. Pewne połączenia tych liczb przynosiły zaskakujące rezultaty. Na przykład stosunek sił grawitacyjnych i elektrycznych, obejmujący stałe wartości opisujące grawitację, masy i ładunki elektryczne elektronów oraz protonów, jest mniej więcej równy 10^{39} . Liczba ta jest

zadziwiająco podobna do liczby opisującej aktualny wiek Wszechświata, wyrażony w atomowych jednostkach czasu (jest ona równa ok 2×10^{17} sekundy). Pierwszy, który zwrócił na to uwagę, był fizyk Paul Dirac³³.

Dlaczego jednak te fundamentalne stałe miałyby być związane z wiekiem Wszechświata liczonym *teraz*? Trochę wcześniej lub później na skali kosmicznego czasu tego związku już by nie było. Ponadto w innym momencie panujące wówczas warunki mogłyby uniemożliwić istnienie jakiegokolwiek inteligentnego życia, którego przedstawiciele mieliby szansę ów związek dostrzec! Było to niczym przytyczek w nos wymierzony zwolennikom zasady kopernikańskiej, bo przecież pojawiała się sugestia, iż jednak jest coś wyjątkowego w tym miejscu i tym czasie, jak też w aktualnych właściwościach fizycznych kosmosu.

Ostatni decydujący dowód tego, że wiek Wszechświata jest skończony, przedstawiono w 1965 roku, po odkryciu zalewającego nas zewsząd mikrofalowego promieniowania, powstałego w czasach, gdy Wszechświat był młody – fotony te faktycznie są pozostałością po gorącym Wielkim Wybuchu³⁴. Ta wyraźna wskazówka, iż Wszechświat był kiedyś zupełnie inny niż obecnie, koszmarnie gęsty i kipiący od nagromadzonej energii, była czymś więcej niż łyżką dziegciu w beczce miodu. To było całe wiadro dziegciu, z impetem wlanego do beczki z kopernikańską przeciętnością. Sprawy stanęły na ostrzu noża w 1973 roku za sprawą słynnej prezentacji australijskiego fizyka Brandona Cartera.

Carter, odgrywający kluczową rolę w rozwoju nowoczesnej fizyki czarnych dziur, czuł potrzebę poruszenia tematu, którym interesowało się wielu jego kolegów, z fizykiem Johnem Wheelerem i młodym Stephenem Hawkingiem na czele. Na włożenie kija w mrowisko wybrał ni mniej, ni więcej, tylko specjalne sympozjum zorganizowane w Polsce, w Krakowie, z okazji pięćsetnej rocznicy urodzin Mikołaja Kopernika. W swoim wystąpieniu Carter wyraził głośno myśli, które pojawiały się w umysłach wielu naukowców, zastanawiających się nad tymi wszystkimi związkami, jakie zdawały się łączyć właściwości kosmosu z warunkami, w jakich rozwinęło się życie na Ziemi. Zagłębił się w temat tak bardzo, że zaczął rozważać, jak odmiennie mogłby wyglądać Wszechświat, gdyby zmianie uległy tylko niektóre z charakteryzujących go wielkości – choćby wzajemny stosunek podstawowych sił, które spajają materię.

Rozpatrywanie tych zmian prowadziło do intrygującej kwestii, którą Carter szczegółowo rozwinął dla swych słuchaczy. W pewnej pokrętej wersji natury mogłoby nie dojść, na przykład, do powstania gwiazd, skoro jednak sami jesteśmy zbudowani z pierwiastków wytworzonych we wnętrzu gwiazd i znajdujemy się tutaj, aby prowadzić obserwacje kosmosu, już ten jeden fakt mówi nam coś na temat Wszechświata, w którym żyjemy. Mówiąc inaczej, nasze istnienie, samo w sobie, mówi nam coś na temat charakteru fizyki we Wszechświecie – możemy być ważniejsi, niż sądziliśmy. Carter określił takie podejście do badania kosmosu zastosowaniem „zasady antropicznej”, ponieważ przymiotnik „antropiczna” kojarzymy z czymś odnoszącym się do istnienia człowieka. Zwrot nie odzwierciedlał precyzyjnie tego, co miał na myśli, chodziło mu bowiem o to, że mogłoby to być *dowolny* obserwator Wszechświata, niekoniecznie przedstawiciel naszego gatunku. Carter zaproponował później semantycznie poprawniejsze określenie, ale słowo „antropiczna” już się przyjęło.

Ukryty w tym podejściu do zrozumienia świata sens dobrze podsumowują słowa wypowiedziane wówczas przez samego Cartera: „Kopernik przekazał nam bardzo głęboką myśl,

że nie wolno bezpodstawnie zakładać, iż zajmujemy uprzywilejowany, *centralny* punkt we Wszechświecie. Niestety, istniała silna (nie zawsze nieświadoma) tendencja do rozbudowywania tej myśli do postaci skrajnie wątpliwego dogmatu, z którego wynika, że nasza sytuacja nie może być uprzywilejowana pod żadnym względem³⁵. Otóż nie można i nie powinno się ignorować mnogości zjawisk, które zaistniały, jak się zdaje, właśnie w taki sposób, aby mogło się zrodzić życie, abyśmy my mogli istnieć.

O zasadzie antropicznej napisano już bardzo dużo. Jest prawdziwą kopalnią złota³⁶ dla niektórych fizyków i wielu filozofów, często stanowi temat pogmatwanych i wprawiających w zakłopotanie rozmów przy drinkach, dyskusji, które donikąd nie prowadzą. Pojawiły się nawet ekstremalne wersje zasady, z których miało wynikać, że jakkolwiek zdalny do funkcjonowania wszechświat *musi* wytworzyć inteligentne życie, zdolne prowadzić jego obserwacje – pomysł, od którego zamierzam trzymać się z daleka.

Zasada antropiczna jest jednak ważną koncepcją, zachęcającą do zmierzania się z niektórymi uprzedzeniami na temat otaczającego nas kosmosu i przyjrzenia się wewnętrznym obciążeniom procesu obserwacji. Ponieważ stanowi wyzwanie rzucone bezpośrednio zasadzie kopernikańskiej (lub raczej wynikającemu z niej dominującemu przekonaniu o naszej przeciętności), powinniśmy skupić się na kilku szczegółach.

W dzisiejszych czasach antropiczne idee pojawiają się przede wszystkim w dyskusjach koncentrujących się na fenomenie nazywanym „precyzyjnym dostrojeniem”, który bazuje na bliższej analizie kosmicznych zbiegów okoliczności, jakie pierwotnie spowodowały, że naukowcy zaczęli zastanawiać się nad tymi kwestiami. O co chodzi z tym precyzyjnym dostrojeniem? Kiedy przyjrzymy się różnym właściwościom Wszechświata urzeczywistnianym przez stałe natury, takie jak stosunek siły grawitacyjnej do innych sił lub proporcje materii i energii we Wszechświecie, dostrzeżemy, że gdyby właściwości te uległy choćby niewielkiej zmianie, życie mogłoby nigdy się nie rozwinąć.

Problem w tym, że takie dostrojenie jest odrobinę bardziej skomplikowane, ponieważ mówiąc o drobnej zmianie, tak naprawdę mamy na myśli fakt, że takie obiekty, jak gwiazdy i galaktyki, w ogóle by nie powstały albo nigdy nie wytworzyłyby ciężkich pierwiastków, w tym węgla, niezbędnych w procesach chemicznych organizmów żywych. Tak więc, innymi słowami, mogłyby zowieść rozmaite pierwotne funkcje kosmosu, stanowiące podbudowę dla funkcji drugorzędnych, które bierzemy pod uwagę. W ten sposób oczywiście przyjmujemy założenie, iż życie musi być podobne do naszego – trudno jednak sobie wyobrazić, jak we wszechświecie zbudowanym jedynie z wodoru i helu mogłyby powstać struktury o takim stopniu złożoności, który charakteryzuje życie oparte na węglu.

Nie jest wcale oczywiste, które własności są najważniejsze w kontekście istnienia życia. Najlepszym sposobem na zawężenie listy jest szukanie matematycznych związków pomiędzy wielkościami fizycznymi związanymi ze zjawiskami, które możemy obserwować. Naukowcy Bernard Carter i Martin Rees³⁷ dokonali tego w 1979 roku. Później, w 1999 roku, problem zbadał ponownie już sam Rees³⁸ i otrzymał sześć wielkości liczbowych, mieszczących się w stosunkowo

wąskim zakresie wartości decydujących o tym, że Wszechświat jest taki, jaki jest, a dodatkowo przyjazny życiu, jakie znamy. Liczby te to:

- stosunek siły grawitacyjnej do sił oddziaływania elektromagnetycznego;
- odsetek materii przekształconej w energię na drodze reakcji syntezy jądrowej wodoru w hel;
- całkowita gęstość normalnej materii we Wszechświecie;
- gęstość energii kwantowych fluktuacji próżni (która może być tym samym co ciemna energia, odpowiedzialna za przyspieszenie ekspansji Wszechświata);
- rozmiary maleńkich niejednorodności w młodym Wszechświecie, z których ostatecznie powstały struktury takie jak galaktyki i gromady galaktyk;
- rzeczywista liczba wymiarów przestrzennych naszego Wszechświata.

To dość bogaty zestaw warunków, dzięki czemu prawdopodobieństwo pojawienia się wszechświata, który – przypadkiem – będzie zawierał wszystkie cechy sprzyjające powstaniu życia, wydaje się dość znikome. Oczywiście, czytając te słowa, można pomyśleć: „Gdyby jednak nie zaistniały wszystkie te warunki, nie byłoby nas, żeby się nad tym zastanawiać. Po prostu musimy istnieć we wszechświecie takiego typu”. Najprawdziwsza prawda. Jednakże jeśli jest to jeden jedyny wszechświat, nie było przed nim innego i nie będzie innego po nim, rodzi się kłopotliwe pytanie, dlaczego okazał się on właśnie taki: odpowiedni do rozwoju życia.

Jedną z najbardziej pociągających odpowiedzi jest stwierdzenie, że nasz Wszechświat jest tylko jednym z niemal nieskończonej liczby wszechświatów, w których mogło rozwinąć się życie. Jest on zaledwie pojedynczym przykładem rodzaju rzeczywistości, która jest oddzielona od gazyliionów pozostałych przez przestrzeń lub inne wymiary. Przymiotnik „pociągający” może w tym kontekście robić komiczne wrażenie – przywołałem właśnie pomysł, który mógłby wydawać się bezpodstawną hipotezą dotyczącą natury rzeczywistości. Tymczasem idea „wieloświata”³⁹ jest czołową kandydatką do miana teorii ukazującej głębszą prawdę o świecie fizycznym. W istocie podobnymi torami biegły myśli Brandona Cartera już wtedy, gdy mówił o zasadzie antropicznej.

Choć nie wydaje mi się, żeby ktokolwiek mógł utrzymać, iż dysponujemy bezpośrednim dowodem istnienia wieloświata, to jednak idea ta została włączona do kilku fascynujących teorii i wydaje się, iż podsuwa rozwiązania w zakresie innych aspektów fizyki subatomowej i kosmologii. Jeśli jest poprawna, znaczyłoby to, że problemu precyzyjnego dostrojenia zwyczajnie nie ma. Po prostu zamieszkujemy w jednym z wielu wszechświatów, który jest „akurat taki”, jaki być powinien, aby mogły w nim zaistnieć galaktyki, gwiazdy, pierwiastki ciężkie i złożona chemia oparta na węglu. Wygląda na to, że problem zostałby zgrabnie rozwiązany i rzeczywiście pod wieloma względami tak właśnie by było... pod warunkiem że naprawdę wiedzielibyśmy, iż żyjemy we wnętrzu wieloświata.

Inny kłopot z rozwiązaniem oferowanym przez wieloświat polega na tym, że jest ono wciąż częściowo inspirowane przez myśl, iż nasz Wszechświat jest faktycznie precyzyjnie dostrojony

do warunków sprzyjających życiu. Nadal jest to przejaw myślenia czysto w kategoriach antropicznych, w tych kategoriach bowiem przyjmowane jest przecież założenie, że to my w całości reprezentujemy fenomen życia. Wydaje się to nieco zaściankowe, gdy wysuwamy ten argument, nie czując potrzeby powoływania się na inne życie albo formy życia gdzieś w kosmosie. Zupełnie jakbyśmy całą filozofię nauki arbitralnie oparli na istnieniu pewnego szczególnego rodzaju niezwyklej papugi. Ostatnia rzecz, której chcemy, to zapędzić się w kozo róg. Warto więc drążyć temat głębiej, ponieważ na razie nie wiemy, czy zamieszkujemy jedną z części wieloświata, jak też nic z tego, co opisałem powyżej, nie przybliży nas do dokonania oceny naszego kosmicznego statusu i odpowiedzi na pytanie, czy nasze istnienie jest ważne, czy też ważne nie jest.

Wystarczy zaledwie bardzo prosta zmiana perspektywy⁴⁰ naszego spojrzenia na Wszechświat i można szybko zdać sobie sprawę, że pewne aspekty precyzyjnego dostrojenia i opartego na antropizmie rozumowania zaczynają wyglądać jak pułapki, mające zwieść na manowce poszukiwacza prawdy o miejscu człowieka w kosmicznym planie. Przyjrzyć się jeszcze innym pomysłem rozwijającym temat, ale weźmy na początek coś innego – pewną żartobliwą dykteryjkę, która prowadzi do nieblahego wniosku.

Założmy na chwilę, że dokonane przez Galileusza interpretacje własnych obserwacji Wszechświata zostały natychmiast okrzyknięte koronnym osiągnięciem rozumu i techniki. Zamiast być człowiekiem odsądzanym od czci i wiary, staje się ulubieńcem siedemnastowiecznego Kościoła i ludzi rządzących państwem. W tej alternatywnej rzeczy wistości światłe władze wykorzystują ów moment, aby zainicjować wielką rewolucję techniczną, dostrzegając tkwiące w inżynierii i nauce potencjalne zyski ekonomiczne.

Zmotywowany ciepłem akceptacji i mecenatu Galileusz szybko rusza do pracy i buduje zaawansowane modele teleskopów – dzięki nim będzie pierwszym człowiekiem, który znajdzie planety krążące wokół innych gwiazd i potwierdzi istnienie systemów biologicznych na wielu z tych światów. To piękna fantazja, fantastycznonaukowa wizja alternatywnej historii postępu technicznego napędzanego siłą końskich mięśni i pary wodnej, jednak, co najważniejsze, pozwala nam ona zadać pytanie, jak inaczej wyglądałby *dzisiejszy* świat, gdyby wydarzyło się to naprawdę.

Już od XVII wieku wiedzielibyśmy, że fenomen życia nie jest ograniczony do Ziemi, może nawet zorientowalibyśmy się, że niektóre z tych form życia są czymś więcej niż mikrobami lub stworzeniami, które nie rozwinęły środków komunikacji. W każdym wypadku najistotniejsze jest to, że mielibyśmy na wyciągnięcie ręki prawdziwą odpowiedź na pytanie, jak częsty lub jak niezwykle jest we Wszechświecie nasz rodzaj życia.

Przypuśćmy, że w tej równoległej rzeczy wistości odkrylibyśmy, iż ziemski model życia jest umiarkowanie powszechny. Zdarza się często, lecz ani nie zasiedla każdego odpowiedniego świata, ani nie jest tak rzadki, by istnieć tylko w pewnych galaktykach rozsianych gdzieśgdzie we Wszechświecie. Jak teraz wyglądają argumenty przemawiające za precyzyjnym dostrojeniem, wywodzące się z antropicznego podejścia do kosmologii? Być może nawet w ogóle nie przyszłyby nam do głowy takie pytania. Byłoby to jak zastanawianie się, dlaczego świat wytworzył określoną liczbę ślimaków. Jeśli nawet zadalibyśmy takie pytanie, w tej hipotezy cznej rzeczy wistości pomyśl na istnienie „dostrojenia” nie wygląda za dobrze.

Wydawaloby się tylko, że wszechświat jest zdolny wytworzyć *jakieś* życie, na pewno nie materiał o wielkim znaczeniu dla kosmosu – ot, taki umiarkowanie urodzajny staw, w którym od czasu do czasu powstaje coś pożytecznego. Oczywiście, moglibyśmy też odkryć, że odpowiedź znajduje się w jednej z dwóch możliwych skrajności: albo na przestrzeni 14 miliardów lat kosmicznego czasu życie jest absurdalnie dziwną rzadkością, albo życie w orgiastycznym szale przybiera najróżniejsze kształty i wpycha się do każdego układu planetarnego.

W tym pierwszym wariantie trudno zdobyć się na myśl, że Wszechświat dobrze nadawał się do rozwoju życia, a zbieżność jego parametrów fizycznych z wymogami koniecznymi do rozwoju życia wyglądałaby na okrutny żart. Przez kontrast w drugim wariantie łatwo dojść do konkluzji, że życie, samo w sobie, jest zdumiewająco rozbuchanym fenomenem, który nie może aż tak bardzo zależeć od fundamentalnych parametrów kosmosu. Można wręcz zadawać sobie pytanie, czy we wszechświecie kształtowanym przez prawa fizyki w ogóle istnieją jakiegokolwiek (niamal niewyobrażalne!) warunki, w których życie *nie mogłoby* się rozwinąć.

W tym miejscu nasuwają się dwie uwagi. Pierwsza jest trywialna. Pytania, które ostatecznie zadajemy, bezpośrednio wynikają z tego, co udało nam się zaobserwować w naszym otoczeniu. Druga jest dużo ważniejsza, ponieważ, w przeciwieństwie do mieszkańców mojej fikcyjnej Ziemi z jej alternatywną historią astronomii, w chwili obecnej nie wiemy, który z dwóch powyższych scenariuszy ma zastosowanie w naszym Wszechświecie.

Co więcej, problem dostrojenia może wcale nie być rozstrzygający, ale w rzeczywistości dotyczy raczej „lekkiego dostrojenia”, z prawdziwym precyzyjnym dostrojeniem ukrytym gdzieś głębiej. Jak w moim fikcyjnym przykładzie, pytanie o to, czy Wszechświat jest odpowiedni do rozwoju życia, nie musi pociągać za sobą szukania jednoznacznych odpowiedzi, tak lub nie. Rozwiązanie może należeć do szerokiego spektrum możliwości, zależnych od urodzajności i prawdopodobieństw. W zasadzie uważam, że u podstaw wywodów antropicznych leży domniemane założenie, iż życie jest tak wątłe, że musi mieć wszystko idealnie przygotowane, inaczej nie będzie miało żadnych szans.

Tymczasem na podstawie obfitego i zadziwiająco bogatego materiału pozyskanego ze stanowisk paleontologicznych na Ziemi wiemy, że brutalny proces doboru naturalnego pozwolił życiu *dostroić się* do otaczającego je środowiska⁴¹. W obliczu najróżniejszych związków chemicznych, obfitości niezbędnych składników, jak też rozlicznych, różnych źródeł energii życie znalazło sposób. Wprawdzie zrobiło to, pozostając w zgodzie z narzucanymi przez fundamentalne prawa przyrody warunkami, jednak życie na Ziemi stało się na tyle różnorodne, że wykorzystuje nie jedną, ale wiele rozmaitych drugorzędnych strategii biochemicznych.

Nie jest wcale pewne, czy do powstania i rozwoju potrzebuje ono czegokolwiek ponad surowe i wstępnie przygotowane środowisko. Tak więc prawdziwe kosmologiczne precyzyjne dostrojenie powinno bardziej odnosić się do szczególnej łatwości, z jaką życie może się pojawiać. Pisząc „życie”, nie stosuję, przynajmniej na razie, rozróżnienia na życie inteligentne i „proste”, w jakiegokolwiek formie życia nie ma bowiem nic prostego.

Przyjęcie takiej perspektywy jest spójne z analizami dostrzegalnych zbieżności stałych

fizycznych z innymi wielkościami, na przykład proporcjami między masą i energią we Wszechświecie. W większości takich wypadków istnieje niewielkie pole manewru, furtka otwarta dla interpretacji. Dobrze ilustruje to sposób, w jaki na drodze syntezy jądrowej we wnętrzu dużych gwiazd wytwarzane są pierwiastki.

W pierwszej połowie XX wieku naukowcy zdali sobie sprawę, że warunki panujące we wnętrzu gwiazd mogą sprzyjać zapoczątkowaniu reakcji syntezy jąder atomowych, dzięki którym gwiazdy będą produkować ogromne ilości energii i jednocześnie wytwarzać cięższe i cięższe pierwiastki. Jednak przepisy na wypiekanie pierwiastków nie były jasne i na początku lat pięćdziesiątych angielski fizyk Fred Hoyle⁴² dostrzegł problem z syntezą węgla. Formułowane w tamtym czasie teorie fizyczne opisujące syntezę jądrową w gwiazdach sugerowały, że gwiazda powinna wytwarzać stosunkowo niewielkie ilości węgla. Hoyle poczynił uwagę, że skoro my jesteśmy zbudowani z węgla, we Wszechświecie musi istnieć sposób wytwarzania dużych ilości tego pierwiastka. Zagadkowa rozbieżność podsunęła mu myśl o szukaniu takiego procesu.

Odkrył, że węgiel bez trudu wytwarzany jest we Wszechświecie za sprawą pewnego szczególnego zjawiska. Energia jednego z etapów łączenia się trzech jąder helu we wnętrzu gwiazdy niemal dokładnie odpowiada energii wzbudzonego jądra atomu węgla, które jest naturalnym produktem łączenia się wspomnianych trzech jąder helu. Takie podobieństwo wartości energii skutkuje czymś, co nazywamy rezonansem jądrowym, harmonicznie korelującym stany energetyczne, co szalenie zwiększa wydajność syntezy jądrowej. W efekcie, zamiast wytwarzać śladowe ilości węgla, gwiazdy produkują go bardzo dużo.

Przez długi czas rezonans węglowy uważano za jeden z najsilniejszych istniejących dowodów⁴³ przemawiających za zasadą antropiczną – mianowicie obecność we Wszechświecie węgla i życia opartego na węglu sugeruje istnienie szczególnego procesu, zachodzącego w gwiazdach. To prawda, ale tylko do pewnego stopnia, ponieważ diabeł tkwi w szczegółach. Wiemy obecnie, że do wytworzenia węgla energie jądrowe nie muszą być idealnie zharmonizowane: istnieje otwarta furtka, pewien przedział energii, w którym reakcje zachodzą, precyzyjne dostrojenie nie jest więc wcale tak precyzyjne, jak mogłoby się wydawać⁴⁴. To samo dotyczy wielu parametrów, które mają decydować o precyzji dostrojenia. Ich wartości mogłyby się odrobinę różnić, a warunki wciąż byłyby do zaakceptowania przez życie, jakie znamy.

Koncepcja otwartej furtki sięga jeszcze głębiej. Gdybyśmy mogli zmierzyć tendencję Wszechświata do tworzenia życia – wydajność albo gęstość, z jaką życie pojawia się w danym skrawku kosmosu – mielibyśmy w ręku nowe narzędzie do badania podstawowych właściwości natury i przewidywania występowania życia zgodnie z tymi fundamentalnymi i okolicznościami.

Nie wynika z tego, że życie koniecznie musi być czymś „wyjątkowym”⁴⁵, raczej to, że jest ono znakomitym przykładem niezwykle złożonego zjawiska, zapewne o najwyższym stopniu komplikacji w całym kosmosie, charakteryzującym się wbudowaną siecią połączeń z wieloma kluczowymi elementami opisujących Wszechświat praw fizyki. Wynika z tego, że życie można traktować jako papierek lakmusowy do testowania właściwości kosmosu, jak łanarka w klatce do badania wzajemnych relacji między różnymi czynnikami, w sytuacji gdy istnieje szeroka gama możliwych permutacji i kombinacji.

To coś więcej niż powtórzenie argumentacji antropicznej, która sprowadza się do stwierdzenia, że już sama obecność życia pociąga za sobą przewidywania dotyczące Wszechświata. W zamian mam do zaproponowania sposób nauczania się, jak wziąć właściwości Wszechświata i poczynić przewidywania dotyczące obfitości życia, co z kolei pozwoli ocenić, jak ważna jest nasza rola. Trochę przypomina to wykonanie badań sondażowych i posłużenie się nimi do przewidywania wyników wyborów.

Problem w tym, że nabawiliśmy się lekkiego kompleksu dzięki Kopernikowi, którego idee tak precyzyjnie i przejrzyście opisały Układ Słoneczny i który pomógł nam się wyzwolić z głębokiego i paskudnego bagna zaściankowości. Oczywiście potwierdzenie tego, że nie zajmujemy uprzywilejowanej pozycji, że jesteśmy zupełnie zwyczajni, jest zaskakująco przekonujące (tłumi wszystkie nasze solipsystyczne i egotystyczne tendencje) i pozwala nam dokonać znaczącego postępu na drodze do zrozumienia otaczającego nas Wszechświata, jak też wszechświata w nas samych. Potrafi też jednak zamącić w głowie.

Na pierwszy rzut oka zasada kopernikańska sugeruje, że *nie możemy być w kosmosie sami*. Ani nie zajmujemy centralnego miejsca, ani nie jesteśmy wyjątkowi, a warunki, w których żyjemy, powinny być typowe dla dowolnej liczby miejsc na tym etapie ewolucji Wszechświata.

Zgodnie zatem z tą logiką życie powinno nie tylko rozkwitać w wielu innych miejscach, ale w dużej części być bardzo podobne do ziemskiego. Czy jednak przyjęte założenie o naszej przeciętności ma dostatecznie solidne podstawy, aby wygłaszać taką tezę? Traci to przesadnie dosłownym odczytaniem naukowej ewangelii. Kopernik zwyczajnie próbował zgłębić naturę ruchu planet w naszym Układzie Słonecznym i opisać go w najmniej naciągany i najbardziej matematycznie uzasadniony sposób. Czy przypadkiem nie za wiele wyczytujemy z czegoś, co pierwotnie było mechanicznym rozwiązaniem zagadnienia z mechaniki nieba?

Dostrzeżenie ograniczeń zasady kopernikańskiej nie jest szczególnie kontrowersyjnym pomysłem. Dobrym przykładem opozycyjnych poglądów są idee antropiczne. Wielu fizyków i astronomów odnajduje podobne wskazówki w pewnych rzucających się w oczy cechach warunków naturalnych. Fakt, że nasze położenie we Wszechświecie jest tak szczególne – na planecie krążącej wokół gwiazdy znajdującej się w peryferyjnych obszarach galaktyki, ale nie w międzygalaktycznej próżni, a do tego akurat w tej chwili kosmicznej historii – zwyczajnie nie zgadza się z „idealną” przeciętnością.

Sytuacja wygląda następująco: kopernikański światopogląd w najlepszym wypadku prowadzi do postulatu, iż Wszechświat powinien tętnić życiem podobnym do ziemskiego, w najgorszym razie nie mówi nam tak naprawdę nic konkretnego. Alternatywny pogląd, reprezentowany przez zasadę antropiczną, wymaga istnienia we Wszechświecie tylko jednego przypadku życia, czyli nas samych. W najlepszym razie pewne analizy precyzyjnego dostrojenia wskazują, że Wszechświat raczej może być w minimalnym stopniu odpowiedni dla form życia opartych na pierwiastkach ciężkich niż szczególnie urodzajny. *Żaden* z tych poglądów nie wyjawia wiele w kwestii spodziewanej obfitości życia we Wszechświecie, nie jest też za bardzo pomocny w rozstrzygnięciu sporu o naszą sytuację: czy jesteśmy na swój zaściankowy sposób ważni, czy całkowicie nieważni.

Tymczasem chcemy konkretnych odpowiedzi! Żeby odnaleźć prawdę, musimy dobrze, uważnie przyjrzeć się wieloaspektowej naturze świata materialnego, tworzącego Wszechświat wokół nas i w nas samych. Musimy znaleźć drogę gdzieś pomiędzy przypuszczeniami dotyczącymi przeciętności, domysłami precyzyjnego dostrojenia a poglądami antropocentrycznymi. Musimy odnaleźć kierunek, który pozwoli nam rozejrzeć się wokół tych skrajności i poczynić rzeczywiście pomiary tego, co uda nam się odkryć.

Treść *Kompleksu Kopernika* opowiada o wielkiej przygodzie i odkrywaniu znaczenia wysiłku skoncentrowanego na odkrywaniu Wszechświata wokół i w nas. Opowiada też o naszej przeszłości i przyszłości... zwłaszcza o przyszłości. Jednak ponad wszystko, przedstawia głęboko zakorzoną potrzebę, frustrującą, lecz stale nawracającą pragnienie, które dręczy każdego z nas, gdy zaczynamy myśleć o naszym miejscu w wielkim planie stworzenia.

Chcemy *wiedzieć*, wiedzieć bez żadnych wątpliwości, czy nasza obecność ma znaczenie czy też nie. I nie chodzi o aspekt emocjonalny lub filozoficzny, pragniemy poznać obiektywne realia, wyrażane w faktach i liczbach. To jedno z największych czekających nas wyzwania naukowych. Częścią tego wyzwania jest zrozumienie naszych zawiłych modeli świata, które służą nam tak dobrze, ale od czasu do czasu wymagają przejrzania, wniesienia poprawek, a czasami nawet muszą zostać odrzucone. Teraz więc, wyruszając z dobrze nam znanej terazniejszej Ziemi, następne kroki skierujemy ku nieznanym Ziemiom dnia wczorajszego i w stronę jutra. Jeśli chcemy umiejscowić nas w kontekście, musimy zacząć sięgać w otchłań kosmicznej czasoprzestrzeni, jak też w głąb mikrokosmosu. Przekonamy się, że to, co pełen inwencji naukowiec, Antonie van Leeuwenhoek, ujrzał pod swym mikroskopem ponad trzysta lat temu, było zaledwie początkiem prawdziwie fantastycznej podróży.

12 Oryginalne zapiski zaginęły. Jednak w *Rachmistrzu piasku* Archimedesusa (w którym autor podejmuje próbę policzenia ziaren piasku we Wszechświecie) pojawia się nawiązanie do heliocentrycznej idei Arystarcha: „Formułowane przez niego hipotezy zakładają, że gwiazdy stałe i Słońce pozostają w bezruchu, a Ziemia porusza się wokół Słońca po okręgu, Słońce leży pośrodku jej [Ziemi] toru, sfera gwiazd stałych, której środek wypada mniej więcej tam, gdzie znajduje się Słońce, jest tak ogromna, że rozmiary okręgu, po którym przypuszczalnie porusza się Ziemia, mają się tak do odległości do gwiazd stałych, jak środek sfery do jej powierzchni” – sir Thomas Heath, *Aristarchus of Samos, the Ancient Copernicus: A History of Greek Astronomy to Aristarchus, together with Aristarchus's Treatise on the Sizes and Distances of the Sun and Moon: A New Greek Text with Translation and Notes*, Clarendon Press, Oksford 1913, s. 302.

13 Wydaje się, że w zależności od wersji modelu Arystotelesa dokładna liczba tych kryształicznych sfer wynosiła 47 lub 55 (Arystoteles, *Metafizyka*).

14 Wiele szczegółów zawartych w tym rozdziale pochodzi ze znakomitej i wyczerpującej rozprawy Thomasa S. Kuhna, *Przewrót kopernikański: astronomia planetarna w dziejach myśli*

Zachodu (przeł. S. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2006), zwłaszcza głębsze wątki umieszczające tę „kosmologię” w kontekście poglądów naukowych i religijnych na przestrzeni dziejów.

15 Współczesny przekład zawiera książka G. J. Toomera, *Ptolemy's Almagest* (Princeton University Press, Princeton 1998). Tytuł pochodzi z języka arabskiego, gdzie znalazł się jako tłumaczenie wyrazu „największy” ze starożytnej greki. Dzieło znane jest też pod łacińską nazwą *Syntaxis mathematica*.

16 Jak się przekonamy, jednym z problemów było przewidywanie pozycji planet; model Ptolemeusza zakładał, że wszystkie ruchy po epicyklach i deferentach odbywają się ze stałą prędkością.

17 Sięgnij, na przykład, po książkę André Goddu, *Copernicus and the Aristotelian Tradition: Education, Reading, and Philosophy in Copernicus's Path to Heliocentrism*, Brill, Lejda 2010. Znakomicie opowiedziana historia i dyskusja znajdują się w: Owen Gingerich, *Książka, której nikt nie przeczytał*, przeł. J. Włodarczyk, Wydawnictwo Amber, Warszawa 2004.

18 Można odnieść wrażenie, że stwierdzenie to jest niespójne z pierwszym aksjomatem. Zamiarem Kopernika nie było tworzenie minimalistycznego zestawu twierdzeń; jest to raczej coś na kształt listy rzeczy, o których należy pamiętać – w tym wypadku rzeczami są hipotezy.

19 Dużo atramentu wylano, aby opisać, co motywowało i powstrzymywało Kopernika. Zabawną, nieco abstrakcyjną próbę podjął Dava Sobel w książce *A More Perfect Heaven: How Copernicus Revolutionized The Cosmos*, Walker & Company, Nowy Jork 2011.

20 Sięgnij, na przykład, po książkę Ingrid D. Rowland, *Giordano Bruno: Philosopher/Heretic*, Farrar, Straus i Giroux, Nowy Jork 2008.

21 Wiele napisano o Brahem i istniały ku temu powody: był on barwną postacią i miał środki, aby prowadzić interesujące życie. Król Danii Fryderyk II wspomógł go funduszami na budowę obserwatorium i podarował mu małą wyspę Hven, leżącą w cieśninie Sund, niedaleko Kopenhagi. To tam Brahe zbudował swoje obserwatorium, Uraniborg, które później przeszło

rozbudowę o podziemia, mające zapewnić większą stabilność. Nie było w nim teleskopów, wyłącznie budynki i urządzenia służące do precyzyjnego wyznaczania pozycji ciał niebieskich i związków łatowych pomiędzy nimi na podstawie obserwacji nieuzbrojonym okiem.

22 Brahe opisał obserwacje ciała niebieskiego, o którym wiemy teraz, że było supernową, w publikacji zatytułowanej *De Nova et Nullius Aevi Memoria Prius Visa Stella* (O nowej i nigdy wcześniej niewidzianej gwiazdzie), Kopenhaga 1573. Obserwacje supernowej i komet pozwoliły mu podważyć arystotelesowską ideę niezmiennego Wszechświata.

23 Znakomitą książkę na temat rozwoju zachodniej astronomii i kosmologii napisał Arthur Koestler, *Lunacy: historia zmiennych poglądów człowieka na wszechświat* (przeł. T. Bieroń, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 2002). W dużej mierze Kepler ukazany jest w tej książce jako bohater tamtych czasów. Pewne relacje sugerują, że Brahe pierwotnie zachęcał go do pracy nad wynikami obserwacji Marsa, ponieważ były one na tyle kłopotliwe, iż na długo dałyby młodszemu badaczowi zajęcie i byłyby z nim spokój, a przy okazji nie pozwoliłyby mu znaleźć argumentów przemawiających za słusnością tez Kopernika. Wydaje się jednak, że Kepler wiedział, co robi. W liście datowanym na 1605 rok pisał tak „Wyznaję, że po śmierci Tychoona szybko wykorzystałem brak, a może raczej niedostatek ostrożności jego spadkobierców, aby zaopiekować się wynikami obserwacji i je przejąć...”.

24 Krzywe te, jak sama nazwa wskazuje, powstają w wyniku przecięcia stożka płaszczyzną. W zależności od wzajemnego ustawienia płaszczyzny i stożka po przecięciu otrzymujemy parabole, hiperbole, elipsy lub okręgi.

25 Włoski uczone wykorzystał parę soczewek do budowy teleskopów, dzięki którym uzyskiwał powiększony obraz odległych obiektów. W kategorii optyki dalekie były od doskonałości, ale najlepsze z nich pozwalały uzyskać trzydziestokrotne powiększenie i zbierały więcej światła niż ludzkie oko. Podobnie jak Brahe, Galileusz był świadkiem pojawienia się na niebie supernowej (Kepler również ją widział). Ponieważ nie dostrzegł paralaksy, zdecydował, że jest to gwiazda, a niebo nie jest niezmiennie. Jego obserwacje trzech, a potem także czwartego księżyca krążącego wokół Jowisza naprowadziły go na myśl, że poglądy Kopernika są słuszne: nie wszystkie ciała niebieskie poruszają się wokół Ziemi.

26 Pierre-Simon Laplace był o tym przekonany. W 1814 roku w *Essai philosophique sur les probabilités* (Eseju filozoficznym o prawdopodobieństwach) napisał: „Możemy postrzegać aktualny stan Wszechświata jako skutek jego przeszłości i przyczynę jego przyszłości. Gdyby jakiś umysł dla danego momentu znał wszystkie siły decydujące o ruchu w naturze, a także

wszystkie pozycje wszystkich elementów tworzących naturę, i jeśli umysł ten byłby dostatecznie rozległy, aby poddać wszystkie te dane analizie, wtedy jedną formułą objąłby ruch największych ciał i najmniejszych atomów. Dla takiego umysłu nic nie byłoby niepewne, miałby przed oczami całą przyrodę, na równi z przeszłością”.

27 Jego przemyślenia na temat życia we Wszechświecie zostały opublikowane pośmiertnie w 1698 roku w dziele *Cosmotheoros*.

28 To, co stało się później znane pod nazwą „hipotezy mgławicowej” formowania Układu Słonecznego z obłoku rotującej, zapadającej się grawitacyjnie materii, prawdopodobnie po raz pierwszy zaistniało w debacie publicznej w 1734 roku za sprawą Emanuela Swedenborga (tak, tak, tego teologa), było następnie opracowywane w 1755 roku przez Immanuela Kanta (owszem, tego filozofa) oraz opisane przez Laplace’a w 1796 roku. W tych wcześniejszych wersjach teoria napotykała ogromny problem, ponieważ nie potrafiła wyjaśnić, dlaczego planety unoszą 99 procent momentu pędu układu. Dopiero na początku lat siedemdziesiątych XX wieku model zyskał akceptację, gdy radziecki uczony, Wiktor Safronow przedstawił przekonujące rozwiązania tej i innych kwestii.

29 W stosowanym dziś nazewnictwie Ceres (średnica 950 km) jest uważana za planetę karłowatą, a Westa (średnica 525 km) należy do grupy planetoid.

30 Dowodem jego istnienia była jasna, żółta „linia” w widmie światła słonecznego, dostrzeżona po raz pierwszy w 1868 roku. Do 1895 roku hel udało się wyodrębnić z ziemskich minerałów.

31 Ściśle rzecz biorąc, była to *nowoczesna* zasada kosmologiczna. Idee leżące u jej podstaw można odnaleźć w pracach Newtona. W latach dwudziestych XX wieku Aleksandr Friedmann i Georges Lemaître (ten pierwszy wysunął tezę o rozszerzaniu się Wszechświata), niezależnie od siebie, rozwiązyali równania ogólnej teorii względności opisujące dynamikę Wszechświata, który jest zarówno jednorodny, jak i izotropowy. Później Howard Robertson i Arthur Walker zrobili to samo, co doprowadziło do sformułowania metryki Friedmanna–Lemaître’a–Robertsona–Walkera – zasadniczo jest to macierz opisująca związek współrzędnych przestrzennych i czasowych we Wszechświecie.

32 Uczony brytyjski pochodzenia austriackiego. W 1948 roku Bondi (1919–2005), Fred Hoyle i Thomas Gold opracowali kosmologiczną teorię stanu stacjonarnego. Wniósł on istotny wkład do

rozwoju astrofizyki i teorii względności. Zasada kopernikańska pojawia się w jego książce *Cosmology* (Cambridge University Press, Cambridge 1952). Miałem przyjemność wysłuchać jego wykładu w Cambridge, gdy byłem tam doktorantem. Był wspaniałym człowiekiem.

33 Ten angielski fizyk był twórcą pierwszego udanego teoretycznego opracowania mechaniki kwantowej w ujęciu relatywistycznym (co przyniosło mu w 1933 roku Nagrodę Nobla, współdzieloną z Erwinem Schrödingerem). Swoją „hipotezę wielkich liczb” sformułował w 1937 roku, wskazując na zasadę „zbiegów okoliczności” w zakresie proporcji między skalą oddziaływań podstawowych a skalą Wszechświata.

34 Na początku Wszechświat jest gorący, ale stygnie w miarę rozszerzania się. W ciągu dwudziestu minut ostygł na tyle, że możliwa stała się nukleosynteza i powstały jądra deuteru, helu i niewielka ilość jąder litu. Około 380 000 lat po Wielkim Wybuchu Wszechświat był już na tyle ochłodzony, że elektrony mogły dołączać do prostych jąder i tworzyć tym samym atomy. Było to możliwe dzięki temu, że przemierzające kosmos fotony światła nie miały już wystarczająco dużej energii, aby wybijać elektrony. W konsekwencji fotony mogą poruszać się swobodnie, nie ryzykując pochłonięcia przez materię. W miarę upływu czasu rozszerzający się Wszechświat stale rozciąga fale tego promieniowania (ochładza fotony). Obecnie, po upływie 13,8 miliarda lat, promieniowanie to ostygło na tyle, że maksimum jego natężenia przypada na zakres promieniowania mikrofalowego – zdaje się, że dociera ono do Ziemi ze wszystkich kierunków, tworząc „promieniowanie tła” albo morze promieniowania.

35 Brandon Carter, *Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology, Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, w: M.S. Longair (red.), *Proceedings of the Symposium, Kraków, Poland, 10–12 September 1973*, IAU Symposium No. 63, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holandia; Boston, USA 1974, s. 291–298.

36 Nie jest moim zamiarem czynienie sugestii, że na temat zasady antropicznej napisano wiele bzdur... może trochę. W pozytywnym sensie jest ona znakomitym przykładem czegoś, co można nazwać „doborem tendencyjnym”. Głupotą byłoby odrzucać te idee bez żadnego dowodu. Niezły przegląd problematyki (pomyślany jako polemika z książką fizyka Victora Stengera) znajduje się w publikacji Luke’a Barnesa *The Fine-Tuning of the Universe for Intelligent Life* (2011), dostępnej w sieci pod adresem <http://arxiv.org/abs/1112.4647>.

37 Ich artykuł nosi tytuł *The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World*, „Nature” 1979, nr 278, s. 605–612.

[38](#) Bardzo przyjemną lekturę zapewnia książka Martina Reesa *Tylko sześć liczb*, przeł. P. Amsterdamski, CiS, Warszawa 2000.

[39](#) Wiele napisano o procesach fizycznych, które mogłyby prowadzić do powstania podobnych wieloświatów. Jednym z nich jest kosmologiczna inflacja (faza wykładniczego rozszerzania się bardzo młodego Wszechświata spowodowana ujemnym ciśnieniem) – w jej wyniku mogła powstać ogromna liczba „kieszeniowych wszechświatów”, przeważnie wzajemnie odizolowanych od siebie. O innej możliwości wspomina M-teoria, będąca rozszerzeniem teorii strun, która postuluje, że każdy wszechświat jest wielowymiarową „braną” albo membraną. Inne możliwości pochodzą z „wieloświatowej” interpretacji mechaniki kwantowej, według której każde zdarzenie na poziomie subatomowym generuje powstanie wszechświatów równoległych. Wspaniałą popularnonaukową książkę omawiającą te zagadnienia napisał Brian Greene: *Ukryta rzeczywistość. W poszukiwaniu wszechświatów równoległych*, przeł. T. Krzyżtoń, Prószyński i S-ka, Warszawa 2012.

[40](#) Po napisaniu tych słów zdałem sobie sprawę, że podobne idee były już wcześniej omawiane, na przykład przez fizyka Lee Smolina.

[41](#) W szczególności jest to opinia wygłaszana przy wielu okazjach przez słynnego amerykańskiego paleontologa i biologa ewolucyjnego, Stephena J. Goulda. Jest to interesująca perspektywa. Ciekawi mnie jeszcze coś jeszcze: jakie przyjdzie nam wyciągnąć wnioski, gdy znajdziemy w kosmosie miejsca idealnie nadające się do rozwoju życia takiego, jakie znamy, a jednak będą one całkowicie sterylne?

[42](#) Choć pierwsze sugestie zgłaszał w 1953 roku, oryginalna praca Hoyle’a zawierająca wykonane przez niego obliczenia dotyczące wytwarzania węgla w gwiazdach ukazała się w następnym roku: *On Nuclear Reactions Occuring in Very Hot Stars. I. The Synthesis of Elements from Carbon to Nickel*, „*Astrophysical Journal*” Supplement 1954, nr 1, s. 121–146.

[43](#) W późniejszych latach dyskutowano, czy u podstaw pracy Hoyle’a rzeczywiście znajdowały się idee antropiczne czy też próbował on po prostu rozgryźć problem, jak gwiazdy wytwarzają węgiel. Po dalsze informacje można sięgnąć do artykułu Helge Kragha, *An Anthropic Myth: Fred Hoyle’s Carbon-12 Resonance Level*, „*Archive for History of Exact Sciences*” 2010, nr 64, s. 721–751. Polemika Kragha zawiera też opis wywodów fizyka Lee Smolina, prowadzących do ogólnego obalenia idei antropicznej użyteczności węgla – w przeciwieństwie do mojej krytyki w stylu „co by było”, jaką jest historia zaczynająca się od Galileusza.

[44](#) Fakt ten był wskazywany przez wielu badaczy, łącznie ze Stevenem Weinbergiem. Co więcej, pewne badania dotyczące różnych poziomów energetycznych w wytwarzaniu węgla-12 we wnętrzach gwiazd sugerują, że zmiana o 60 keV może wywołać niewielkie wahania obfitości wytworzonego węgla: Mario Livio i in., *The Anthropic Significance of the Existence of an Excited State of C-12*, „Nature” 1989, nr 340, s. 281–284.

[45](#) Stwierdzenie, iż życie jest „wyjątkowe”, przypomina idee witalizmu – ich sednem jest przekonanie, że istnieje coś w rodzaju „iskry życiowej”, która we Wszechświecie odróżnia przyrodę ożywioną od nieożywionej. Choć nauka głównego nurtu odcina się od nich, opinie tego typu czasami wracają.

ROZDZIAŁ 2

Dziesięć miliardów lat swawoli

Zdumiewające, jak zmienne potrafią być strefy geograficzne Ziemi. Jeżeli chcesz dobrego przykładu, podejmij wędrówkę w górę czegoś, co Chilijczycy zwą „wzgórzami”, obszaru na południowym skraju rozległej pustyni Atakama⁴⁶ w Ameryce Południowej. A jeśli, tak jak ja, chcesz doświadczyć pełni wrażeń, zacznij dzień na plaży w La Serena⁴⁷, jakieś pięćset kilometrów na północ od Santiago, gdzie swoje fale toczy i rozbija Ocean Spokojny.

Budzę się brutalnie wyrywany ze snu przez ochryple krakanie głodnych ptaków, pikujących w wilgotnym, przesyconym solą powietrzu, ciężkim od zapachów wodorostów i ukrytego w głębinach oceanu życia. Plażę przemierza kilku samotnych biegaczy, poranne słońce zaczyna osuszać lekką mgiełkę. To początek codziennego cyklu parowania i skraplania, odtwarzanego na tym wybrzeżu nieustannie, od milionów lat. Dla mojego nosa i płuc to kipiący wprost z planetarnej biosfery chłodny aperitif, toteż zanim ruszę zakurzonymi drogami w swoją podróż w głąb lądu, nabieram kilka głębokich, odświeżających oddechów.

Mijając mieniające się różnymi odcieniami zieleni farmy i winnice, wędruję wzdłuż doliny Elqui⁴⁸, wielkiego, sięgającego daleko w głąb lądu klina w kształcie litery V. Dominującymi płodami rolnymi są tutaj winogrona i owoce tropikalne. Wiem czemu: ogromna dolina tonie w potokach jaskrawo nasyczonego słonecznego światła i aż kipi życiem. To pławiąca się w ciepłej energii, bogata w zasoby, żywa wylegarnia.

Rozsypane na obrzeżach zielonych pól wielkie wieże ciśnienia zdobią ogromne reklamy rodzimej brandy *pisco*, mocnego winiaku produkowanego w tych okolicach od niemal pięciuset lat i konsumowanego jak kraj długi i szeroki.

Jednak krajobraz szybko ulega zmianie, kiedy zapuszczam się dalej w głąb lądu, wspinając się

nad poziom morza. W oddali majaczy olbrzymia tama, wzniesiona zaledwie dwanaście lat temu w celu poprawy nawodnienia pól. Jej kolosalna ściana ze skały i betonu spina dolinę konstrukcją o tak niepojętej skali, że trudno w to uwierzyć, przebudowując powstałą w wyniku powolnych procesów geofizycznych ch naturalną rzeźbę terenu.

Wkrótce skracam, pozostawiając za sobą scenierię naznaczoną celową krzątaniną człowieka i kipiąca wokół mnie zieleni gwałtownie przeistacza się w mieszaninę skarlłowaciałej roślinności oraz brunatnoczerwonych skał i ziemi. Kilka minut później czuję się, jakbym minął jakąś niewidzialną granicę, wkraczając w całkowicie odmienną, zawieszoną poza czasem i przestrzenią strefę minerałów.

Mimo że nie spełniają żalosnych standardów, do jakich przywykłem, otaczają mnie prawdziwe góry. Stanowią część zdumiewającego pasma, ciągnącego się na długości 7000 kilometrów – prawdziwie monumentalnego tworu geofizycznego, jakim są Andy. Jego powstanie wiąże się z wypiętrzeniem, do którego doszło, gdy oceaniczny bazalt zanurkował pod dryfującą kontynentalną płytę południowoamerykańską. W tym miejscu męczarnie stygnącej planety zapisują się szczególnie wyraźnie. Coraz ciaśniejsza zewnętrzna skorupa krystalizującej się materii osiada niczym tratwa na oceanicznej magmie, gdzie pęka, dzieląc się na kolosalne, twarde płyty litosfery, nieustannie przepychające się w poszukiwaniu równowagi wewnątrz głębokiej studni grawitacyjnej.

Droga łagodną serpentyną zaczyna wspinać się wyżej, gdzie otaczają mnie coraz to suchsze i opustoszałe ziemie. W pewnym miejscu ruch spowalniają pokrywające drogę kanciaste kamienie i ziemia, pozostałości skalnego osuwiska. Wreszcie w blasku odbijających się na szczycie wielkiego wzniesienia promieni słonecznych dostrzegam cel swojej podróży. To osadzone na tle bezkresnego błękitu nieba śnieżnobiałe i srebrne powłoki wysokich kopuł teleskopów. Te współczesne odpowiedniki strzelistych wież należą do Międzyamerykańskiego Obserwatorium Cerro Tololo⁴⁹, mojego domu przez najbliższy tydzień.

Jestem tutaj, by spełnić dość nieciekawą astronomiczny obowiązek wykonać skalibrowane zdjęcia kilkudziesięciu odległych kosmicznych wysp – zbioru rozrzuconych po całym widzialnym Wszechświecie skądinąd niepozornych galaktyk. W tym celu przez kilka nocy będę miał jeden z teleskopów wyłącznie na swój użytek. Przycupnę sobie w sąsiadującym z instrumentem przytulnym pokoiku, po brzezi wypełnionym komputerami i monitorami.

Z wnętrza tej wielkiej komory mogę kontrolować zarówno maszyny kopuły, jak i czuły cyfrowy aparat fotograficzny teleskopu, którego wewnętrzne części chłodzone są regularnymi zastrzykami ciekłego azotu⁵⁰ – zadanie zdolne w tych głębokich południowych ciemnościach wystawić na próbę koordynację i nerwy człowieka o pewniejszej niż moja ręce. Zdjęcia, które mam nadzieję wykonać, stanowią zaledwie jeden z etapów sześcioletniego projektu, który mnie i moim kolegom zajmie jeszcze wiele lat. Wykonując pomiary i mapy tych odległych kosmicznych peryferii, mamy nadzieję prześledzić etapy ich niespiesznej ewolucji.

Jak każde profesjonalne obserwatorium, Cerro Tololo pracuje zgodnie z ustalonym porządkiem. W ciągu dnia zatrudnieni w nim technicy i inżynierowie naprawiają, czyszczą i testują teleskopy oraz dołączone do nich instrumenty. Późnym popołudniem ze swoich umieszczonych na zboczu dormitoriów na miękkich nogach wyłaniają się prowadzący nocny tryb życia astronomowie – ruszają w poszukiwaniu czegoś do zjedzenia⁵¹, zanim spędzą kolejną

noc na baletach. I każdego wieczoru po kolacji rozpoczynają swoją wędrówkę na szczyt góry.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku wierzchołek został wyrównany za pomocą dynamitu i ciężkiego sprzętu, by pomieścić sześć dużych kopuł z teleskopami i wyposażeniem. To tchnący spokojem, piękny pomnik dokonań i ciekawości człowieka, ulokowany w miejscu, które rzeczywiście sprawia wrażenie bramy do nieba. Ten wieczór nie jest inny i już wkrótce jestem na swoim miejscu, włączając urządzenia i majstrując przy ciekłym gazie, zanim w końcu otworzę kuliste cielsko kopuły teleskopu i wywietrzę pozostałe po prażącym całym dzień słońcu gorące powietrze.

Każdy astronom czy astronomka ma własne nawyki i niepisane tradycje, gdy chodzi o korzystanie z teleskopu. Dla mnie bardzo ważne jest oglądanie zachodu słońca. Nie ma w tym nic szczególnie romantycznego. Lubię zażyć nieco świeżego powietrza, zanim zasiądę do trwającej całą noc pracy, lubię też osobiście poczuć niebo i przekonać się, jaka jest pogoda, czyli zdobyć dwie istotne wskazówki co do jakości zdjęć, jakiej mogę się spodziewać.

Na szczycie Cerro Tololo łatwo to osiągnąć, wystarczy wyjść na zewnątrz i przejść kawałek po chrzęszczącym pod butami żwirze. Na skraju ściętego wierzchołka góry grunt stromo opada, odsłaniając wspaniały widok na otwartą przestrzeń, odległe krajobrazy i zawrotnie pnące się w górę niebo.

Kilku innych astronomów zajmuje podobne pozycje na skraju wierzchołka, tkwiąc tam niczym dokonujące inspekcji swojego królestwa filozoficzne surykatki. Daleko przed nami, na zachodnim horyzoncie, majaczy rozległe pasmo wzgórz, których zawisłe między niebem a ziemią falujące sylwetki kładą się na pustyni coraz dłuższym cieniem, w miarę jak słońce opada i znika, pogrążając świat w mroku.



Światło zodiakalne widziane kilka minut po zachodzie słońca ze szczytu innego chilijskiego wzgórza, mieszczącego leżące na obrzeżach pustyni Atakama obserwatorium La Silla, 2500 metrów nad poziomem morza. (Europejskie Obserwatorium Południowe, 2009, Y. Beletsky)

Nie tylko tego wieczoru, gdy słońce zapada za horyzont, a bezchmurne sklepienie nad nami zaczyna ciemnieć, tutejsze niebo wygląda inaczej niż jakiekolwiek inne, które pamiętam. Od linii horyzontu, gdzie znika słońce, aż po zenit, widać związujące się ku górze pasmo światła – niczym wielkie ostrze nieziemskiego, jarzącego się miecza. Zdecydowanie zbyt jasne jak na gwiazdy Drogi Mlecznej.

Jestem zaskoczony i dość zaintrygowany, toteż niepostrzeżenie przysuwam się do jednego z pozostałych astronomów, podobnie jak ja w milczeniu obserwujących koniec dnia. Wskazuję obiekt swojej konfuzji, po czym mamroczę prośbę o wyjaśnienie. Za odpowiedź starczą mu dwa proste słowa.

Widoczna na niebie poświata jest czymś, co powinienem rozpoznać, co jednak zwykle, poza naprawdę ciemnym niebem z dala od cywilizacji, jest całkowicie wyblakłe. Zatarło się również w mojej pamięci, zapomniane razem z żółtymi stronicami, na których spotkałem się z tym po raz pierwszy: światło zodiakalne, fragment eterycznego korpusu naszego Układu Słonecznego, a zarazem ślad wskazujący na pochodzenie wszystkiego, co mnie otacza.

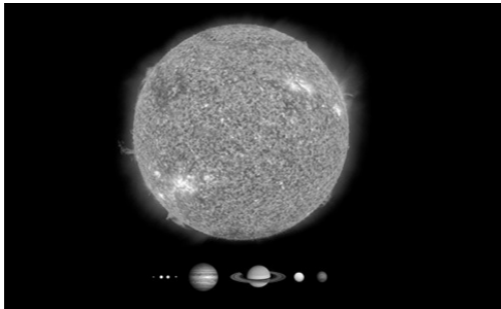
* * *

Żyjemy w miejscu, które jest dość otwarte, zarówno z punktu widzenia człowieka, jak i w kategoriach lokalnych standardów kosmicznych. Gdziekolwiek teraz siedzisz czy stoisz, od Księżyca dzieli Cię blisko 380 000 kilometrów próżni. Stamtąd do Słońca ciągnie się kolejnych 150 milionów kilometrów międzyplanetarnej pustki. Światło potrzebuje na jej przebrnięcie blisko ośmiu minut.

Nasze wielkie bóstwo [Sol](#)⁵², ta wirująca kula przerażającej energii jądrowej, samo w sobie ma imponującą średnicę 1 400 000 kilometrów. Jednak między Słońcem a najbardziej zewnętrzną planetą, Neptunem, ciągnie się oszałamiająca otchłań, której średnie rozmiary sięgają 4,5 miliarda kilometrów. Dla porównania, średnice planet mieszczą się w granicach od 143 000 kilometrów dla gazowego olbrzyma, jakim jest Jowisz, do zaledwie 4800 kilometrów w wypadku gęstego, skalistego Merkurego. Choć więc dla nas to całe światy, dla kosmosu nie są niczym więcej jak drobinami pyłu – zwykłymi okruchami, krążącymi wokół skromnej gwiazdnej świecy, płonącej w mrocznej grocie Wszechświata.

Orbitę wokółsłoneczną tych niewielkich, gęstych ciał niebieskich leżą w zbliżonych do siebie płaszczyznach – w istocie ich trajektorie, zebrane razem, z grubszą nakreślają w przestrzeni wielki,

pojedynczy dysk. Ten sam rejon okupuje mnóstwo innych, jeszcze drobniejszych obiektów, które spotkać można również na zewnątrz, gdzie sięgają najodleglejszych rubieży naszego układu planetarnego. Wśród bilionów krążących wokół Słońca ciał, składających się ze skały i innych zmrożonych składników, znajdują się zarówno kilometrowe, kamienne asteroidy, jak i nieznaną, lecz olbrzymią liczbą głazów oraz drobnych kamieni.



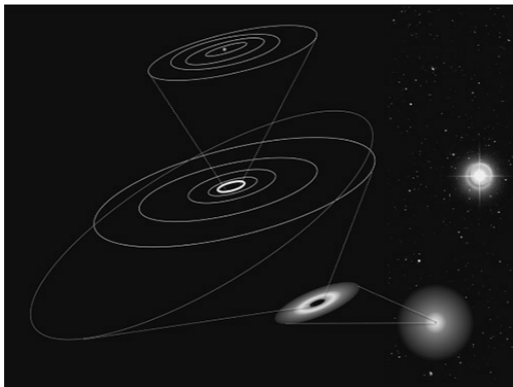
Słońce i planety naszego układu planetarnego ukazane w szacunkowej skali. Ziemia to trzecia plamka od lewej. (NASA/JPL/Space Science Institute)

Nie wszystkie drobne ciała trzymają się blisko dysku planetarnego, orbity wielu z nich odchylają się od jego płaskiej powierzchni. No i są jeszcze obfitujące w lód jądra komet. Na pierwszy rzut oka przypominają zwykłe asteroidy, jednak znalazłszy się w zbyt bliskim sąsiedztwie Słońca, potrafią zapłonąć jasnym światłem, wlokąc za sobą gigantyczny ogon uwalniającej się pod wpływem wysokiej temperatury mieszaniny pary wodnej i innych lotnych substancji.

Kolejne miliony drobnych ciał niebieskich krążą w obrębie ciągnącego się między orbitami Marsa i Jowisza „pasa” asteroid, jednak obszar, który zajmują, jest tak rozległy, że według naszych ziemskich standardów są bardzo rozproszone. Odstęp między większymi z nich sięgają milionów kilometrów, toteż nasze statki kosmiczne mogą poruszać się w obrębie pasa asteroid, nie ryzykując zderzenia. Jeszcze inna rodzina obiektów to przypominające roje owadów drobne grudki materii, które wlatują w obręb naszego dysku planetarnego i wylatują z niego we wszelkich

możliwych konfiguracjach.

Dalej od Słońca znajduje się więcej asteroid, małych planetek, a nawet planet karłowatych (wśród nich Pluton, otoczony przez swoich pięć księżyców). Ich orbity przebiegają w sąsiedztwie Jowisza, Saturna, Urana i dalej – gdzie dołączają do rodziny tak zwanych obiektów transneptunowych. Rozciąga się tam zimna i wciąż jeszcze tajemnicza strefa znana jako pas Kuipera⁵³, która sięga pięćdziesiąt razy dalej od Słońca, niż wynosi promień orbity Ziemi.



Zachowując skalę schemat naszego układu planetarnego. U góry: prawidłowo zorientowane orbity planet wewnętrznych wokół Słońca, widoczne w pomniejszeniu (środek) wewnątrz orbit Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna, a także większej i nachylonej do nich orbity Plutona. Wszystko to otoczone uformowanym na kształt torusa pasem Kuipera, który z kolei znajduje się w rozległej lodowej otoczce obłoku Oorta (u dołu z prawej). Najbliższa gwiazda znajduje się w odległości trzech lat świetlnych od jego krawędzi, czyli około 28 bilionów kilometrów

Światło słoneczne jest tam dwa i pół tysiąca⁵⁴ razy słabsze niż to, którego doświadczamy na

Ziemi, a nasza opiekuńcza gwiazda stanowi jedynie jasny punkt na bezkresnym niebie. Dalej za tym obszarem znajduje się wciąż pozostający w sferze domysłów obłok Oorta⁵⁵, plasujący się setki do tysięcy razy dalej od Słońca niż orbita Ziemi. Sądzimy, że tam właśnie kryje się źródło pewnego typu komet, o tak rozległych orbitach, że mogą się pojawiać raz na setki, tysiące, a nawet miliony lat. Wyobrażamy sobie, że wytwarzanie takich komet wymaga istnienia w owej otaczającej nas strefie granicznej bilionów lodowych obiektów, które co jakiś czas dostają szturchańca kierującego je w głąb układu planetarnego, ku znanym nam planetom.

Znajdujące się tam obiekty to luźne pozostałości z zamierzchłej przeszłości naszego układu planetarnego. Niewykluczone również, że chwilowe schronienie znajdują tam lodowi intruzi z odległych systemów gwiazdnych, jakie mijamy w nieustannej wędrówce naszej gwiazdy wokół jądra galaktyki Drogi Mlecznej. Za tym punktem, w odległości mniej więcej roku świetlnego od Słońca, znajduje się już prawdziwa międzygwiazdna przestrzeń kosmiczna i początek reszty Wszechświata.

Tworzy go rozległa, szkieletowa siatka punktów, głównie pustka. Jednak przestrzeń międzyplanetarną nieznacznie zasnuwa coś jeszcze, coś wchodzącego w skład pyłu międzyplanetarnego. To drobne, bogate w krzemiany i węgiel ziarenka materii, tworzące rozległą i subtelną mgiełkę, która otula wewnętrzne planety Układu Słonecznego. Jej ukształtowany w formie rozdętego dysku obłok sięga od orbity Jowisza po trajektorię Merkurego.

Rozmiary największych spośród tych ziaren sięgają ledwie dziesiątej części milimetra, nieznacznie wykraczając poza skalę mikroskopijną, a ich liczba nie przekracza jednego na kilometr sześcienny. Niemniej jednak Układ Słoneczny to niezwykle rozległa przestrzeń, toteż rozsiana w niej kolosalna liczba cząsteczek może rozpraszać i odbijać światło, podobnie jak tańczące w promieniach słońca drobiny kurzu.

Stojąc na szczycie góry w Chile, widziałem rozciągniętą na niebie poświatę. Fotony światła opuściły Słońce i pomknęły w głąb Układu Słonecznego tylko po to, by ulec rozproszeniu na drobinach pyłu i zmieniający tor lotu, wpaść wprost do mojej siatkówki.

Starożytni islamscy astronomowie nazywali tę poświatę na niebie „falszywym świtem”⁵⁶, ponieważ może ona pojawiać się również na wschodniej części nieboskłonu, mniej więcej godzinę przed wschodem słońca... jak gdyby czas przestał istnieć i Słońce wróciło wcześniej, by ponownie oświetlić świat. Właściwie nie tyle świat, ile ramy naszego układu planetarnego, olbrzymi dysk, w którym mieszczą się orbity wszystkich planet oraz całej rzeszy innych, dzielących z nimi przestrzeń obiektów. Nadzwyczaj widowiskowe zjawisko.

Także i ten lśniący pył wywodzi się z materii, która swego czasu posłużyła za różnego rodzaju tworzywo, z jakiego zbudowana jest Ziemia. Materia ta uległa koagulacji i skupieniu, została stopiona i ponownie zamrożona, a wreszcie przekształcona w warstwy minerałów, które wchodzą w skład jąder i skalistych skorup planet oraz ich księżyców. To te same substancje, które mijalem w drodze od Oceanu Spokojnego ku Andom. Te same składniki i pierwiastki, które pomogły uźnić ziemię doliny Elqui i te same, które zgrzytały żwirem pod moimi stopami. To wreszcie, uświadamiam sobie, patrząc na jarzące się nad moją głową kwadryliony odległych drobinek

kurzu, ten sam rodzaj materii, z którego jestem stworzony.

To dla mnie doniosły moment, niespodziewane przypomnienie istnienia głębokich powiązań między moją krótką egzystencją a Tym, co Duże i Ważne. Tylko jak naprawdę przebiegał łańcuch zdarzeń, które doprowadziły do tej chwili? W jaki sposób te drobne ziarenka pyłu zmieniły się w planety? Jak zdołały uformować światy, które goszczą oceany, góry, a także żywe, odpychające i dociekające swojego kosmicznego znaczenia istoty?

Historia Słońca, Ziemi i innych planet jest długa, a czasami również niezmiernie skomplikowana, niemniej jednak dobrym punktem wyjścia będzie zauważenie, że wielki projekt konstrukcyjny natury trwa do dziś. Niektóre z pierwotnych procesów, odpowiedzialnych za powstawanie i ewolucję planet w Układzie Słonecznym, zachodzą nadal. Światło zodiakalne stanowi w tej kwestii jedną z najistotniejszych wskazówek.

* * *

Pył, który powoduje powstanie światła zodiakalnego, jest tworem zaskakująco krótkotrwałym. Najmniejsze ziarenka są tak małe, że eteryczne ciśnienie światła słonecznego, czyli bębnienie fotonów, do spółki z promieniowaniem korpuskularnym, wymiata je na zewnątrz – nadaje im takie przyspieszenie, że uciekają z Układu Słonecznego w głęboki kosmos.

Z kolei największe ziarna kierowane są w głąb układu planetarnego, dokąd poruszają się po łagodnie zakrzywionej, spiralnej orbicie. Subtelny efekt aberracji promieni słonecznych oraz poświata spowodowana ciepłem samych ziaren, ogrzewanych jeszcze przez napływające ze Słońca fotony, wytwarzają ciąg⁵⁷ przeciwny do przeważającej siły wiatru słonecznego. Wreszcie przybierające na sile promieniowanie coraz bliższego Słońca może doprowadzić do erozji, a nawet całkowitego unicestwienia ziaren, czy to rozbijając je i przeistaczając w chmurę atomów oraz jonów, czy też redukując ich rozmiar, tak że muszą ulec sile wiatru słonecznego i pochwycone w jego objęcia ulecieć z powrotem, prosto w międzygwiazdną próżnię.

Istnieje jeszcze inny mechanizm usuwania pyłu międzyplanetarnego, wynikający z zachłanności planet. W ciągu roku sama tylko Ziemia swoją grawitacją i lepką atmosferą wychwytuje z Układu Słonecznego imponującą ilość 40 000 ton pyłu. Wiemy, że tak jest, ponieważ możemy ten pył złapać. Poczynając od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku⁵⁸ naukowcy gromadzili drobiny pyłu pozaziemskiego z górnych warstw atmosfery, wykorzystując w tym celu balony stratosferyczne, a nawet użytkowane przez NASA samoloty szpiegowskie U-2. Zdobyte w ten sposób cząstki odegrały kluczową rolę w naukowej rekonstrukcji historii i ewolucji naszego układu planetarnego.

Skoro istnieje tak wiele możliwości wykluczenia pyłu międzyplanetarnego z gry, to jego życie, jak na standardy fizyki planet, jest stosunkowo krótkie. Przeciętne ziarenko zostanie w przedziale od tysiąca do stu tysięcy lat stracone albo zniszczone. A jednak pył ciągle tam jest, spokojnie jaśniejąc na nocnym niebie. Co znaczy, że skądś w jakiś sposób musi być wciąż

uzupełniane.

To ważny sygnał, że Układ Słoneczny nie jest niezmienny – kolejny dowód, po supernowej Tycho Brahego, że kosmos działa w rytm innego zegara, zdecydowanie odbiegającego od naszego, ludzkiego, poczucia czasu. Ten fakt wpływa na nasze postrzeganie Wszechświata. Z czasem doprowadzi również do zupełnie nowego opisu natury miejsca człowieka na świecie.

Zatem skąd pochodzi pył w Układzie Słonecznym i co mówi o naszej odległej przeszłości? Istnieją dwie podstawowe przyczyny jego powstawania. Jedną z nich jest stosunkowo łagodne zjawisko rozpraszania komet⁵⁹, drugą gwałtowne zderzenia asteroid.

Jasne komety powstają, kiedy niewielkie ciała bogate w zmrozoną wodę i inne substancje lotne, na przykład zestalony dwutlenek węgla, przechodzą wystarczająco blisko Słońca, by ogrzać się do poziomu krytycznego. Kiedy takie substancje jak zamrożona woda ogrzeją się w próżni kosmicznej, nie stają się ciekłe – przechodzą bezpośrednio ze stanu stałego w stan lotny. Dlatego zamrożone składniki stałego jądra komety mogą gwałtownie wystrzelić w postaci strumieni bądź pióropuszy gazu, który wypływa uwięzione w jądrze ziarna pradawnego zestalonego pyłu w przestrzeń międzyplanetarną, gdzie wchodzi w skład materii odbijającej światło zodiakalne.

Podejrzewamy, że reszta tego pyłu powstaje na skutek zderzenia asteroid. Niedawno Teleskop Kosmiczny Hubble'a⁶⁰ zdołał uchwycić taką kolizję, dokładnie w chwili zaficia, gdzieś między orbitą Marsa a Jowisza. Co jakiś czas krążące w przestrzeni ciężkie obiekty wielkości głazu i ospałe kamienne góry obijają się o siebie nawzajem. W efekcie za asteroidami formuje się ogromne pasmo podążającej ich śladem i stopniowo rozpierzchającej się w przestrzeni materii.

Oznacza to, że spoglądając na światło zodiakalne, widzimy efekt marnowania 4,5 miliarda lat ciężkiej pracy. Wyizolowane pierwiastki oraz skryształizowane minerały, których rodowód sięga czasów powstawania planet, zostały ekshumowane i bezceremonialnie wyrzucone, zmuszone radzić sobie same w strumieniach wiatru słonecznego. Cztery i pół miliarda lat po powstaniu Układu Słonecznego w przestrzeni międzyplanetarnej wciąż jeszcze tłoczą się i przepychają, a w wypadku komet także parują i niszczą, starożytne pozostałości tego procesu. Są niczym dryfujące po przejściu gwałtownego sztormu wraki i resztki okrętów, dostarczając nam częściowych wskazówek na temat zamierzchłej przeszłości, ale też odległej przyszłości, kluczowych dla wyśilków, jakie podejmujemy w celu zrozumienia statusu człowieka w kosmosie.

* * *

Tworzenie wizerunku naszego zmiennego, nietrwałego w czasie kosmicznego domu sprowadza się do ustawienia w poprawnej kolejności ciągu kluczowych zdarzeń. Tylko gdzie i kiedy zaczyna się historia naszego układu planetarnego, a gdzie i kiedy się kończy? Mogę cofnąć się w czasie o 13,8 miliarda lat, do chwili gdy w trwającym nieco ponad trzy minuty gwałtownie stygnącym Wszechświecie pojawiły się pierwotne pierwiastki – wodór i hel. Lub do momentu gdy w pierwszej sekundzie po Wielkim Wybuchu minimalne, rzędu jednej części na miliard⁶¹,

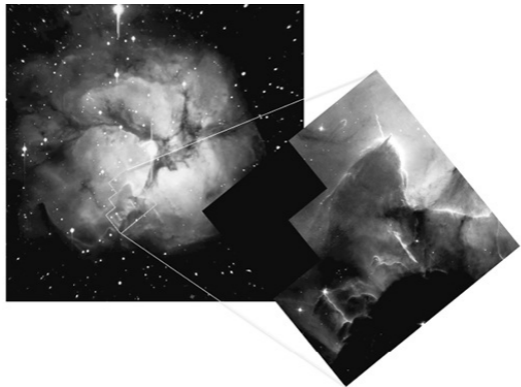
odchylenie od symetrii między ilością zawartej w kosmosie materii i antymaterii pozostawiło po sobie cząstki, które stanowią całą znaną nam dzisiaj, widzialną materię. Kolejnym potencjalnym punktem wyjścia może być chwila, gdy w pierwszych gwiazdach możliwe stało się wykuwanie cięższych pierwiastków, dzięki fuzji jąder wodoru i helu w tlen, węgiel i tak dalej.

Jednak żeby stworzyć gwiazdy, siła grawitacji musi najpierw skupić materię, formując z niej coraz gęstsze i gęstsze obiekty. W wyniku tego procesu materia może zostać ściśnięta do gęstości nawet bilion bilionów razy przewyższającej początkową. Równie ważna jest historia naszej galaktyki Drogi Mlecznej, wciąż budującej swoje struktury zarówno ze zwykłej, jak i ciemnej materii.

Słońce ze wszystkimi swoimi światami jest niczym pojedyncza kropla deszczu, określonego dnia, o określonej godzinie, w konkretnym obłoku gdzieś na ziemskim niebie – z tą tylko różnicą, że obłok w większości już zniknął. Zatem, chcąc opowiedzieć historię powstania Ziemi, musimy skupić się na tym, co znajdowało się tutaj niegdyś, w miejscu, które leżało w galaktyce Drogi Mlecznej 5 miliardów lat temu.

Kluczowych wskazówek powinniśmy szukać w pyłe międzyplanetarnym. Wcześniej wchodził w skład komet i asteroid, część z niego to pył międzygwiazdny – zrodzony jako zasobna w węgiel i krzem gorąca gwiazdowa plazma. Zanim stał się pyłem, miał postać gazu, zrzuconego przez stare gwiazdy niczym zbyt luźna skóra, a czasem wydalonego w potężnym wybuchu supernowej. Potem jednak ostygł i uległ krystalizacji w mikroskopijne ziarenka, które niczym rozwiewany wiatrem piasek⁶² rozprzestrzeniły się, zanieczyszczając i wzbogacając przestrzeń międzygwiazdną oraz tworząc mgławice, czyli gwiazdne żłobki. Są to struktury w dużej mierze przypominające miejsce, które dzisiaj badamy, obłok gazu i pyłu imponujących rozmiarów zwany mgławicą Trifid⁶³.

Obserwowana z dogodnego miejsca, jakim jest Ziemia, mgławica Trifid jawi nam się jako formacja międzygwiazdowa przypominająca kształtem kwiatek o trzech płatkach, mający blisko 25 lat świetlnych w obwodzie i znajdujący się w odległości ponad 5000 lat świetlnych. Możemy dostrzec rozgrywający się w jej wnętrzu powolny dramat, echo naszego własnego powstania. Choć wszystkie mgławice w naszej Galaktyce stanowią zaledwie blisko 5 procent materii międzygwiazdnej, to właśnie w takich miejscach jak tutaj gaz jest najsilniej zagęszczony i trwają te same od miliardów lat procesy formowania gwiazd oraz planet.



Mgławica Trifid. Fragment zdjęcia wykonanego przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a, ukazujący w powiększeniu pewien szczególnie obszar. Znajdujące się w pobliżu gwiazdy oświetlają wypustki i krawędzie gęstego obłoku gazu międzygwiazdowego. (J. Hester, Uniwersytet Stanu Arizona oraz Instytut Naukowy Teleskopu Kosmicznego, NASA/ESA)

Wewnątrz mgławicy Trifid, w gęstym, jak na standardy kosmiczne, skupisku molekuł gazu i pyłu czają się już masywne gwiazdy. Niektóre z nich są dziesiątki razy większe niż nasze Słońce, wobec czego są również zdecydowanie gorętsze i jaśniejsze. Ich promieniowanie zalewa mgławicę niczym morze płomieni papier. Wielkie międzygwiazdne fronty silnego promieniowania ultrafioletowego przypalają chłodniejszy gaz, rozpraszają go i spychają, nadając mu niezwykle rzeźbione kształty. Po ulotnieniu się rzadszej materii gęste obłoki gazu zaczynają się odcinać od tła ostro zarysowanymi wypustkami i krawędziami.

Ciśnienie tej przenikającej wszystko powodzi światła i cząstek może, niczym fala uderzeniowa, zainicjować kondensację materii w mgławicy, która zacznie zapadać się pod własnym ciężarem. Gaz, który z naszego ludzkiego punktu widzenia może sprawiać wrażenie niezwykle rozrzedzonego, zostaje ściśnięty do wartości, powyżej której władzę przejmuje grawitacja. Ta zaś, wydzierając z żywej mgławicy kęsy o rozmiarach wielu lat świetlnych, zaczyna budować kolejny układ planetarny. W miarę upływu czasu to samo gwałtowne

promieniowanie pomaga odparować niewykorzystane partie gazu, ujawniając gęste, podobne do jajek latające⁶⁴, w których może dochodzić do powstawania takich gwiazd jak nasze Słońce, wraz z ich planetami.

Grawitacja pracuje w takich strukturach szybko, gromadząc gaz i koncentrując go wokół centrum, gdzie trwa nieustanny deszcz rozpedzonej materii. Czasami proces ten wspomagany jest przez to samo zewnętrzne ciśnienie, które go zapoczątkowało, w tym także fale uderzeniowe spowodowane eksplozją którejś z okolicznych gwiazd. W samym centrum powstają zaczątki gwiazdy, rosnąca sfera wirującej materii, którą nazywamy protogwiazdą. Ściśnięty pod własnym ciężarem i coraz gorętszy gaz otoczony jest i karmiony przez orbitującą, spiralnie poruszającą się materię, która rozkłada się dookoła pod postacią ogromnego dysku sięgającego sto, a nawet tysiąc razy dalej, niż wynosi promień orbity Ziemi.

Część tego gazowego dysku ochładza się i ulega kondensacji w stopniu wystarczającym do powstania dodatkowego pyłu, ziaren węgla, lodu i krzemianów. Niektóre z tych składników niepewnie gromadzą się razem, urastając do rozmiarów rzędu kilku centymetrów. Puszyste i lepkie⁶⁵ wirują w pozostałym gazie, gdzie zaczynają być przyciągane w głąb, ku protogwieździe. Jednak zamiast je unicestwić, ten spiralny upadek może pomóc im jeszcze urosnąć.

Młkąc przez wciąż pogrubiający się dysk, te początkowo niewielkie grudki gromadzą coraz więcej materii, a wiele z nich w ciągu zaledwie tysiąca lat osiąga rozmiar kilkuset metrów. W dodatku proces ten wciąż przybiera na sile, wspomagany przez grawitację, turbulencje oraz przypadkowe zderzenia materii, prowadząc do powstawania i wzrostu obiektów znanych jako „planetozymany”. W zależności od tego, gdzie spędzają czas, planetozymany mogą w ciągu 10 tysięcy do miliona lat stać się tak duże, że ich rozmiar w dowolnym miejscu sięgnie 150, a nawet 800 kilometrów. Choć na to nie wygląda, to uderzająco szybki proces. Przejście od rozmytej mgławicy do obiektu *de facto* planetarnego odbywa się dosłownie w mgnieniu oka.

Blżej rozwijającej się, coraz gorętszej i zwartej centralnej protogwiazdy występuje niedobór zestalonych substancji lotnych. Chociaż w tych ciepłych rejonach cząsteczki wody mogą uformować w dysku warstwę gazu, zamrożona woda nie zdoła tutaj przetrwać. Jednak w dalszych strefach rozległego pasma materii, w odległości przekraczającej wartość o uroczej nazwie „linia śniegu”⁶⁶, temperatury są na tyle niskie, że woda staje się solidnym i niezbędnym kawałkiem budulca dla przybierających coraz większe rozmiary obiektów. Tam mogą powstawać olbrzymie obiekty planetarne – masywne lodowe sfery, które swoimi potężnymi polami grawitacyjnymi wyłapują surowy gaz z mgławicy wokół siebie i stają się gigantycznymi światłami, jak Jowisz czy Saturn.

Okazuje się też, że środowisko tego wielkiego dysku zaskakująco dobrze służy reakcjom chemicznym. Atomy i molekuly łączą się w oszałamiającą liczbę kombinacji. Właściwie mgławicowa materia już na długo przedtem, zanim znalazła się w tej sytuacji, dokonywała na sobie różnego rodzaju eksperymentów chemicznych. W mrocznych otchłaniach przestrzeni międzygwiazdnej zidentyfikowano molekuly wody, tlenku węgla i dwutlenku węgla, a także z górą 180 odrębnych związków chemicznych, a każdy z nich powstał w wyniku podstawowych reakcji chemicznych z używanych surowych atomów i jonów.

Teraz w gęstej i poddanej cyrkulacji materii wokół powstającej gwiazdy może zajść więcej

procesów chemicznych. Reakcje zachodzą w gazie, zamrożonych ciałach stałych oraz w stosunkowo ciepłym i łagodnym środowisku na powierzchni mikroskopijnych ziaren pyłu. Powstałe związki są mieszane i zwracane do burzliwego dysku, niczym cudowna chemiczna papka⁶⁷, od pojedynczych cząsteczek po coraz bardziej złożone związki chemiczne, takie jak alkohole, cukry, a być może nawet aminokwasy – tworzywo życia.

Jednakże zegar tyka. Podczas gdy w dysku zachodzą opisane procesy, sam dysk stopniowo wyparowuje, odpychany w przestrzeń międzygwiazdą przez bombardujące go promieniowanie otoczenia, podlegając erozji, będącej kontynuacją tej, którą obserwujemy w rzeźbionych i wypalanych ch obłokach mgławicy Trifid. Z chwilą gdy ruszy proces formowania gwiazd i planet, tylko skończony odstęp czasu dzieli dysk od momentu, gdy promieniowanie otoczenia, w tym promieniowanie nowej gwiazdy w centrum, wysprząta wszystkie kąty i zredukuje materię blisko o połowę. Przypomina to łąkę polnych kwiatów, które mają zaledwie krótką chwilę, żeby urosnąć, zakwitnąć i pozostawić po sobie nasiona oraz łodygi, zanim gorące słońce wysuszy ziemię i składniki pokarmowe.

Tymczasem, niezależnie od tych wszystkich zdarzeń, gwiazda w centrum obłoku przechodzi własne, dotkliwie bóle porodowe. Wirujący coraz szybciej w spływających na niego strumieniach materii gwiazdny niemowlak może wytworzyć wielkie, wypływające z biegunów i kontrolowane magnetycznie strumienie materii. Wyrzucają one około 10 procent napływającej materii i, co najważniejsze, pozwalają protogwiazdzie powstrzymać i zwolnić szaleńcze wirowanie, które w przeciwnym razie przeszkodziłoby jej w dalszym zapadaniu się i zmniejszaniu rozmiarów.

W miarę postępującego kurczenia się gwiazdnego niemowlaka jego wnętrze staje się coraz gorętsze i gorętsze, aż wreszcie osiąga poziom temperatury, przy którym zaczyna się i trwa nieustanna fuzja jądrowa. Pierwsze pierwiastki do połączenia to deuter i wodór. To pozwala ustabilizować temperaturę wewnątrz protogwiazdy na poziomie blisko miliona kelwinów, dławiąc proces fuzji jądrowej, dopóki nie stanie się dostatecznie masowy, by wejść w fazę pełnoobjawowej reakcji wodor–wodór.

Obszar w pobliżu powierzchni protogwiazdy to istna dzicz. Wylewają się z niego strumienie promieniowania nadfioletowego, a otaczającym ją dyskiem skondensowanego gazu, pyłu i potencjalnych obiektów planetarnych nieustannie wstrząsają rozblyski i wyrzuty gorącego gazu. Całość przypomina olbrzymi, dławiący się przed podjęciem normalnej pracy silnik⁶⁸. Co zdumiewające, cały ten proces – od ulegającej kondensacji mgławicy gazu do powstania całkiem nowej, niemal rozpalonej gwiazdy – trwa mniej niż sto milionów lat. Jeszcze krócej trwa faza rzeczywistej przemiany jądra obłoku w protogwiazdę, bo zaledwie sto tysięcy lat. To czas, który w życiu gwiazdy znaczy tyle co siedem godzin⁶⁹ w życiu człowieka.

Natomiast w naszym układzie planetarnym, w którymś momencie tego pierwotnego procesu doszło do jeszcze jednego kluczowego zdarzenia. Pozostały po nim pewne istotne ślady, które upewniają nas, że wywodzimy się właśnie z takiego miejsca, jak opisane wyżej, które zapewniło warunki pomocne w wykuwaniu planet w ich obecnym stanie.

Najstarsze kawałki skał, jakie możemy dostać w swoje ręce, nie pochodzą z naszego kontynentu ani nawet z Ziemi. To meteoryty.

Materia pozaziemska dociera do nas w różnej postaci. W większości są to fragmenty dużych, odległych obiektów: bogate w żelazo i nikiel bryłki oraz głązy, które niegdyś tkwiły głęboko wewnątrz obiektów o rozmiarach asteroid czy zarodków planet, teraz strzaskanych i rozproszonych. Cały materiał został przerobiony, stopiony i schłodzony, toteż obecnie bardziej przypomina formy mineralogiczne spotykane w najgłębszych obszarach naszego własnego świata niż cokolwiek pochodzącego z czystej próżni.

Istnieją jednak inne meteoryty, które w najmniejszym stopniu nie są podobne do znanych nam skał występujących na Ziemi. To obiekty prawdziwie starożytne, niepoddane żadnym swoim procesom geofizycznym. Ich tworzywem są najprymitywniejsze i najbardziej podstawowe ze znanych nam aglomeratów materii, zasadniczo nietknięte i niezmienione od chwili powstania w środowisku naszej zapadającej się protogwiazdy, 4,57 miliarda lat temu.

Tego rodzaju pradawne pozostałości zostały znalezione w kilku miejscach na naszym globie. Do szczególnie spektakularnych zaliczają się meteoryty znane jako Allende oraz Murchison⁷⁰. Czysty przypadek sprawił, że obydwa rozbiły się na Ziemi w 1969 roku. Pierwszy z nich pojawił się w lutym tego roku na niebie nad Pueblito de Allende w północnym Meksyku. Wtargnąwszy w atmosferę z prędkością ponaddźwiękową, rozpadł się na kilka ton drobnych odłamków, rozrzuconych na obszarze blisko 500 kilometrów kwadratowych. Drugi ukazał się we wrześniu w postaci kuli ognia nad niewielkim miasteczkiem Murchison we wschodniej Australii, pozostawiając po sobie około 100 kilogramów pierwotnej materii.

Obydwa meteoryty, zaliczające się do tak zwanych chondrytów węglistych, są dosyć upiorne. Nie ma na Ziemi niczego, co stanowiłoby ich odpowiednik. W tych skałach jest tyle węgla i węglowodorów, że to bardziej olej czy smoła, a w niej cała masa cząsteczek złożonych – w tym również niektórych aminokwasów, podstawowego budulca w procesach biochemicznych. Naoczni świadkowie znalezienia pierwszych, świeżo spadłych kawałków twierdzili, że wydzielały dymny, aromatyczny zapach, zapewne towarzyszący ulatnianiu się niektórych z tych chemikaliów do atmosfery.

Jednak wewnątrz czarnej skały macierzystej znajdują się także inne formacje mineralne: maleńkie sferule, zwane chondrulami. To schłodzone i zastygłe pozostałości stopionych kropli skały, która została rozgrzana, a następnie, znajdując się w przestrzeni kosmicznej, bardzo szybko, w ciągu kilku minut do kilku godzin, ostudzona i zamrożona. Po pewnym czasie te dryfujące wokół naszego młodego Słońca i obijające się o siebie nawzajem kawałki materii skleiły się w większe obiekty, w których oprócz chondrul znajdują się pokłady bogatych w węgiel ziaren i pyłu.

Istnieje jeszcze jeden składnik – białawe drobinki, których rozmiary nie przekraczają kilku milimetrów. Struktury te, zawierające mieszaninę minerałów, obfitują w wapń i glin, co zapewniło im nazwę inkluzji wapniowo-glinowych, albo CAI (z ang. *calcium-aluminium inclusions*). Ich unikatowe właściwości mówią nam, że musiały powstawać w jeszcze gorętszym

środowisku, bliżej proto-Słońca, w miejscach, gdzie temperatura mogła przekroczyć nawet 1000 stopni. One również są stopionymi kropelkami, które zastygły w małe drobiny mineralnych popiołów tylko po to, by nieco ponad 4 miliardy lat później znaleźć się w naszych zbiorach. W tych małych strukturach kryje się cała kopalnia istotnych informacji o naszej odległej przeszłości.

Pierwsza zdumiewająca cecha inkluzji CAI to fakt, że są w oczywisty sposób starsze niż sama Ziemia⁷¹. Geologowie, studiując zawarte w nich pierwiastki, a w szczególności mieszaninę ołowiu i uranu, mogą podać całkiem dokładną datę ich powstania – gdzieś między 4,567 a 4,571 miliarda lat temu.

Naukowcy odkryli również, że inkluzje CAI zawierają niespodziewanie dużo pewnego szczególnego izotopu magnezu⁷². Blisko 80 procent atomów magnezu tutaj, na Ziemi, ma w swoim jądrze 24 neutrony i protony. Jednak istnieją w naszym otoczeniu jeszcze dwie inne stabilne odmiany magnezu, z 25 i 26 cząstkami w jądrze atomu. W inkluzjach CAI jest proporcjonalnie więcej izotopu magnezu z 26 cząstkami w jądrze niż na Ziemi. Powstaje zatem pytanie, co takiego zdarzyło się 4,6 miliarda lat temu, że spowodowało tę różnicę.

Fizyka jądrowa mówi nam, że najbardziej prawdopodobnym procesem w naturze, który prowadzi do nadmiaru tego typu magnezu, jest „rozpad” promieniotwórczego izotopu glinu, czyli glinu-26, który wypluwając nadmiar energii, przestacza się w magnez-26. Czas połowicznego rozpadu to około 710 000 lat, ponadto wiemy, że glin-26 powstaje w wielkich ilościach, kiedy gwiazda przestacza się w supernową. Tak więc, dodając dwa do dwóch, dochodzimy do następującego scenariusza.

Nieco ponad 4,56 miliarda lat temu, tuż przed tym, gdy w naszym układzie protoplanetarnym doszło do sklejenia inkluzji CAI w jedną bryłę, w jego sąsiedztwie musiała wybuchnąć⁷³ bardzo masywna gwiazda, znajdująca się dostatecznie blisko, by wtłoczyć promieniotwórczy glin-26 w lokalne środowisko. Być może zdarzyło się to nie dalej niż kilka lat świetlnych od nas. Owszem, biorąc pod uwagę, że nasz układ planetarny przedziera się przez materię galaktyczną, można sobie wyobrazić także inne przyczyny powstania radioaktywnego skażenia w naszym środowisku, jednak wybuch supernowej byłby najbardziej efektywny. Te mikroskopijne ślady w meteorytach wskazują zatem na zdecydowanie burzliwe środowisko presolarne. Dostarczają również naturalnego wyjaśnienia jeszcze jednego zjawiska. Wiemy, że kiedy młode planety i skały zderzały się ze sobą, wyzwalała w tych gwałtownych procesach energia przyczyniała się do ich podgrzania. Jednak obecny w całym Układzie Słonecznym gęsty materiał skalny, poczynając od wnętrza Ziemi po meteoryty żelazonikowe, które kiedyś znajdowały się wewnątrz innych planet, był zbyt często topiony i utrzymywany w stanie ciekłym, by tłumaczyły to same kolizje.

Co mogłoby podtrzymywać takie temperatury? Cóż, rozpylony we właściwym momencie promieniotwórczy glin z wybuchającej supernowej zapewniłby tyle energii, że starczyłoby jej na stopienie dowolnie dużej kolekcji skał. Rozpadające się jądra tego pierwiastka uwalniają energię. Uwięź je w czymś wystarczająco dużym, a temperatura wzrośnie do kilku tysięcy stopni – dość, żeby stopić wszelkie znane minerały.

Samogrzewanie mogło być dzięki i gwałtowne. Za sprawą stosunkowo krótkiego czasu życia promieniotwórczego glinu jego wkład w utrzymywanie obiektów w stanie ciekłym był co

najmniej pięć razy wyższy w zaraniu naszego układu planetarnego niż dzisiaj. Poza tym niemal na pewno wspierały go pozostałe radioizotopy, również wchodzące w skład tej nuklearnej mieszaniny.

Istnieją obecnie dowody w postaci meteorytów, że w młodym Układzie Słonecznym występował również izotop żelaza-60. To kolejny produkt pobliskiej supernowej, który zamienia się w nikiel-60 za okresem połowicznego rozpadu 2,6 miliona lat. Prawdę mówiąc, istnieje niemal dwadzieścia tak zwanych wygasłych radioizotopów, które pojawiają się w materiale meteorytowym pod postacią swoich izotopów „córek” i wskazują na istnienie całego szeregu procesów, które kiedyś czyniły nasz układ planetarny miejscem znacznie bardziej radioaktywnym.

Wiele spośród tych izotopów wiąże się z ewolucją całej Galaktyki – można mówić o zrównoważonej mieszaninie pierwiastków, które zostały wyodrębnione z przestrzeni międzygwiazdowej pod postacią układu planetarnego. Jednak inne, w tym niestabilne izotopy glinu, żelaza, a także wapnia i manganu, są produktem lokalnym, wytworzonym na miejscu. Upichcono je w krótkim czasie tuż przed tąpnięciem mgławicy, które wyodrębniło nas w postaci gęstej, małej grudki materii – zdarzeniem wywołanym być może tym samym wybuchem supernowej, który zrodził te izotopy promieniotwórcze.

Całkowita masa radioaktywnych jąder, które jako świeżo zsyntetyzowane, liczące zaledwie milion lat izotopy zostały siłą wtłoczone do naszego formującego się systemu przez falę uderzeniową supernowej (wraz z bardziej przyjaznymi pierwiastkami), to około 0,01 procent masy dzisiejszego Słońca. Może się wydawać, że to niedużo, ale i tak trzydzieści trzy razy więcej, niż wynosi masa Ziemi – tyle materii zostało rozpylone w wielkim protoplanetarnym dysku naszego młodego środowiska.

Wszystkie te pierwiastki razem mogły zagwarantować, że wewnątrz dowolnego skalistego ciała, którego średnica przekroczy jakieś 30 kilometrów, ulegnie stopieniu. W końcu, po upływie mniej więcej trzech milionów lat, ciepło radioizotopów uległo rozproszeniu i obiekty zaczęły stygnąć i ponownie się krystalizować, poczynając od zewnątrz, z tym że spadek temperatury największych ciał o rozmiarach planetarnych przebiegał najwolniej. Wydaje się więc, że stoimy na prawdziwym „dymiącym pistolecie”, planecie, której najbardziej fundamentalna geofizyka została zainicjowana przez podbarwienie promieniotwórczym pigmentem i której planetarni sąsiedzi powstałi w tych samych okolicznościach. To zdumiewające powiązanie z przeszłością.

Tylko co się stało z kotłującym się gniazdem gwiazd i z wybuchowym rodzeństwem, które ukształtowało naszą promieniotwórczą historię? Co się dzieje z takimi miejscami jak mgławica Trifid po upływie milionów i miliardów lat? Wszelkie dowody bezpośrednio związane z naszym pierwotnym, żywym gwiazdym żłobkiem i jego maszynami supernowymi dawno przepadły. Oczywiście, możliwe jest, że na przestrzeni tych milionów i miliardów lat nasze gwiazdne siostry po prostu rozproszyły się, szarpane wzdłuż opasujących galaktykę wielkich orbit, szarpane w różne strony przez wszechobecne galaktyczne pływy grawitacyjne. Równie dobrze nasz oryginalny dom nadal może istnieć, a tworzące go wielkie zbiorowisko gwiazd zostawiło nas w tyle.

Astronomowie szukali tego gwiazdnego Edenu⁷⁴ wśród takich gromad gwiazdnych naszej Galaktyki, których członkinie legitymowały się zbliżonym do Słońca składem chemicznym oraz wiekiem. To ogromne wyzwanie. Już wynioskowanie, które gwiazdy mogły dzielić z nami

oryginalny Rejon Galaktyki, napotyka takie ograniczenia, jak niewystarczająca precyzja pomiarów tak wielkich odległości oraz specyficznych ruchów gwiazd, a także sama liczba obiektów do przesiania.

Jedną z kandydatek jest gromada znana jako Messier 67⁷⁵, oddalone od nas o mniej więcej 2700 lat świetlnych skupisko słońc i gwiazdnych pozostałości. Zawiera ono ponad sto gwiazd, uderzająco podobnych do naszego Słońca. Jest jednak pewien haczyk: najnowsze symulacje komputerowe⁷⁶ ruchu gwiazd w gromadzie Messier 67 przetestowały możliwą trajektorię Układu Słonecznego, jaką musiałby się przemieszczać, gdyby to właśnie z tej kołyski został wyrzucony, i... wydaje się to mało prawdopodobne. Utworzenie katapulty grawitacyjnej, która wyrzuciłaby nas w miejsce, gdzie obecnie się znajdujemy, wymagałoby bardzo rzadkiego ustawienia w gromadzie Messier 67 co najmniej dwóch lub trzech masywnych gwiazd. Co więcej, towarzyszące takiemu katapultowaniu pływy grawitacyjne prawdopodobnie rozerwałyby rodzący się układ planetarny na strzępy.

Jednak także i ta konkluzja opiera się na założeniach co do konfiguracji wielkich, spiralnych ramion galaktyki Drogi Mlecznej, w których znajdują się gwiazdy. Jeżeli w ciągu tego miliarda lat zmieniła się częściej, niż myślimy, możliwe, że gromada Messier 67 pozwoliła Słońcu odejść w mniej dramatycznych, bardziej możliwych do zaakceptowania okolicznościach.

Tak więc ława przysięgłych wciąż jeszcze nie podjęła decyzji, gdzie powstał Układ Słoneczny, jednak poszlaki radioaktywne oraz rozwój wydarzeń w innych mgławicach praktycznie nie pozostawiają wątpliwości, że w ten czy inny sposób zostaliśmy osieroceni. Co na powrót przywodzi nas do opowieści o wydarzeniach, toczących się *wewnątrz* powstającego Układu Słonecznego.

* * *

Wystarcza milion lat, by sklejająca się i zderzająca materia w zalegającym wokół protosłońca wielkim dysku gazu i pyłu utworzyła mnóstwo większych obiektów. W chłodniejszych obszarach zewnętrznych, poza przysłym pasem asteroid, zamrożona woda pozostaje stabilna i ten dodatkowy zapas materii w stanie stałym może wraz ze skałami posłużyć za zalążek wielkich lodowych obiektów planetarnych. Te ogromne masywne kule są dziesięć do piętnastu razy większe niż Ziemia, a ich silne pole grawitacyjne zasysa okoliczny gaz, tworząc gigantyczną powłokę atmosferyczną.

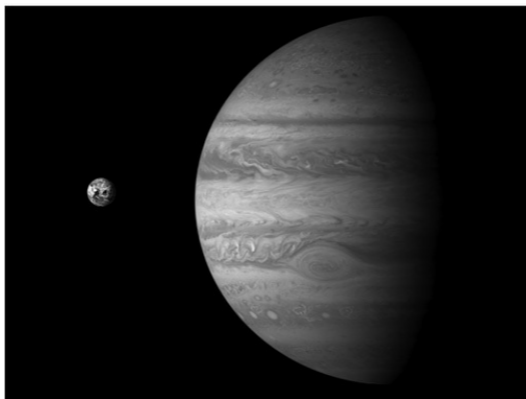
Jak wspominałem wcześniej, jednym z tych ciał jest opatulony w zdumiewający płaszcz materii Jowisz. Dominującym składnikiem jego atmosfery jest pradawny wodór i hel, których masa ponad trzysta razy przewyższa masę Ziemi. Łączna masa okrywającej planetę materii poddaje jej wnętrzu ogromnemu ciśnieniu. Nawet wodór zmuszany jest do przyjęcia obcych nam form, na przykład postaci metalicznej cieczy⁷⁷. I niezależnie od ciepła izotopów promieniotwórczych powstałe w wyniku tak silnej kompresji młode gazowe planety mogą

emitować własną energię ciepłą. Nawet dzisiaj, cztery i pół miliarda lat później, Jowisz wciąż promieniuje tym pierwotnym ciepłem, a w jego jądrze nadal panuje temperatura blisko 28 000 stopni Celsjusza.

W wewnętrznych obszarach przyszłego Układu Słonecznego – które z czasem pomieszcza orbity planet od Merkurego do Marsa oraz pas asteroid – znajduje się całe mnóstwo skalistych obiektów zwanych zarodkami planet, zwyczajców wyłonionych w wyniku niezliczonych zderzeń i fuzji planetyzacji.

Każdy z nich ma masę rzędu ułamka masy Ziemi i przez kolejne kilkadziesiąt milionów lat wiodą dość ryzykowną egzystencję. Choć same raczej nie rosną, zdarza się, że ulegają połączeniu wskutek gwałtownej kolizji, która prowadzi do ich ponownego stopienia i przebudowania wchodzących w ich skład minerałów. Z czasem kilka z nich zaczyna dominować, stając się planetami wewnętrznymi.

Poza orbitą Marsa znajduje się całe mnóstwo zarodków planet, ale to dla nich trudny teren. Przenikające tę strefę wpływy grawitacyjne Jowisza i Saturna potrafią nadać tym małym obiektom przyspieszenie, które sprawi, że ich zderzenia będą raczej destruktywne niż konstruktywne w skutkach. Może się też zdarzyć, że perturbacje grawitacyjne wyrzucą je na nowe orbity. Jedne skierują się do obszarów wewnętrznych, gdzie znajdą sposób na połączenie się z tutejszymi światłami. Inne zostaną rozrzucone gdzieś w zewnętrznych rejonach układu.



Ziemia i Jowisz w odpowiedniej skali. Dzięki masie 317 razy przekraczającej masę Ziemi Jowisz zalicza się do całkowicie innej klasy planet.

Choć niektóre szczegóły pozostają jeszcze przed nami ukryte, wiemy, że przez kolejne kilkadziesiąt milionów lat zdarzy się wiele innych rzeczy. Planety w pewnej mierze doświadczą tak zwanej migracji planetarnej – do której bardziej szczegółowo powrócimy później – a także od czasu do czasu ucierpią od potężnych zderzeń z innymi ciałami niebieskimi. Wydaje się, że jakieś 4,53 miliarda lat temu nawet sama Ziemia weszła w maszyną kolizję z zarodkiem planetarnym, która doprowadziła do powstania Księżyca.

Nasza planeta znalazła się też na linii późniejszego „forniowania” przez zderzenia z asteroidami. Deszcz wybuchów pozostawił na jej młodej powierzchni, wystygłej zaledwie wystarczająco, by utrzymać tak lotną substancję jak woda, ogromne ilości tego cennego związku. Tą samą drogą przybyło na nią dużo bogatej mieszanki chemicznej, która składa się na zewnętrzną warstwę naszego globu. Choć często przemieszczana w górne rejony płynnego jądra Ziemi, ma ona również zasadnicze znaczenie dla podtrzymywania pracy chemicznej maszynierii powierzchni naszej planety, jej oceanów i atmosfery.

Pozostałe globy są inne. Wenus najwyraźniej zachowała swoją pierwotną zewnętrzną warstwę skał. Inaczej niż na Ziemi ta warstwa nigdy nie została złuszczonej w wyniku zderzenia, które utworzyło Księżyca. Niektóre teorie sugerują również, że powstanie Wenus było skutkiem nieomal centralnego zderzenia dwóch planetarnych zarodków, procesu, który może tłumaczyć dziwny ruch wirowy planety, ze wschodu na zachód, podczas którego jeden obrót wokół osi trwa nieco dłużej niż pełny obieg wokół Słońca.

Mars jest mniejszy, wielkości jednej dziesiątej masy Ziemi, a jego budowa jest nieco inna. Swoją ślad w marsjańskich skałach pozostawiło proporcjonalnie więcej substancji lotnych. Jednak on również brał udział w potężnych zderzeniach z zarodkami planet. To prawdopodobne wytłumaczenie jego dziwacznej geografii – szokującej dysproporcji między północną a południową częścią planety. Podczas gdy położona na północy trzecia część Marsa pokryta jest cienką skorupą skalną i płaskimi równinami, większość półkuli południowej charakteryzuje się grubszą skorupą i skałistymi wyżynami.

Co ciekawe, dawno temu, przed 4 miliardami lat, Mars i Wenus mogły mieć bardziej umiarkowany, ziemniopodobny ⁷⁸ klimat. Dzisiaj to już zamierzchna przeszłość. Na Wenus, otoczonej gęstą, bogatą w dwutlenek węgla atmosferą, umiarkowany klimat ustąpił miejsca wysokiemu ciśnieniu przy powierzchni oraz upalnym temperaturom, przekraczającym 400 stopni Celsjusza. Z kolei Mars, ze swoją przygnębiająco rzadką atmosferą, której dominującym składnikiem jest dwutlenek węgla, może pochwalić się ciśnieniem przy powierzchni równym zaledwie 0,6 procent ciśnienia atmosferycznego na Ziemi oraz temperaturą, która w zależności od pory roku i położenia zmienia się od minus 128 do ponad 20 stopni Celsjusza. Jednak wobec jawnych dowodów na niedawną obecność na Marsie płynącej i gromadzącej się na powierzchni wody oraz składu mineralnego i chemicznego nieodlegającego od składu wielu miejsc na Ziemi, środowisko marsjańskie to wśród pozostałych planet najbardziej obiecujące potencjalne siedlisko życia.

Atmosfery planet to twory kapryśne i nieszczerne. Tym, co utrzymuje wokół planety, na przykład Ziemi, cienki kocik atmosfery, jest grawitacja. Otóż atomy i molekuly gazu znajdują się w ciągłym ruchu, przy czym średnia prędkość poszczególnych składników jest tym wyższa, im wyższa panuje temperatura. Najszybsze cząsteczki mogą osiągnąć prędkość ucieczki i poszybować w kosmos⁷⁹. Uciekinierzy rekrutują się spośród najlżejszych składników atmosfery, toteż Ziemia dawno już utraciła posiadaną niegdyś otoczkę helu i wodoru. Obecnie atomy wodoru również potrafią uwolnić się z uchwytu Ziemi i ulecieć w kosmos. Zdarza się to, gdy promieniowanie ultrafioletowe lub korpuskularne rozbija znajdującą się w atmosferze cząsteczkę wody.

W ograniczaniu tych strat pomagają nasze pole magnetyczne, które chroni górne warstwy atmosfery przed największą furią promieniowania kosmicznego. To dobrze, ponieważ każdy stracony atom wodoru stracony jest już na zawsze, a wraz z nim cząsteczka wody, do której kiedyś należał. Taki mechanizm może wysuszyć całą planetę, co prawdopodobnie zdarzyło się na Marsie. Wyjaśniałoby to jego transformację z ciała o wilgotnym i ciepłym klimacie, jakim był kiedyś, w suchą pustynię, którą jest obecnie.

Także Ziemia nie jest dziś taka jak na początku. Wraz z mijającymi eonami środowisko naszej planety ewoluowało, zmieniała się jego temperatura i chemia. Mimo to, jeśli wierzyć świadectwu najstarszych minerałów, kryształów cyrkonu, niemal zawsze, czy to na powierzchni globu, czy tuż pod nią, znajdowała się tu woda. Co decydujące, przez pierwszych blisko 1,5 miliarda lat od powstania Ziemi atmosfera zawierała tylko nieznaczne ilości reaktywnego tlenu.

To się zmieniło, podobnie jak sama planeta, z powodu prawdziwie niezwykłego zjawiska, jakim jest życie. Mniej więcej 2,5 miliarda lat temu pewne organizmy, na przykład jednokomórkowe sinice, zdobyły przewagę w swoich ekosystemach i zaczęły się rozmnażać. Ich metabolizm powodował uwalnianie ogromnych ilości tlenu, którego rosnąca koncentracja w atmosferze przyczyniła się do postępującej przez kolejny miliard lat transformacji planety.

Zmianie ulegały również inne właściwości planety. Panująca w przeszłości średnia temperatura była wyższa o kilka stopni od obecnej, mimo to zdarzały się ochłodzenia, które zakładały niemal całą Ziemię w lód⁸⁰. Istnieją również pewne głęboko zakorzenione cykle chemiczne i geofizyczne, które dążą do utrzymania naszego klimatu w czymś na kształt niepewnej równowagi – regulujące utratę ciepła z atmosfery, dzięki czemu na powierzchni globu wciąż znajduje się woda.

Głęboko wplecione w tę zdumiewającą sieć mechanizmów planetarnych tkwią żywe organizmy. W każdym momencie są ich biliony bilionów, kwitnących i więdnących, jedzących i rozkładających się, podających otaczający je świat nieustannej przeróbce. Jednak w skali kosmicznej zmiany te są niczym zwierzchna warstewka na długo eksponowanej skamielinie, żałośnie drobne i nieistotne dla ogólnej charakterystyki planety. W istocie oglądana z tak odległej perspektywy nasza egzystencja rysuje się całkiem inaczej niż normalnie, z perspektywy ludzkiego zaścianka.

Szersza perspektywa jest jednym z kluczowych elementów, których będziemy potrzebowali, by wypłatać się z matni kopernikańskiej przeciętności i jej kontrargumentów oraz inaczej formułować rozwiązanie zagadki naszego znaczenia w kosmosie. Wyobraźmy sobie zatem przez chwilę, że spoglądamy na naszą Galaktykę, Drogę Mleczną, z zewnątrz. Obdarzeni wszechmocnym spojrzeniem jesteśmy w stanie obserwować ewolucję tego skomplikowanego zbiorowiska ponad 200 miliardów gwiazd, ogromnych ilości gazu, pyłu i ciemnej materii nie tylko przez stulecia czy tysiąclecia, ale przez miliardy lat. Ze szczególnym zamięłowaniem studujemy zwykłe gwiazdne obiekty, a jednym z nich jest nasze Słońce.

Kiedy natykamy się na nią po raz pierwszy, ta osamotniona bestyjka zdążyła już rozpaść w swoim jądrze gwałtowny płomień fuzji wodoru. Energia wy dostaje się z tego paleniska na dwa sposoby. Jeden z nich to stały wypływ cząstek subatomowych znanych jako neutrina. Te małe widmowe twory bardzo słabo oddziałują z cymkolwiek napotkany m na swojej drodze, toteż gdy mkną na zewnątrz z prędkością bliską prędkości światła, nawet gęsta materia Słońca jest dla nich niemal przezroczysta. Kolejnym nośnikiem energii powstałej w procesie fuzji wodoru jest gęsty strumień fotonów, który przesiąka przez 700 000 kilometrów słonecznej plazmy, by wreszcie wyłonić się w przestrzeni kosmicznej jako promieniowanie widzialne, nadfioletowe i podczerwone.

W tym obfitym potoku promieniowania grzeją się krążące wokół Słońca planety, asteroidy, komety, gaz i pył. W środowiskach planet wewnętrznych promieniowanie słoneczne odgrywa dominującą rolę, tłocząc energię w ich podlegające nieustannej cyrkulacji atmosfery, a nawet w zalegające na trzeciej z nich wody oceanów. Jednak, gdy tak śledzimy naszą małą gwiazdkę, dostrzegamy zachodzące w niej powolne zmiany. W ciągu pierwszych 4 miliardów lat jej jasność rośnie o 30 procent, wspierając trwający na trzeciej planecie rozrost różnorodnych form życia. Mniej więcej po 10 miliardach lat jest już dwa razy jaśniejsza niż w czasach swojej młodości. Przepelnieni czułością i smutkiem potrafimy jednak dostrzec w niej oznaki starzenia, zwiastujące nieuchronną śmierć.

W przeciwieństwie do wielu innych zjawisk we Wszechświecie obiekty w rodzaju Słońca na starość stają się jaśniejsze – przy najmniej na chwilę. Przebiegająca w centrum gwiazdy synteza protonów z jąder wodoru w cięższe jądra helu zmienia jej podstawowy skład chemiczny, wzbogacając ją o ten pierwiastek. W rezultacie wnętrze gwiazdy staje się coraz gęstsze i gorętsze, co powoduje wzrost tempa zużycia wodoru (pomyśl o ognisku, które powoli zapada się w sobie, płonąć coraz jaśniej i wydzielając coraz więcej ciepła).

W wypadku okrążającej Słońce wilgotnej planety pociąga to za sobą niebagatelne w skutkach zmiany: już po 6 miliardach lat narastająca jasność centralnej gwiazdy powoduje tak skrajne przeobrażenia klimatu, że niemożliwe staje się podtrzymanie istniejących na jej powierzchni oceanów wody. Po 10 miliardach lat to już najmniejszy z jej problemów, podobnie jak najbliższych sąsiadów. Zużywając ostatnie zasoby wodoru, Słońce wkracza na trudną i bolesną drogę ku gwiazdnemu życiu po śmierci.

W ciągu kolejnego miliarda lat tej odległej przyszłości nasza gwiazda staje się coraz bardziej

rozdęta i niestabilna. Jej puchnące nierównomiernymi skokami zewnętrzne obszary w końcu stają się tak rozległe, że pochłaniają najbardziej wewnętrzne światy, docierając w pobliże orbity niegdyś wilgotnej planety i mającej w przestworzach jako gigantyczna, poczerwieniała kula plazmy. W tym samym czasie ta dawniej tak schludna gwiazda zrzuca z siebie niezliczone ilości materii, wydychując w przestrzeń międzygwiazdną strumienie gazu i gwałtownie kondensujących ziaren pyłu. Ostatecznie gubi tym sposobem niemal połowę swojej masy. Ta strata gruntownie zmienia pole grawitacyjne układu i dynamikę ruchu planet, których orbity przystosowują się, zwiększając swój promień – zgodnie z zasadami wydedukowanymi ponad 5 miliardów lat wcześniej przez pewną małą czującą istotę, Izaaka Newtona.

Źródłem tych dramatycznych przeobrażeń zewnętrznych jest seria zmian i procesów toczących się we wnętrzu Słońca. Z chwilą gdy kończy się paliwo wodorowe, jądro gwiazdy zaczyna się kurczyć i rozgrzewać. Wokół niego pozostaje wyłącznie cienka warstwa fuzji wodoru, przypominająca nieco migotliwą obrączkę żaru wokół niedawno wygasłego ognia. W końcu jednak kurczące się jądro staje się wystarczająco gorące, by zapoczątkować fuzję jąder helu. Proces ten wymaga temperatury rzędu 100 milionów stopni, dziesięć razy wyższej niż temperatura fuzji wodoru. Nowa reakcja jest również mniej wydajna, ale zamienia hel w kolejne dwa pierwiastki, węgiel i tlen. Przez następnych 100 milionów lat coraz gęstsze jądro i wypływający z niego strumień energii powodują dalsze rozdęcie zewnętrznych obszarów gwiazdy, aż wreszcie wyczerpaniu ulega również hel.

Dla naszej osieroconej gwiazdy to kluczowy moment. Po mniej więcej 12 miliardach lat i mniej niż sześćdziesięciu obrotach wokół jądra Drogi Mlecznej zjadła już wszystko, co się dało. Ponieważ nie jest wystarczająco masywna, by wytworzyć w swoim wnętrzu temperaturę potrzebną do fuzji jąder węgla, nie znajduje kolejnego źródła energii, w spizarni nie ma nic, co nadałoby się do zjedzenia.

Ostatnie impulsy energii rozdymają i odpychają resztki materii tworzącej niegdyś zewnętrzną powłokę gwiazdy i nie mija wiele czasu, a jej silnik zamiera. Porzucona materia umyka w przestrzeń międzygwiazdną, formując tam rozciągającą się na przestrzeni kilkudziesięciu lat świetlnych piękną mgławicę. W końcu zostaje tylko najbardziej wewnętrzny rdzeń Słońca, niemal zupełnie nagi i eksponowany. Zbudowany jest z węgla i tlenu, a przed zapadnięciem się pod własnym ciężarem powstrzymują go dziwne, fundamentalne siły związane z kwantową naturą świata submikroskopowego, w którym odporność na ściskanie przez grawitację bierze się z dualnych, korpuskularno-falowych własności materii.

Mówimy o takim obiekcie, że to biały karzeł. Nie ma źródła energii. Jest żarzącym się węglem, skazanym na trwające tryliony lat stygnięcie. A kiedy wreszcie ostygnie, tworzące go atomy ustawią się w regularną siatkę – ulegnie krystalizacji. W odległej przyszłości Słońce dokona swojego żywota jako ogromny, węglowo-tlenowy, ciemniejący w przestrzeni kosmicznej klejnot.

Przypatrując się dokładniej, zauważamy, że niektóre z pierwotnych planet ocalały [81](#). Rzeczywiście ta, która była niegdyś trzecia od Słońca, cudem uniknęła zniszczenia podczas bolesnej agonii gwiazdy. Ponieważ Słońce straciło około 40 procent swojej pierwotnej masy, orbita planety rozciąga się teraz dwa razy dalej od centrum niż dawniej. Zimna i jałowa, pozbawiona nadziei planeta krąży w nieskończoność wokół coraz ciemniejszego białego karła,

jedynej pozostałości swojej matki.

Tak kończą się trwające 10 miliardów lat swawole pewnej gwiazdy, którą postanowiliśmy się zainteresować. Jednak nie mamy czasu na żalobę, bo są już nowe, takie same jak ona, wystarczy wybrać jedną z nich. W czasie gdy śledziliśmy najlepsze lata naszej ulubionej gwiazdy, w galaktyce Drogi Mlecznej narodziło się kolejnych 10 miliardów słońc.

* * *

Narodziny naszego układu planetarnego to wynik wzmożonej aktywności procesów fizycznych i chemicznych, których większość trwała zaledwie kilkadziesiąt milionów lat. Kolejne miliardy lat życia samotnej, skromnej gwiazdy to okres względnego spokoju czy wręcz pewnej stagnacji. Jednak z naszego ludzkiego punktu widzenia to cała wieczność, wypełniona bogactwem skomplikowanych zdarzeń.

Życie na Ziemi trwa już od miliardów lat, w tym kontekście nasze istnienie, istot zrodzonych w wyniku ewolucji sieci powiązań astrofizycznych, geofizycznych i molekularnych, to ledwie mgnienie oka. A w jednej z mikroskopijnych chwil tego mgnienia oka ja sam stoję na szczycie góry w Chile, by kontemplować swoje miejsce we Wszechświecie. Roztaczający się przede mną krajobraz, jego fałdy i zmarszczki, to naturalna konsekwencja geofizyki planety, jej płynnego jądra – a jeśli sięgnąć głębiej, to skutek istnienia pierwiastków promieniotwórczych, substancji wykutych wewnątrz masywnych gwiazd, które zaludniały dawno utracone, niewyobrażalnie starożytne miejsce narodzin Ziemi.

Trop, który wiedzie ku tej ulotnej chwili, mija ją i mknie dalej, jest zawily i kręty. Może leżące u podstaw wszystkiego reguły są proste, jednak wiodąca przez kosmos ścieżka ku tobie, czy ku mnie, wije się i zawraca. To ważne, ponieważ jednym z potencjalnych sposobów, w jaki możemy zdobyć wiedzę o swoim znaczeniu lub też braku znaczenia we Wszechświecie, jest zbadanie, jak wiele dróg prowadzi do życia takiego jak nasze czy też do życia w ogóle. W tym celu naszym następnym krokiem musi być zbadanie historii innych planet, światów krążących wokół innych słońc w naszej Galaktyce, a także światów poza jej granicami. To, czego się dowiadujemy, jest zdumiewające.

46 Ten liczący blisko 1000 km długości region rozciąga się na południe od granicy Peru i Chile i na zachód, obejmując cały łańcuch Andów. Na terenie pustyni leżą obszary zaliczane do najsuchszych na Ziemi (bardziej suche niż najsuchsze rejony Antarktydy). W istocie na wysokości około 3000 m n.p.m. znajdują się tak jałowe i suche obszary, że panujące tam warunki porównuje się do tych na Marsie.

[47](#) La Serena to miasto o populacji (łącznie z najbliższą okolicą) rzędu kilkuset tysięcy ludzi. Dzięki plażom kwitnie w nim turystyka. To również siedziba administracyjna ulokowanych w głębi lądu największych między narodowych obserwatoriów astronomicznych – zarówno amerykańskich, jak i europejskich.

[48](#) Dnem doliny płynie rzeka Elqui – zasilana wodą z Andów i spływająca do Pacyfiku. Ponieważ jest tam tak sucho, mniej więcej 60 km w głębi lądu Chilijczycy zbudowali tamę Puclaro, żeby magazynować wodę na czas suszy oraz zapanować nad powodziami podczas rzadkich burz. Mieszkańcy doliny są w Chile głównymi producentami wina *pisco*.

[49](#) Znane jako CTIO obserwatorium wchodzi w skład Narodowego Obserwatorium Astronomii Optycznej (U.S. National Optical Astronomy Observatory), ufundowanego przez Narodową Fundację Nauki (National Science Foundation). Powstało na początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku i od tej pory cały czas służy astronomom z Chile oraz z USA.

[50](#) Człucha elektronika, w tym używane do detekcji fotonów i budowania obrazów aparaty cyfrowe, pracuje lepiej, gdy jest schłodzona. Palce astronomów, niestety nie.

[51](#) Jedzenie sprzedawane w Cerro Tololo jest dobre. Jeszcze lepszy jest widok z okien stołówki – chciałbym siedzieć i obserwować pikujące andyjskie kondory przy każdym posiłku.

[52](#) Średnicę Słońca zasadniczo wyznacza jego zewnętrzna jasna powierzchnia, tak zwana fotosfera.

[53](#) Obszar ten rozciąga się od orbity Neptuna (z grubszą 30-krotność odległości Ziemi od Słońca, czyli 30 jednostek astronomicznych, 30 AU), a kończy niemal dwa razy dalej (około 50 AU). W przeciwieństwie do wewnętrznego pasa asteroid większość obiektów pasa Kuipera jest bogata w substancje lotne, takie jak woda, metan i amoniak. Wszystkie znajdujące się tam ciała nazywamy transneptunowymi. Mimo że pas uczczono nazwiskiem urodzonego w Holandii astronoma Gerarda Kuipera (1905–1973), również inni astronomowie spekulowali po odkryciu Plutona, w 1930 roku, na temat istnienia tego regionu i jego zawartości.

[54](#) Energia promieniowania na jednostkę powierzchni maleje odwrotnie proporcjonalnie do

kwadratu odległości od świecącego obiektu – prosty efekt geometryczny wynikający z rozprzestrzeniania się światła w obrębie sfery.

55 Ten leżący na zewnątrz Układu Słonecznego obszar, nazywany czasem obłokiem Öpika–Oorta, nosi imię holenderskiego astronoma Jana Oorta (1900–1992), który, oprócz wielu innych osiągnięć, w 1932 roku znalazł pierwsze dowody na istnienie niewidzialnego składnika Drogi Mlecznej, dzisiaj nazywanego ciemną materią. Rozważał możliwość, że komety długoterminowe pochodzą z rejonów bardzo oddalonych od Słońca, lecz wciąż związanych z nim grawitacyjnie – z obłoku Oorta. Dynamika sugerowała, że zawiera on podobną do dysku strefę wewnętrzną oraz bardziej sferyczną strefę zewnętrzną.

56 Uważa się, że termin ten ukuł dwunastowieczny perski astronom, matematyk i poeta Omar Chajjam. W werse 200 swojego poetyckiego dzieła *Rubajjaty* pisze on:
*Gdy fałszywy świt zakreśli na wschodzie zimną, popielatą linię,
Napełnij puchar czystą krwią, co w żyłach płynie;
Prawda, mówią, smakuje w ustach gorzko,
To znak, że wino jest „Prawdą” w płynie.*

57 Jest to tak zwany efekt Poyntinga–Robertsona, zjawisko dosyć subtelnej natury, sprzecznej z intuicją, ponieważ jego mechanizm zależy od przyjętego układu odniesienia. Jednym ze sposobów konceptualizacji tego problemu jest wyobrażenie sobie, że stoisz w strugach pionowo padającego deszczu. Gdy idziesz lub biegiesz, strugi deszczu przestają sprawiać wrażenie pionowych; właściwie czujesz, że mokniesz z przodu. Obiekt krążący po orbicie wokół Słońca doświadcza podobnego efektu związanego ze światłem słonecznym, zwanego aberracją. Światło, zamiast przechodzić obok, wydaje się raczej nieznacznie kierować *ku niemu*. Ponieważ światło przynosi pęd, obiekt ten (ziarnko zodiakalnego pyłu) doznaje spadku pędu orbitalnego i zostaje ściągnięty na orbitę położoną niżej. Choć, prawdę powiedziawszy, wszystko jest bardziej skomplikowane. Obiekt również absorbuje promieniowanie, nagrzewa się i emituje własną poświatę. W odniesieniu do taktycznych ziarenek bardzo ważny jest sam przebieg aberracji czy też odchylenia promieni świetlnych, gdyż wpływa to na skład ziaren i ich rzeczywisty rozmiar. Jeżeli lubisz się katować, sięgnij po znakomity, lecz bardzo fachowy artykuł autorstwa Burnsa, Lamy’ego i Sotera, który wyczerpująco przedstawia całe zagadnienie: J.A. Burns i in., *Radiation Forces on Small Particles in the Solar System*, „Icarus” 1979, nr 40, s. 1–48.

58 Zob. na przykład D.E. Brownlee, D.A. Tomandl i E. Olszewski, *Interplanetary Dust: A New Source of Extraterrestrial Material for Laboratory Studies*, „Proceedings of the Eighth Lunar Science Conference, Houston, Texas, March 14–18”, 1977, t. 1, Pergamon Press, Nowy Jork 1977, s. 149–160.

[59](#) Zob. na przykład D. Nesvorný i in., *Dynamical Model for the Zodiacal Cloud and Sporadic Meteors*, „The Astrophysical Journal” 2011, nr 743 (44), s. 129–144.

[60](#) Inne obserwatoria również z nim współpracowały; zob. na przykład D. Jewitt i in., *Hubble Space Telescope Observations of Main-Belt Comet (596) Scheila*, „The Astrophysical Journal Letters” 2011, nr 733, s. L4–L8; oraz J. Kim i in., *Multiband Optical Observation of the P/2010 A2 Dust Tail*, „The Astrophysical Journal Letters” 2012, nr 746, s. L11–L15.

[61](#) Energia, przekształcana w cząstki subatomowe, daje początek parze – jednej cząstce materii i jednej antymaterii – która w procesie ponownego połączenia ulega anihilacji, z powrotem zamieniając się w energię elektromagnetyczną. Tymczasem wszystko wskazuje na to, że żyjemy we Wszechświecie zdominowanym przez materię. Zatem w bardzo młodym Wszechświecie, istniejącym nie dłużej niż jedną milionową sekundy, musiało dojść do nieznacznej asymetrii między materią a antymaterią, wskutek czego po ostygnięciu Wszechświat zachował te cząstki materii, które nie miały pary. Na każdy miliard cząstek antymaterii istniało miliard +1 cząstek materii. Dlaczego? Dobre pytanie. Tego jeszcze nie wiemy, aczkolwiek wydaje się, że przeprowadzane z użyciem wielkich zderzaczy doświadczenia z zakresu fizyki cząstek coraz bardziej przybliżają nas do odpowiedzi.

[62](#) W gruncie rzeczy to stwierdzenie niezbyt odległe od prawdy. Najnowsze badania pyłu okeologwiedznego wskazują, że niektóre jego składniki są bardzo wytrzymałe, zbudowane z krzemianów (na przykład krzemianu magnezu), i spychane na zewnątrz przez ciśnienie promieniowania gwiazd.

[63](#) Zob. na przykład artykuł: J.J. Hester i in., *The Cradle of the Solar System*, „Science” 2004, nr 304, s. 1116–1117.

[64](#) Struktura tych łat rzeczywiście ładująco przypomina jajko. Astronomowie często mówią na nie „proplydy” (otaczający młodą gwiazdę dysk gęstego gazu i pyłu) – od angielskiego *protoplanetary disc*.

[65](#) Badania protoplanetarnych i międzyplanetarnych skupisk pyłu i cząstek sugerują, że są one całkiem luźne, przy pomijając koty z kurzu, jakie niektórzy z nas znajdują pod łóżkiem.

[66](#) W próżni, przy temperaturach poniżej 150–170 kelwinów, dochodzi do gwałtownej sublimacji (parowania) lodu. Dlatego linia śniegu pojawia się w takiej odległości od centrum układu, gdzie temperatura obiektów może być niższa.

[67](#) Wiemy o tym, ponieważ obserwacje za pomocą teleskopów umożliwiają nam badanie promieniowania dysków protoplanetarnych lub okółogwiezdnych pod kątem analizy nieciągłych cech widma tego promieniowania, będących „odciskami palca” atomów i cząsteczek.

[68](#) Jedną z faz między młodym systemem protoplanetarnym a gwiazdą spalającą wodór (tak zwaną gwiazdą ciągu głównego wieku zero) nosi nazwę gwiazdy T-Tauri (po prototypie). Wydaje się, że są to obiekty z wolną kurczące się i ogrzewające pod wpływem grawitacji, skłonne do sporadycznych wybuchów promieniowania, w drodze ku stabilnej fazie fuzji jądrowej.

[69](#) Sięgnij, na przykład, po artykuł: D.A. Clarke, *Astronomy: A Truly Embryonic Star*, „Nature” 2012, nr 492, s. 52–53.

[70](#) Krążą słuchy (anegdotyczne, lecz bardzo wiarygodne), że ponieważ był to rok 1969 – szczytowy dla programu Apollo moment lądowania na Księżycu – tego rodzaju zdarzenia cieszyły się ogromnym zainteresowaniem społecznym i środowisk naukowych, co być może pomogło w szybkim zgromadzeniu wielu fragmentów obydwu meteorytów.

[71](#) Zob. na przykład A. Bouvier, M. Wadhwa, *The Age of the Solar System Redefined by the Oldest Pb–Pb Age of a Meteoritic Inclusion*, „Nature Geoscience” 2010, nr 3, s. 637–641.

[72](#) Bardzo dobry wykład popularnonaukowy na temat śladów izotopowych w meteorytach, i znacznie więcej, znajdziesz w książce Jacoba Berkowitza, *The Stardust Revolution: The New Story of Our Origin in the Stars*, Prometheus Books, Nowy Jork 2012.

[73](#) Po więcej szczegółów, łącznie z omówieniem wpływu tego wydarzenia na nasz rodzący się Układ Słoneczny, sięgnij do znakomitego artykułu przeglądowego autorstwa N. Dauphasa i M. Chaussidon, *A Perspective from Extinct Radionuclides on a Young Stellar Object: The Sun and Its Accretion Disk*, „Annual Review of Earth and Planetary Sciences” 2011, nr 39, s. 351–386. Zob. także: Y. Lin i in., *Short-Lived Chlorine-36 in a Ca- and Al-Rich Inclusion from the Ningqiang*

[74](#) Obszerny (fachowy) przegląd środowiska, w którym narodziło się Słońce, znajdziesz w artykule F. Adamsa, *The Birth Environment of the Solar System*, „Annual Review of Astronomy and Astrophysics” 2010, nr 48, s. 47–85.

[75](#) Nie znamy jeszcze ostatecznej konkluzji, czy ta gromada gwiazd jest miejscem narodzin Słońca czy nie. Z pewnością w tym systemie znajduje się bardzo dużo „odpowiedników” Słońca (gwiazd o podobnym składzie), jednak (zob. niżej) może się okazać, że ruchy i orbity składających się na nią obiektów nie dopuszczają takiej możliwości.

[76](#) Zob. na przykład B. Pichardo i in., *The Sun Was Not Born in M67*, „The Astronomical Journal” 2012, nr 143, s. 73–83.

[77](#) Tak, pod dostatecznie wysokim ciśnieniem wodór zachowuje się jak metal. Wewnątrz Jowisza znajduje się metaliczny wodór o masie blisko pięćdziesięciu mas Ziemi.

[78](#) Nie przepadam za terminem „ziemiodobny” (jak przekonasz się później), jednak stanowi on bardzo wygodne słowo wytrych. W tym wypadku akcent spoczywa na „podobny”, ponieważ mimo że na Marsie przez pewien czas mogła znajdować się woda, panujący tam klimat mógł być bliższy nieprzyjemnej zimnej pustyni niż tropikom.

[79](#) W żargonie naukowym ów proces to ucieczka Jeansa. Polega na tym, że prędkość atomu lub molekuly jest równa prędkości ucieczki ze studni grawitacyjnej planety na danej wysokości. Istnieją też inne mechanizmy utraty atmosfery, w tym „rozpryskiwanie”, gdy energetyczne cząstki wiatru słonecznego (takie jak protony) uderzają w atomy i cząsteczki atmosfery, dosłownie wybijając je w przestrzeń kosmiczną.

[80](#) Jeden z zapisów geologicznych w skałach wskazuje na istnienie fazy kuli śnieżnej około 650 milionów lat temu.

81 Wciąż trwają dyskusje, które ocaleją. O ile panuje powszechna zgoda co do tego, że Merkury i Wenus zostaną połknięte przez naszą umierającą gwiazdę, o tyle nie jest jasne, czy to samo spotka Ziemię. Ja postanowiłem pozostać w tej sprawie optymistą. Mniej optymistyczne poglądy prezentują K. Rybicki i C. Denis w swojej pracy *On the Final Destiny of the Earth and the Solar System*, „Icarus” 2001, nr 151, s. 130–137.

ROZDZIAŁ 3

Sąsiedzi

W dążeniu do zrozumienia, jakie jest nasze miejsce we Wszechświecie, niewiele obiektów przykuło tyle uwagi co egzoplanety – kosmiczne oazy, które od dawna mieliśmy nadzieję znaleźć. Nie bez powodu, ponieważ rzadkość występowania planet, zwłaszcza planet typu ziemskiego, w oczywisty sposób i bardzo poważnie wpłynęłaby na nasze poglądy. Kilka odległych światów, rozsianych po niedostępnych zakątkach istnienia, uczyniłoby nasze poszukiwanie życia niesamowicie trudnym.

Myśl o innych światach, miejscach położonych gdzieś „poza” naszym światem, jest zakorzeniona nie tylko w nauce. Jak mogliśmy się przekonać, znajdowała się w metaforycznym centrum rozważań różnych szkół filozoficznych, co jakiś czas regularnie pojawiała się w sztuce i literaturze.

Dobry przykład pochodzi ze starożytnego źródła, cudownych *Baśni z tysiąca i jednej nocy*. Te fascynujące opowiadania były zbierane i opracowywane przez wiele pokoleń gawędziarzy ponad tysiąc sto lat temu, a wciąż dostarczają wyśmienitej rozrywki.

Jedna z moich ulubionych opisuje przygodę młodego sułtana o imieniu Bulukija, który wyrusza na wyprawę po ziele dające nieśmiertelność. Odwiedza miejsca pełne dziwacznych rzeczy nie z tej ziemi, takich jak wyrastające z pni drzew ptaki i kłose głowy, aż trafia do najgłębszych czeluści piekielnych.

W trakcie tych podróży napotyka kosmicznego anioła, od którego odbiera szybką lekcję na temat faktycznego stanu rzeczy. Magiczna istota mówi mu, że poza Ziemią znajduje się nie mniej niż czterdzieści innych światów, a każdy z nich jest czterdzieści razy większy od Ziemi i zamieszkują go egzotyczne stworzenia, o jakich sułtanowi nawet się nie śniło. Jest to cudownie zajmujące opowiadanie fantastyczne. Z lektury wynika też oczywisty wniosek, że w umysłach

gawędziarzy już dawno temu zrodziła się myśl o wielu odległych światach – światach tak obcych, że zwykły śmiertelnik mógł o nie mieć z wrażenia.

To, co może znajdować się pod, nad i daleko poza skorupą normalnej egzystencji, nie przestaje być pożywką dla ludzkiej wyobraźni, od alegorycznego cyklu *Opowieści z Narnii* C.S. Lewisa po tętniące życiem uniwersum *Gwiezdných wojen*⁸². Czasami jednak tracimy z oczu perspektywę kreśloną przez nasze najbardziej inspirujące dzieła, aż w zaskakujący sposób natura znowu nam o niej przypomni. Całkiem niedawno znaleźliśmy się w tej sytuacji – nie chodzi o kosmiczne anioły lub wyprawę po nieśmiertelność, ale o planety leżące poza Układem Słonecznym.

Niespodzianką jest nie tylko to, że są tam inne światy, lecz także ich właściwości, które wykraczają poza najśmielsze oczekiwania i nakazują wyrzucić do lamusa wszelkie przyziemne wyobrażenia. Pokażę teraz, że nowe realia wydobywają na światło dzienne jedną z największych wskazówek, na jakie możemy liczyć w misji szukania prawdy o naszym znaczeniu, przesądzający o sukcesie element układanki. Jej wymowa nie jest jednoznaczna, z jednej strony bowiem nasze odkrycie mocno wspiera kopernikański pogląd (jesteśmy przeciętni, a nie najważniejsi), ale z drugiej stanowi ono najlepszy jak dotąd dowód na to, że jest coś niezwykłego, może nawet wyjątkowego, w warunkach, jakie ma do dyspozycji życie na Ziemi.

* * *

Szalenie trudno znaleźć planety krążące wokół innych gwiazd⁸³. Nie sposób użyć innych słów na opisanie tego przedsięwzięcia. Powody są dość oczywiste: planety są małe i ciemne, podczas gdy gwiazdy duże i jasne. Dzieli nas od nich ogromne polecie międzygwiazdnej przestrzeni, toteż oglądane z tej odległości gwiazdy wraz z ich planetami zdają się położone niesamowicie blisko siebie – stanowi to problem, ponieważ własności światła sprawiają, iż nawet najlepiej skonstruowany teleskop daje rozmazany obraz. Słabiutkie lśnienie planet ginie w potężnym blasku gwiazdy.

Oczywiście, większość z nas widziała majestatyczny blask Księżyca w pełni na niebie, a nawet dostrzegła jasne plamki planet, takich jak Wenus lub Jowisz. Nie wydaje się, aby znane nam planety świeciły tak nieśmiałym blaskiem. Doświadczenie zdobyte podczas obserwacji lokalnego skrawka kosmosu jest jednak bardzo mylące.

Wielka planeta, jaką jest Jowisz, odbija światło słoneczne i emituje ze swego ciepłego wnętrza łagodny blask w zakresie podczerwieni, a jednak łącznie całe promieniowanie elektromagnetyczne docierające od największej planety Układu Słonecznego w najlepszym razie osiąga wartość *jednej miliardowej* części promieniowania naszego Słońca. Planeta taka jak Ziemia, cieplejsza, ale dużo mniejsza, wypada równie skromnie. Może nam się wydawać, że Księżyc świeci jasnym blaskiem, ale w gruncie rzeczy jest to złudzenie. W rzeczywistości jego powierzchnia odbija niespełna 10 procent padającego na nią światła słonecznego, mniej więcej

tylko co bryłka węgla kamiennego. Robi wrażenie jasnego tylko dlatego, że znajduje się bardzo blisko, jak również dlatego, że natężenie promieniowania słonecznego jest w tym rejonie Układu Słonecznego ciągle znaczne.

Gdybyśmy oglądali nasz Układ Słoneczny z odległości wielu lat świetlnych, planety takie jak Jowisz i Ziemia całkiem znikłyby z pola widzenia, skąpane w blasku rozproszonego światła centralnej gwiazdy – byłyby niczym czarny pyłek kurzu przed oślepiającą lampą błyskową aparatu fotograficznego. Żeby bezpośrednio dostrzec te światy, trzeba dysponować ogromnymi teleskopami i sprytnymi systemami obróbki optycznej, a technologie te znajdują się w chwili obecnej w powijkach. Są jednak inne sposoby na spenetrowanie oślepiającej woalki spowijającej gwiazdne układy i podjęcie próby wykrycia obecności planet.

Jeden ze sposobów, o którym wspomniałem wcześniej, zawdzięczamy Izaakowi Newtonowi. To on wykazał, że gwiazdy poruszają się wokół środka masy albo punktu równowagi układu. Kiedy gwiazdzie nie towarzyszą planety, środek masy pokrywa się ze środkiem gwiazdy. Obecność planet w układzie, oddziałujących grawitacyjnie, powoduje przesunięcie środka masy. Położenie tego punktu nie jest stałe, ponieważ w swym ruchu orbitalnym planety stale zmieniają pozycję względem gwiazdy, toteż punkt podparcia również musi się przemieszczać.

Można to wyrazić inaczej: jeśli gwiazdzie towarzyszą planety, będzie się ona chygotać, a chwianie to będzie zmieniać się z czasem. Jest szansa, żeby dostrzec to bezpośrednio w niewielkich drganiach na niebie, raz do przodu, raz do tyłu, jednak nieco więcej szczęścia zapewnia metoda szukania z użyciem zjawiska Dopplera⁸⁴: gdy gwiazda zbliża się do nas lub od nas oddala, zmienia się częstotliwość (barwa) emitowanego przez nią światła.

Wciąż jest to pomiar absurdalnie trudny do wykonania. Planeta typu ziemskiego wywołuje zmianę prędkości Słońca o nieco ponad kilka centymetrów na sekundę, a dodatkowo ruch ten ujawnia swoją charakterystyczną dla wahadła sygnaturę dopiero w okresie dłuższym od jednego roku. Jowisz mógłby być lepszym celem. Potrafi on zmienić prędkość Słońca o około 13 metrów na sekundę, jednak efekt jest widoczny dopiero po dziesięciu latach, bo tyle trwa obrót Jowisza wokół Słońca. Można to zauważyć, pod warunkiem że jest się bardzo cierpliwym i niezwykle konsekwentnym w prowadzeniu obserwacji.

Jakby tego jeszcze było mało, powierzchnia gwiazdy jest również wzburzona, rozgrzana i promieniujące światło gazy to wznoszą się, to opadają. Te lokalne ruchy z łatwością mogą przewyższać jednostajne efekty wywołane przyciąganiem planet, dodając do rejestrowanego przez nas światła dezorientujące i wprowadzające w błąd sygnały.

Zadanie to jest dla ludzi, którzy są bezgranicznie przekonani do tego, co robią. Wyłapanie przez potężne teleskopy światło gwiazdy trzeba rozbić na tysiące częstotliwości składowych, jak w wypadku tęczowego widma uzyskiwanego po przepuszczeniu białego światła przez pryzmat. Astronomie muszą wyizolować słabe, charakterystyczne elementy widma zostawione przez przeskakujące tam i z powrotem elektrony w atomach gwiazdy, które będą służyły za miarę porównawczą. Markery te należy mierzyć z wysoką dokładnością, monitorować i starannie przekształcać w szacunkowe dane dotyczące prędkości obiektu o masie tysiąca bilionów bilionów ton, który może poruszać się wolniej od idącego człowieka.

Są inne metody szukania planet, często równie wymagające, opierają się bowiem w równej mierze na umiejętnościach, jak i zwykłym szczęściu do odkrywania czegoś tam, gdzie nikt się tego nie spodziewa. Zdarza się, że układ planetarny ustawiony jest względem nas w taki sposób, iż z powierzchni Ziemi możemy obserwować, jak dochodzi do zaćmienia przez te obce światy ich macierzystej gwiazdy, a w jego trakcie blokują one ułamek procentu normalnie docierającego do nas światła gwiazdy⁸⁵. Jeśli uda się to zarejestrować raz, potem drugi, gdy planeta ponownie znajdzie się w tym samym miejscu orbity, a następnie trzeci raz, można nie tylko mieć wskazówkę świadczącą o obecności tych ciemnych punkcików, lecz nawet poznać ich rozmiary.

Rzadszym przy padkiem i trudniejszym do zinterpretowania jest sytuacja, gdy gwiazdy wraz z ich planetami odkształkają czasoprzestrzeń wokół siebie i pole grawitacyjne zakrzywia tor promieni światła innych gwiazd – jest to konsekwencja relatywistycznej natury Wszechświata. Kiedy światło bardziej odległej gwiazdy przechodzi dokładnie przez właściwe miejsce w leżącym pomiędzy tą gwiazdą a nami układzie gwiazdowym, wydaje się, jakby ktoś trzymał w kosmosie soczewkę. Światło na krótko zostaje wzmocnione w błysk, który jaśnieje przez kilka dni, zanim ruchy gwiazd w naszej Galaktyce ponownie spowodują, że obiekty nie będą już ustawione w jednej linii. Soczewkowanie grawitacyjne⁸⁶ tego typu może wywołać pojedyncza gwiazda, jednak występowanie wokół niej planet zmienia charakterystykę błysku w taki sposób, że można pozyskać informacje o tych światach, o ich orbitach i masach.

Wszystkie metody są obciążone piętrzącymi się trudnościami, a dłuższa historia prób znalezienia planet wokół innych gwiazd usiana jest porażkami i twierdzeniami bez pokrycia. Jednak w drugiej połowie XX wieku techniki obserwacji astronomicznych rozwinęto do tego stopnia, że grupa śmiałych i nieustępliwych naukowców⁸⁷ dostrzegła realną szansę wykrycia tych małych, ciemnych światów, krążących wokół innych gwiazd. Oczywiście pod warunkiem że one w ogóle istnieją. Obecność planet w sąsiedztwie innych gwiazd wydawała się prawdopodobna, wciąż jednak nie udało się usunąć wszystkich dokuczliwych wątpliwości.

Co ciekawe, większość wspomnianych naukowców sądziła, że jeśli odkryją cokolwiek, nie będzie to nic interesującego. Zasadniczo wyobraźnia podsuwała im repliki naszego Układu Słonecznego, znajome rodzaje planet w znajomych konfiguracjach. Podczas gdy ówcześni pisarze fantastyki naukowej chlubnie kontynuowali tradycje *Baśni z tysiąca i jednej nocy*, pogrążając się w jeszcze bardziej szokujących spekulacjach, to jednak badacze nie szukali światów będących owocem bujnej imaginacji twórców fantastyki. Żadna z hipotetycznych planet i ich orbit, o jakich myśleli naukowcy, nie miała w sobie nic niezwykłego – zawsze były to ciała niebieskie podobne do tych, które znajdują się w naszym najbliższym otoczeniu.

Częściowo to trzymanie nieszablonowych pomysłów na dystans było przejawem konserwatywnego podejścia do nauki. Zwiodło nas też przywiązanie do zasady kopernikańskiej. Skoro nie byliśmy ani najważniejsi, ani wyjątkowi, to logiczne wydawało się przyjęcie założenia, że inne miejsca w kosmosie będą wyglądały podobnie. Jeżeli nasz układ planetarny był przeciętnym układem, towarzyszącym gwiazdzie przeciętnego typu, to należałoby się spodziewać, że inne układy planetarne będą podobne do naszego.

Wszystko to znaczyło, że pod koniec XX wieku faktycznie szukaliśmy w kosmosie planet w rodzaju Jowisza i Saturna. Byłyby to masywne globy znajdujące się dość daleko od centrum układu, powoli poruszające się po swych orbitach i wywołujące niewielki, lecz dający się wykryć taniec w ruchu ich macierzystej gwiazdy. Czułość przyrządów stosowanych w tych wczesnych projektach była zdecydowanie za niska, aby można było myśleć o szukaniu planet o rozmiarach Ziemi, choć nie ma najmniejszych wątpliwości, że każdemu w skrytości ducha chodziło właśnie o znalezienie tych mniejszych globów.

Nasz Układ Słoneczny stanowił jedyny punkt odniesienia dla wszelkich teorii dotyczących formowania planet. Na przestrzeni stuleci naukowcy różnie zapatrywali się na mechanizm stojący za powstawaniem planet z gazu i pyłu znajdującego się w przestrzeni międzygwiazdowej. Powszechny konsensus w tej sprawie osiągnięto w drugiej połowie XX wieku. Jak pisałem, dobrze poznaliśmy zjawiska fizyczne, związane z formowaniem planet z wielkiego gazowo-pyłowego dysku, otaczającego kurczący się obłok materii, z którego powstaje gwiazda. Układ Słoneczny ma bardzo charakterystyczny rozkład ciał: mniejsze, kamienne, planety zostały uformowane bliżej gorącego Słońca, podczas gdy większe, gazowe i lodowe globy, powstały w większej odległości. Rozkład ten był i wciąż jest modelowym reprezentantem idei opisujących, jak formują się planety.

Trudno było ludziom wyzwolić się z pułapki takiego myślenia. Istnieje nawet kusząca numerologicznie empiryczna reguła Titiusa–Bodego⁸⁸, która powstała w XVIII wieku, gdy astronomów zastanawiał rozkład ciał w Układzie Słonecznym. Reguła ta przewiduje odległości planet od Słońca, opierając się wyłącznie na prostym ciągu algebraicznym, sekwencji następujących po sobie liczb. Ciąg ten wygląda następująco: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192... począwszy od 3, wszystkie kolejne liczby uzyskuje się, mnożąc poprzedniczkę przez 2. „Magiczna” formuła powstaje przez dodanie 4 do każdej liczby tego ciągu, a następnie podzielenie sumy przez 10. Wynikiem działania jest średnia odległość każdej planety od Słońca, wyrażona jako wielokrotność jednostki astronomicznej, czyli odległości Ziemi od Słońca. Uzyskiwane po zastosowaniu reguły pozycje planet nie są idealnie dokładne, ale dość bliskie. Wzór z pewnością wskazuje, że istnieje jakaś ukryta głębiej zasada, według której planety formują się i ustawiają na orbitach wokół gwiazdy. Zasada, która mogłaby mieć uniwersalny charakter. Przynajmniej wydaje się, że tak jest... zanim przyjrzymy się bliżej.

Z czasem naukowcy uświadomili sobie, że „reguła” Titiusa–Bodego w najlepszym wypadku ukazuje zaledwie tendencję natury do ślepego odtwarzania form matematycznych w zachodzących zjawiskach. Funkcje takie nazywa się potęgowymi albo wykładniczymi. W najgorszym razie wzór jest całkowicie przypadkowy. Reguła Titiusa–Bodego znajduje zastosowanie do Układu Słonecznego, lecz niekoniecznie do jakiegokolwiek innego. Sam pomysł jednak bardzo silnie oddziałuje na wyobraźnię i choć może nie przyznawano tego otwarcie, z całą pewnością fenomen tej „reguły” miał swój wkład w kształtowanie u ludzi nauki przeczuć, iż wszystkie układy planetarne powinny wyglądać podobnie do naszego.

Patrząc na to z perspektywy czasu, jestem odrobinę zszokowany. Zupełnie jakby przyjęcie

zasady kopernikańskiej spowodowało w naszym gatunku tak ciężki uraz, że jedyne, na co było nas stać, to wlec się z opuszczoną głową i powłócząc nogami. Gdy już słusznie przesunięto Ziemię z centrum wszechrzeczy, większość astronomów przyjęła przeciętność jako nową ewangelię. Trudno było zaakceptować ewentualność, że te „wyjątkowe” okoliczności były zaledwie jedną z nieskończonej liczby możliwych konfiguracji i ścieżek.

Można więc powiedzieć, że na akt kosmicznej sprawiedliwości wygląda to, w jaki sposób uzyskaliśmy pierwszy niepodważalny dowód istnienia innych światów poza naszym Układem Słonecznym: odkryty świat był tak diametralnie różny od naszego, że natychmiast stało się jasne, iż byliśmy ślepi na to, co jest możliwe. Planety, jak się okazuje, mogą być skrajnie nonkonformistyczne.

* * *

Tereny wyspy Portoryko położone jakieś szesnaście kilometrów w głąb lądu od jej północnego wybrzeża porasta gęsta, starożytna i niedostępna dżungla. Duża część bujnej flory i fauny rozwinęła się na skalnym podłożu, jakim jest porowaty i rozpuszczalny w wodzie wapień, toteż trwające przez wiele tysiącleci procesy erozyjne doprowadziły w niektórych miejscach do powstania wielkich lejów krasowych i zapadlak. Zwykle są to siedliska tętniące życiem, zakątki wilgotnej urodzajności, wtulone w łagodne stoki gór. Z wyjątkiem jednego miejsca.

Tu, w wielkim kolistym zagłębieniu o średnicy ponad trzystu metrów, zamiast drzew i zarośli grunt pokrywa ponad 38 000 przypominających siłka, dobrze dopasowanych aluminiowych płytek, jakby na wilgotny, zielony kobierzec nałożono metalowy kaganiec. Ponad tą srebrzystą powierzchnię wznoszą się na wysokość stu pięćdziesięciu metrów równie masywne konstrukcje. Są to trzy wieże, rozstawione równomiernie na obwodzie metalowej miski, na których rozpięto zawieszono w powietrzu grube, metalowe olinowanie, przecinające się ponad geometrycznym środkiem miski. W tym właśnie centralnym punkcie skomplikowana pajęczyna lin i dźwigarów utrzymuje wyeksponowaną strukturę, utworzoną przez misternie poskładaną mozaikę trójkątnych płyt – to serce wyrafinowanego instrumentu służącego do rejestrowania docierających z kosmosu fal radiowych.

Jest to wybitnie nieskromna bestia, będąca ucieleśnieniem najnowocześniejszych technologii, i zakrawa na skandal fakt, że znajduje się ona w odległym i cichym zakątku świata, który kojarzyłibyśmy z rajską enklawą. Miejsce to nazywa się obserwatorium Arecibo⁸⁹ i choć cichutko przycupnęło pośród drzew, to jednak ani w nim samym, ani w tym, co robi, nie ma nic wstydliwego.

W lutym 1990 roku ten olbrzymi teleskop nasłuchiwał słabych sygnałów elektromagnetycznych, dobiegających z dalekiego skrawka naszej Galaktyki – miejsca odległego o dwa tysiące lat świetlnych, czyli 190 bilionów kilometrów.

Te fale elektromagnetyczne odbijały się od aluminiowych płytek gigantycznej miski teleskopu Arecibo i skupiały w zawieszonych w powietrzu, czułych detektorach. Choć osłabione

przez długą, międzygwiazdną wędrówkę, promieniowanie to powstało w wirujących szaleńczo pozostałościach wnętrza gwiazdy, która umarła jakieś 800 milionów lat wcześniej.

Obiekt taki nazywamy gwiazdą neutronową. Składa się ona niemal wyłącznie z neutronów, cząstek wchodzących w skład jąder atomów. Z niewielkimi dodatkami protonów, jak też elektronów. To wszystko, co zostało z gwiazdy nieco większej od Słońca, która dopóty świeciła jasnym blaskiem, dopóki w jej wnętrzu paliły się reakcje jądrowe. Kiedy zabrakło wytwarzanej w tych reakcjach energii, środek gwiazdy zapadł się pod własnym ciężarem. Doszło do katastrofy, potężnego wybuchu supernowej, który zmiotł w przestrzeń kosmiczną zewnętrzne warstwy atmosfery gwiazdy i zostawił po sobie tę przerażającą sferę.

W przeciwieństwie do materii, którą znamy tu, na Ziemi, substancja tworząca gwiazdę neutronową jest upakowana bardzo, bardzo ciasno. Nie ma atomów ani cząsteczek tylko coś, co w efekcie stanowi jedną wielką kulę samych jąder, zlepionych przez grawitację. Gwiazda neutronowa o dwukrotnie większej masie od Słońca ma średnicę wynoszącą zaledwie dziewiętnaście kilometrów. Przyciąganie grawitacyjne blisko jej powierzchni jest tak potężne, że spadek o jeden metr przyspiesza ciało do prędkości ponad półtora kilometra na sekundę.

Gwiazda neutronowa może również bardzo szybko obracać się wokół osi. Ponieważ powstaje w wyniku niekontrolowanego kolapsu wewnętrznych warstw gwiazdy, możliwe są różne warianty zyskiwania ruchu wirowego i niektóre gwiazdy neutronowe kończą z okresem obrotu na poziomie *milisekund*. Na ogół są też bardzo gorące, z temperaturami sięgającymi mniej więcej milionów stopni. Wprost kipi w nich energia: pole magnetyczne napędza elektrycznie naładowane protony i elektrony, które wyrzucane są z ich powierzchni w przestrzeń kosmiczną. Wszystkie te właściwości łącznie stoją za powstaniem najbardziej surrealistycznego fenomenu we Wszechświecie, któremu nadano nazwę pulsar.

Pulsar emituje w kosmos promieniowanie elektromagnetyczne niczym niestrudzona latarnia morska. Intensywne strumienie fotonów docierają daleko w głąb galaktyki, a front fali tego promieniowania, podążając za ruchem obrotowym gwiazdy neutronowej, w ułamku sekundy omiata obszar dziesiątków tysięcy lat świetlnych.

Za sprawą gęstości materii obiekty tego typu charakteryzuje ogromna bezwładność, zupełnie jakbyśmy mieli do czynienia z gigantycznym kołem zamachowym. Może upłynąć cała wieczność, nim gwiazda neutronowa wytraci tyle energii, aby jej ruch wirowy uległ spowolnieniu. W rezultacie częstotliwość ruchu obrotowego pulsara jest stała. Tak naprawdę radiowe sygnały nadawane przez szybko obracający się pulsar potrafią utrzymać precyzję dorównującą zegarom atomowym na Ziemi.

Tak więc było bardzo dużym zaskoczeniem, gdy na początku 1990 roku odebrano w Arecibo sygnały radiowe zawierające sygnaturę gwiazdy neutronowej dokonującej 167 obrotów w jednej sekundzie... i coś jeszcze, tajemniczą, drobną nieregularność w rejestrowanych impulsach, której nijak nie można było wyjaśnić. Jeden z najdokładniejszych zegarów Natury zdawał się szwankować.

Przez następne dwa lata w obserwatorium prowadzono nasłuch tego obiektu. W miarę jak rósł zasób danych, astronomowie dostrzegli, że dziwna nieregularność powtarza się cyklicznie, raz za razem w tej samej postaci, a pełny cykl trwa kilka miesięcy. Jedyнным wytłumaczeniem, które miało sens, było to, że coś ciągnęło pulsar, wymuszało ruch po ciasnej orbicie wokół grawitacyjnego punktu równowagi w układzie. Z tym że punkt równowagi nie był wynikiem

obecności tylko jednego ciała w pobliżu gwiazdy, ale wielu ciał, niedużych ciał... o rozmiarach planet.

Był styczeń 1992 roku, gdy astronomowie Aleksander Wolszczan i Dale Frail opublikowali swoje odkrycie w piśmie „Nature”⁹⁰. Dokonali czegoś, co było marzeniem wielu. W danych obserwacyjnych tego odległego pulsara znaleźli przekonujące dowody istnienia pierwszego układu egzoplanetarnego, pierwszego poznanego zestawu innych światów w naszej Galaktyce.

Dzisiaj, po przeprowadzeniu znacznie większej liczby obserwacji tego układu, wiemy, że wokół pulsara krążą co najmniej trzy ciała o rozmiarach typowych dla planet⁹¹. Dwa z nich mają masę w przybliżeniu czterokrotnie większą od masy Ziemi i znajdują się w odległości 55 milionów i 70 milionów kilometrów od pulsara, czyli pierwsza z nich porusza się bliżej niż średnia odległość Merkurego od Słońca. Trzecia jest malutka, jej masa wynosi zaledwie 2 procent masy Ziemi i jest porównywalna z masą Księżyca. Ten miniaturowy okruch planetarny krąży jeszcze bliżej pulsara.



*Artystyczna wizja planet krążących wokół pulsara znanego jako PSR B1257+12.
(NASA/JPL-Caltech/R. Hurt [SSC])*

Suche fakty i liczby słabo sprawdzają się w roli materiału wpływającego na wyobraźnię, toteż spróbuję naświetlić sprawę w inny sposób. Układ ten jest tak osobliwy, tak zupełnie inny od naszego, że w jednej chwili zadaje kłam wszelkim domysłom, które formułowano na podstawie tego, co wydawało nam się, że wiemy.

Tutaj planety nie towarzyszą normalnej gwiazdzie. Zamiast tego wszystko, co im zostało, to trujące resztki gwiazdy, przerażającej matki, której kurczowo trzymają się w ciasnym orbitalnym tańcu. Wirujący pulsar zalewa swoje środowisko złowrogim i niszczyielskim promieniowaniem, ogrzewa powierzchnie planet stalowym blaskiem. Kiedy ich rodowa gwiazda umierała miliard lat wcześniej, stało się to w gigantycznym wybuchu supernowej, doszczętnie niszcząc wszelkie inne globy, jakie mogły wówczas w jej otoczeniu istnieć. Dziwne planety, które dostrzegliśmy, są upiornymi śladami po czymś, co niegdyś w tym zakątku przestrzeni istniało: pozostałościami po epoce wielkiego zniszczenia, globami zlepionymi od nowa z pyłu, zagęszczonymi w twardym uścisku grawitacji, która odbudowała je z odpadów, podrobionymi światłami, które nigdy nie będą grzać się w blasku normalnego słońca.

Nie byliśmy na to przygotowani. Oto po raz pierwszy udało nam się dostrzec ciała należące do innego układu planetarnego i naszym oczom ukazał się świat wyjęty z astrofizycznej księgi zmarłych. Jednak był tam i jednoznacznie swym istnieniem dowodził, że poza granicami Układu Słonecznego znajdują się ciała niebieskie należące do kategorii planet. Odkrycie tego miejsca w kosmosie miało jeszcze jeden skutek – łagodziło szok, jaki mógł się wiązać z kolejną niespodzianką.

Trzy lata później, w 1995 roku, astronomowie ogłosili⁹², że bez żadnej wątpliwości odkryli pierwszą planetę krążącą wokół normalnej, podobnej do Słońca gwiazdy, w układzie oddalonym od nas tylko o 50 lat świetlnych. Był to kolejny zwrotny punkt w historii nauki: wreszcie otrzymaliśmy potwierdzenie, iż inne gwiazdy należące do tego samego typu co nasze Słońce mogą w swym otoczeniu skrywać planety. Może tak naprawdę nigdy w to nie wątpiliśmy, ale do tej pory nie mieliśmy dowodów na potwierdzenie tych domysłów.

Podobnie jak w wypadku pulsara, tę planetę również zauważono dzięki wpływowi, jaki wywiera na rodzimą gwiazdę, wymuszając na niej ruch po własnej, niedużej orbicie wokół punktu równowagi między dwoma oddziałującymi ciałami. Właśnie takie zachowanie gwiazd i planet opisał niemal czterysta lat wcześniej Izaak Newton, jako bezpośredni wniosek ze sformułowanej przezeń teorii grawitacji. Owo kolebanie gwiazdy można dostrzec w zmianach częstotliwości światła docierającego do nas z obserwowanego układu. Był w tym jednak pewien haczyk

Nowo odkryta planeta zataczała pełny obrót wokół gwiazdy w ciągu nieco ponad czterech ziemskich dni. Znajdowała się zaledwie 8 milionów kilometrów od macierzystej gwiazdy, dużo bliżej niż Merkury, gdy poruszając się po swej mocno spłaszczonej orbicie, dociera do punktu położonego najbliżej Słońca – w bezpiecznej odległości 45 milionów kilometrów. Jakby tego było mało, planeta nie była jakimś tam skarlałym kawałkiem gorącej skały, ale miała gigantyczną masę, ponad 150 razy większą od masy Ziemi.

Bez dużego ryzyka można wygłosić tezę, że żaden naukowiec ani filozof przyrody, w całej liczącej ponad dwa i pół tysiąca lat udokumentowanej historii rozważań na ten temat, nigdy nie poświęcił choćby paru chwil na roztrząsanie możliwości istnienia takiego układu ciał niebieskich. Faktycznie, teoria formowania planet nie dawała choćby cienia szans na to, aby tak masywna planeta mogła istnieć w tak małej odległości od macierzystej gwiazdy. Tak wielki glob zwyczajnie nie mógł uformować się nigdzie indziej, tylko w głębszych partiach układu, gdzie kombinacja dynamiki ruchu orbitalnego i niższej temperatury pozwalała ukształtować planetę tego typu.

Tylko nieliczni naukowcy (w tym astrofizycy Peter Goldreich i Scott Tremaine⁹³, którzy piętnaście lat wcześniej badali modele „migracji” planet w dysku protoplanetarnym w kierunku centralnej gwiazdy) w ogóle dopuszczali myśl o tym, że planeta może znaleźć się w tak nieoczekiwanym miejscu. Zatem podczas gdy odkrycie to było triumfem astronomów, którzy zawzięcie dążyli do prowadzenia tak trudnych pomiarów, jednocześnie należało je uznać za niesamowicie zagadkowe.

Niespodzianki nie skończyły się na tych pierwszych odkryciach. Przekonujemy się, że różnorodność egzoplanet jest wprost zdumiewająca – najwyraźniej nie zamierzają podporządkowywać się naszym wyobrażeniom o tym, jak powinien wyglądać układ planetarny. Owszem, można było oczekiwać, że te obce światy będą trochę inne, nie do końca identyczne z naszym, ale w najśmielszych snach nie przeczuwaliśmy, jak bardzo mogą być różne. W zasadzie nie ma dwóch jednakowych, wszelkie kombinacje i odmiany są możliwe. Rzucają one tym samym całkiem nowe światło na kluczowe kwestie związane ze znaczeniem naszej własnej planety, gdy spojrzeć na nią z kosmicznej perspektywy. Oszałamiający asortyment światów sprzyja narodzinom nowej dziedziny nauki, planetologii porównawczej, której zadaniem jest klasyfikowanie i grupowanie gatunków, a także badanie czynników mających wpływ na to, co sobą reprezentują.

* * *

Zapraszam więc do ligi niezwykłych światów. W żadnym razie nie jest to ekskluzywny klub, ponieważ niemal gdziekolwiek się spojrzy, napotka się jego członków. Zakłóca to jednak nasze cokolwiek żalosne, zaściankowe poglądy na Wszechświat.

Większość treści zawartych na kolejnych stronach książki opiera się na uzasadnionych domniemaniach, jednak zaczęliśmy już testować i weryfikować wiele z tych przypuszczeń, do czego przyczyniają się nowe obserwacje teleskopowe i sprytne techniki obróbki sygnału, dzięki którym zostają ujawnione informacje o rozmiarach planet, ich temperaturze, a nawet składzie chemicznym. Wejście i rozejrzyjcie się po klubowym holu, olśniewającym imponującymi ornamentami na misternie wykonanych meblach i portretami członków z królewskim wdziękiem.

Tam w rogu, przy kominku, kłębią się wielkie planety krążące niebezpiecznie blisko ich macierzystych gwiazd. Są to przedstawicieli rodzaju planet, które pierwsze wykryliśmy

w pobliżu normalnych gwiazd. Obecnie zdążyły już zyskać nieoficjalną nazwę – określa się je jako „gorące Jowisze” (choć często podobieństwo do tego znajomego gazowego olbrzyma jest tylko bardzo powierzchowne).

Nie powinno ich być tam, gdzie są, ale nie da się zaprzeczyć ich puszystej, a czasem kwitnącej obecności. Możliwe, że niektóre z nich przesunęły się w miejsce, w którym je znajdujemy, rozpychając się w wielkim dysku materii otaczającym formujący się układ planetarny, przeciskając się do pierwszego rzędu. Może zostały tam ściągnięte oddziaływaniem grawitacyjnym, gdy znalazły się zbyt blisko innych globów, z którymi wspólnie wykonywały nieprzemysłany taniec, kończący się tym, że stają twarzą w twarz z ich gniewnymi słońcami.

Niektóre z tych gigantycznych światów krążą tak blisko gwiazdy, że jeden pełny obrót trwa zaledwie dwadzieścia cztery ziemskie godziny⁹⁴, a ich dzienna strona rozgrzewa się do temperatur wyższych niż 1000 stopni. Wiele z nich znalazło się pod działaniem tak dużych sił pływowych, że na ich powierzchni nie ma normalnych dni i nocy. Zostały na stałe zablokowane w takiej pozycji, że ich dzienna strona zawsze jest oświetlona przez gwiazdę, podczas gdy druga – nieustannie pograżona w mroku, a temperatura spada tam do poziomu temperatur notowanych w próżni kosmicznej.

Te dziwne warunki przyczyniają się do powstania przerażającego klimatu⁹⁵ na tych gigantycznych światach. Rozżarzona strona dzienna napędza ruch warstw atmosfery planety, które wpadają na ciemną stronę i gnają wzdłuż całego obwodu planety z prędkościami ponaddźwiękowymi – w atmosferze powstają potężne, ścierające się ze sobą prądy strumieniowe i fale uderzeniowe. Pod gazową atmosferą nie ma gór i kontynentów, wichry bez przerwy ścigają się same ze sobą.

Wysokie temperatury na tych światach skutkują zaistnieniem najróżniejszych procesów chemicznych i składów atmosfery⁹⁶, dla których trudno znaleźć odpowiednik w Układzie Słonecznym. W atmosferach tych planet, w poszczególnych ich warstwach i strukturach, znajdujemy tlenek węgla, tlenek wanadu i tlenek tytanu. Rozgrzane chmury przenoszą atomy pierwiastków ciężkich, nie są złożone z wody lub amoniaku, lecz krzemianów i żelaza. Nie sposób ujrzeć tam oczami wyobraźni puszyste zwierzątka w letni dzień. Prędzej senny koszar o przeprawie do Hadesu.

Gorące Jowisze wcale nie są dla swych gwiazdnych rodziców miłe. Ich grawitacyjne oddziaływanie potrafi wzbudzać fale i pływy w atmosferze macierzystej gwiazdy, a potężne pole magnetyczne – bezpośrednio oddziaływać z jej polem magnetycznym. I tym sposobem gwiazda przestaje być odporna na to, co dzieje się w jej otoczeniu. Wpływ planet na nią będzie większy niż jej działanie na planety. Sporadycznie atmosfera gwiazdy rozbłyśnie i rozjaśnia się, jakby była to oznaka rozdrażnienia obecnością gorącego Jowisza, kręcącego się wokół niej niczym natrętny owad.

Żebyś jednak sobie nie myślał, że wszystkie te planety to zadowolone z siebie giganty, siedzące wygodnie w fotelach ustawionych przed trzaskającym kominkiem, weź pod uwagę, że niektóre z nich są skazane na zagładę. Mogą się zasiedzieć w gościnie. Grawitacyjne pływy będą stopniowo zniekształcać ich orbitę, aż planety zaczną spiralnym torem spadać na gwiazdę. Proces ten może trwać kilkadziesiąt milionów lat, lecz nieuchronnie kończy się tym, że albo planeta znajdzie się pod powierzchnią gwiazdy, albo zostanie rozerwana przez siły pływowe na drobne

kawałki, z których wokół gwiazdy utworzy się krótkotrwały pierścień odłamków.

Niektóre z tych gigantycznych światów ściągają na siebie taki los z jeszcze bardziej perwersyjnych powodów. Podczas gdy wszystkie planety w Układzie Słonecznym naśladują w swym ruchu orbitalnym obrót Słońca – przyjmijmy, że wszystkie obracają się zgodnie z ruchem wskazówek zegara – to mniej więcej jeden na pięć gorących Jowiszów robi coś odwrotnego. Ruch orbitalny tych planetarnych renegatów odbywa się przeciwnie do kierunku obrotu macierzystej gwiazdy, inaczej mówiąc, wykonują ruch wsteczny⁹⁷. Jest to bardzo ryzykowna sytuacja, ich orbity bowiem nieuchronnie będą ulegać odkształceniu, aż planeta spiralnym torem podąży ku przerażającemu przeznaczeniu.

Ten niefortunny ruch orbitalny uprawia w zakłopotanie. O ile wiemy, pierwsze stadia procesu formowania gwiazd i ich planet przebiegają w taki sposób, że tworzące się ciała niebieskie wirują wokół własnej osi i poruszają się po orbicie w tym samym kierunku. Jakikolwiek inne rozwiązanie szybko prowadziłyby do katastrofy. Jest mało prawdopodobne, aby planety mogły uformować się z dysku, który porusza się w przeciwnym kierunku. Skąd więc biorą się egzoplanety obiegające swe gwiazdy ruchem wstecznym?

Jak wobec wielu członków tej ligi, mamy pewne przypuszczenia, ale zwyczajnie nie jesteśmy pewni. Możliwe, że planety te uformowały się w znacznie większej odległości od macierzystej gwiazdy, uzyskując właściwy kierunek obrotu, jednak w wyniku oddziaływania grawitacyjnego z innymi planetami ich orbity okazały się mocno spłaszczone, skrajnie eliptyczne. Orbity tego typu mogą mocno odchyłać się od płaszczyzny układu, a kąt odchylenia może stale rosnąć, aż w pewnym momencie płaszczyzna orbity dosłownie przewróci się na drugą stronę – jak wirująca obręcz, która może upaść na jedną lub drugą stronę – i planety zaczynają się poruszać ruchem wstecznym. Ostatecznie grawitacyjne siły pływowe, których źródłem jest gwiazda, wygładzają orbity planet do niemal kołowych, ściągając przy tym swój przychówek w bliskie sąsiedztwo, gdzie je znajdujemy.

Tak różnorodne doświadczenia życiowe obdarowują gorące Jowisze dość interesującymi i niejednorodnymi własnościami. Niektóre z nich stają się wyjątkowo nabrznięte, ich średnica przekracza wszelkie wyobrażenia, przez co gęstość osiąga bardzo niskie wartości. Średnia gęstość kilku z tych gigantycznych światów jest mniejsza od gęstości ciekłej wody. Inne, wskutek bliskości źródła energii w trakcie całej historii ich formowania, przeszły szereg przemian strukturalnych i zmian składu chemicznego.

Najsilniej zaznacza się to w ich powierzchni, czyli zewnętrznych warstwach atmosfery. W tym ekstremalnym środowisku dominujące związki chemiczne są niemal nierozpoznawalne, jeśli porównać je z uspokajająco chłodnymi, lecz zabójczo żrącymi smugami skryzalizowanego amoniaku i metanu, które można znaleźć na Jowiszu i Saturnie. W skrajnych wypadkach temperatury są wystarczająco wysokie, aby nawet atomy żelaza odgrywały rolę podobną do tej, jaka w chłodniejszym środowisku przypada kropelkom wody – formują się z nich chmury, w których dochodzi do kondensacji i wytworzenia ciężkich, metalicznych kropel deszczu.

W atmosferze niektórych gorących Jowiszów znajduje się wyjątkowo dużo węgla, co może stanowić wskazówkę, iż głębiej w ich wnętrzu mogą się kryć zasoby węgla, jakich nigdzie dotąd nie napotkaliśmy. W jądrach tych gigantycznych planet mogą powstawać ogromne pokłady diamentów. Ich występowanie jest też wskazówką, iż możliwe jest, aby istniały planety

o skromniejszych rozmiarach, które będą zawierały więcej węgla niż krzemu. Taka ewentualność jest prawdopodobna, ale jak dotąd nie znamy ani jednego przedstawiciela tego typu.

Substancje takie jak opary tlenków tytanu i wanadu, występujące w tych warunkach, mogą znajdować się w najwyższych partiach atmosfery i sprawiać niekiedy, że atmosfera będzie pochłaniać niemal całość padającego na nią światła. Są światy pochłaniające promieniowanie w większym stopniu niż najciemniejszy węgiel lub antracyt. Planety czarne jak smoła⁹⁸. Zalewające je światło jest jednak tak jasne, tak intensywne, że ludzkie oko wciąż dostrzeżałoby lekką poświatę – planety te przypominająby niedoskonałego kameleona, usiłującego się wtopić w atramentowy mrok kosmosu.

Gorące Jowisze naprawdę są klasą same dla siebie. Jednak obok nich, po tej samej stronie, zasiada inna grupa, doborowa ekipa śmiałków i kandydatów marzących o przejściu do tej elity. Planety te, szukając dla nich bardziej oficjalnej nazwy, będę określał mianem „światów Icara”⁹⁹. W przeciwieństwie do gorących Jowiszów, poruszają się one po dużych orbitach i potrzebują wielu miesięcy, aby wykonać pełne okrążenie. Ich orbity nie są okręgami, w zasadzie ich kształt plasuje się na przeciwnym skraju parametrów: są to mocno spłaszczone elipsy, których jeden koniec znajduje się dziesiątki milionów kilometrów od macierzystej gwiazdy, a drugi na wyciągnięciu ręki od gwieźdnego paleniska.

W trakcie ruchu orbitalnego do niektórych z tych światów Icara może w najkorzystniejszym położeniu docierać od rodzimej gwiazdy nawet osiemset razy więcej ciepła. W punkcie orbity, gdzie poruszają się najwolniej, czyli gdy znajdują się najdalej od gwiazdy, warunki są umiarkowane. Kiedy jednak zbliżają się do niej i przechodzą przez punkt położony w najmniejszej odległości, w ciągu zaledwie kilku godzin temperatura na ich powierzchni wzrasta o mniej więcej 700 stopni.

Za każdym razem, gdy zbliżają się do macierzystej gwiazdy, grawitacyjne siły pływowe odbierają tym planetom niewielką część ich pędu. Po upływie wielu milionów lat przestaną się poruszać po swych absurdalnych orbitach – które najprawdopodobniej były wynikiem wcześniejszej bezroskiej zabawy z innymi planetami w grawitacyjny bilard – i stopniowo dostosują trajektorie ruchu do tych, jakie charakteryzują gorące Jowisze. Ostatecznie może nawet dołączyć do tej grupy, wślizgując się na wygodne fotele przed kominkiem, co jednak może być równoznaczne ze ściągnięciem na siebie zagłady w rozpalonych trzewiach gwiazdy.

Niebezpiecznie blisko gwiazd krążą nie tylko planety o gigantycznych rozmiarach. W odległości kilkudziesięciu miliardów kilometrów od rodzimej gwiazdy paradują też planety zbudowane ze skał i metali. Powierzchnia niektórych z nich, o masie kilka razy większej od Ziemi i prawdopodobnie gęstszych, rozgrzewa się do temperatur znacznie przekraczających granicę, powyżej której wszystkie znane rodzaje skał znajdują się w stanie ciekłym.

Bez ochronnej powłoki, jaką dla gazowych gigantów stanowi atmosfera, zewnętrzne warstwy tych planet stają się oceanem lawy, wieczystym piekłem. Nawet związki chemiczne metali, takich jak tlenek glinu, znajdują się w stanie wrzenia, ulatniają się z powierzchni, aby ulec kondensacji do postaci chmur cząstek, które mogą być rozwiewane przez wiatr słoneczny i tworzyć wielki pióropusz skażenia, niczym spaliny wydobywające się z kosmicznej huty¹⁰⁰.

Możliwe, że światy te przypominają dawniej Neptuna z naszego Układu Słonecznego, planetę okrytą grubą pierzyną pierwotnych gazów i lodu. Niewykluczone, że ich obecne orbity są

wynikiem procesu migracji, w trakcie którego ochronne płaszcze atmosfer uległy erozji i zostały rozwiane. Jest też możliwe, że zawsze były prostymi zlepkami skał i metali, miały tylko pecha, że coś pchnęło je na takie tory i znalazły się w tych okropnych warunkach.

Tak więc w tym kącie egzoplanetarnego holu, usadzone przy kominku, znajdują się bardzo różne światy. Jednak zaledwie kilka kroków dalej można napotkać jeszcze większą różnorodność obiektów i zdumiewająco obcych układów. Tutaj, na przykład, w kolejnym rzędzie krzesel zasiada grupa dziewięciu dużych planet okrążających jedną gwiazdę¹⁰¹.

Na pierwszy rzut oka może nie wydawać się to niczym niezwykłym – przecież wokół Słońca krąży osiem dużych planet, a do tego liczne obiekty transneptunowe, takie jak Pluton. Liczba dziewięć z pewnością nie robi wielkiego wrażenia. Cóż, może nie robi, ale w tym wypadku wszyscy te dziewięć planet okrąża swoją gwiazdę (która, tak się składa, ma niemal identyczną masę jak Słońce, jest też w tym samym wieku) w takich odległościach, że w naszym Układzie Słonecznym wszystkie zmieściłyby się wewnątrz orbity Jowisza.

Z wyjątkiem dwóch światów, które mają masę nieco większą od Ziemi, reszta jest bardzo duża i masywna: dziesięć, dwadzieścia, a nawet sześćdziesiąt razy masywniejsze od naszego małego domu w kosmosie. Choć wydaje się, że cała gromadka jest upchnięta w szalenie ciasny układ planetarny, wciąż jest tam miejsce na jeszcze więcej ciał. W takich punktach można odnieść wrażenie, iż proces formowania planet wyrwał się spod kontroli i powstała jedna planeta za drugą, a mimo to jakoś udało się uniknąć niecznych skutków oddziaływań grawitacyjnych między nimi. Chciałoby się podejść do nich w klubowym holu i powiedzieć: „Dobra robota, znakomita robota!”.

Jedno powinno być do tej pory jasne: układy planetarne, jak też same planety, przejawiają ogromną różnorodność. Różnorodność ta, sama w sobie, jest fascynująca, ale rodzi poważne pytania, dotyczące miary, jaką przykładamy do naszej kosmicznej przeciętności, naszej pospolitości. Nie jesteśmy już jedynym układem planetarnym w kosmosie, co gorsza, wiele z tych nowych światów w rażący sposób stanowi obrazę dla naszego pojęcia o tym, co jest normalne.

W niektórych układach specyficzne są orbity planet. Dynamika oddziaływań grawitacyjnych w taki sposób wpłynęła na ruch tych obiektów, że okresy obiegu wokół gwiazdy, czyli planetarne lata, zostały zsynchronizowane według prostych stosunków liczbowych. Na przykład planeta położona bliżej dokonuje dwóch obiegów centralnej gwiazdy w takim samym czasie, ile trwa okres obiegu planety położonej dalej. Zupełnie jakby ruchy planet stanowiły część dobrze dostrojonego instrumentu, w którym ton obrotu planet podnosi się w idealnej harmonii.

Zjawisko to znane jest jako rezonans. Ruchy orbitalne zostały podporządkowane takiemu rytmowi, ponieważ planety systematycznie osiągają ten sam punkt w przestrzeni po upływie takiego samego czasu. To pociąga za sobą fakt, że ciała stale oddziałują na siebie wzajemnie siłami grawitacyjnymi zgodnie z pewnym schematem, podtrzymując synchronizację. Orbity planet musiały w tych układach ulegać powolnym zmianom w czasach, gdy układ się formował i podlegał ewolucji, aż zostały zablokowane w tym stanie, usidłone przez wzajemne oddziaływania grawitacyjne i niezdolne do wyrwania się z pułapki.

Choć w naszym własnym Układzie Słonecznym istnieje wiele przykładów takiego orbitalnego

rezonansu, to jednak ograniczają się one niemal wyłącznie do ruchu mniejszych planet i księżyców. Nasze większe planety nie przejawiają rezonansu ruchu orbitalnego, który dokładnie odpowiadałby temu, co obserwujemy w układach egzoplanetarnych. Na przykład nieduża planeta karłowata Pluton i olbrzymi Jowisz współdzielą rezonans orbitalny, który polega na tym, że na każde dwa lata Plutona przypada trzy lata Neptuna. Charakterystyczny wzorzec rezonansu przejawia kilka księżyców krążących wokół dużych planet. Satelity Jowisza Io, Europa i Ganimedes okrążają planetę według schematu 4:2:1 liczby pełnych okrążeń wykonanych w danym przedziale czasu. Żadna z naszych dużych planet nie przejawia takiego zachowania względem innej planety, przynajmniej obecnie, istnieją bowiem dowody przemawiające za tym, że jakieś 4 miliardy lat temu Jowisz i Saturn tańczyły to swoiste tango w rytmie jeden-dwa.

Mając na uwadze to, że taki rezonans jest umiarkowanie wyjątkową okolicznością, obserwujemy go w naszej Galaktyce zaskakująco często. Jest jednak jeszcze inna cecha orbit wielu planet, którą absolutnie należy w tym miejscu omówić, ponieważ jest nadzwyczaj powszechna i sprawia, że sytuacja wygląda zupełnie inaczej niż w Układzie Słonecznym.

Otóż odkryliśmy, że większość członków ligi egzoplanet nie porusza się po okręgach, lecz po torach powabnie eliptycznych. Są to te same eliptyczne tory, które Johannes Kepler odkrył jako rozwiązanie nieregularności w ruchach planet naszego Układu Słonecznego, oraz te same kształty toru ruchu, które stanowiły oczywiste rozwiązanie praw grawitacji Izaaka Newtona. Z tym że orbita Ziemi jest bardzo łagodnie eliptyczna, odbiega od idealnego okręgu tylko o kilka punktów procentowych. Tak naprawdę orbita żadnej z dużych planet w Układzie Słonecznym nie odbiega od okręgu o więcej niż 10 punktów procentowych, z wyjątkiem Merkurego, dla którego wartość ta sięga 20.

Przez kontrast, przeglądając członków ligi egzoplanet, przekonujemy się, że 80 procent z nich ma orbity charakteryzujące się ekscentrycznością większą niż 10 procent. Właściwie ponad 25 procent wszystkich planet porusza się po orbitach o ekscentryczności przekraczającej 50 procent. Innymi słowy, jeśli chcielibyśmy znaleźć miejsce Układu Słonecznego w holu klubu planet, musielibyśmy się mocno natrudzić, wypatrując cichych kątów zostawionych dla takich jak my. Ze względu na tak stosunkowo koliste i dość duże orbity Układ Słoneczny lokuje się w dolnej ćwiartce tabeli światów klasyfikowanych ze względu na ekscentryczność ruchu. Jest to ewidentnie coś niezwykłego.

Eliptyczność architektury orbitalnej wskazuje na kilka niuansów o decydującym znaczeniu. Przede wszystkim sugeruje, że większość układów planetarnych, może ponad 70 procent, zaliczyła epizody, które określa się mianem aktywności dynamicznej. Oznacza to, że planety najprawdopodobniej były w przeszłości ustawione inaczej, czasami przechodziły bliżej siebie i silniej oddziaływały grawitacyjnie. Z czasem sytuacje tego typu mogą wywoływać określone zmiany, a nawet zakłócenia – planety ciskane są po całym układzie, nieraz zmieniają położenie, nieraz się gubią. Wróć do tej niezwyklej cechy charakterystycznej nieco później, gdy zajmiemy się ewolucją orbit planetarnych i tym, jaki jest ich związek z kopernikańską wizją przeciętności, jednak wskazuje to na fakt, iż większość układów miała znacznie bardziej burzliwą historię niż Układ Słoneczny.

Inny aspekt eliptycznych orbit, istotny w kontekście zadania, którym jest ocena naszego kosmicznego statusu, ma związek z klimatem. Wiele ewentualnych kuzynek Ziemi narażonych jest na dużo poważniejsze zmiany ilości ciepła otrzymanego od rodzimej gwiazdy w ciągu ich

jednego roku. Czynniki ten ma decydujące znaczenie dla kształtowania środowiska na powierzchni tych planet, można więc mu przypisać najwyższą rangę.

Kształt orbity jest tylko jedną z wielu cech wyróżniających, różnorodność członków ligi planet nie kończy się na tym. Wiele, bardzo wiele układów zawiera liczne przykłady innych typów planet, jakich w otoczeniu Słońca w ogóle nie ma. Są światy, których rozmiary mieszczą się w przedziale od masy nieco większej niż masa Ziemi do masy pięciokrotnie, a nawet dziesięciokrotnie większej.

Są to super-Ziemie¹⁰², z których najmniejsze mogą uchodzić za nieco podobne do naszej planety – choć wcale nie muszą być takie „jak Ziemia”, o czym opowiem nieco później. W zasadzie większe warianty tego typu mogą różnić się od Ziemi bardzo mocno. Wiele z nich ma, jak się zdaje, ogromne atmosfery, prawdopodobnie zawierające duże ilości wodoru. Niektóre z tych opasłych obiektów być może mają imponujące zasoby wody. Może ona być w stanie stałym. Może też tworzyć globalny ocean, którego głębia przekracza wszelkie wyobrażenia – dziesiątki, nawet setki kilometrów – a ciśnienie i temperatura osiągają wartości, przy których fizyczne i chemiczne właściwości wody nie przypominają niczego, co znamy na Ziemi.

Inne mogą mieć skromne zasoby wody albo być jej pozbawione. Na wielu z nich aktywność wulkaniczna powinna mieć charakter stały. Mimo destrukcyjnego środowiska na powierzchni w kategoriach chemii miejsca te są urodzajne. Niczym taśmociąg w fabryce, nieustannie wypiętrzające się gorące skały stale odświeżają swój skład chemiczny, nasączając kontynenty bogatą potrawką wysoce reaktywnych związków chemicznych. Pokaźne rozmiary tych planet oznaczają również, że długość ich geofizycznego życia jest bardzo duża, a zimne powierzchnie mają mniejszy udział procentowy w ogólnej objętości. Miliardy lat tłumionej aktywności sprawią, że będą wyglądały młodo znacznie dłużej od ich drobniejszych kuzynów o rozmiarach Ziemi.

Tę strefę ligi planet, środkową część holu, zajmuje ogromna rzesza członków. Grupa, do której należą super-Ziemie, wraz z nieco większymi światami podobnymi do Neptuna, a także z mniejszymi obiektami o rozmiarach Ziemi, jest tak liczna, że jej członkowie siedzą niemal jeden na drugim. Obecnie prowadzone badania sugerują, iż w preferowanej przez członków tej grupy konfiguracji zajmują oni miejsca na bardzo ciasnych orbitach, gdzie do okrążenia gwiazdy potrzeba zaledwie kilku dni lub tygodni. W zasadzie wydaje się, że tak właśnie może wyglądać domyślny produkt formacji planet w Drozdzie Mlecznej. Pozyskiwane dane właściwie wskazują na to, że liczba ciał niebieskich tego typu z łatwością może przewyższyć liczbę gwiazd w naszej Galaktyce... takich planet mogą być setki miliardów¹⁰³.

I tu napotykałyśmy kolejną niespodziankę, jednoznaczną wskazówkę, nakazującą zrewidować prekoncepcje na temat naszego zwyczajnego Słońca i naszego Układu Słonecznego, podającą w wątpliwość część tez zawartych w zasadzie kopernikańskiej: większość tych planet krąży wokół gwiazd, które są mniejsze i ciemniejsze od Słońca, ponieważ większość gwiazd we Wszechświecie jest mniejsza i ciemniejsza od Słońca.

Po przeprowadzeniu „spisu ludności” Galaktyki okazuje się, że 75 procent wszystkich gwiazd ma masę mniejszą niż połowa masy Słońca, a ich jasność nie przekracza kilku procent jasności naszej gwiazdy. Najmniejsze, o masie równej jednej setnej masy Słońca, mają jasność sięgającą ledwie jednej tysięcznej jasności Słońca¹⁰⁴. Są to rozsypane po całym kosmosie

blade, czerwone kulki wodoru i węgla.

Większość naszych gwiazdnych sąsiadek stanowią właśnie takie obiekty. W promieniu 20 lat świetlnych od Słońca znajduje się osiem gwiazd takich jak ono lub trochę większych, ale aż 101 gwiazd mniejszych. Nawet słynny układ Alfry Centauri składa się z trzech gwiazd, z których dwie są mniej więcej rozmiarów Słońca, ale trzecia – Proxima Centauri – ma zaledwie 13 procent jego masy, a jej jasność to mniej niż 0,2 procent jasności naszej gwiazdy.

Wszystkie gwiazdy tego typu świecą tak słabo, że nieuzbrojonym okiem nigdy nie zobaczymy żadnej z nich. Stają się widoczne dopiero dzięki teleskopom, których układy optyczne zbierają światło. Zanim jednak machniesz na nie lekceważąco, uważając je za podrzędny gatunek, ot, obłoki małych komarów w przestrzeni międzygwiazdnej, pomyśl tylko: gwiazdy te nie tylko mają w swym otoczeniu większość planet z całej Galaktyki, co więcej, są one także najbardziej długowiecznymi ciałami niebieskimi.

Niższe temperatury we wnętrzu, w połączeniu z turbulentnymi przepływami wielkich ilości gazu, które zapewniają recykling materii, skutkują w tych gwiazdach tym, że spalają one swoje paliwo wodorowe niezwykle powoli i robią to w zdumiewająco kompletny sposób. Gwiazda taka jak Słońce przez jakieś 10 miliardów lat zachodzących nieustannie reakcji syntezy jądrowej nigdy nie zużyje więcej niż 8 procent zasobów wodoru, zanim osiągnie szybko postępujący etap schyłkowy. Natomiast znacznie mniejsza gwiazda może przetworzyć nawet 98 procent swoich zasobów wodoru i zajmie jej to ponad *bilion* lat¹⁰⁵.

Wszystko to oznacza, że rozglądając się po członkach ligi niezwyklej planet, szybko przekonujemy się, iż przytłaczająca większość z nich znajduje się w układach gwiazd świecących słabym blaskiem, lecz niestrudzenie wypromieniowujących energię, w której ich małe, skaliste i lodowe potomstwo może ogrzewać się przez czas stokrotnie dłuższy, niż można tego oczekiwać od Słońca. Wydaje mi się, że rozsądnie można założyć, iż zewnętrzny obserwator Drogi Mlecznej, uzbrojony w instrumenty do prowadzenia obserwacji astronomicznych, dokonawszy przeglądu naszego królestwa, szybko doszedłby do wniosku, że hierarchia ważności gwiazd mających planety jest następująca: małe rozstawiają wszystkich po kątach, większe są rzadkością.

Teraz przejdźmy do najzimniejszego krańca holu klubu planet, gdzie znajdują się rządy foteli ledwie widocznych w mroku. Wydaje się, że są równie szczelnie wypełnione, jak inne miejsca. W mrocznych zagłębieniach foteli tkwią najbardziej tajemniczy członkowie klubu – światy międzygwiazdne, samotnicy, wolni strzelcy. Planety te *nie mają* gwiazdy, którą mogłyby okrążyć. Dryfują w otwartej przestrzeni kosmicznej.

Czasami ujawniają swoje istnienie za sprawą efektu, jaki wywierają na światło biegnące z odległych gwiazd. Ich masa działa na czasoprzestrzeń jak zniekształcająca soczewka, na krótko wznacniają i zmieniając bieg promieni światła wokół ich zimnych i ciemnych brzegów. Prawdopodobnie osierocone w wyniku brutalnych oddziaływań grawitacyjnych zachodzących w jakichś młodych układach planetarnych, obiekty te zostały wyrzucone, wystrzelone z ich gniazd w otoczeniu gwiazd i wysłane na tułaczkę po Galaktyce.

Istnieją dowody na to, że liczba tych wędrujących planet jest niezwykle duża – możliwe, że

jest ich tyle, ile gwiazd w Drodze Mlecznej¹⁰⁶. Ich istnienie w znaczący sposób zaburza równowagę obiektów astrofizycznych w kosmosie, odbierając palmę pierwszeństwa wielkim strukturom i przechylając szalę na korzyść małych kondensacji materii planetarnej, wytworzonych w gwałtownym ruchu obrotowym wokół miejsca narodzin gwiazdy. Znowu, nie spodziewaliśmy się, że różnorodność i liczebność może być tak wielka.

Podsumowując, w holu tego klubu znajdujemy zdumiewająco szeroki dobór członków, a w miarę jak rozglądamy się uważniej, dostrzegamy coraz to więcej typów. Prawda jest taka, że skupiając się tylko na wybranych gatunkach, o których na obecną chwilę wiemy najwięcej, zaledwie prześliznąłem się po powierzchni tematu.

Na przykład są również planety w układach z więcej niż jedną gwiazdą. To dopiero coś odmiennego! Dwa bliźniacze słońca, czasem nawet więcej¹⁰⁷. Często są to miejsca, w których gwiazdy okrążają centrum układu w znacznych odległościach. W takich układach planety mogą się bezpiecznie uformować i obiegać jedną z dwóch gwiazd, unikając przesadnie silnych zakłóceń spowodowanych oddziaływaniem grawitacyjnym gwiazdnej siostry bliźniaczki. Są jednak również miejsca, gdzie planety okrążają oba słońca, parę gwiazd, znajdującą się w centrum układu planetarnego. Te ciała niebieskie razem wschodzą i zachodzą na niebie tych odległych światów, czasem wzajemnie się zaćmiewają, czasem świecą obok siebie, a wszystko to w ciągu jednego dnia.

Astronomowie odkrywają obecnie, że musi również istnieć szerokie spektrum możliwych konfiguracji składu chemicznego planet i panujących na nich warunków. Światy otulone grubym płaszczem atmosfery zawierającej parę wodną lub cząsteczkowy wodór, planety oceaniczne¹⁰⁸, całkowicie pozbawione kontynentów, światy węglowe, charakteryzujące się oryginalną geofizyką, lodowate kule śnieżne, na których panuje wieczna zima tak głęboka, że nawet ich atmosfery uległy zestaleniu i opadły na powierzchnię.

Na pewno istnieją światy gorące, ciepłe, chłodne i zimne, a czasami na jednej planecie obecne są wszystkie te warianty. Niektóre światy są młode, inne zaś bardzo stare. Będą wśród nich światy bogate w różne związki chemiczne, w pewnych wypadkach wypełnione substancjami całkowicie nieznanymi na naszej planecie, w innych bardziej podobnymi do tych spotykanych na Ziemi. Będą też chemicznie ubogie. Będą światy opasane przez pierścienie lodowo-pyłowe, jak Saturn. Będą światy otoczone przez księżycy, spośród których część może być równie duża jak Mars lub Ziemia, a nawet mieć własną atmosferę, oceany i kontynenty.

Kiedy dokonujemy takiego przeglądu, narzuca się kilka oczywistych wniosków. Pierwszy jest taki, że ani nasza gwiazda, ani konfiguracja układu planetarnego nie mogą uchodzić za przedstawicieli najpowszechniej występujących warunków, w których da się znaleźć małe, skaliste i wilgotne planety. Mówiąc inaczej, nawet mimo całej tej różnorodności Ziemia i panujące na niej warunki muszą uchodzić za odrobinę niety powe.

Jest to intrygujące. Załóżmy, że występowanie środowiska sprzyjającego życiu jest równie prawdopodobne dla każdego typu gwiazdy i każdego kształtu orbity. Jeśli założenie jest poprawne, należałoby się spodziewać, że zdecydowana większość zdalnych do zamieszkania światów będzie

się znajdować w układach mało masywnych gwiazd, na eliptycznych lub bardzo ciasnych orbitach. One same lub ich towarzyszkę powinny być światami należącymi do kategorii super-Ziem. Tak więc, bazując tylko na tej podstawie, moglibyśmy oczekiwać, że będziemy istnieć w jednym z takich układów, a *nie* w układzie typu, który rzeczywiście zamieszkujemy.

Istnieje kilka sposobów wyjaśnienia takiego stanu rzeczy. Jeden z nich opiera się na stwierdzeniu, że to czysty przypadek, iż nie zamieszkujemy jednego z układów należących do najpowszechniejszego typu sprzyjającego powstaniu życia, czyli jesteśmy odrobinę rzadkim okazem. Jeśli takie rozumowanie jest poprawne, nie dowiemy się już niczego interesującego – po prostu tak się złożyło, że zamieszkujemy w dość nietypowym miejscu. Mogłoby to oznaczać na przykład, że życie rozwija się w każdym możliwych warunkach i miejscach, które wydawałyby nam się całkowicie obce, od planet okrążających mało masywne gwiazdy o słabym blasku, po jeszcze bardziej egzotyczne miejsca, takie jak pokryte lodem lub charakteryzujące się umiarkowanym klimatem księżycy krążące wokół wielkich światów. Jeśli życie jest częstym zjawiskiem, jest bardziej prawdopodobne, że pojawi się w miejscach mniej do niego predestynowanych, jak nasz Układ Słoneczny.

Jest jednak inna ewentualność, że środowiska sprzyjające życiu nie występują z równym prawdopodobieństwem, niezależnie od typu gwiazdy i kształtu orbity. Może naprawdę jest coś, co sprawia, że warunki w naszej części kosmosu wyjątkowo sprzyjają rozwojowi życia. Ta druga opcja prowadzi do wniosku, że we Wszechświecie, jako całości, mogło powstać mniej życia niż w innych okolicznościach. Jak pamiętasz, wspomniałem, że pytanie, „Jak powszechne jest życie w kosmosie?“, pozostaje bez jasnej odpowiedzi, niezależnie od tego, czy za punkt wyjścia przyjmujemy zasadę kopernikańską czy też zasadę antropiczną. Jeśli potwierdzi się ten drugi scenariusz, otworzy się możliwość prowadzenia pomiarów częstotliwości występowania życia, jak też prawdopodobieństwa abiogenezy (naturalnego pochodzenia życia z materii nieożywionej). Później wrócę jeszcze do tego zagadnienia o decydującym znaczeniu.

Niektóre właściwości planet w oczywisty sposób wpływają na to, że dany układ jest bardziej lub mniej przyjazny życiu. Kluczowym czynnikiem jest temperatura. Ziemia funkcjonuje w warunkach dość niepewnej równowagi, dzięki której na jej powierzchni i tuż pod nią istnieją duże ilości wody w stanie ciekłym. Płynna woda jest niezwykle naturalnym rozpuszczalnikiem, odgrywającym główną rolę w ziemskiej biochemii i kształtowaniu warunków geofizycznych na naszej planecie. Dokładna odległość Ziemi od Słońca, obecna jasność naszej gwiazdy i skład atmosfery Ziemi – wszystko to odgrywa kluczową rolę w tym, abyśmy mogli cieszyć się oceanami i opadami atmosferycznymi.

Wciąż jednak nie rozumiemy wszystkich mechanizmów, które decydują o utrzymaniu na naszej planecie umiarkowanego klimatu. Moi koledzy i ja¹⁰⁹ badaliśmy na przykład, jaki wpływ na klimat na planecie podobnej do Ziemi miałyby takie czynniki, jak kształt orbity, nachylenie osi obrotu, a nawet długość dnia. Nie jest to zbyt bezpośrednie podejście. Na planetach, których orbity są znacznie bardziej eliptyczne od ziemskiej, wciąż może się utrzymywać środowisko z wodą w stanie ciekłym. Z kolei planety, na których dzień trwa krócej, nie są tak dobre w transporcie ciepła z tropikalnych obszarów równikowych do terenów podbiegunowych i mogą być przez to bardziej podatne na „zablokowanie” w trwającej całą wieczność epoce lodowcowej.

Lista pozytywnych i negatywnych czynników ciągnie się dalej. Są jeszcze całkowicie odmienne środowiska

wodne, jak te, których istnienie podejrzewamy pod lodową skorupą księżyców w naszym Układzie Słonecznym – na Europie, Ganimedesie i słynnym z gejzerów Enceladusie. Pod powierzchnią tych ciał niebieskich mogą istnieć jeziora, a nawet oceany ciepłej wody, do których nie dociera promieniująca od gwiazdy ciepło.

Zdecydowanie potrzebujemy więcej informacji, aby poradzić sobie z ustaleniem rankingu tych możliwości, dlatego w następnych rozdziałach zamierzam dokonać przeglądu faktów i sprawdzić, jakie informacje można jeszcze wykorzystać do znalezienia odpowiedzi na pytanie, co sprawia, że jakieś miejsce sprzyja rozwojowi życia. Różnorodność egzoplanet może jednak zawierać inną istotną wskazówkę w kwestii życia w kosmosie. Począwszy od kształtu orbit, po właściwości samych planet, związane z budową i składem, wszystko to wskazuje na fakt, że mamy do czynienia z niezłą menażerią. Szerokie spektrum własności uczy nas czegoś o astrofizyce planet, lecz jednocześnie nastęrcza naukowcom niemały ch trudności.

Zrozumienie mechaniki zjawisk stojących za formowaniem planet i ewolucją układów robi się dużo trudniejsze, gdy jak na dłoni widać, że w proces zaangażowanych jest wiele współzależnych czynników. Stanowi również przeszkodę, która bezpośrednio oddziałuje na poszukiwania naszego kosmicznego znaczenia: jeśli z tej różnorodności wynika wniosek, że w rzeczywistości nie ma dwóch planet, pomiędzy którymi można postawić znak równości, to jak uda nam się ocenić, jakie miejsce zajmujemy pośród tych światów?

Można wyrazić to inaczej: naukowcy często mówią o poszukiwaniu „drugiej Ziemi” albo planet „podobnych do Ziemi”. Jest to łatwy sposób na zwięzłe podsumowanie poszukiwań światów przypominających nasz w pewnych kluczowych aspektach – od rozmiarów przez skład chemiczny po, rzecz jasna, środowisko na powierzchni. Jednak w tych niewinnych sformułowaniach kryje się cała masa utrapienia.

Przez słowa „podobna do Ziemi”¹¹⁰ rozumiemy planetę, którą każdy w okamgnieniu może rozpoznać, z kontynentami, oceanami, chmurami, lasami i małymi zwierzątkami futerkowymi. Chodzi o to, że nasza planeta jest wzorcem, oryginałem, z którym porównujemy wszystkie inne ciała. W sformułowaniu tym znajduje się subtelny ton starych argumentów za tym, że życie w jakimkolwiek innym miejscu musi być podobne do tego na Ziemi.

Myślę jednak, że *tak naprawdę* szukamy planet będących odpowiednikiem Ziemi. Jak rozumieć termin „odpowiednik”? Tak samo jak w sytuacji, gdy firma wynajmująca samochody uprzejmie informuje, że, niestety, nie możesz dostać auta, które zamawiałeś, czerwonego, o sportowej sylwetce, z uchylnym dachem, ale proponują skorzystać z odpowiednika, który wprawdzie nie jest ani czerwony, ani sportowy, nie ma nawet szyberdachu, ale ma cztery koła i sprawny silnik.

W najprostszej wersji wśród wymagań stawianych odpowiednikiem Ziemi bezwzględnie musi być środowisko na powierzchni podobne do tego, jakie istnieje na pewnych obszarach naszej planety, czy to w dzisiejszych czasach, czy na jakimś etapie jej historii. Oznacza to obecność zasobów wody, temperatury zapewniające występowanie tejże wody w stanie ciekłym, dostępność paliwa chemicznego i surowców. Prawdopodobnie wśród wymogów znalazłby się również pewien poziom stabilności, przy którym nie występuje zbyt wiele gwałtownych zmian w krótkim czasie albo nie ma zagrożenia zbyt wysokim poziomem promieniowania zabójczego dla organizmów żywych.

Fascynujące pytanie brzmi tak czy jest możliwe znalezienie odpowiednika Ziemi, który sprosta tym wymaganiom, w miejscach na pozór wydających się całkowicie odmienne od naszej rodzimej planety? Cóż, poczekamy, zobaczymy. Zanim jednak pożegnamy klub niezwykłych planet, jest jeszcze jedna ciekawa rzecz, której mogą nas nauczyć. Rzecz, która często nam umyka. Może się wydawać, że konsekwencje obfitości planet, które ramy zamierają opisać, są oczywiste, ale odkryliśmy jeszcze bardziej subtelne, choć ważne następstwa.

* * *

W kolejnych latach po odkryciu w obserwatorium Arecibo pierwszych planet poza Układem Słonecznym dostrzegliśmy tysiące światów wokół tysięcy słońc. Wiemy, że liczba ta będzie stale rosła, ponieważ już teraz dysponujemy dostatecznie dużym zasobem danych, aby pozwolić sobie na statystyczne ekstrapolacje i oszacowanie ogólnej liczby planet w naszej Galaktyce, czyli zarysować obraz ich populacji. Tym zadaniem zajęło się wielu naukowców i wyniki ich prac nie budzą wątpliwości¹¹¹.

Jeśli wziąć pod uwagę tylko światy podobne do Ziemi pod względem rozmiarów – o średnicy mieszczącej się w przedziale, powiedzmy, od połowy średnicy Ziemi do mniej więcej czterech jej średnic – oczywiście jest, że w Drodze Mlecznej musi się znajdować od kilku do kilkudziesięciu miliardów takich planet. Właściwie gdyby ograniczyć się tylko do planet, które okrążają gwiazdę w odległości odpowiedniej do tego, aby na jej powierzchni istniały zasoby wody w stanie ciekłym i umiarkowany klimat ze zrównoważonymi temperaturami, niektóre badania sugerują, iż w całej Galaktyce takich ciał może być ponad 20 miliardów, może nawet 40 miliardów.

Wobec tak znacznej liczby światów istnieje 95-procentowa szansa, że jedna z tych obdarzonych umiarkowanym klimatem planet znajduje się w odległości 16 lat świetlnych od naszego Słońca, co w kosmicznej skali uchodzi za dystans rzutu kamieniem. Biorąc pod uwagę możliwości dzisiejszych teleskopów, wiemy, że miejsce to powinno pozostawać w ich zasięgu i możliwe będzie przeprowadzenie bardziej szczegółowych badań. Mamy nadzieję, że teleskopy i instrumenty pomiarowe następnej generacji umożliwią nam szukanie śladów życia.

Już samo stwierdzenie faktu, iż we Wszechświecie istnieje mnóstwo planet, ma oczywiście wymowę, ale w fundamentalny sposób zmienia istotę naszego pytania o życie poza Ziemią. Załóżmy, że Ziemia byłaby jedyną planetą we Wszechświecie. Moglibyśmy mimo wszystko się zastanawiać, jakie jest prawdopodobieństwo, że życie rozwinęłoby się jeszcze gdzie indziej, ale znalezienie odpowiedzi byłoby praktycznie niemożliwe. Kusząca zdawałaby się myśl, że prawdopodobieństwo takie musi być wysokie (gdyby tak nie było, to dlaczego akurat na jedynej planecie rozwinęło się życie?), lecz dysponując tylko jednym przykładem, nie mielibyśmy najmniejszych szans na zweryfikowanie tej tezy.

Znalezienie drugiej planety w tym hipotetycznym wszechświecie całkowicie zmieniłoby postać rzeczy. Niezależnie od tego, czy byłoby na niej życie czy nie, odkrycie pozwoliłoby nam sformułować matematyczne twierdzenie dotyczące prawdopodobieństwa występowania życia

na planetach, jak też oszacować naszą niepewność. Więcej odkrywanych planet poprawiałoby sytuację, każde „tak” lub „nie” pomagaloby nam określić częstotliwość, z jaką życie pojawia się na dowolnej planecie.

I tu docieramy do ważnej sprawy, aczkolwiek pełnej subtelnych niuansów¹¹². Wiemy, że żyjemy we Wszechświecie pełnym planet. Oznacza to, że zamieszkujemy Wszechświat, w którym kwestia prawdopodobieństwa rozwoju życia, szansy na udany proces abiogenezy na odpowiedniej planecie, *może zostać rozstrzygnięta*, jeśli tylko będziemy mieli wystarczająco dużo czasu i opracujemy potrzebne technologie.

Nie jest oczywiste, że kosmos musiał wyglądać w taki sposób. Planety mogłyby występować znacznie rzadziej, a my i tak bylibyśmy tu, na samotnej Ziemi, zadając to samo pytanie, na które jednak nigdy nie mogliśmy znaleźć odpowiedzi. Odkrycie ogromnego bogactwa planet kieruje nas z powrotem ku idei, o której pisałem na początku książki, do zasady antropicznej. Można pokusić się o tezę, że Wszechświat jest dostrojony nie tylko do tego, by przynajmniej raz mogło pojawić się w nim życie, ale wygląda na to, że jest dostrojony do tego, aby życie mogło dotrzeć do prawdy o sobie, by udało się określić prawdopodobieństwo abiogenezy.

Nie wiemy, do jakich wniosków dojdziemy po przyjęciu takiego punktu wyjścia – przynajmniej jeszcze nie wiemy. Na pewno jest to prowokacyjne stwierdzenie, lecz faktem jest też to, że w miarę sięgania w naszych badaniach coraz dalej i dalej, zarówno w przestrzeni, jak i czasie, będziemy potrzebowali elastyczności w myśleniu.

Konieczność zmierzenia się z faktem, iż Wszechświat jest pełen planet, wymusiła na nas porzucenie ciasnych poglądów na temat kosmosu. Musimy zrewidować wiele starożytnych fantazji o nieznanach światach. Musimy też poprawić własne zapatrywania, przestać myśleć o Układzie Słonecznym jako o dobrym reprezentancie całości.

Gdyby wyzwania techniczne stojące za wykrywaniem nawet najbliższych egzoplanet nie były tak duże, obecny stan wiedzy osiągnęlibyśmy znacznie wcześniej, tymczasem w miarę jak będziemy sięgać coraz dalej w kosmos w poszukiwaniu tych ciemnych punkcików wokół ich jasnych gwiazd, wciąż należy się spodziewać coraz to nowych niespodzianek. O ile obfitość planet stanowi potwierdzenie słuszności myślenia kopernikańskiego, o tyle ich różnorodność zmąciła ten obraz. Są przesłanki świadczące o tym, że zamieszkujemy dość niezwykle miejsce, jest też wskazówka, że można rozwinąć pomysł precyzyjnego dostrojenia kosmosu. Tak czy inaczej, wiele jeszcze może się wydarzyć.

Należy się tego spodziewać, ponieważ liga niezwykleich światów reprezentuje sobą tylko mały wycinek historii naszego kosmicznego sąsiedztwa. Jakikolwiek porównania z naszym Układem Słonecznym często bazują również na prostym zbiorze pomiarów dokonanych w ściśle określonym momencie. Dzisiejsze okoliczności są obrazem tylko jednej wybranej chwili, którą poprzedzało 4,5 miliarda lat historii Układu Słonecznego i po której nastąpi dalszych 5 miliardów lat nienapisanej jeszcze historii Słońca i jego światów. Czy ma sens opieranie wszystkich naszych wniosków na tak wąskim wycinku rzeczywistości? Miałoby, pod warunkiem że układy planetarne są jak mechanizm zegara, działają bez końca, niezmiennie i przewidywalnie. Niestety, nie funkcjonują w ten sposób. W następnym rozdziale zamierzam więc ujawnić jeden z najbrudniejszych sekretów mechaniki niebieskiej, pokażę bowiem tym samym, dlaczego w równaniu opisującym nasze kosmiczne znaczenie naprawdę musimy uwzględnić upływ czasu

i możliwość zaistnienia zmian.

82 Co ciekawe, zarówno *Opowieści z Narnii (Lew, czarownica i stara szafa)*, jak i *Gwiezdne wojny* wykorzystują motyw „zbawcy”. Podczas gdy C.S. Lewis wyraźnie nawiązywał do alegorii chrześcijaństwa, George Lucas stworzył bardziej świecki amalgamat najlepszych fragmentów bajek i przyowieści religijnych. Obie historie dzieją się „gdzie indziej”, gdzie nie obowiązują przyziemne zasady.

83 Istnieje wiele dobrych relacji z poszukiwań egzoplanet. Oto kilka z nich: Alan Boss, *The Crowded Universe: The Search for Living Planets*, Basic Books, Nowy Jork 2009; Ray Jayawardhana, *Strange New Worlds: The Search for Alien Planets and Life beyond Our Solar System*, Princeton University Press, Princeton 2011; Lee Billings, *Five Billion Years of Solitude*, Current/Penguin, Nowy Jork 2013.

84 Zjawisko nazwane na cześć dziewiętnastowiecznego austriackiego fizyka, Christiana Dopplera, polega na zmianie częstotliwości fali wskutek ruchu źródła względem obserwatora. Najczęściej przytaczany przykład dotyczy wzrostu wysokości dźwięku (częstotliwości) syreny policyjnego radiowozu lub karetki w miarę zbliżania się pojazdów, co skutkuje zagęszczaniem fal dźwiękowych, oraz zmniejszania wysokości dźwięku, gdy pojazd oddala się, a fale zdają się rozrzedzać. Odpowiednikiem tego efektu, w odniesieniu do fal elektromagnetycznych lub światła, jest „przesunięcie ku czerwieni” obecne w widmach oddalających się od nas gwiazd i galaktyk, jednak fakt, że światło porusza się, jakżeby inaczej, z prędkością światła, wymaga pewnych poprawek, które w pełni opisują równania relatywistycznego zjawiska Dopplera.

85 Metoda tranzytu, bo tak się ją określa, wykorzystuje fakt, że w trakcie tranzytu, albo inaczej przejścia planety przed tarczą macierzystej gwiazdy, przesłania ona gwiazdę i blokuje niewielką część jej blasku. Metoda stała się dominującą techniką wyszukiwania innych światów, realizowaną przez teleskopy COROT i Kepler. Drobiazgowa analiza odstępstw od regularności zaćmień może ujawnić obecność w układzie innych planet, które nie zaćmiewają gwiazdy, ale oddziałują grawitacyjnie na planetę, którą obserwujemy.

86 Obecność planet może wywoływać dziwne i wspaniałe zarazem, bardzo złożone efekty odmieniające sposób, w jaki postrzegamy światło gwiazd znajdujących się w tle. Jednak częstotliwość, z jaką gwiazdy z towarzyszącymi im planetami ustawiają się w jednej linii z bardziej odległymi gwiazdami (którym również mogą towarzyszyć ich własne planety), co prowadzi do zjawiska soczewkowania, jest – z naszego punktu widzenia – niska. Tak więc poszukiwanie planet z wykorzystaniem tego zjawiska wymaga dużej cierpliwości i starannego

monitorowania wielu, bardzo wielu gwiazd. Mimo to technika ta jest wyjątkowa ze względu na swą czułość w odniesieniu do planet krążących w bardzo różnych odległościach od ich gwiazd, dzięki czemu dostarcza istotnych danych statystycznych w zakresie ogólnej liczebności planet.

87 Pośród badaczy, o których czasem się zapomina (choć wielu zyskało też zasłużoną sławę, w szczególności Michel Mayor, Didier Queloz, Geoff Marcy i R. Paul Butler), znajdują się Kanadyjczycy Gordon Walker i Bruce Campbell, którzy byli pionierami nowoczesnych technik detekcji dopplerowskiej.

88 Empiryczna reguła, na podstawie której można przewidywać odstęp pomiędzy orbitami planet, nosi nazwiska niemieckich astronomów Johanna Titiusa (1729–1796) i Johanna Bodego (1747–1826), który w dużej mierze odpowiada za rozpropagowanie idei. „Reguła” nie działa w odniesieniu do Neptuna, dla którego różnica między przewidywaną a rzeczywistą wartością pól orbity sięga 30 procent. Niemniej jednak reguła Titiusa–Bodego wciąż jest przywoływana w wypadku pewnych układów egzoplanetarnych jako wygodna zasada oparta na praktyce – planety mają tendencję do lokowania się na orbitach, których pól orbity (odległości od gwiazdy) spełniają prostą zależność algebraiczną, co jest skutkiem ogólnej natury procesów formowania planet. Nie jestem przekonany, że dobrze robimy, trzymając się tej idei, choć nie w pełni rozumiemy zasady fizyczne leżące u podstaw tych procesów.

89 Główna placówka badawcza Narodowego Centrum Astronomii i Ionosfery (National Astronomy and Ionosphere Center, NAIC). Obserwatorium zaczęto budować na początku lat sześćdziesiątych XX wieku i oddano do użytku w 1963 roku. Od tamtej pory odgrywało znaczącą rolę, umożliwiając dokonanie wielu odkryć naukowych, w tym milisekundowych pulsarów i układów podwójnych pulsarów, oraz wykonanie radarowego obrazowania powierzchni Wenus.

90 A. Wolszczan, D. Frail, *A Planetary System around the Millisecond Pulsar PSR1257 + 12*, „Nature” 1992, nr 355, s. 145–147.

91 Choć pojawiały się doniesienia o czwartym ciele, wyniki te były dość wątpliwe; radzę sięgnąć na przykład po artykuł A. Wolszczana, *Discovery of Pulsar Planets*, „New Astronomy Reviews” 2012, nr 56, s. 2–8.

92 Gwiazda nazywa się 51 Pegasi, a dwa kluczowe artykuły informujące o odkryciu to: M. Mayor, D. Queloz, *A Jupiter-Mass Companion to a Solar-Type Star*, „Nature” 1995, nr 378, s.

355–359, oraz potwierdzający: M. Mayor, D. Queloz, G. Marcy, P. Butler i in., *51 Pegasi*, „International Astronomical Union Circular” 1995, nr 6251, s. 1.

[93](#) P. Goldreich, S. Tremaine, *Disk-Satellite Interactions*, „The Astrophysical Journal” 1980, nr 241, s. 425–441.

[94](#) Znakiomym materiałem źródłowym, pozwalającym zagłębić się w zdumiewająco różnorodny świat egzoplanet, jest stale aktualizowany katalog w Internecie, założony przez Jeana Schneidera z Obserwatorium Paryskiego i znajdujący się pod adresem <http://exoplanet.eu/catalog/>.

[95](#) Na przykład: I.A.G. Snellen i in., *The Orbital Motion, Absolute Mass and High-Altitude Winds of Exoplanet HD209458b*, „Nature” 2010, nr 465, s. 1049–1051.

[96](#) Atmosfery planet są skomplikowanymi systemami, które trudno zrozumieć. Dobrym źródłem informacji na temat niektórych prac koncentrujących się wokół własności „gorących Jowiszów” jest artykuł, którego autorami są A. Burrows, J. Budaj, I. Hubeny, *Theoretical Spectra and Light Curves of Close-in Extrasolar Giant Planets and Comparison with Data*, „The Astrophysical Journal” 2008, nr 678, s. 1436–1457.

[97](#) Ten dziwny ruch wsteczny po raz pierwszy zauważono w układzie WASP-17b; opisał to D. Anderson i in., *WASP-17b: An Ultra-Low Density Planet in a Probable Retrograde Orbit*, „The Astrophysical Journal” 2010, nr 709, s. 159–167.

[98](#) D.M. Kipping, D.S. Spiegel, *Detection of Visible Light from the Darkest World*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” 2011, nr 417, s. L88–L92.

[99](#) Na przykład gazowy olbrzym krążący wokół gwiazdy HD 8606 (190 lat świetlnych od Ziemi) ma okres obrotu równy 111 ziemskich dni, lecz ekscentryczność 0,93. Oznacza to, że zbliża się do gwiazdy na odległość 0,03 jednostki astronomicznej, po czym oddala na odległość równą 0,88 jednostki astronomicznej – odległość wzrasta o czynnik 30. Uważa się, że w trakcie przejścia w pobliżu gwiazdy temperatura rośnie o czynnik dwa w ciągu zaledwie dwóch godzin.

[100](#) S. Rappaport i in., *Possible Disintegrating Short-Period Super-Mercury Orbiting KIC 12557548*, „The Astrophysical Journal” 2012, nr 752, s. 1.

[101](#) Należałoby w tym miejscu przyznać, że jak dotąd nie znaleźliśmy akurat takiego układu, ponieważ interpretacja wyników jest bardzo trudna. Pomysł wyodrębnienia tej hipotetycznej grupy planet zaczerpnąłem z pracy M. Tuomio, *Evidence for Nine Planets in the HD 10180 System*, „Astronomy and Astrophysics” 2012, nr 543, nr A52, s. 1–12.

[102](#) Sięgnij, na przykład, po artykuł przeglądowy N. Haghighipoura, *The Formation and Dynamics of Super-Earth Planets*, „Annual Review of Earth and Planetary Sciences” 2013, nr 41, s. 469–495.

[103](#) Zob. na przykład X. Bonfils i in., *The HARPS Search for Southern Extra-Solar Planets. XXXI. The M-dwarf Sample*, „Astronomy and Astrophysics” 2013, nr 549, (A109), s. 1–75.

[104](#) I żadnej z nich nie da się dostrzec nieuzbrojonym okiem.

[105](#) Teorię leżącą u podstaw tego stwierdzenia opisali G. Laughlin, P. Bodenheimer, F.C. Adams w artykule *The End of Main Sequence*, „The Astrophysical Journal” 1997, nr 482, s. 420–432.

[106](#) Większość tego materiału dowodowego pochodzi z badań wykorzystujących soczewkowanie grawitacyjne. Zob. T. Sumi i in., A. Udalski i in. (współpraca pomiędzy Microlensing Observations in Astrophysics [MOA] i Optical Gravitational Lensing Experiment [OGLE]), *Unbound or Distant Planetary Mass Population Detected by Gravitational Microlensing*, „Nature” 2011, nr 473, s. 349–352.

[107](#) Wiele znanych egzoplanet okrąży jedną gwiazdę, która z kolei ma jedną lub dwie towarzyszkę na orbitach o dużym promieniu. Na przykład układ GJ667 składa się z trzech gwiazd (A, B, C), natomiast wokół gwiazdy C krąży pięć potwierdzonych egzoplanet. Najlepiej udokumentowanym przypadkiem planety krążącej jednocześnie wokół dwóch gwiazd jest Kepler-16, czasem nazywana układem „Tatooine”, na cześć fikcyjnego miejsca przedstawionego w filmie *Gwiezdne wojny*.

108 Zob. A. Léger i in., *A New Family of Planets? 'Ocean Planets', „Icarus”* 2004, nr 169, s. 499–504.

109 Zespoły badawcze, do których należałem, opublikowały od 2008 do 2010 roku serię artykułów koncentrujących się na podstawach różnorodności klimatów planetarnych. Pierwszy z tych artykułów to: D.S. Spiegel, K. Menou i C.A. Scharf, *Habitable Climates*, „The Astrophysical Journal” 2008, nr 681, s. 1609–1623.

110 Na stronie internetowej „Scientific American” opublikowałem bardzo ogólną krytykę tego pojęcia w artykule *Should We Expect Other Earth-Like Planets At All?*, 26 grudnia 2012 r., <http://blogs.scientificamerican.com/life-unbounded/2012/12/26/should-we-expect-other-earth-like-planets-at-all/>.

111 Dwa dobre źródła zawierające informacje o szacowanej ogólnej liczbie planet w Drozdzie Mlecznej to: C.D. Dressing, D. Charbonneau, *The Occurrence Rate of Small Planets around Small Stars*, „The Astrophysical Journal” 2013, nr 767, s. 95–114, oraz E.A. Petigura, G.W. Marcy i A.W. Howard, *A Plateau in the Planet Population below Twice the Size of Earth*, „The Astrophysical Journal” 2013, nr 770, s. 69–89.

112 Więcej na ten temat pisałem w „Aeon Magazine”: C. Scharf, *Are We Alone?*, 20 czerwca 2013 r., <http://aeon.co/magazine/nature-and-cosmos/the-real-meaning-of-the-exoplanet-revolution/>.

ROZDZIAŁ 4

Wielka iluzja

Był rok 1889, 34-letni Henri Poincaré¹¹³ wiódł udane życie. Młody mąż, świeżo upieczony ojciec, wschodząca gwiazda profesorska na Uniwersytecie Paryskim, właśnie został wybrany do prestiżowej Francuskiej Akademii Nauk. Zaledwie kilka miesięcy wcześniej, latem 1888 roku, z wielką pewnością siebie opublikował coś, co mogło okazać się zwycięską pracą w grze o wielką wygraną: rozwiązanie jednego z najbardziej uporczywych i ambitnych problemów w całej fizyce matematycznej. Życie wydawało się piękne.

Choć dzisiaj może to budzić zdziwienie (aczkolwiek ta tradycja jest kontynuowana w odniesieniu do niektórych głębokich problemów nauki), pod koniec XIX wieku całkiem rozpowszechniony był zwyczaj ogłaszania konkursu na rozwiązanie jakiegoś ważnego zagadnienia matematycznego. Jednak ten był dość szczególny – patronem zdarzenia był zasiadający na tronie Szwecji i Norwegii król Oskar II. Oskar II nie tylko studiował matematykę na uniwersytecie w Uppsali, ale także nawiązał bliskie więzi ze światem akademickim. W istocie był szczególnie zainteresowany nowo założonym czasopismem „Acta Mathematica”¹¹⁴, wydawanym przez instytucję, która w przyszłości miała się stać Uniwersytetem Sztokholmskim.

Było jedynie kwestią czasu, zanim ktoś wpadnie na błyskotliwy pomysł ustanowienia sponsorowanych przez króla zawodów i opublikowania zwycięskich prac na łamach tego pisma. W 1885 roku zatem wydano stosowne obwieszczenie i wybrano jury, w którego skład weszli przedstawiciele elity matematyków Ameryki i Europy. Konkurs polegał na udzieleniu jakiegokolwiek odpowiedzi na cztery wybrane przez jury niepospolite pytania z zakresu matematyki, aczkolwiek uczestnicy mogli wybrać również własny temat. Dla większego rozmachu wręczenie nagrody miało zbiec się w czasie z obchodami sześćdziesiątej rocznicy

urodzin Oskara II, na początku 1889 roku.

Pierwsze pytanie, znajdujące się na szczycie listy, było doskonale znane i miało wieloletnią tradycję. Nazywano je po prostu „problemem n ciał”¹¹⁵. Historia problemu, bogata i godna uwagi, korzeniami sięga daleko w przeszłość, w drugą połowę XVII wieku, kiedy to Izaak Newton sformułował swoje zasady dynamiki oraz prawo grawitacji. Zasady Newtona dostarczyły znakomitego wytłumaczenia kształtu orbit, po jakich poruszają się planety, toteż na pierwszy rzut oka wydawałoby się, że można je zastosować do wyliczenia przyszłego ruchu *dowolnego* zbioru obiektów oddziałujących ze sobą grawitacyjnie.

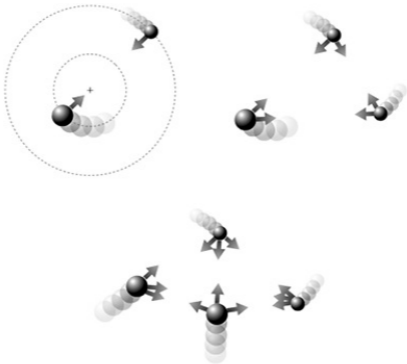
Mogą to być trzy obiekty, cztery lub dowolna ich liczba, n . Ostatecznie każde ciało będzie przyciągało inne ciało w łatwy do przewidzenia sposób, zgodny z prawem grawitacji Newtona. Zatem, znając sytuację początkową, powinieneś bez cienia wątpliwości wyznaczyć przyszły ruch każdego ciała z dowolną dokładnością.

Zadanie było stosunkowo łatwe w odniesieniu do dwóch obiektów, takich jak Słońce i pojedyncza planeta, Newton jednak szybko się zorientował, że problem ulega komplikacji w wypadku jakiegokolwiek bardziej rozbudowanego systemu. Wielki Izaak najwyraźniej czuł się zirytowany faktem, że nie potrafi rozwiązać odpowiednich równań, stwierdził bowiem: „Jednoczesne rozważenie wszystkich przyczyn ruchu i zdefiniowanie tych ruchów za pomocą precyzyjnych praw dopuszczających proste obliczenia przekracza, jeśli się nie mylę, możliwości ludzkiego umysłu”.

W zasadzie, w typowy dla siebie sposób, miał sporo racji. To prawda, że krzywej ruchu n ciał, oddziałujących ze sobą grawitacyjnie, nie da się znaleźć dzięki rozwiązaniu kilku linijek rachunku algebraicznego czy prostego rachunku całkowego. Jednakże, bez względu na deklaracje mistrza, problem n ciał pozostawał kwestią nierozwiązaną i dokuczliwą. Potrzebny był stosowny dowód matematyczny, być może też, tylko być może, dałoby się znaleźć rozwiązanie za sprawą zastosowania bardziej wyrafinowanego podejścia matematycznego.

Do czasów Poincarégo nastąpił spory postęp w znajdowaniu dokładniejszych sposobów obrazowania ewolucji orbit planetarnych. Pod koniec XVIII wieku naukowcy Pierre-Simon Laplace i Joseph-Louis Lagrange, niezależnie od siebie, zaproponowali zbiór narzędzi matematycznych, które pozwalały przewidzieć przynajmniej ogólny zarys ruchu wielu planet na przestrzeni tysięcy, a nawet milionów lat. Odpowiedź częściowo wzięła się z czysto technicznej intuicji. Obydwaj naukowcy zorientowali się, że orbity w układzie wielu obiektów są „quasi-okresowe”: wzajemny wpływ planet na siebie oznacza, iż żadna z nich nigdy nie ukończy kolejnego obiegu w tym samym czasie co poprzedni. Przy pewnej dozie sprytu matematycznego można było wykorzystać tę własność do przewidywania ogólnych trendów w ewolucji orbit planetarnych układu.

Największym mankamentem tych metod jest fakt, że nie śledzą ruchu układu w każdym momencie; zasadniczo, cykl po cyklu, wyznaczają one średnie wzajemne przyciąganie planet czy też ich wzajemne *perturbacje*. To bardzo sprytnie techniki, nadal stosowane, gdy trzeba znaleźć odpowiedzi na pytania dotyczące zachowania układu planetarnego jako całości, zwłaszcza w krótkich odstępach czasu. W tamtych czasach służyły również za dowód na deterministyczną naturę układów grawitacyjnych, postrzeganych jako działające zgodnie z zasadami Newtona fragmenty mechanizmu zegarowego Wszechświata.



Obraz gwałtownego wzrostu złożoności układu obiektów oddziałujących grawitacyjnie. Lewy górny róg: dwa przyciągające się ciała i ich orbity, stabilna i poddająca się obliczeniom sytuacja. Jednak już trzy ciała (prawy górny róg) wymagają trzech zestawów trójwymiarowych współrzędnych przestrzennych, trzech trójwymiarowych wektorów prędkości i sześciu trójwymiarowych wektorów siły. Cztery ciała (u dołu) wymagają czterech współrzędnych, czterech wektorów prędkości i dwunastu wektorów siły – wszystko to działające jednocześnie i w trzech wymiarach. Nic dziwnego, że Newton zarzucił próby znalezienia rozwiązania algebraicznego.

Jednak pod tą polityrą nadal kryły się tylko przybliżenia, błyskotliwe sztuczki matematyczne, które mogą udzielić odpowiedzi na pewne pytania, ale nie na wszystkie. Toteż w drugiej połowie XIX wieku coraz bardziej oczywiste stawało się, że nie można ignorować ani upraszczać wszystkich składników sił, które wpływają na przyszłą trajektorię planety.

Nic dziwnego zatem, że kiedy cieszący się już pewną sławą Poincaré zobaczył ogłoszenie o konkursie pod patronatem króla Oskara [116](#), z radością zajął się tym właśnie pierwszym zagadnieniem, ponieważ rozwiązanie go mogło raz na zawsze zapewnić mu miejsce w książkach

historycznych. Praca nad problemem przynosiła szybkie postępy. Czuł, że znalazł dowód matematyczny potwierdzający, iż możliwe jest ustalenie stabilności układu trzech ciał oddziałujących grawitacyjnie. Co ważniejsze, twierdził również, że potrafi wyliczyć ruch każdego z nich z dowolną dokładnością. Wyglądało to wspaniale i chociaż stanowiło rozwiązanie jedynie problemu trzech ciał, wystarczyło, żeby przekonać jury. Poincaré miał nagrodę pieniężną w kieszeni.

I wtedy zaczęły się problemy. Zgodnie z obietnicą jego zwycięska praca została skierowana do publikacji w „Acta Mathematica”, jednak podczas korekty tekstu do druku Poincaré zdał sobie sprawę, że coś jest nie tak – popełnił straszliwy błąd. Jego rozwiązanie problemu trzech ciał było błędne, nie działało, i musiał powiedzieć to redaktorom czasopisma. Przeoczył pewne subtelne aspekty interpretacji geometrycznej funkcji matematycznych, które odgrywały kluczową rolę w jego dowodzie.

Tak się nieszczęśliwie złożyło, że zanim powiedział redakcji o swoim błędzie, czasopismo zostało już wydrukowane i rozesłane do odbiorców na całym świecie. Pragnąc zapobiec katastrofie, wydawca poczynił starania, żeby wycofać wszystkie kopie, a Poincaré musiał pokryć koszty, które znacznie przekraczały okazałą nagrodę, jaką krótko przedtem otrzymał z rąk króla Oskara. Biedny Poincaré. Nieczęsto się zdarza, by błąd matematyczny okazał się dla kogoś równie kosztowny [117](#).

Nie ma tego złego, co by na dobre nie wyszło – oczywiście, pomijając stan konta Henriego Poincaré. Kiedy już otrząsnął się z zażenowania i dokonał gruntownej analizy swoich błędów, doszedł do pewnych, niezwykle istotnych wniosków. Stwierdził mianowicie, że *nie* da się przedstawić jednoznacznego rozwiązania problemu n ciał. Mówiąc językiem analizy matematycznej, nie istnieją całkowalne rozwiązania problemu trzech ciał oddziałujących grawitacyjnie, a co za tym idzie, rozwiązania problemu jakiegokolwiek większej ich liczby.

Zdaniem Poincarégo, jeśli masz gwiazdę z dwiema krążącymi wokół niej planetami, to nie ma takiego sposobu, który pozwoliłby ci precyzyjnie wyliczyć długopisem na papierze przyszłe (lub przeszłe) zachowanie całego układu. Zadanie staje się jeszcze bardziej beznadziejne dla dowolnego, liczącego więcej niż dwie planety układu n ciał. Wyjątek stanowi kilka sztucznie zaaranżowanych sytuacji, gdy, na przykład, trzecie ciało jest za małe, żeby wywierać jakikolwiek znaczący wpływ na grawitacyjny.

Było to coś naprawdę wielkiego, tym bardziej że zastosowane przez Poincarégo podejście matematyczne nawiązywało do takiego aspektu Wszechświata, który dopiero w kolejnym stuleciu zaczął w pełni wyłaniać się zza grubej kotary fizyki klasycznej. Tym aspektem kosmosu, o którym wkrótce będę opowiadał, jest *chaos*.

Okazuje się, że Poincaré, dowodząc braku rozwiązania problemu n ciał, dokonał niewyobraźnego postępu, chociaż na odkrycie czekały jeszcze dziwniejsze szczegóły. Dotarcie do jądra problemu nie należało do najłatwiejszych, toteż kolejna odsłona nastąpiła prawie sto lat później. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku [118](#) pewna piękna praca chińskiego matematyka Quidong (Don) Wanga pokazała, że pełne rozwiązanie algebraiczne problemu n ciał w rzeczywistości istnieje. Był jednak pewien szkopuł, i to poważny: rozwiązanie wymagało zsumowania serii wyrażań matematycznych, które zawierały *miliony* składników. Innymi słowy, rzeczywiście mógłbyś zapisać równanie algebraiczne opisujące zachowanie grawitacyjne n ciał,

ale... mogłoby ci to zająć nieskończenie wiele czasu. A zanim dodałbyś wszystkie składniki, zdążyłbyś wprowadzić wystarczającą liczbę błędów przybliżenia, by uczynić wynik bezwartościowym.

* * *

Tu kryje się kluczowa wskazówka ujawniająca prawdziwą naturę układów planetarnych, naturę, która od czasów Poincarégo stawała się coraz bardziej oczywista. Opisujące je równania przejawiają wrażliwość na drobne niepewności w obliczeniach, które w końcu narastają do takich rozmiarów, że podważają próby przewidywania czegokolwiek. Sama natura pełna jest realnych odchyłeń, a sieć powiązań wewnątrz układu planetarnego może uczynić go skrajnie czułym na te zmiany. To, czy mikroskopijne ziarenko pyłu znajdzie się w tym miejscu czy w innym, może po odpowiednio długim czasie zaważyć na ostatecznej trajektorii całego światów.

Ta wrażliwość układu oraz opisujących go równań stanowi fundamentalną własność natury. Często z uwagi na brak przełożenia jeden-do-jednego między wprowadzoną do systemu dowolną zmianą a odpowiadającą mu reakcją własność ta nazywana jest nieliniowością¹¹⁹. To tak jak z ostrożnym szturchaniem kijem dużego psa: to samo lekkie szturchnięcie może wywołać lekkie skomlenie lub wściekły i usprawiedliwiony atak – reakcja jest nieliniowa. Układy nieliniowe są układami szczególnie mi, ponieważ mogą zachowywać się w sposób chaotyczny.

Ściśle mówiąc, nie jest to chaos diabłów i demonów, porzucenie rozumu i wszelkiego ładu, ale chaos w sensie matematycznym – chaos, który może, lecz nie musi prowadzić do nieporządku i destrukcji (co zależy od najdrobniejszych szczegółów). U jego podstaw leży nieprzewidywalność, niemożliwość stwierdzenia, co niesie z sobą przyszłość. Tak więc nie chodzi o to, że owo ziarenko pyłu czy zaburzenie w strukturze planety, czy zmiana jej położenia na orbicie mogą w przyszłości diametralnie zmienić jej tor ruchu; tej przyszłej trajektorii ruchu w ogóle nie da się przewidzieć. To samo dotyczy wielu innych złożonych systemów. Nieliniowość stosuje się do klimatu i pogody na Ziemi, a także do kapryśnych systemów ekonomicznych i giełdy papierów wartościowych. Nieokreśloność wbudowana jest na najgłębszym poziomie.

Ten typ chaosu może być dobrze zakorzeniony w układach planetarnych i rzeczywiście każdy układ planetarny to potencjalny układ chaotyczny. To doprawdy podwójny cios dla problemu n ciał i możliwości obliczenia trajektorii planet w długiej perspektywie czasowej. Nie istnieje żaden praktyczny sposób ręcznego rozwiązania odpowiednich równań, a nawet gdyby istniał, układ może nieoczekiwanie zbroczyć w nieprzewidywalny stan chaotyczny. Tak wygląda niewygodna prawda o układach planetarnych, którą Poincaré miał wątpliwą przyjemność przedstawić.

* * *

Na szczęście w stuleciu, które nastąpiło po przełomowej pracy Poincarégo, pojawiło się nowe narzędzie, pozwalające nam eksplorować tę dżunglę dynamicznych możliwości. Tym narzędziem jest komputer: cienkie płytki zmienionego chemicznie krzemu z dawno umarłej gwiazdy, wbudowane niegdyś w strukturę geologiczną naszej planety, zostały wydobyte przez ludzi, oczyszczone chemicznie i poddane ponownej krystalizacji, by zbudować maszynę, która potrafi przemieszczać w tę i z powrotem elektrony.

Piękno komputerów polega na tym, że dzięki ich potężnym mocom obliczeniowym da się podjąć bezpośrednią próbę zbudowania modelu działania układów grawitacyjnych. Możemy symulować zachodzące w dowolnym momencie przyciąganie między planetami, a w efekcie ich trajektorie – sekunda po sekundzie, tydzień po tygodniu, rok po roku i eon po eonie. Właściwie możemy zastosować narzędzia analizy matematycznej – rachunek różniczkowy i całkowy – do budowania światów wirtualnych, układów planetarnych, które zachowują się identycznie jak rzeczy wiste, nie pomijając chaosu.

Prawdziwym zwrotem w modelowaniu komputerowym jest nie tylko to, że możemy w zaledwie kilka godzin lub dni symulować ruch planet na przestrzeni miliardów lat, ale że możemy zrobić to jeszcze raz i jeszcze raz, śledząc tyle nieprzewidywalnych przyszłości, ile tylko zdołamy. Skoro króluje chaos, my możemy przynajmniej zrozumieć, jak wiele możliwych przyszłości prowadzi nas w pewnych kierunkach, i zbudować mapę prawdopodobieństwa ilustrującą, który typ wyniku jest bardziej prawdopodobny, a który mniej.

Badacze tego wirtualnego krajobrazu dokonali wielu spektakularnych odkryć. Niektóre z pionierskich eksperymentów dotyczących długoterminowego ruchu planet w naszym Układzie Słonecznym zostały przeprowadzone pod koniec lat osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku przez Jacques'a Laskara¹²⁰, wówczas pracownika Bureau des Longitudes (Biura Miar) w Paryżu, oraz Geralda Sussmana i Jacka Wisdoma¹²¹ z Massachusetts Institute of Technology. Posługując się całą gamą metod matematycznych, naukowcy ci próbowali śledzić zmiany zachodzące w orbitach planet na przestrzeni milionów, a nawet setek milionów lat, których źródłem były drobne korekty w zakresie warunków początkowych. Badacze studiowali nawet własności Układu Słonecznego w przeszłości, odwracając czas i cofając bieg orbit, a Laskar sięgnął aż 200 milionów lat wstecz, do okresu, który może być naszym dynamicznym dziedzictwem.

Wcześniej inni eksperymentatorzy zbadali już zachowanie wybranych grup planet, czy to światów wewnętrznych, czy zewnętrznych olbrzymów, Jowisza i jego kohorty, a nawet kaprysy samotnej orbity Plutona. Teraz jednak wprawiono w ruch cały układ głównych planet, a otrzymane rezultaty potwierdziły od dawna żywione podejrzenia. Układ Słoneczny ulega potężnym wpływom chaosu.

W ciągu zaledwie kilku milionów lat ruch planet zacznie podlegać tak zwanej rosnącej wykładniczo dywergencji¹²². Inaczej mówiąc, po tym czasie niemożliwe do zmierzenia odchylenia w położeniach i prędkościach elementów układu planetarnego doprowadzą do nieprzewidywalnej zmiany orbit. Nie muszą to być jakieś szalone zmiany, tylko takie, których nie jesteśmy w stanie przewidzieć z jakąkolwiek realną dokładnością.

To trochę jak z wysyłaniem stada gołębi pocztowych. Jeśli uwolnimy je bezpośrednio z żerdzi, po prostu polatają chwilę dokoła, zanim w końcu wylądują, żeby się pożywić. Z łatwością możesz

śledzić ich ruch, a nawet zorientować się, kiedy pełne wdzięku trajektorie lotu zaprowadzą ptaki z powrotem na żerdzie – są to charakterystyczne, dobrze znane ci wzorce zachowań.

Jednak kiedy przed uwolnieniem zabierzesz je gdzieś w odległe miejsce, dużo trudniej będzie dokładnie przewidzieć, kiedy wszystkie wrócą do domu. Jeśli są dobrze zaaklimatyzowanymi ptakami, wszystkie wezmą na cel dobrze znaną sobie żerdź. Natomiast ukształtowanie geograficzne, kaprysy prądów powietrznych i sama natura ptasich mózgów sprawią, że bardzo trudno będzie zawczasu nakreślić trasę ich podróży.

O ile nieco nieprzewidywalne zachowanie gołębi nie jest jakimś szokiem, o tyle nieprzewidywalność ruchu planet Układu Słonecznego wystarczy, by przyprawić nas o nocne koszmary. To *wyjątkowo* niepokojące odkrycie. Fizyka Newtona i jej zastosowania, znalezione przez naukowców takich jak Laplace, zdawały się opisywać Wszechświat działający jak zegar, rzeczywistość regulowaną prawami, które zawsze będą nas prowadzić w przestrzeni i czasie z punktu A do punktu B. I chociaż koncepcje chaosu i nieliniowości były dobrze znane już przedtem, zanim przeprowadzono komputerowe eksperymenty numeryczne z ruchem planet, to dopiero te badania stanowiły pierwsze realne potwierdzenie, że nasz układ planetarny nie jest ani zegarowy, ani przewidywalny.

W krótkim ludzkim życiu, a nawet całym czasie trwania naszego gatunku na powierzchni Ziemi, możemy być świadkami jedynie wąskiego wycinka historii wędrówek naszych planetarnych sąsiadów po ich orbitach. Być może ciągła zmienność ich ruchu nie wydawałaby nam się tak złowieszczą i przerażającą, gdybyśmy byli wszechpotężnymi, żyjącymi miliard lat istotami, ale jesteśmy tylko istniejącymi przez moment strzępami biomolekularnych mechanizmów, toteż uświadomienie sobie, że jedziemy na grzbiecie jednej z wielu fal na falującym oceanie orbitalnych możliwości, jest dla nas prawdziwym wstrząsem.

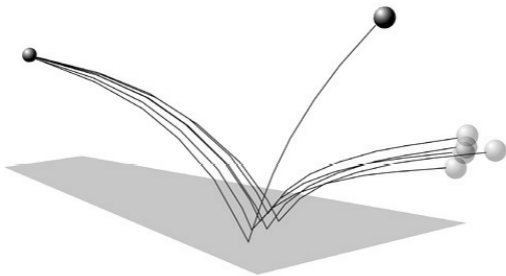
Czy oprócz podważania naszych wyobrażeń na temat stabilności planetarnych fundamentów, na których wspiera się całe ludzkie istnienie, ta niepokojąca cecha może powieść nam coś więcej o naturze Układu Słonecznego, a także naturze dowolnego innego układu planetarnego? Rzeczywiście, może, ponieważ w tym wypadku chaos z pewnością jest w stanie doprowadzić do całkowitej destrukcji.

* * *

Możesz się zastanawiać, w jaki sposób udaje nam się przewidzieć zachowanie układu, który, jak to przed chwilą stwierdziłem, z natury jest nieprzewidywalny w okresie dłuższym niż kilka milionów lat naprzód. To znakomite pytanie. Najlepszym sposobem będzie rozważenie każdej możliwej przyszłej konfiguracji jako jednej z nieskończonego zbioru trajektorii, czyli coś w rodzaju wyboru jednego toru piłki spośród wielu wykonanych na boisku rzutów.

Gdybym mógł odwzorować trójwymiarowy tor ruchu piłki i rzuciłbym ją tysiąc razy, otrzymałbym pęk linii tworzących w przestrzeni coś w rodzaju wiązki drutów. Większość z nich znajdowałaby się blisko siebie, jednak kilka mogłoby odchyłać się nieco w bok, prowadząc do

nieregularności w locie piłki, która w konsekwencji odbiłaby się od jakiegoś niewidocznego wybrzuszenia murawy i poleciała prosto w zarośla. Gdybym badał tylko te odbiegające od innych trajektorie pod kątem dalszych losów piłki po pierwszym odbiciu, mógłbym wybrać kilka wariantów przyszłości, które prowadziłyby do czegoś bardziej rewolucyjnego.



Rzucanie piłki wzdłuż boiska. Większość odbić kieruje piłkę w tym samym kierunku, jednak czasem dojdzie do odstępstwa, które pośle ją w krzaki.

To samo dotyczy przyszłych trajektorii składników układu planetarnego. Możemy wybrać te wyniki, w których orbity planetarne wydają się bardziej ekstremalne, zwiększając prawdopodobieństwo tego, że obiekty będą się do siebie zbliżać, nie oddalać. Być może będzie to wzrost eliptyczności orbit, zmieniający położenie najdalszych i najbliższych punktów trajektorii planet. A może będzie to kwestia zmiany orientacji przestrzennej elips, również prowadzącej do zbliżenia obiektów.

Możemy zebrać różne wersje przyszłości¹²³, a następnie sprawdzić, co będzie się z nimi działo przez następnych kilka milionów lat, po czym powtórzyć ten proces i odrzucić najmniej interesujące z nich. Nadal nie zdołamy przewidzieć konkretnego wyniku za cztery czy pięć milionów lat, ale możemy zapytać, co *mogłoby* się zdarzyć, i do pewnego stopnia ustalić, jak bardzo prawdopodobne lub nieprawdopodobne są te wersje przyszłości.

Dwaj naukowcy, którzy postawili takie pytanie, to Konstantin Batygin i Greg Laughlin¹²⁴ z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Cruz. Posługując się symulacjami komputerowymi oddziaływań grawitacyjnych planet, eksperymentowali oni z odległą przyszłością Układu

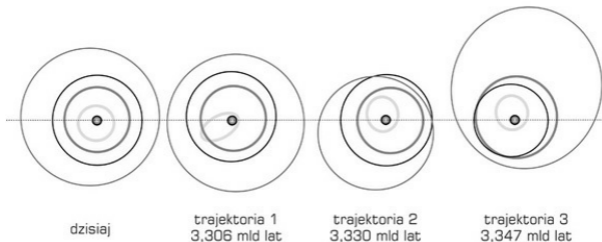
Słonecznego, sięgając nawet w czasy po śmierci Słońca.

Okazuje się, że chcąc znaleźć coś interesującego, nie musimy zapuszczać się aż tak daleko. Podczas gdy planety zewnętrzne naszego układu planetarnego, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun, mają spore szanse pozostawać na swoich stabilnych orbitach co najmniej kilka kolejnych miliardów lat, planety wewnętrzne to całkiem inna historia.

W jednej z możliwych wersji przyszłości za 1,26 miliarda lat dojdzie do upadku Merkurego na Słońce – w wyniku oddziaływań z innymi światłami orbita planety zostanie poddana perturbacjom, które doprowadzą do jej całkowitego zaburzenia. W innym scenariuszu za mniej więcej 862 miliony lat może dojść do kolizji Merkurego z Wenus. Jeszcze zanim się to stanie, bląkający się z dala od swojej orbity Merkury doprowadzi do zakłócenia ruchu Marsa, który zostanie wyrzucony poza granice Układu Słonecznego, na wieczną tułaczkę w międzygwiazdnej przestrzeni kosmicznej.

Oczywiście, we wszystkich wymienionych sytuacjach zmianom ulegnie również orbita Ziemi, zmuszona dostosować się do nowej konfiguracji, co według wszelkiego prawdopodobieństwa zakończy się całkowitą katastrofą. Eksperymenty te, w połączeniu z innymi kluczowymi odkryciami Laskara i jego kolegów, ujawniają pewną liczbę możliwości, które są dla nas prawdziwie przykre. Za kilka miliardów lat odległe dzisiaj światy, jakimi są dla nas Wenus i Merkury, staną się naszą nemezis, gdyż w wyniku zderzenia z Ziemią doprowadzą do kataklizmu, który można określić wyłącznie jako koniec świata takiego, jakim go znamy.

Czy te wyniki w ogóle są prawdopodobne? Oczywiście, przewidywalność trajektorii planet jest problematyczna, jednak możemy przynajmniej ocenić, jak wiele spośród licznych przyszyłych wariantów prowadzi do tak poważnych konsekwencji. W wypadku Merkurego szanse na to, że w ciągu najbliższych kilku miliardów lat jego orbita stanie się bardziej eliptyczna i wystawiona na ciosy, wahają się między 1 do 100 a 1 do 50. Może się wydawać, że to za mało, aby nas zaniepokoić, tym bardziej że rodzaj ludzki raczej nie będzie już wtedy istniał, by tego doświadczyć, jednak w tych prostych liczbach kryje się ogromna zmiana w naszej konceptualizacji mechaniki nieba. W rzeczywistości zdolność przewidywania mechaniki nieba jest daleko mniejsza, zamiast tego mamy więc surowe i niepokojące prawdopodobieństwo matematyczne, że nasz Układ Słoneczny, a także rzekomo nieprzemijalny splendor jego orbit planetarnych, zdoła przetrwać w przyszłości co najwyżej tak długo, jak długo istniał dotychczas, czyli od czasów formowania Słońca. Trudno znaleźć w tym pocieszenie.



Możliwe wersje przyszłości. Po lewej: nasz układ planetarny dzisiaj, orbity Merkurego, Wenus, Ziemi i Marsa. Po prawej: co może się zdarzyć za około 3,3 miliarda lat, z prawdopodobieństwem równym 1 procent. Orbita Merkurego zostaje zniekształcona w stopniu wystarczającym do zderzenia się z Wenus (trajektoria 1); orbita Marsa może przeciąć się z orbitą Ziemi (trajektoria 2); destabilizacja może skutkować zderzeniem Ziemi i Wenus (trajektoria 3).

W świetle tych faktów sądzę, że nie przesadzę, twierdząc, iż przekonanie o zegarowej naturze niebios wydaje się obecnie największą iluzją w historii nauki, spowodowaną naszym ograniczonym postrzeganiem świata oraz sposobem, w jaki budowaliśmy modele kosmosu. W rzeczywistości nawet najprostszy system – gwiazda i pojedyncza planeta – nigdy nie jest prawdziwie niezmienny. Inaczej niż zwykle zakładają to modele oparte na prawach Newtona, gwiazda nie jest pojedynczym punktem. To duży, warstwowy obiekt, który nie musi być doskonale sferyczny, a nawet jego masa nie będzie stała.

Z czasem gwiazda może pozbyć się części swojej materii, sącząc w przestrzeń kosmiczną cząstki i fotony, a jej zewnętrzna powłoka będzie szarpana i zniekształcana przez pływy grawitacyjne planet, nawet jeśli tylko nieznacznie. Także sama planeta nie jest zwartym punktem, ma kształt zbliżony, lecz najpewniej tylko zbliżony do doskonale sferycznego. Podobnie jak każdy duży kamienny lub gazowy obiekt, przypomina gigantyczną, złożoną z wielu warstw cebulę, z tym że każda warstwa ma inny skład, różniący się gęstością i lepkością.

Jak pisałem wcześniej, planeta może też gubić atmosferę oraz odczuwać pływy wywołane polem grawitacyjnym gwiazdy. Spowodowane tym ugniataniem łagodne tarcie z wolną uwalnia w kosmos energię, która raz wypromieniowana nigdy już nie zostanie odzyskana. Energia ta w ostatecznym rozrachunku wysysana jest z ruchu obrotowego planety oraz jej ruchu po orbicie. Z czasem zmianie może ulec nawet orientacja jej osi obrotu w przestrzeni. W sumie, czy nam się to podoba czy nie, „prosty” układ gwiazda–planeta będzie ewoluował.

Innym podstawowym przykładem wzajemnego ustawienia dwóch ciał jest nasz własny układ Ziemia–Księżyc. Nawet gdybyśmy jakimś magicznym sposobem zdołali izolować te ciała przed wpływami grawitacyjnymi Słońca, odkryjemy, że nic nie jest naprawdę trwałe. Kiedy w wyniku zamieszania, jakie panowało w embrionalnym stadium naszego układu planetarnego, doszło do wielkiego zderzenia i powstania Księżyca, okazało się, że krążą on po orbicie szybko wirującej Ziemi. Dzisiejszy 24-godzinny okres obrotu Ziemi wciąż jeszcze bez trudu wyprzedza 27-dniowy cykl orbitalny Księżyca, ale nie będzie to trwało wiecznie.

Pływy grawitacyjne, jakie Księżyc wywołuje w oceanach i masach lądowych naszej planety manifestują się rozległymi i niskimi wybrzuszeniami materii. Jednak podczas gdy te wybrzuszenia wznoszą się ku Księżycowi, niezmordowana Ziemia kontynuuje obrót, unosząc je z miejsca, nad którym wisi nasz satelita. W efekcie Księżyc doznaje nierównomiernego przyciągania grawitacyjnego. Mknące wybrzuszenia, zamiast ku Ziemi, ciągną Księżyc raczej wzdłuż trajektorii planety. W rezultacie nasz satelita wznosi się na wyższą orbitę, ale jednocześnie jego przyciąganie spowalnia ruch obrotowy Ziemi. W śmiesznie krótkiej skali czasowej człowieka to niezmiernie słabe efekty, chociaż możliwe do zmierzenia, toteż udało nam się przeprowadzić odpowiedni eksperyment.

Kiedy pod koniec lat sześćdziesiątych i na początku lat siedemdziesiątych zeszłego wieku powierzchnię Księżyca odwiedzili astronauty z misji Apollo, jedną z pozostawionych tam przez nich rzeczy były specjalnie zaprojektowane zwierciadła. Nachylone ku Ziemi zwierciadła te, a także ich przywiezione przez misje radzieckie odpowiedniki, zostały wykorzystane do odbicia promieni laserów i dokonania bardzo dokładnych pomiarów odległości Księżyca od Ziemi. To bardzo sprytna metoda pomiaru. Duża odległość oraz rozproszenie światła w atmosferze i na znajdujących się na powierzchni Księżyca lustrach sprawia, że do detektora wraca zaledwie jeden z każdyich stu tysięcy bilionów fotonów.

Dzięki precyzyjnej barwie i koordynacji impulsów laserowych nasze instrumenty elektroniczne są w stanie wychwycić ten słabutki sygnał zwrotny i ustalić czas jego przybycia. Dokładnie znamy też prędkość światła i potrafimy sobie poradzić z dodatkowymi wpływami chybotania orbity Księżyca oraz efektów relatywistycznych. W rezultacie umiemy przeliczyć całkowity czas podróży fotonu tam i z powrotem (około 2,5 sekundy) na pokonaną przez niego odległość. W ten sposób odkryliśmy, że każdego roku Księżyc oddala się od nas niemal o 4 centymetry albo o 0,000000008 procent jego obecnej odległości, a ziemską dobę wydłuża się o 0,0000015 sekundy.

To bardzo drobne zmiany, które jednak świadczą o tym, że układ nie jest niezmienny. Kroki tego orbitalnego tańca ulegają ciągłym modyfikacjom. Rzeczywiście, paleontologiczne zapisy pradawnych linii brzegowych oraz naniesionych przez przypyły w minerałów i skamielin dostarczają nam dowodów, że dawniej obrót naszej planety przebiegał inaczej. Wydaje się, że jakieś 600 milionów lat temu dobą na Ziemi trwała zaledwie około dwudziestu jeden godzin [125](#). Od czasów gdy fale obmywały plaże pradawnych oceanów, Ziemia spowolniła swój obrót o trzy godziny.

Zatem perfekcja równań Newtona, które opisują ruch planet, to pod wieloma względami skutek dokonania pewnych znaczących przybliżeń. Nawet podane przez Einsteina piękne uogólnienie tych równań nie wychwytiło kłopotliwych detali. Choć matematyka nadal rządzi

Wszelchświatem, czynienie przewidywań rzadko bywa proste, a to z powodu kumulacji efektów, które w pierwszej chwili możemy przeoczyć – oddziaływania n ciał, które mogą czasami doprowadzić do katapultowania planet, ich zderzenia lub zmiany porządku całego układu planetarnego.

Wszystkie te odkrycia z powrotem przywodzą nas do głównego problemu, jakim jest poszukiwanie prawdy o znaczeniu człowieka we Wszelchświecie. Otóż własności orbit planetarnych stanowią kolejny znacznik, który możemy wykorzystać do porównania naszego układu planetarnego z innymi. Właściwie fakt, że stabilność trajektorii planet jest iluzoryczna, otwiera przed nami nowe perspektywy, podobnie jak uświadomienie sobie, że orbity planet są eliptyczne, otworzyło przed Keplem niezliczoną liczbę ich możliwych konfiguracji.

Oznacza to, że istnieje kolejna żywotna cecha każdego układu planetarnego, dodatkowa własność, którą trzeba poznać. Za obserwowaną przez nas chwilową konfiguracją planet kryje się pytanie o to, jak ich orbity będą zachowywały się w przyszłości, czy też co się z nimi dzieło w przeszłości. Inaczej mówiąc, nie da się poznać układu planetarnego na podstawie pojedynczej migawki w czasie. To istna bestia, ewoluująca, zmieniająca się i potencjalnie chaotyczna.

Gdyby z tymi faktami zapoznano Kopernika, mógłby z miejsca porzucić próby skonfigurowania niebios. W końcu, skoro kolosalna rewolucja w postaci usunięcia Ziemi z centrum kosmosu nie wystarczy, by opisać rzeczywiste działanie Wszelchświata, to jak możemy mieć nadzieję na zrozumienie kiedykolwiek natury rzeczy? Jednak, szczęśliwie dla nas, ta dodatkowa własność to także wspaniała okazja, ponieważ może dostarczyć nam kolejnego niezwykle ważnego klucza do zaszerogowania naszego Układu Słonecznego.

W poprzednim rozdziale wprowadziłem cię do klubu planet niezwykle, obdarzonych zdumiewającą obfitością zróżnicowanych cech, w tym najwyraźniej nieskończoną liczbą kombinacji i permutacji orbit. Wskazałem również na przyczynę niektórych z tych konfiguracji: pełną zmianę i zawirowań przeszłość. Teraz zatoczyliśmy niemal pełne koło. Odkrycie, że nasz własny układ planetarny istnieje na krawędzi chaosu, przygotowało nas na powrót ku tym światom, egzoplanetom, ku poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie, co sprawiło, że się takie stały.

Odpowiedź ujawniła kolejną wskazówkę co do naszego statusu w całym tym planetarnym chaosie.

* * *

Chcąc zbadać balet egzoplanet, musimy ponownie odwołać się do nauki opartej na symulacjach, czyli modelu komputerowego oddziaływań grawitacyjnych między ciałami. Muszę wyznać, że należę do tego rodzaju osób, które ekscytują się różnego rodzaju ustrojstwami i gadżetami, zwłaszcza jeśli wydaje się, że zapewnią one doskonałe rozwiązanie jakiegoś dokuźliwego problemu. Nic nie jest w stanie zastąpić uczucia satysfakcji, jakie ogarnia cię, gdy stając w obliczu kryzysu domowego, wiesz, po które narzędzie sięgnąć do swojej skrzynki, gdzie zostało pieczołowicie umieszczone na wypadek takiej właśnie sytuacji. Takie momenty są okazją

do wysączenia uroczystej filiżanki herbaty oraz spalaszowania w filozoficznym nastroju ciasteczka, często w błogiej nieświadomości, że gdzie indziej, poza zasięgiem wzroku, psuje się już coś innego.

Niektóre narzędzia w nauce bywają równie satysfakcjonujące, nawet jeśli nie są wszechstronnym panaceum. Jedne z wyższych miejsc na tej liście, jak sądzę, zajmują programy komputerowe i systemy, które imitują dynamikę oddziaływań grawitacyjnych obiektów. Historia rozwoju tych zadziwiających symulatorów i maszyn liczących jest naprawdę fascynująca, jednak tę opowieść pozostawię na inną okazję, teraz chciałbym skupić się na sposobie, w jaki symulacje prowadzą do radykalnie nowej wizji wszystkich układów planetarnych, nie tylko naszego.

Gdy pierwszy raz bawiłem się jednym z tych kunsztownie skonstruowanych programów komputerowych¹²⁶, łatwo dostępnym dzięki staraniom utalentowanych specjalistów od dynamiki, nie mogłem doczekać się następnego ranka, kiedy będę mógł sprawdzić jego postępy. Paliłem się z niecierpliwością, byłem ciekaw, jak potoczyły się losy moich wyimaginowanych światów, jak teraz, po wielu elektronicznych cyklach, wyglądają ich orbity, jakich szkód doznały.

Była to taka budząca poczucie winy zabawa: kreślenie na ekranie historii każdej planety, kodowanie w prostych schematach i trajektoriach ich trwającego miliony lat, napędzanego grawitacją ruchu. Być może jest w tym nieco megalomanii, pokusa, by dzierżyć boską władzę nad całym układami planetarnymi, życiem i śmiercią światów – które sam stworzyłeś! – zamkniętych w ziarnku preparatu mikroskopowego.

Jakkolwiek był tego powód, pokusa jest silna, a tych, którzy poświęcili życie próbom sprostania wyzwaniu, jakim jest oswojenie nieskończonej liczby oddziaływań grawitacyjnych, otacza charakterystyczna, smakowita kultura naukowa¹²⁷. Dokonując symulacji, zdawałoby się, nieskończonego szeregu rzeczywistych i wyimaginowanych układów planetarnych, naukowcy mogą przetestować hipotezy, których w przeciwnym razie nie dałoby się zweryfikować. Co ważne, w ostatnim dziesięcioleciu część badaczy wykorzystywała symulacje do przesłedzenia zachowania hipotetycznego, świeżo powstałego, układu planetarnego.

Jak już wspominałem, sądzimy, że podstawowym mechanizmem prowadzącym do powstawania planet jest sklejanie lub koagulacja materii w wielkim, gazowo-pyłowym dysku, jaki otacza gwiazdę w jej wieku niemowlęcym. Jednak czas życia takich dysków jest stosunkowo krótki, niczym kilka ostatnich wirów pieniącej się wody, kiedy opróżniasz z niej wannę – tyle że to nie gwałtowny spadek w odpływ rury kanalizacyjnej, ale energia intensywnego promieniowania gwiazd jest tym, co je wykańcza. Powstające w takich dyskach planety tkwią mniej lub bardziej uwięzione, utrzymywane na swoich orbitach przez okalające je masy gazu i pyłu. Jednak, kiedy cała otoczka wygotuje się, planety odczuwają już tylko oddziaływanie grawitacyjne innych planet i mogą zacząć wytyczać w przestrzeni własne przysze trajektorie.

Jakuświadomiło sobie wielu naukowców, układy planetarne mogą w tej sytuacji przechodzić okres młodzieńczego chaosu¹²⁸, czy też niestabilności, wystarczająco silnej, by spowodować masową zmianę orbit, a nawet zniszczenie lub wyrzucenie całych światów. To coś w rodzaju prehistorycznej, ekstremalnej wersji chaosu, który w przyszłości stopniowo zacznie ogarniać Układ Słoneczny.

Może się wydawać, że to jedynie niemożliwe do sprawdzenia fantazje, jednak kiedy zaczęto

przeprowadzać coraz więcej symulacji komputerowych, by zbadać ogromną liczbę możliwych efektów planetarnej niestabilności, wyłonił się pewien przykuwający uwagę wzorzec. Niestabilne, młode układy planetarne w końcu stają się takimi samymi układami egzoplanetarnymi jak te, które rzeczywiście obserwujemy we Wszechświecie, z ich silnie eliptycznymi orbitami i gorącymi Jowiszami. Odpowiadają także za wyrzucanie światów w przestrzeń międzygwiazdą, co zgadza się z pewnymi dostrzeganymi przez nas wymownymi znakami.

Symulacja komputerowa takiego procesu przypomina magię. Weź tysiąc symulowanych układów, wrzuc je do elektronicznego kapelusza iluzjonisty, pozwól ich orbitom bez przeszkód ewoluować przez okres odpowiadający milionom lub setkom milionów lat, a potem spójrz, jakie konfiguracje planet przetrwały. Statystycznie rzecz biorąc, to, co zostało, doskonale odpowiada własnościom setki i tysięcy odkrytych dotąd układów egzoplanetarnych.

Można tę ideę ująć inaczej. Uznajmy, że młody niestabilny układ planetarny jest „gorący”, jak filiżanka herbaty lub kawy. I jak wszystko, co gorące, będzie stygł. Płyn w filiżance stygnie przez ucieczkę najgorętszych, najszybciej poruszających się cząsteczek i przez emisję energii pod postacią promieniowania podczerwonego. W niestabilnym układzie planetarnym „stygnięcie” przejawia się pod postacią wyrzucania niektórych planet w przestrzeń międzygwiazdą, zrzucania ich na centralną gwiazdę lub doprowadzania do ich zderzenia z inną planetą. Tak więc „gorący” układ z wieloma planetami staje się „chłodnym” układem z kilkoma planetami – tłoczna niestabilność młodości w końcu uspokaja się, przechodząc w przestronną stabilność wieku średniego.

Jak często zdarza się w naszej Galaktyce? Jak wiele układów dynamicznych było w młodości gorących? Wszystkie współcześnie prowadzone badania wskazują, że około 75 procent, czyli znakomita większość układów planetarnych przechodzi przez ten wczesny epizod poważnej niestabilności. Tak duży poziom nieporządku wzbudza zdumienie, jednak wydaje się, że bardzo dobrze odpowiada rzeczywistości. Wszechświat i Galaktyka nie tylko są wypełnione planetami, które krążą wokół gwiazd, ale większość tych planet egzystuje w układach, których obecna konfiguracja jest całkiem inna niż w chwili narodzin.

Przywodzi mi to na myśl atomistów starożytnej Grecji, którzy podejrzewali istnienie wielości światów. Tyle że ich stare idee trzeba teraz zmodyfikować, uwzględniając różnorodność ewolucji dynamicznej, od stanu gorącego do zimnego. Każdy układ planetarny ma własną unikatową historię, w której okresy burzliwe, kiedy wyrzuceniu lub zniszczeniu ulegają całe światy, przeplatają się z okresami spokoju. Jednak w tych nieliniowych, przypominających szturchanego kijem psa, mechanizmach orbitalnych nic nie jest tak naprawdę pewne i dzisiejszy spokój może być wstępem do jutrzejszego chaosu.

To jedno z najbardziej szokujących odkryć naukowych ostatnich dwóch dekad. Choć nie ma nic zaskakującego w tym, że niektóre układy przeszły epizody „gorącej” niestabilności orbitalnej, to już stwierdzenie, że dotyczy to więcej niż dwóch trzecich z nich, wymaga gruntownej zmiany paradygmatu, gdy chodzi o sposób, w jaki opisujemy planety. Takie zachowanie po części wynika z obserwowanej wszędzie obfitości planet, która dowodzi wydajności procesu ich powstawania. Im młodsze światy tłoczą się wokół nowych gwiazd, tym bardziej prawdopodobne stają się, że popadną w chaos, gdy zaczną odczuwać grawitacyjne szturchańce swojego planetarnego rodzeństwa.

Ta zmiana paradygmatu skłoniła nas do ponownego skupienia uwagi na własnym otoczeniu. Odkryliśmy w Układzie Słonecznym drobne muśnięcia chaosu. Niemniej jednak w porównaniu z wieloma innymi układami nasz wydaje się stosunkowo chłodny pod względem dynamicznym. Orbitę wszystkich najważniejszych planet są umiarkowanie eliptyczne, a ich rozmieszczenie raczej stabilne: mniejsze skaliste planety w systemie wewnętrznym, a większe w zewnętrznym.

Co nie znaczy, że nasz układ w młodości nie przeszedł pewnych zmian. Główna teoria¹²⁹ opracowana przez naukowców w celu wyjaśnienia obecnej konfiguracji planet olbrzymów i rozmieszczenia mniejszych ciał w pasie asteroid oraz w odległym pasie Kuipera odwołuje się do dużych zmian w rozmiarze orbit Urana i Neptuna. Właściwie zgodnie z tą teorią Uran i Neptun kiedyś zamieniły się miejscami, jako dwa światy, które emigrowały na zewnątrz, porzucając swoje pierwotne, znacznie ciaśniejsze konfiguracje. W wyniku tego przemieszczenia Uran skończył na obecnej orbicie, a Neptun przeciął jego trajektorię i oddalił się, stając się najdalszą planetą w układzie.

W tym samym czasie orbita Saturna mogła ulec lekkiemu przesunięciu na zewnątrz, do swojego obecnego położenia, a masywnego Jowisza nieco do wewnątrz. Podobnie jak w każdym układzie mechanicznym nie możesz poruszyć czegośkolwiek bez wymiany sił, czyli bez użycia jakiejś odmiany dźwigni. W tym wypadku częścią dźwigni, czy też wymiany, mogła być redystrybucja mniejszych obiektów – dziesiątek tysięcy lodowo-kamiennych asteroid, z których każda mogła zadać większym światom niewielkie grawitacyjne pchnięcie lub lekko je pociągnąć.

Takie orbitalne osiadanie mogło nastąpić jakieś 4 miliardy lat temu, zaledwie kilkaset milionów lat po rozproszeniu gazowo-pyłowego dysku protoplanetarnego. Ostatnie kuksańce grawitacyjnego przemeblowania pomogłyby w wysprzątaniu przestrzeni międzyplanetarnej z drobniejszych kawałków materii, jakie pozostały po utworzeniu planet. Jeżeli rzeczywiście taki był przebieg zdarzeń, to lokuje się on bardzo nisko na skali dynamicznej niestabilności, wpisując Układ Słoneczny raczej w kategorię miejsc ciepłych niż gorących.

Inną hipotezę na temat wczesnych etapów historii naszego układu planetarnego wysunął niedawno David Nesvorný¹³⁰, fizyk specjalizujący się w dynamice. Zgodnie z jego teorią Układ Słoneczny jest pod pewnymi względami bardziej aktywny i mniej niezwykły, czy też znaczący, niż się zdawało. W tej wersji młody Układ Słoneczny ma pięć planet olbrzymich zamiast czterech. Piątą planetą mógł być lodowy gigant o masie mieszczącej się gdzieś między Neptunem a Uranem, poruszający się po orbicie położonej za orbitą Saturna.

Oczywiście, powstanie takiego obiektu z otaczającej nasze nowo narodzone Słońce kłęistej masy pyłu i gazu jest całkiem prawdopodobne i może uczynić orbitalną historię naszego układu planetarnego nieco bardziej pikantną. Dokonywane przez Nesvornego symulacje dalszej ewolucji takiego układu zwykle prowadziły do sytuacji, gdy nasz piąty olbrzym otrzymuje od Jowisza grawitacyjne zwolnienie z obowiązku orbitowania i zostaje wyrzucony w przestrzeń międzygwiazdową. Uzyskiwane w wyniku takich symulacji ustawienie naszych planet często wykazuje dobre dopasowanie statystyczne do konfiguracji, którą obserwujemy dzisiaj. Inaczej mówiąc (i wbrew intuicji), możliwe, że ta dodatkowa planeta była właśnie tym, co zaordynowałby doktor. Posiadanie piątej planety olbrzymiej, obecnie zgubionej, zdaje się zwiększać prawdopodobieństwo, że nasz młody Układ Słoneczny z czasem będzie wyglądał tak jak obecnie.

To z pewnością interesujący zwrot i poważne przypomnienie, że nadal nie wiemy, co dokładnie wydarzyło się 4 miliardy lat temu w naszym własnym układzie planetarnym. Być może jego obecna, dość wyciszoną dynamikę zawdzięczamy gwałtowniejszej, gorętszej dynamice planet w przeszłości. Być może wygnaliśmy siostrzany świat w kosmiczną próżnię. Wśród planet również może obowiązywać brutalna obojętność doboru naturalnego.

Niemniej jednak cokolwiek wydarzyło się w Układzie Słonecznym w przeszłości, i tak miało stosunkowo łagodny przebieg w porównaniu ze zdarzeniami w większości układów planetarnych, a dzisiejsze względnie kołowe i grzeczne orbity naszych planet są tego odbiciem. Tym sposobem dochodzimy do sedna mojego wywodu, które jest jednoznaczne: architektura naszego Układu Słonecznego ujawnia swego rodzaju odcisk palca, który po raz pierwszy pozwala sformułować dość zdecydowaną opinię na temat stopnia jego unikatowości.

Najprostsze elementy tego odcisku palca to kształty orbit i ich orientacja w przestrzeni, a także położenie i różnorodność planet. Już sama konfiguracja planet zdaje się wskazywać, że Układ Słoneczny zalicza się do około 25 procent układów planetarnych, które nigdy w przeszłości nie przeszły fazy prawdziwego chaosu. Nasz układ nie zawiera również ciał o masie mieszczącej się w przedziale między masą Ziemi a masą lodowych olbrzymów, Urana i Neptuna. Masy tych planet to, odpowiednio, osiemdziesiąt i sto mas Ziemi. To znaczy, że między rozmiarami naszej małej skalistej planetki a ty mi planetarnymi gigantami istnieje jakaś luka.

Obecnie sądzimy, że planety z tego średniego przedziału, między super-Ziemią a małym Neptunem, zaliczają się do najliczniej występujących, możliwe, że nawet cztery lub więcej razy przewyższają liczebnie planety olbrzymie. Mimo to nie ma ich wokół Słońca i moglibyśmy takich światów nigdy sobie nie wyobrazić, gdyby nie fakt, że znaleźliśmy je wokół innych gwiazd. Najnowsze szacunki mówią, że ponad 60 procent¹³¹ innych układów kryje w sobie takie właśnie średniego rozmiaru światy.

Co prawda, niezwykle trudno jest połączyć te statystyki w sposób ścisły. Na przykład tak naprawdę w ogóle nie wiemy, czy niestabilność dynamiczna układów planetarnych wiąże się z ich skłonnością do formowania super-Ziem i mini-Neptunów. To jak z oglądaniem dużej liczby kwiatów w jednym łacie ogrodu. Może znalazły się tam przez czysty przypadek, a może jest ich taka obfitość, ponieważ niewidzialny ogrodnik poświęca załatkowi szczególną uwagę. Jednakże nie da się zaprzeczyć, że Układ Słoneczny jest pod tym względem nieco nietypowy, pozostając do pewnego stopnia odszczepieńcem, członkiem mniejszości.

Założmy, dla uproszczenia, że forma architektury orbitalnej i typy planet w układzie nie są ze sobą zbyt silnie powiązane. Takie założenie prawdopodobnie na pewnym poziomie jest błędne, jednak poczynienie tego rodzaju uproszczeń pozwoli uniknąć zagłębiania się w bardziej skomplikowaną analizę, która zapewne i tak nie zmieniłaby ogólnych wniosków. Tak więc, łącząc wszystkie dotychczasowe szacunki, dochodzimy do konkluzji, że żyjemy w układzie planetarnym, który należy do elitarnego klubu obejmującego najwyżej 10 procent całej populacji. Idąc dalej, możemy dodać do tej statystycznej receptury kolejne proste fakty.

Na przykład wspominałem, że większość gwiazd w naszej Galaktyce jest mniejsza niż Słońce

– około 75 procent z nich ma mniejszą masę. Gwiazdy te goszczą niezliczoną liczbę planet, które zdają się podlegać powszechnym zasadom dynamicznym oznaczającym gorącą młodość i chłodny wiek średni. Jeśli zatem wstępnie ciut bardziej scalimy nasze statystyki, możemy pokusić się o stwierdzenie, że nasz Układ Słoneczny zalicza się wręcz do klubu zrzeszającego najwyżej 2 do 3 procent populacji – należą do niego gwiazdy pewnego typu o określonym zestawie i uporządkowaniu planet. Nie jest to ścisły wywód matematyczny, ale powstał na podstawie prawdziwych liczb i stanowi kluczowy element naszych wysiłków w celu zrozumienia znaczenia człowieka w kosmosie. Podsumowując, musimy uznać, że nasz układ planetarny jest niezwykły.

Wspominałem również o planetach, na których powierzchni panują umiarkowane temperatury sprzyjające występowaniu wody w stanie ciekłym. Astronomowie uwielbiają odwoływać się do tej idei i mówić o znajdującej się wokół gwiazd „strefie nadającej się do zamieszkania”¹³² – obszarze, w którym temperatury orbitujących planet mogą mieścić się dokładnie między punktem zamarzania a punktem wrzenia wody. To kolejny czynnik poważnie redukujący liczebność klubu, do którego należy Ziemia i nasz Układ Słoneczny, to czynnik równoważny z żądaniem, by orbita danego świata znajdowała się w takiej, a nie innej odległości od jego macierzystej gwiazdy.

Jest to bardzo trudna do oszacowania populacja i nie lubię tego robić. W rzeczy wistości wynik zależy od całego mnóstwa czynników, takich jak skład chemiczny planet, ich atmosfera czy stabilność środowiska, o czym mówiłem w poprzednim rozdziale. Wciąż jeszcze staramy się zrozumieć podstawowe zasady rządzące klimatem na naszej własnej planecie. Uważamy, że 4 miliardy lat temu Słońce było o 30 procent słabsze¹³³ niż dzisiaj, a tymczasem istnieją dowody na to, że już wtedy na powierzchni Ziemi znajdowała się woda. Problem w tym, że nie całkiem rozumiemy, jak to możliwe. Być może już sama potężna mieszanina gazów cieplarnianych w atmosferze młodej Ziemi zdołała wymusić na jej powierzchni odpowiednią temperaturę, co nie zostawiło śladów w zapisach kopalnych. Niektórzy badacze sugerują nawet, że miliardy lat temu inne były kształt, rozmiar i własności optyczne chmur (tak, chmur). Takie chmury mogły sprawić, że Ziemia słabiej odbijała promieniowanie, absorbując więcej ogrzewającej ją energii słonecznej.

Mamy również coraz mocniejsze dowody na to, że woda znajdowała się kiedyś na Marsie, planecie okrążającej Słońce tuż poza strefą zapewniającą właściwą temperaturę. Z geologicznego punktu widzenia mogło to trwać stosunkowo krótko, być może zdarzyły się tam krótkie epizody wilgotności, niemniej jednak kiedyś panowały warunki zdecydowanie bardziej sprzyjające życiu niż dzisiaj.

Koniec końców, trudno jest oszacować niezwykłość naszego układu planetarnego w kategoriach temperatury środowiska. Powiedziałbym, że obecnie, przy naszym poziomie wiedzy, nie możemy podać żadnej wiarygodnej liczby odzwierciedlającej odsetek układów z planetami krążącymi w strefie właściwej temperatury, ponieważ same strefy są zmienne i kapryśne. Mimo to jest możliwe, że dorzucenie do obliczeń historii temperatury środowisk planetarnych, ułokowałoby Układ Słoneczny w klubie liczącym mniej niż 1 procent możliwych układów planetarnych.

To wciąż tylko statystyki. A jakie cechy tak naprawdę determinują unikatowość natury

danego układu? Dlaczego tak, a nie inaczej wyglądają szanse na to, aby układ uformował się jako dynamicznie gorący lub chłodny, z planetami określonego typu lub bez nich? I co wprawia w ruch zdarzenia, które prowadzą do powstawania takiego układu planetarnego jak nasz, a w szczególności takiej planety jak Ziemia?

Niewątpliwie część odpowiedzi kryje się w fizyce układów grawitacyjnych oraz we wzajemnym przyciąganiu gazów i pyłów, które wirują wokół gwiazdy niemowlęcej, gdy już wyłoni się z zimnej zupy materii międzygwiazdnej. Wydaje się jednak, że pewien duży fragment układanki, bardzo duży, trafił się przez ślepy, niczym niezmaczony przy padek.

Astronomowie mówią o procesie formowania planet, że ma charakter stochastyczny, co znaczy, że chociaż u jego podstaw leżą przewidywalne zjawiska fizyczne, wynik końcowy jest z natury niedeterministyczny; w procesie kryje się element losowy. Mogę podać ogólny opis tego, co się dzieje – krążąca po orbicie materia zderza się i skleja, powstałe obiekty oddziałują ze sobą, ulegają rozproszeniu, rosną i rozpadają się – jednak nie potrafię przewidzieć, co się stanie z każdym nowym światem czy każdym kawałkiem materii. To coś podobnego jak niemożność rozwiązania problemu n ciał.

Jeden z najlepszych przykładów mamy przed oczami niemal każdej nocy. Jak wspominałem wcześniej, Księżyc, czy też Luna, to prawdopodobnie wynik kosmicznego zderzenia prehistorycznej wersji Ziemi i innej planety w stanie embrionalnym. Teoria, która najlepiej pasuje do naszej obecnej wiedzy o naturze Ziemi i Księżyca, mówi, że około 4,5 miliarda lat temu proto-Ziemia zderzyła się z innym światem, rozmiarami zbliżonym do Marsa. To niefortunne ciało niebieskie, znane jako Thea¹³⁴, mogło się uformować na tej samej orbicie co Ziemia, lecz w pewnej od niej odległości.

Z biegiem czasu zmiany przyciągania grawitacyjnego mogły sprawić, że te dwa nowo powstałe obiekty zaczęły znajdować się coraz bliżej siebie, by wreszcie zderzyć się jeden z drugim, niczym para kolosalnych, toczących się głazów. W panującym chaosie szybko doszło do powstania Księżyca, który uformował się z połączenia fragmentów obiegającego Ziemię gruzu – mieszaniny tego, co kiedyś było Theą, z obtłuczonymi i zdartymi zewnętrznymi warstwami tego, co kiedyś było proto-Ziemią.

W formującym się układzie planetarnym takie zdarzenia wcale nie muszą być niezwykle. To ostatnie akty przemocy i orbitalnych przepychanek, które, jak sądzimy, odgrywają główną rolę w nadawaniu ostatecznego kształtu małym skalistym planetom. Jednak nie są również z góry przesądzone, stanowią część bardzo przypadkowego zbioru zdarzeń, w którym prawdopodobieństwo konkretnego wyniku jest trudne do przewidzenia. Ziemia i Księżyc mogą być stosunkowo powszechnym typem konfiguracji planeta-satelita, ale nigdy nie będzie on gwarantowany w jakimkolwiek szczególnym wypadku.

Ta właściwość to nic innego, jak kolejny aspekt nieliniowej, chaotycznej natury układu planetarnego. Tyle że pojawia się pewien czynnik dodatkowy: na wynik wpływają drobne szczegóły, które mniej mają wspólnego z regułami grawitacyjnymi, a więcej z tak przypadkowymi elementami, jak rozmiar i skład chemiczny planet. Na przykład fizyczne zderzenie dwóch obiektów nie zależy wyłącznie od tego, czy miną się wystarczająco blisko, ale też od ich obwodu: czy będą dostatecznie szerokie, by o siebie zahaczyć? A jeśli tak, to czy kolizja doprowadzi do spojenia ich w coś nowego, czy po prostu rozbije oba na mniejsze kawałki?

Stajemy więc wobec wielkiego wyzwania, czy odpowiedzialnością za powstanie takiej planety jak Ziemia obarczyć łańcuch przyczynowo-skutkowy, jaki łączy ją z zalegającymi pierwotnie w kosmosie obłokami gazu i pyłu? Bo tak się sprawy mają. Zarazem jednak trzeba podkreślić, że losowy i nieprzewidywalny charakter procesu prowadzącego do stanu końcowego nie czyni z niego automaty cznie stanu nieprawdopodobnego. Nie mogę należycie uwypuklić tego paradoksu, ponieważ spotkamy się z tą własnością jeszcze raz, kiedy będę mówił o czymś więcej niż tylko o układach planetarnych.

Jednym ze sposobów myślenia o tych aspektach ewolucji układów naturalnych jest wyobrażenie sobie, że stajesz u progu gęstego lasu, przez który musisz się przedostać. Możesz wybrać spośród niezliczonej liczby ścieżek i być może 90 procent z nich wyprowadzi cię w jakieś miejsce po drugiej stronie lasu, podczas gdy 10 procent sprawi, że będziesz się kręcił w kółko. Szanse na to, że ci się uda, są duże, co nie zmienia faktu, że nie masz innego wyjścia, jak wybrać jedną z dróg w sposób losowy. I nawet jeżeli będziesz miał szczęście i pokonasz las, za każdym razem wynurzysz się w nieco innym miejscu. Narodziny planet to podobny proces, a także, jak się przekonamy, być może to samo da się powiedzieć o procesie powstawania życia.

Możliwe, że przebrnąwszy bez szwanku przez ten skrócony opis dynamicznej natury mechaniki nieba, masz ochotę odetchnąć z ulgą. Obawiam się jednak, że istnieje kolejny aspekt układów planetarnych, który przydaje im jeszcze jedną warstwę złożoności. Niezależnie od tego, czy planety, asteroidy, komety i pył krążyły wokół pojedynczej gwiazdy czy układu kilku gwiazd, zawsze mieliśmy tendencję do myślenia o tych systemach jako o zamkniętych pudełkach. Jawiły nam się jako izolowane ekosystemy... może z wyjątkiem sporadycznego aktu wyrzucenia na zewnątrz jednej lub dwóch niepasujących planet. Okazuje się, że takie podejście może być błędne.

Gdy chodzi o inwazję fragmentów ciał stałych, to wewnętrzne obszary naszego układu planetarnego wydają się dość mocno zintegrowane. Być może czasami wdziera się tu trochę pyłu międzygwiazdowego, jednak jedynym znaczącym intruzem w naszym sąsiedztwie są pewnego typu komety. Wcześniej, omawiając strukturę naszego Układu Słonecznego, wspominałem o obłoku Oorta, uważanym za zewnętrzny rezerwuuar setek miliardów lodowych obiektów, wymiecionych na odległe powolne orbity w najświetniejszych latach młodości naszego systemu. Co jakiś czas jeden z tych fragmentów pradawnej materii wchodzi na trajektorię, która prowadzi do wnętrza układu. Tego rodzaju zdarzenia zasilają populację tak zwanych komet długookresowych. Obserwacje tych komet dowodzą, że obłok Oorta rzeczywiście istnieje i rozciąga się na odległość niemal jednego roku świetlnego, dobry kawałek drogi ku sąsiedniej gwiazdzie.

Niemniej jednak od dawna z tą hipotezą wiązał się pewien problem. Po prostu tych długookresowych komet jest zbyt wiele, by dało się je wyjaśnić jako pozostałości po formowaniu Układu Słonecznego. Obłok Oorta, zawierający jedynie materiał wyrzucony przez nasz rodzący się układ planetarny, nie mógłby zgromadzić tylu obiektów kometarnych, by uzasadnić to, co widzimy.

Zaobserwowana niespójność zastanawiała astronomów już od dłuższego czasu, aż niedawno

Hal Levison i jego koledzy naukowcy wysunęli pewną całkiem przekonującą teorię. Opiera się ona na czymś zupełnie innym niż to, z czym spotkałiśmy się do tej pory, odwołuje się bowiem do narodzin Słońca i jego planet w sąsiedztwie całej gromady siostrzanych gwiazd, dzisiaj rozproszonych w przestrzeni lub zagubionych gdzieś w Galaktyce.

Levison i jego koledzy zastosowali do problemu komputerową symulację oddziaływań grawitacyjnych, śledząc nie tylko trajektorie orbitalne planet wokół gwiazd w gromadzie, ale także tory należących do nich i przypominających obłok Oorta lodowych pozostałości. Odkryli coś doprawdy zdumiewającego. Ponieważ grupa rodzących się gwiazd jest bardzo zwarta, to, co się tam dzieje, przypomina jakąś szaloną, karykaturalną bijatykę, dobrze znaną miłośnikom filmów animowanych.

Wiele spośród krążących wokół poszczególnych gwiazd lodowych drobiazgów zostaje wymiecionych przez grawitację, formując wielki wspólny obłok, otaczający całą gwiazdną rodzinę – przypominałoby to wyolbrzymianą w kreskówkach chmurę pyłu, otaczającą walczące ze sobą postacie, z której okazjonalnie wyłania się fragment czy jej kończyzna lub wykrzyknik. Te lodowe bryły mogą jednak szybko ponownie stać się łupem gwiazd, które wędrując wewnątrz obłoku, chciwie pochłaniają wszystko, co się nawinie. Gwiazdy te chętnie jeszcze bardziej powiększą swoją kolekcję, zaciskając kurczowo wici grawitacji na lodowych odłamkach krążących wokół innego, mijanego w niewielkiej odległości, obiektu.

Cała ta szamotanina sprawia, że gwiazdy mają okazję zgromadzić w swoich obłokach Oorta dużo więcej materiału, niż gdyby trwały w doskonałej izolacji, wystarczająco wiele, by wytłumaczyć to, co widzimy w naszym Układzie Słonecznym. Nie mamy jeszcze pewności, czy tak właśnie było, ale jest to kuszące rozwiązanie problemu, który w przeciwnym razie pozostaje tajemnicą.

Jedną z konkluzji tych badań, o ile są poprawne, zasługuje na szczególne podkreślenie, ponieważ jest najważniejsza w świetle naszych rozważań nad znaczeniem człowieka w kosmosie – mówi ona, że aż 90 procent obłoku Oorta jest pochodzenia pozasłonecznego. Zewnętrzne obrzeża naszego układu *nie należą* do niego, znajdująca się w nich materia została raczej pożyczona albo skradziona w czasach szalonej młodości. Podobnie lodowe resztki w większości są już gdzie indziej, pożyczone albo ukradzione przez inne gwiazdy, ewentualnie zwyczajnie porzucone na pewną śmierć w przestrzeni międzygwiazdnej. Krótko mówiąc, Układ Słoneczny to przeciekająca łódź, która nabrała sporych ilości obcych śmieci.

Tym, co sprowadza ten materiał blisko naszego globu, są właśnie długookresowe komety, które potrafią dotrzeć w obręb orbity Jowisza, a nawet Ziemi. Kiedy już wędrują tak daleko w głąb Układu Słonecznego, zachowują się, jak na komety przystało: promieniowanie słoneczne zamienia znajdujące się w nich zmrożone substancje lotne w gaz, który wygotowuje się w przestrzeń międzyplanetarną, unosząc ze sobą także znajdujący się tam pył. Cały proces trwa od miliardów lat.

Jeżeli Hal Levison i jego koledzy mają rację, nasze środowisko lokalne regularnie zanieczyszczane jest związkami chemicznymi z innych układów planetarnych. Nie dość, że nasz Układ Słoneczny jest kapryśny, to jeszcze jego fizyczna zawartość może nie mieć nic wspólnego z materią rodzimego pochodzenia.

Wyobraź sobie przez chwilę, że Arystoteles albo Ptolemeusz, albo Kopernik, Kepler, Galileusz wydobyl na światło dzienne tego rodzaju fakty o otaczającym ich świecie. Ile rzeczy mogło wyglądać inaczej! Przede wszystkim ta nowo odkryta właściwość naszego układu planetarnego jeszcze mocniej podkopuje utrzymujące się przekonanie, że żyjemy w jakimś długo istniejącym lub doskonale dostrojonym miejscu. Być może znajduje się ono całkiem nisko na skali chaosu, jednak z całą pewnością nie najniżej, i wciąż ulega zmianom.

Widziane przez soczewki dynamiki orbitalnej nasze miejsce w kosmosie jest *zdumiewająco* inne, niż zakładał to którykolwiek z tych dawnych myślicieli i naukowców. Samo usunięcie Ziemi z centrum Wszechświata zaledwie musnęło powierzchnię zagadnienia, jakim jest poszukiwanie naszego znaczenia w kosmosie. Podróżujemy na niewielkiej drobinie, która unosi się na dzikim oceanie ścieżek i możliwości. Zarazem jednak nie jest to jakkolwiek stara drobina. Obecnie wiemy już, że pod pewnymi względami nasz Układ Słoneczny jest nieco nietypowy, i możemy poprzeć to odpowiednimi liczbami.

Oczywiście, można dowodzić, że całkowicie bez znaczenia jest fakt, iż nasza żerdź jest nietrwała. Życie człowieka odmierzane jest w rytmie całkiem innego zegara niż istnienie kosmosu. Nawet cała, trwająca 200 milionów lat, historia ewolucji ssaków to zaledwie krótkie мгnienie w porównaniu z długością życia gwiazd i układów planetarnych.

Mimo to świat, na którym pojawił się człowiek, nie był jałowy. Historia związków Ziemi i życia (jak się przekonamy) sięga niemal 4,5 miliarda lat. Bez tego tła żadne z nas nie mogłoby istnieć. Jednak ta lokalna historia biologiczna i chemiczna *również* jest nieliniowa, od czasu do czasu popada w chaos, w ostatecznym rozrachunku podlegając tym samym regułom matematycznym, które przyczyniły się do uszczuplenia stanu konta bankowego Henriego Poincaré.

Większość tej złożonej biochemicznej historii przebiega w innej warstwie naszego Wszechświata, ukrytej głęboko w mikrokosmosie. Właśnie tam powinniśmy się teraz udać, ponieważ chcąc znaleźć związek między naszym nietypowym Układem Słonecznym a istnieniem życia, musimy się upewnić, że rozumiemy, czym tak naprawdę jest życie i jaki jest jego związek z planetami i całym kosmosem.

113 Poincaré (1854–1912) nie był tylko matematykiem; osiągał znakomite wyniki we wszystkich, czego się podjął, w tym w fizyce i inżynierii. Większość źródeł podkreśla, że pracował szybko, poświęcając stosunkowo mało uwagi ewentualnym poprawkom lub zmianom w swojej pracy.

114 Czasopismo nadal istnieje i ma się dobrze, publikowane przez Instytut Mittag-Lefflera, placówkę badawczą Szwedzkiej Królewskiej Akademii Nauk

[115](#) Ten słynny problem fizyki matematycznej jest powszechnie obecny w literaturze badawczej. Istnieje pewna liczba (bardzo naciąganych) przykładów precyzyjnych rozwiązań dla szczególnych przypadków: zob. na przykład Christopher Moore, *Braids in Classical Dynamics*, „Physical Review Letters” 1993, nr 70, s. 3675–3679, a także cudowne animacje na stronie <http://tuvalu.santafe.edu/~moore/gallery.html>.

[116](#) Znakomity, krótki esej, nakreślający w porządku chronologicznym wysiłki Poincarégo i zawierający rozbudowane dygresje, wyszedł spod pióra Q. Wang, *On the Homoclinic Tangles of Henri Poincaré*, <http://math.arizona.edu/~dwang/history/Kings-problem.pdf>.

[117](#) Nagroda wynosiła 2500 koron, podczas gdy koszt ponownego druku „Acta Mathematica” to 3500 koron. Dla porównania, w owym czasie typowe roczne zarobki szwedzkiego naukowca sięgały 7000 koron.

[118](#) Wspaniały esej na temat późniejszej historii problemu n ciał wyszedł spod pióra F. Diau i nosi tytuł *The Solution of the n -body Problem*, „The Mathematical Intelligencer” 1995, nr 18, s. 6670.

[119](#) Jeżeli chcesz dowiedzieć się więcej na temat wielu, wielu aspektów chaosu i nieliniowości, sięgnij po wciąż jeszcze znakomitą książkę Jamesa Gleicka *Chaos: narodziny nowej nauki*, przeł. P. Jaśkowski, Zyski S-ka Wydawnictwo, Poznań 1996.

[120](#) Artykuł na ten temat: J. Laskar, *A Numerical Experiment on the Chaotic Behaviour of the Solar System*, „Nature” 1989, nr 338, s. 237–238.

[121](#) Zob. G.J. Sussman, J. Wisdom, *Chaotic Evolution of the Solar System*, „Science” 1992, nr 257, s. 56–62.

[122](#) Własność tę określa „wykładnik Lapunowa”, wielkość matematyczna, która wyznacza tempo, w jakim nieskończenie blisko położone trajektorie (czyli orbity) w układzie dynamicznym oddalają się od siebie – inaczej mówiąc, jak szybko układ staje się nieprzewidywalny. Wykładnik nazwano na cześć rosyjskiego naukowca Aleksandra Lapunowa (1857–1918).

[123](#) Nowsze prace badają również wpływ ogólnej zasady względności Einsteina na ewolucję orbit Układu Słonecznego, co prowadzi do korekty prostego prawa grawitacji Newtona. Zob. na przykład G. Laughlin, *Planetary Science: The Solar System's Extended Shelf Life*, „Nature” 2009, nr 459, s. 781–782, oraz J. Laskar, M. Gastineau, *Existence of Collisional Trajectories of Mercury, Mars and Venus with the Earth*, ibidem, s. 817–819.

[124](#) Artykuł ich autorstwa: *On The Dynamical Stability of the Solar System*, „The Astrophysical Journal” 2008, nr 683, s. 1207–1216.

[125](#) Zob. na przykład G.E. Williams, *Geological Constraints on the Precambrian History of Earth's Rotation and the Moon's Orbit*, „Reviews of Geophysics” 2000, nr 38, s. 37–59.

[126](#) Jest ich wiele, każdy zbudowany na własnym pomysśle, często o wyspecjalizowanym zastosowaniu (czy to do planet, czy to do galaktyk). Noszą nazwy w rodzaju „Mercury”, „SWIFT” czy „Hermit”.

[127](#) Nawet język dynamiki planet jest specyficzny. Ludzie rozmawiają o takich rzeczach jak rezonanse, precesja, libracje, elementy oskulacyjne, linie apsyd, argumenty perycentrum, harmoniki, zaburzenia sekularne i zawsze, zawsze jest mowa o chaosie. Wiele z tych określeń powstało w innych epokach, ich korzenie sięgają XIX i XVIII wieku, czasów Newtona, Laplace'a, Lagrange'a i innych umysłów matematycznych. To ciężka artyleria koncepcji matematycznych i zastosowanie jej do wyłaniających się z nauki o egzoplanetach coraz to nowych odkryć rodzi wiele niespodzianek (przy p. tłum.).

[128](#) Z problemem tym zmierzyło się wiele artykułów naukowych. Zob. na przykład F.C. Adams, G. Laughlin, *Migration and Dynamical Relaxation in Crowded Systems of Giant Planets*, „Icarus” 2003, nr 163, s. 290–306; M. Juric, S. Tremaine, *Dynamical Origin of Extrasolar Planet Eccentricity Distribution*, „The Astrophysical Journal” 2008, nr 686, s. 603–620.

[129](#) Teoria ta znana jest jako „model nicejski”, gdyż opracowano ją w Nicei, w Observatoire de la Côte d'Azur. Zob. na przykład K. Tsiganis i in., *Origin of the Orbital Architecture of the Giant Planets of the Solar System*, „Nature” 2005, nr 435, s. 459–461.

[130](#) Jego artykuł na temat piątej planety olbrzymiej nosi tytuł *Young Solar System's Fifth Giant Planet?*, „The Astrophysical Journal Letters” 2011, nr 742, s. L22–L27.

[131](#) Zob. na przykład A. Cassan i in., *One or More Bound Planets per Milky Way Star from Microlensing Observations*, „Nature” 2012, nr 481, s. 167–169.

[132](#) To temat mogący się poszczycić nadzwyczaj obszerną literaturą i wieloma fascynującymi pomysłami, a także brakiem jednoznacznego konsensusu w sprawie szczegółowych warunków, jakie musi spełniać planeta, by dało się oszacować, czy jest zdolna podtrzymać życie czy nie. Jednakże na początek dobrą pozycją czytelniczą będzie wnikliwa książka Jamesa Kastinga *How to Find a Habitable Planet*, Princeton University Press, Princeton 2010.

[133](#) Mimo stałego napływu prac ogłaszających jego rozwiązanie problem ten, znany jako „paradoks słabego, młodego Słońca”, wciąż pozostaje zagadką. Przegląd zagadnień związanych z tematem znajdziesz w artykule autorstwa G. Feulnera, zatytułowanym *The Faint Young Sun Problem*, „Reviews of Geophysics” 2012, nr 50, s. RG2006. Moje osobiste przeczucie: problem mogą rozwiązać lepsze (3D) modele klimatu dzięki dokładniejszemu opisowi klimatu planetarnego. Moja niepotwierdzona ulubiona teoria: być może orbita Ziemi wcale nie była taka, jak nam się wydaje.

[134](#) Według tak zwanej teorii wielkiego zderzenia, wyjaśniającej pochodzenie Księżyca, w tej samej odległości orbitalnej co młoda Ziemia krążyła protoplaneta ochrzczone mianem Thea (bogini wzroku i jaśniejszego nieba), obiekt rozmiarami zbliżony do Marsa. Być może poruszała się ona po orbicie w kształcie podkowy, tam i z powrotem wokół jednego z punktów stabilnych (punktów Lagrange’a), to wyprzedzając Ziemię, to pozostając za nią w tyle. W końcu ta orbitalna wędrówka doprowadziła ją do zderzenia z Ziemią. Chociaż obecnie jest to teoria przodująca, istnieją pewne sygnały sugerujące, że szkicowany przez nią obraz zdarzenia może być niekompletny. Zob. na przykład krótki artykuł przeglądowy: D. Clery, *Impact Theory Gets Whacked*, „Science” 2013, nr 342, s. 183–185.

[135](#) Raport z ich badań: H.F. Levison i in., *Capture of the Sun's Oort Cloud from Stars in Its Birth Cluster*, „Science” 2010, nr 329, s. 187–190.

ROZDZIAŁ 5

Cukier i przyprawy

Może zdumiewać fakt, że do bardzo, bardzo niedawna wiedzieliśmy zapewne więcej o Wszechświecie poza atmosferą Ziemi niż o niezwykle złożonym charakterze biologicznego świata na naszej planecie. Teraz jednak, cztery stulecia po wynalezieniu teleskopu oraz mikroskopu, po dokonaniu pierwszych obserwacji mikroświata przez Antoniego van Leeuwenhoeka, zasłona powoli się unosi. Tuż pod naszym nosem znajduje się inny, ogromny świat, ukryty wymiar, na co dzień całkowicie dla nas niewidoczny – złożony, rojny świat cząsteczek, błon i komórek, budujących organizmy żywe. W tym dziwnym, lecz cudownym miejscu znajdziemy jedno z najwspanialszych wskazówek dotyczące związków między życiem a podstawowymi własnościami kosmosu.

Daleko nam do pełnego zrozumienia ziemskiego mikrokosmosu, ale udało się już poznać wiele jego istotnych cech. Pierwsza z nich dotyczy również biologicznego świata makroskopowego. Sądzymy obecnie, że istnieją trzy główne domeny ziemskich organizmów żywych: bakterie, archeony („stare”) i eukarionty. (Wciąż toczy się spór, gdzie należy umieścić wirusy, a nawet o to, czy są one organizmami żywymi, chwilowo więc odłożymy je na bok). Te trzy formy życia są z łatwością rozpoznawalne na podstawie budowy ich komórek, jak też różnic w zakresie kodów genetycznych.

W największym skrócie: bakterie i archeony są „prostymi”, małymi organizmami jednokomórkowymi. Mogą przetrwać w pojedynkę, ale znacznie częściej funkcjonują w koloniach. Ich materiał genetyczny jest dość luźno upakowany, a komórki na ogół nie zawierają żadnych dodatkowych, bardziej złożonych struktur wewnętrznych, nazywanych organellami. Natomiast komórki eukariontów są dużo większe i mają bardziej złożoną budowę, a materiał genetyczny jest bezpiecznie zamknięty w jądrze. Jak omówimy to później bardziej szczegółowo,

najwidoczniej proces ewolucyjnie poprzedzający wykształcenie symbiozy (współpracy dwóch lub więcej różnych organizmów) przekazał eukariontom w spadku szereg dodatkowych zdolności, w tym wydajne mechanizmy wytwarzania energii i wspaniałą sztukę wielokomórkowości. Ludzie i wszystkie zwierzęta, rośliny oraz owady, a nawet proste grzyby należą do eukariontów. Jednak my, eukarionty, pozostajemy w poważny sposób zależni od symbiotycznych partnerów należących do królestwa jednokomórkowców, o czym przekonamy się, gdy poddamy analizie ludzki mikrobiom.

Proste mikroorganizmy jednokomórkowe (zbiornie określane jako prokarioty) reprezentują najstarsze formy życia na naszej planecie. Bakterie mają tylko kilka mikrometrów długości. Przybierają najróżniejsze kształty, mogą wyglądać jak kulki, rurki, laski lub spiralki. Czasem poruszają się dzięki podobnym do bicia, wirującym ogonkom nazywanym wiciami. Są bardzo zróżnicowane. Członkowie innej starożytnej domeny, równie małe archeony, dali nam lekcję skrajnej pokory¹³⁶. Aż do końca lat siedemdziesiątych XX wieku nie dostrzegaliśmy w nich prawdziwie odrębnej formy życia, zakładając, że są po prostu innym rodzajem poruszającej się bakterii. Tymczasem wcale tak nie jest. Mają wiele całkowicie odmiennych struktur komórkowych, a nawet ich wici jest zbudowana inaczej niż u bakterii. Wykazują zdolność „żerowania” w niewiarygodnie szerokim zakresie warunków środowiskowych. Dokonują tego przez pochłanianie nieprzetworzonych, prostych związków chemicznych – co stanowi jeszcze jeden dowód na poparcie tezy, że ich rodowód sięga daleko, daleko w przeszłość, do czasów, gdy jedynym dostępnym pożywieniem była materia nieorganiczna.

Jakże łatwo można wpaść w pułapkę myślenia, że skoro organizmy te są tak starożytne, to muszą być prymitywne. Nic bardziej mylnego! Każdy mały osobnik jest arcydziełem skomplikowanej naturalnej maszynierii. Nawet ich pozornie proste wici napędzane są przez wyrafinowany molekularny odpowiednik silnika elektrycznego, wykonującego setki obrotów na minutę. Jak się przekonamy, pełny zakres ich zdolności wciąż się rozszerza.

Poza tym jest ich bardzo dużo. Nasze najnowsze oszacowania wskazują, że na Ziemi znajduje się ponad milion bilionów bilionów (10^{30}) organizmów jednokomórkowych¹³⁷. Ich genetyczne zróżnicowanie jest oszałamiające – można wyróżnić co najmniej dziesięć milionów odrębnych gatunków, prawdopodobnie jest ich jednak więcej. W ostatnich trzydziestu, czterdziestu latach odkryliśmy, że wiele tych mikroorganizmów doskonale radzi sobie w naturalnym środowisku, którego my nie tolerujemy, w miejscach charakteryzujących się ekstremalnie wysoką temperaturą, ogromnym ciśnieniem lub toksycznością, a czasem mających wszystkie te trzy cechy. Ta wytrzymałość pozwala mikrobowym formom życia egzystować niemal w każdym najgłębszym nawet zakamarku, jakiej planeta ma do zaoferowania, niezależnie od tego, czy charakteryzują go umiarkowane czy wrogie warunki. Organizmy te są najbardziej zróżnicowane i zdedykowane najliczniejsze na Ziemi, ale stanowią też znaczny odsetek planetarnej biomasy.

Większość tej hordy mikroorganizmów nie egzystuje na powierzchni planety. Pełno ich w środowisku morskim, zwłaszcza w niższych partiach oceanów. Głęboko, na samym dnie, osady i powierzchnia skał stanowią praktycznie jedno wielkie skupisko życia, zajmujące 70 procent planety. Duża część żyje w rozproszeniu, bez pośpiechu, ale w pobliżu ciągnącego się wokół całego globu, długiego łącznie na niemal 60 000 kilometrów wulkanicznego ryftu oceanicznego

organizmy te tworzą wielkie społeczności, niczym kwitnące oazy. Na kontynentach zasiedlają glebę i lód, a także mikroskopijną dżunglę pęknięć i szczelin w skorupie ziemskiej. Dowody ich istnienia znaleziono nawet w szklistych bazaltach młodych stożków wulkanicznych, gdzie żerują bezpośrednio na skałe.

Jeśli kogoś zapytano by zaledwie sto lat temu, co stanowi większość ogółu organizmów żywych na Ziemi, w odpowiedzi zapewne zostałyby przywołane rośliny lub owady, lecz z całą pewnością nie bakterie ani nie milion bilionów bilionów komórek mikroorganizmów, które, jak teraz wiemy, zamieszkują głównie ukryte przed wzrokiem strefy pod powierzchnią planety. Tymczasem ta rosnąca w szybkim tempie i wszechobecna populacja jest kluczem do istnienia ludzi na Ziemi i stanowi istotną wskazówkę w kwestii naszego znaczenia. To bakterie i archeony skrywają sekret rozwoju życia na Ziemi, to one dopracowały do perfekcji pozyskiwanie energii i surowców, budowanie struktur biologicznych i wykorzystywanie najbardziej zdumiewających procesów chemicznych, jakie znamy. Właściwie najbardziej zauważalne aspekty naszego świata – od atmosfery, przez oceany do chemii skał i gleby – były bezwiednie, lecz błyskotliwie odmieniane przez te same stworzenia na przestrzeni ostatnich 4 miliardów lat.

* * *

Nie sposób zrozumieć ogromną skalę integracji organizmów żywych w system obejmujący całą planetę bez zmiany nastawienia, odejścia od ciasnych poglądów na temat natury życia na Ziemi. Dla mnie taki zwrotny moment nadszedł w 2008 roku. Stało się to po przeczytaniu w „Science” artykułu, którego autorami byli biolog i oceanograf biologiczny Paul Falkowski oraz mikrobiolodzy morscy Tom Fenchel i Edward Delong. Tytuł artykułu brzmi: *Silniki mikrobiologiczne, które napędzają biogeochemiczne cykle Ziemi*, i w swej prostocie skrywa niezwykłą głębię poruszanego zagadnienia¹³⁸.

Czym są te „silniki mikrobiologiczne”? Z punktu widzenia mechaniki większość ma formę złożonych wiązań cząsteczek znanych jako białka. Z lekcji biologii wiemy natomiast, że białka zawierają podobne do ogniw łańcucha sekwencje i zwarte zbiory prostszych cząsteczek nazywanych aminokwasami. Zestaw aminokwasów istotnych dla ziemskiej biochemii składa się z dwudziestu różnych struktur cząsteczkowych, z których każda zawiera od dziesięciu do dwudziestu siedmiu atomów takich pierwiastków, jak węgiel, wodór, tlen, azot i siarka. Są niczym klocki lego – to podstawowe cegiełki budulcowe komórek i kodu genetycznego, wykorzystywanego przez wszystkie organizmy żywe do przenoszenia instrukcji, jak elementy budulcowe łączyć ze sobą.

Białka, które życie buduje z aminokwasów, są wołami roboczymi biochemii. Mogą działać jako katalizator reakcji chemicznych, mogą też łączyć się ze sobą w większe struktury. Jeśli połączą się w coś, co znane jest pod nazwą „multimerycznych kompleksów białkowych”¹³⁹, stają się w pełni funkcjonalnymi maszynami molekularnymi – wyrafinowanymi dziełami

naturalnej inżynierii, wytworzonymi na drodze bezustannej selekcji i ewolucji. Wykorzystują je wszystkie formy życia. U pewnej jednokomórkowej formy mikrobiologicznego życia białka mogą stanowić nawet 50 procent suchej masy organizmu.

Przy czyną, dla której niektóre z tych opartych na białku struktur zasługują na miano „silnika”, jest to, że są zaangażowane w główne funkcje metabolizmu – wytwarzanie użytecznej energii chemicznej i syntezę nowych związków, czyli procesy, które napędzają wszystkie żywe organizmy.

I tu znowu docieramy do podstaw szkolnego kursu przyrody... Co jest paliwem? Co napędza te silniki? Ostatecznie wszystko sprowadza się do ruchu i przenoszenia dwóch najbardziej fundamentalnych jednostek fizycznych – elektronów i protonów. Chemia procesów życiowych podtrzymywana jest przez wymianę i przepływ tych elektrycznie naładowanych cząstek w reakcjach utleniania i redukcji.

Reakcje te czasami zachodzą samoistnie, gdy odpowiednie cząsteczki znajdują się dostatecznie blisko siebie i otrzymają odpowiedni zastrzyk energii. Na przykład w obecności wyższych temperatur metan może spalać się w tlenie. To reakcja, którą każdy mógł obserwować w kuchni podczas gotowania na gazie albo w szkolnej pracowni chemicznej w trakcie ćwiczeń z palnikiem Bunsena. Końcowy efekt jest taki, że atomy węgla i wodoru wiążą się z tlenem, tracąc przy tym elektrony. (W zasadzie termin „utlenianie” jest odrobinę archaiczny – w reakcji tego typu, tak naprawdę, atomy tracą lub wymieniają elektrony). Wymiana cząstek obdarzonych ładunkiem elektrycznym oznacza, że dochodzi do przepływu energii, którą można wykorzystać do zasilania innych procesów.

Jednak nie wszystkie reakcje są tak spontaniczne, czasem konieczna jest dodatkowa zachęta. Oto czym zajmuje się życie: jego silniki molekularne wykorzystują zachodzące w środowisku reakcje, katalizują je, wydobywają część energii elektrycznej, aby spożytkować ją do własnych celów, a często magazynują w innych cząsteczkach, które transportują ją do innych miejsc komórki lub do innych komórek. To właśnie stąd bierze się energia zasilająca ziemskie organizmy żywe. Tak naprawdę silniki molekularne nie tylko wykorzystują reakcje, fizycznie gromadzą paliwo chemiczne i wpływają na środowisko w taki sposób, aby reakcje mogły zachodzić – one *metabolizują*.

Jest w tym jednak haczyk, całkiem spory haczyk. Wszystkie takie reakcje chemiczne, polegające na przepływie elektronów lub protonów, prowadzą do przekształcenia zestawu substratów w zestaw produktów. W takim razie, jeśli Ziemia ma do zaoferowania życiu ograniczony zasób aktywnych chemicznie surowców, to z czasem muszą one ulec wyczerpaniu. Tymczasem zaś planeta nie jest statyczna. Burzliwa aktywność geofizyczna, od erupcji wulkanicznych po ruchy płyt tektonicznych, zapewnia recykling osadów i wchodzących w ich skład związków chemicznych, wyrzucając je ponownie na powierzchnię, a zachodzące w atmosferze pod wpływem światła słonecznego reakcje chemiczne bez przerwy dostarczają świeżych składników.

Problem w tym, że procesy te są dość powolne, zatem skuteczne uzupełnienie zapasów w chemicznej spizarce może potrwać miliony lat. Życie pojawiło się na Ziemi co najmniej 3,5 miliarda lat temu i przetrwało do dzisiaj, toteż musiało znaleźć inny sposób kontynuowania bytu, gdy Ziemia niespiesznie realizowała swoje posunięcia... i znalazło. Czytając relację z badań, jakie przeprowadzili Falkowski, Fenchel i Delong, doznałem objawienia. Ich artykuł

objaśnia, w jaki sposób silniki molekularne ewoluowały do postaci niezwykle skomplikowanego systemu, który umożliwia mikroorganizmom katalizowanie rozmaitych reakcji redukcji i utleniania w kilku *samopodtrzymujących* się cyklach. Innymi słowy, silniki molekularne pełnią funkcję podpałki dla całego łańcucha powtarzających się reakcji chemicznych, które bez ich interwencji przebiegałyby powoli albo nie zachodziłyby w ogóle.

W wyniku metabolizmu pierwiastki takie jak wodór, węgiel, azot, tlen i siarka bezustannie krążą tam i z powrotem pomiędzy cząsteczkami a środowiskiem. W miarę upływu czasu struktura chemiczna skorupy ziemskiej i oceanów jest zmieniana i przetwarzana w coś, co nigdy nie zaistniałoby bez udziału życia. Tym zajmuje się biogeochemia. Niemal całe środowisko planety, począwszy od tlenu, którym oddychamy, po skład gleby pod naszymi stopami, jest rezultatem równowagi wszystkich tych powiązanych ze sobą i zależnych od siebie procesów cyklicznych. Oczywiście, jesteśmy częścią tego systemu. Życie, które reprezentujemy, należy do domeny eukariontów, charakteryzujących się dużymi, złożonymi komórkami, które najwyraźniej są wynikiem różnych epizodów endosymbiozy – asymilacji maszyny z wcześniejszych, czysto symbiotycznych związków pomiędzy organizmami jednokomórkowymi. Życie oparte na komórkach o złożonej budowie bazuje niemal wyłącznie na oddychaniu tlenem i rozmaitych zasobach energii uzyskiwanych z cząsteczek związków węgla. To czyni nasze łąkące tlenu ciała istotnym elementem obejmującego całą planetę systemu cykli metabolicznych.

* * *

Te przepłatające się i samopodtrzymujące się cykle nie tylko stanowią klucz do zrozumienia związku każdego życia z fizyczną i chemiczną strukturą Wszechświata, lecz także umożliwiają podjęcie próby umiejscowienia nas samych w szerszym kontekście. Liczba tych procesów metabolicznych jest skończona – przynajmniej tych, które zachodzą obecnie na Ziemi. Zasadniczo mogłyby zachodzić również inne rodzaje reakcji chemicznych, jednak trwająca miliardy lat ewolucja doprowadziła do wyłonienia tego konkretnego zestawu.

Pomocne jest myślenie o tych metabolicznych przepisach jako o różnych kombinacjach molekularnego „paliwa” z molekularnymi utleniaczami, które „spalają” to paliwo¹⁴⁰. Najbardziej znane ścieżki metabolizmu wyznaczają takie procesy, jak oddychanie tlenowe, fermentacja, wiązanie azotu, fotosynteza tlenowa i fotosynteza beztlenowa. Inne zdają się bardziej egzotyczne: oddychanie siarczanowe, oddychanie azotanowe, a nawet oddychanie oparte na redukcji żelaza i manganu. Są bakterie i archeony, które specjalizują się w jednym z procesów metabolicznych albo wykorzystują kilka z nich. Na przykład silnik molekularny we wnętrzu pewnego gatunku archeonów potrafi łączyć dwutlenek węgla (utleniacz) z wodorem cząsteczkowym (paliwo), wytwarzając metan i wodę. Archeony te są też w stanie rozrywać cząsteczki kwasu octowego, czego produktami są metan i dwutlenek węgla. Większość dostępnego dla ludzi metanu i (bądźmy szczerzy) wytwarzanego przez nich oraz wiele gatunków zwierząt, pochodzi od tych maleńkich, pracowitych archeonów. Ten rodzaj procesów metabolicznych określa się mianem

metanogenezy¹⁴¹.

Ponieważ chemia węgla jest absolutną podstawą życia na Ziemi, dla globalnej biosfery najważniejsze są reakcje wiązania węgla, dzięki którym jego proste nieorganiczne substraty, takie jak dwutlenek węgla, przekształcane są w organiczne związki chemiczne. Ogólnie rzecz biorąc, odkryliśmy, że można wyróżnić dziesięć głównych procesów chemicznych, które, jak sądzimy, określają metaboliczny profil życia na Ziemi. Reprezentują one ogół sposobów pozyskiwania przez wszystkie organizmy energii elektrycznej i surowców.

Jest czymś cudownym sposób, w jaki wszystkie te procesy funkcjonują w obrębie zagnieżdżonego systemu cykli, który jest wspólny dla wszystkich gatunków i rozpowszechniony na całej planecie¹⁴². Na przykład silniki molekularne, które pewne archeony wykorzystują do wytwarzania metanu, u innych archeonów i bakterii mogą być przełączone na tryb pracy w przeciwnym kierunku. Pozyskują one energię z rozkładu metanu, a produktami tej reakcji są dwutlenek węgla i wodór. To, co dla jednego jest odpadem, dla innego staje się pokarmem.

Większość pozostałych procesów jest w podobny sposób odwracalna. Jeśli nie istnieje jeden gatunek organizmów mikrobiologicznych, którego przedstawiciele mieliby maszynę odpowiednią do odwrócenia działań innego gatunku, to wystąpi zespół różnorodnych interakcji, prowadzących do pojawienia się wielu różnych gatunków, realizujących odwrotny proces krok po kroku. Biorące w tym udział organizmy nie muszą nawet żyć blisko siebie, ani w pojęciu dystansu w przestrzeni, ani w rozumieniu odstępów w czasie. Na przykład metan wytworzony gdzieś na planecie przez jedną grupę organizmów może znaleźć całkowicie odmiennych odbiorców zupełnie w innym miejscu i o innej porze roku.

Brzmi to dość podejrzanie, jak maszyna perpetuum mobile, w której jeden organizm wytwarza pożywienie dla drugiego, ten z kolei przekształca je z powrotem w produkt użyteczny dla pierwszego, a przy okazji jeszcze pozyskiwana jest energia. Mogłoby tak być, jednak ów obejmujący całą planetę metabolizm nie jest układem zamkniętym. Napędzany jest przecież przez dwa wspomniane wcześniej źródła energii. Po pierwsze, wewnątrz Ziemi jest wciąż bardzo gorące, przechowuje energię z gwałtownych procesów, które doprowadziły do ukształtowania planety, a część energii pochodzi też od promieniotwórczych domieszek – w efekcie do powierzchni dociera średnio od 30 do 45 bilionów watów energii geotermalnej i geochemicznej. Po drugie, powierzchnia absorbuje energię słoneczną w ilości około 90 000 bilionów watów. Taki wkład energii z nadwyżką pokrywa wszelkie braki wynikające ze strat w metabolicznych cyklach życia.

To piękny system, ale zrozumienie go stanowi tylko wstęp do postawienia pytania, w jaki sposób ta mikrobiologiczna inżynieria wyewoluowała, a w szczególności jak udało jej się przetrwać zmienne koleje losu, jakich doświadczało środowisko planety w ciągu ostatnich 3–4 miliardów lat. Część odpowiedzi musi kryć się w tym, jak stosunkowo niewielki zestaw silników molekularnych, głównie kompleksów białkowych, został zakodowany w materiale genetycznym jednokomórkowych organizmów mikrobiologicznych.

Na podstawie badań geologicznych, analizy chemii materiałów skalnych, jak też badań genetycznych nabraliśmy przekonania, że większość kodu genetycznego tych maszyn jest bardzo stara. Niektóre zostawiły swoje odciski w kamieniu, dosłownie w postaci warstw w skałach, wytworzonych przez całe ekosystemy, które niegdyś zmieniły równowagę chemiczną ziemskich

oceanów i atmosfery. Wszystkie odcisnęły swe piętno również na sekwencjach kodu genetycznego współczesnych organizmów żywych.

Kilka silników wymaga znacznej informacji genetycznej do zakodowania ich budowy. Fotosynteza tlenowa, na przykład, jest najbardziej skomplikowanym znanym nam naturalnym procesem przetwarzania energii, angażującym wielorakie grupy molekularne, opisywane przez ponad sto genów. Tymczasem mamy dowody, że fotosynteza znajduje się w arsenale metabolizmu co najmniej od 3 miliardów lat¹⁴³. Tak zaawansowany mechanizm molekularny musiał ewoluować na wczesnych etapach rozwoju Ziemi.

Zrozumienie pochodzenia wszystkich tych procesów metabolicznych jest kluczem do uzyskania odpowiedzi na pytanie, skąd wzięło się życie. Zagadnienie to wciąż spowija mrok tajemnicy. Nie znaczy to, że nie ma żadnych teorii lub hipotez. Na przykład niektórzy naukowcy utrzymują, że istnieje uderzające podobieństwo między gradientami chemicznymi i elektrycznymi w ścianach komórkowych a tymi spotykanymi w stanach nierównowagi chemicznej oraz mikroskopowych strukturach mineralnych w głębinowych systemach kominów hydrotermalnych¹⁴⁴. Mogłoby to wskazywać na potencjalne nieorganiczne początki życia – mówiąc inaczej, miałyby to być wzorce zbudowane wyłącznie na bazie geofizyki i geochemii.

Sugestywne powiązania tego typu między wczesnym życiem a niebiologicznymi strukturami mineralnymi i chemią są intrygujące, jednak jak dotąd, nie mamy niezaprzeczalnego dowodu na autentyczność naszych domysłów. Inne pomysły obejmują liczne etapy wczesnej chemii organicznej, sieci reakcji aminokwasów katalizowanych w środowisku wodnym przez pewne pierwiastki, na przykład bor i molibden. W takich reakcjach łańcuchowych mogły powstać pierwsze podstawowe komponenty biologiczne, od tłuszczów po struktury rybosomowe (wspomagające syntezę białek).

Tak naprawdę fragmenty ziemskiej biologii mogły wyłonić się z wielu źródeł. W takim wypadku musimy zrozumieć, w jaki sposób użyteczne biologicznie składniki molekularne mogły się łączyć mimo odmiennego pochodzenia i tworzyć coś bardziej wytrzymałego. Na szczęście wskazówek może dostarczyć sama natura.

Organizmy mikrobiologiczne (zakładamy, że również ich przodkowie) słyną z czegoś, co określa się mianem poziomego transferu genów¹⁴⁵ – wymiany fragmentów materiału genetycznego pomiędzy gatunkami. (Przypomina to trochę wymianę wizytówek lub prototypów pomysłowych urządzeń). Efekt jest taki, że detektywistyczna praca polegająca na śledzeniu, gdzie, kiedy i w jaki sposób pojawiły się konkretne geny, może być ogromnie utrudniona. To rozwiązałe zachowanie ma natomiast jeden niezwykle ważny skutek, który musiał w bezpośredni sposób ukierunkować historię rozwoju życia. Dzięki szeroko rozpowszechnionemu współdzieleniu genów najwyraźniej udało się osiągnąć to, iż w kategoriach najważniejszych genów wszystko jest niemal wszędzie.

Jeśli wybrać się łodzią w głębinę oceanu, pobrać próbki zimnej wody i zabrać je do laboratorium, zazwyczaj odkryje się w nich rodzaje bakterii i archeonów, które niemal na pewno nie egzystują na powierzchni morza. Na przykład można znaleźć tak zwane termofile, organizmy, które do metabolizmu i rozmnażania potrzebują bardzo wysokich temperatur. Może dostrzeże się też jakieś inne dziwne organizmy. Nie ma znaczenia, jak nieprawdopodobne miejsce w zimnym oceanie wybrały sobie do egzystencji te formy życia – i tak znajdzie się je w próbie.

Niemal w każdym miejscu na Ziemi napotka się taki sam zestaw genetyczny mikrobiologicznej diaspory. Przedstawiciele najczęściej występujących tyków zwykle są obecni nawet w sytuacji, gdy nie lubią warunków środowiska. Są wyjątki. Najnowsze badania sugerują, że na obszarach podbiegunowych może znajdować się pewien gatunek bakterii, który w ogóle nie występuje w innych rejonach Ziemi. Jednak takie ograniczenia nie zmieniają faktu, że mikrobiologiczne populacje zasiedlają bardzo szeroki zakres krain geograficznych.

To ma sens. Małutkie organizmy łatwo rozpraszają się i przemieszczają wokół globu drogą powietrzną lub wodną, mają bardzo dużo czasu na rozsianie się w niemal każdym zakątku. Co ważne, to nie tylko mikroorganizmy rozsiewają się po całym świecie – wraz z nimi rozprzestrzenia się zestaw genów, zawierający instrukcje budowy metabolicznej maszyny molekularnej. Ta kluczowa grupa kodów genetycznych opisuje silniki, które, w efekcie, stworzyły świat, jaki znamy. Falkowski i jego koledzy nazwali ją „zestawem głównych genów planetarnych”. Jest to wyśmienita nazwa.

Fakt, że organizmy mikrobiologiczne noszące zestaw głównych genów planetarnych istnieją wszędzie, stanowi gotowe objaśnienie, w jaki sposób podstawowe procesy metaboliczne życia przetrwały nietknięte przez miliardy lat. Najwyczajniej wszędzie, gdzie tylko się dało, znalazły się kopie zapasowe. Załóżmy, na przykład, że zblakana asteroida o średnicy 10 kilometrów uderza w Ziemię z siłą około 100 bilionów ton TNT. Ot, taki mało znaczący kawał skały, typowy „zabójca dinozaurów”, jak ten, który uderzył w półwysep Jukatan i mógł przyspieszyć masowe wymieranie gatunków, do jakiego doszło 65 milionów lat temu. Albo wyobraźmy sobie, że cofnęliśmy się mniej więcej o 570 milionów lat i większość powierzchni Ziemi pokrywa lód, w jednym z epizodów w jej historii, opisywanym jako „Ziemia-śnieżka”¹⁴⁶. Niezliczone organizmy zginęłyby w tych warunkach, wymarłyby całe gatunki, a ich przedstawiciele nie pojawiliby się już nigdy więcej.

Tymczasem gdzieś na Ziemi wciąż będą istnieć bakterie lub archeony przenoszące część głównego zestawu genów planetarnych, instrukcje budowy molekularnej maszyny służącej do metabolizmu. Ich mikroskopijne ciała przesączyły się i wkręciły w każdą dostępną szczelinę i dziurę, w największe głębie oceanu, a nawet wniknęły do kropelek wody tworzących chmury na niebie. Może nie przeżyją długo jako pojedyncze stworzenia, ale nie ma to żadnego znaczenia – dzięki ogólnej liczbie osobników sięgającej miliardów bilionów doskonale wywiązują się z roli strażników genów. W istocie niektóre gatunki przenoszą więcej niż jeden gen główny, bez względu na to, że używają innego do własnego metabolizmu.

Nie zabrmi to zbyt poetycko, ale sytuacja ta jest piękną analogią rozproszonej sieci komputerowej. Dzisiaj, gdy ściągasz z Internetu plik muzyczny lub elektroniczną wersję książki albo gdy robisz zdjęcie aparatem w smartfonie, zwykle otrzymujesz tylko jedną kopię. Inna kopia albo już istnieje w twoim komputerze, albo wędruje łąkami internetowymi na inne urządzenie do przechowywania danych. I na tym wcale się nie kończy. Kopie, które znalazły się „w chmurze”, również są kopiowane na różne urządzenia, często na gigantyczne farmy serwerów, bywa że znajdujące się na drugim krańcu kontynentu. Tym sposobem, o ile nie dojdzie do końca świata, jaki znamy, dane są bezpieczne. Nie ma znaczenia, jeśli kilka kopii zostanie skasowanych, zniszczonych przez przerwę w dostawie prądu lub popsutych przez hakerów, ponieważ gdzieś zawsze jest duplikat.

Można stawiać tezę, że mikroorganizmy zwyczajnie są nośnikami informacji dla metabolicznej maszyny, mającymi przechować ją przez długi czas w skali całej planety, tak jak nasze systemy komputerowe są bezmyślnymi nośnikami informacji, którą na nich umieszczamy. Nie wiemy, jak odporny jest ten biologiczny sprzęt do przechowywania. Łatwo można sobie wyobrazić, że ma jakieś wady, które na przestrzeni 3-4 miliardów lat musiały doprowadzić do drobnych kryzysów. Ogólnie wydaje się jednak, że schematy najważniejszych mechanizmów życia są bezpieczne.

Warto odnotować, iż same główne geny planetarne nie muszą wcale być idealne. Powstająca na podstawie ich kodu metaboliczna maszyna często nie jest tak wydajna lub tak prosta, jak moglibyśmy oczekiwać, sądząc po teoretycznych modelach chemicznych. Na przykład ani struktury molekularne, które odpowiadają za fotosyntezę tlenową, ani też te, które zajmują się wiązaniem azotu, nie są pozbawione pewnych ułomności. Naturalna fotosynteza nie jest tak wydajnym procesem, jak *teoretycznie* mogłaby być. Funkcjonujące dziś organizmy wiążące azot muszą czasami łagodzić niebezpieczeństwo ze strony reaktywnego tlenu przez wytwarzanie nadwyżki silników wiążących białka, aby mieć pewność, że dostateczna ich liczba jest przez cały czas sprawna. Tymczasem kod opisujący te mechanizmy od miliardów lat zasadniczo pozostał niezmienny. Wygląda na to, że jeśli coś jest wystarczająco dobre, aby wypełnić zadanie, nic innego już się nie liczy.

Niezależnie od tego, jakie były chemiczne początki życia, kiedy wczesne życie trafiło na dobre rozwiązanie – strategię zapewniającą powodzenie – bo już się go trzymało. Stąd podstawy do optymizmu, iż wskazówki dotyczące tej odległej przeszłości nie zostały wymazane. Sądzę też, że pozwala nam to sformułować rozsądną hipotezę. Podczas gdy poszczególne elementy metabolicznej maszyny życia wyraźnie mogą się różnić w zależności od miejsca, w zależności od świata, to ogólny zarys architektury ziemskiego systemu mikrobiologicznego wskazywałby na istnienie pewnego uniwersalnego wzorca. Innymi słowy, sukces naszego zestawu głównych genów planetarnych i jego bajecznego systemu zabezpieczającego przed usterekami może reprezentować sposób, w jaki musi funkcjonować każda biosfera w każdym miejscu, jeśli celem jest przetrwanie przez długi czas. Każda egzoplaneta, na której rozwinie się życie, może potrzebować odpowiednika naszego zestawu głównych genów i rozproszonego systemu zapasowego.

W tym miejscu czas na drugi fragment tej opowieści, który ujawni związek życia na Ziemi z kosmicznym porządkiem rzeczy.

* * *

Ogromny rój obiektów molekularnej maszyny na naszej planecie bez wyjątku wykorzystuje te same chemiczne cegiełki budulcowe, wspomniane klocki lego natury. Istnieją, rzecz jasna, niewielkie odmiany: archeony w pewnym zakresie korzystają z „lustrzanych” cząsteczek – prawoskrętnych wersji aminokwasów, które u wszystkich innych znanych

organizmów żywych są lewoskrętne. Jest to jednak bardziej rodzaj strukturalnej wariacji niż różnica w zakresie podstawowego składu chemicznego. Jakikolwiek twierdzenia mówiące o tym, że istnieją organizmy żywe bazujące na jakimś rodzaju autentycznie alternatywnej biochemii, są na chwilę obecną całkowicie bezpodstawne – opowiem o tym trochę więcej w następnym rozdziale.

Biorąc pod uwagę kosmiczną perspektywę, nie ma w tym wszystkim nic zaskakującego, z prostego powodu: chemia życia na Ziemi zdaje się identyczna z chemią dominującą we Wszechświecie. Aby wyjaśnić sens tego stwierdzenia, pozwól, że zabiorę Cię na krótką wycieczkę, podczas której spotkasz się z naszymi najstarszymi przodkami: cząsteczkami, które tworzyły Wszechświat krótko po Wielkim Wybuchu, jakieś 13,8 miliarda lat temu.

W tamtych czasach, u zarania kosmosu, istniał wodór. Był jeszcze hel, ale w lodowatej próżni naszego młodego Wszechświata, kilkaset tysięcy lat po Wielkim Wybuchu, reaktywny wodór był pierwiastkiem, przed którym otwierały się najwspanialsze perspektywy. W przeciwieństwie do nieczynnego chemicznie gazowego helu, który przeważnie pozostaje w niezwiązany, jednoatomowym stanie, wodór miał największy potencjał do łączenia się w cząsteczki, poczynając od tego, że tworzy wiązanie z innym atomem wodoru i przechodzi w formę wodoru cząsteczkowego, H_2 , będącego kluczowym elementem procesu formowania gwiazd i ciężkich pierwiastków. To od niego tak naprawdę zaczyna się cała chemia. Rzadko przytaczanym sekretem jest to, że astrofizyka gwiazd rzeczywiście zaczęła się od chemii cząsteczek.

Przyczyna takiego stanu rzeczy kryje się w tym, że mknący przez kosmos pojedynczy atom wodoru ma niewiele okazji, aby stracić trochę energii kinetycznej. Jeżeli materia nie ostygnie, nie jest możliwe formowanie żadnych skondensowanych struktur, poczynając od drobin pyłu, a kończąc na gwiazdach. Nawet jeśli atomy wodoru zderzą się ze sobą, nie prowadzi to do znacznego ich ochłodzenia – mogłoby do tego dojść tylko wówczas, gdy część ich energii zostałaby przekształcona w fotony promieniowania, a proste atomy nie robią tego zbyt chętnie. Cząsteczka wodoru, składająca się z dwóch protonów połączonych wiązaniem tworzonym przez parę elektronów, to już zupełnie inna historia.

Cząsteczkowy wodór przypomina parę kulek połączonych sprężyną: taka para atomów dosłownie drży i wiruje, co otwiera zupełnie nowe możliwości utraty energii cieplnej. Zderzenie cząsteczek prowadzi do przekształcenia części ich energii kinetycznej w energię drgań i ruchu obrotowego, a te z kolei mogą ulec rozproszeniu przez emisję fotonów. Owe lekko elastyczne molekularne sprężynki będą wytracać energię znacznie szybciej niż atomy, które zachowują się jak kule bilardowe, a w związku z tym szybciej się schładzają.

Kiedy więc we Wszechświecie atomy wodoru zaczęły się łączyć w te proste cząsteczki, temperatura gazu mogła spadać znacznie szybciej. Zimny gaz nie jest w stanie opierać się działaniu grawitacji, które prowadzi do zagęszczania obłoku. Tak właśnie cząsteczkowy wodór rzeczywiście w bezpośredni sposób wpłynął na formowanie pierwszej generacji gwiazd. W efekcie uruchomił też procesy prowadzące do wytworzenia wszystkich cięższych pierwiastków.

Wspomniana cząsteczka nie jest jedynym rodzajem cząsteczkowego wodoru, jaki powstaje

we Wszechświecie. Przeszukując kosmos pod kątem różnych typów cząsteczek, szybko odkrywamy, że oprócz prostej dwuatomowej wersji cząsteczkowego wodoru drugą w kolejności najpowszechniej występującą cząsteczką jest wersja trójatomowa, znana pod wspólną nazwą „sprotonowanego wodoru cząsteczkowego”, albo H_3^+ . Są to po prostu trzy protony związane przez dwa elektrony. Brak trzeciego elektronu skutkuje tym, że cząsteczka obdarzona jest ładunkiem dodatnim.

Cząsteczka H_3^+ jest niezwykle [147](#). Podobnie jak podstawowy wodór cząsteczkowy, odgrywa znaczącą rolę w schładzaniu gazu. Jest też bardzo silnie aktywna chemicznie, znajduje się u podstaw większej części tak zwanej chemii molekularno-jonowej, zachodzącej w przestrzeni międzygwiazdnej. Jej spektroskopowe ślady znajdujemy nawet w takich miejscach, jak atmosfera Jowisza. Pod wieloma względami, jeśli zwykłemu wodorowi cząsteczkowemu przypisać rolę kosmicznej babci, to cząsteczka H_3^+ jest kosmiczną mamą.

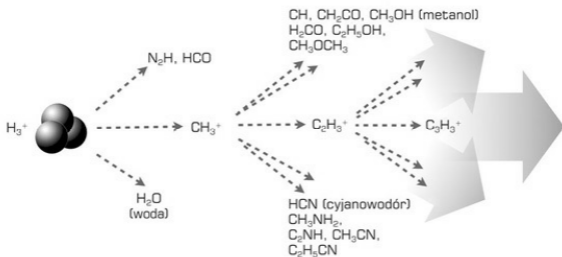
Kiedy sporządzi się listę wszystkich reakcji chemicznych, które H_3^+ pomaga zainicjować, okaże się, że są one bardzo różnorodne. Jednym z możliwych produktów tych reakcji jest woda. Innym – cyjanowodor, cząsteczka, której mamy powody się obawiać, która jednak może odgrywać rolę kluczowego elementu w procesie wytwarzania aminokwasów, oprócz innych pierwotnych biomolekuł. Metanol, etanol i acetylen [148](#) również powstają w sekwencji reakcji inicjowanych przez H_3^+ . Podążając rozgałęziającym się drzewkiem możliwości, odkrywamy, że prowadzą one bezpośrednio do wytwarzania coraz dłuższych łańcuchów cząsteczek opartych na węglu – rodzaju struktur, które ładząco podobne są do cząsteczek biologicznych.

To wyzwalanie reakcji powstawania cząsteczek stanowi istotną wskazówkę w sprawie podstaw kosmicznej chemii. Atom węgla, jak wspomniałem, charakteryzuje taka kombinacja elektronów na zewnętrznej powłoce elektronowej i całkowite rozmiary, że jest on skłonny tworzyć zdumiewająco różnorodne struktury cząsteczkowe. Wydaje się, że za pomocą H_3^+ niemal wszystko jest możliwe, w ramach termodynamicznych ograniczeń rozrzedzonej, zimnej przestrzeni kosmicznej.

Astronomowie i astrochemicy rzeczywiście odkryli, że Wszechświat *kipi* od chemii węgla. W przestrzeni międzygwiazdnej za pomocą rozmaitych technik badań astronomicznych zidentyfikowano ponad 180 różnych rodzajów cząsteczek, a ponad 70 procent z nich jest opartych na węglu. Naukowcy spodziewają się, że jest to tylko wierzchołek góry lodowej, ponieważ prawdopodobnie znajdują się tam większe i jeszcze bardziej zróżnicowane cząsteczki – tylko trudniej je zidentyfikować, ponieważ ich spektroskopowy odcisk palca jest coraz bardziej skomplikowany.

Jeszcze bogatszy zakres procesów chemicznych zdaje się dotyczyć gęstszych, wzburzonych środowisk wokół formujących się gwiazd i układów planetarnych. W wielu takich miejscach rejestruje się obecność ogromnych ilości cząsteczek wody, w towarzystwie różnych cząsteczek opartych na węglu, których lista robi się coraz dłuższa. Dostrzegamy tam cząsteczki alkoholi i cukrów, mamy dowody na obecność prekursorów aminokwasów takich jak glicyna. W kontekście tego, co wiemy o chemii, wszystko to ma sens. Równoległe do obserwacji

rozwijamy matematyczne modele tego, co powinno się dziać w takich środowiskach w zakresie chemii, i okazuje się, że znajdujemy te same reakcje i związki chemiczne. Podstawowa teoria chemiczna przewiduje wszystko, co udaje nam się zobaczyć. A nawet znacznie więcej.



Schemat przedstawiający część związków chemicznych, których powstanie umożliwiła cząsteczka H_3^+ . Możliwe są reakcje prowadzące do coraz dłuższych łańcuchów atomów węgla i wielkiej różnorodności cząsteczek (po prawej).

Ujmując wnioski w prostych słowach, powiemy, że żyjemy we Wszechświecie operującym chemią węgla, której korzenie sięgają najbardziej fundamentalnych zasad fizyki atomu i która bazuje na pierwotnych składnikach materii powstałych w Wielkim Wybuchu. Nie jest trudno dostrzec, jak można połączyć tę wiedzę, bogatą i starożytną mieszankę znajdującą w meteoroidach i kometach, z chemią życia na Ziemi¹⁴⁹. Gdy już ma się w ręku wszystkie te odkrycia, zaproponowanie jakiegokolwiek znaczącej alternatywnej ścieżki wymuszałoby odwołanie do bardzo naciąganych scenariuszy.

Prawdziwy sceptyk mógłby stwierdzić, że wszystko to jest oparte na czystych domysłach, ponieważ nie wiemy, jakie pośrednie etapy dzielą proste cząsteczki węgla od życia. Cząsteczkowy trop podsuwa jednak proste wyjaśnienie tego, co stało się na Ziemi, wyjaśnienie idealnie współgrające z obserwacjami Wszechświata wokół nas. Bez względu na szczegóły genezy życia na naszej planecie wszechobecność chemii węgla w kosmosie skutecznie eliminuje jakiegokolwiek niespodzianki związane z ziemską biochemią. Jest ona po prostu częścią najbardziej różnicowanego i wszechogarniającego zbioru procesów chemicznych w całym Wszechświecie.

Co więcej, dane zebrane ze stanowisk paleontologicznych na Ziemi wskazują na to, że w kategoriach geologicznych życie mikrobiologiczne pojawiło się bardzo szybko. Stało się zaraz po ostatnich głównych stadiach formowania planety. Przekonujemy się, że chemiczne klocki, z których zbudowane są organizmy żywe (cukry, alkohole, aminokwasy, a nawet bardziej złożone struktury oparte na węglu), są obecne już na etapie układu protoplanetarnego. Materia ta może opaść na powierzchnię młodej planety, uchodzącej za znakomity inkubator dla chemii organicznej. Ubierając to w inne słowa, powiemy, że startowa mieszanka do rozwoju życia była łatwa do zdobycia. Fakt ten nie tłumaczy wszystkich późniejszych etapów, ale stanowi wyraźny drogowy szlak.

Powrócimy jeszcze do tych wszystkich punktów, gdy będziemy zajmować się kwestiami dotyczącymi naszego wymiernego znaczenia w skali kosmosu, dla mnie jednak największy kaliber mają tutaj dwie sprawy. Po pierwsze, geochemiczny stan Ziemi jest wynikiem działania wszechobecných, splatających się procesów, realizowanych przez biliony bilionów silników molekularnych, które stanowią fundament życia mikrobiologicznego, które z kolei przez cały czas bezpiecznie przechowuje „plany konstrukcyjne” silników. Po drugie, cały ten mikrokosmos zdaje się związany bezpośrednio z powszechną we Wszechświecie chemią węgla, a także z faktem, iż wszelkie struktury fizyczne i chemiczne mają pierwotne źródło w obecnych w młodym Wszechświecie obłokach gazowego wodoru.

Sądzę, że niektóre kwestie dotyczące szczegółów metabolicznej maszynierii życia rozwiniętego tu, na Ziemi, oraz stopnia jego adaptacji wciąż mogą pozostawać otwarte. System wyewoluował do takiej postaci, ponieważ wykorzystywał zasoby dostępne na tej planecie i reagował na zmiany zachodzące w środowisku, które kształtowały procesy doboru naturalnego. W tym sensie mamy do czynienia z silnym czynnikiem losowym. Jedno wiemy: zasadnicze elementy chemicznego środowiska planety są determinowane przez zdarzenia zachodzące na najwcześniejszych etapach jej formowania z obłoku zagęszczonej grawitacyjnie materii, rozmiar macierzystej gwiazdy i burzliwe procesy kształtujące planetę. Na podstawie tego, co już wiemy o egzoplanetach, spodziewamy się, że inne światy o podobnych do Ziemi rozmiarach może charakteryzować ogromna różnorodność chemiczna i geofizyczna.

Rozsądek nakazuje przyjąć założenie, iż nie wszystkie procesy metaboliczne, które funkcjonują w warunkach ziemskich, będą obecne w innych światach. Analogicznie, w obcych światach mogą zachodzić reakcje, jakich na Ziemi nie ma. Dobry przykład stanowią badania jednego z księżyców Saturna, Tytana [150](#). W temperaturach -179 stopni Celsjusza i z powierzchnią pokrytą morzem płynnych węglowodorów chemia Tytana znacząco różni się od jakiegokolwiek miejsca na Ziemi. Jest jednak co najmniej jeden dość oczywisty proces metaboliczny, który mógłby zachodzić na Tytanie i zaopatrywać życie w potrzebną energię. Chodzi o reakcję wodoru z acetylenem. W temperaturach typowych dla ziemskiego klimatu reakcja ta zachodzi dość wybuchowo, powstaje w jej wyniku metan i dużo hałasu. Na zimnym Tytanie musiałaby być katalizowana, ale w zamian łagodnie dostarczałaby znacznych ilości energii. Naukowcy rozważają teoretyczną możliwość wykrycia życia metodą szukania oznak działania tego metabolizmu. Może wyglądać to na szalony pomysł, ale mieści się w ramach tego, co jest prawdopodobne.

Pomimo potencjalnych różnic w pewnych szczegółowych rozwiązaniach procesów

metabolicznych nie mamy za wielu przesłanek przemawiających za tym, że zintegrowany system ziemskiego metabolizmu i geochemiczna przemiana planety były tylko szczęśliwym trafem. Przeciwnie, jak wywodziłem, sądząc z informacji, które udało nam się zebrać, wydaje się, że jest to solidny i wiarygodny model funkcjonowania *każdej* biosfery zdolnej do przetrwania.

Jak do tego obrazu wpasowują się ludzie? Uosabiane przez nas życie wyewoluowało z mikrokosmosu, lecz wciąż jest z nim w pełni zintegrowane i całkowicie od niego zależne, zarówno w skali globalnego środowiska, jak i na poziomie funkcjonowania jednostki. Do pewnego stopnia prawdą jest, że dopiero teraz zaczynamy to w pełni rozumieć. Zaraz o tym opowiem.

* * *

Jednym z najbardziej osobiście niepokojących, lecz rewolucyjnych odkryć nowoczesnej biologii jest to, że nie jesteśmy jednostkami w taki sposób, w jaki o sobie myśleliśmy. Nie powinniśmy myśleć o sobie „ja”, tylko „my” – jesteśmy bowiem zbiorem w przybliżeniu 10 bilionów eukariotycznych ludzkich komórek, które w rzeczywistości stanowią rusztowanie dla grupy ponad 100 bilionów jednostkowych organizmów mikrobiologicznych. Implikacje tego faktu są szokujące i w błyskawicznym tempie odmieniają nasze poglądy na fizjologię człowieka i medycynę. Witajcie w ukrytym świecie mikrobiomu.

Większość z nas nie jest świadoma istnienia tego mikroskopowego bagażu, żadne bezpośrednie doświadczenie nie wskazuje na ich obecność. Nie zrzucamy w widoczny sposób dużych płatów mikrobiologicznego życia. Częściowo przyczyną tego, że prosta kontrola nie wykazuje istnienia tych organizmów, są ich bardzo małe rozmiary, typowe dla stworzeń, które znalazły sposób, aby wcisnąć się w każdy zakamarek naszej planety. Komórka bakterii może być dziesięć razy mniejsza od komórek ciała ludzkiego, a ogólna masa wszystkich naszych mikrobiologicznych pasażerów u dorosłego człowieka wynosi, jak się wydaje, zaledwie pół kilograma, najwyżej kilogram.

To ledwie 1 procent naszej osobistej biomasy, lecz podkreślmy to jeszcze raz, że ów jeden procent należy do mikrokosmosu, świata, którego istnienia nie podejrzewaliśmy, zanim Antonie van Leeuwenhoek dostrzegł go po raz pierwszy w 1674 roku za pomocą jednego ze swych pomysłowych mikroskopów, świata, którego wartość nauka w pełni doceniła dopiero czterysta lat później. Podobnie jak kropla wody ze stawu Leeuwenhoek'a, każdy z nas nosi w sobie własny mikroskopowy wszechświat.

Właśnie rozpoczęto pierwszy poważny program badawczy, którego celem jest opisanie populacji mikroorganizmów żyjących „z ludźmi”. Nowoczesne narzędzia badawcze do analizy genetycznej pozwalają nam przeprowadzać biologiczny spis¹⁵¹ dotyczący każdego środowiska przez ocenę zróżnicowania w zakresie pewnych wspólnych genów – fragmentów kodu DNA, które bezpośrednio odpowiadają za niektóre kluczowe funkcje biologiczne. Możemy w ten sposób badać nie tylko próbki gleby lub wody oceanicznej, ale również próbki własnej krwi i ciała. Warto

potraktować serio niektóre wyniki takiego przeglądu, dzięki nim bowiem zyskujemy świeże spojrzenie na zajmowane przez nas miejsce w odniesieniu do mikrokosmosu i kosmosu.

Weźmy na przykład lokatorów naszych płuc¹⁵². Według obecnych szacunków każdy centymetr kwadratowy wnętrza zawitych dróg oddechowych człowieka zamieszkuje ponad dwa tysiące mikroorganizmów, należących do co najmniej 120 różnych gatunków. Całkowita wewnętrzna powierzchnia płuc zdrowego dorosłego człowieka sumuje się do około 70 metrów kwadratowych, czyli do rozmiarów kortu tenisowego. Tak więc te 120 różnych gatunków daje łącznie około 1,5 miliarda osobników (liczba ta może być poważnie zaniżona).

Jeszcze do niedawna zakładano, że nasze płuca zasadniczo są sterylne. Kiedy próbowano wyhodować bakterie na pobieranych od ludzi próbkach wydzieliny lub tkankę, nic nie uzyskiwano. Teraz wiemy, że ci mikroskopijni lokatorzy z pewnością nie rosną poza środowiskiem ludzkich płuc. Do przetrwania potrzebują warunków panujących w tym konkretnym miejscu.

Już ten przykład wystarcza, aby poczuć się nieco dziwnie, ale przecież to nie koniec! Aby zyskać właściwą perspektywę, warto przypomnieć sobie o naszym ludzkim kodzie genetycznym, informacji zamkniętej w długich niciach cząsteczek DNA, upakowanych w jądrze każdej naszej komórki eukariotycznej. Cały kod ma długość około 3 miliardów znaków. Ludzki genom zawiera około 20 000 do 25 000 odrębnych genów, które kodują białka – wydaje się, że to dużo dopóty, dopóki nie przyjrzymy się kolejnemu siedlisku naszych organizmów mikrobiologicznych: gęstej dżungli tętniącej życiem w układzie trawiennym.

W 2010 roku grupa europejskich naukowców opublikowała wyniki genetycznego spisu fauny mikrobiologicznej zasiedlającej ludzki żołądek i jelita¹⁵³. U ponad tysiąca różnych gatunków organizmów znaleźli oni 3,3 miliona genów – jest to niesamowita liczba, 150 razy większa od zestawu genów człowieka. Co więcej, skupiwszy się na grupie liczącej mniej niż 10 procent gatunków bakterii należących do mikrobiomu kojarzonego z jelitami człowieka, biolodzy odkryli w ich genach około 30 000 kodów wcześniej nieznanymi białek. Wygląda na to, że te zamieszkujące człowieka stworzenia dysponują zdumiewająco bogatym i zróżnicowanym arsenałem biologicznej maszyny.

To również bardzo dobra rzecz, ponieważ im głębiej badamy mikrobiom, tym bardziej zdajemy sobie sprawę, jak bardzo jesteśmy od niego zależni. Niektóre z tych zależności są stosunkowo proste. Na przykład, *Bacteroides thetaiotaomicron*, bakteria znajdująca w układzie trawiennym wielu zwierząt, potrafi rozkładać węglowodany złożone na znacznie prostsze cukry i inne cząsteczki łatwo przyswajalne przez organizm nosiciela. Nasz genom nie zawiera kodów umożliwiających wytwarzanie enzymów radzących sobie z tymi węglowodanami. Natomiast bakteria ta potrafi wyprodukować oszałamiającą liczbę 260 różnych enzymów, przemieniając nas w prawdziwych roślinożerców, zdolnych trawić owoce i warzywa, wydobywać z nich wszelkie użyteczne składniki.

Inne zależności od mikroorganizmów mogą być subtelne, ale mają przemożny wpływ na nasz organizm, począwszy od sposobów, w jakie wywołane są odczucia sytości lub głodu, aż do złożonych interakcji chemicznych, które pomagają stabilizować i kontrolować najbardziej podstawowe reakcje układu odpornościowego. Kilku biologów wyszło z propozycją, aby ludzki mikrobiom był klasyfikowany jako jeszcze jeden główny organ naszych ciał. Niektórzy sugerowali też, iż nie ma sensu oddzielnie traktować naszych genów i genów mikroorganizmów –

wszystkie powinny być uwzględniane jednakowo. Wszystko zaczyna wskazywać na to, że mogą mieć rację. Mikrobiom ma jeszcze jedną cechę, która przenosi tę koncepcję na nowy poziom: nadzwyczaj osobistą naturę naszy ch jednokomórkowych towarzyszy.

W miarę postępów badań różnicowania gatunków organizmów zamieszkujących nasze ciała naukowcy, stosujący nowoczesne narzędzia analizy genetycznej, odkryli, że można wyróżnić pewne rodzaje bakteryjnej fauny. Rodzaje mogą różnić się w zależności od tego, o jakim miejscu w ciele człowieka mówimy: jelitach, płucach, ustach, rękach lub innych zakamarkach.

Na przykład sądzimy, że każdy mikrobiom ludzkich jelit należy do jednego z trzech głównych typów, albo enterotypów, zgodnie z terminologią używaną przez mikrobiologów¹⁵⁴. Nie ma dostrzegalnych związków enterotypu z płcią, wiekiem lub posturą człowieka, jednak nie wiemy jeszcze, jakie mogą być różnice w zależności od miejsca na Ziemi.

Odkrycie to oznacza, że każdy z nas nosi niewidzialną mikrobiologiczną etykietkę, która musi się odnosić do naszych osobistych cech charakterystycznych, począwszy od tego, jak trawimy i przyswajamy pokarmy, a kończąc na ogólnej chemii ciała. Ponieważ nasze bakterie jelitowe odgrywają tak ważną rolę – dostarczają enzymów, które, na przykład, pomagają syntetyzować witaminy – konkretne populacje organizmów, które nam towarzyszą, z pewnością mają swój udział w najbardziej fundamentalnych mechanizmach przetrwania i doboru naturalnego. Jeśli noszą jeden typ mikroorganizmów, sprawia to, że jestem lepiej lub gorzej przystosowany do pewnych czynników środowiskowych niż mój przyjaciel, który może gościć jeden z pozostałych enterotypów fauny mikrobiologicznej.

Jest oczywiste, dlaczego zostaliśmy skolonizowani przez te mikroorganizmy (nie moglibyśmy bez nich funkcjonować), jednak do tej pory nie wiemy dokładnie, jak do tego dochodzi i na jakim etapie naszego cyklu życiowego. Wiele może się dziać, gdy jesteśmy niemowlętami, przez kontakt z innymi ludźmi i otoczeniem. Istnieje coraz więcej dowodów, że jesteśmy zaszczerpieni już w łonie matki, a kolejne mikroorganizmy dołączają od niej i ze środowiska w czasie porodu i karmienia piersią. Wciąż pozostaje jednak zagadką, co tak naprawdę determinuje enterotyp, który charakteryzuje nas w wieku dojrzałym. Nie wiemy też, do jakiego stopnia może on zmieniać się z czasem.

Bez wątpienia, im więcej dowiemy się o tym biologicznym wszechświecie w naszych ciałach, z tym liczniejszymi niespodziankami przyjdzie nam się mierzyć. Badacze rozważają obecnie możliwość, że nawet pewne aspekty naszej osobowości i cech charakteru, takie jak skłonność do agresji lub życzliwości, mogą być skutkiem wpływu chemicznego wywieranego przez konkretny rodzaj bakterii tworzących nasz mikrobiom. Byłoby to coś na kształt ukrytej „mikroorganizmicznej duszy”¹⁵⁵.

Nie jesteśmy jednostkami w takim sensie, jak to sobie niegdyś wyobrażaliśmy. Oznacza to gruntowne przewartościowanie poglądów. Mamy dużo więcej wspólnego z planetą pod naszymi stopami, niż mogliśmy się spodziewać. Jak środowisko Ziemi było przez 4 miliardy lat zmieniane i kształtowane przez życie mikroorganizmiczne, tak również nasze funkcjonowanie, nasza ewolucja¹⁵⁶ były bezpośrednio aranżowane przez część zestawu głównych genów planetarnych, działającego wewnątrz komórek i za pośrednictwem naszych bakteryjnych pasażerów. Wydaje się, że niewiele dzieli nas od praw mikrokosmosu.

To, czego dowiedzieliśmy się o naturze życia na Ziemi, wiele mówi nam na temat naszego znaczenia, jak też o znaczeniu całego życia rozkwitłego na tej planecie. Jako osobny gatunek organizmu eukariotycznego reprezentujemy pewien szczególnie przypadek życia w jego ogromnej różnorodności, jednak raczej nie daje nam to prawa do przypisywania sobie specjalnego statusu w mikrokosmosie. Pod wieloma względami byłoby lepiej przewartościować całą hierarchię życia na Ziemi, umieszczając mikroorganizmy na jej szczycie, a nie na samym dnie. W końcu stosowany przez nas na przestrzeni stuleci sposób katalogowania i porządkowania ziemskiego życia jest funkcją stanu naszej własnej wiedzy i pojmowania świata. Nowoczesne mapowanie „drzewa życia” na podstawie analizy genetycznej już teraz pod wieloma względami prowadzi do zmian hierarchii.

Pod względem biologicznym „najważniejszymi” organizmami na planecie, tymi, które naprawdę determinują poszczególne cechy żywej menażerii i historię jej rozwoju, zapewne nie są te, które zdają się najbardziej „złożone”. Najbardziej wpływowi członkowie społeczności żywych organizmów nie są wielokomórkowymi zwierzętami lub roślinami, lecz raczej organizmami wykorzystującymi te większe konstrukcje jako mobilne środowiska, które można zużyć. To bakterie i archeony w ciągu miliardów lat gruntownie przekształciły chemiczne i fizyczne środowisko planety.

Ważny ludzi na przykład. Dla bakterii i archeonów, które nazywają nas swoim domem, jesteśmy wszechstronnym i użytecznym medium. Fizjologia nakazuje nam szukać pożywienia, jednak to jeszcze mało, czujemy potrzebę znalezienia pożywienia, które wydaje się nam atrakcyjne, a w rzeczywistości dostarcza składników odżywczych naszym bakteryjnym pasażerom. Na szczęście budowa anatomiczna i mózg dostarczają nam środków, dzięki którym umiemy zadbać o pożywienie również dla nas. Potrafimy polować, potrafimy uprawiać rośliny. Z czasem dorabiamy się globalnej sieci produkcji i dystrybucji żywności, zapewniającej dostęp do szerokiego asortymentu pokarmów, umożliwiającej nawet magazynowanie w bezpiecznych budynkach nadwyżek, których my – lub nasi pasażerowie – chwilowo nie potrzebujemy.

Nasze analityczne mózgi również podsuwają rozwiązania służące zachowaniu ciągłości funkcjonowania nie tylko jednostki, lecz także całych grup i kolonii. Od ubrań po ogrzewanie, schronienia, a nawet medycynę i lekarstwa, rozwinęliśmy środki doraźnie zwiększające szanse przetrwania i znacząco wydłużające nasz śmiesznie krótki „okres przydatności”. Jednak skąd wzięły się wszystkie te osiągnięcia? Czy popchnęły nas ku nim nasze potrzeby, a może potrzeby naszych mikroorganizmicznych władców? Kto tak naprawdę trzymał lejce powozu naturalnego doboru?

Interesującym ćwiczeniem jest rozważenie, jak moglibyśmy zostać scharakteryzowani przez jakąś zewnętrzną, niezależną stronę. Nie jest trudno dostrzec, że cały nasz gatunek mógłby zostać opisany jako populacja dronów, gotowych na każde zawołanie jednokomórkowego życia. Znakomicie skonstruowanych dronów, bez dwóch zdań. Jednym z kosztów budowy wszechstronnej platformy mobilnej jest to, że konieczne jest wyposażenie jej w pewną autonomię, umożliwiającą reagowanie na okoliczności. Sami budujemy zaawansowane roboty

do wykonywania powtarzających się, lecz szalenie precyzyjnych zadań mechanicznych. Zaopatrujemy je w proste układy decyzyjne, które pozwalają im pracować wydajniej i lepiej nam służąc.

Na przykład nowoczesny samochód napałowany jest układami komputerowymi i algorytmami, dzięki którym maszyna dokonuje „wyborów” w zależności od okoliczności, aby optymalnie wykorzystać swoje zasoby i zachowywać bezpieczeństwo jadących nią ludzi. Łaziki, jakie wysłaliśmy na Marsa, mogły do pewnego stopnia decydować o przyjętej marszrutce po powierzchni planety. Mechanizm ten miał być zabezpieczeniem w sytuacji, gdy wymiana komunikatów z Ziemią może zająć ponad dwadzieścia minut – niewiarygodny szmat czasu, gdy balansuje się na krawędzi zagłady. Ten wzorzec inżynierskiej optymalizacji zapewne dotyczy również naszej własnej biologii.

Pogląd, iż ludzie są tylko dronami dla mikroorganizmów, rzecz jasna, godzi w wiele różnych zagadnień, zwłaszcza we współczesną teorię ewolucji i kwestie mechanizmów opisywanych przez biologię rozwoju, dotyka również poczucia naszej tożsamości. Nie jest to jednak poważna teoria, tylko prowokujące pytanie, sposób na zasugerowanie alternatywnego spojrzenia na znaczenie, jakie mamy tu, na Ziemi, spójne z rozległą panoramą zasiedlających planetę mikroorganizmów i zestawem genów głównych. Nie ma potrzeby posuwać się do sugestii, że mikrobowi beneficjenci naszego istnienia (lub przedstawiciele każdego gatunku wielokomórkowego) aktywnie planują nasze ewolucyjne zachowanie lub nim kierują. Raczej układ ten zwyczajnie ukształtował się w ramach ściśle zintegrowanych związków o charakterze symbiotycznym lub endosymbiotycznym, dzięki czemu obustronne korzyści pomagały wprowadzać zmiany w życie.

Istnieje wiarygodny związek tych idei i zapytania o znaczenie człowieka w kosmosie oraz unikatowość naszego gatunku we Wszechświecie. Moim zdaniem widzimy tu zestaw chemicznych i biologicznych uwarunkowań, ograniczeń i możliwości otwierających się przed złożonymi formami życia, który może reprezentować jeszcze jedną uniwersalną zasadę. Może mikroorganizmy zawsze chcą rządzić większymi formami życia. Oto jeszcze jeden element podstawowej receptury na przetrwanie życia, którą staramy się odszyfrować. Możemy dodać go do zestawu głównych genów planetarnych i do sposobu, w jaki procesy metabolizmu wynikają z wszechobecnej chemii węgla, mającej źródło bezpośrednio w fundamentalnych prawach natury.

Oznacza to, że nasza osobista biologia może w pewnych szczegółach rzeczywiście uchodzić za wyjątkową, lecz fakt, że z zestawu głównych genów planetarnych wyewoluowały istoty takie jak my, wcale nie musi być czymś zaskakującym... i nie musi być czymś zaskakującym w jakimkolwiek innym miejscu we Wszechświecie. To ważna myśl, jednak powinniśmy jeszcze zachować się nieco asekuracyjnie, ponieważ wiele innych zagadek nadal czeka na rozwiązanie.

Na przykład jesteśmy tylko częścią oceanu składników biochemicznych, który rozlewa się na zewnętrznych powłokach i w atmosferze Ziemi. Ten ogromny zalew molekularnych możliwości s krywa wiele innych, słabiej poznanych królestw, w tym przepastną niszę zajmowaną przez wirusy i dziwaczną płataninę prionów – ułomnych białek pełniących być może funkcję bufora biochemicznych błędów lub części zapasowych. Czynniki te uczestniczą w procesach będących biologicznym odpowiednikiem tego, co dzieje się w świecie subatomowym lub kwantowym (choć w skali wiele rzędów większej). Duże cząsteczki i fragmenty kodu genetycznego są

transportowane, wymieniane, dołączane i usuwane. Maszynieria ta wciąż nie została zbadana, jednak musi odgrywać istotną rolę w historii naszej planety.

Tak więc, choć rozsądnie byłoby postrzegać ludzi jako jedną z wielu form życia unoszących się w tym biologicznym kosmosie, czy z tego sformułowania naprawdę wynika, że tu, na Ziemi, nie jesteśmy ważni?

Wskazówka dotycząca odpowiedzi na powyższe pytanie może znajdować się bardzo blisko, dosłownie w naszych głowach. Kiedy dyskusja zahacza o ocenę naszego statusu, w tle wszelkich wywodów na temat powszechnej lub zaściankowej natury życia pojawia się jeszcze jeden czynnik. Jest nim kwestia inteligencji.

Nie ma znaczenia, jak wielką miłością darzymy nasze psy lub koty, czy z jaką sympatią patrzemy na szimpansy, słonie lub delfiny, jest najzupełniej jasne, że ogólnie rzecz biorąc, jest coś, co wyróżnia człowieka. Złożoność naszych mózgów, tworzone przez nas struktury społeczne, zdolności poznawcze – od posługiwania się mową po inwencję w rozwiązywaniu problemów i nieustannie wykorzystywaną zdolność logicznego rozumowania – wszystko to lokuje nas daleko na szczycie wszelkich przejawów życia na tej planecie. Owszem, szimpansy, szczury, a nawet wrony mogą zbliżyć się do finezji naszego rozumowania, dzielą też z nami dużą część genomu.

Z pokorą należy patrzeć na niewiarygodne struktury społeczne stworzeń takich jak mrówki¹⁵⁷, faktem jest też mnogość form komunikacji wykorzystywanych przez organizmy żywe, jednak aby wszystkie te cechy spotkały się w jednym organizmie, w jednym stworzeniu... tu, na Ziemi, jest tylko jeden taki przypadek.

Pomysł, że po trwającej 4 miliardy lat ewolucji na tej planecie jesteśmy jej zdecydowanie wyróżniającym się, jedynym w swoim rodzaju produktem, kładzie się cieniem na poszukiwanie przez nas rozwiązania kwestii kosmicznego znaczenia ludzkiego gatunku. Jest niczym stłuczona szklanka wątpliwości, która rozpryskuje się we wszystkie strony. Na przykład w jaki sposób szeroko pojmowana inteligencja mogła popychać do przodu ewolucję w innych światach? Nawet na Ziemi skromna i cudowna ośmiornica, członkini rodziny głowonogów, ma zupełnie inny system nerwowy niż jakikolwiek kregowiec, tymczasem potrafi manipulować przedmiotami ze zdumiewającą sprawnością i oportunistycznie wykorzystuje w roli narzędzi elementy otoczenia, takie jak łupiny orzechów kokosowych¹⁵⁸. Czy gdzieś tam może być planeta zamieszkała przez głowonogi?

Kolejna kwestia ma związek z tym, jak rzadkim zjawiskiem jest nasz rodzaj inteligencji. Od czasu do czasu naukowcy wygłaszają tezę, iż za „powstanie” człowieka jako gatunku odpowiada jakiś wyjątkowy aspekt naszej budowy fizycznej lub konstrukcji psychicznej. Ludzka dłoń, talent do posługiwania się mową, zdolność trawienia różnorodnych pokarmów, tendencje do tworzenia społeczności – wszystkie te cechy i jeszcze więcej podobnych czynników wskazywano jako niuanse, które umożliwiły nam przetrwanie, a także kluczowe elementy w ewolucji naszego typu inteligencji. Możliwe jednak, że żadna z tych cech nie była nieuniknionym skutkiem doboru naturalnego. Może są owocami ślepego trafu. W końcu mózgi, jak nasze, mogły rozwinąć się tylko raz w całej, trwającej 4 miliardy lat historii życia na Ziemi. Trudno dostrzec w tym wielką

strategię ewolucyjną.

Wszystkie te obserwacje wspierają tezę, iż Ziemia jest wyjątkowym miejscem, niezwykłym światem, w którym nasze istnienie jest wynikiem łańcucha szczęśliwych zbiegów okoliczności i fatalnych wpadek. Możliwe. Taki pogląd może być słuszny, lecz równie dobrze – wypaczony przez nasze często żgubne, intuicyjne zawierzenie statysty czynnemu uwarunkowaniom określonego typu, czym zajmę się już niebawem.

Oliwy do ognia tej debaty dołają pojawiające się licznie w ostatnich latach informacje o tym, co czyni nas ludźmi. Zarówno odkrycia paleontologiczne, jak i wyniki analiz genetycznych kreślą fantastycznie intrygujący obraz tego, skąd pochodzimy i co sobą reprezentujemy w kategoriach procesu ewolucji. Niektóre z tych świeżo ujawnionych aspektów naszego istnienia mówią, że mamy szczęście, iż tu jesteśmy, inne zaś wskazują na to, że stałe sondowanie strategii przetrwania przez ewolucję i mechanizmy doboru naturalnego zawsze prowadzi do nowych sukcesów, co może pomóc wyjaśnić powstanie istot takich jak my.

Przyjrzyjmy się faktom: wyniki badań genetycznych sugerują, że w okresie między 123 000 a 195 000 lat temu¹⁵⁹ liczebność populacji biologicznie współczesnych ludzi dramatycznie spadła, z mniej więcej 10 000 do zaledwie kilkuset. Nie wiemy dokładnie, co poszło źle, ale prawdopodobnie część winy należy przypisać zmianom klimatu. W tym czasie rozpoczęła się długa epoka lodowcowa, która gruntownie zmieniła wygląd umiarkowanych stref klimatycznych oraz obszary występowania zwierząt i roślin na całej planecie. Pustynie pojawiały się w miejscach, gdzie wcześniej ich nie było, kurczyły się tereny zdatne do zamieszkania.

Jakimś sposobem nieliczni ludzie przetrwali, zapewne zasiedlając bogate w źródła żywności¹⁶⁰ obszary wybrzeża oceanu w pobliżu równika, gdzie natrafiono na niezliczone pozostałości po skorupiakach. Wszyscy żyjący dziś ludzie pochodzą od tej małej grupki, mieszkającej ponad sto tysięcy lat temu gdzieś w środkowej lub południowej Afryce.

Nie trzeba wielkiej wyobraźni, żeby zdać sobie sprawę, iż równie dobrze ludzie mogli zakończyć swoją ziemską podróż tam i wtedy. Choroby albo dalsze pogorszenie klimatu z łatwością dobiłyby tych kilka setek jednostek. Nasz gatunek mógł przetrwać dzięki ślepemu przypadkowi, ale w ucieczce ze szponów zagłady mogła też pomóc nam inteligencja.

Nie byliśmy jedynymi, którzy przetrwali tamten okres. W tym samym czasie co ludzie chodził po Ziemi przynajmniej jeszcze jeden dwunóg, umiejący posługiwać się narzędziami. Jak sądzimy, mniej więcej 600 000 lat temu gatunek znany obecnie jako człowiek neandertalski wyemigrował z Afryki do Europy. Pod wieloma względami neandertalczyki byli podobni do nas, jednak mocno też od nas się różnili. Stanowili inną odmianę pochodzącej od małp, wyprostowanej istoty, która, jak nam się wydaje, wyewoluowała ze starszych gatunków – wspólnego przodka. Nie byli głupi, wytwarzali narzędzia z kamienia i kości, byli towarzyscy.

Jednak jakieś 28 000 lat temu neandertalczyki wyginęli¹⁶¹. Nie wiemy, jak do tego doszło. Jaką rolę mogły odegrać dalsze zmiany klimatu, a nawet rywalizacja z człowiekiem współczesnym. To zdumiewające, lecz jakaś ich częśćka przetrwała w nas: od 1 do 4 procent genów ludzi wywodzących się z Eurazji pochodzi od neandertalczyka. Wiemy to, ponieważ udało nam się odszyfrować duże fragmenty kodu genetycznego człowieka neandertalskiego z jego szczątków¹⁶², co było niezwykłym i nieco upiornym osiągnięciem detektywistycznym. Nasuwa

się wniossek, że jakiś czas po tym, jak bliska wyginięcia populacja ludzi współczesnych przeniosła się na północne obszary planety i zaczęła tam prosperować, doszło do krzyżowania z neandertalczykami. Potem my przetrwaliśmy, a oni nie.

W uzupełnieniu badań takich jak te, ujawniających fragmenty naszej czasem najeżonej niebezpieczeństwami historii, poczyniono również kilka odkryć dotyczących podstawowej maszyny molekularnej, która czyni nas odrębnym gatunkiem. Pod względem genetycznym współcześni ludzie różnią się od szympanów tylko o 1,2 punktu procentowego i szukając tych różnic, możemy przyjrzeć się poszczególnym funkcjom kodowanym przez geny, które są charakterystyczne dla człowieka. Niektóre sekwencje DNA, które najbardziej różnią się ¹⁶³ u ludzi i szympanów, rzeczywiście w bezpośredni sposób odpowiadają za decydujące aspekty tego, co odróżnia nas od innych stworzeń.

Na przykład sekwencja znana jako HAR1 (obszar o przyspieszonej ewolucji w linii człowieka oznaczony numerem 1) jest aktywna w mózgu i może mieć związek z rozwojem kory mózgowej. Myślimy, że kolejna sekwencja, HAR2, jest zaangażowana w rozwój embrionalny i decyduje o budowie nadgarstków i kciuków – cech charakterystycznych naszej zdolności manipulowania substancjami i posługiwania się narzędziami. Sekwencja znana pod nazwą LCT kojarzona jest ze zdolnością tolerowania laktozy przez dorosłych ludzi, czyli stoi za umożliwieniem spożywania produktów mlecznych. Co ciekawe, wyniki badań wskazują na to, że w kategoriach ewolucji jest to bardzo świeża kombinacja. Rzeczywiście, ma ją tylko mniej więcej jedna trzecia żyjących na Ziemi ludzi, jednak 80 procent pochodzących z Europy. Choć większość gatunków ssaków chodzących obecnie po Ziemi ma zdolność trawienia laktozy w niemowlęctwie, po osiągnięciu dorosłości zdolność ta zanika. Jakieś 9000 lat temu zmieniło się to u grupy ludzi, u których pojawiła się pewna wersja sekwencji LCT, która umożliwia ciągłe wytwarzanie koniecznych enzymów trawiennych również w wieku dojrzałym. W połączeniu z utrzymywaniem udomowionych zwierząt otworzyło to drzwi do szeregu nowych korzyści.

Są jeszcze inne ważne sekwencje związane z ludzką wszechstronnością. AMY1 jest zaangażowana w proces wytwarzania enzymu, dzięki któremu możemy trawić więcej skrobi, niż potrafi to wiele gatunków istot. ASPM jest sekwencją DNA, która wpływa na wielkość mózgu. Jest jeszcze FOXP2, *forkhead box protein 2*, prawdopodobnie najbardziej wytrącająca z równowagi sekwencja, która według badaczy jest związana ze sposobem, w jaki nasze twarze i usta poruszają się, gdy człowiek posługuje się mową, wydając skomplikowane, rytmiczne dźwięki. Choć podobne sekwencje można znaleźć u większości innych ssaków, wersja występująca u człowieka jest dość specyficzna i różni się od pozostałych, na przykład tej znalezionej u szympana. Bez zdolności mówienia z całą pewnością inaczej wyglądałyby nasze struktury społeczne, umiejętność przekazywania informacji i dzielenia się doświadczeniami. Gdy zastanawiamy się, co czyni nas ludźmi, ten fragment DNA, obejmujący zaledwie 2285 zasad kwasu nukleinowego, może mieć decydujące znaczenie.

Genetyczne różnice między nami i najbliższymi krewnymi, szympanami, nie zawsze wypadają na naszą korzyść. W naszych genach jest ślad po dawnych starciach z retrowirusami, strukturami, które replikują się przez wszczepienie własnego materiału genetycznego do genomu nosiciela. W niektórych wypadkach wyszliśmy z tych bitew wyposażeni w kod, dzięki któremu jesteśmy uodpornieni na atak podstępnych patogenów lepiej niż inne naczelne. Jednak te same

geny czynią nas dzisiaj bardziej podatnymi na takie czynniki jak retrovirus HIV niż naszych małych kuzynów. Podobnie jak nasza walka o przetrwanie, która rozegrała się ponad sto tysięcy lat temu, historia zapisana w genach świadczy o zmaganiu się z wieloma zagrożeniami lub uleganiu przy padkowemu wpływowi.

W miarę jak kontynuujemy rozkładanie naszego funkcjonowania na poszczególne elementy molekularnej maszyny, ogromnym wyzwaniem pozostaje połączenie tych odkryć z próbą rozwiązania zagadki naszej ewolucji. Jest czymś oczywistym, że inteligencja stanowiła jak dotąd część¹⁶⁴ wielkiej strategii przetrwania. Jednak nasza historia zmagania z procesami doboru naturalnego ma więcej bohaterów. Zdolność trawienia określonych pokarmów, umiejętność chwytania przedmiotów, adaptacja do pewnego zakresu temperatur, wilgotności i braku wody – wszystko to odgrywało rolę. Duży wpływ miało też oddziaływanie czynników klimatycznych, a także sukcesy i porażki innych gatunków.

Jednak jeśli uwzględnimy to wszystko, jakkolwiek wyjątkowi jesteśmy, nasza historia porównywalna jest z historią każdej wielokomórkowej formy życia na tej planecie. Każdy gatunek ma swoje specjalne geny, ma też za sobą szczęśliwe i niepomysłne zwroty w ewolucyjnej grze. Wszystko dzieje się za sprawą inżynierii biochemicznej. To ona powoduje, że jedne maszyny zagnieżdżane są we wnętrzu drugich, sięgając aż do najbardziej fundamentalnej i zasadniczej natury atomów, gdzie jej dzieła wtapiają się w królestwo fizyki subatomowej i kwantowej. Wielki eksperymentator, jakim jest ewolucja, włącza jednocześnie miliard opcji, poruszając się w gigantycznej sieci oddziaływań i odmian. Wzorzec tej sieci, ucieleśniany przez nasz zestaw głównych genów planetarnych, wcale nie musi dotyczyć tylko naszego świata, może mieć charakter uniwersalny. Może być też tak, że jest równie prawdopodobne, iż z tego wzorca rozwinie się wielokomórkowe, inteligentne życie, jak cokolwiek innego, jeśli okoliczności będą sprzyjające.

Czy więc nasz rodzaj inteligencji jest unikatowy, szczególnie wyróżniający się czy wyjątkowo rzadki? Z punktu widzenia kogoś, kto jest takim rodzajem inteligencji obdarzony, z pewnością trochę prawdy kryje się w każdym sformułowaniu. Jednak nie tylko stoi to w sprzeczności z podstawowymi dogmatami światopoglądu kopernikańskiego – degradującego nas do roli kosmicznego przeciętniaka – ale również nie jest obecnie możliwe do przetestowania. Nie będzie możliwe tak naprawdę dopóty, dopóki nie nauczymy się lepiej oceniać znaczenia ewoluującej inteligencji na wszystkich rozgałęziających się ścieżkach rozwoju życia na naszej planecie, a także, co najważniejsze, dopóki nie dowiemy się, czy rozstrzygające przełomy mogły zdarzyć się gdzie indziej. Biologiczny wszechświat nakazuje nam podjąć największe wyzwanie, jakie kiedykolwiek stało się udziałem ludzkości na drodze do poznania znaczenia własnej obecności w kosmosie.

Czy jesteśmy sami?

¹³⁶ Archeony, tak jak bakterie, należą do prokariotów, organizmów jednokomórkowych niemających jądra komórkowego i innych organelli. W 1977 roku pewne gatunki zostały rozpoznane jako odmienny typ prokariotów i sklasyfikowane jako oddzielne królestwo, odrębne od bakterii. Dokonał tego Carl R. Woese i George E. Fox na podstawie analizy genetycznej opisanej

w artykule *Phylogenetic Structure of the Prokaryotic Domain: The Primary Kingdoms*, „PNAS” 1977, nr 74, s. 5088–5090.

[137](#) Oszacowania tego typu bardzo się różnią, co nie powinno zaskakiwać. Cytowana przeze mnie liczba pochodzi z wpływowego artykułu Williama B. (Brada) Whitmana, *Prokaryotes: The Unseen Majority*, „PNAS” 1998, nr 95, s. 6578–6583. Uzyskanie wyniku wymagało przeprowadzenia pewnej liczby oszacowań na podstawie pomiarów populacji i środowisk.

[138](#) P. Falkowski, T. Fenchel i E. Delong, *The Microbial Engines That Drive Earth's Biogeochemical Cycles*, „Science” 2008, nr 320, s. 1034–1039.

[139](#) Wiele maszyn molekularnych składa się z tych białek, zawierających dwa, lub więcej, łańcuchy polipeptydowe, które mogą być takie same lub różne. Polipeptyd jest zasadniczo łańcuchem aminokwasów, spajanych przez wiązania kowalencyjne, które powstają w wyniku współdzielenia elektronów przez atomy. Cóż, chemia bywa skomplikowana.

[140](#) Bardzo interesujący przegląd zagadnień związanych z gospodarką energetyczną organizmów żywych i spojrzeniem na życie pod kątem związku paliwo–spalanie zawarty jest w eseju K.H. Nealsona i P.G. Conrada, *Life: Past, Present, and Future*, „Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences” 1999, nr 354, s. 1923–1939.

[141](#) Choć w tym miejscu może się to wydawać bardzo prostym zagadnieniem, wytwarzanie metanu przez mikroorganizmy, jak wszystkie procesy metaboliczne, wymaga zaangażowania oszałamiająco dużej liczby enzymów i reakcji, nie zawsze tych samych. Zasadniczo istnieją trzy główne linie wytwarzania metanu: redukcja dwutlenku węgla (którą tu uwypukliłem), fermentacja octanu oraz dysmutacja (jednoczesne utlenianie i redukcja, prowadzące do dwóch różnych produktów) metanolu lub metyloaminy. Każda z nich wiąże się z wieloma pośrednimi reakcjami chemicznymi.

[142](#) Przykładów jest mnóstwo. Ostatnio ujawnionym i szczególnie fascynującym jest łączenie w pary reakcji chemicznych (reakcje redoks) zachodzących pomiędzy mocno odseparowanymi (12 milimetrów, co stanowi ogromną przepaść dla bakterii) warstwami osadów morskich. Mechanizm, który prawdopodobnie odpowiada za łączność między tymi fizycznie odrębnymi warstwami, jest tak naprawdę natury elektrycznej – to bakterie mogą kontrolować przepływ naładowanych cząstek na planecie. L.P. Nielsen i in., *Electric Currents Couple Spatially Separated*

[143](#) Ponad 3 miliardy lat temu pewne rodzaje cyjanobakterii (niebieskozielone bakterie) wykorzystywały światło słoneczne do wytwarzania własnego pożywienia. Te produkujące tlen organizmy nadal są na Ziemi wszechobecne.

[144](#) Na przykład N. Lane, W.F. Martin, *The Origin of Membrane Bioenergetics*, „Cell” 2012, nr 151, s. 1406–1416.

[145](#) Bakterie, na przykład, mogą wymieniać małe fragmenty swego materiału genetycznego pod postacią „plazmidów”. Plazmidy te często występują w komórkach w postaci kolistych nici DNA (niezależnie od chromosomowego DNA), o długości kodu genetycznego od tysiąca do miliona par zasad (liter). Dlaczego natura to robi? Dla mikroorganizmów jedną z zalet jest zdolność dzielenia DNA, które koduje oporność na zagrożenia takie jak antybiotyki. Wymiana plazmidów skutkuje zwiększeniem szansy na przetrwanie całej populacji, a nie tylko pojedynczego osobnika, który szczęśliwym zbiegiem okoliczności przeszedł odpowiednią mutację.

[146](#) To wciąż nieco kontrowersyjna idea. Badania ziemskich skał sugerują, że pomiędzy 650 a 750 milionów lat temu zdarzył się okres niskich temperatur i miał on zasięg globalny, czyli zapewne było tak zimno, iż nawet w najniższych szerokościach geograficznych występowała stała pokrywa lodowa. Trwa dyskusja o tym, do jakiego stopnia Ziemia zamarzała, dlaczego tak się stało i jakim sposobem planeta wyszła z tego stanu. Artykuł wspierający hipotezę Ziemi-śnieżki to na przykład: P.F. Hoffman i in., *A Neoproterozoic Snowball Earth*, „Science”, 1998, nr 281, s. 1342–1346. Prawdą jest, że planety, na których powierzchni znajduje się woda, są podatne na pozytywne wzmocnienie zjawiska odbijania coraz większej części promieniowania słonecznego przez wodę przy zmianie stanu skupienia z ciekłego w stan stały, co prowadzi do dalszego obniżania temperatury na powierzchni. Stan kuli śnieżnej może być wśród egzoplanet czymś powszechnym.

[147](#) Zob. na przykład artykuł polemiczny: B.J. McCall i T. Oka, H_3^+ – *an Ion with Many Talents*, „Science” 2000, nr 287, s. 1941–1942.

[148](#) Zob. D.F. Strobel, *Molecular Hydrogen in Titan’s Atmosphere: Implications of the Measured Tropospheric and Thermospheric Mole Fractions*, „Icarus”, 2010, nr 208,, s. 878–886 (wraz

z zawartymi tam odesłaniami).

[149](#) Faktycznie, pewna praca dotycząca struktury metabolizmu i chemii węgla bardziej abstrakcyjnych układów sugeruje, iż metabolizm oparty na węglu był niemal oczywisty, stanowił „atraktor” w morzu możliwości. Zob. R. Braakman i E. Smith, *The Compositional and Evolutionary Logic of Metabolism*, „Physical Biology” 2012, nr 10, s. 011001.

[150](#) Pomiary strumienia molekularnego wodoru w atmosferze Tytana doprowadziły do wznowienia dyskusji na temat życia na tym księżycu. Zob. D.F. Strobel, *Molecular Hydrogen*, op. cit.

[151](#) Posługując się narzędziami „metagenomiki”, próbki pobrane ze środowiska poddaje się obróbce, której celem jest dokonanie pomiaru genetycznego zróżnicowania w zakresie pewnych decydujących genów, wykorzystywanych przez wszystkie formy życia. Na przykład sekwencja genów 16S rybosomowego RNA zawiera 1542 kwasy nukleinowe, „litery”, i jest, jak to się określa, „silnie utrwalana” – oznacza to istnienie tendencji do tego, że przypadkowe mutacje wywołują problemy i są szybko odrzucane przez mechanizmy doboru naturalnego, tak więc jakiegokolwiek inne wersje odpowiadają zazwyczaj innemu gatunkowi organizmów żywych. Mierząc różnorodność tej sekwencji w próbce, otrzymujemy szacowaną liczbę występujących w środowisku różnych gatunków bakterii i archeonów.

[152](#) Zob. na przykład artykuł przeglądowy J.M. Beck, V.B. Young i G.B. Huffnagle, *The Microbiome of the Lung*, „The Translational Research” 2012, nr 160, s. 258–266.

[153](#) Istnieją różne znakomite źródła informacji dotyczących tego niezwykle obszaru badań. Wspaniały artykuł, pisany popularnonaukowym językiem, wyszedł spod pióra J. Ackerman, *I kto tu rządzi?*, „Świat Nauki” (Scientific American) 2012, nr 7. Choć nieustannie publikowane są nowe prace dotyczące ludzkiego mikrobiomu, badania dotyczące mikrobiomu jelit przeprowadzono w 2010 roku, jako część Projektu MetaHIT (Metagenomics of the Human Intestinal Tract); sprawozdaniem z ich wyników jest praca: J. Qin i in., *A Human Gut Microbial Gene Catalogue Established by Metagenomic Sequencing*, „Nature” 2010, nr 464, s. 59–65.

[154](#) Enterotypy zostały zidentyfikowane w wyniku analizy danych metagenomicznych pochodzących z próbki, którą był (jak miło) ludzki kał. Prace opisano w artykule: M. Arumugam i in., *Enterotypes of the Human Gut Microbiome*, „Nature” 2011, nr 473, s. 174–180.

[155](#) Badania nad taką ewentualnością są wciąż w zarodku, ale wydaje się, że można się doszukać pewnych związków, czasami określanymi mianem „osi mikrobiom–jelita–mózg”. Dobry artykuł przeglądowy poruszający te kwestie: V.O. Ezenwa i in., *Animal Behavior and the Microbiome*, „Science” 2012, nr 338, s. 198–199.

[156](#) W istocie naprowadziło to niektórych naukowców na pomysł wprowadzenia terminu „hologenom”, który opisywałby sumę genów człowieka i mikrobiomu jako wielkości badanej pod kątem ewolucji i procesów doboru naturalnego (prawdziwe dla każdego organizmu wielokomórkowego). Istnieją badania zdające się potwierdzać niektóre z tych idei. Zob. na przykład: R.M. Brucker, S.R. Bordenstein, *The Hologenomic Basis of Speciation: Gut Bacteria Cause Hybrid Lethality in the Genus Nasonia*, „Science” 2013, nr 341, s. 667–669.

[157](#) Prawdopodobnie najbardziej konkretną pracą wciąż jest ta autorstwa B. Hölldoblera i E. O. Wilsona, *Podróż w krainę mrówek*, przeł. J. Prószyński, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.

[158](#) Pierwszy raport naukowy wspominający o ośmiornicach gromadzących „narzędzia” w celu późniejszego ich zastosowania został sporządzony przez J.K. Finna, T. Tregenzę i M.D. Normana, *Defensive Tool Use in a Coconut-Carrying Octopus*, „Current Biology” 2009, nr 19, s. R1069–70. Zespół naukowców zaobserwował, jak ośmiornica z gatunku *Amphioctopus marginatus* gromadzi, składa i transportuje (niezręcznie, stosując specjalny manewr „chodzenia na szczydkach”) skorupy kokosów, zapewne zbierając je do wykorzystania jako schronienie. Z relacji Finna wynika, że widok był komiczny: „Nigdy przedtem nie zdarzyło mi się tak zaśmiewać pod wodą” (www.eurekalert.org/pub_releases/2009-12/cp-tui120909.php).

[159](#) Precyzyjne daty nie są znane. Ten przedział czasu został ustalony na podstawie badań fazy zlodowaceń znanej jako Marine Isotope Stage 6 (MIS6) oraz genetycznej różnorodności gatunku ludzkiego. Zaproponowano również inne wąskie gardła rozwoju populacji człowieka – na przykład 70 000 lat temu, a nawet 1,2 miliona lat temu. Sądzę jednak, że bezpiecznie można pozwolić sobie na stwierdzenie, iż nie wszyscy zgadzają się co do tego, że takie załamania liczebności populacji rzeczywiście się zdarzały. Dobry artykuł przeglądowy na ten temat: G. Hewitt, *The Genetic Legacy of the Quaternary Ice Ages*, „Nature” 2000, nr 405, s. 907–913.

[160](#) Jak w wypadku wszystkich podobnych stwierdzeń, nie wszyscy zgadzają się z taką interpretacją. Można wyrobić sobie własne zdanie: C.W. Marean i in., *Early Human Use of Marine Resources and Pigment in South Africa During the Middle Pleistocene*, „Nature” 2007, nr 449, s. 905–908.

[161](#) Liczba ta jest przybliżona. Opinie na temat końca istnienia neandertalczyków są podzielone, zwłaszcza w kontekście lokalizacji geograficznej.

[162](#) Zob. R.E. Green i in., *A Draft Sequence of the Neanderthal Genome*, „Science” 2010, nr 328, s. 710–722.

[163](#) Wspaniałą lekturą jest popularnonaukowy artykuł K.S. Pollarda, *Człowieczeństwo zapisane w genach*, „Świat Nauki” (Scientific American) 2009, nr 6. Wiele z niego zaczerpnąłem.

[164](#) Myślę, że na pewnym poziomie może to być prawdą, jednak podnoszono również argument, że skoro ludzka inteligencja jest tak wspaniała, dlaczego powstała na Ziemi tylko raz na przestrzeni 4 miliardów lat? Nie jestem pewny, jak dobry jest to argument. Na przykład rośliny kwitnące odniosły ogromny sukces w kategoriach ewolucji, ale powstały tylko raz, jakieś 130 milionów lat temu, i fakt ten może równie dobrze mieć związek z populacją takich organizmów jak owady. Jak zawsze, na sukces bądź niepowodzenie konkretnej strategii biologicznej składa się bardzo wiele różnych czynników.

ROZDZIAŁ 6

Myśliwi na kosmicznej równinie

Gdybym miał wskazać dwie cechy, które trafnie i optymistycznie podsumowują gatunek ludzki, postawiłbym na wyobraźnię i niespokojnego ducha. Przejawy tych cech widać wszędzie. Weźmy na przykład sposób, w jaki wyrażamy fascynację i udrękę kwestią statusu człowieka we Wszechświecie. Artefakty i pełne wyrazu zapisy naszych obserwacji i wyobrażeń z tysiąca, pięćdziesiąt, a nawet dwudziestu tysięcy lat wstecz ujawniają intensywne rozważania na ten temat. Mimo że antropologowie wciąż spierają się o pobudki kryjące się za większością pradawnych rzeźb i naskalnych malowideł¹⁶⁵, moim zdaniem jedną z najbardziej prawdopodobnych teorii jest taka, która widzi w nich odbicie wysiłku, jaki ówczesni ludzie wkładali w analizę uniwersum zwierząt, krajobrazów i rytuałów. Kuszące może się wydawać traktowanie tych malunków i figurek jako owoców beznymnej bazgraniny i dłubaniny, mających zabić nudę ciągnącej się zimy, lecz nawet wówczas trudno oprzeć się wrażeniu, że jest w nich coś świadomego i przemyślnego – być może sortowanie i przesiewanie faktów i obserwacji, które nie całkiem przystawały do racjonalnego wizerunku świata. Co więcej, nie jest to zachowanie jednorazowe, ale kontynuowane z pokolenia na pokolenie. Niektóre z bardziej abstrakcyjnych starożytnych obrazów koncentrują się na dziwnych wizerunkach przedstawiających hybrydy ludzi i zwierząt. Matki Ziemi (zapewne bóstwa) i potwory. Postaci rodem z gorączkowych sennych koszmarów. To obrazy rodzące się w mózgu człowieka, który desperacko próbuje wypełnić czymś lukę w posiadanej wiedzy, odnaleźć Sens Życia. Skoro, chcąc nadać temu światu jakieś znaczenie, musimy odwoływać się do fantastycznych bytów i sił, niech i tak będzie.

Takie same zmagania towarzyszą naszym próbom zdefiniowania związku między niebiosami a Ziemią, Słońcem i Księżycem, często prowadząc do prób wyjaśnienia obserwowanych na niebie wzorów przez powiązanie planet i konstelacji z bogami i fantastycznymi stworami.

Kłopotliwa bywa również natura czasu – dla naszych przodków, którzy badali swoje otoczenie, ale też dla ludzi XXI wieku, którzy budują swoje teorie o naturze Wszechświata. Kosmos w każdej skali fizycznej skłania się ku zmianom, porzucając to, co stare i słabe, doprowadzając do erozji skał oraz gnicia i rozkładu powłok cielesnych tego, co żywe. Obserwujemy i rejestrujemy ścisły reżim powtarzających się zmian sezonowych, cykli Księżyca oraz powolny puls wahań klimatycznych. Podobno historia lubi się powtarzać. Doświadczając cykliczności życia biologicznego, doszliśmy drogą ekstrapolacji do przekonania o nieskończonym kosmicznym łańcuchu powtórzeń i ponownych narodzin¹⁶⁶, koncepcji spajających ludzką kulturę i pokolenia.

U podstaw tej kreatywnej wrzawy malowania, mapowania i mierzenia czasu leży pragnienie, by kosmos stał się klarowny. I raz po raz ponownie docieramy do pytania, czy „gdzieś tam”, w przestrzeni i czasie, znajduje się ktoś jeszcze. Z łatwością można wysunąć argument, że nigdy nie było żadnych danych¹⁶⁷, które świadczyłyby o obecności bądź nieobecności innego życia w kosmosie. Nie chciałbym, by zabrzmiało to zbyt depresyjnie, ale to prawda... co tłumaczyłoby, dlaczego mamy szczęście, że znaleźliśmy piwo i czekoladę, które nas pocieszą.

Ta raczej pośepna izolacja i nieświadomość nie powstrzymała nas przed wygłaszaniem na przestrzeni wieków i tysiącleci różnych pretensjonalnych twierdzeń. Jednym z bardziej zajmujących smaczków w historii spekulacji na temat natury życia poza Ziemią jest pogląd o mnogości światów. Wpadliśmy na tę koncepcję już dawno; ma za sobą długi okres dojrzewania, którego początki sięgają czasów wielkich greckich filozofów.

Niektórzy ze starożytnych Greków, na przykład atomista Demokryt, wierzyli, że jeśli rzeczywistość z samej swojej natury jest ziarnista – składająca się z niepodzielnych atomów i próżni – znaczy to, że istnieje nieskończona różnorodność takich obiektów jak planety, słońca i księżycy. Takie stwierdzenie niekoniecznie sugeruje, że ta nieskończona liczba światów znajduje się „gdzieś tam”, w dostrzegalnym Wszechświecie, który podlega obserwacji w nadzwyczaj ograniczonym zakresie, ale że istnieje *gdziekolwiek*. Tak szeroka wizja naszego kosmosu skłoniła niektórych zwolenników tej szkoły filozoficznej, w tym myśliciela Metrodorosa z IV wieku przed naszą erą, do argumentowania, że byłoby straszliwie dziwne i nieprawdopodobne, gdyby w tej nieskończonej krainie istniało tylko jedno takie miejsce jak Ziemia. Jednak gdy kilkadziesiąt lat później pojawił się Platon i jego uczniowie (wśród nich Arystoteles), położyli kres temu pogładowi, postulując, że Ziemia jest zarówno unikatowa, jak i centralnie położona.

Niemniej, jak już wspominałem, niezależnie od tych komplikacji pomysł, że gdzieś tam istnieją inne światy, utrzymywał się w wyobraźni człowieka. Długo po tym, jak w III wieku przed naszą erą starożytna Grecja umyła ręce od poglądu głoszącego mnogość światów, ten ponownie wychynął na światło dzienne – najpierw w okresie średniowiecza na Bliskim Wschodzie, potem pod koniec XVI wieku w Europie Zachodniej, gdzie głosili go uczeni tacy jak Giordano Bruno, który tak gorąco przyjął implikacje kosmologii Kopernika. W istocie kopernikańska decentralizacja ponownie otworzyła śluzę dla tej koncepcji, która w kolejnych stuleciach nabierała coraz większego rozmachu. Idea mnogości światów często była nierozzerwalnie związana z przekonaniem, że są to światy zamieszkałe. mnogość światów oznacza mnogość życia. Pod wieloma względami takie myślenie stanowiło idealnie logiczną kontynuację modelu Kopernika, w którym Ziemia ani nie stanowi centrum Wszechświata, ani nie jest niezwykła.

Pod koniec XVIII wieku myśl, że na innych planetach może istnieć życie, oczarowała

bły skotliwego Williama Herschela¹⁶⁸, urodzonego w Niemczech zanglicyzowanego astronoma, który odkrył planetę Uran. Podobnie jak wielu innym naukowcom, wydało mu się rozsądniejsze założyć, że zamiast pozostawać jałowe i puste, inne światy muszą się roić od ludzi i wszelkich stworzeń. Tego rodzaju logika dopuszczała również podnoszącą na duchu możliwość, że wszędzie istnieją takie same religie i zasady społeczne – sprytny sposób na jednoczesną decentralizację à la Kopernik i zachowanie ważnej pozycji w kosmosie w roli elementu większego planu. W końcu jeżeli w naszej sielankowej Anglii popijamy popołudniową herbatkę, a w niedzielę idziemy do kościoła, z pewnością tak samo mogłoby się toczyć życie na Marsie.

Ten rodzaj rozumowania przyjmował czasem bardziej pomysłowe formy. Herschel wyobrażał sobie, że inteligentne istoty zamieszkują Księżyc, posuwając się nawet do zapewnień, że na jednym z księżyców chmór, czy też równin, dostrzegł przez teleskop coś na kształt lasu: „Moją uwagę przykuło zwłaszcza *Mare Humorum* i coś, co, jak teraz sądzę, było lasem, zakładając, że właściwe, szersze znaczenie tego słowa obejmuje tego rodzaju duże *substancje rosnące*... Sądzę również, że obrzeża tego lasu, by były widoczne, muszą składać się z drzew co najmniej cztery, pięć lub sześć razy wyższych niż nasze. Jednak rozważania o lasach czy trawnikach i pastwiskach wciąż wydają mi się szalenie prawdopodobne...”.

Odnosił również wrażenie, że Słońce musi mieć gorącą atmosferę, która osłania chłodną powierzchnię, prześwitującą czasami przez plamy słoneczne – te zaś uważał, błędnie, za szczeliny w warstwie gazu. Naturalnie, musieli tam być jacyś mieszkańcy. Jak w 1794 roku wyjaśnił to Herschel: „Słońce... nie wydaje się niczym innym, jak bardzo wyjątkową, dużą i lśniącą planetą... co prowadzi nas do wniosku, że najprawdopodobniej jest również zamieszkane, podobnie jak reszta planet, przez istoty, których organy są przystosowane do dziwnych okoliczności tego olbrzymiego globu”.

Poglądy Herschela na temat życia na Księżycu i na Słońcu z pewnością nie należały do powszechnie akceptowanych, ale nie były też całkiem marginalne. Nawet sławny, znakomity francuski fizyk matematyczny Pierre-Simon Laplace roztrząsał możliwość istnienia życia w innych światach naszego układu planetarnego. Jednak dopiero nieco później, w latach trzydziestych XIX wieku, interesujący się nauką szłocki minister i niedoszły astronom, Thomas Dick¹⁶⁹, dokonał nadzwyczajnego wysiłku oszacowania liczby wszystkich innych żyjących gdzieś we Wszechświecie istot. Jego pierwszym krokiem było założenie, że gęstość populacji w ówczesnym Zjednoczonym Królestwie odpowiada gęstości zasiedlenia istot na dowolnej innej planecie czy asteroidzie – zdumiewająco szalone podejście, przynajmniej w naszym współczesnym rozumieniu.

Na tej podstawie oszacował dalek, że na planecie Wenus żyje ponad 50 miliardów osobników, na Marsie 15 miliardów, a na Jowiszu oszałamiająca liczba 7 bilionów. Dając się ponieść dziłkim spekulacjom, sugerował nawet, że pierścienie Saturna mają 8 bilionów mieszkańców – same tylko pierścienie! Dokonawszy tych wszystkich ekstrapolacji, ocenił populację Układu Słonecznego na blisko 22 biliony... nie licząc Słońca, które, jak podkreślił, samo w sobie mogło mieścić trzydzieści jeden razy więcej istot niż reszta planet. I najwyraźniej nie zamierzał na tym poprzestać. Oszacował również liczbę wszystkich planet we Wszechświecie, która jego zdaniem wynosiła 2 miliardy z okładem, a każda z nich mogła być zaludniona z taką samą gęstością jak wyspa berłowładna w latach trzydziestych XIX wieku. Na ironię zakrawa fakt, że zgodnie z naszą

obecną wiedzą podana przez niego liczba planet jest żałośnie zaniżona, ale mówiąc szczerze, nikt w tamtych czasach nie orientował się w rzeczywiistej skali i rozmiarach Wszechświata.

Ponieważ kryjąca się za przewidywaniami Dicka (które plasowały się na absolutnie skrajnym krańcu rozumowania pluralistów) motywacja nadal bliska jest wielu poważnym naukowcom, ważne jest, by dokładnie się jej przyjrzeć. W owych czasach niemożliwe było zdobycie bezsprzecznego dowodu na to, że inne światy są zamieszkałe lub nie są zamieszkałe, toteż wielu ludziom łatwiej było po prostu założyć, że są. Było mało prawdopodobne, by nawet przy użyciu najlepszych teleskopów ktokolwiek zdołał potwierdzić lub podważyć oznaki życia na którymkolwiek z ciał niebieskich. Żaden obraz nie miał wystarczającej rozdzielczości, by pozwolił astronomom obserwować krzątanie jakichkolwiek istot na innych planetach.

Bez dowodów w jedną lub drugą stronę obfitość życia na wszystkich ciałach niebieskich mogła być postrzegana jako naturalny aspekt istnienia planety, dopełniająca skały i glebę kolejną warstwą materii. Jeśli żaden inny świat nie jest zamieszkały, to musimy znaleźć dobry powód dlaczego. Z logiką takiego rozumowania trudno jest polemizować. I znowu, jeśli w pełni przyjąłś kopernikański punkt widzenia, który stanowił wówczas naukowy konsensus, wszystko, co stawia Ziemię poza innymi miejscami, jest nie do przyjęcia. Lepiej było zaludnić kosmos, niż uczynić Ziemię unikatową.

Jednak czas mijał, teleskopy zostały poddane kolosalnym ulepszeniom, a nasza ocena rzeczywistych własności życia nieodwołalnie się zmieniła, gdy zdaliśmy sobie sprawę, że organizmy nie są bytami statycznymi. Są one produktami bezustannego i złożonego procesu ewolucji oraz doboru naturalnego. Gdzieś przy okazji tych naukowych rozważań planety przestały być automatycznie równe wobec życia. Organizmy nie pojawiają się po prostu *en masse*. Obecnie wiemy już, że w pewnych miejscach życie może się wykluć, a w innych nie. Dzisiaj najskrajniejsze pomysły dotyczące wielości zamieszkałych światów dokonały żywota, lądując na śmietniku. Eksploracja Układu Słonecznego położyła kres poglądom o istnieniu złożonych form życia na Marsie, Wenus i innych sąsiadujących z nami światach. I nawet jeśli wiemy, że we Wszechświecie znajduje się przytłaczająco duża liczba innych planet, wiemy też, że takie organizmy jak nasze nie mogą zamieszkiwać *wszystkich* z nich, ponieważ na wielu nie pozwolą na to warunki.

Jednak znajdujemy się w osobiwej sytuacji intelektualnej, ponieważ Wszechświat to najwyraźniej bardzo duże miejsce. Wewnątrz naszego obserwowalnego horyzontu kosmicznego – wyznaczanego dystansem, który światło było w stanie pokonać w ciągu 13,8 miliarda lat od Wielkiego Wybuchu – istnieje kilkaset miliardów galaktyk i potencjalnie więcej niż miliard bilionów gwiazd¹⁷⁰. A to tylko liczba, która ukazuje nam się w każdej chwili, mieszanina obiektów widoczna na montażu nieskończonej liczby migawek uchwyconych w momencie, gdy z oddali dotarł do nas kolejny promień światła. Zapytaj, ile gwiazd kiedykolwiek istniało w ciągu minionych 13,8 miliarda lat, a pomijając ból głowy spowodowany koncepcją czasu i przestrzeni w relatywistycznym kosmosie, skończysz, wymachując dziko rękami w próbie uzasadnienia kolejnej, jeszcze większej liczby.

Ten fakt empiryczny ma centralne znaczenie dla naszych wysiłków zmierzających do zrozumienia, czy oprócz nas w kosmosie znajduje się koś jeszcze. Ogrom Wszechświata nasuwa inną odpowiedź niż surowa wizja garstki odpowiednich miejsc, i jest to odpowiedź, którą wszyscy

slyszełiśmy już wcześniej, a być może sami o niej myśleliśmy. Skoro Wszechświat jest tak duży, wypełniony miliardami bilionów gwiazd, to z pewnością musi być w nim jakieś inne życie.

Czy mimo to ziejący ogrom widzialnego Wszechświata rzeczywiście prowadzi do nieuniknionej konkluzji, że gdzieś tam musi być ktoś jeszcze? Problem „samotności” kryje w sobie również inne warstwy. Na przykład, podobnie jak dawni pluraliści, kiedy stawiamy sobie to pytanie, zwykle zastanawiamy się, czy gdzieś we Wszechświecie istnieją istoty *podobne* do nas: istoty myślące, rozważające, posługujące się techniką lub filozofią, posiadające własne idee, wierzenia, sztukę i poezję, a także, oczywiście, naukę. I jak z tyłoma zjawiskami w naszym świecie, które wydają się oczywiste, dobrze byłoby cofnąć się o krok na moment i starannie przyjrzeć się szczegółom. W tym wypadku kluczową kwestią jest, czy jesteśmy w stanie dokonać analizy implikacji, jakie pociąga za sobą ogrom Wszechświata, za pomocą narzędzi matematycznych. Czy potrafimy prawidłowo sformułować odpowiedź naukową, która wykroczy poza imaginacje pluralistów i stary dobry optymizm?

Potrafimy. A formułowanie tej odpowiedzi zaczyna się w niezwykłym świecie teorii prawdopodobieństwa.

* * *

Wiele opowieści z życia Thomasa Bayesa¹⁷¹ zaczyna się zabawnym stwierdzeniem, że „prawdopodobnie urodził się w 1701 roku...”. Rzeczywiście, zapisy historyczne na temat jego życia, a nawet prac matematycznych, pełne są wątpliwości, spowodowanych względnym ubóstwem dokumentacji oraz jego własną jawną niechęcią do publikowania swoich prac naukowych (cudowna ironia w świetle tego, z czego stał się najbardziej znany). Wiemy, że był synem pastora prezbiteriańskiego oraz studiował matematykę i teologię na Uniwersytecie Edynburskim, by w latach dwudziestych XVIII wieku również zostać pastorem.

Mniej więcej w tym samym czasie opublikował pewną pracę teologiczną, jednak tym, co go szczególnie fascynowało, była nauka. W tym okresie teoria rachunku różniczkowego Newtona, szerzej znana wówczas pod nazwą „metody fluksji”, nie była powszechnie akceptowana. W skrócie teoria Newtona pokazywała, jak opisać tempo zmian dowolnej funkcji matematycznej (od łuku zakreślonego przez kulę armatnią po spadek zakrzywionej powierzchni) w zależności od zmiany jej parametrów, i była ściśle związana z pojęciem nieskończonego podziału tych funkcji. Newton używał słowa „fluksje” (ang. *fluxions*) w znaczeniu przepływu czy też zmiany.

Jedyną oprócz teologicznej pracą badawczą Bayesa opublikowaną za jego życia była próba wsparcia teorii Newtona przez przytoczenie bardziej rygorystycznych dowodów właściwości matematycznych fluksji. Być może nie była zbyt ekscytująca, ale wystarczająco dobra, by zapewnić Bayesowi upragnione członkostwo Towarzystwa Królewskiego oraz zachęcić go do kontynuowania swojej matematycznej pasji.

W późniejszym okresie zainteresowania Bayesa skupiły się wokół teorii prawdopodobieństwa, gałęzi matematyki, która wyłoniła się w poprzednim wieku. Był to dość prowokacyjny obszar

badań, głównie z tego powodu, że dotyczył kwestii, które mogą być niewygodne dla osób wierzących w siły wyższe. Naukowcy zaczęli zdawać sobie sprawę, że traf i niepewność rzeczywiście mogą być tym, na co wyglądają: przypadkowymi zdarzeniami, które zachodzą we Wszechświecie bez planu i celu. Było to wnikliwe spostrzeżenie, które sygnalizowało głębokie zmiany w naszym konceptualnym modelu natury.

Jednak dopiero po śmierci Bayesa w 1761 roku, gdy filozof i kaznodzieja Richard Price¹⁷² przejrzał pozostawione przez zmarłego przyjaciela dokumenty i notatki, okazało się, że dokonał on znaczącego postępu w rozwiązywaniu pewnych trudnych problemów, które w owej matematyce „przypadku” zajmowały centralne miejsce. To Price przyczynił się do zebrania tej pracy w całość i doprowadzenia do jej opublikowania w dwa lata po śmierci Bayesa przez Towarzystwo Królewskie. W rezultacie Bayes jest obecnie najlepiej pamiętany i najbardziej znany z uporania się z problemem znanym w tamtych czasach jako „odwrócone prawdopodobieństwo”. Dzisiaj nie używamy tego terminu zbyt często, mówimy raczej o prawdopodobieństwie aposteriorycznym lub wnioskowaniu bayesowskim. Przez kolejne dziesiątki i setki lat naukowcy tacy jak Pierre-Simon Laplace niezależnie od siebie odkrywali te koncepcje i rozbudowywali je, zanim przeniknęły one do całej współczesnej nauki. Lecz to nazwisko Bayesa zostało uhonorowane pod postacią „twierdzenia Bayesa”¹⁷³, kwintesencji jego ostatniej i największej pracy z dziedziny prawdopodobieństwa. Twierdzenie da się zapisać za pomocą jednego wzoru. Jest to formuła matematyczna pozwalająca obliczyć prawdopodobieństwo, że model lub hipoteza jest poprawna, wzięwszy pod uwagę dany zbiór obserwacji. Co najważniejsze, sprowadza się ono do takiego spojrzenia na świat, które pozwala ocenić *pewność*, z jaką odnosimy się do danej teorii czy też prognozy.

Istotę tego modelu da się wyjaśnić dzięki nieco alegorycznej opowieści, którą przyjaciel Thomasa Bayesa, Richard Price, zamieścił w formie przypisu¹⁷⁴ do pośmiertnego wydania jego prac. Wyobraźmy sobie, że z jajka dopiero co wykluł się niezły z matematyki, lecz niestety naiwny kogucik. Spędziwszy swój pierwszy dzień na tym świecie, zdziwił się, że słońce przemieszcza się po całym niebie, by w końcu zniknąć z pola widzenia. Kogucik zastanawia się, czy zobaczy ten jasny dysk ponownie. Mając skłonności analityczne (nietypowe, jak na małego kurczaczka), formułuje prostą hipotezę, że istnieje takie samo prawdopodobieństwo tego, że słońce ukaże się ponownie, jak tego, że się nie ukaże – jego pewność jest podzielona 1:1, albo równa 50 procent.

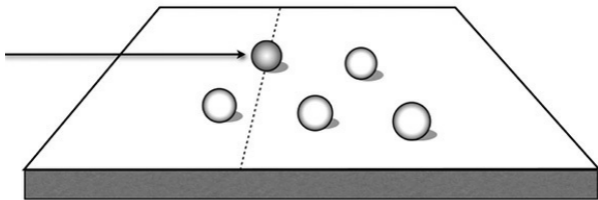
Oczywiście, ileś tam godzin później słońce rzeczywiście podnosi się nad horyzont. Ponownie przemierza całe niebo, po czym znika. Kogucik decyduje się uaktualnić swoje przewidywania (albo swoją pewność). Widział już dwa wschody słońca, ale nadal istnieje możliwość, że to się nie powtórzy, zatem szanse, że dojdzie do trzeciego wschodu, wynoszą teraz 2 do 1 (66,7 procent). Wraz z trzecim wschodem słońca kogucik ponownie aktualizuje swoją pewność, szacując szanse powrotu słońca w kolejnym dniu na 3 do 1 (75 procent). I tak cały czas, z każdym mijającym dniem wzrasta jego pewność, że słońce rzeczywiście wszędzie ponownie, coraz bardziej zbliżając się do wartości 100 procent. Do setnego wschodu słońca zyskuje już 99 procent pewności i dochodzi do wniosku, że ujdzie mu na sucho, jeśli wzbudzając konsternację wszystkich, zapieje tuż przed świtem.

Analiza kogucika to przykład na poziomie podstawowym, ale stanowi samo jądro

bayesowskiego podejścia do danych i teorii. Wyniki eksperymentów, nowe obserwacje i nowe dane, wszystko to może zmodyfikować nasze zaufanie do hipotezy, prowadząc do ewaluacji prawdopodobieństwa tego, że jest ona poprawna. Jednak naukowcy nie zawsze byli przekonani, że podejście do niepewności w ujęciu ilościowym ma sens. Właściwie w ogóle nie zawsze uważano za rozsądne postrzeganie doświadczeń lub obserwacji w taki sposób – czyniąc świat miejscem, w którym to, czy coś jest prawdziwe czy nie, mierzy się prawdopodobieństwem albo „pewnością”. Długo trwało, zanim koncepcje te przedarły się do świadomości ludzi nauki. Nawet tak znakomici naukowcy jak Herschel (który zaledwie kilkadziesiąt lat później rozważał istnienie życia na innych planetach) najwyraźniej wyciągali wnioski inną drogą. Tak więc winni jesteśmy wdzięczność Bayesowi i pozostałym, którzy w XVIII wieku próbowali zrozumieć, jak od niepewności przejść do *prawdopodobieństwa*, czyli zrobić to co nasz alegoryczny kogucik

Możemy się przekonać, jak sam Bayes próbował zmierzyć się z tym wyzwaniem, analizując przykład, którego użył do wyjaśnienia własnego wzoru matematycznego czytelnikom. Wyobrażał sobie pewne doświadczenie, najczęściej ilustrowane modelem stołu bilardowego, aczkolwiek, prawdę mówiąc, nikt nie wie, czy Bayes rzeczywiście miał na myśli stół bilardowy czy po prostu jakiś stary stół. Jednak dla dobra tej opowieści pozostaniemy przy bilardzie.

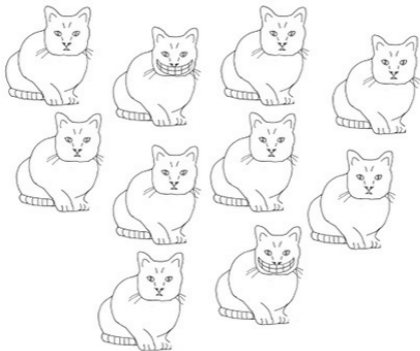
Założmy, że niedbale pchnąłeś czerwoną kulę po pustym stole bilardowym, tak że może się zatrzymać w dowolnym miejscu. Pozostawiasz ją tam, gdzie się zatrzymała, po czym w tym samym kierunku wielokrotnie toczysz po stole białą kulę, zliczając, ile razy zatrzymała się dalej niż kula czerwona, a nie bliżej. Teraz Bayes użył wzorca pozostawionego przez kule na wymyślnym stole do obliczenia odpowiedzi na proste pytanie: czy po uwzględnieniu dotychczasowego zachowania kul potrafisz przewidzieć szanse (lub prawdopodobieństwo) tego, co się zdarzy, gdy potoczysz białą kulę kolejny raz? Innymi słowy, jakie są szanse na to, że pchnięta kolejny raz biała kula zakończy swój ruch za lub przed kulą czerwoną? Bayes wykazał, że to prawdopodobieństwo da się obliczyć. Decydujące znaczenie ma liczba wykonanych prób, podobnie jak w przykładzie z kogucikiem i wschodami słońca, im więcej kul potoczysz, z tym większą pewnością określisz szanse danego wyniku w kolejnym ruchu.



Ten prosty eksperyment myślowy z kulami bilardowymi pokazuje fundamentalne znaczenie takiego pytania dla matematyki XVIII wieku. Nikt wcześniej nie potrafił skonstruować niezbędnych narzędzi matematycznych, a pojawiające się przy ujarzmianiu niepewności koncepcje okazały się dla wszystkich zdumiewająco nowe. Bayes zbudował wyrażenie – swoje twierdzenie – które można było wykorzystać do obliczenia czyjejs „wiary” w hipotezę w obliczu faktów, czyli prawdopodobieństwa lub też pewności, że dana teoria jest poprawna.

Dla lepszego zrozumienia struktury tego twierdzenia oraz wskazania, w jaki sposób możemy zastosować je do problemu życia we Wszechświecie, pozwolę sobie przedstawić nieco barwniejszy przykład niż wschody słońca albo kule bilardowe. Załóżmy, że mam ciekawą hipotezę, iż 20 procent populacji wszystkich kotów stanowią koty z Cheshire¹⁷⁵. W celu przetestowania tej hipotezy muszę wyjść i znaleźć jakies koty, a następnie spróbować określić, czy napotkane zwierzę to kot z Cheshire czy niekot z Cheshire. To wyzwanie na swój sposób podobne do poszukiwania oznak życia w kosmosie i znajdowania zamieszkałych bądź niezamieszkałych planet.

Oczywiście, gdy chodzi o liczenie kotów, łatwiej jest powiedzieć, niż zrobić. Szukam w ciemno, bez uprzedniej informacji, która byłaby mi wskazówką. Jednak, o ile nie zamierzam złapać i ocenić ogromnej liczby zwierzątek, moje wyniki zawsze będzie cechował znaczący rozrzut losowy. Jeśli zgarnę z ulicy dziesięć kotów i dwa z nich zidentyfikuję jako koty z Cheshire, nie mogę stwierdzić *na pewno*, że stanowi to potwierdzenie mojej hipotezy o 20-procentowym udziale tych uśmiechniętych w populacji, ponieważ istnieje duży margines błędu spowodowany losowym doбором małej liczby kotów.



Zatem moja teoria musi być nieco bardziej wyrafinowana i powinna obejmować pewne przewidywania na temat rozrzutu (czy też odchylenia) losowo wybranych grup kotów. W efekcie musi przewidywać także ten margines błędu, aby powiedzieć mi, jak powinny wyglądać wyniki badań, jeżeli moja hipoteza jest poprawna.

Do komplikacji spowodowanych moim doбором próbkki dochodzi jeszcze kwestia bardziej systematycznych obciążeń mojego przeglądu. Być może koty z Cheshire zwykle są tuste i powolne, wobec czego łatwiej będzie mi je złapać i więcej ich policzyć. Niewykluczone, że moja hipoteza jest błędna od samego początku (bardzo możliwe, jako że stworzenia te mają skłonność do niewidzialności). Tymczasem zwodzę sam siebie, myśląc, że jest poprawna, ponieważ przypadkiem znalazłem w swojej losowej kolekcji właściwą liczbę stworzeń, które uważam za uśmiechające się koty z Cheshire.

Tak więc prawdopodobieństwo, że moja hipoteza na temat kotów z Cheshire jest poprawna, samo w sobie jest matematyczną kombinacją innych, powiązanych z nim prawdopodobieństw. Pierwszym z nich jest prawdopodobieństwo wystąpienia określonych danych lub też pomiarów przy uwzględnieniu tej hipotezy. Choć brzmi to nieco dziwnie, oznacza mniej więcej tyle, że jeśli model lub hipoteza jest prawdziwa, możesz oczekiwać, iż zmierzone przez ciebie wartości będą wpisywały się w pewien wzorec. Na przykład byłbym w stanie określić konkretne prawdopodobieństwo tego, że w mojej losowej próbce dziesięciu kotów naliczę jednego, dwa lub trzy, lub dowolną inną liczbę kotów z Cheshire.

Następny element to tak zwane prawdopodobieństwo *aposterioryczne*, będące tym, czego tak naprawdę szukamy, zarówno gdy chodzi o koty, jak i o kwestię istnienia życia we Wszechświecie. Prawdopodobieństwo *aposterioryczne* jest bardziej intuicyjną odwrotnością rozumowania, które przeprowadziliśmy wcześniej. To prawdopodobieństwo zdarzenia, że hipoteza jest poprawna w świetle uzyskanych pomiarów lub dowodów. Innymi słowy, mówi nam ono, jak bardzo prawdopodobna jest moja teoria na temat kotów albo jak bardzo prawdopodobne jest istnienie życia gdzie indziej we Wszechświecie, tylko na podstawie obserwacji życia tutaj, na Ziemi. To również ta sama miara *pewności*, z którą zetknęliśmy się na przykładzie wschodów słońca i kul bilardowych.

I wreszcie w moim opartym na kotach opisie wzoru Bayesa występuje czynnik odpowiadający samej hipotezie, zwany prawdopodobieństwem *apriorycznym*. W tym wypadku oznacza on prawdopodobieństwo, że dany kot jest kotem z Cheshire, które, jak sądzimy, wynosi 20 procent, czyli 0,2. Oczywiście nie *wiemy*, czy 20 procent to wartość zgodna z prawdą czy nie; właśnie to chcielibyśmy potwierdzić, podobnie jak chcielibyśmy znaleźć potwierdzenie prawdopodobieństwa, że każda planeta może zrodzić życie. Co ciekawe, przy pisując jej określone prawdopodobieństwo, zakładamy pośrednio, że poprawna jest sama idea istnienia kotów z Cheshire. Tego rodzaju założenie jest ryzykowne, ponieważ możemy błędnie nadać zbyt dużą wagę jakiejś zwiariowanej hipotezie. Jeśli więc nie jesteśmy pewni swego, najlepsze, co możemy zrobić, to ocenić wiele różnych wersji „apriorycznych” i trzymać kciuki za to, że posiadane przez nas dane odsięją zwycięskie hipotezy od przegranych na podstawie ich względnych prawdopodobieństw.

Treść twierdzenia Bayesa, którą tu zarysowałem, zakłada również, że jakiegokolwiek dane uzyskamy, będą one prawdziwe, nie będzie wśród nich wyników typu „fałszywie pozytywne” ani „fałszywie negatywne”. Jeśli więc podczas swoich kocich poszukiwań schwytam jakiegoś kota,

zakładam, że skoro zidentyfikuję go jako kota z Cheshire, to rzeczywiście nim będzie. To ważne zastrzeżenie. W świecie medycznym na przykład wyniki fałszywie pozytywne i fałszywie negatywne są bardzo częste. W takich wypadkach wzór Bayesa pozwala na pewne ulepszenie w postaci prawdopodobieństwa błędnej diagnozy oraz wadliwości testu chemicznego. Jeśli spróbujesz oszacować prawdopodobieństwo określonej choroby czy też wybuchu epidemii, kluczowe znaczenie będzie miała dokładność wybranych przez ciebie danych i jakość też apriorycznych.

Zatem twierdzenie Bayesa pozwala nam ocenić związek między tym, co możemy zmierzyć i zaobserwować, a naszymi hipotezami czy modelami matematycznymi. Zasadniczo powinno umożliwić wyznaczenie prawdopodobieństwa absolutnego, pewności, że dana hipoteza stanowi dokładny opis zjawiska występującego w naturze. Są jednak pewne kłopotliwe problemy, które czynią te obliczenia trudnymi do przełknięcia. Możemy nie wiedzieć, jaka jest dokładna wartość prawdopodobieństwa apriorycznego albo czy hipoteza w ogóle jest choć w niewielkim stopniu prawdziwa. Ponadto nasze pomiary mogą być niedoskonałe z powodu losowego doboru próbek lub nieoczekiwanych błędów – problem realnie występujący w moim przykładzie, ponieważ koty z Cheshire są całkowicie fikcyjne. Wobec tego obliczona przez nas absolutna wartość prawdopodobieństwa, czy też pewność, może być tak mała, że nie pomoże nam w podjęciu decyzji.

Na szczęście idea Bayesa jest zdecydowanie potężniejsza. Istnieje sposób na pokonanie tych przeszkód, sprytna sztuczka, którą naukowcy nauczyli się stosować w swojej codziennej pracy, zarówno podczas śledzenia kotów, jak i obliczania struktury kosmosu. Otóż zazwyczaj niewiele nas obchodzi *absolutna* wartość różnych prawdopodobieństw. Jedyne, na czym naprawdę nam zależy, to odpowiedź na pytanie, czy jeden model, lub hipoteza, jest „lepszy” albo bardziej prawdopodobny niż inny. Tak więc zaczynamy od założenia, że wszystkie hipotezy są jednakowo prawdopodobne. To, co naprawdę ważne, to wykrycie, która z nich najlepiej pasuje do posiadanych przez nas danych albo pomiarów; sprawdzamy, która wygrywa. Wszystkie mogą być błędne, to prawda, ale nas interesuje tylko, która jest *najmniej* błędna. Możemy to osiągnąć przez przekształcenie wzoru Bayesa. W efekcie otrzymujemy prawdopodobieństwo czy też pewność, że wyniki naszych pomiarów są zgodne z daną hipotezą *w porównaniu z innymi*. Ten szybki trik stanowi niewiarygodnie potężny instrument.

Chcąc zastosować tę sztuczkę do kotów z Cheshire, mogę przetestować różne metody ich identyfikacji, takie jak ważenie albo sprawdzanie, czy potrafią się uśmiechać. Jeśli rzeczywiście stanowią one 20 procent wszystkich kotów, to obydwie metody, dokładna i mniej dokładna, przy zmieniających się względnych prawdopodobieństwach, powinny wykazywać pewną spójność. Stosując podejście bayesowskie, mogę połączyć te wszystkie czynniki razem w celu skonstruowania miary całkowitego zaufania do tej hipotezy w porównaniu z innymi.

A co, jeśli żadna z moich metod identyfikacji nie da wyników zbliżonych do założonego odsetka zwierząt, prowadząc do niskiej wartości zaufania? W takim razie muszę wziąć pod uwagę, że albo szczegóły mojej wstępnej hipotezy były wadliwe, albo takie stworzenia jak koty z Cheshire nie istnieją. To pod pewnymi względami stosunkowo prosta koncepcja matematyczna, jednak o zdumiewająco daleko idących zastosowaniach. Zdaniem wielu naukowców jej skuteczność w szacowaniu przybliżonego kształtu rzeczywistości jest dowodem na to, że wnioskowanie bayesowskie jest możliwie najbliższe „tego, jak działa natura”: wydaje się

doskonale oddawać prawdopodobieństwo całej gamy zjawisk, które choć podporządkowane regułom, naznaczone są również elementami losowości. Tyle że podczas gdy natura wie, jakie zasady rządzą sytuacjami, do których stosujemy tę metodę, nam pozostaje jedynie zgadywanie.

Bardzo często nie ma to większego znaczenia. Jeśli nasze zgadywanie, nasz model naukowy, cechuje rozsądna dokładność, magia twierdzenia Bayesa ukryje pęknięcia albo przynajmniej uświadomi nam, jak wielkie zaufanie możemy pokładać w uzyskiwanych wynikach. Niektórzy wciąż postrzegają tę metodę wyciągania wniosków na temat działania Wszechświata jako niepokojącą, ponieważ oznacza ona, że żadna teoria nie jest prawdziwie błędna – po prostu nie jest równie dobra jak inne.

Wciąż mam żywo w pamięci scenę, której byłem świadkiem jako młody doktorant, gdy pewni wybitni badacze omal nie przeszli do rękoczynów w sporze o to, czy taka powierzchowność w nauce jest dopuszczalna czy też nie¹⁷⁶. Skoro analiza bayesowska dostarcza jedynie *prawdopodobieństwa*, że dana teoria dobrze pasuje do obserwacji, z pewnością nigdy nie będziemy mogli w pełni zaufać zgromadzonej tym sposobem wiedzy. Z kolei argument drugiej strony brzmi: to z pewnością najuczciwszy i najbardziej realny sposób organizowania badań nad światem natury, który sam w sobie jest pełen niepewności i niekompletnych historii. Jednak, jak to często w życiu bywa, jeśli coś działa wystarczająco dobrze i pozwala na przyzwoite rozwiązanie problemu (aczkolwiek niedoskonałe), zwykle staje się, *de facto*, jego rozwiązaniem, i w takim wypadku twierdzenie Bayesa jest niezastąpione.

Dzisiaj wnioskowanie bayesowskie na stałe wpisało się w naszą technikę i nasze myślenie. Pojawia się wszędzie wokół ciebie, częściej, niż mogłoby ci się wydawać. Niemal każdy inteligentny program komputerowy do fotografowania korzysta z metody Bayesa. Rozpoznawanie twarzy? Tak, u jego podstaw leży prawdopodobieństwo Bayesa, gwarantujące, że drogocenny moment dziecięcej zabawy zostanie uchwycony z należytą ostrością. Frustrujący mandat, który właśnie otrzymałeś za przejechanie światła, gdy już zmieniły się na czerwone? Możesz podziękować Thomasowi Bayesowi: to dzięki technikom bayesowskim rozmyte zdjęcie pozwoliło namierzyć twoje prawo jazdy. Autokorekta przewidująca (często komicznie), co chcesz napisać w swoim sms-ie? Tak, to kolejne zastosowanie twierdzenia Bayesa – analiza statystyczna użycia słów dostarcza prawdopodobieństwa, na podstawie którego program decyduje, co zamierzasz napisać w następnej kolejności. Sposób, w jaki systemy automatyczne handlują akcjami i udziałami oraz ustalają wartości towarów i walut – większość tych zadań wykonywana jest na podstawie uzyskiwanych metodami bayesowskimi prawdopodobieństw i pewności wyników. W epoce Big Data, gdy firmy gromadzą każdy okruszek informacji o naszym zachowaniu, te same narzędzia wnioskowania i prognozowania statystycznego przydają się do wyciągania użytecznych wniosków na temat naszej ulubionej marki mydła... albo marki, do której polubienia dałoby się nas namówić.

Niesamowicie wpływowa spuścizna Bayesa w nauce ma decydujące znaczenie dla zrozumienia,

co nasze istnienie mówi nam na temat prawdopodobieństwa istnienia życia gdzie indziej. Tak, pomagają w sekwencjonowaniu kodu genetycznego. I dokonuje ewaluacji wyników testów opartych na markerach nowotworowych, by oszacować prawdopodobieństwo, że masz złośliwą odmianę nowotworu. Pozwala analizować petabajty danych w poszukiwaniu ulotnych sygnałów cząstek i praw fizycznych. Zarazem jednak pomaga nam zmierzyć się z kluczowym pytaniem, co nasza własna egzystencja oznacza dla prawdopodobieństwa istnienia życia gdzie indziej, w pełnej miliardów układów planetarnych Galaktyce. Tak więc teraz, gdy nasze myśli na temat tej szarady toczą się już po torach nakreślonych przez Thomasa Bayesa, zobaczmy, co się dzieje, gdy próbujemy sformułować odpowiedź na pytanie o istnienie życia we Wszechświecie w postaci matematycznej.

* * *

W 2012 roku dwóch naukowców z Princeton, David Spiegel i Edwin Turner¹⁷⁷, zastosowało twierdzenie Bayesa do starannie sformułowanej odmiany pytania „Czy jesteśmy sami we Wszechświecie?”. Zaczęli od zadania pytania, jakie znamy niezbitą fakty dotyczące życia tutaj, na Ziemi. Jakimi wskazówkami powinniśmy się kierować? Przede wszystkim wymaga to oddzielenia najbardziej mylących i nieistotnych informacji w celu dotarcia do czystego ekstraktu, który rozpada się na dwa proste elementy. Pierwszy z nich to fakt, że pewne formy życia na Ziemi pojawiły się stosunkowo wcześnie¹⁷⁸, kilkaset milionów lat od uformowania planety. Kolejny bit wiarygodnej informacji jest taki, że w ciągu kilku miliardów lat później pojawiły się myślące i stawiające pytania istoty, które to odkryły. Zedrzyj wszystko, co nieistotne, okrój do samego jądra, a okaże się, że cała wiedza o życiu we Wszechświecie, jaką obecnie dysponujemy, sprowadza się do tych dwóch prostych faktów. Niezłe otrzeźwienie.

Następnie Spiegel i Turner podstawili te informacje do wzoru Bayesa, chcąc uzyskać odpowiedź na pytanie, czy wspomniane fakty mówią nam cokolwiek o prawdopodobieństwie powstania życia gdzieś we Wszechświecie (abiogeneza). Inaczej mówiąc, skoro życie tak szybko wystartowało na Ziemi, a kilka miliardów lat później ewolucja stworzyła człowieka, czy to samo może zdarzyć się gdzie indziej? Jak w każdej analizie bayesowskiej, istnieje napięcie między wagą – zaufaniem – jaką przykładamy do znanych faktów, a tą przypisywaną naszym wcześniejszym założeniom.

Jakiego rodzaju założenia przyjmujemy więc w tym wypadku? Spiegel i Turner zdali sobie sprawę, że już zapisując wzór, czynimy niezbędne założenia odnośnie do prawdopodobieństwa pojawienia się na planecie elementarnych form życia w określonym odcinku czasu. Innymi słowy, zakładamy *średnią* liczbę wystąpień abiogenezy w dowolnym okresie miliarda lat – to nasze prawdopodobieństwo *a priori*.

A teraz mały przytyczek w nos. Bez odpowiedniej analizy bayesowskiej mamy skłonność do zakładania, że życie prawdopodobnie z łatwością rodzi się w całym kosmosie, w przeciwnym

wypadku nie pojawiłoby się tak szybko na powierzchni młodej i stygnącej Ziemi. Jednak takie rozumowanie to stawianie wszystkiego na głowie, tak samo jak zakładanie średniej liczby narodzin życia na planecie w ciągu miliarda lat, kiedy nie wiemy, jaka to liczba!

Spiegel i Turner nazwali to „ignorancją aprioryczną”, doskonale oddając naszą sytuację. Właściwa analiza matematyczna daje dość niepokojące wyniki, ponieważ obliczenia wykazują, że wczesne pojawienie się życia na Ziemi nie mówi nam *niemal nic* o szansach jego wystąpienia gdzie indziej. Po raz kolejny dała o sobie znać nasza skłonność do postrzegania we wszystkim własnego odbicia, nasze odwieczne zamięlowanie do przeceniania własnego znaczenia.

Badając rozmaite modele matematyczne owej ignorancji apriorycznej, Spiegel i Turner zdołali wykazać, że przewidywania na temat życia w kosmosie są przede wszystkim niemal dokładnie funkcją naszych założeń. Załóżmy, że (nieznana) częstotliwość abiogenezy na odpowiedniej planecie jest stała w czasie. Dokonana przez nich analiza bayesowska, po uwzględnieniu istnienia życia na Ziemi, wciąż pozostawiła życiu w naszej Galaktyce szeroki wachlarz możliwości. Życie mogło być wszędzie, ale mogło też być zjawiskiem zachodzącym raz na 10 miliardów lat albo raz na 100 miliardów lat. Inaczej mówiąc, możemy być pierwszym przykładem życia we Wszechświecie. Wystarczy nieznacznie skorygować założenia, by wszystkie przewidywania okazały się na nic.

Jeden przykład życia na Ziemi to za mało, by na jego podstawie wyciągać wnioski na temat życia gdzie indziej. Jesteśmy niczym ten kogucik, któremu dane było ujrzeć pierwszy wschód słońca. Owszem, życie na planetach typu ziemskiego *może* pojawiać się szybko jak u nas, ale nasza aprioryczna ignorancja jest tak duża, że nie możemy wykluczyć możliwości, iż tego nie robi. Istnieje też inna, subtelniejsza strona tej analizy, mająca związek z różnicą między życiem mikrobiologicznym a istotami ludzkimi. Jej korzenie ponownie sięgają dwóch fragmentów informacji o życiu na Ziemi, od których rozpoczęliśmy. Wiemy co nieco o odstępach czasu, jaki dzieli pojawienie się życia na Ziemi od pojawienia się człowieka: około 3,5 miliarda lat. Jakie ma to znaczenie dla naszych rozważań?

Teraz wkraczamy niemal na grunt filozofii, ponieważ możemy zapytać, czy prawdopodobieństwo naszej obecności w tym czasie, byśmy mogli obserwować Wszechświat wokół nas i stawiać takie pytania, ma wpływ na same konkluzje. Innymi słowy, jak zmienia się wywnioskowane prawdopodobieństwo pojawienia się życia na dowolnej planecie, jeśli życie, jak to było na Ziemi, wymaga z grubsza 3,5 miliarda lat na wyewoluowanie z postaci mikroba do postaci złożonych organizmów, zdolnych obliczać prawdopodobieństwo?

Spójrz na to w ten sposób. Możemy powiedzieć, że planeta *wymaga* mniej więcej 3,5 miliarda lat biologicznej ewolucji między abiogenezą a powstaniem „inteligentnych” form życia. Jeśli tak jest w istocie, planeta w wieku Ziemi, na której życie nie pojawiło się równie szybko, mogła jeszcze nie wytworzyć istot takich jak my. Dlatego naturalne wydaje się stwierdzenie, że znajdujemy się na planecie, na której abiogeneza zaszła bardzo wcześnie, ponieważ na późno zakwitającej planecie nie byłoby nas jeszcze, by poczynić tę obserwację!

Dochodzimy zatem do konkluzji, że ten drugi fragment informacji również *nic* nam nie mówi o prawdopodobieństwie zajścia pierwszego etapu narodzin życia na losowo wybranej planecie – z tego prostego powodu, że inne abiogenezy i tak nie mogłyby zajść tutaj, na Ziemi (ponieważ zabrakłoby czasu na stworzenie nas, żebyśmy mogli zauważyć ten fakt). Pokonawszy ostrożnie mentalne pole minowe wnioskowania bayesowskiego, dochodzimy do niepokojącej konkluzji:

historia życia na Ziemi daje nam bardzo ograniczone możliwości budowania statystyk odnośnie do życia we Wszechświecie. Zatem może być tak, że życie zazwyczaj szybko powstaje na młodych i skalistych planetach, charakteryzujących się bogactwem chemicznym. Oznaczałoby to, że sytuacja na Ziemi zalicza się do standardowych i niczym się nie wyróżnia. Jednakże równie dobrze może *nie* być normą. Pojawienie się życia może być rzadkim zjawiskiem... zwyczajnie brak nam informacji, żeby to rozstrzygnąć.

Zasadniczo kluczowa część tej informacji jest prosta, jednak w praktyce oznacza jedno z największych wyzwania naukowych naszych czasów. Gdybyśmy mogli znaleźć choć *jeden* przykład życia, którego pochodzenie byłoby prawdziwie niezależne od naszego, potrafilibyśmy znacząco zmniejszyć naszą ignorancję aprioryczną. Analiza bayesowska mówi nam nawet, jak bardzo. Zamiast niskiego tempa abiogenezy, wynoszącego raz na 10 lub 100 miliardów lat w całej Galaktyce, minimalna wartość mogłaby wzrosnąć do tempa raz na miliard lat na dowolnej pojedynczej planecie. A to już liczba, którą można się ekscytować. To nie musi być nawet życie na egzoplanecie. Już dowód istnienia nitki życia o niezależnej abiogenezie na Ziemi znalazłby bezpośrednie przełożenie na naszą wiedzę o prawdopodobieństwie powstania życia w kosmosie.

To samo mogłoby zdziałać odkrycie niezależnego życia na innej planecie naszego układu planetarnego. Dowolne z tych odkryć zwiększyłoby prawdopodobieństwo narodzin życia gdziekolwiek indziej w kosmosie i wydatnie wzmogło zaufanie, jakie położyliśmy w szacowaniu wartości tego prawdopodobieństwa. Najwyraźniej nasze poszukiwania odpowiedzi na pytanie o kosmiczne znaczenie człowieka, w jej najbardziej rygorystycznej i naukowej postaci, pójdą naprzód tylko wtedy, gdy wybierzemy się na polowanie.

* * *

Odbывая się w późnych latach sześćdziesiątych i wczesnych latach siedemdziesiątych XX wieku misje księżycowe Apollo pozostawiły nam bogatą spuściznę, w której niebagatelne miejsce zajmuje nowo nabyte uznanie dla naszego szlachetnego, lecz jakże skromnego świata, zawieszanej w przepastnym mroku kosmosu błękitnozielonej kulki. Jednak na Księżyc poleciało zaledwie 24 ludzi, a tylko 12 z nich postawiło stopę na jego pokrytej pyłem powierzchni; 12 ludzi, 12 spośród 110 miliardów istot ludzkich, jakie kiedykolwiek istniały – by nadać temu właściwą perspektywę.

Równocześnie odbyliśmy godną uwagi podróż *in absentia*. Ziemię opuścili pomysłowo skonstruowane roboty, udające się w imponująco wielu kierunkach. W sumie, od lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku, które dały początek erze kosmicznej, posłaliśmy ponad 70 misji na Księżyc. Odbyło się z górą 40 prób badania oraz lądowania na naszej często pomijanej siostrze Wenus, 40 misji na Marsa, 2 na Merkurego i niemal 40 misji wysłanych w celu obserwowania i monitorowania Słońca – często z bezpiecznych okolic orbity Ziemi.

Wysłaliśmy sondy na Jowisza i Saturna, dbając o to, by po drodze minęły Urana i Neptuna, osadziliśmy je na asteroidach, wyrwaliśmy krater w jądrze komety oraz zebraliśmy pył

z przestrzeni międzyplanetarnej – mikroskopijne ziarenka, wśród których część powstała tutaj, a część zdryfowała z przestrzeni międzygwiazdnej. Obecnie trwa misja ku Plutonowi¹⁷⁹ i innym obiektom transneptunowym znajdującym się w najdalszych zakątkach naszego układu planetarnego. A sondy Pioneer i Voyager są nawet w drodze ku najbliższym gwiazdom, dopiero teraz zaczytując swoją prawdziwą podróż międzygwiazdą, po blisko czterdziestoletnim kluczeniu w przestrzeni lokalnej, które poprzedziło wejście na kurs ich obliczonej na dziesiątki tysięcy lat¹⁸⁰ samotnej wędrówki.

Przez ostatnie pięćdziesiąt lat ciągłemu nadzorowi naukowemu z kosmosu poddawaliśmy również własną planetę. Udało nam się zaśmiecić przestrzeń wokół Ziemi, zarówno działającymi satelitami, jak i rojem unoszących się wokół niej sztucznych szczątków. W czasie kiedy to piszę, Ziemię okrąża jakieś trzy tysiące satelitów oraz dziesiątki tysięcy śmieci o rozmiarach powyżej centymetra i dziesiątki milionów mniejszych okruchów.

Ta eksploracja i okupacja przestrzeni kosmicznej do pewnego stopnia zawsze napędzana była polowaniem na inne formy życia. Gdziekolwiek bylibyśmy, czy to badając gęstą atmosferę Wenus, obserwując wygasającą burzę piaskową na Marsie, czy przyglądając się badawczo lodowym graniom na powierzchni księżyca Jowisza, Europy¹⁸¹, ono zawsze tkwiło w naszej podświadomości. Jak wspomniałem w poprzednim rozdziale, nawet kriogeniczne jeziora metanu i upiornie znajome wzgórza i doliny węglowodorów na odległym Tytanie rodziły poważne rozmyślenia nad możliwością istnienia zamieszkujących te niskotemperaturowe środowiska obcych form życia. Jednak u zarania naszej fizycznej eksploracji Układu Słonecznego, pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku, nie mieliśmy żadnej spójnej idei, za czym konkretnie powinniśmy się rozglądać i, do pewnego stopnia, nie mamy jej nadal.

Jeśli coś się zmieniło w ciągu ostatnich kilkadziesiąt lat, to z pewnością fakt, że obecnie bardziej świadomie przyznajemy, iż istotną motywację dla podejmowanych przez nas wysiłków eksploracyjnych stanowi poszukiwanie życia poza Ziemią. W istocie często deklaruje się dzisiaj, że to główny cel nowej misji planetarnej, i czyni z niego podstawowy argument naukowy w staraniach o fundusze i wsparcie. Skupienie się na tym zadaniu pomogło udoskonalić nasze metody eksploracji. Jako myśliwi polujący zarówno na dużego, jak i niezmiernie małego zwierzca staliśmy się zaawansowanymi wytwórcami narzędzi, konstruując urządzenia zdolne wyszukiwać rzadkie molekuły oraz kamery pozwalające na sporządzenie map całej sfery światów.

Wyraźnie nie mamy pojęcia, *czego szukać*, przeczesując piaski Marsa, ani *co próbujemy ujrzeć*, zaglądając pod powierzchnię Europy lub Enceladusa. Gdy chodzi o podstawową wiedzę biologiczną, jesteśmy bardzo, ale to bardzo zależni od tego, co wiemy już o organizmach znajdujących się tutaj, na Ziemi, a to wpływa zarówno na nasze wyobrażenia o tym, czym jest „życie”, jak i na sposoby jego poszukiwania. W poprzednim rozdziale opowiedziałem nieco o wielkim „drzewie” życia na Ziemi, rozgałęzionej klasyfikacji organizmów, która wskazuje na istnienie trzech królestw, bakterii, archeonów, eukariontów i być może wirusów. Powszechnie uważa się, że wszystkie te królestwa wywodzą się od wspólnego przodka. Rzeczywiście, mówimy zwykle o „ostatnim uniwersalnym wspólnym przodku”, czyli przodku LUCA¹⁸² (z ang. *last universal common ancestor*), pojedynczym gatunku (możliwe, że nawet pojedynczym pierwotnym organizmie, babci wszystkich babć), z którego miliardy lat temu wykształciło się całe

późniejsze życie.

Przeprowadzono wyrafinowane analizy statystyczne (tak, analizy bayesowskie) uwzględniające różne scenariusze pochodzenia kluczowych, wspólnych dla wszystkich organizmów fragmentów materiału genetycznego. Przytłaczająca większość wyników wskazywała raczej na koncepcję przodka LUCA, pojedynczego gatunku, który ewoluował we wszystkie znane nam dzisiaj formy życia, niż na bardziej złożoną pierwotną aranżację. Jednakże nie jest jasne, w jaki konkretnie sposób ten superprzodek dał później początek trzem lub więcej odrębnym królestwom. Istnieje zgodna opinia, że bakterie i archeony powstały przed eukariontami. To rozsądna hipoteza, ponieważ, jak mówiłem wcześniej, większe komórki eukariotyczne zawierają wbudowane fragmenty wcześniejszych, prostszych organizmów. Te wchłonięte symbionty stają się organellami, na przykład mitochondriami – strukturami istotnymi dla metabolizmu eukariontów, do czego wrócę później.

Szereg przeprowadzonych przez naukowców badań miał na celu ustalenie prawdopodobnych właściwości przodka LUCA, poczynając od wymagań, gdy chodzi o jego molekularny zestaw narzędzi genetycznych, a kończąc na mechanice i własnościach fizycznych. To jednak skomplikowana sprawa. Na przykład naukowcy studiujący dywergencję form życia nadal nie są przekonani, że gdyby dostatecznie daleko cofnąć zegar biomolekularny, rzeczywiście wszystkie gałęzie drzewa życia gładko połączyłyby się w jeden, wyraźnie odrębny gatunek. W małej puli genetycznej mogłoby raczej dochodzić do wszelkiego rodzaju kazirodczej wymiany genów, co wciąż pozostawałoby spójne z konkluzjami statystycznymi. Geny w takiej puli przemieszczałyby się „horyzontalnie” między poszczególnymi osobnikami oraz tworzącymi się rodami, a ich historie przeplatałyby się i łączyły w pasożytniczych lub symbiotycznych zespoleniach.

Niezależnie od szczegółów w końcu stajemy wobec czegoś, co powszechnie akceptowane jest jako możliwe przejście od wcześniejszej, prespecyjacyjnej formy życia. To stan poprzedzający przodka LUCA, który, jak sądzimy, musiał być już praktycznie rozpoznawalnym gatunkiem o budowie komórkowej, mającym DNA i wszystko inne. Próby wyobrażenia sobie stanu pre-LUCA wzorowane są na „świecie RNA”¹⁸³, idei przedstawionej po raz pierwszy w latach sześćdziesiątych XX wieku przez Carla Woese. RNA to dzisiaj ta „inna” kluczowa struktura molekularna, oprócz DNA i białek. Pod wieloma względami przypomina jednoniciową, krótszą wersję DNA, z pewnymi rozbieżnościami w budowie. Poza tym jednak dzieli je istotne różnice. RNA odgrywa kluczową rolę w przekazaniu informacji między DNA a białkami: nici RNA są przepisywane z kodu DNA i mogą być „odczytywane” przez maszyny molekularne zwane rybosomami, które działają niczym maszyny do szycia, zszywając nowe białka na podstawie informacji pochodzących z RNA.

Postulowany świat RNA mógł być swego rodzaju fabryką prototypów, istniejącym u zarania ery organizmów komórkowych szerokim asortymentem oddziałujących ze sobą struktur. Tego rodzaju złożony molekularny ekosystem mógł reprezentować czasy znacznie bliższe momentu narodzin życia, ale on również musiał być wytworem ewolucji czegoś innego. Być może to „coś jeszcze” zaczęło się od pierwszych tłustych lipidów i błon komórkowych, a także od pierwszych samoreplikujących się molekuł stworzonych z surowych elementów wchodzących w skład aminokwasów. Po prostu jeszcze nie wiemy.

W miarę zbliżania się do momentu narodzin życia obraz szybko ulega więc komplikacji. Nie

mamy żadnych realnych skamielin jakiegokolwiek z tych wczesnych form życia sprzed 3,5 do 4 miliardów lat (aczkolwiek pewien zespół geologów twierdzi, że znalazł skamieniałe komórki¹⁸⁴ w liczących 3,4 miliarda lat australijskich skałach). Wszytoko, czym dysponujemy, to osady chemiczne i struktury mineralne pozostawione przez kolonie organizmów jednokomórkowych lub coś, co było tam wcześniej. W rezultacie zmuszeni jesteśmy próbować ekstrapolacji z molekularnego ekwiwalentu skamielin, czyli zakodowanych we współczesnym DNA struktur białkowych, z których każda przypomina mikroskopijną warstwę osadów kopiowaną przez niezliczone kwadryliony organizmów w całej historii życia na Ziemi.

To bardzo skomplikowany problem, zwłaszcza gdy chodzi o uzyskanie odpowiedzi na pytanie, jak wiele niezależnych nitek życia mogło powstać na Ziemi oraz ile razy tutaj lub gdziekolwiek indziej w Układzie Słonecznym mogło dojść do abiogenezy. Genetyczny zapis kopalny nie ma idealnego chronometru, który odmierzałby zmiany zgodnie z zewnętrzną skalą czasową, poza tym najwyraźniej nie jesteśmy do końca pewni, jak powinna brzmieć poprawna definicja naukowa początków życia. Życie powstało na długo przedtem, zanim pojawił się LUCA; problem w tym, że musimy zadać sobie pytanie, w którym momencie złożoną strukturę molekularną należy uznać za „żywą”. To pytanie równie stare jak sama nauka i nadal nie mamy na nie wystarczającej odpowiedzi, ponieważ życie ma wiele cech charakterystycznych, od metabolizmu po zdolność reprodukcji i dziedziczenia, ale również od homeostazy (zdolności regulowania środowiska wewnętrznego) po umiejętność przystosowania się. Jednak ukryte pod biologicznym podszyciem czają się pewne wskazówki.

Jednej z nich dostarcza osobliwy przypadek gigantycznych wirusów¹⁸⁵. Bardzo długo sądzono, że wirusy są „nie całkiem żywe”, uważano je za proste pakiety DNA lub RNA, całkowicie zależne od organizmu żywiciela, który zapewnia im molekularny zestaw narzędzi do reprodukcji. Jednak naturę nie tak łatwo sklasyfikować. Naukowcy, którzy we wczesnych latach dziewięćdziesiątych XX wieku badali ameby w wodzie z systemów chłodzenia oraz doprowadzania powietrza, natknęli się na organizmy infekujące te drobne istoty. Uważane początkowo za bakterie, prawidłowego rozpoznania doczekały się dopiero na początku XXI wieku, kiedy to ich odkrywcy, zbadawszy je pod mikroskopem elektronowym, zdali sobie sprawę, że mają do czynienia z wirusem... i to bardzo dużym wirusem.

Oryginalny „mimiwirus” ma około 750 nanometrów średnicy, co czyni go olbrzymem wśród wirusów. Nie dość, że ta godna uwagi konstrukcja znacznie przewyższa rozmiarami większość znanych wirusów, to jeszcze mieści w sobie imponujący zbiór genów. W istocie zawiera 1,2 miliona kwasów nukleinowych, „liter,” opisujących geny dla więcej niż 900 typów cząsteczek białka. Być może nie brzmi to imponująco, zważywszy, że ludzki DNA obejmuje do 25 000 genów kodujących białka, toteż dla porównania powiem, że najmniejszy zaobserwowany dotąd kod genetyczny konwencjonalnego wirusa liczy zaledwie 4 geny. Nawet niektóre bakterie nie mają tyle informacji genetycznej na składzie. Mimiwirus jest najlepszy. Od odkrycia pierwszego olbrzymiego wirusa na jaw wyszło znacznie więcej przedstawicieli tego gatunku (jeśli wolno mi się tak wyrazić), w tym jeden noszący dość afektowaną nazwę „megawirus”¹⁸⁶, który zawiera wystarczająco dużo DNA, by zakodować około 140 genów więcej niż mimiwirus. Sugeruje to, że olbrzymie wirusy nie są bynajmniej anomalią, lecz jedynie kolejnym wzorcem w przepływie różnych form życia.

Czy wirusy są żywe? Czy zasługują na nowe królestwo na drzewie życia? Naukowcy badający zawiłe szczegóły przenoszonych przez olbrzymie wirusy kodów białkowych odkryli pewien zdumiewający dowód molekularny, który pomaga w znalezieniu odpowiedzi na to pytanie. Mimo że podobnie jak ich mniejsi kuzyni, olbrzymie wirusy w kwestii reprodukcji i robienia użytku ze swojego DNA muszą zdać się na organizm żywiciela, są one nosicielami genów kodujących prosta budowę białkowe, obecne również w organizmach komórkowych, bakteriach, archeonach i eukariontach. W dodatku zawierają enzymy biorące udział w przetwarzaniu kodu DNA na białka, enzymy, które wcześniej znajdowaliśmy jedynie w organizmach komórkowych.

Nie tego spodziewamy się po wirusach. Jakby były noszącymi przy sobie zestaw narzędzi bezrobotnymi mechanikami. Chociaż potrafią czerpać geny z innych organizmów, wydaje się mało prawdopodobne, by tym olbrzymom udało się zgromadzić wszystkie użyteczne geny stopniowo, po kawałku. Pozostaje dość niezwykła konkluzja, że olbrzymie wirusy mogą być swego rodzaju „deewoluowanymi”¹⁸⁷ czy też zredukowanymi wersjami czegoś *innego*, czegoś bardziej złożonego. Jeszcze trochę, a byłyby w stanie samodzielnie się reprodukować. I być może kiedyś to potrafiły. Gdzieś w trakcie ewolucji odkryły, że lepiej jest egzystować w formie zakaźnych pasożytów, albo zwyczajnie nie poradziły sobie jako byty bardziej samowystarczalne. Niektórzy z badających te niezwykle wirusy naukowców sugerują, że mogą one wywodzić się z innej gałęzi życia, poprzedzającej przodka LUCA lub współistniejącej z nim, u zbiegu reszty odgałęzień.

Tylko czas pokaże, dokąd zaprowadzą nas te badania, jednak wynikają z nich pewne fascynujące kwestie związane z naszą interpretacją bayesowską prawdopodobieństwa narodzin życia. Czy naprawdę coś takiego jak przodek olbrzymich wirusów może być traktowane jak niezależna wersja życia? Wydaje się oparty na tej samej biochemii co reszta z nas, i mógł powstać z tego samego pradawnego bagna RNA i pierwotnej chemii. Jeśli nie pojawił się w tym samym czasie co nasz przodek LUCA, ale raczej kilkadziesiąt albo nawet kilkaset milionów lat przedtem lub potem, to czy możemy go traktować jak niezależny przypadek narodzin życia?

Jego cofnięty ewolucyjnie stan może powiedzieć nam coś jeszcze. Może również dowodzić, że kiedy już na planecie powstanie życie, pozostaje mu stosunkowo niewiele czasu na wyodrębnienie królestw o różnych strategii biomolekularnych, żeby umocnić swoją pozycję, zanim zostanie pokonane w walce o energię i surowce. Gdyby tak było naprawdę, oznaczałoby to, że życie na planecie toczy się według zasady ko pierwszy, ten lepszy. Czyli raczej mało prawdopodobne jest, by dochodziło do naturalnych eksperymentów z „nowymi” typami organizmów żywych. Po prostu nie miałyby one szans w rywalizacji o zasoby i zdadne do życia nisze.

Rodzi to szereg ważnych pytań. Czy biochemia życia, które znamy, jest unikatową cechą organizmów *na Ziemi*? Być może istnieje szansa, że obok nas istnieją prawdziwie niezależne formy życia, o niezależnym pochodzeniu, o ile tylko wykorzystują inną biochemię niż nasza. Inaczej mówiąc, gdyby były w stanie uniknąć konkurowania z wszystkimi znanymi nam organizmami, mogłyby ukrywać się gdzieś na widoku.

Niektórzy naukowcy, w szczególności fizyk Paul Davies¹⁸⁸, starannie przyjrzeni się temu, w jaki sposób tego rodzaju życie mogłoby albo całkowicie uniknąć bezpośredniego wykrycia,

albo egzystować niezauważalnie pośród całej reszty. „Biosfera cieni” mogłaby się rządzić tak odmiennymi regułami chemicznymi, że radykalnie ograniczyłoby to naszą zdolność dostrzeżenia jego aktywności fizycznej i chemicznej. To tylko hipoteza, lecz mocno naciągana, głównie dlatego, że znane nam życie na Ziemi opiera się na chemii, która jest naprawdę dobra w tym, co robi. Znalezione alternatywnego języka molekularnego, w którym natura mogłaby budować organizmy, to ogromne wyzwanie dla naszej wyobraźni, a być może i dla samej natury.

To oczywiście, że jakiegokolwiek bezpośrednie poszukiwania życia należącego do biosfery cieni muszą być trudne. Ponieważ nie jesteśmy świadomi obecności w naszym otoczeniu czegokolwiek zbudowanego na całkowicie odmiennych zasadach biochemicznych, co chodzi, pełza, fruwa albo pływa, bardziej naturalnym obszarem poszukiwań wydaje się mikrokosmos. Jednak to nie takie proste. Większość naszej aktualnej wiedzy o normalnym życiu mikrobiologicznym pochodzi z badań genetycznych całych populacji, nie poszczególnych osobników, a często nawet nie poszczególnych gatunków, lecz genetycznej zupy wielu z nich. Przetrzęsanie sadzawki lub paskudztwa, jakie kryje się pod glazami, to w najlepszym razie mozolne przedsięwzięcie. Jeżeli polujesz na organizmy z biosfery cieni, nie wiedząc nawet, czy twoje testy biochemiczne i analizy w ogóle działają, postęp może okazać się bardzo powolny.

Jednym z wybiegów może być poszukiwanie dziwnych organizmów zdolnych przetrwać w warunkach, które są zabójcze dla wszystkich „znanych” form życia. Możemy pozwolić, by toksyczne środowiska same dokonały dla nas selekcji takich dziwaków. Haczyk tkwi w tym, że konwencjonalne stare życie prześciga się w adaptowaniu i przetrwaniu, gdy tylko krok dzieli je od śmierci. Pod koniec 2010 roku ta własność organizmów stała się przyczyną pewnego zamieszania w mediach i kontrowersji naukowych.

Historia zaczyna się w środowisku, które jest dziwaczne nawet jak na standardy najdziwniejszych miejsc, jakie można znaleźć na Ziemi. Mowa o jeziorze Mono, leżącym w Kalifornii, na wschodnich obrzeżach Parku Narodowego Yosemite, niedaleko granicy stanu Nevada. Mono to śródlądowy zbiornik wodny, który powstał blisko 760 000 lat temu. Jego zamknięty charakter w połączeniu z lokalnym środowiskiem wulkanicznym i mineralnym skutkowało wysokim nasyceniem wody solami oraz jej silnie zasadowym odczynem. Sytuację pogorszyła jeszcze aktywność człowieka: w latach czterdziestych ubiegłego wieku odwrócono bieg wielu zasilających jezioro strumieni, by zaspokoić pragnienie rozwijającego się Los Angeles.

W konsekwencji daleko mniejszego zasilania w świeżą wodę jezioro stopniowo parowało, stając się płytsze i bardziej zasolone – ponad dwa razy bardziej słone niż typowe wody oceaniczne. Mimo to pozostawało bardzo wydajnym ekosystemem dla solankowców, much alkalicznych, mikroorganizmów i żyjących się tymi mniejszymi mieszkańcami kolonii ptaków. To imponująco różnorodny rozkwit żywych stworzeń, ukrywający niektóre bardzo toksyczne cechy tych wód. Na przykład w schodzących z okolicznych gór strumieniach, które wciąż zasilają jezioro, znajduje się wysokie stężenie arsenu, stanowiące nie lada wyzwanie dla normalnej biochemii. Gdybyśmy chcieli nadać mu jakąś cechę behawioralną, powiedzielibyśmy, że arsen to jeden z najpodstępniejszych znanych nam pierwiastków. Problem w tym, że atomy arsenu

wykazują duże podobieństwo chemiczne do atomów fosforu, a fosfor jest pierwiastkiem o kluczowym znaczeniu dla biochemii. Co prawda, atom arsenu jest znacznie większy, lecz istotne dla procesów chemicznych rozmieszczenie zewnętrznych elektronów jest takie samo jak w atomie fosforu. W rezultacie jeśli spożyjemy arsen w postaci cząsteczek arsenianu¹⁸⁹ (arsen i tlen), mogą one chwilowo oszukać nasz system, który pomyli je z fosforanem... z katastrofalnym dla nas skutkiem.

Nasze ciało omyłkowo będzie próbowało wykorzystać arsenian, wbudowując go w różne ważne życiowo obszary, poczynając od cząsteczek przenoszących energię¹⁹⁰, a kończąc na szkielecie DNA, w którym fosforany odgrywają kluczową rolę. Jednak chociaż arsenian dla naszej wygłodniałej biochemii może pachnieć jak fosfor, nie działa w ten sam sposób i w końcu jego obce molekuly zakłócają i niszczą działanie komórek, zabijając organizm. Niemniej jednak chemiczne podobieństwo arsenu i fosforu wciąż intryguje naukowców, a niektórzy z nich posuwają się nawet do spekulowania, że pewne organizmy, zamiast umrzeć, mogły ewoluować, wykształcając w sobie zdolność funkcjonowania dzięki arsenowi zamiast fosforu. Życie oparte na arsenie mogło powstać w celu opanowania specjalnych ekosystemów, takich jak ten w kleistym mulu na dnie jeziora Mono. Taka hipoteza, przy najmniej w teorii, zdaje się dość prawdopodobną kandydatką na hipotezę życia z biosfery cieni.

W ideach tego rodzaju istnieją jednak poważne problemy z niektórymi podstawowymi założeniami. Nadzwyczajna maszynaria chemii organicznej, która podtrzymuje „normalne” życie na Ziemi, jest całkowicie zależna od precyzyjnych własności fizycznych poszczególnych atomów i cząsteczek. Zastąpienie jednego atomu innym, o całkowicie odmiennych rozmiarach i masie, wniesie zasadnicze zmiany w energii wiązań między atomami i cząsteczkami, jak też w charakter energetyczny reakcji chemicznych. Już w świetle samej fizyki możemy stwierdzić, że wprowadzenie arsenu w miejsce fosforu i uniknięcie istotnych zmian w biomolekularnym kodzie życia wydaje się nieprawdopodobne.

Nie ma to jak samemu pójść i zobaczyć, toteż pod koniec 2010 roku zespół naukowców z NASA opublikował wyniki szczegółowych badań mikroorganizmów zasiedlających bogate w arsen muliste złogi jeziora Mono. Zaprojektowali oni eksperyment mający wyłowić wszelkie organizmy odporne na toksyczne wpływy arsenu, a nawet wręcz wcielające go w swoją biochemię. Żeby tego dokonać, inkubowali próbki bakterii i archeonów w roztworach zawierających coraz mniejsze ilości fosforu i duże ilości arsenu. Co zdumiewające, okazało się, że jeden gatunek bakterii¹⁹¹, część rodziny o nazwie *Halomonadaceae* – słonolubne towarzystwo – radzi sobie całkiem dobrze, nawet kiedy w roztworze niemal w ogóle nie było fosforu. Naukowcy zastanawiali się, czy ten mikroorganizm nie robi czegoś całkiem innego niż reszta, może ujawnia naturę organizmu z biosfery cieni? Czyżby to było życie oparte na arsenie?

To, co nastąpiło potem, stanowi przykład bezpodstawnej aroganckiej dumy naukowej popartej szumem medialnym wokół odkrycia, które okrzyknięto dokonaniem zmieniającym reguły dla życia na Ziemi i poza nią, okraszając je niezliczoną liczbą plotek i spekulacji. Tuż przedtem, zanim gruchnęła wieść o odkryciu, miałem szczęście przeczytać opublikowaną przez NASA informację dla prasy. Na pierwszy rzut oka wiadomość wydawała się niesamowicie interesująca. Naukowcy najwyraźniej twierdzili, że mają silne dowody przemawiające za tym, iż ten gatunek bakterii nie tylko jest odporny na toksyczne działanie arsenu, ale również

wbudowuje go w swój DNA i nadal normalnie funkcjonuje. Moja cytowana reakcja¹⁹² na rewelacje naukowców brzmiała: „To tak, jakbyś ty czy ja, po wrzuceniu do pokoju pełnego elektronicznych śmieci, bez czegokolwiek do jedzenia, zamienił się w całkiem funkcjonalnego cyborga”.

Jednakże niemal natychmiast po opublikowaniu raportu naukowego mikrobiolodzy zaczęli dostrzegać niedociągnięcia w części analiz. W raporcie brakowało również dostatecznego uzasadnienia niektórych wygłaszanych w mediach twierdzeń. Trudno było powtórzyć i sprawdzić otrzymane wyniki: gatunek był wcześniej nieznan i chcąc odtworzyć całe badanie, trzeba byłoby przeprowadzić znaczną liczbę testów i eksperymentów. Nie były to chlubne chwile dla nauki. Na drodze postępu stanęły wybujałe osobowości, a część dziennikarzy w pogoni za sensacją nieustannie podsycała szum medialny i rodzące się kontrowersje.

Wreszcie wrzawa medialna ucichła i całemu eksperymentowi zdążyli przyjrzeć się naukowcy z innych laboratoriów. Myślę, że dzisiaj możemy już stwierdzić, że zgodnie z ostateczną konkluzją naukową ta odmiana bakterii wykazuje nieprawdopodobną wprost odporność na toksyczne działanie arsenu, ale nie jest formą życia opartą na arsenie. Jest bardzo dobra w znajdowaniu sposobów na przeżycie w każdym wypadku z wyjątkiem całkowitej kąpieli w tej substancji. Potrafi nawet wprowadzić arsen w kilku procesach jako funkcjonalny zamiennik fosforu – jednak stają się one zdecydowanie mniej wydajne niż normalne, oparte na fosforze. I nie ma dowodów na to, że arsen działa jak fosfor w samym DNA bakterii. Co więcej, zabierz jej wszelkie najmniejsze ilości fosforu, a tak jak każda inna forma życia, bakteria zginie.

Dokładniejsze badania z 2012 roku dowodzą, że występujące w tej bakterii białka odpowiedzialne za wyławianie z otoczenia molekuł zawierających fosfor wołają je cztery tysiące razy bardziej¹⁹³ niż ich odpowiedniki zawierające arsen. Inaczej mówiąc, z niejaką ironią, organizmy te są po prostu bardzo, ale to bardzo dobre w wyłapywaniu fosforu z morza arsenu. Tak duża wybredność pozwala bakterii pozostać przy życiu tam, gdzie inne poddają się destrukcyjnemu wpływowi tego pierwiastka.

Szkoda. Byłoby wspaniale znaleźć przykład organizmu należącego do biosfery cieni, ale zdaje się, że to odkrycie nim nie jest. To raczej opowieść ku przestrodze, wskazująca na wyzwania, jakie czekają tych, którzy drążą dokoła w poszukiwaniu biosfery cieni tuż pod naszym nosem, życia, które być może funkcjonuje na całkiem innych zasadach i wywodzi się z autentycznie niezależnych źródeł. A związane z tym trudności same w sobie mogą stanowić dla nas ważną wiadomość. Dlaczego tak trudno jest szukać i tak łatwo dać się oszukać?

Pytanie to na powrót przywodzi nas do rozważań nad sposobami, jakie stosujemy, chcąc wywnioskować coś na temat własności Wszechświata, w tym naszego własnego statusu. Twierdzenie Thomasa Bayesa mówi, że obecnie brakuje nam kluczowej informacji, jaką jest wiedza, czy życie na Ziemi lub gdziekolwiek indziej w kosmosie powstało niezależnie od siebie jeden lub więcej razy. Mamy całe mnóstwo dowodów na to, że znane życie bardzo dobrze wpasowuje się w skład chemiczny kosmosu, odkryliśmy również, że Wszechświat zrodził niezliczoną liczbę planet. Jednak musimy jeszcze znaleźć sposób na ilościowe połączenie tego

wszystkiego z faktem naszej egzystencji. Będę się upierał, że większego postępu dokonujemy, ekstrapolując w dół naszą wiedzę na temat bogactwa cząsteczek materii międzygwiazdnej oraz procesów planetotwórczych. Łatwo jest zauważyć, że własności życia na Ziemi wiążą się z zestawem warunków panujących w kosmosie. Z kolei rozumowanie w drugą stronę – ekstrapolowanie w górę tego, co wiemy i podejrzewamy na temat narodzin życia na Ziemi, i próby przewidywania na tej podstawie prawdopodobieństwa powstania życia gdzie indziej – nie wydaje się przy nosić większych efektów. Nasze dotychczasowe wysiłki podejmowane w obydwu kierunkach doprowadziły do powstania skrajnie przeciwstawnych poglądów, od antropicznej wyjątkowości po wielość światów. Współczesne wnioskowanie bayesowskie na temat kosmicznej abiogenezy prowadzi nas z powrotem do punktu wyjścia.

Oczywiście to nieuniknione, że wnioski na temat istnienia życia w kosmosie do pewnego stopnia wynikają z naszego otoczenia, jednak takie postępowanie niesie z sobą również ogromne niebezpieczeństwo. Chcąc unikać tej pułapki, musimy być świadomi, że perspektywa, z jakiej postrzegamy kosmos, sama w sobie jest wytworem naszego statusu i okoliczności. Być może kłapki na naszych czujnych oczach są większe, niż to sobie uświadamialiśmy, i musimy spróbować się ich pozbyć.

165 W szczególności mam na myśli niezwykłą jaskinię Chauveta koło Vallon-Pont-d'Arc w departamencie Ardèche na południu Francji, zawierającą zdumiewające malowidła przedstawiające setki zwierząt. Ich wiek szacuje się nawet na 30–32 tysiące lat. Werner Herzog stworzył przepiękne studium dokumentalne tego pradawnego malarstwa w dokumencie zatytułowanym *Jaskinia zapomnianych snów* (2010).

166 Przeważa idea cyklicznego kosmosu – na przykład w filozofii hinduskiej i w buddyźmie.

167 Kiedy piszę te słowa, nie mamy absolutnie żadnych danych o występowaniu życia gdziekolwiek poza Ziemią. Oczywiście, brak danych sam w sobie jest interesujący i z pewnością został wykorzystany do skonstruowania teorii mówiących o obfitości życia we Wszechświecie i powodach, dla których dotąd nam się ono nie pokazało (a nie zrobiło tego mimo wielu pobożnych życzeń). Omawiam tę zagadkę w ostatnim rozdziale.

168 Ten urodzony w Niemczech brytyjski naukowiec był znakomitym astronomem, specjalistą w dziedzinie inżynierii optycznej, a nawet kompozytorem. Część jego wypowiedzi na temat życia na Księżycu czy Słońcu została zaczerpnięta z książki Iwana Rhysa Morusa *When Physics Became King* (The University of Chicago Press, Chicago 2005). Użyteczne okazały się również artykuły autorstwa samego Herschela, na przykład: *On the Nature and Construction of the Sun and Fixed Stars*, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London” 1795, nr 85, s. 46–72, oraz

niektóre z jego rozważań na temat Księżyca zawarte w: W. Herschel, *Astronomical Observations Relating to the Mountains of the Moon*, „Philosophical Transactions” 1780, nr 70, s. 507–526.

[169](#) Pożytecznym odnośnikiem do wyznawanych przez Dicka i Herschela idei pluralizmu jest książka autorstwa Michaela J. Crowe’a *The Extraterrestrial Life Debate, 1750–1900: The Idea of a Plurality of Worlds from Kant to Lowell*, Cambridge University Press, Cambridge 1986.

[170](#) Szacowanie całkowitej liczby gwiazd w obserwowalnym Wszechświecie nie jest nauką precyzyjną. Przytaczana tutaj liczba 1021 to raczej ostrożne szacunki; niektóre badania sugerują, że może ich być nawet trzysta razy więcej. Taka wartość wynika na przykład z badań P.G. van Dokkuma i C. Conroya, przedstawionych w artykule *A Substantial Population of Low-Mass Stars in Luminous Elliptical Galaxies*, „Nature” 2010, nr 468, s. 940–942.

[171](#) Wiele napisano na temat Bayesa, zwłaszcza przez ostatnie kilkadziesiąt lat, odkąd nastąpił wzrost zainteresowania wykorzystaniem statystyki bayesowskiej. Jednym ze źródeł, na których się opierałem, był esej autorstwa D.R. Bellhouse’a zatytułowany *The Reverend Thomas Bayes, FRS: A Biography to Celebrate the Tercentenary of his Birth*, „Statistical Science” 2009, nr 19, s. 3–43. Do bardziej popularnych pozycji zalicza się: Sharon Bertsch McGrayne, *The Theory That Would Not Die: How Bayes’ Rule Cracked the Enigma Code, Hunted Down Russian Submarines, and Emerged Triumphant from Two Centuries of Controversy*, Yale University Press, New Haven 2011.

[172](#) Price zasługuje na znacznie większe uznanie, niż to jest przyjęte, za przyczynienie się do nadania ideom Bayesa postaci zdanej do publikacji, a także za umieszczenie ich w kontekście filozoficznym.

[173](#) W prostej postaci wygląda tak
$$P(A/B) = \frac{P(B/A)P(A)}{P(B)}$$
. Prawdopodobieństwo A pod warunkiem B jest równe iloczynowi prawdopodobieństwa B pod warunkiem A i prawdopodobieństwa A dzielonemu przez prawdopodobieństwo B, gdzie (na przykład) A może być hipotezą lub modelem, a B to dane.

[174](#) Price wybrał do swojego przykładu nowo narodzone dziecko, które ogląda wschody i zachody słońca. Ja wolę kurczaki.

175 Nie wiadomo, co skłoniło Lewisa Carrolla do stworzenia tych ikonicznych bestyjek (w każdym razie przynajmniej jednej z nich). Teoria różni się w tym względzie, wskazując na szeroki wachlarz możliwości, od heraldycznych wizerunków lwów, przez kościelne gargulce, po zakorzenione w angielskim folklorze szczęśliwe, wykarmione mlekiem koty z tego akurat hrabstwa.

176 Wspomniana „debatą” toczyła się między dwoma obozami: jeden z nich tworzyli zwolennicy prawdopodobieństwa obiektywnego, drugi zwolennicy interpretacji bayesowskiej. Ci pierwsi interpretowali zdarzenia na bazie wyników pomiaru, zakładając zwykłe, że u ich podstaw leżą stałe parametry, którym nie można przypisać prawdopodobieństwa. Na przykład jeżeli jakiś eksperyment w 95 na 100 przypadków daje określony rezultat, zwolennicy prawdopodobieństwa obiektywnego mogą powiedzieć, że wszelkie kolejne doświadczenia będą dawały taki sam wynik – nie przy pisują prawdopodobieństw.

177 Artykuł ich autorstwa to *Bayesian Analysis of the Astrobiological Implications of Life's Early Emergence on Earth*, „PNAS” 2012, nr 109, s. 395–400.

178 Najszerzej akceptowanego i najstarszego dowodu na istnienie życia na Ziemi dostarczają stromatolity, formacje skalne uformowane z warstw osadów pozostawionych przez kolonie bakterii. Istnieje garstka szczególnych lokalizacji, w których struktury te powstają nadal, na przykład Zatoka Rekina w Australii czy archipelag Exuma na Bahamach. Najstarsze z nich, będące z dużą dozą pewności pochodzenia biologicznego, liczą około 3,45 miliarda lat. Twierdzi się też, że przypominające pajęczynę ślady dawnych kolonii mikroorganizmów w Australii mogą mieć 3,49 miliarda lat. Pojawiły się również doniesienia o takich osadach sprzed 3,8 miliarda lat, które jednak budzą więcej kontrowersji. Trudności ze znalezieniem najstarszych form życia po części wynikają z faktu, że jest zaledwie kilka miejsc, które umożliwiają dostęp do tak pradawnych formacji skalnych.

179 Mowa o przeprowadzanej przez NASA misji New Horizons. Start misji odbył się w 2006 roku, a jej przelot w pobliżu Plutona i jego księżyców planowany jest na rok 2015. Minie go z prędkością 14 km/s i pomknie dalej, ku kolejnym celom. [Byliśmy już świadkami pierwszego sukcesu misji – sonda po dotarciu w sąsiedztwo Plutona przesłała nam pierwsze zdjęcia planety (przy p. tłum.)].

180 Nie jest to prawda w odniesieniu do wszystkich sond. Pioneer 10 może potrzebować ponad 60 milionów lat, żeby minąć w dość bliskiej odległości gwiazdę Aldebaran (odległą o 68 lat świetlnych). Pioneer 11 powinien przejść obok pewnej mało masywnej gwiazdy za 40 000 lat, mijając ją w odległości nie większej niż 1,7 roku świetlnego. Podobnie Voyager 1, który za 40 000

lat minie w odległości kilku lat świetlnych inną małą masową gwiazdę. Z kolei Voyager 2 będzie potrzebował blisko 296 000 lat, by zbliżyć się na odległość kilku lat świetlnych do Syriusza.

181 Obserwacje struktur na pokrytej lodem wodnym powierzchni księżycy i wykrycie na tej powierzchni soli siarczynu, które musiały powstać z soli chlorku, w połączeniu z pomiarami indukowanego pola magnetycznego wskazują na istnienie pod powierzchnią Europy rozległego oceanu. Prawdopodobnie znajduje się on pod pokrywą lodu o grubości kilkudziesięciu kilometrów, jednak od czasu do czasu procesy o charakterze tektonicznym prowadzą do wycieku wody. Wszystko wskazuje na to, że źródłem ciepła we wnętrzu księżycy jest radioaktywność skalistego jądra oraz tarcie spowodowane pływami, które rozciągają powłokę globu podczas jego wędrówki po orbicie eliptycznej wokół masywnego Jowisza (orbicie ukształtowanej przez interakcję z pozostałymi satelitami galileuszowymi).

182 Nieco starsze, ale dobre opracowanie tematu znajdziesz w: D. Penny i A. Poole, *The Nature of the Last Universal Common Ancestor*, „Current Opinion in Genetics and Development” 1999, nr 9, s. 672–677. Wspierająca koncepcję LUCA analiza bayesowska została przedstawiona przez D.L. Theobalda w artykule *A Formal Test of the Theory of Universal Common Ancestry*, „Nature” 2010, nr 465, s. 219–222. Znakomite omówienie tej pracy znajduje się też w artykule autorstwa M. Steala i D. Penny’ego, *Origins of Life: Common Ancestry Put to the Test*, „Nature” 2010, nr 465, s. 168–169.

183 Wiele napisano na ten temat, z tym że sama idea, pod różnymi przykrywkami, pojawiła się już w latach sześćdziesiątych XX wieku. Pierwszy terminu „świat RNA” użył Walter Gilbert w swoim artykule *Origin of Life: The RNA World*, „Nature” 1986, nr 319, s. 618.

184 (Zob. wcześniejszy przypis o strukturach wytwarzanych w skałach przez mikroorganizmy.). Paleontolodzy donieśli niedawno o znalezieniu liczących 3,4 miliarda lat skamielin komórek bakterii wykorzystujących siarkę oraz (niezależnie) datowanych na 3,49 miliarda lat wstecz pozostałości po mikroorganizmach w postaci przypominającego pajęczynę skalnego wzoru. Obydwa odkrycia pochodzą z Pilbary w Australii Zachodniej.

185 Te bestie rzeczywiście przewróciły do góry nogami mnóstwo prekoncepcji. Znakomity artykuł na ten temat to J.L. Van Etten, *Giant Viruses*, „American Scientist” 2011, nr 99, s. 304.

186 Zob. artykuł o odkryciu D. Arslan i in., *Distant Mimivirus Relative with a Larger Genome*

187 Gdyby to twierdzenie okazało się słuszne, byłoby zdumiewające. A nie jest bezpodstawne. Zob. A. Nasir, K.M. Kim i G. Caetano-Anolles, *Giant Viruses Coexisted with the Cellular Ancestors and Represent a Distinct Supergroup Along with Superkingdoms Archaea, Bacteria and Eukarya*, „BMC Evolutionary Biology” 2012, nr 12, s. 156.

188 Bardzo dobry artykuł dotyczący biosfery cieni: P. Davies i in., *Signatures of a Shadow Biosphere*, „Astrobiology” 2009, nr 9, s. 241–249. Choć cały pomysł spotkał się z ogromną krytyką i ja sam dostrzegam w nim pewne bardzo fundamentalne błędy, uważam, że to dobry materiał do przemyśleń.

189 Ścisłe mówiąc, arsenian to zgrupowanie cząsteczek dołączone do czegoś innego; ma wzór chemiczny: AsO_4^{3-} – jest to anion. Niektóre organizmy rzeczywiście włączają arsenian w cząsteczki organoarsenowe – na przykład pewne algi morskie i bakterie. Jednak takie zachowania wydają się mieć ograniczony zasięg.

190 Cząsteczka adenylozotrójfosforanu (ATP, wzór chemiczny $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$) nazywana jest czasem walutą molekularną w wewnątrzkomórkowym transporcie energii. ATP powstaje w wyniku takich procesów jak fotosynteza czy fermentacja, po czym jest wykorzystywany w różnych miejscach komórki, gdzie oddaje energię, wracając do swojej pierwotnej postaci molekularnej – innymi słowy, stanowi główny element metabolizmu.

191 Bakteria ta w publikacjach występuje pod nazwą GFAJ-1, co bywa interpretowane jako „Give Felisa A Job”, (z ang. „daj Felisie zajęcie”) w nawiązaniu do Felisy Wolfe-Simon, prowadzącej poświęcone jej badania w ramach swojej pracy habilitacyjnej, głównej autorki opisującego te doświadczenia artykułu. Zob. Wolfe-Simon i in., *A Bacterium That Can Grow by Using Arsenic Instead of Phosphorus*, „Science” 2010, nr 332, s. 1163–1166. Jednak nie możesz tego czytać bez równoczesnego zapoznania się z odpowiedzią społeczności naukowej, a zareagowała ona w dużym stopniu krytycznie – sporą dozę zdrowego rozsądku wykazali się B.P. Rosen, A.A. Ajees, i T.R. Mc-Dermott w swoim artykule *Life and Death with Arsenic*, „BioEssays” 2011, nr 33, s. 350–357.

192 Z wywiadu przeprowadzonego przez Dennisa Overbye dla dziennika „New York Times”,

opublikowanego 2 grudnia 2010 r. Moje słowa były szeroko cytowane.

[193](#) Zob. M. Elias i in., *The Molecular Basis of Phosphate Discrimination in Arsenate-Rich Environments*, „Nature” 2012, nr 491, s. 134–137. Także wcześniejszy artykuł wskazał na brak dowodów na wbudowywanie arsenu w DNA zdolnej do życia bakterii: M.L. Reaves i in., *Absence of Detectable Arsenate in DNA from Arsenate-Grown GFAJ-1 Cells*, „Science” 2012, nr 337, s. 470–473.

ROZDZIAŁ 7

Coś w tym miejscu jest

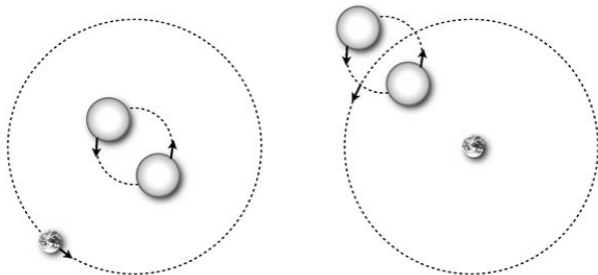
Wyobraź sobie, że Ziemia nie uformowała się w pobliżu gwiazdy pojedynczej, ale w otoczeniu pary bliźniaczych gwiazd. Dawniej taki obrazek kojarzył się wyłącznie z fantastyką naukową, obecnie nie jest już wytworem fantazji. Wiemy, że takie układy planetarne naprawdę istnieją – tworzą je pary gwiazd, okrążających się wzajemnie po ciasnych orbitach, oraz krążące na zewnątrz ich orbit planety. W jednym z takich miejsc, nazwanym przez odkrywców z obserwatorium NASA Kepler-47¹⁹⁴, para gwiazd dokonuje pełnego cyklu orbitalnego w siedem i pół ziemskiego dnia. W bezpiecznej odległości od tańczących wokół siebie gwiazd znajdują się co najmniej dwa światy, poruszające się po wolniejszych, bardziej majestatycznych orbitach. Nie jest możliwe, rzecz jasna, precyzyjne oszacowanie, jak w tych warunkach człowiek radziłby sobie z tym, co widziałby na niebie. Przy odrobinie wyobraźni można dostrzec kilka ewentualności. (Dla wygody przyjmijmy założenie, iż ta alternatywna Ziemia obraca się wokół własnej osi mniej więcej tak samo jak nasza). Przede wszystkim jeśli prowadzilibyśmy przez jakiś tydzień obserwacje zachowania bliźniaczych gwiazd na dziennym niebie, dostrzeżelibyśmy, jak te dwa jasne dyski przemieszczają się względem siebie. Przy ustawieniu gwiazd idealnie w linii prostej z obserwatorem dochodziłoby co jakiś czas do zaćmień jednej gwiazdy przez drugą – bliźniacze słońca robiłyby to na zmianę. Tak więc ta inna Ziemia doświadczałaby nocy, dni i dwóch rodzajów dni z zaćmieniem jednej z gwiazd, przytrafiających się średnio dwa razy na tydzień.

Gdybyśmy zamieszkivali taki układ, jaki system kosmologiczny zostałby przez nas stworzony? Cóż, należałoby rozważyć kilka znaczących czynników. Na przykład ruch orbitalny tej alternatywnej Ziemi wokół bliźniaczych słońc sprawiałby, że czas występowania zaćmień ulegałby przesunięciu. Ten dryf postępowałby w miarę upływu roku, a jeśli oś planety byłaby

nachylona do płaszczyzny orbity, jak to jest w wypadku Ziemi, termin występowania zaćmień zauważalnie zmieniały się w odniesieniu do każdego przesilenia. Byłaby to zawiła kombinacja, wymagająca jasnego wyjaśnienia.

Mimo że układ ten jest obcy, geocentryczny system opisu (reprezentujący pogląd, według którego planeta znajduje się w centrum kosmosu) nadal mógłby się sprawdzić. Gwiazdy mogłyby po prostu poruszać się jedna wokół drugiej, jak robiły to ciała umieszczone na epicykłach w kosmologii Ptolemeusza, a środek tego okręgu krążyłby wokół innej Ziemi po kolejnym okręgu wielkim, albo deferencie.

Po wprowadzeniu do tego geocentrycznego modelu pewnych geometrycznych udoskonaleń można w odpowiedni sposób uwzględnić dryf w przewidywaniu terminu zaćmień, aby nadążać za zmianą pór roku. Jak na prawdziwej Ziemi, najlepszą wskazówką, iż właściwy opis powinien być heliocentryczny (przypomina się historia Arystarcha), mógłby być ruch innych planet układu, zakreślających pętle i błędzących po niebie.



Bliźniacze słońca alternatywnej Ziemi. Nawet mimo faktu, że środek prawdziwej konfiguracji wypada w punkcie znajdującym się pomiędzy gwiazdami (po lewej), gatunek inteligentnych istot mógłby skonstruować model, który poprawnie opisywałby to, co można zaobserwować na niebie, a jednocześnie byłby odbiciem wiary w centralne położenie ich planety (po prawej).

Może nawet ten układ bliźniaczych słońc nie dałby jego mieszkańcom żadnych jaśniejszych wskazówek co do roli ich istnienia, niż my uzyskujemy w naszym układzie. Oni również musieliby

czekać na swojego Kopernika, który zrobiłby porządek i zdecentralizował system opisu ich świata. Jednak nie jest to takie proste. Rozważmy inny scenariusz.

Możemy wyobrazić sobie możliwość, że ta inna Ziemia jest małą planetą w układzie gęsto wypełnionym ciałami, wśród których znajdują się dużo większe planety, a skaliste i gazowe olbrzymy okrążają centrum układu na orbitach wewnętrznych. Bazując na tym, co już wiemy o egzoplanetach, możemy uznać, że taka konfiguracja występuje znacznie częściej¹⁹⁵ niż rozkład ciał w naszym Układzie Słonecznym. Załóżmy więc, że w tym wypełnionym przez liczne planety układzie osiem z nich znajduje się między hipotetyczną Ziemią i jej słońcem. Cała ósemka jest większa od Ziemi, niektóre z nich mają rozmiary Neptuna. Istnienie takiego miejsca nie jest czystym wymysłem, niektóre z ostatnio odkrytych układów planetarnych wyglądają właśnie w taki sposób¹⁹⁶. Nie wiemy jeszcze, czy znajdują się tam ciała będące odpowiednikiem naszej rodzimej planety, ale nie mamy wątpliwości, że mogłyby tam być.

W tym scenariuszu wspomniana ósemka wewnętrznych planet to bardzo jasne obiekty na nocnym niebie, wędrujące tam i z powrotem, zakreślające pętle, pojawiające się i znikające w miarę upływu tygodni i miesięcy. Większe z nich są dostatecznie duże, aby nawet nieuzbrojonym okiem udało się dostrzec, że czasami z ich tarczy zostaje tylko rozświetlony przez słońce sierp – nie trzeba kolejnego Galileusza, że zbudowanym przez niego teleskopem, aby to zjawisko zobaczyć.

W obliczu tak dużej różnorodności nasi hipotetyczni kuzyni nie postrzegaliby ruchów planet jako zwykłej niespójności. Wprost przeciwnie. Mieszkańcy tej innej Ziemi szybko połapaliby się, że wszystkie ruchy koncentrują się wokół słońca. W żaden sposób nie pomniejszyłoby to ich przeświadczenia o swojej wartości. Od samego początku byli przekonani, że ich Ziemia jest ważnym miejscem – przecież umiejscowiona jest najlepiej, jak tylko można, aby podziwiać spektakł w postaci precyzyjnego, wspaniałego tańca wewnętrznych, *niziej* położonych światów. Ich cywilizacja wciąż nie miałaby dowodów na to, jak daleko znajdują się drobnutkie, niewędrujące po niebie gwiazdy, które nocami świecą nad ich głowami. Jednak te świetlne punkciki nigdy nie przybierają formy jasnego dysku, typowego dla planet, toteż muszą być znacznie dalej, jeśli są to inne światy. Jeżeli jednak są to inne słońca, to oczywiście, również z powodu ogromnej odległości, nie widać ich układów planetarnych. Na tym świecie w dziedzinie nauk przyrodniczych prym wiedliby atomiści i pluraliści, głoszący teorie, zgodnie z którymi Wszechświat jest wypełniony wielką liczbą układów planetarnych. Ostatecznie, pewne prawdy o świecie są oczywiste.

Jest jeszcze inna możliwość, która wywróciłaby do góry nogami całą historię naszych odkryć związanych z kosmosem. Wyobraźmy sobie Ziemię, która wcale nie byłaby prawdziwą planetą, lecz miejscem ulokowanym znacznie *niziej* w hierarchii światów. Co wtedy? Jak wyglądałaby sytuacja, gdyby tak naprawdę naszym domem był księżyc¹⁹⁷? Jest całkowicie prawdopodobne, że wokół gazowego giganta znajdują się „księżycy zdane do zamieszkania” – wystarczająco masywne, aby utrzymać atmosferę, dostatecznie duże, aby istniały na nich warunki podobne do tych, jakimi charakteryzują się planety. W naszym Układzie Słonecznym z łatwością spełnia te kryteria Tytan, a w innych miejscach mogą istnieć jeszcze większe księżycy. Jeśli gazowy gigant, wokół którego krąży księżyc, okrąża gwiazdę w takiej odległości, w jakiej Ziemia krąży wokół Słońca, to powierzchnia księżycyca będzie ogrzewana podobnie jak na naszej Ziemi, mogą też na

niej panować podobne warunki środowiska naturalnego. Jest to złożony scenariusz, lecz od dawna faworyzowany przez pisarzy i twórców filmów z gatunku fantastyki naukowej. Intrygujący, gdy rozważa się możliwość rozwoju hipotetycznej cywilizacji.

Najbardziej prawdopodobna fizyczna konfiguracja z udziałem księżycy okrążającego olbrzymią planetę obejmuje wystąpienie synchronizacji obrotu wokół osi z obrotem wokół planety¹⁹⁸. Mówiąc inaczej, księżyc zawsze będzie zwrócony do planety tą samą stroną, czas potrzebny na dokonanie jednego obrotu wokół planety jest bowiem taki sam jak czas jednego obrotu wokół własnej osi. Nasz własny Księżyc znajduje się w takiej sytuacji, przez całą wieczność niestrudzenie wywołuje przyływy swym przyciąganiem grawitacyjnym. Te niewielkie grawitacyjne pchnięcia i pociągnięcia zmuszają księżyc do stopniowego spowolnienia rotacji, a proces wytracania energii ruchu obrotowego kończy się, gdy okres obrotu wokół osi będzie taki sam jak okres obrotu wokół planety.

Tak więc cała półkula naszego wyimaginowanego księżycy będzie zawsze zwrócona ku olbrzymiej planecie, wielkiej, mającej na niebie tarczy, zajmującej prawie 20 procent nieboskłonu, co odpowiada mniej więcej powierzchni nieba, jaką przesłaniają dwie dłonie wyprostowanych rąk Z drugiej strony księżycy, tej bardziej oddalonej od planety, nigdy nie można jej zobaczyć, widać stąd tylko otwartą przestrzeń kosmiczną. Pierwsi badacze z tej dalszej półkuli będą zaskoczeni, gdy odbywszy podróż na drugą, ujrzą wznoszący się nad horyzontem złowieszczy krąg planety.

Upływ czasu wyznaczany jest przez pewną liczbę niezwyklej pokazów, widocznych z bliższej półkuli księżycy, tej zwróconej ku gazowemu olbrzymowi. W ciągu na połę mrocznej części nocy na niebie jaśnieje cudownym blaskiem macierzysta planeta, zalewając swego satelitę odbitym światłem słonecznym – planetarnym lśnieniem. W scenariuszu, który sobie wyobrażam, niemal idealne geometrycznie wyrównanie płaszczyzn orbity i osi obrotu skutkuje rzucaniem przez księżyc cienia na powierzchnię wielkiego dysku planety. Wyraźnie widoczna nawet dla przypadkowego obserwatora ciemna plama cienia powoli wędruje po powierzchni gazowego olbrzyma.

Dla czuwających mieszkańców księżycy jest to ważny wskaźnik, ponieważ moment, w którym cień dociera do brzegu tarczy planety, równoznaczny jest z końcem nocy rozświetlanej blaskiem olbrzyma i początkiem nowego dnia. Nad horyzontem zaczy na powoli wschodzić słońce i jakby istniało jakieś przenikające próżnię magiczne połączenie między ciałami niebieskimi, w tej samej chwili wielki dysk macierzystej planety zaczy na znikać w mroku, nabierając z wolna wyglądu jasnego rogalika, a wyznaczana przez rosnący cień linia terminatora zakrzywia się, co jasno dowodzi, iż powierzchnia planety jest gigantyczną sferą.

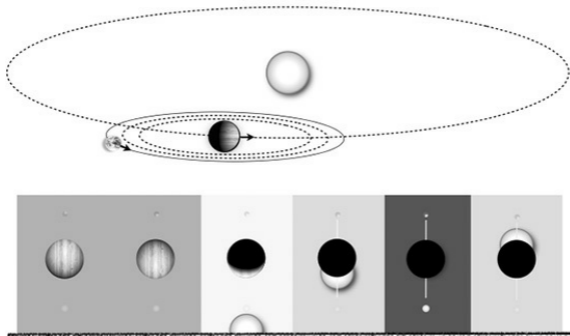
Na hipotetycznym, zamieszkanym księżycu biegli geometrzy i matematycy opracowują teorie, pokolenie za pokoleniem, motywowani przez obserwacje tego poruszającego się cienia. Jednak natura nie poprzestała na tym efekcie. Oto po krótkim czasie, gdy powierzchnię księżycy zalewa pełne światło, strona zwrócona ku planecie nagle pogrąży się w jeszcze głębszym mroku nocy. Ta odmienna noc zaczy na się, gdy dysk planety – zawieszony nieruchomo wysoko na niebie – zaczy na znikać w ciemnościach, aż zostaje z niego cienki rogalik. Słońce przesunęło się po niebie w pobliże dysku planety i teraz chowa się za nim, jest przez niego zaćmiewane.

Ciemność opada na świat, na poczeriałym niebie odległe gwiazdy wydają się jaśniejsze.

Świecą wszędzie z wyjątkiem obszaru na niebie zajmowanego przez dysk planety z jego upiorną poświatą – otaczającym go pierścieniem słabego słonecznego światła – powstającym w miejscu, gdzie atmosfera planety załamuje i odbija światło gwiazdy. Poeci opiewali tę upiorną poświatę w swych wierszach, nawet gdy nauka wyjaśniła już mechanizm jej powstawania. To w trakcie tej nocy drugiego rodzaju ujawnia się w całej okazałości jeszcze inne zjawisko. W mroku tej nocy niebo rozcina wąskie pasmo światła, które jest tam zawsze, lecz za dnia ginie w jasnym blasku planety i gwiazdy. Pasma wydostaje się z dwóch przeciwnych krańców dysku macierzystej planety. Jest to widziany od strony krawędzi zbiór lodowych pierścieni otaczających olbrzymią planetę. Oprócz niego pojawia się wówczas jeszcze jedna grupa tajemniczych obiektów: kilkanaście jasnych punkcików, z których kilka, po przyjrzeniu się, to małutkie, okrągłe dyski. Te świetne koraliki ustawiają się na niebie w jednej linii z pierścieniami planety.

Stulecia wcześniej wielcy filozofowie i astronomowie tej alternatywnej Ziemi postawili tezę, iż owe koraliki to nic innego, jak kolejne księżycowe światy, podobne do ich ojczyzstego ciała niebieskiego. Właściwie gdy dokonali pomiaru ich ruchu i jasności, geometria i zwykła logika dawno temu naprowadziły ich na myśl, że macierzysta planeta jest ciałem niebieskim zajmującym centralnie położone miejsce w najbliższym kosmosie. Przenikliwi astronomowie odkryli również szczególnie związek między czasem, jakiego potrzebowały te ciała na okrążenie macierzystej planety, a ich odległością od niej. Dostrzegli nawet coś więcej: ruch ich własnego światła wokół macierzystej planety podlegał tej samej regule.

W tym hipotetycznym świecie wystarczyło kilka prostych kroków rozumowania, aby sformułować prawo powszechnego oddziaływania sił zależnych od wielkości fizycznej nazywanej masą – stanie się ono znane jako prawo powszechnego ciążenia. Kiedy dostępne stały się większe i lepsze teleskopy, a astronomowie zaczęli śledzić odległe i wcześniej nieznanne planety (spośród których część miała własne księżycy), mieszkańcy tej innej Ziemi szybko doszli do wniosku, że wszystkie ciała poruszają się wokół słońca. Ruch ten bez trudu został objaśniony przez powszechne prawo ciążenia. Mieszkańcy księżycy szanują swoją wizję świata za jej piękno i hierarchiczną elegancję. Słońce jest babką, wokół niej poruszają się planety-matki, wokół których krążą księżycy-córki, a wszystko to rządzone tym samym zestawem niezmiennych praw fizyki.



Szkic przedstawiający hipotetyczny układ, w którym „Ziemia” jest księżycem krążącym wokół olbrzymiej planety. U góry: schemat przedstawiający orbity (bez zachowania skali) krążącej wokół gwiazdy olbrzymiej planety i obiegających ją satelitów, wśród których znajduje się alternatywna Ziemia. Poniżej: diagram obrazujący niektóre fazy olbrzymiej planety i gwiazdy, widziane przez mieszkańca półkuli księżycy zwróconej ku planecie. Od lewej do prawej: faza blasku planety (oświetlony przez gwiazdę olbrzym nieruchomo zawieszony na niebie), potem środek dnia (gwiazda wschodzi nad horyzontem), następnie środek nocy (gwiazda ulega zaćmieniu, gdy zdaje się chować za nieruchomym gazowym olbrzymem).

Bez zachowania skali, w kolejnych fazach staje się widoczna para innych księżyców (z kilkunastu) oraz cienki system pierścieni.

Nie ma najmniejszych wątpliwości, że istoty zamieszkujące ten wymyślony księżyc miały ułatwione zadanie w porównaniu z tysiącletniami naszych starań o ustalenie kosmicznego porządku planet i statusu ludzkości. Dlaczego? Otóż kiedy chodzi o rozgryzienie sekretów Wszechświata, okoliczności mają decydujące znaczenie. Te same okoliczności są w zasadniczy sposób związane z szansami pojawienia się życia w danym środowisku – oto inny wariant zagadki: „co było pierwsze, jajko czy kura?”. Rozwikłanie tej kwestii jest kolejnym krokiem do uporządkowania dowodów przemawiających za i przeciw naszej wyjątkowości oraz znaczeniu w kosmosie.

Wszystkie te hipotetyczne światy są (o ile nam wiadomo) tylko eksperymentami myślowymi służącymi ilustracji. Wróćmy teraz na prawdziwą Ziemię. W historii nauki i badań Wszechświata najbardziej chyba zaskakuje to, jak często wielkie zdobycze naszego rozumu zależały od przebrnięcia przez najbardziej dołączliwe detale, jakie można sobie wyobrazić. Już samo to może stanowić ważną wskazówkę co do naszego miejsca w kosmosie.

Wiele naszych odkryć dotyczących natury wyszło na jaw tylko dzięki temu, że ktoś zadał sobie trud badania drobnych szczegółów, małych, spędzających sen z powiek niespójności, które z początku wydawały się dziwaczne i związane raczej z procedurą niż istotą zjawiska, na koniec ujawnić kryjący się za nimi nadzwyczajny efekt. Do przełomu dochodziło, gdy kogoś zaintrygowały nieco osobliwe ruchy planet, cudacznie stała prędkość światła czy subtelne różnice w budowie przedstawicieli licznych gatunków organizmów żywych w połączeniu z wprawiającymi w zakłopotanie warstwami nagromadzonych skamielin. Trzeba mieć szczególną konstrukcję psychiki, aby pracować nad zagadnieniami tego typu. Przez wieki zajmowała się nimi głównie wyjątkowa kasta niespokojnych myślicieli i ludzi zatroskanych tym, co dostrzegali wokół siebie. Czasem czerpali oni ogromną satysfakcję z mozolnie wykonywanych zadań, działając na nerwy kolegom i doprowadzając ich do desperacji. Nierzadko trzeba sporo czasu, aby do świadomości opinii publicznej dotarło, o co w tym wszystkim chodzi. Rewolucja kopernikańska w myśleniu jest znakomitym przykładem, jak nieznośnie nudne szczegóły mogą przyczynić się do najbardziej radykalnych przewrotów. Ostatnie i najważniejsze dzieło Mikołaja Kopernika, wielkie *De revolutionibus*, jest tak napacone szczegółową wiedzą astronomiczną, że tylko najlepiej wykształceni astronomowie tamtych czasów mogli znaleźć w nim coś, czym warto się ekscytować. W istocie dzieło odstręczało złożonością, co z pewnością przyczyniło się do tego, że ominęła je najgorsza krytyka Kościoła. Jak ujął to zwięzłe dwudziestowieczny fizyk i filozof Thomas Kuhn, gdy pisał o tym zagadnieniu: „Praca, która byłaby bardziej zrozumiała, napotykałaby opór znacznie szybciej” [199](#).

Nie powinno to dziwić, ponieważ do pewnego stopnia Kopernik pisał ją z myślą o udoskonaleniu podstaw istniejących modeli mechaniki nieba, a nie o stworzeniu zgrabnego wywodu filozoficznego. W tym sensie bliżej mu było do maniaka zajmującego się obserwacjami przejeżdżających pociągów, z tą różnicą, że jemu zależało na stworzeniu dokładniejszego „rozkładu jazdy” z pozycjami planet na nocnym niebie. Przebudowanie poglądów kosmologicznych mogło być produktem ubocznym tych wysiłków (aczkolwiek Kopernik doskonale zdawał sobie sprawę z konsekwencji). Wybacz, Mikołaju, uwielbiamy twoją pracę, nawet jeśli nie jest to lektura do łóżka.

Ponad pół stulecia później podobne motywacje kierowały obsesyjnie zagłębiającym się w matematykę Johannesem Keplerelem, który co najmniej osiem lat poświęcił pomiarom orbity Marsa i innych planet. Z determinacją dążył do precyzyjnego opisanego „mechanizmu” ruchu planet i poznania czynników, które mogą być odpowiedzialne za jego funkcjonowanie, ale równie mocno zależało mu, po prostu, na pozbyciu się irytujących niezgodności, odgadnięciu przyczyn zmiennej jasności planet i niewielkich rozbieżności obserwowanych ich pozycji z przewidywanymi, które były plagą wcześniejszych systemów astronomicznych.

Nawet gdy Galileusz w końcu ujrzał obiegające Jowisza księżyce, niezliczone gwiazdy tworzące mgiełkę Drogi Mlecznej, pokryty cieniami krajobraz Księżycy oraz fazy planety

Wenus, wciąż były to tylko elementy większej układanki – drobne wskazówki dotyczące wyłaniającego się obrazu świata. Geniusz wszystkich wspomnianych ludzi kryje się w tym, co udało im się wyczytać z tych szczegółów: heliocentryczny kosmos, prawdziwe kształty orbit, natura ruchu ciał niebieskich i działających sił.

Widzimy więc, jak proces kształtujący na przestrzeni dziejów nasze pojmowanie Wszechświata i zajmowanego w nim miejsca zależał od specyficznych warunków panujących na Ziemi, w naszym Układzie Słonecznym, a także od jego położenia w przestrzeni i czasie. Oczywiście, łatwo jest spojrzeć na historię nauki i pomyśleć, że teraz wiemy lepiej, że dłużej nie ograniczają nas takie kłapki na oczach. Można byłoby przyjąć założenie, iż precyzja obserwacji i pomiarów, dostępna dzięki nowoczesnym technologiom, pozwoliła nam wznieść się ponad bagno wcześniejszej szarpaniny z drobiazgowymi informacjami na temat natury. Potrafimy mierzyć położenia ciał niebieskich z dokładnością do tysięcznych części stopnia lub oszacowywać odległości i prędkości na dystansie miliardów lat świetlnych. Prawda jednak jest taka, że nadal nie pozbyliśmy się nałożonych nam przez naturę kłapek na oczy, badając kosmos i mikrokosmos, wciąż bowiem poruszamy się w obrębie narzuconych nam uwarunkowań.

W pierwszym rozdziale snułem rozważania, co by się stało, gdyby historia astronomii potoczyła się inaczej – gdyby Galileusz poszedł o krok dalej, zbudował wielkie teleskopy i odkrył życie w innych światach. Była to czysta fantazja, ale teraz wiemy, że nasza Galaktyka i Wszechświat pełne są planet. Wiemy też, że różnorodność tych światów, szeroki zakres konfiguracji, w których występują, różnorodność ich losów – wszystko to nadaje statystyczną wagę przeświadczeniu, iż warunki panujące na naszej planecie są wyjątkowe. To z kolei oznacza, że nasze poglądy również mogą być wyjątkowe, co starałem się zilustrować fantazjami na temat życia ludzi w innych światach.

Pierwsze pytanie, które przychodzi do głowy, brzmi następująco: czy nasza perspektywa pomogła rozwinąć metodologię badań naukowych, czy raczej stanowiła utrudnienie? Ciekawe, co teraz martwy punkt ukrywa przed nami... Drugie pytanie jest bardziej niepokojące: co, jeśli konfiguracja naszego układu planetarnego i jego dzieje, dzięki którym życie na Ziemi stało się możliwe, *jednocześnie* nałożyły poważne ograniczenia na sposób, w jaki tworzyliśmy obraz Wszechświata? Można wyrazić to inaczej: czy istoty żywe podobne do nas zawsze będą zadawać pytania tego samego typu, ponieważ mogą istnieć tylko wówczas, gdy w kosmosie przydarzą się identyczne okoliczności?

* * *

Wymyślone przez nas scenariusze, wykorzystujące różne konfiguracje ciał niebieskich, od bliźniaczych słońc po księżycy, na których panują warunki podobne do ziemskich, są całkowicie prawdopodobne w kontekście naszej wiedzy z zakresu fizyki i astronomii. Nie wiemy, czy są wiarygodne w odniesieniu do biologii. Po pierwsze, nie wiemy, czy takie wyimaginowane środowiska planetarne charakteryzowałyby warunki utrudniające powstanie życia i jego

ewolucję. Po drugie, nie mamy żadnej teorii, która przewidywałaby, jaki rodzaj wrażliwości mógłby rozwinąć się w takim środowisku, albo jak niepewny los i burzliwa historia wpłynęłyby na rodzaje się w myślach tamtejszych istot interpretacje zjawisk w otaczającym je kosmosie.

Nie ma jednak najmniejszych wątpliwości, że w naszym wypadku alternatywny zestaw czynników środowiska planetarnego doprowadziłby do rozwoju odmiennej filozofii naturalnej i radykalnie odmieniłby historię rozwoju nauki. Na dobre i na złe, czasami nasz własny światopogląd wpadał w koleiny, ponieważ niektóre z najważniejszych wskazówek były zakopane głęboko w szczegółowym obrazie, jaki uzyskiwaliśmy z obserwacji otoczenia. Taka sytuacja może powtarzać się w każdym układzie planetarnym, który zdolny jest podtrzymać życie przez długi czas.

Szukając skłaniającego do refleksji przykładu, wróćmy do przeprowadzonej przez Johanna Keplera analizy orbity Marsa. Jak pamiętasz, podejmując się badania wędrówki Marsa po nieboskłonie, dokonał szczęśliwego wyboru planety, ponieważ w grupie planet Mars ma najmniej kołistą orbitę (z wyjątkiem Merkurego). Jednak jego wybór zapadł w dogodnym momencie i miały nań wpływ kapryśne okoliczności mechaniki niebieskiej, dzisiaj bowiem już wiemy, że orbita Marsa nie zawsze była i nie zawsze będzie w przyszłości taka jak teraz.

Ogólnie rzecz biorąc, dynamika naszego Układu Słonecznego właściwie przypomina chaotyczny taniec, toteż pod wpływem grawitacyjnego przyciągania innych światów, zwłaszcza Jowisza i Saturna, orbita Marsa zmienia się z czasem²⁰⁰. Ekscentryczność orbity Marsa może znacznie się zmieniać, nawet o czynnik 2, w trakcie oscylacji zachodzących z okresem około 96 000 lat. Biorąc pod uwagę jeszcze większe przedziały czasu, idące w miliony lub dziesiątki milionów lat, możemy powiedzieć, że jej kształt przechodzi z niemal kołowego w eliptyczny o ekscentryczności prawie dwukrotnie większej niż notowana obecnie.

Mówiąc inaczej, gdyby ludzie pojawili się sto tysięcy lat wcześniej lub później i byliby wśród nich jakiś Kepler, zajmujący się studiowaniem sporządzonych przez jakiegoś Brahego tabel ruchów planet, mógłby mieć znacznie trudniejsze lub znacznie łatwiejsze zadanie. Jeśli Mars poruszałby się po niemal kołowej orbicie, gdy Brahe dokonywał swych pomiarów, wyniki nie zawierałyby *żadnej* wskazówki co do natury ruchów planet. Analogicznie, jeśli jego orbita byłaby bardziej ekscentryczna, ktoś inny mógłby odebrać Keplerowi laury.

Jednak to, co dzieje się z orbitami – że z czasem zmienia się ich kształt, nachylenie i inne parametry – jest ściśle związane z kompleksową budową naszego Układu Słonecznego i tym, co wydarzyło się w jego zamierzczłej przeszłości. Orbita i oś obrotu Ziemi również doświadczają drobnych, powolnych zmian. Wydaje się, że nakładające się na siebie zmiany konfiguracji skorelowane są z długoterminowymi zmianami ziemskiego klimatu i mogą być odpowiedzialne za liczący 100 000 lat cykl powtarzających się zlodowaceń. Intrygująca jest możliwość, że wielokrotnie w przeszłości, gdy warunki ruchu orbitalnego Marsa sprzyjały łatwemu pomiarowi ekscentryczności jego orbity, na Ziemi panowały warunki klimatyczne charakteryzujące się temperaturami niekorzystnymi dla gatunków takich jak ludzie.

Są jeszcze inne odchylenia w zakresie cech kształtujących środowisko fizyczne na nadającej się do zamieszkania planecie, które mogłyby w radykalny sposób zmienić nasze postrzeganie Wszechświata. Jeżeli mielibyśmy atmosferę zapchaną kropelkami wody albo zamgloną w wyniku procesów fotochemicznych z udziałem takich cząsteczek organicznych, jak metan,

w ogóle nie udało się nam dokonać precyzyjnych pomiarów jakichkolwiek ciał niebieskich poza Słońcem i Księżycem. Jest całkowicie prawdopodobne, że były na Ziemi okresy, gdy przez całe tysiąclecia sama zła pogoda wystarczała do stordedowania wysiłków ukierunkowanych na badanie nieba, gdybyśmy akurat chodzili po jej powierzchni.

Próby badania kosmosu może jeszcze dławić galaktyczne środowisko, w którym znajduje się Układ Słoneczny. Wiemy, że Słońce wraz z towarzyszącymi mu planetami obiega środek Drogi Mlecznej, kompletując jedno okrążenie w ciągu mniej więcej 230 milionów lat. Tor, po którym się porusza, nie jest jednak idealnym okręgiem, nie jest nawet elipsą o ustalonej ekscentryczności, ponieważ Galaktyka sama w sobie pełna jest nieregularnie rozłożonych skupisk materii i złożonych pól grawitacyjnych. Co więcej, żaden z jej elementów składowych nie jest nieruchomy – wszystko porusza się po orbitach lub dryfuje niczym tancerze w trójwymiarowym kosmicznym balecie.

Skutek jest taki, że nasz Układ Słoneczny, jak miliardy innych, w nieunikniony sposób musi napotykać obszary przestrzeni międzygwiazdowej gęściej wypełnione obłokami molekularnego gazu i mikroskopijnych drobin pyłu²⁰¹. Przebycie jednego takiego obszaru zajmuje od dziesiątek tysięcy do setek tysięcy lat. Może do tego dojść tylko raz na kilkaset milionów lat, ale gdyby nowoczesna cywilizacja narodziła się w trakcie jednego z takich epizodów, dostrzegalibyśmy ledwie kilka najbliższych gwiazd, na pewno nie dane by nam było ujrzeć resztę naszej Galaktyki i głęboki kosmos poza nią.

Czy warunki panujące na naszej planecie mogłyby tak znacząco się różnić, a mimo to umożliwiać powstanie naszego gatunku? Czy czynniki takie, jak zmienne w większym stopniu orbity w układzie planetarnym, zła pogoda, przejście przez obłoki materii międzygwiazdowej, zdołałyby również w jakiś sposób zakłócić pojawienie się życia? Zjawiska tego rodzaju mogą nie wróżyć dobrze, ponieważ prowadzą do pogorszenia środowiska naturalnego na powierzchni planety. Jest więc możliwe, że panujące na planecie warunki konieczne do zaistnienia życia obdarzonego świadomością, życia podobnego do nas, zawsze będą prowadzić do wykształcenia w umysłach tych istot szczególnej wizji kosmosu, jednakowego, wspólnego dla wszystkich okna na Wszechświat. Brzmi znajomo? To dlatego, że identyczne są przesłanki zasady antropicznej: obserwator ujrzy tylko taki rodzaj otoczenia, ponieważ w pierwszej kolejności otoczenie to jest konieczne, aby obserwator mógł istnieć. W tym wypadku podstawa idei jest znacznie zawężona, a rozważanie może być prostsze.

Związek między życiem a środowiskiem naturalnym planety ponownie przywołuje odwieczne, dręczące pytanie: jak rzadkie lub jak powszechne jest życie takie jak ziemskie? Biolodzy często rozbijają tę zagadkę na dwie części, z których jedna dotyczy „prostego” życia, a druga „złożonego”. Inni naukowcy wolą łączyć obie części pod jedną nazwą: „życie”. Jednak ściśle rozróżnienie między „prostym” a „złożonym” napotkaliśmy już przy okazji porównania bakterii i archeonów z eukariontami – wszystkie stanowią trzy wielkie domeny życia na Ziemi. Eukarionty, takie jak my, charakteryzuje bardziej „złożona” budowa komórek, które są większe od komórek bakterii i archeonów, mają też bardziej skomplikowaną strukturę wewnętrzną. Co ważne, eukarionty trzymają swoje nici DNA zwinięte i osłonięte w małych woreczkach otoczonych membraną – jądrach komórkowych. Sądzymy, że te złożone struktury komórkowe powstały później niż „proste” bakterie i archeony, bez których organizmy takie jak my nie chodziłyby po

Ziemi.

Fakt, że istnieją organizmy proste i złożone, stanowi silny argument za słusnością idei, o której wspomniałem w prologu: hipotezy „rzadkiej Ziemi”²⁰². Równie dobrze mogłaby się nazywać „hipotezą rzadkiego złożonego życia”, ponieważ stwierdza ona, że powstanie złożonego wielokomórkowego życia może być we Wszechświecie niezwykle rzadkim zjawiskiem. Rozszerzając tę tezę, dodam, że istoty inteligentne, zdolne stworzyć cywilizację techniczną, również będą należeć do rzadkości i będą je dzielić ogromne odległości. Pomysł, że złożone życie wielokomórkowe występuje bardzo rzadko, wart jest bliższego zbadania, ale przypomnę uwagę, którą poczyniłem wcześniej: nie wydaje mi się, aby przesłanki leżące u podstaw tezy rzadkiej Ziemi uważać za dobrze uzasadnione.

Idea rzadkiej Ziemi zakłada, że aby w wyniku ewolucji pojawiły się wielokomórkowe organizmy żywe, a może nawet istoty inteligentne, planeta musi charakteryzować się wyjątkowymi warunkami i w jej historii musi zajść szereg szczególnych zdarzeń. Natomiast proste organizmy żywe (takie jak te żerujące na skałach) mogą występować znacznie częściej. Szukając argumentów przemawiających za taką tezą, można czerpać z bogatego źródła historii Ziemi i okoliczności towarzyszących rozwojowi życia. Weźmy na przykład wodę. Ta prosta cząsteczka, złożona z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu, jest niezbędnym biochemicznym rozpuszczalnikiem, a także głównym elementem w geofizycznej maszynierii na Ziemi. Jednak wielkość zasobów wodnych na planecie, a także to, jaka ich część znajduje się na powierzchni w stanie ciekłym, gdzie mogą się nią cieszyć i użytkować ją organizmy żywe, zależy od wielu okoliczności i specyficznych wydarzeń.

Można argumentować, że obecność wody na Ziemi związana jest z położeniem asteroid, komet i olbrzymich planet w Układzie Słonecznym, jak też z zachodzącymi obecnie i w przeszłości zmianami orbity naszego globu. Dodatkowo organizmy wielokomórkowe przypuszczalnie odnoszą korzyści z obecności ochronnego płaszcza pola magnetycznego, która, z kolei, ma związek ze sposobem, w jaki formował się układ Ziemia–Księżyc, może też być podtrzymywana przez pływy wywołane oddziaływaniem grawitacyjnym Księżyca. Gdyby Ziemia nie miała względnie dużego satelity, byłaby również narażona na znaczne zmiany nachylenia osi obrotu, a co za tym idzie, na gwałtowne zmiany klimatu, które mogłyby znacznie bardziej zaszkodzić organizmom wielokomórkowym niż odpornym mikroorganizmom. Zmieniający się na przestrzeni czasu skład ziemskiej atmosfery i ewolucja zachodzących w oceanach procesów chemicznych niewątpliwie łączą się z różnymi wybrykami geofizyki, których pochodzenie może sięgać czasów poprzedzających uformowanie Słońca, ery protoplanetarnej, i wiązać się z efektami ogrzewania przez izotopy promieniotwórcze powstałe w wybuchu lokalnej supernowej, a później włączone w skład kondensującej materii. W istocie gdyby nie było aktywności ziemskich płyt tektonicznych, która w części zależy od wewnętrznego ciepła Ziemi, zupełnie inaczej wyglądałaby topografia i środowisko chemiczne na powierzchni planety, wymiana zachodząca między kontynentem, oceanem i dnem morza. I tak dalej.

Jeśli nałoży się te czynniki na oś czasu opisującą rozwój wszystkich gatunków w ciągu ostatnich 4 miliardów lat, struktura ewolucji życia zaczyna przypominać domek z kart. Zmiana jednego drobiazgu w tym czy innym miejscu prawdopodobnie udaremiłaby cały ciąg zdarzeń, które miały doprowadzić do powstania wielokomórkowych form życia i nas samych (w większej

skali czasu była to ścieżka równie najeżona niebezpieczeństwami jak ta, na którą weszli nasi bezpośredni przodkowie po tym, gdy sto tysięcy lat temu pojawili się w Afryce).

Oto sedno tezy stawianej przez zwolenników teorii wyjątkowości Ziemi: pojawienie się na Ziemi wielokomórkowych i inteligentnych form życia w decydujący sposób zależało od niektórych, a może nawet wszystkich wymienionych powyżej czynników. Co więcej, jeśli są jakiegokolwiek alternatywne możliwości, które można uznać za realne, to jest ich bardzo mało. Jeśli to prawda, tylko planety będące niemal bliźniaczymi kopiami Ziemi mogą być domem istot podobnych do nas. Innymi słowy, wielokomórkowe formy życia muszą być w kosmosie czymś wyjątkowym... nawet w kosmosie pełnym planet.

Niezaprzeczalna unikatowość warunków panujących na naszej planecie i jej historii wcale nie musi być najważniejszym argumentem przemawiającym za słusznością tej teorii. Niektórzy naukowcy twierdzą, opierając wywody wyłącznie na gruncie biologii, że jest bardzo mało prawdopodobne, aby złożone organizmy wielokomórkowe powstały w jakimkolwiek innym miejscu, ponieważ koniecznie musi zaistnieć łańcuch specyficznych zdarzeń²⁰³, dzięki którym, w odpowiednich miejscach i w odpowiednim czasie, dojdzie do wytworzenia niezbędnych elementów maszyneryi molekularnej. Wniosek znowu jest taki, że wielokomórkowe formy życia muszą występować we Wszechświecie bardzo rzadko, a to, że się w ogóle pojawiają, jest uwarunkowane zbiegiem szczególnych, sprzyjających okoliczności.

To biologiczne rozumowanie zbudowane jest wokół stwierdzenia, że bakterie i archeony nie mogą łatwo „udoskonalic się” do większych i bardziej złożonych form fizycznych, zwyczajnie bowiem nie wytwarzają dostatecznie dużo energii. Im więcej genów ma organizm, tym więcej energii potrzeba na przetwarzanie tej informacji genetycznej w białka. Mikroorganizmy zachowały stosunkowo proste metody wytwarzania energii, toteż nie stać ich na dźwiganie potężnej biblioteki pod postacią materiału genetycznego. Musiały pozostać proste.

Jak już pisałem, komórki eukariotyczne różnią się od chmury organizmów jednokomórkowych i teraz widzimy jeszcze jeden powód, dlaczego tak jest. Mogą zawierać dodatkowe struktury nazywane mitochondriami – są to otoczone błoną organelle zawierające pakiety DNA, RNA oraz setek enzymów. Pakiety te są oddzielone od jądra komórkowego, które chroni podstawowy DNA organizmu. Mitochondria są niesamowitym tworem. Między innymi służą za wyspecjalizowane elektronicznie chemiczne zasilające eukariotyczne formy życia, które w procesie utleniania wytwarzają niezbędne cząsteczki pełniące funkcję skuteczných nośników energii elektrycznej w obrębie komórek. To one kryją się za naszą potrzebą oddychania. One też stanowią odpowiedź na pytanie, jak to się dzieje, że możemy rosnąć, osiągając tak duże rozmiary.

Mitochondria sprawiły, że formy życia podobne do nas mogły zaistnieć, ponieważ podniosły na wyższy poziom naszą wydajność metaboliczną. Dostarczana przez nie energia pozwala 200 000 razy zwiększyć liczbę genów poddawanych ekspresji w naszych komórkach w porównaniu z ekspresją genów w komórkach mikroorganizmów. Mitochondria są jednak, niemal na pewno, pochodzenia bakteryjnego. Sądzymy, że około 2 miliardów lat temu połączyły się one z prekursorami komórek eukariotycznych i stały się endosymbiotyczne – zostały całkowicie wchłonięte przez swych gospodarzy, którym służyły za generatory energii o decydującym znaczeniu.

Na razie jest dobrze. Niektórzy naukowcy, w tym biochemicy Nick Lane i Bill Martin²⁰⁴,

dowodzili jednak, iż organizm, który połączył się z mitochondrialnym przodkiem, mógł nie być wcale bardziej od niego złożony. Utrzymują oni, że złożone struktury komórek eukariotycznych zostały zapoczątkowane przez połączenie dwóch podobnych organizmów. Według Martina i Lane'a cała historia rozwoju wielokomórkowego zależy od pojedynczego, losowego, bardzo mało prawdopodobnego aktu połączenia dwóch komórek.

Moim zdaniem może to być najsilniejszy jak dotąd argument przemawiający za tym, że pojawienie się na Ziemi wielokomórkowych form życia było zdarzeniem z rodzaju wyjątkowo szczęśliwych zbiegów okoliczności. Pod względem wymowy jest podobny do tez mających źródło w astrofizyce i teorii formowania planet, według których powstanie życia uwarunkowane jest wystąpieniem łańcucha szczególnych okoliczności – a nawet je wypiera. Jeśli takie nagromadzenie warunków jest konieczne do powstania życia, niewielkie są szanse na to, aby w kosmosie było dużo planet dostatecznie podobnych do Ziemi. Do takich wniosków prowadzi wywód astrofizyczny, lecz ostateczny, jak się zdaje, cios zadaje argument mitochondrialny.

Na Ziemi mamy do czynienia z innymi przykładami istotnej endosymbiozy (gdzie jeden organizm stale i pokojowo zamieszkuje wewnątrz drugiego, z czego obie strony czerpią korzyści). Na przykład budowa występujących w komórkach roślin chloroplastów, struktur o fundamentalnym znaczeniu dla fotosyntezy, wskazuje, że doszło do podobnych fuzji. Naukowcy sądzą, iż te mikroskopijne struktury w kształcie fasolek wzięły się z cyjanobakterii, starożytnych fotosyntetyzujących mikroorganizmów. Jednak rośliny, które również zawierają mitochondria, pojawiły się znacznie później niż organizmy wielokomórkowe. Właściwie wszystkie dowody wskazują na to, że nic podobnego do „zdarzenia mitochondrialnego” już się nie powtórzyło, ani razu, od tego jedyne go wypadku w historii kilka miliardów lat temu.

Teoria ta jest przekonująca, nie wiemy jednak, czy mitochondrialny przodek połączył się z jeszcze innym gatunkiem charakteryzującym się prostą budową komórki. Jeśli istniały już protoeukariotyczne formy życia (być może nawet rodzaj bardziej złożonego archeonu), zdarzenie mitochondrialne byłoby tylko kolejnym szczeblem ewolucji tego organizmu, jeszcze jednym epizodem o podłożu endosymbiotycznym, niczym niewyróżniającym się od innych podobnych zdarzeń z przeszłości, gdy protoeukariotyczne formy życia wchłaniały pomocne mikroorganizmy i zamiast strawić, zatrzymywały je dla siebie. Jeśli tak na to spojrzeć, znacząco słabnie waga zdarzenia mitochondrialnego, co, muszę przyznać, bardziej mi odpowiada. Drażnią mnie wywody odwołujące się do wystąpienia „mało prawdopodobnych” zdarzeń. Niektóre z nich podejrzanie przypominają sposób myślenia pewnych naukowców z XX wieku, takich jak fizyk Fred Hoyle, którzy uważali, że pojawienie się życia na Ziemi wymagało „aktu zasiania” przez czynniki zewnętrzne. Propozycja sprowadzała się do stwierdzenia, że ziemską biochemia została zapoczątkowana przez organizm, który (choć był całkowicie naturalny, jak bakteria) przybył spoza Ziemi. Koncepcja ta nosi nazwę panspermii, wywodzącą się z języka greckiego, w którym *pan* oznacza „wszystko”, a *spermia* odnosi się do zarodka lub nasienia²⁰⁵.

Tak jak widział to Hoyle i inni, jeśli przyjrzeć się mieszaninie atomów i cząsteczek w jakimś stawie, gdzieś na prymitywnej Ziemi, to szanse na spontaniczne uformowanie się cząsteczki RNA lub DNA, nawet w czasie mierzonym w miliardach lat, są niemal całkowicie równe zeru. Wobec tego życie nie mogło zacząć się tutaj, musiało zostać zainicjowane przez przybycie jakichś form życia lub protożycia. Problem abiogenezy został przesunięty poza naszą planetę, w kosmos.

Dzisiaj sądzimy, że procesy łączenia się zarówno podstawowych, jak i złożonych struktur molekularnych oraz te, dzięki którym w złożonych układach może spontanicznie wyłonić się porządek, charakteryzuje znacznie większa wydajność, niż to sobie wyobrażaliśmy. My ślimy też, że istnieją rozmaite szablony nieorganiczne, chemiczne i fizyczne, które na młodej Ziemi mogły pomóc popchnąć chemię węgla w kierunku w pełni rozwiniętej biochemii. Powoływanie się na panspermie, jak robił to Hoyle, zdaje się zbędne. Mimo więc że nasze nowoczesne idee nie tłumaczą wszystkiego, to jednak sugerują ostrożność w przyjmowaniu założenia, iż nie w pełni zrozumiane zjawisko biologiczne jest z natury bardzo mało prawdopodobne. W mojej opinii postulowanie niskiego prawdopodobieństwa wyłonienia się z mikrobiologicznej, pierwotnej zupy złożonych komórek zawierających mitochondria oznacza jednocześnie, przynajmniej na pierwszy rzut oka, akceptację starej idei panspermii, iż życie musi być mało prawdopodobne, ponieważ tak się nam wydaje.

Posunę się dalej. Jeśli historia nauki czegoś nas uczy, to właśnie tego, że przypuszczenia tego rodzaju należy traktować z należytą rezerwą. Możemy i powinniśmy ignorować najbardziej skrajne wersje pomysłów tego typu. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, że wywody te są często podszyte wprowadzającym w błąd, intuicyjnym pojmowaniem natury danych statystycznych. Zasadniczo to właśnie stosunkowo prosta, lecz efektywna analiza natury prawdopodobieństwa i naszej percepcji zjawisk losowych dostarcza jednego z najsilniejszych argumentów przeciw jakiegokolwiek wersji teorii „rzadkiej Ziemi”.

* * *

Jest taka stara historia, którą profesorowie statystyki wykorzystują do szokowania nowych studentów i wzbudzenia ich podziwu. Wydaje się prosta, ale jednocześnie uwydatnia pewne głęboko zakorzenione nawyki umieszczania informacji w kontekście. Jak wiele dobrych historii, jest opowiadana w wielu różnych wariantach. Ja do zilustrowania idei posłużę się sportem.

Pewnego wieczoru Joe siedzi sobie w domu, gdy nagle dzwoni telefon. Ku swojemu zaskoczeniu słyszy głos starego przyjaciela, z którym nie rozmawiał przez ponad pięć ostatnich lat. W trakcie wymiany zdań dowiaduje się, że przyjaciel, tak się składa, ma wolny bilet na wieczorny, atrakcyjny mecz baseballowy. Pyta, czy Joe miałby ochotę pójść.

Godzinę później Joe jest w drodze na stadion, gdzie czeka na niego zarezerwowane miejsce. Razem z nim na trybunach zasiada pięćdziesiąt tysięcy fanów. Nie ma ani jednego wolnego miejsca, wszyscy siedzą jeden przy drugim. Kiedy Joe razem z przyjacielem docierają na swoje miejsca, ktoś zadaje im pytanie, czy nie mieliby nic przeciwko zamianie na inne, nieco lepsze miejsca, jakieś pięć metrów dalej, dzięki czemu rodzina mogłaby siedzieć razem. Joe zgadza się bez wahania i razem z przyjacielem zajmuje nowe miejsca.

Zaczyna się mecz, na plac wychodzi słynny pałkarz. Joe zajmuje miejsce i widzi idącego między rzędami sprzedawcę przekąsek. Przywołuje go. Akurat w chwili, gdy Joe sięga ku tacy sprzedawcy po zakupiony artykuł, w dole, na boisku, pałkarz uderza piłkę w kierunku trybun. Piłka

leci w górę, ku widowni, uderza z impetem w tać i wpada naszemu bohaterowi prosto w ręce. Uderzenie przechodzi do legendy, a piłka w jednej chwili staje się cenną pamiątką sportową.

Joe kręci głową: nie jest w stanie uwierzyć, jak wielkie miał szczęście. Gdyby od dawna niewidziany przyjaciel nie zadzwonił, gdyby nie miał wolnego biletu na mecz, gdyby nie zamienili się na miejsca, gdyby nie sięgał właśnie w tym jednym momencie po przekąskę – nie złapałby piłki! Wszystko to wy daje się tak nieprawdopodobne, że przez chwilę zastanawia się, czy przypadkiem nie odkrył w sobie niesamowitego talentu do sprowadzania na siebie tajemniczych zbiegów okoliczności, na podobieństwo piorunochronu ściągającego błyskawice.

Wy daje się to logicznym wnioskiem. Jeśli coś podobnego przydarzyłoby się komuś z nas, na pewno zmusiłoby to do refleksji. Zastanawialibyśmy się, czy jakieś kosmiczne siły wybrały nas specjalnie do udziału w tym wydarzeniu. Ostatecznie, jakie jest prawdopodobieństwo, że wszystkie te zdarzenia ułożyłyby się w tak idealnym porządku?

Problem polega na tym, że nasza intuicja bardzo, bardzo źle nam podpowiada w kwestiach dotyczących przypadkowości i zdarzeń losowych. Z perspektywy Joeego wszystko to wyglądało na nieprawdopodobny łańcuch zdarzeń. Z pięćdziesięciu tysięcy ludzi zgromadzonych na trybunach stadionu piłka trafiła akurat do niego, ponieważ znalazł się w odpowiednim miejscu i w odpowiednim czasie. Czy jednak sposób, w jaki Joe postrzega to, co się stało, jest właściwy?

Nie, jeśli poddać ocenie globalne znaczenie zdarzenia. Otóż uderzona z ogromną siłą piłka musiała kogoś na stadionie trafić lub zostać przez kogoś złapana. Było to nieuniknione. Jeśli nie wpadłaby w ręce naszego bohatera, trafiłaby w ręce kogoś innego, albo uderzyłaby kogoś innego w głowę, albo wytrąciłaby komuś z dłoni kubek z napojem. Każdemu z tych ludzi przyszyby do głowy podobne myśli. Jak *niezwykła* rzecz im się przytrafiła...

Każdy możliwy scenariusz stwarzałby okazję do wyrażania zdziwienia tym, jak astronomicznie małe były szanse na to, aby piłka wyładowała akurat w tym konkretnym miejscu. I w każdym wypadku byłoby równie szerokie pole do doszukiwania się niezwykle łańcucha zdarzeń: podjęta w ostatniej chwili decyzja o wybraniu się na mecz, impuls nakazujący spojrzeć w górę akurat w tej chwili, nałożenie szczęśliwej koszuli, podniesienie hot doga do ust... Wszystkie te okoliczności zaczynają mieć znaczenie *dopiero po zdarzeniu*, są tym, co zwykliśmy ogólnie nazywać informacją aposterioryczną albo częścią analizy *post hoc*.

Nie jest łatwo ocenić prawdziwe znaczenie tego, co przeżył Joe, jednak jedno jest oczywiste: nie jest to aż tak niezwykle, jak się początkowo wydawało. Owszem, fakt, że przytrafiło się to akurat jemu, jest niezwykle mało prawdopodobny, lecz prawdopodobieństwo przytrafienia się tego *komukolwiek* spośród widzów zasiadających na trybunach stadionu wcale nie jest małe.

* * *

Jak ma się to do tezy, że Ziemia, jako siedlisko złożonych form życia i inteligentnych istot, jest w skali kosmosu rzadkością? Idea wyjątkowości Ziemi zakorzeniona jest w wiedzy aposteriorycznej. Jest to prawdziwe stwierdzenie, niezależnie, czy rozważamy biologię

molekularną i zdumiewające etapy rozwoju złożonych form życia, czy niesamowity łańcuch astrofizycznych zdarzeń prowadzących do ukształtowania współczesnej Ziemi. Kiedy ty i ja trwamy w zadziwieniu, jak bliski cudu zdaje się fakt naszego istnienia²⁰⁶, nie różni się to za bardzo od zdumienia Joego, rozważającego szanse szczęśliwego pochwylenia piłki.

Można do woli poddawać analizie różne właściwości i elementy historii Ziemi, od losowych czynników wpływających na proces formowania się Ziemi i Księżyca, przez geofizyczną i ekologiczną historię planety, po ogniwa ewolucji biologicznej – wszystkie te niuanse, które decydują o tym, że nasz lokalny skrawek kosmosu jest odpowiedni do rozwoju życia. Rzeczywiście, może się okazać, iż każdy składnik jest ważny i rzadki w skali kosmosu, podlegający na starcie całkowicie losowym rozkładom. Jednak z całą pewnością nie mówi nam to, że nasze istnienie, jako złożonej formy życia obdarzonej inteligencją, jest w kosmosie rzadkością.

Tak naprawdę może być dokładnie odwrotnie. Załóżmy, że rozwój życia, jak też ewolucja jego części do form o rosnącej złożoności i inteligencji podobnej do człowieka, zasadniczo jest nieunikniona wszędzie tam, gdzie życie jest w stanie zdobyć punkt zaczepienia. Podobnie nieuniknione było to, że silnie uderzona piłka trafi kogoś z widzów na szczelnie wypełnionym stadionie. Nie znaczy to, że życie zawsze będzie w stanie wyewoluować do poziomu wielokomórkowych form, robi to jednak wówczas, gdy okno sprzyjających okoliczności będzie dostatecznie szeroko otwarte.

Z tego punktu widzenia nasza obecność na Ziemi równie dobrze może być wynikiem ogromnej liczby alternatywnych historii – poszczególne cechy charakterystyczne rozważanego przypadku, wszystkie, co do jednego, są bowiem faktami aposteriorycznymi. Życie takie jak nasze (wyróżniające się wielokomórkową strukturą, zęcznością, rozwiniętym mózgiem, zdolnościami lingwistycznymi i technicznymi), jeśli tylko miało najmniejszą szansę, musiało zaistnieć. Jak wielkimi „szczęściarzami” jesteśmy, nie ma żadnego znaczenia. Uczestnik nieuchronnego zdarzenia, które prowadzi do bardzo charakterystycznego, lecz losowego wyniku, zawsze będzie myślał, że jest świadkiem cudu, którego szansa to jedna na bilion.

Można to wyrazić inaczej: jakakolwiek forma życia, gdziekolwiek we Wszechświecie, zawsze będzie postrzegać cechy charakterystyczne jej świata jako „wyjątkowe” i będzie zdania, że gdyby właściwości te były inne, szanse na zaistnienie złożonych form życia byłyby znikome. Ta percepcyjna tendencja nieodpartą siłą, niezależnie od tego, czy wielokomórkowe formy życia występują w kosmosie powszechnie czy nie. Dopóki nie odkryjemy życia poza Ziemią albo nie wykluczymy w jakiś sposób możliwości jego istnienia, dopóty jakiegokolwiek aposterioryczne interpretacje znaczenia okoliczności, w jakich rozwijało się życie na Ziemi, są niemal całkowicie pozbawione sensu. Uproszczona wersja takiego spojrzenia na sprawy zawiera się w pytaniu: czy ma sens twierdzenie, że istnienie znajdującego się przed nami obiektu jest skrajnie mało prawdopodobne, czy też raczej powinno się orzec, że nasza wiedza o tym, jak powstał ten obiekt, może być niepełna? Nie mam kłopotu z wyborem odpowiedzi na to pytanie.

Traktujemy poważnie formułowane teorie, lecz niezwykle ważne jest, aby zdać sobie sprawę, że tak naprawdę nie chodzi o odpowiedź na pytania o to, czy życie jest rzadkością albo czy Ziemia jest wyjątkowym miejscem, w którym rozwinęło się życie. Aby podjąć się takiego zadania, musimy mieć więcej informacji. Na razie mówimy tylko, iż niezależnie od uzyskanej odpowiedzi zawsze będzie się wydawało, że udało nam się chwycić przysłowiową piłkę

baseballową, na co była jedna szansa na bilion.

Pisałem już, że za mało wiemy na temat natury inteligencji biologicznej, aby przyjąć założenie, iż jest ona ograniczoną do jednego typu osobliwości, rzadkim przypadkiem, powstałym w wyniku łańcucha niezwyklejych zdarzeń. Fałszywość takich założeń dowiodły już fantastyczne stworzenia, jakimi są głowonogi. Takie same trudności rysują się w zakresie kolejnych ogniw decydujących o warunkach naturalnych na planecie, potrzebnych do powstania wielokomórkowych form życia. Jak dalece niezbędne były konkretne warunki astrofizyczne i uwarunkowania biologiczne, w których znaleźli się ludzie? Odczucie większego komfortu zapewnia mi przyjęcie założenia, że nie musiałyby być identyczne z tymi, jakie panują na Ziemi. Trzeba będzie zacząć i zobaczyć, czy znajdziemy potwierdzenie słuszności tego założenia czy też dowody świadczące o jego fałszywości.

* * *

Kiedy zastanawiam się nad odmiennymi wariantami powstania planety i historii rozwoju nauki, kiedy rozważamy pozornie nieprawdopodobne zdarzenia natury biologicznej i ścieżki przemian ewolucyjnych, docieramy do granic wiedzy. W następnym, ostatnim, rozdziale zobaczymy, dokąd tą drogą możemy dojść w naszych poszukiwaniach. Zanim to zrobimy, odbędziemy jeszcze jedną podróż, która oferuje możliwość szybkiego zerknięcia na najdalsze rubieże poszukiwań kosmicznego znaczenia naszego istnienia: dotkniemy pytań o naturę samej rzeczywistości, naturę Wszechświata jako całości i miejsca zajmowanego w nim przez inteligentne istoty obdarzone świadomością. Takepicki temat kryje w sobie ukryte pułapki.

Chcąc zrozumieć naturę rzeczywistości, można udać się w dwóch kierunkach. Jeden z nich prowadzi do wewnątrz, do świata mikroskopowego, molekularnego, a nawet głębiej, do kwantowego świata materii i energii. Drugi prowadzi na zewnątrz, do czasoprzestrzeni w największej skali, zawierającej wszystkie gwiazdy, galaktyki, materię, ciemną materię i promieniowanie kosmiczne.

Choć kierunki te są przeciwne, wcale nie są odrębne, ani trochę. To zdumiewające, że wewnętrzny świat energii i materii tak wiele uczy nas o zewnętrznym Wszechświecie, i odwrotnie. Oczywistym powodem takiego stanu rzeczy jest to, że najbardziej fundamentalne składniki rzeczywistości biorą się z tego samego zasobu sztuczek natury. Fizyka Wszechświata w wielkiej skali jest taka sama jak fizyka molekularna i subatomowa. Wcale nie musimy za mocno zagłębiać się w niesamowicie szczegóły naukowe, aby doszukać się głównej wskazówki w kwestii, dlaczego szczególnie okoliczności, w jakich się znajdujemy, w decydujący sposób wpływają na to, czego możemy dowiedzieć się o kosmosie, a czego poznać nie możemy. Okazuje się, że Wszechświat nie zawsze chętnie ujawnia swe tajemnice obserwatorowi.

W kosmologii jednym z największych odkryć [207](#) ostatnich dwóch dekad jest to, że ekspansja Wszechświata – puchnięcie samej jego struktury, skutkujące oddalaniem się galaktyk od siebie – przyspiesza. Można ująć to bardziej trywialnie: zamiast spowolnienia tempa rozszerzania się

Wszechświata, zapoczątkowanego Wielkim Wybuchem, które byłoby wywołane grawitacyjnym przyciąganiem ogółu materii, mamy obecnie do czynienia z rosnącym tempem ekspansji. Chcąc potwierdzić ten stan rzeczy, astronomowie dokonali skrupulatnych pomiarów sposobu, w jaki ekspansja supernowe błędną wraz z odległością. Wyniki idealnie pasowały do modelu, w którym ekspansja kosmosu przyspiesza. Odkrycie jest poparte pomiarami różnych wielkości astrofizycznych, takich jak tempo formowania grup i gromad galaktyk w odniesieniu do czasu kosmicznego oraz ulotny odcisk materii na przenikającym Wszechświat, wszechobecnym promieniowaniu – wyjaśnię to poniżej. Sedno sprawy jest takie, że około 5 miliardów lat temu Wszechświat przestał zwalniać i zaczął przyspieszać.

Co może wywoływać ten efekt? Najprostsza odpowiedź brzmi – jeszcze nie wiemy. Przyznając się do ignorancji, zdobyliśmy się na zaskakującą szczerłość i opatrzyliśmy przyczynę tego wszechobecnego przyspieszenia terminem „ciemna energia”, czyli coś, czego do końca nie rozumiemy. Jedną z dobrych kandydatek jest energia samej próżni, związana z kłującym się oceanem „wirtualnych” par cząstek powstających i znikających równie nagle w procesie, który jest konsekwencją rozmycia i nieoznaczoności, będących elementami najgłębszej natury mechaniki kwantowej. Ten ocean przejawia dziwne właściwości, wywiera ujemne ciśnienie – jest źródłem odpychającego pola grawitacyjnego. Rozszerzający się Wszechświat zwyczajnie robi miejsce dla coraz większej i większej tej samej „gęstości energii próżni”, która zyskuje przewagę nad energią kosmosu i coraz bardziej rozpycha przestrzeń.

Czykolwiek okaże się ciemna energia, stanowi obecnie około 70 procent całkowitej energii i materii Wszechświata i niezależnie od szczegółów wydaje się, że zostanie tutaj na dłużej. Okazuje się, że ma to niesamowite skutki dla czasu kosmicznego, w którym przyszło nam żyć.

W 2007 roku fizycy Lawrence Krauss i Robert Scherrer²⁰⁸ zaprezentowali prowokacyjne wyniki badań tego zagadnienia. Skupili się na implikacjach przyspieszenia rozszerzania się Wszechświata dla obserwacji astronomicznych prowadzonych przez jakichkolwiek jego mieszkańców, a w szczególności wykazali, że Wszechświat przyszłości będzie wyglądał zupełnie inaczej w oczach istot aspirujących do roli kosmologów.

Aby to osiągnąć, wyobrazili sobie, jak będzie on wyglądał dla przedstawicieli gatunku podobnego do nas, żyjących w jakiejś galaktyce w kosmosie za 100 miliardów lat. Jeżeli istoty te zbudują urządzenia służące do obserwacji kosmosu, takie jak teleskopy, to odkryją, że za gwiazdami tworzący mi ich galaktykę jest... niemożliwość. Dlaczego? Ciemna energia bowiem popchnie ekspansję Wszechświata do punktu, gdzie widzialne światło innych galaktyk zostanie rozciągnięte do stanu, w którym będzie praktycznie niewidzialne. Kosmos leżący za granicami galaktyki znajdzie się poza zasięgiem wzroku.

Oczywiście, istoty z przyszłości nie muszą być tym zaniepokojone. Po prostu zaobserwują, że Wszechświat widzialnego światła zawiera ich „świat wyspowy”, ich galaktykę, i nic więcej. Tak po prostu. Jednak, jak pytali Krauss i Scherrer, biorąc pod uwagę tak ograniczoną perspektywę, w jaki sposób istoty tego gatunku rozwiną poprawną teorię kosmologiczną? Za ich czasów bowiem przygaśnie do niebytu nie tylko widzialne światło odległych galaktyk. Znikną inne żywotne sygnatury Wszechświata związane z jego skończonym wiekiem i Wielkim Wybuchem.

W latach sześćdziesiątych XX wieku naukowcy wykryli przenikające przestrzeń kosmiczną mikrofalowe promieniowanie tła. Promieniowanie to stanowiło rozstrzygający dowód słuszności

teorii Wielkiego Wybuchu. Mikrofalowe promieniowanie tła jest pozostałością po ostatniej epoce, gdy Wszechświat był dostatecznie gorący, aby pozostawać nieprzejrzysty dla światła, jakieś 380 000 lat po Wielkim Wybuchu i mniej więcej 13,8 miliarda lat temu. Wykrywamy to relikwowe promieniowanie jako nadzwyczaj gładki, choć nie idealnie jednorodny szum mikrofalowych fotonów, przemierzających kosmos we wszystkich kierunkach. Jednak za 100 miliardów lat ekspansja Wszechświata zredukuje natężenie mikrofalowego promieniowania tła do jednej bilionowej części jego obecnej wartości, a fale zostaną rozciągnięte tak bardzo, że promieniowanie wejdzie w zakres fal radiowych metrowej długości. W jeszcze bardziej odległej przyszłości ktoś prowadzący obserwacje z wnętrza galaktyki nie dostrzeże nawet tego promieniowania, ponieważ lokalne obłoki gazu międzygwiazdowego tworzą barierę niemal nie do przebycia dla tych stale rozciąganych fal elektromagnetycznych.

To nie wszystko. W przyszłości zaburzeniu ulegną proporcje składu pierwiastkowego wypełniającej kosmos materii. Dzisiaj wciąż widzimy, że mniej więcej 74 procent całkowitej masy normalnej materii kosmosu stanowi wodór, 24 procent przypada na hel – proporcje te są bardzo bliskie pierwotnego stosunku helu do wodoru. Razem ze śladową ilością deuteru (ciężkiego izotopu wodoru) równowaga pomiędzy tymi pierwiastkami stanowi kluczową wskazówkę na temat warunków panujących w gorącym, gęstym stanie młodego Wszechświata, jest niczym odcisk palca Wielkiego Wybuchu. Za 100 miliardów lat w reakcjach syntezy gwiazdy przetworzą już znaczną część wodoru w hel, zmieniając proporcje do tego stopnia, że hel będzie stanowił 60 procent masy materii. Pierwotne proporcje ulegną zatarciu, wszelkie subtelne ślady deuteru, którego występowanie można dziś mierzyć, również w dużej części znikną, albo zniszczone przez gwiazdy, albo usunięte z pola widzenia, gdy widmo światła odległych galaktyk przestanie być widzialne. Kolejny materiał dowodowy rozplynie się w niebycie.

Historia samych gwiazd również znalazła się w ciekawym punkcie zwrotnym. Od dwudziestu lat astronomowie wiedzą, że średnie tempo formowania nowych gwiazd w galaktykach było w przeszłości znacznie wyższe. Niedawno opublikowana praca, będąca wynikiem heroicznego wysiłku, jakim były obserwacje teleskopowe mające na celu sporządzenie mapy i scharakteryzowanie galaktyk w wielu różnych epokach kosmicznych, pomogła ujawnić szczegóły z niespotykaną precyzją. Zdaje się, że ponad połowa wszystkich obserwowanych dzisiaj obiektów gwiazdowych powstała od 11 miliardów do 8 miliardów lat temu, w orgiastycznym paroksyzmie formowania gwiazd. Częstotliwość, z jaką obecnie dochodzi do narodzin nowych gwiazd, stanowi zaledwie 3 procent tempa sprzed 11 miliardów lat i wciąż dość szybko spada²⁰⁹. Oznacza to, że liczba gwiazd, jakie narodzą się jeszcze w przyszłości przez cały pozostały czas istnienia Wszechświata, stanowi tylko 5 procent ogółu tych, które do tej pory w nim się uformowały.

Takie fakty rodzą zatrważające myśli. Nasze istnienie przypada na moment historii Wszechświata, który można nazwać początkiem długiego kosmicznego zmierzchu. Ponieważ spośród wszystkich rodzajów gwiazd najliczniej występują małe czerwone gwiazdy, które są również najbardziej długowieczne, Wszechświat systematycznie będzie stawał się coraz czerwienniejszy i ciemniejszy. Takí stan rzeczy będzie utrzymywał się bardzo długo. Już dzisiaj w wielu galaktykach prawie nie formują się nowe gwiazdy. Naukowcy są przekonani, że nasza Droga Mleczna znajduje się w okresie przejściowym i proces wytwarzania nowych gwiazd

i planet właśnie wyhamowuje – rocznie powstaje zaledwie jeden lub dwa nowe układy gwiazdne. Oznacza to mniej więcej połowę zakresu dzisiejszej wydajności.

Dlaczego tak się dzieje? Częściowo dlatego, że gaz i pył z poprzednich generacji, będące surowcem do budowy gwiazd, po początkowym okresie grawitacyjnego zagęszczania ponownie są rozwiewane. W galaktykach czynnikami odpowiedzialnymi za ten proces są energia promieniowania gwiazd i supernowych oraz energia wytwarzana przez materię opadającą na olbrzymie czarne dziury²¹⁰. Galaktyki nie rosną tak bardzo i nie łączą się tak często jak dawniej, co prowadziło do mieszania materii i mogło stymulować proces kondensacji nowych gwiazd z międzygwiazdowego mroku. Scalanie galaktyk wciąż jednak może się odbywać. Za 4 do 5 miliardów lat sąsiadująca z nami Galaktyka Andromedy, poruszając się ociężale, wpadnie na naszą Galaktykę w akcie kosmicznego zderzenia, które najprawdopodobniej wyzwoli nową serię procesów formowania gwiazd. W skali kosmicznego czasu nie będzie jednak trwało to długo, jakieś kilkaset milionów lat, po czym największe i najjaśniejsze z tych gwiazd umrą, i nieuchronnie do głosu powróci przyćmiona, czerwona przyszłość.

Przyglądając się tym faktom, dochodzimy do wniosku, że nasze istnienie przypada na być może jedyny okres historii kosmosu, w którym z obserwacji astronomicznych można prawidłowo odczytać naturę Wszechświata. Dziesięć miliardów lat temu, gdy Wszechświat liczył 3 do 4 miliardów lat, mielibyśmy ogromne kłopoty z wykryciem ciemnej energii i jej wpływu na ekspansję przestrzeni. Za 100 miliardów lat obserwatorzy kosmosu zapewne dojdą do wniosku, że zamieszkują statyczny Wszechświat. Tylko nieliczne gwiazdy i planety będą się rodzić i umierać, nie będzie jednak prostego sposobu na dostrzeżenie, iż przestrzeń poza Galaktyką rozszerza się, nie będzie łatwo wysnuć wniosku, że wiek Wszechświata jest skończony.

Wszystko to należy uznać za niezwykle intrygujące, ale jest jeszcze jedna sprawa, która ma dla nas decydujące znaczenie. Czy rzeczywiście wiemy, że obserwowany dzisiaj Wszechświat ujawnia nam komplet informacji? Co, jeśli nasza sytuacja nie różni się od tej, w której znajdują się nieszczęśliwi mieszkańcy Wszechświata odległej, bardzo odległej przyszłości – może sama natura Wszechświata zniekształca nasze postrzeganie rzeczywistości? Nie sądzę, żeby ktokolwiek z nas potrafił na to pytanie odpowiedzieć. Uwypukla ono jeszcze jedno wyzwanie stojące nam na drodze do zrozumienia naszego znaczenia w kosmosie. Tak jak obserwacje zachowania bliskich ciał niebieskich miały wpływ na postępowanie nauki, o czym przekonał się na przykładzie kształtu orbity Marsa w czasach Keplera, na ocenę zajmowanej przez nas pozycji w kosmosie ogromny wpływ ma wiedza na temat wieku i rozmiarów Wszechświata. W tej wizji odległej przyszłości, naznaczonej odizolowaniem od reszty Wszechświata, mieszkańcy galaktyki zdaliby sobie sprawę, że ich słońce jest jedną z kilkuset miliardów gwiazd – podobnie jak Słońce jest jedną z kilkuset miliardów gwiazd Drogi Mlecznej. Jednak te kilkaset miliardów gwiazd stanowi ogół wszystkich im znanych; jest to cały znany im kosmos, w dodatku zdecydowanie różny oraz dużo mniejszy od kosmosu, który znamy dzisiaj.

Być może domyślą się, że ich skromny wszechświat nie trwał wiecznie w tej samej formie, gdy zauważą, że w miarę upływu czasu coraz więcej i więcej wodoru przekształcane jest w cięższe pierwiastki. Cofając się wzdłuż osi czasu, powinni natrafić w przeszłości na erę, gdy nie było ciężkich pierwiastków, a skoro taka era naprawdę istniała, musiał też być na osi czasu punkt, przed którym w kosmosie nie było gwiazd. Przy odrobinie gwiazdnej archeologii i astrofizyki

mogą drogą dedukcji dojść do wniosku, że najstarsze, małe czerwone gwiazdy i szczątki wygasłych gwiazd liczą około 100 miliardów lat. Nie wiem, jakie teorie kosmologiczne mogłyby sformułować celem wyjaśnienia tych wyników obserwacji, lecz jestem pewien, że będą wydawały się dość logiczne. Jednakże ich kosmos będzie mały – małe wszechświaty w porównaniu z tym, jaki my znamy, skończony pod względem liczby gwiazd, planet, a także miejsc, w których mogłyby rozwinąć się życie. Będzie też bardzo stary w rozumieniu czasu wyznaczanego przez procesy astrofizyczne zachodzące w gwiazdach.

Jakie odpowiedzi na pytania dotyczące ich kosmicznego znaczenia znalazłyby te istoty w takim miejscu? Wyzwanie, przed jakim stanęłyby, mogą nie różnić się tak bardzo od tych, które są naszym udziałem. My również możemy znajdować się w sytuacji, gdy dostępny obraz natury pozbawiony jest istotnych informacji, fragmentów, których braku nawet sobie nie uświadamiamy. Biorąc to pod uwagę, powinniśmy być gotowi na wypróbowanie nowych strategii, spojrzenie z innej perspektywy na drobne szczegóły kosmicznego krajobrazu, wyjście poza rzadkie Ziemię, biologiczne rzucanie kostką, schematy aposteriorycznej analizy statystycznej. Nasza kosmiczna przeciętność nadal rysuje się dość mocno, lecz równie ostro przebijają pewne niezwykle aspekty miejsca człowieka we Wszechświecie. Wygląda na to, że powinniśmy szykować się na ubrudzenie rąk, gdy zaczniemy kopać w niewygodnych prawdach wywierających z otaczającego nas materiału dowodowego.

[194](#) Odkrycie tego układu ogłoszono w 2012 roku. Obie planety są duże – jedna może być gazowym olbrzymem, druga jest nieco większa od Neptuna. Większa obiega bliźniacze słońca w 50 ziemskich dni, mniejsza robi to w ciągu 303 ziemskich dni. Jedna z gwiazd jest podobna do Słońca, druga – trzykrotnie mniejsza.

[195](#) Rzeczywiście, niektórzy astronomowie utrzymywali, że standardowym typem układu planetarnego w naszej Galaktyce jest taki, który składa się z kilku planet znajdujących się na dość ciasnych orbitach, potrzebujących kilku dni lub tygodni, aby okrążyć macierzyste gwiazdy.

[196](#) Przykładem jest układ planetarny HD 10180, gwiazdy o rozmiarach Słońca, znajdującej się w odległości około 127 lat świetlnych. Analiza danych tranzytowych (które, gdy piszę te słowa, muszą jeszcze zostać zweryfikowane przez nowe pomiary) wskazuje, że wokół tej gwiazdy może krążyć co najmniej dziewięć planet – siedem z nich znajduje się w odległości poniżej połowy dystansu dzielącego Ziemię od Słońca, dwa krążą trochę dalej, 1,5 i 3,5 razy dalej niż odległość Ziemi od Słońca. Zob. Tuomi, *Evidence for Nine Planets...*, op.cit.

[197](#) W naszym Układzie Słonecznym wokół Jowisza krąży sześćdziesiąt siedem księżyców. Większość to drobne ciała niebieskie, ale księżycy galileuszowe, Io, Europa, Ganimedes i Kallisto,

są bardzo duże. Ganimedes ma większą średnicę niż planeta Merkury. Astronomowie podejrzewają, a wręcz są pewni, że „egzoksiężycy” muszą istnieć, rozpoczęło się więc ich poszukiwanie. Od dawna rozważano możliwość, że są one „zdatne do zamieszkania”. Sam napisałem jakiś czas temu artykuł, zawierający odniesienia do kilku wcześniejszych prac: C.A. Scharf, *The Potential for Tidally Heated Icy and Temperate Moons around Exoplanets*, „The Astrophysical Journal” 2006, nr 648, s. 1196–1205.

198 Często używa się też określeń „zamek pływowy” lub „pochwycona rotacja”.

199 Kuhn poczynił to stwierdzenie w swej książce na temat rewolucji kopernikańskiej, wymienionej w przypisach do rozdziału 1. Warto sięgnąć również po książkę, której nikt nie przeczytał, op. cit. Owena Gingericha. Relacjonuje w niej własne herkulesowe wysiłki, koncentrujące się na tropieniu kopii pierwszego wydania *De revolutionibus*, szczegółowo opisuje, jak Galileusz, Kepler i inni korzystali z tego dzieła, a nawet opatrywali je komentarzami. Książka miała wielu czytelników i była doceniana przez tych, którzy byli w stanie poradzić sobie z jej fachowym i nieprzyjemnym stylem.

200 Zob. na przykład J. Laskar i in., *Long Term Evolution and Chaotic Diffusion of the Insolation Quantities of Mars*, „Icarus” 2004, nr 170, s. 343–364.

201 Obecnie nasz Układ Słoneczny zdaje się przechodzić przez region wypełniony bardzo rozrzedzoną materią, nazywany, dość oryginalnie, Lokalnym Obłokiem Międzygwiazdowym. Ma on około 30 lat świetlnych średnicy i zawiera jeden atom na trzy centymetry sześciennego przestrzeni. Znajdujemy się w jego granicach od 40 000 do 150 000 lat i zapewne nie opuścimy ich przez następne 20 000 lat. Gęstsze obłoki międzygwiazdowe, takie jak obłoki molekularne, z których powstają gwiazdy, są średnio od stu do tysiąca razy gęstsze.

202 Jedno z najlepiej znanych omówień tego pomysłu znajduje się w książce Petera D. Warda i Donalda Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*, Copernicus/Springer-Verlag, Nowy Jork 2000. Autorzy przywołują liczne obserwacje, aby dowodzić słuszności tezy, iż wielokomórkowe i inteligentne istoty żywe są czymś bardzo wyjątkowym we Wszechświecie. Koronny argument związany jest z tym, że pojawienie się organizmów wielokomórkowych wymaga wystąpienia szeregu szczególnych parametrów środowiska i składników biologicznych. Bardziej aktualne i silniej ukierunkowane na astrofizykę podejście do części tych zagadnień prezentuje John Gribbin w swej książce *Alone in the Universe: Why Our Planet Is Unique*, John Wiley & Sons, Hoboken, Nowy Jork 2011.

203 Choć nie poruszam tego tematu w podstawowej treści książki, wydaje się, że u podstaw teorii wyjątkowości Ziemi znajduje się ukryte założenie, iż na naszej planecie mamy do czynienia z „idealnymi” warunkami dla rozwoju wielokomórkowych, inteligentnych form życia. Nie jestem pewny, czy jest tak w dłuższej perspektywie. Weźmy na przykład istnienie paliw kopalnych – ogromnych pokładów węgla i gazu, uformowanych w karbonie, około 300 milionów lat temu. Paliwa te pomogły człowiekowi osiągnąć dzisiejszy status istot posługujących się zdobyczami techniki. Powstanie tych zasobów energetycznych wymagało zaistnienia szczególnych warunków, wśród których były niski poziom mórz, występowanie drzew z obfitą korą i zmiany klimatu (prawdopodobnie wspomagane przez dryf kontynentów i procesy górotwórcze). Jednak paliwa kopalne mogły popchnąć nas na ścieżkę rozwoju prowadzącą w perspektywie następnych kilku stuleci do katastrofalnej klęski. Jeśli jesteśmy tylko punkcikiem na mapie ewolucji, nie wydaje mi się, aby Ziemia była precyzyjnie dostrojona specjalnie do nas – zwyczajnie jest wystarczająco dobra, aby na moment pojawiły się na niej istoty naszego rodzaju.

204 N. Lane i W. Martin, *The Energetics of Genome Complexity*, „Nature” 2010, nr 467, s. 929–934. Inne rozważania na temat drogi prowadzącej do powstania złożonych form życia zawarte są w artykule J.A. Cottona i J.O. McNerneya, którzy wspominają raczej o „kręgu życia”, a nie drzewie życia: *Eukaryotic Genes of Archaeobacterial Origin Are More Important Than the More Numerous Eubacterial Genes, Irrespective of Function*, „PNAS” 2010, nr 107, s. 17252–17255.

205 Idea ma bardzo długą historię, sięgającą nawet starożytnej Grecji. Spierali się o nią naukowcy w XIX wieku, łącznie z Kelvinem i Helmholtzem, na początku XX wieku mówił o niej Svante Arrhenius. Zachowuje popularność, choć nie została potwierdzona. Z całą pewnością w naszym własnym Układzie Słonecznym istnieje możliwość „wymiany” materiału biologicznego, inicjowanej przez uderzenia asteroid, w wyniku których materia wyrzucana jest w przestrzeń kosmiczną i może przedostać się na inne światy (stąd zainteresowanie meteorami pochodzącymi z Marsa). Wciąż nie wiadomo, czy w ten sposób mogłoby dojść do skażenia innych światów obcymi organizmami.

206 Sądzę, że baseballową analogią można pociągnąć dalej, aby precyzyjniej oddać sytuację życia na Ziemi. Załóżmy, że Joe nie znał całkowitej liczby piłek, które tego wieczoru trafiły na trybuny – mogła być tylko jedna, lecz równie dobrze były ich tysiące. Próbując oszacować prawdopodobieństwo pochwylenia piłki, nadal zmagałby się z podobnymi problemami, ponieważ zdarzenie niezmiennie wydawałoby się dość niezwykle. Faktem jest, że ten sam ładunek ignorancji przeszkadza nam w naszych próbach określenia szans na zaistnienie życia w kosmosie, jest nawet większy, tak naprawdę bowiem nie wiemy, ani jak duży jest stadion, ani jak wielu znajduje się na nim innych widzów (zamieszanych w to światów).

[207](#) Jest to niepodważalne. W 2011 roku odkrycia przyniosły Nagrodę Nobla kilku ważnym postaciom świata nauki. Uczni posłużyli się pomiarami jasności skrajnie odległych supernowych do oszacowania, jak w skali kosmicznego czasu kształtowała się ekspansja Wszechświata. Odkryli, że jakieś 5 miliardów lat temu Wszechświat przestawił się z wyhamowywania ekspansji (powodowanej grawitacyjnym przyciąganiem ogółu masy) na przyspieszanie. Teorie przewidywały również inne wskaźniki. Zostały one znalezione, co potwierdza słuszność interpretacji wyników badań supernowych.

[208](#) Ich artykuł naukowy nosił tytuł: *The Return of a Static Universe and the End of Cosmology*, „General Relativity and Gravitation” 2007, nr 39, s. 1545–1550. Jest jeszcze znakomity artykuł popularnonaukowy tych samych autorów: *Koniec kosmologii?*, „Świat Nauki”, (Scientific American) 2008, nr 3.

[209](#) W chwili gdy piszę te słowa, najświeższe oszacowania tempa formowania gwiazd w odniesieniu do czasu kosmicznego zostały opublikowane przez D. Sobrala i in., *A Large H α Survey at $z=2,23, 1,47, 0,84$ i $0,40$: The 11 Gyr Evolution of Star-Forming Galaxies from HiZELS*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” 2013, nr 428, s. 1128–1146.

[210](#) Tak się przypadkiem składa, że napisałem książkę poruszającą ten temat: C. Scharf, *Silniki grawitacji: jak czarne dziury rządzą galaktykami i gwiazdami*, przeł. U. i M. Seweryńscy, Prószyński i S-ka, Warszawa 2014.

ROZDZIAŁ 8

(Nie)istotni

Zamieszkujemy niewielką planetę krążącą wokół pojedynczej gwiazdy w średnim wieku, jednej z 200 miliardów gwiazd w wielkim wirze materii, który składa się na galaktykę Drogi Mlecznej. Nasza Galaktyka jest tylko jedną z szacowanych kilkuset miliardów takich struktur w całym obserwowalnym Wszechświecie – przestrzeni, która obecnie rozciąga się we wszystkich kierunkach²¹¹ na odległość ponad 435 000 000 000 000 000 000 000 ($4,35 \times 10^{23}$) kilometrów. Obszar ten rozrósł się do takich rozmiarów w wyniku nieustannej ekspansji przestrzeni, która zaczęła się jakieś 13,8 miliarda lat temu, wraz z Wielkim Wybuchem. Astronomowie oceniają, że tę rozciągającą się wokół nas otchłań zajmuje miliard bilionów gwiazd, a jeszcze więcej ich pojawiło się i znikło w ciągu minionych miliardów lat.

Według skromnych ludzkich standardów to mnóstwo materii i przerażająco dużo miejsca. Nasze istnienie to ledwie mgnienie oka w długiej historii Wszechświata, którego przyszłość, z nami lub bez nas, wydaje się jeszcze dłuższa. Ile więc znaczymy? Nasze wysiłki w celu odkrycia swojego miejsca, określenia własnego znaczenia zdają się jakimś wielkim żartem. Musimy być potwornie głupi, jeśli wyobrażamy sobie, że w ogóle możemy coś znaczyć.

A jednak próbujemy to robić, pomimo implikowanego przez zasadę kopernikańską poczucia własnej mierności. Zasada kopernikańska była naszą ideą przewodnią przez ostatnich kilkaset lat, służyła nam za drogowskaz, gdy wędrowaliśmy w poszukiwaniu prawdy o podstawowej strukturze kosmosu i naturze rzeczywistości. Tymczasem niniejsza książka dostarcza rosnącej liczby dowodów na to, że w naszych wysiłkach mających na celu określenie własnego znaczenia natknęliśmy się na zagadkę. Pewne odkrycia i teorie sugerują, że życie jest zjawiskiem pospolicym i powszechnym, inne dowodzą czegoś wręcz przeciwnego. Sądzę, że ludzkie poszukiwania zaczynają dostarczać pewnych odpowiedzi i nie zwariowaliśmy, wyobrażając

sobie, że odkryjemy, jaki naprawdę jest nasz status w kosmosie.

Jak zatem przejść do sedna? Jak zabrać się do łączenia wszystkich wątków, tych pochodzących z odkryć, tych z obserwacji i hipotez – od bakterii po Wielki Wybuch – by wreszcie ustalić, czy jesteśmy wyjątkowi, czy nie? A także czy te poszczególne wątki rzeczywiście łączą się w jeden spójny obraz? Albo czy pewne wątki nie są ważniejsze od innych, a może wręcz im zaprzeczają? Może, na przykład, precyzyjna budowa naszego Układu Słonecznego nie jest tak ważna dla narodzin i ewolucji życia, jak sądzimy albo, dajmy na to, przesłania nam coś, co toczy się na głębszym poziomie kosmicznego środowiska? A kiedy już będziemy wiedzieć więcej o makro- i mikrokosmosie, w jaki sposób wpłynie to na nasze próby stwierdzenia, czy gdzieś tam żyją inne istoty? Jakie kolejne kroki powinniśmy poczynić? Weź głęboki oddech: zmierzmy się teraz z samą fundamentalną naturą życia jako takiego.

* * *

Zaczęłam tę książkę opowieścią o Antoniem van Leeuwenhoeku, który zajął w obcy świat mikrokosmosu. W tym zdumiewająco stromym zjeździe w dół drabiny fizycznych wymiarów, w głąb kipiącego życia wszechświata wewnątrz nas, kryła się jedna z pierwszych wskazówek, że elementy naszych ciał, tablice ich struktur molekularnych, egzystują na skrajnym krańcu spektrum skali biologicznej. Wątpię, by przed zdumiewającym odkryciem Leeuwenhoekla ludzkość miała sposobność zastanawiania się nad tym inaczej niż w płytki i powierzchowny sposób.

Wśród żyjących na Ziemi organizmów są większe i masywniejsze niż my, wystarczy spojrzeć na wieloryby i drzewa. Są również żyte, wspólne ekosystemy, które śmiało możemy uznać za największe spośród wszystkich żyjących tworów: chociażby opieńka miodowa, *Armillaria*, grzyb, którego klonowane kolektory mogą rozciągać się na obszarze o średnicy kilku kilometrów. My zaś znajdujemy się znacznie bliżej górnego (będąc tysiąc razy mniejsi) niż dolnego, mikroskopowego krańca spektrum życia. Od mikrokosmosu dzieli nas wielka fizyczna przepaść. Najdrobniejsze reprodukujące się bakterie mają rozmiary rzędu kilkuset miliardowych części metra, a najmniejsze wirusy są jeszcze dziesięć razy mniejsze. Ciało ludzkie jest z grubsza dziesięć do stu milionów razy większe niż najprostszy znany nam żywy organizm.

Również wśród ziemskich ssaków stałocieplnych²¹² plasujemy się po stronie większych rozmiarów, ale nie na samym szczycie skali. Na jej przeciwległym krańcu znajdują się ryjówki karłowate, ważące nie więcej niż dwa gramy, miniaturowe skrawki futra i ciała. Działają one na skraju możliwości, zachłanną żarłocznością z trudem kompensując nieustanne straty ciepła. Jednak rozmiar większości ssaków bliższy jest wielkości ryjówki niż człowieka: do tego stopnia, że globalna średnia masa ciała populacji ssaków wynosi czterdzieści gramów. Powodem naszych dużych rozmiarów może być dryf ewolucyjny: zwycięska nisza może subtelnie zachęcać organizmy do rozbudowy masy mięśniowej.

Jest niepodważalnym faktem, że istniejemy na granicy, tam gdzie złożona różnorodność

małych organizmów spotyka się z ograniczonymi możliwościami dużych. Przyjrzyjmy się też naszemu układowi planetarnemu. Przekonaliśmy się już, że pod pewnymi względami jest on niezwykły. Nasze Słońce nie należy do najliczniejszego typu gwiazd, obecne orbity planet są bardziej kołowe i bardziej od siebie oddalone niż w większości układów, a wśród sąsiadów nie ma żadnej super-Ziemi. Gdybyś był architektem układów planetarnych, uważałbyś, że nasz Układ Słoneczny nieco odstaje od reszty, ciut wykraczając poza normy. Część tych właściwości wynika z faktu, że nasz system uniknął całkowitej dynamicznej przebudowy, która dotknęła większość pozostałych. Nie oznacza to wcale, że mamy zapewnioną spokojną i pokojową przyszłość – przekonaliśmy się, że w ciągu kilkuset milionów lat nasz układ planetarny może wkroczyć w okres większego chaosu. A za kolejnych 5 miliardów lat Słońce wejdzie w spazmatyczną fazę starości, spuchnie i brutalnie skoryguje właściwości swojej gromadki planet. Wszystko wskazuje na to, że nasze obecne życie również toczy się na styku czy też granicy dwóch okresów, między czasem młodości gwiazdy i jej planet a zbliżającą się degradacją wieku starczego. Patrząc z tej perspektywy, nie powinniśmy się zatem dziwić, że pojawiliśmy się właśnie teraz, w okresie względnego spokoju. Podobnie jest z wieloma innymi aspektami naszego środowiska, żyjemy w miejscu o umiarkowanym charakterze, nie za ciepłym i nie za zimnym, związki chemiczne nie są ani zbyt aktywne, ani obojętne, wreszcie nasze otoczenie nie jest ani zbyt stabilne, ani nadzbyt niezmiennie.

Przekonaliśmy się również, że to spokojne pod względem astrofizycznym środowisko rozciąga się daleko poza naszą lokalną Galaktykę. Cały Wszechświat jest teraz wielokrotnie starszy niż wtedy, gdy był młodym, pełnym zgiełku i gorącym kosmosem. Produkcja gwiazd wszędzie zwalnia. Średnie tempo powstawania innych słońc i ich planet stanowi zaledwie 3 procent tempa sprzed 11 do 8 miliardów lat. Gwiazdy zaczynają się stopniowo wypalać. A stosunkowo niedawno w kosmologicznej skali czasu, bo 5 do 6 miliardów lat temu, Wszechświat zwolnił po Wielkim Wybuchu. Obecnie ponownie znajdujemy się w okresie łagodnej przemiany. Wywodząca się wprost z próżni ciemna energia przyspiesza rozrastanie się Wszechświata, pomagając zdławić rozwój większych struktur kosmicznych. To jednak oznacza, że w odległej przyszłości życie skazane jest na posępną izolację w coraz bardziej nieprzeniknionym Wszechświecie.

Zbierzemy to wszystko razem, a stanie się oczywiste, że nasz wgląd w kosmos, zarówno ten wewnątrz, jak i na zewnątrz nas, jest bardzo ograniczony. To widok z wąskiej grzędę. W istocie nasza intuicja dotycząca zdarzeń losowych i rozwinięta przez nas naukowa metoda wnioskowania statystycznego mogłyby być całkiem inne, gdybyśmy znajdowali się w innym czasie i przestrzeni, w środowisku inaczej uporządkowanym bądź nieuporządkowanym. Już sam fakt, że jesteśmy kompletnie odizolowani od jakiegokolwiek innego życia w kosmosie – do tego stopnia, że dotąd ani nie natknęliśmy się na nie, ani go nie dostrzegliśmy – ma ogromny wpływ na wnioski, jakie możemy wyciągnąć.

Wreszcie, zatoczywszy pełne koło, wróćmy do idei antropicznych, które badaliśmy na początku – otóż nawet fundamentalne własności Wszechświata wskazują, że jest on precyzyjnie wyważony, na granicy. Ciut dalej w którąkolwiek stronę, a natura kosmosu byłaby diametralnie inna. Zmień nieco względną siłę grawitacji, a nie powstaną żadne gwiazdy, nie zostaną wykute żadne ciężkie pierwiastki albo powstaną ogromne gwiazdy, które szybko przeminą, nie pozostawiając po sobie nic istotnego, żadnego potomstwa. Podobnie zmień siłę elektromagnetyczną, a wiązania chemiczne między atomami będą zbyt słabe lub zbyt silne, by

zbudować różnorodne struktury molekularne, dzięki którym mamy w kosmosie tak niewiarygodną złożoność.

* * *

Uważam, że wspomniane fakty prowadzą nas ku nowej idei naukowej dotyczącej naszego miejsca we Wszechświecie, odchodzącej zarówno od zasady kopernikańskiej, jak i zasady antropicznej, idei, która, jak sądzę, ma wszelkie dane ku temu, by stać się zasadą na własnych prawach. Być może powinniśmy nazwać ją „zasadą kosmo-chaotyczną”, określającą stan pośredni między porządkiem (oryginalne greckie określenie *kósmos* oznacza porządek, ład) a chaosem. Jej istotą jest przekonanie, że życie, w szczególności takie życie jak na Ziemi, zawsze będzie zamieszkiwało obszar graniczny czy też przejściowy między strefami, definiowanymi przez takie własności, jak energia, położenie, skala, czas, ład i nieład. Bezpośrednimi wskaźnikami tych cech są stabilny lub chaotyczny charakter orbit planetarnych albo wahania klimatu i własności geofizycznych planety. Wystarczy odejście od tych wartości granicznych w którąkolwiek stronę, a warunki staną się wrogię życiu. Życie takie jak nasze wymaga odpowiedniej kombinacji spokoju i chaosu, właściwych *yin* i *yang*²¹³.

Położenie w sąsiedztwie tej strefy granicznej podtrzymuje bogactwo zmian i wahań, lecz nie powinno być na tyle bliskie, by zawładnęły one układem na stałe. To oczywiste podobieństwo do koncepcji strefy Złotowłosej, która mówi, że wokół gwiazdy znajduje się umiarkowane środowisko dla planet, mieszczące się w wąskim zakresie parametrów. Jednak aby istniało życie, strefa zdalna do zamieszkania może być znacznie bardziej dynamiczna – nie musi być niezmienna w przestrzeni lub w czasie. Powinna to być raczej wieloparametrowa wielkość, która nieustannie się przemieszcza, skręca i wygina, niczym niewidzialny szlak tancerza, wytyczony ruchami jego kończyn.

Jeżeli takie warunki istnienia życia stanowią regułę uniwersalną, rodzi to pewne intrygujące możliwości w kwestii naszego znaczenia w kosmosie. W odróżnieniu od idei kopernikańskich, które podkreślając naszą przeciętność, sugerują obfite występowanie podobnych środowisk we Wszechświecie, przekonanie, że życie wymaga zmiennego i dynamicznego zestawu parametrów, znacznie zawęży możliwości. Zarazem nowe poglądy różnią się od zasady antropicznej, która w swojej najbardziej skrajnej postaci przewiduje tylko jeden przypadek pojawienia się życia w całej przestrzeni i w całym czasie. Tymczasem nowa zasada praktycznie wskazuje miejsca, w których powinno pojawić się życie, oraz potencjalną częstotliwość, z jaką do tego dochodzi. Wyszczególnia fundamentalne własności, jakie powinna mieć wirtualna przestrzeń wielu zmieniających się parametrów, by powstało w niej życie, tworzy mapę stref życiodajnych.

Z reguły w taki sposób opisującej życie nie wynika wcale, że musi ono stanowić jakiś szczególny element rzeczywistości. Biologia może być najbardziej skomplikowanym zjawiskiem fizycznym w tym Wszechświecie – lub w jakimkolwiek innym podatnym wszechświecie – lecz prawdopodobnie jest tylko o tyle szczególna, o ile szczególne są jej wymagania: wyjątkowo

złożona naturalna struktura, która powstaje w odpowiednich warunkach, pomiędzy ładem a chaosem.

Niektórzy spośród studiujących owo biologiczne uniwersum zasugerowali, byśmy zaakceptowali tę dynamiczną konceptualizację życia, traktując je jak zjawisko zawieszony na skraju nieładu czy też na krawędzi ładu. Pamiętam rozmowę, jaką lata temu przeprowadziłem z pionierem w dziedzinie astrobiologii i fizykiem Michaeliem Storrie-Lombardim²¹⁴, który przedstawił mi następującą tezę: życie jest czymś, co zdarza się na krawędzi, gdziekolwiek ta krawędź wystąpi. Chciał przez to powiedzieć, że jest ono zbiorem zjawisk występujących na styku ładu i chaosu. Możemy sobie wyobrazić, że pojawia się tam coś w rodzaju napięcia elektrycznego, gradientu potencjału, który można wykorzystać do wytwarzania prądu. Z tym że gradient biologiczny jest wielowymiarowy, to skrzyżowanie dostępnej energii, ładu, nieporządku i czasu.

Inni doszli do podobnych wniosków. Biolog teoretyk Stuart Kauffman²¹⁵, który bada samą naturę złożoności, wysunął hipotezę, że systemy biologiczne o strukturze wewnętrznej mogą wyłaniać się spontanicznie w wyniku połączonego wpływu wielu prostych zasad i praw. Wszystkie te proste zasady i zachowania – atomów, molekuł i układów termodynamicznych – mogą razem doprowadzić do powstania ogromnej złożoności i chaosu; z tego zamieszania wyłonią się nieoczekiwane struktury, które „same się zorganizują” w coś efektywnie całkiem nowego.

Jednocześnie zaczynamy przyglądać się właściwościom miejsc, w których dochodzi do emergencji, obszarom granicznym między stanami materii, przestrzeni i czasu – od galaktyk po gaz, gwiazdy i planety. To fascynujące, że taka kosmiczna podróż prowadzi do tej samej interpretacji – że owe skrajne obszary przejściowe to właśnie strefy, w których pojawia się życie. Co więcej, tego rodzaju konceptualizacja miejsca, w którym życie wpasowuje się w wielki schemat natury, dostarcza nam sposobu rozstrzygnięcia sprzeczności między przekonującymi, lecz niepotwierdzonymi argumentami, że życie musi występować powszechnie... lub że jest zjawiskiem wyjątkowo rzadkim.

* * *

Jak pokazałem w niniejszej książce, szereg obserwacji dotyczących chemii, biologii i planet potwierdza, że mechanizmy życia są zgodne z naszą wiedzą o Wszechświecie. Chemiczna natura kosmosu i znajdujące się w nim pierwiastki dostarczają budulca, z którego zbudowane jest życie na Ziemi. Na tej samej chemii opierają się zjawiska leżące u podstaw życia, przeplatające się i zającebiające procesy metaboliczne przenoszone w przestrzeni i czasie przez organizmy mikrobiologiczne.

W tym sensie życie na Ziemi nie ma w sobie nic osobliwego. Surowce są wszędzie, od

przestrzeni międzygwiazdowej po układy protoplanetarne, są również w prymitywnej materii meteorytowej i kometarnej Układu Słonecznego. Nasza wiedza na temat formowania planet sugeruje też istnienie mechanizmów, które z łatwością mogłyby stworzyć warunki sprzyjające narodzinom życia na młodej skalistej planecie. I znowu, nie ma żadnych widocznych barier między przeciętną zawartością materii we Wszechświecie a molekularnymi i termodynamicznymi składnikami życia na planecie takiej jak Ziemia. Wisienką na torcie jest sama obfitość skalistych planet, których liczbę w naszej Galaktyce szacuje się obecnie na kilkadziesiąt miliardów, a wiele z nich, jak się wydaje, zapewnia warunki wystarczające do istnienia życia. W istocie dowody wskazują na takie rozszanie planet o odpowiednich warunkach, że nawet Kopernik byłby z niego dumny.

Jeśli życie pojawia się rzadko, to zdumiewające, że Wszechświat jest tak dobry w tworzeniu mu komfortowych warunków. Nie ma takiej potrzeby. Nawet poglądy antropiczne mówią jedynie, że życie jest *możliwe*, a nie tak dobrze dopasowane do realiów kosmosu. Jeżeli rzeczywiście mamy do czynienia z tak dużym niezrealizowanym potencjałem, to znaczy, że istnieje coś „specjalnego”, co umożliwia przejście chemii abiotycznej w chemię biotyczną, coś, co występuje wyłącznie w miejscach identycznych z Ziemią. Jednak, jak wspomniałem wcześniej, obecna waga statystyczna tej hipotezy jest niewielka.

Czy nam się to podoba, czy nie, mamy również sprzeczne wyniki obserwacji, gdy chodzi o nasze miejsce we Wszechświecie. Dzięki przeglądom galaktycznym wiemy, że Słońce należy do najpowszechniej występującego typu gwiazd. Z kolei odkrycie egzoplanet pozwoliło stwierdzić, że nasz układ planetarny jest nietypowy pod względem kształtu i wzajemnych odległości orbit planet. Układ Słoneczny nie zawiera nawet reprezentanta najczęściej występującego typu planet, najwyraźniej uniknął też pewnych dramatycznych przeobrażeń, przez które musi przechodzić większość układów planetarnych. To nie znaczy, że jest niewrażliwy na ten sam długofalowy chaos orbitalny co pozostałe układy planetarne, ale ma mniejsze skłonności do zmian o charakterze destrukcyjnym niż większość z nich.

W dodatku istniejemy w jednym z niewielu okresów w historii Wszechświata, kiedy nasze oczy i teleskopy mogą dokonywać istotnych obserwacji kosmicznego otoczenia. Gdybyśmy żyli trochę wcześniej w przeszłości lub trochę później w przyszłości, bylibyśmy pozbawieni istotnych informacji. Również na bardziej lokalnym poziomie żyjemy w otoczeniu kosmicznym, które ani nie ukrywa przed nami natury Wszechświata, ani specjalnie nie ułatwia jej wydedukowania. Być może inne miejsca pozwalają na uzyskanie bardziej wyrazistego obrazu struktury kosmosu oraz właściwości takich fundamentalnych praw, jak prawa grawitacji i mechaniki.

Spoglądając na nasze środowisko planetarne, możemy również, jeśli zechcemy, znaleźć dowody na to, że nasze istnienie, jako złożonych wielokomórkowych organizmów obdarzonych inteligencją, jest zależne od szeregu wielorakich zjawisk. Wiele z nich wydaje się zwykłym przypadkiem – masowe wymarcia lub zmiany środowiska, będące skutkiem działania wszelkiego rodzaju sił, w tym także tych spoza Ziemi, na przykład uderzenie asteroidy, od którego wyginęły dinozaury. Wśród pozostałych czynników znajdują się takie zdarzenia, jak fuzja dwóch prymitywnych form życia (doszło do niej w mitochondriach), która stanowiła pierwszy, mało prawdopodobny, lecz niezbędny krok w drodze ku powstaniu złożonych organizmów żywych.

Tak więc jesteśmy wyjątkowi czy nie? Nasze potężne narzędzia prawdopodobieństwa matematycznego, a także obiektywna prawda o tendencyjności w retrospektywnej interpretacji

zdarzeń jednoznacznie wskazują, że na razie żadna ze stron nie zwycięża. Mimo to znajdujemy się znacznie, znacznie bliżej odpowiedzi niż kiedykolwiek wcześniej w historii ludzkości: stoimy na krawędzi poznania.

Moja własna konkluzja²¹⁶ powstała w wyniku zebrania wszystkich omawianych tutaj wątków i splecenia ich w jedno. Rozważ, co mówiłem o statusie życia jako zjawiska emergentnego i o tym, że pojawia się ono w burzliwych obszarach granicznych między obszarami o zmiennych warunkach fizycznych. Teraz zastosuj tę zasadę do rozstrzygnięcia między przeciętnością a niezwykłością. Do jakich wniosków dojdziemy?

Dojdziemy do tego, co następuje: nasze miejsce we Wszechświecie jest szczególne, ale *nie* znaczące, unikatowe, ale *nie* wyjątkowe. Zasada kopernikańska jest zarazem słuszna i błędna, i czas, byśmy wreszcie to przyznali.

Rzuc okiem na dowody, poczynając od chemii kosmosu po dynamikę powstawania planet, a także połączoną ewolucję biologii i geofizyki na Ziemi. Sądzę, że nikt już dzisiaj nie wątpi, iż Wszechświat roi się od środowisk stwarzających doskonałą okazję do powstania życia, z których każde opiera się na tym samym budulcu i prawach. Dlatego specyficzna ludzka biologia, jej historia ewolucyjna i związek z warunkami panującymi na naszej planecie mogą być całkiem unikatowe – przynajmniej gdy mierzyć to wystarczająco precyzyjną miarą. Co wcale *nie* musi oznaczać, że życie – nawet jego złożone formy – nie może osiągnąć podobnego stadium w inny sposób. Możemy być szczególnie, lecz otoczeni przez Wszechświat pełen innych, równie złożonych i tak samo wyjątkowych form życia, których rozwój zwyczajnie podążał innym torem. Nasza unikatowość traci na wyjątkowości wobec wypełniającego kosmos bogactwa życia; jesteśmy tylko jednym z przejawów tego zjawiska.

Teraz, analizując to zjawisko *post hoc*, należy przyjąć wbrew intuicji, że życie na Ziemi jest jednym z jego najpowszechniejszych przejawów. (Piłka, która trafiła Joego, musiała kogoś trafić). To dość oczywiste. Może się więc okazać, że pojawienie się takiego życia jak nasze nie wymaga aż tak drobiazgowo dobranych właściwości kosmicznego środowiska, a w takim razie cała nietypowość naszego Układu Słonecznego jest zwykłym odejściem od tematu.

Równie dobrze może być i tak, że pewne aspekty naszego lokalnego środowiska są absolutnie kluczowe, decydując o jego dostrojeniu do życia. Jednak, jak wspomniałem wcześniej, dowody, które zdają się wskazywać na to ostatnie, mogą być mylące. Tak zatem doszedłem do przekonania, że jesteśmy szczególnie, a nawet unikatowi, ale nie znaczący. Kosmos stwarza warunki do istnienia wielu światów, w ten czy inny sposób podobnych do Ziemi. Niezależnie od tego, czy są nieco większe czy mniejsze, potencjał pozostaje ten sam. Wiemy już, że w naszej Galaktyce znajdują się dziesiątki miliardów skalistych planet. Żadna z nich nie będzie *dokładnym* odpowiednikiem Ziemi, takiej, jaka jest obecnie, była dawniej czy będzie w przyszłości – nie mogą takie być z powodu chaosu i przypadkowości. Jednak na mój rozum ta różnorodność nie musi być problemem. Jeśli różnice między środowiskami będą niewielkie, zarówno proste, jak i złożone formy życia znajdą sposób, żeby się wyłonić.

Przyjmujemy tutaj milcząco, że możliwe jest uzyskanie mechaniki żywych organizmów

z tego samego budulca na wiele sposobów. Praktycznie oznacza to, że istniejący na Ziemi podział na wielkie królestwa bakterii, archeonów i eukariontów jest tylko jednym z wyników lub też jedną z możliwości. Część naukowców argumentuje jednak na rzecz tak zwanej ewolucji konwergentnej²¹⁷, mówiącej, że natura dysponuje skończoną liczbą wzorców i ewolucja zawsze będzie dążyła do któregoś z nich. W wypadku organizmów złożonych do tego argumentu odwołano się, szukając wyjaśnienia, jak to możliwe, by podobne „oko typu fotograficznego” funkcjonowało zarówno u kręgowców (na przykład ludzi), jak i u głowonogów (na przykład kałamarnic), choć nasze ścieżki ewolucyjne rozeszły się już dawno temu.

Powołując się na zasadę ewolucji konwergentnej, dowodzą również, że istnieje ograniczona liczba „pożytecznych” funkcji białka, skończona mieszanka różnych struktur molekularnych, które mogą wykonywać te same zadania. Ten ściśle określony zestaw narzędzi białkowych sugeruje, że wszędzie we Wszechświecie, gdzie ma działać białko, muszą się pojawiać te same molekuly. Być może taka biochemiczna jednorodność redukuje liczbę występujących w kosmosie mechanizmów biochemicznych lub biologicznych wzorców życia. Jednak nie jestem przekonany, że możemy traktować to jako pewnik, z tego samego powodu tak trudno jest retrospektywnie ocenić zdarzenia losowe: przyjęcie Ziemi za model niesie z sobą ryzyko, że zostaniemy poważnie wprowadzeni w błąd.

Niniejszy wywód stanowi, jak sądzę, najbardziej optymistyczną interpretację zebranych dotąd dowodów. Dopuszcza ona zarówno obfite występowanie życia we Wszechświecie, jak i szczególny charakter życia na Ziemi. Jest spójna z tym, co na dzień dzisiejszy jest w stanie powiedzieć nam ewaluacja statystyczna. Ma również cudowną cechę, jaką jest testowalność, prowadzi też do czegoś, co moim zdaniem stanowi najbardziej intrygującą możliwość – moglibyśmy na siłę zmienić warunki, w których żyjemy, i stać się nie tylko unikatowi, ale również znaczący. O ile hipoteza, którą przedstawiłem, jest ostatecznym rezultatem starannego rozważenia rosnącej góry dostępnych dowodów, o tyle nasze poszukiwania dalekie są od zakończenia. Odkrycia i idee, o których tutaj przeczytałeś, prowadzą nas na nowe terytorium. Te graniczne rejony posłużą nam za plener, gdzie rozegrają się moje ostatnie historie, z którymi chcę Cię zostawić. Część z nich traktuje o ryzykownych przedsięwzięciach naukowych, część to wzięte z obłoków hipotezy, którymi chcę się z Tobą podzielić, a część mówi o pytaniach, jakie wszyscy sami musimy sobie zadać.

* * *

Rankiem 18 sierpnia 1977 roku amerykański astronom Jerry Ehman siedział przy swoim stole kuchennym, przerzucając jedną po drugiej kolejne strony wydruku komputerowego. Każdą stronę pokrywały spływające z góry na dół zagadkowe strumienie cyfr i pustych miejsc, układające się w regularnie rozstawione kolumny.

W którymś momencie starannie przeglądającemu ten las informacji Ehmanowi rozbrzły oczy, na jednej ze stron dostrzegł coś niezwykłego. Zamiast normalnego zestawu małych liczb

komputer wydrukował kolumnę, która czytana od góry do dołu wyglądała tak „6EQUJ5”. Schwyciwszy czerwony długopis, Ehman zakreślił tę grupę znaków, a po lewej, na marginesie, napisał: „Wow!”.

Ten niewielki odcinek papieru, w niedoskonale wydrukowanymi znakami i wymowną notatką Ehmana, to zdaniem niektórych najlepszy jak dotąd dowód na odebranie pochodzącego z odległego kosmosu sztucznego sygnału, nadanego celowo przez obcą inteligencję.

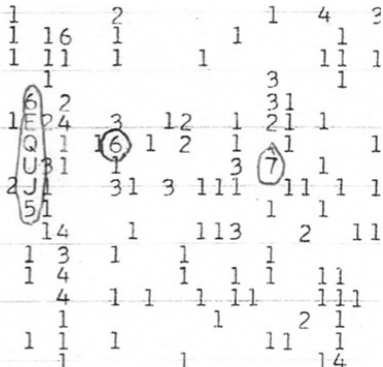
Sam wydruk powstał kilka dnia wcześniej, 15 sierpnia 1977 roku, i zawiera analizę sygnałów radiowych odebranych przez Big Ear²¹⁸, radioteleskop posadowiony w Ohio, na polu nieopodal Delaware. Big Ear miał kształt prostokąta o rozmiarach przewyższających trzy boiska do futbolu, wyłożonego metalowymi panelami i ograniczonego z dwóch stron pochyłymi konstrukcjami o wygładzie płotu. W owym czasie prowadził celowy nasłuch czegoś bardzo specyficznego.

Podczas gdy Ziemia obracała się, a niebo przesunęło w polu widzenia radioteleskopu, Big Ear łowił sygnały radiowe na pięćdziesięciu odrębnych kanałach częstotliwości. Wśród nich były takie, które pokrywały się z pewną szczególną częstotliwością naturalną, tą, na jakiej atomy wodoru emitują promieniowanie, gdy ich protony i elektrony zmieniają spin.

Być może nie brzmi to zbyt ekscytująco, ale dla naukowców ta częstotliwość (o wartości 1400 MHz lub znana jako linia 21 centymetrów) jest ważna. Ujawnia poświatę emitowaną przez wodór międzygwiazdny i międzygalaktyczny, zarejestrowana z kosmosu zaś odzwierciedla zawartość wilgoci w atmosferze, a nawet zasolenie oceanów tutaj, na Ziemi. Ponadto promieniowanie o tej częstotliwości lokuje się w wyjątkowo spokojnym obszarze widma, z dala od panującego w Galaktyce zgiełku fal radiowych, dzięki czemu stwarza dogodne warunki, aby sięgnąć i nasłuchiwać interesujących zjawisk. Dlatego ten fragment widma elektromagnetycznego często określa się mianem „kosmicznego wodopoj”.

Zatem to szczególna częstotliwość, o uniwersalnym charakterze, ale również taka, na której nie powinny się przytrafiać żadne rozbłyski ani zaniki, ani cokolwiek bardziej skomplikowanego niż wypełniający kosmos łagodny szum. Dlatego właśnie Big Ear prowadził nasłuch na tej częstotliwości. Zbierał dane dla Jerry'ego Ehmana i jego współpracowników, którzy w sierpniu 1977 roku zaangażowali się w poszukiwanie inteligencji pozaziemskiej, lepiej znane jako program o akronimie SETI.

Wow!



Sygnal „Wow!”, nigdy niepowtórzony nagły wzrost mocy promieniowania radiowego spoza Ziemi. (J. Ehman, Big Ear Radio Observatory i North American Astrophysical Observatory)

Pojawienie się na wydruku z Big Ear ciągu znaków „6EQUJ5” oznaczało nagły impuls energii radiowej. Zwykle słabe sygnały naturalnego szumu oznaczane były pustymi miejscami lub cyframi takimi jak 1, 2 lub 3. Jednak po odebraniu wystarczająco silnego sygnału komputer mógł przejść do oznaczeń literowych – w tym wypadku dotarł aż do litery „U”, co oznacza, że sygnał był blisko trzydzieści razy silniejszy niż poziom kosmicznego tła. Impuls trwał tylko tyle czasu, ile Big Ear spędzał na badaniu każdego pojedynczego punktu na niebie: siedemdziesiąt dwie sekundy. Ponadto pojawił się niemal dokładnie w częstotliwości wodoru, kosmicznego wodopoju. A potem zniknął. I już nie wrócił... nigdy.

Wiele dotąd napisano o sygnale „Wow!”. Jerry Ehman²¹⁹ osobiście starannie sprawdził wiele ewentualnych prozaicznych przyczyn jego powstania, lecz większość okazała się fałszywym tropem. Mało prawdopodobne, aby było to coś na Ziemi, a nawet na orbicie Ziemi, przelatujący satelita lub misja kosmiczna. Jeśli jednak złowiony sygnał pochodził z kosmosu, nie tylko nie wiemy, co to było, ale również skąd pochodziło, ponieważ Big Ear nie był w stanie wskazać dokładnej lokalizacji źródła.

Od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku astronomowie zdobyli bardzo dużą wiedzę o tak

zwany przemieszczającym Wszechświecie, czyli wybuchach promieniowania gamma, zakłóceniach powodowanych przez pulsary, rozbłyskach czarnych dziur i innych zdarzeniach, które pojawiają się i znikają. Jednak żadne z nich nie pasuje do sygnału, który mignął radioteleskopowi Big Ear, tajemnica więc pozostała.

To niesamowita historia, która podkreśla jedną z wewnętrznych trudności, z którymi zmaga się program SETI – problem potwierdzania i interpretowania ulotnych i fragmentarycznych informacji. W istocie nasze wysiłki w celu wykrycia celowych sygnałów wysyłanych przez obce inteligencje i cywilizacje w kosmosie jak dotąd spełzają na niczym.

Brak bezdyskusyjnych dowodów na istnienie cywilizacji pozaziemskich stanowi nieustanną pożywkę dla wszelkiego rodzaju spekulacji, a jedną z najbardziej wyrafinowanych jest hipoteza oparta na paradoksie Fermiego²²⁰, nazwanym tak ku czci słynnego fizyka włoskiego Enrica Fermiego. Opowieść głosi, że w 1950 roku, podczas lunchu z kolegami, Fermi zauważył, że skoro życie faktycznie jest dość powszechne, to Galaktyka jest wystarczająco stara, a gwiazdy dostatecznie liczne, by zaawansowane cywilizacje wzywały z każdego zakątka przestrzeni. Pytanie stanowiące treść paradoksu brzmi, dlaczego ich nie zobaczyliśmy.

Na pierwszy rzut oka to znakomite pytanie i napisano na ten temat całe książki. Problem z rozwiązaniem paradoksu polega, znowu, na braku informacji. Możemy wymyślać niezliczoną liczbę powodów, dla których nikt do tej pory nie pojawił się na naszym ziemskim proggu, żeby się przywitać: podróże międzygwiazdne mogą być bardzo trudne, inteligentne życie może mieć skłonność do samozniszczenia, życie wcale nie musi być takie powszechne, może też być zbyt obce, wreszcie tamci mogli świadomie wybrać milczenie, ewentualnie dawno są już wśród nas, tylko nie zdajemy sobie z tego sprawy. W dowolnym miejscu możesz wstawić żarcik, jaki ty lko ci się podoba.

Impas zostałyby przełamane przez jakiegokolwiek realne odkrycie. Zatem, choć poszukiwanie inteligencji pozaziemskiej to zadanie trudne, ryzykowne i problematyczne, w pełni popieram ten wysiłek. Gdy brak wiedzy, jedyne co można zrobić, to próbować ją zdobyć. To najważniejsze. W niniejszej książce wciąż na nowo stajemy wobec potrzeby zdefiniowania następnego kroku, skutecznego testu, który zdecyduje, czy życie poza Ziemią istnieje czy też nie. SETI to wyjście ekstremalne, pójście na całość, lecz są również inne opcje.

Na przykład postęp nauki o egzoplanetach dał bodziec do powstania nowej strategii poszukiwania życia. Chodzi o to, by nie wypatrywać sztucznie wytworzonych zjawisk i sygnałów, ale raczej dowodów na te same splecione ze sobą mechanizmy biogeochemiczne, które przez ostatnie 4 miliardy lat działały tutaj, na Ziemi.

Życie manipuluje chemią środowiska i zmienia ją, niszcząc jej równowagę. Przyjrzyj się na przykład Ziemi z daleka z użyciem odpowiednich instrumentów, a zdołasz wykryć w jej atmosferze zarówno tlen, jak i metan. To osobliwa kombinacja. Tlen, jako bardzo reaktywny, powinien z biegiem czasu związać się z minerałami na powierzchni skalistej planety i całkowicie zniknąć z atmosfery. Jeszcze chętniej reaguje z metanem, tworząc dwutlenek węgla i wodę. Wykrycie obydwu gazów w atmosferze mówi nam, że coś musi cały czas je uzupełniać, a jednym z najlepszych źródeł jest życie.

Potencjalnymi biosygnaturami są również inne cząsteczki, obecne w widmie światła absorbowanego lub emitowanego przez zawartość obcego świata. Takie gazy, jak podtlenek azotu

i związki siarki, mogą sygnalizować przebiegające z ich udziałem ogólnoplanetarne procesy metaboliczne. Istnieje też szereg innych aspektów fizycznych planet typu ziemskiego, które mogą dostarczyć interesujących wskazówek na temat zachodzących lokalnie zjawisk Odbicie światła na powierzchni oceanów, liczba i konsystencja obłoków pary wodnej, a nawet wymowne kolory barwników fotosyntezy czyny – każdy z tych elementów może wskazywać na to, co się dzieje na powierzchni planety. Weźmy na przykład ziemskie rośliny. Chlorofil w ich liściach (zawarty w chloroplastach, który prawdopodobnie wywodzi się od endobioty czyny sinic) absorbuje wiele częstotliwości światła widzialnego, ale odbija światło o długości fali odpowiadającej barwie zielonej, dlatego postrzegamy je jako zielone. Jednak rośliny silnie odbijają i przepuszczają również promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni, do tego stopnia, że odbite promieniowanie podczerwone jest aż dziesięć razy silniejsze²²¹ niż promieniowanie w zakresie widzialnym. Wykorzystujemy ten fakt w przeglądach satelitarnych Ziemi w celu stworzenia mapy występowania roślinności i jej ubytków. Wydaje się, że powyższa sztuczka optyczna angażuje wewnętrzną strukturę komórkową roślin oraz ich fotosyntezy czyny barwniki. Być może to specyficznie ziemskie zjawisko, jednak równie dobrze może być cechą charakterystyczną wszelkiej biosfery wchłaniającej energię z promieniowania gwiazd.

Istnienie takich biosygnatur rodzi nadzieję, że jeśli będziemy coraz lepiej wylapywali światło odległych światów czy ustalali zawartość ich atmosfery dzięki analizie przechodzącego przez nią promieniowania gwiazd, w końcu się na nie natkniemy. Obfitość życia często pozostawia po sobie brudny odcisk palca. Trudno go znaleźć z tego samego powodu, z jakiego trudno jest wykryć planety: planety świecą słabo, a gwiazdy jasno. Niemniej jednak postęp technik astronomicznych już niedługo stworzy taką okazję przynajmniej w odniesieniu do garstki układów planetarnych, które są wystarczająco blisko, by nasze teleskopy zdołały zebrać wystarczająco dużo światła.

A to prowadzi do kolejnego pytania za milion milionów dolarów, pytania, które postawiłem zaraz na początku tej długiej opowieści. Czy faktyczna skłonność tego Wszechświata do abiogenezy, zauważalna obfitość życia, może stanowić papierek lakmusowy, nowy sposób na sondowanie najbardziej fundamentalnych praw fizycznych i stałych natury, a w rezultacie na szacowanie znaczenia życia? Zauważ, że to znacznie bardziej wymyślny test niż zasada antropiczna, czy też precyzyjne dostrojenie, która zakłada, że kosmos musi po prostu spełniać pewne ściśle określone kryteria, żeby pojawiło się takie życie jak nasze. W takim sformułowaniu odpowiedź ma zasadniczo binarny charakter: życie lub brak życia. Istnieje szansa, że rzeczy wista odpowiedź to raczej „współczynnik jakości”, jak to mówią inżynierowie, ruchoma skala, miara płodności kosmosu.

Równie dobrze właśnie owa płodność może być ogniwem, które łączy fizykę i życie, lecz brak nam jeszcze wystarczającej wiedzy, żeby wskazać, jakie to właściwości powodują specyficzne bogactwo życia w tym Wszechświecie. Być może jednak istnieje sposób, żeby się tego dowiedzieć. Częścią wyzwania jest oddzielenie naszych warunków lokalnych od głębiej ukrytych parametrów, które rządzą Wszechświatem. Na przykład jest oczywiste, że jedną z cech wpływających na mniejszą lub większą obfitość życia jest wiek Wszechświata. Wiadomo, że życie, które znamy, nie może istnieć, dopóki nie powstaną pierwsze gwiazdy, które wytworzą pierwsze partie pierwiastków ciężkich. W rzeczywistości prawdopodobnie potrzebnych byłoby kilka generacji gwiazd, które wyprodukowałyby przynajmniej tyle pierwiastków, żeby powstały

skaliste planety. Możemy również sobie wyobrazić, że w odległej przyszłości, zdominowanej przez słabo oświetlone, izolowane galaktyki mało masywnych gwiazd, warunki będą w mniejszym stopniu sprzyjać pojawianiu się życia. Aktywność geofizyczna starzejących się skalistych planet będzie coraz słabiej podtrzymywać recykling procesów chemicznych na ich powierzchni.

Muszą istnieć również inne właściwości, które pomogą ustalić prawdopodobieństwo pojawienia się życia w danym momencie istnienia Wszechświata. Podobnie jak w antropicznej wizji Wszechświata, z jej dostrojonymi parametrami, mogłyby to być takie wielkości jak siła grawitacji albo szanse na powstanie atomów i molekuł, a także kryjące się za tymi cechami mechanizmy fizyczne. Takie współczynniki zdecydowanie pomagają określić produkcję gwiazd i planet oraz ich późniejszą ewolucję, podobnie jak szczegółową charakterystykę środowiska, które sprzyja życiu. W pierwszej kolejności współczynniki te muszą ściśle wiązać się z powstawaniem życia, ale również z jego zdolnością do przetrwania. Zapewne poznalibyśmy odpowiedź, gdybyśmy potrafili zbudować przepis na powstanie życia. Pośrednio zdobylibyśmy wiedzę, jak te kosmiczne parametry wpływają na obfitość życia w dowolnym momencie historii Wszechświata. Jednak czy taki dokładny przepis w ogóle istnieje?

Podobnie jak wielu innych naukowców, sugerowałem już, że życie jest zjawiskiem zdecydowanie bardziej emergentnym – fenomenem wykwitającym z zasadniczo nieprzeniknionego tańca „nieliniowych” oddziaływań i zachowań, których źródłem są głęboko ukryte reguły elementarne, stanowiące część zasady kosmo-chaotycznej. To reguły tworzące fundamenty fizyczne świata – poczynając od wiązań cząsteczkowych, przez głębsze symetrie cząstek subatomowych, po wymiarowość rzeczywistości – ale trudno dokładnie ocenić ich udział w tym przepisie. A to dlatego, że ich wzajemne skomplikowane relacje same są nieliniową funkcją tych reguł! Inaczej mówiąc, indywidualny wpływ każdej z tych własności może stać się nie do odszyfrowania. W dużej mierze można to porównać z próbą wydedukowania podstawowych zasad termodynamiki wyłącznie na podstawie pomiarów pogody i klimatu na Ziemi. Wrodzona wrażliwość systemu na warunki początkowe może przesłonić podstawowe przyczyny i końcowe efekty.

Być może odgadłeś już, do czego zmierzam. Coś w tym problemie pobrzmiewa znajomo – to teoria chaosu. Przypomina wyzwanie, jakim była próba zrozumienia dynamiki orbit planetarnych i długoterminowej stabilności lub niestabilności naszego Układu Słonecznego. Jak pamiętasz, w układach planetarnych panują również proste zasady, jednak zestaw przeszłych i przyszłych trajektorii, ogromny pakiet ścieżek i możliwości, powstaje w wyniku złożonych oddziaływań nieliniowych. Chcąc zbadać, co się stanie, gdy zmienisz reguły, musisz prześledzić niezliczone drogi, z których każda zaczyna się w innym punkcie startowym i zataczając się, zmierza ku niemożliwym do przewidzenia rezultatom.

Jeśli mamy się dowiedzieć, z jaką częstotliwością kosmiczna sceneria wytwarza życie, musimy posłużyć się podobnym eksperymentem. Musimy stworzyć symulację warunków wytwarzanych przez szereg właściwości Wszechświata. Musimy sprawdzić, jak często i jak skutecznie generują one złożone zjawiska, z których wyłania się życie, ile jest realnych trajektorii. Musimy również odwołać się do naszych umiejętności bayesowskich, żeby rozważyć możliwości, wyrazić naszą ignorancję na temat głębiej ukrytej fizyki rzeczywistości.

Nietrudno zauważyć, że to przytłaczające wyzwanie obliczeniowe i teoretyczne. Dorównuje

innemu pozornie nieprzystępnemu i zniechęcającemu zadaniu: zrozumieniu ludzkiego umysłu. Naukowcy dowodzą niedawno, że w zasadzie dałoby się zbudować symulator ludzkiego mózgu, prawdziwą sztuczną inteligencję, jeśli stworzymy komputer, który będzie wystarczająco zaawansowany, aby odtworzyć cyfrowo dziesiątki miliardów naszych neuronów. Jednakże niektórzy badacze, w tym angielski naukowiec Roger Penrose²²², twierdzą, że w działaniu umysłu i świadomości żywną rolę odgrywają głębokie związki ze światem kwantowym, niemożliwe do uchwycenia w kodzie cyfrowym. Być może jedynym sposobem na symulowanie umysłu jest faktyczne zbudowanie go, struktury napaakowanej taką samą bezładną chemią i biologią jak nasza. Tylko taki symulator będzie miał zdolność obliczeniową i naturalną umiejętność oszukiwania dorównującą temu, co przez miliardy lat stworzyła ewolucja.

Być może łatwiej będzie nam to zrobić z szerzej pojmowanymi formami życia. Dokonałiśmy już pierwszych postępów, konstruując sztuczne organizmy mikrobiologiczne, skomponowane z części zamiennych i zbudowanego w laboratorium DNA. Wydaje się jednak, że nie potrafimy zmienić podstaw fizycznych tych biosymulacji, nie możemy igrać z zasadami stanowiącymi fundament kosmosu – co stanowi pewną przeszkodę. Czyżby zjawisko życia w kosmosie było czymś, co musimy po prostu zaakceptować, bez nadziei na odpowiednik fizycznej „teorii wszystkiego”?

Mam nadzieję, że nie. Sądzę, że możemy sobie lepiej radzić z symulowaniem trajektorii życia przy różnych zestawach parametrów, niż sugerowałyby to niektóre z powyższych idei. Mój optymizm częściowo bierze się stąd, że nasza sprawność technologiczna nie przestaje rosnąć w oszałamiającym tempie. Uczymy się bezprecedensowych sposobów manipulowania materią na poziomie atomowym i subatomowym. Współczesna fizyka doświadczalna pozwala nam majstrować przy wewnętrznych, dziwacznych własnościach mechaniki kwantowej w celu zbudowania szeregu niezwyklej urządzeń, od elementarnych komputerów kwantowych po światłowodowy symulator horyzontu zdarzeń czarnych dziur, czyli zbiór punktów grawitacyjnych, spoza których niemożliwa jest nawet ucieczka światła. Równie dobrze już w niezbyt odległej przyszłości może dojść do takiego połączenia narzędzi i technik, które katapultuje dzisiejszą niemożność w domenę tego, co możliwe.

Mamy w zanadru jeszcze inną potencjalną strategię. Polega ona na dotarciu daleko w kosmos i gromadzeniu napotkanych przy padków życia – o ile jakieś znajdziemy. Wszechświat to ostateczny eksperyment. Tym bardziej że posiada pewną bardzo użyteczną i specjalną cechę: jest tak duży, że poszczególne, rozrzucone w przestrzeni miejsca pozostają w pełnej izolacji, jeszcze zanim pojawią się w nich pierwsze zauważalne atomy materii.

W efekcie każdy duży fragment kosmosu służy za niezależną szalkę Petriego. Kosmologowie i astronomowie robią z tego faktu dobry użytek, wykorzystując go do analizy właściwości ewoluujących gwiazd i galaktyk. Obiekty w centrum dowolnego, wystarczająco dużego regionu Wszechświata nigdy nie podlegały bezpośrednim wpływom ani nie były związane z obiektami w centrach innych, odseparowanych i dużych regionów. W rezultacie każdy z nich jest osobną, izolowaną wyspą, która podążała własną ścieżką, ale wytyczaną przez te same prawa fizyczne co ścieżki pozostałych wysp. Jak na ironię, to rozszerzenie zasady kopernikańskiej: żadne miejsce we Wszechświecie nie jest wyjątkowe, aczkolwiek może okazać się nieco odmienne od innych.

Możemy zastosować ten sam wariant w poszukiwaniach życia. Tyle że nasz układ planetarny

może okazać się za mały, żeby służyć za więcej niż jedną szalkę Petriego. Planety i ich środowisko chemiczne oraz znajdujące się na nich organizmy biologiczne narażone są na skażenie krzyżowe materią przenoszoną przez asteroidy, które zderzając się z innymi obiektami, rozrzucają ją po całej przestrzeni międzyplanetarnej. Lepszą opcją byłoby badanie jednej gwiazdy po drugiej, jednak jak mogliśmy się przekonać, do skażenia może prowadzić również transfer materii w przestrzeni międzygwiazdnej. Pewniejsze rozwiązanie dałoby podzielenie dużej galaktyki, w rodzaju Drogi Mlecznej, na mniejsze strefy, z których każda reprezentowałaby potencjalnie niezależną próbkę różnorodnych ścieżek rozwoju życia. Możemy pójść jeszcze dalej, sięgając przestrzeni międzygalaktycznej i traktując całe galaktyki jak niezależne inkubatory doświadczalne. Gdybyśmy mogli zidentyfikować i określić ilościowo naturę wszelkiego życia w tych miejscach, zgromadzilibyśmy gigantyczną mapę trajektorii, a wtedy moglibyśmy poszukać owego uniwersalnego składnika, ukrytej kosmicznej siły sprawczej.

Co zabawne, wiemy już, że takie podejście sprawdza się w nauce, co zawdzięczamy bezpośrednio Antoniemu van Leeuwenhoekowi. Gdy w 1674 roku, siedząc w swoim pokoju w Delft, ujrzał mikroskopijne organizmy zamieszkujące każdą kroplę wody oraz każdy otwór, wydzielinę ludzi i zwierząt, nieświadomie nakreślił plan eksploracji ukrytych miejsc rozwoju życia. Dzisiaj naukowcy uważają procedurę kontrolowanej hodowli próbek mikrobiologicznych za pewnik. Na przykład chcąc zidentyfikować nowe gatunki zamieszkujące ekstremalne środowisko wodne w kieszeniach skalnych lub pod powierzchnią antarktycznego lodu²²³, robią wszystko, co w ich mocy, by wyizolować niczym nieskażone próbki. Pierwotne mikroekosystemy mogą być siedliskiem organizmów, które ewoluowały tysiące, a może nawet miliony lat w całkowitym oderwaniu od reszty świata. Zaglądając w głąb tych samotnych mikrokosmosów, możemy podejrzec niewiarygodne strategie biologiczne i badać leżące u ich podstaw zasady biologiczne.

Pomysł zastosowania tego samego podejścia do badań kosmosu jest szalenie ambitny i optymistyczny. Jednak ostateczna nagroda może być tego warta. W pierwszym rozdziale omówiłem krótko naukową ideę *wieloświata*, daleko idące wyjaśnienie widocznego dostrojenia Wszechświata do życia. Życie może posłużyć nam za papieriek lakmusowy tej teorii. Założmy, że potrafimy ustalić wartości lub postaci stałych fizycznych i praw, które określają poziom prawdopodobieństwa powstania życia i obfitości jego występowania we Wszechświecie. Będąc w posiadaniu takiej informacji, zdołalibyśmy przewidzieć, do jakiego stopnia wieloświat sprzyja takiemu życiu jak nasze. Inaczej mówiąc, moglibyśmy określić nasze znaczenie w absolutnie wszystkich możliwych rzeczywistościach²²⁴.

To całkiem ambitne przedsięwzięcie. Jego realizacja będzie wymagała od nas zmierzenia się z naszym kopernikańskim kompleksem. Nadal sądzę, że prawdopodobnie nie zajmujemy centralnego miejsca we Wszechświecie, ani w sensie astrofizycznym, ani metafizycznym. Jednak nie wyklucza to możliwości, że niezwykle, do pewnego stopnia, jest ścieżka, która nas wyłoniła. Musimy się oswoić z tego rodzaju wyjątkowością, ponieważ wpływa to na nasze poglądy oraz nasze strategie naukowe sięgania w kosmos. Możemy podjąć podróż bezpiecznie,

przez okulary teleskopów, ale możemy też znaleźć sobie znacznie zuchwalszy cel. Nie uważam go za fantazję. Może to być największe wyzwanie, jakiego kiedykolwiek podjął się nasz gatunek, a zaczyna się i kończy na dwóch pytaniach.

* * *

Czy kiedykolwiek wzniesiemy się ponad kosmiczne okoliczności naszej egzystencji? I czy chcemy pozostać wyjątkowi, lecz nic nieznaczący?

Nasze zmagania z tymi dwoma wyzwaniami podlegają nieco krzywdzącym zasadom. Jeżeli życie zawsze i bez wyjątku zamieszkuje obszary graniczne między ładem i chaosem, to może się okazać, że świadomy kosmiczny rozwój wymaga niesłyszanej gibkości. Można to porównać z wyzwaniem, przed jakim staje profesjonalny surfer w próbie utrzymania się na niepewnej i zmieniającej się ścianie wielkiej fali, wodnej kurtynie zawieszonyj w przestrzeni i czasie, która szybko opadnie, aby zaraz zostać zastąpiona następną.

Jednak palicho metafizykę. Wiemy, gdzie jesteśmy i wiemy, czego nam trzeba do przeżycia (nawet jeśli nie zawsze sprawiamy takie wrażenie). Pojawiliśmy się na planecie jako mikroorganizmy, w niezbyt obiecujących okolicznościach, blisko 4 miliardy lat temu. Nie tylko byliśmy w stanie uświadomić sobie ten fakt, zdołaliśmy również określić pochodzenie i zawartość otaczającego nas Wszechświata. Przekonałiśmy się, że otaczają nas dziesiątki miliardów innych światów. Odkryliśmy, że nasz własny układ planetarny może pochwalić się niezmiernym bogactwem zasobów.

I tak oto znaleźliśmy się na kolejnym rozstaju dróg, zmuszeni dokonać nowego wyboru. Wyzwanie, któremu musimy stawić czoło, jest już ostatnim w naszych poszukiwaniach prawdy o znaczeniu człowieka w kosmosie. Korzeniami sięga zarówno fundamentów ludzkiej egzystencji, jak i naszych powiązań z mechanizmami ewolucji i doboru naturalnego. Niezależnie od tego, jak niedawno rozpoczęła się era człowieka, z jego niezwykłym mózgiem i strukturą społeczną, i niezależnie od tego, jak mało liczebni czasami bywaliśmy, nie ulega wątpliwości, że dzisiaj jesteśmy czołową siłą na tej planecie. Są nas tutaj miliardy, a tam, gdzie nie okupujemy powierzchni Ziemi osobiście, zmieniamy krajobraz, eksploatując zasoby planety i osłabiając jej środowisko naturalne. Obojętne, jak skomplikowane relacje łączą nas z naszymi mikrobiologicznymi władcami, którzy pomagają rządzić naszym środowiskiem i biochemią, staliśmy się już odszczepieńcami, czyms odmiennym od reszty organizmów.

Nasz zasięg stopniowo wykracza daleko poza granice tej planety. Już od czterdziestu lat trwa wędrówka sond Pioneer 10 i Pioneer 11, które kierują się ku przestrzeni międzygwiazdnej. Obecnie znajdują się w odległości, odpowiednio, 16 i 13 miliardów kilometrów od nas. Wyrzucone kilka lat później sondy Voyager 1 i Voyager 2 dotarły jeszcze dalej. Voyager 1 znajduje się już więcej niż 17 miliardów kilometrów od nas, ponad 125 razy dalej od Słońca niż orbita Ziemi. Nadal pozostaje z nami w łączności. Docierające do nas słabe szepty jego telemetrii mówią, że znalazł się w miejscu, w którym ciśnienie cząstek wpływających z naszego

Słońca zaczyna ustępować temu z otaczającej Galaktyki. Być może ta podróż zaczęła się niedawno, lecz jej ziarno zostało zasiane w odległej przeszłości, kiedy pierwsze człowiekowate przemierzały rozległe połacie afrykańskich sawann. Parafrazując słowa Carla Sagana²²⁵, zawsze byliśmy wędrowcami.

Może się okazać, że nasze prawdziwe znaczenie w kosmosie wynika z tego właśnie pragnienia ekspansji, istotnej sygnatury zapisanej w naszych genach w wyniku doboru naturalnego. Ono decyduje o tym, kim jesteśmy. Jest jedną z cech, która nas wyróżnia. To dzięki pragnieniu ekspansji, jeśli dokonamy takiego wyboru, możemy stać się istotni. Choć lubimy snuć takie fantazje, budzące respekt bariery przestrzeni międzygwiazdnej i czasu oraz niczym nieprzesłonięte siły kosmosu mogą na zawsze powstrzymać nas przed przemieszczaniem naszych delikatnych form cielesnych daleko poza Układ Słoneczny. Założmy jednak, że wykryjemy oznaki życia na innej planecie, krążącej wokół którejś z gwiazd w naszym kosmicznym sąsiedztwie. Nawet jeśli te oznaki nie będą niczym więcej niż wykrytymi w widmie promieniowania elektromagnetycznego śladami chemicznymi, które zdradzają procesy metaboliczne organizmów mikrobiologicznych, istnieje możliwość, że znajdują się tam również bardziej złożone formy życia. Może tam być ktoś inny, obcy, lecz w naszym zasięgu.

Odkrycie takiej sygnatury biologicznej będzie oznaczało dla nas konieczność podjęcia decyzji. Być może nie zechcemy sami wyruszać w podróż do tego świata, gdyż mogłaby trwać tysiące, a nawet dziesiątki tysięcy lat. Wówczas możemy rozważyć zbudowanie swoich przedstawicieli. Niezależnie od tego, czy emisariuszem będzie zaawansowany robot czy też prosty nośnik z wiadomością, jego ewentualne dotarcie do innego świata oznaczałoby jedną prawdziwą sposobność, by zaznaczyć fakt, że kiedyś tutaj byliśmy, istnieliśmy w tym szczególnym dla nas miejscu, które nazywamy po prostu Ziemią.

211 Odległość ta nie jest wyznaczana czasem trwania wędrówki światła (13,8 miliarda lat), jak to się często określa, lecz jest tak zwaną odległością *współporuszającą* się między nami a obserwowalnym skrajem Wszechświata w *obecnym* czasie kosmicznym (równym odległości własnej w tym czasie). To rzeczywiście dystans fizyczny, aczkolwiek ludzie nadal (błędnie) twierdzą, że jest on równy 13,8 miliarda lat świetlnych.

212 Wszystkie gatunki ssaków, jak również ptaków, ryb, owadów i większość makroskopowych wielokomórkowych form życia wydaje się podlegać podobnemu rozkładowi rozmiarów fizycznych, z przewagą po stronie mniejszych – małe stworzenia występują liczniej, lecz ich rozmiary nie schodzą poniżej pewnej wielkości granicznej. Zob. na przykład: M. Buchanan, *Size and Supersize*, „Nature Physics” 2013, nr 9, s. 129.

213 Koncepcja wzajemnego połączenia i wzajemnego uzupełniania się przeciwstawnych czy też sprzecznych sił lub zjawisk – światła i ciemności, ciepła i zimna, aktywności i bierności itp.

[214](#) Astrobiolog i inżynier z tytułem doktora nauk medycznych. Miałeś znaną z pionierskich prac nad zastosowaniem w astronomii sztucznych sieci neuronowych, a także z szerokiego spektrum zainteresowań naukowych – począwszy od kompresji obrazu, przez stromatolity, po badanie pochodzenia życia metodami bioinformatycznymi. Strona jego instytutu badawczego to www.kinohi.org/.

[215](#) Niemal dwadzieścia lat temu ten myśliciel rewolucjonista napisał wspaniałą książkę popularnonaukową o naturze złożoności i zjawiskach emergentnych: S. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, Oxford University Press, Nowy Jork 1995.

[216](#) Sądzę, że na tym polega korzyść z bycia autorem książki i naukowcem: zyskujesz sposobność do przemyślnych spekulacji. Jednak przystępując do pisania tej książki, nie sądziłem, że wyciągnę takie właśnie wnioski. Nieocenioną pomocą okazało się zebranie przedstawionych tutaj dowodów.

[217](#) Może to być trudny temat, czasami skręcający w stronę nienaukowych argumentów teologicznych powołujących się na „projekt”. Tytułem wyjaśnienia – absolutnie nie o to mi tutaj chodzi. To oczywiste, że między wieloma, wieloma gałęziami życia na Ziemi istnieją „konwergencje”. Logicznie rzecz biorąc, na tym właśnie polega ewolucja, że w obrębie każdego gatunku zostaje wybrany wariant, który zapewnia mu przewagę. W świetle ograniczonego zbioru środowisk fizycznych i chemicznych oraz specyficznej historii Ziemi zrozumiałe jest więc, że organizmy mogą „ponownie wynaleźć” podobne strategie, nawet jeśli niektóre z nich są bardzo złożone. Nie jest jasne natomiast, jak dalece zbieżne z życiem na Ziemi może być życie na planecie obiegającej inną gwiazdę.

[218](#) Ten wspaniały radioteleskop już nie istnieje, został rozebrany w 1998 roku, żeby zwolnić ziemię pod nową zabudowę (takie zdobycze cywilizacji jak pola golfowe czy domy). Jednak w latach swojej aktywności, od 1963 do 1997 roku, brał udział nie tylko w programie SETI, ale również w bardziej „normalnych” badaniach astronomicznych, dokonując przeglądów nieba w poszukiwaniu takich obiektów jak radiowo głośne kwazary. Liczne zasoby uzyskanych dzięki niemu danych można znaleźć na upamiętniającej teleskop stronie internetowej www.bigear.org/.

[219](#) Ehman napisał bardzo dobre i szczegółowe podsumowanie wszystkiego na temat sygnału „Wow!” oraz swoich prób zrozumienia, co to było. Możesz przeczytać je pod adresem www.bigear.org/wow20th.htm.

[220](#) Tym, co pchnęło Fermiego do wygłoszenia takiego komentarza, był fakt, że nawet jeśli podróże międzygwiazdne przebiegają powoli, a przebycie odległości między sąsiednimi gwiazdami wymaga tysięcy lat, to Droga Mleczna jest wystarczająco wielka (istnieje co najmniej 10 miliardów lat), by umożliwić rozprzestrzenienie się najstarszych gatunków. Tego typu rozważania pojawiły się również w dyskusji nad słynnym równaniem Drake'a, kombinacją współczynników liczbowych, wprowadzoną w 1961 roku przez amerykańskiego naukowca Franka Drake'a w celu skupienia uwagi ludzi na poszukiwaniu życia we Wszechświecie. Wśród występujących tam współczynników znajduje się odsetek planet zdolnych podtrzymać życie oraz odstęp czasu, w jakim cywilizacja będzie próbowała skontaktować się z inną.

[221](#) Ten skok zdolności odbijania i przezroczystości ziemskiego życia roślinnego znany jest również jako „krawędź czerwieni”, ponieważ powoduje on, że w widmie podczerwonym, w zakresie powyżej 700 nanometrów, powstaje wyraźny schodek.

[222](#) Jego popularny wykład na temat tych idei można znaleźć w książce: R. Penrose, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, przeł. P. Amsterdamski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.

[223](#) Znakomitym przykładem takiego niezwykłego zbiornika wodnego jest jezioro Wostok, położone 4000 metrów pod powierzchnią antarktycznego lodu. Długość jeziora to około 260 kilometrów, a szerokość blisko 50 kilometrów. Wody tego zbiornika mogły pozostawać izolowane od reszty ziemskiego środowiska przez dziesiątki tysięcy lat, a być może dłużej.

[224](#) Nikt nie wie, ile wszechświatów może znajdować się w wieloświecie. Niektóre teorie tak zwanej inflacji chaotycznej (mające związek z fizycznymi podstawami gwałtownego wzrostu rozmiarów Wszechświata) sugerują, że możliwych jest 10 do potęgi 10 do potęgi 16 odrębnych wszechświatów. Zob. na przykład A. Linde, V. Vanchurin, *How Many Universes Are in the Multiverse?*, „Physical Review” D 81, 2010, nr 083525, s. 1–11.

[225](#) Słowa te padły w książce Carla Sagana *Błękitna kropka. Człowiek i jego przyszłość w kosmosie*, przeł. M. Krośniak, Prószyński i S-ka, Warszawa 1996.

Podziękowania

Będąc małym dzieckiem, mieszkałem na angielskiej wsi, w spokojnym rolniczym regionie, pełnym flory i fauny, ziemi, powietrza, a od czasu do czasu również silnych zapachów. Jako dorastający potulny dzieciak, który z czasem przeistoczył się w nieco mniej potulnego nastolatka, miałem swoje sekretne pasje, a jedną z nich (zdecydowanie dziwaczną) była chęć obcowania z Wszechświatem, połączenia się w jedno z jego przepastną nieskończonością, by odnaleźć w niej swoje miejsce. Być może moje marzenia wpisują się w młodościowe fantazje o niezbadanym pochodzeniu superbohaterów lub tajemniczej, jeszcze nieodkrytej przeszłości. Wciąż pozostaje dla mnie zagadką, czy byłem zwykłym dziwakiem, czy może wśród dzieci takie ambicje są normą. Jednak często wieczorami wstawałem od kolacji i wychodziłem na zewnątrz, akurat w samą porę, by zobaczyć, jak na ciemniejącym niebie zaczynają pojawiać się gwiazdy. Odchodziłem dalej od domu i znajdowałem sobie miejsce zapewniające prywatność. Latem bywał to środek pola szeleszczącej pszenicy, gdzie mogłem usiąść albo się położyć, pozostając ukryty z każdej strony. Kierowałem wzrok w niebo i patrzyłem, próbując otworzyć oczy możliwie najszerszej w nadziei znalezienia tej jedynej, idealnej perspektywy, która sprawiłaby, że noc owinęłaby się wokół mnie, zawładnęła, wypełniła mój umysł swoją nieskończoną pustką i ujawniła wszy stkie niewypowiedziane prawdy.

Kiedy tak przyśiadałem w polu bądź rozciągałem się na rżysku, z wolna świtało mi w głowie, że choć skrzący się nade mną baldachim gwiazd czyni mnie małym i nic nieznaczącym, to nieunikniona obecność mojego bezpośredniego otoczenia sprawia, że jestem jednak żywołą częścią jego różnorodności. Chłodna wilgoć wieczornego powietrza omywała mnie zapachami i aromatami ziemi i zrodzonych z niej roślin. A mimo że ziemia zdawała się nieruchoma, słychać było szelest nieustannej krzątaniny niezliczonych małych stworzeń – czy to układających się na noc, czy to plądrujących poszycie i glebę w poszukiwaniu jedzenia. Od czasu do czasu z oddali dochodził samotny lament jakiegoś opuszczonego zwierzęcia hodowlanego lub równie tęskne pohukiwania sowy.

To było kojące, a zarazem intensywnie pierwotne i elscytujące doświadczenie. I choć

Wszechświat nad moją głową zdawał się tak odległy i obojętny, pozostawał niewolniczo wpleciony w tę wieczorną rutynę. Oczywiście wiedziałem, że doświadczane przeze mnie wrażenie kosmicznego ładu musi być do pewnego stopnia iluzoryczne. Było jednak tak sugestywne. Z pewnością i ja, i kłokółwiek inny Tam, Na Zewnątrz, byliśmy czymś więcej niż tylko odrobiną przyprawą w złożonym Wszechświecie – musieliśmy mieć jakieś znaczenie. A może nie, zmuszałem się do refleksji, może byliśmy jedynie tragicznymi przypadkami skazani mi na tęsknotę za znaczeniem, którego nie mamy.

To dziecięce doświadczenie nigdy mnie już nie opuściło, a towarzyszące mu pytanie zawsze pozostaje świeże w moim umyśle. Jak udaje nam się oddzielać intensywne doświadczanie tego świata od pragnienia poznania naszego miejsca we Wszechświecie? Pisząc tę książkę, próbowałem zmierzyć się z niektórymi aspektami tej zagadki, uzbrojony we własną wiedzę, a także w refleksje i odkrycia innych.

Pracując nad książką, odbyłem wiele rozmów. Niektóre ze swoimi kolegami, innymi naukowcami, zdecydowanymi dążyć nieskończony szereg fascynujących detali natury po to, by przydzielić im właściwe miejsce na kosmicznej scenie. Inne rozmowy, prawdopodobnie większość, odbyłem po prostu z każdym, ko zapytał, co robię. Od przyjaciół i znajomych po nieznanym w samolotach, pociągach i najbardziej niespodziewanych miejscach: na linii bocznej boiska do piłki nożnej, polnej drodze, w połowie drogi na szczyty norweskich gór, a nawet w wonnej alejce serowej zatłoczonego supermarketu.

Okazało się, że najbardziej inspirujące i ciekawe są rozmowy drugiego rodzaju. Nikt, ani jedna osoba, nie powiedział mi: „Nie interesuje mnie nasze miejsce w kosmosie”. Było wprost przeciwnie: wszyscy odczuwamy silne pragnienie poznania prawdy, w szczególności tego rodzaju racjonalnej prawdy, do której dąży nauka, a której poszukiwania ujawniają wciąż więcej i więcej rzeczy dla nas niezrozumiałych.

Przed wszystkim chciałbym podziękować za zrozumienie mojej wspaniałej agentce Deirdre Mullane z Mullane Literary Associates i równie cudownej redaktorce Amandzie Moon z Scientific American/Farrar, Straus and Giroux. Ich niegasnące wsparcie i ciężka praca uczyły proces pisania książki znacznie łatwiejszym. Podziękowania należą się również nadzwyczajnym publicystom, Gregory'emu Wazowiczowi i Stephenowi Weilowi, a także zespołowi redaktorskiemu w składzie: Christopher Richards, Daniel Gerstle i Laird Gallagher. Specjalne podziękowania dla Annie Gottlieb, która ponownie przysłała mi w sukurs ze swoją znakomitą adiustacją.

Lata temu mój przyjaciel i kolega naukowiec, Michael Storrie-Lombardi, zasiał w moim wrażliwym umyśle aż nazbyt wiele idei. Jestem mu za to niezmiernie wdzięczny. Jestem również wdzięczny za możliwość kontaktu i nawiązania współpracy z tak wieloma znakomitymi naukowcami, którzy na przestrzeni lat (często nieświadomie) pomogli mi w pisaniu tej książki. Niekompletna lista zawiera takie nazwiska, jak Frits Paerels, Arlin Crotts, Fernando Camilo, Gene McDonald, Geoff Marcy, Dave Spiegel, Kristen Menou, Ben Oppenheimer, Daniel Savin, Josh Winn, Linda Sohl, Anthony DelGenio, Denton Ebel. Inspirację czerpałem również z rozmów z wieloma wspaniałymi pisarzami, twórcami filmów i popularyzatorami nauki, do których należą: Lee Billings, George Musser, John Matson, Dennis Overbye, Marcus Chown, Ross Andersen, Jacob Berkowitz, Bob Krulwich, Dan Clifton. Dwukrotnie w czasie pisania tej książki doświadczyłem niezwykłego doznania, jakim jest zgromadzenie SciFoo – podziękowania dla Tima O'Reilly, Larry'ego Page'a oraz Sergeya Brina za umożliwienie mi tego.

Z całego serca dziękuję przyjaciołom i rodzinie, do których zaliczają się Nelson Rivera, Greg Barrett, Helen i Saul Laniado, Windell Williams, Jeff Sklar, a także najdroższe mi osoby, czyli Bonnie, Laila, Amelia i Marina.

Filozof Sokrates powiedział kiedyś: „Niezbadane życie nie jest warte życia”. Co prawda, słowa te padły podczas procesu o bezbożność, który zakończył się jego egzekucją, ale wciąż pozostają naprawdę dobrym stwierdzeniem. Dlatego na zakończenie pragnę złożyć podziękowania Tobie, drogi czytelniku, za poświęcenie czasu na zbadanie tych licznych i cudownych zjawisk, które sprawiły, że życie we Wszechświecie stało się możliwe.

Spis treści

Prolog. Od mikrokosmosu do kosmosu

ROZDZIAŁ 1. Kompleks Kopernika

ROZDZIAŁ 2. Dziesięć miliardów lat swawoli

ROZDZIAŁ 3. Sąsiedzi

ROZDZIAŁ 4. Wielka iluzja

ROZDZIAŁ 5. Cukier i przyprawy

ROZDZIAŁ 6. Myśliwi na kosmicznej równinie

ROZDZIAŁ 7. Coś w tym miejscu jest

ROZDZIAŁ 8. (Nie)istotni

Podziękowania