



Christophe Galfard

Wszechświat w twojej dłoni

NIEZWYKŁA PODRÓŻ
PRZEZ CZAS
I PRZESTRZEŃ



Christophe Galfard

Wszechświat w twojej dłoni

tłumaczenie Sławomir Paruszewski


OTWARTE
Kraków 2017

Dla Mariusa i Honoré

WSTĘP

Zanim zaczniemy naszą przygodę, chciałbym wam coś obiecać i przedstawić zamiar, jaki mi przyświecał.

Po pierwsze, solennie obiecuję, że w książce znajdzie się tylko jeden wzór:

$$\mathbf{E = mc^2}$$

Po drugie, będę dążył do tego, aby ta książka stała się zrozumiała dla każdego czytelnika.

Razem wyruszamy w podróż przez wszechświat – taki, jaki jest znany współczesnej nauce. Żywię głębokie przekonanie, że wszyscy potrafimy go zrozumieć.

Nasza podróż zaczyna się bardzo daleko od domu, po przeciwnej stronie ziemskiego globu.

CZEŚĆ I
K O S M O S

BEZGŁOŚNY WYBUCH

Wyobraź sobie, że znajdujesz się na odległej wulkanicznej wyspie. Jest ciepła, bezchmurna letnia noc. Ocean przypomina spokojne jezioro, tylko niewielkie fale omywają piaszczysty brzeg. Wokół panuje cisza. Leżysz na plaży, masz zamknięte oczy. Ciepły biały piasek ogrzewa powietrze, w którym unosi się słodki zapach egzotycznych kwiatków. Czujesz błogi spokój.

Nagle w oddali rozbrzmiewa przeraźliwy krzyk. Zrywasz się na równe nogi, próbując wzrokiem przeniknąć ciemność.

A potem znów zapada cisza.

Cokolwiek krzyczało, teraz milczy. Mniejsza z tym, i tak nie masz się tu czego bać. Ta wyspa może być niebezpieczna dla niektórych stworzeń, ale nie dla ciebie. Jesteś człowiekiem, najpotężniejszym drapieżnikiem. Twoi przyjaciele wkrótce do ciebie dołączą, by wypić drinka. Jesteś na wakacjach, wylegujesz się więc na piasku, rozmyślając o sprawach istotnych dla swojego gatunku.

Na bezkresnym nocnym niebie migoczą miriady małych światełek. To gwiazdy. Dostrzegasz je wszędzie, nawet gołym okiem. Przypominasz sobie pytania z dzieciństwa: czym one są? Dlaczego migoczą? Jak daleko mamy do nich? Czy kiedyś w ogóle się tego dowiemy? Odprężasz się, leżąc na wznak na ciepłym piasku, wzdychasz i odsuwasz na bok te głupie pytania, uznając, że nie warto się nimi zajmować.

Spadająca gwiazda niespiesznie przecina niebo nad twoją głową. Już masz wypowiedzieć życzenie, gdy nagle zdarza się coś niezwykłego. Jak za dotknięciem czarodziejskiej różdżki w mgnieniu oka mija 5 miliardów lat i oto

nie jesteś już na plaży – przebywasz zawieszony w kosmicznej pustce. Widzisz, słyszysz i czujesz, lecz nie masz ciała. Jesteś niematerialnym bytem. Czystym umysłem. Nie masz czasu, żeby zastanawiać się nad tym, co zaszło, krzyknąć albo wołać o pomoc, bo znalazłeś się w niesamowitej sytuacji.

W odległości kilkuset tysięcy kilometrów, na tle odległych gwiazd, przemieszcza się jakaś kula. Jarzy się ciemnopomarańczowym światłem i wirując, zbliża się do ciebie. Szybko uświadamiasz sobie, że widzisz planetę, której powierzchnię pokrywają skały w stanie ciekłym.

Stopioną planetę.

Jak potężne musiało być źródło światła, żeby stopić cały świat?

Wkrótce po swojej prawej stronie dostrzegasz ogromną gwiazdę. W porównaniu z planetą jest wręcz zdumiewająco wielka.

Ona również obraca się, pokonując przestrzeń kosmiczną. I rośnie.

Pomarańczowa planeta, choć znajduje się bliżej ciebie, wygląda przy niej jak maleńka szklana kulka obok puchnącej błyskawicznie ogromnej piłki. W ciągu minuty gwiazda podwaja swój rozmiar. Ma teraz czerwony odcień i ze złością wyrzuca w przestrzeń ogromne strugi plazmy, które poruszają się chyba z prędkością światła i mają temperaturę miliona stopni.

To, na co patrzysz, jest niewiarygodnie piękne, a przy tym niezwykle dramatyczne, obserwujesz bowiem jedno z najgwałtowniejszych zdarzeń, do jakich dochodzi we wszechświecie. Nic jednak nie słyszysz. Panuje całkowita cisza, ponieważ w próżni kosmicznej dźwięk się nie rozchodzi.

No nie, ta gwiazda nie może poruszać się dalej w takim tempie! Już teraz jest gigantyczna, a stopiona planeta, bombardowana energią i niezdolna do oporu, zamienia się w nicość. Gwiazda nawet tego nie zauważa. Wciąż rośnie, jest już sto razy większa niż na początku, a potem nagle wybucha, wyrzucając w przestrzeń kosmiczną całą materię, z której była zbudowana.

Przez twoją bezcielesną formę przechodzi fala uderzeniowa, ale samej

gwiazdy już nie ma. Pozostał po niej tylko rozprzestrzeniający się we wszystkich kierunkach pył. Z godną bogów prędkością mknie kolorową chmurą w międzygwiazdnej pustce.

Powoli, bardzo powoli odzyskujesz zmysły. Gdy tylko zdajesz sobie sprawę, co się właśnie stało, niezwykle jasno uświadamiasz sobie przerażającą prawdę: gwiazda, która zakończyła swój żywot, nie była jakąś tam gwiazdą. To było Słońce. Nasze Słońce. A stopiona planeta, która została przez nią wchłonięta, to Ziemia.

Nasza planeta. Nasz dom. Już go nie ma. Byłeś świadkiem końca naszego świata. Nie jakiegoś domniemanego końca, nie fantazji przypisywanej Majom, ale prawdziwego końca naszego świata. O tym, że w taki sposób do niego dojdzie, ludzie wiedzieli, zanim jeszcze przyszedłeś na świat. Mniej więcej 5 miliardów lat przed kosmicznym spektaklem, który właśnie obejrzałeś.

Gdy próbujesz zebrać myśli, twój umysł natychmiast powraca do terażniejszości, do twojego ciała, z powrotem na plażę.

Serce wali ci jak młotem. Siadasz, rozglądasz się dokoła, jakbyś obudził się z dziwnego snu. Drzewa, piasek, morze i wiatr są na swoim miejscu. Twój przyjaciele właśnie nadchodzą. Widzisz ich w oddali. Co się stało? Zasnąłeś? Czy to, co ujrzałeś, było tylko snem? Czujesz się niepewnie, gdy nadchodzą cię kolejne wątpliwości: czy coś takiego mogło się naprawdę wydarzyć? Czy Słońce któregoś dnia faktycznie wybuchnie? A jeśli tak, co stanie się z ludzkością? Czy ktoś przetrwa taką apokalipsę? Czy wszystko, łącznie z całą pamięcią naszej egzystencji, pójdzie w kosmiczne zapomnienie?

Desperacko próbując zrozumieć sens tego, co się stało, znów spoglądasz w górę na rozjaśnione gwiazdami niebo. W głębi duszy wiesz, że to wszystko nie było jedynie snem. Choć twój umysł znowu przebywa na plaży, na powrót zjednoczony z ciałem, zdajesz sobie sprawę z tego, że naprawdę przeniosłeś się

do odległej przyszłości, aby ujrzeć coś, czego nikt nigdy nie powinien zobaczyć.

Próbując się uspokoić, powoli wdychasz i wydychasz powietrze. Zaczynasz słyszeć dziwne dźwięki – jakby wiatr, fale, ptaki i gwiazdy cicho nuciły pieśń, którą tylko ty potrafisz usłyszeć. Nagle zaczynasz rozumieć, o czym one śpiewają. Jest to jednocześnie ostrzeżenie i zaproszenie. Pieśń mówi o tym, że ludzkość ma tylko jedną drogę, by przetrwać nieuniknioną śmierć Słońca i inne katastrofy.

Tą drogą jest wiedza i nauka.

W taką podróż wyruszyć może tylko człowiek.

Wkrótce ją rozpocznie.

Przeraźliwy krzyk znowu przesywa noc, ale tym razem ledwie go słyszysz. Coś popycha cię do poznawania wszystkiego, co wiadomo o twoim wszechświecie, tak jakby ziarno ciekawości zasiane w twoim umyśle zaczęło właśnie kiełkować.

Ponownie z pokorą podnosisz wzrok, tym razem spoglądając na gwiazdy wzrokiem dziecka.

Z czego zbudowany jest wszechświat? Co znajduje się w pobliżu Ziemi? A dalej? Jak daleko możemy sięgnąć naszym ludzkim wzrokiem? Czy wiemy coś o historii wszechświata? Czy ona w ogóle istnieje?

Gdy fale łagodnie omywają brzeg, a ty zastanawiasz się, czy kiedykolwiek ktoś zdoła zgłębić te kosmiczne tajemnice, migotanie gwiazd wprowadza twój organizm w stan półświadomości. Słyszysz rozmowę nadchodzących przyjaciół, lecz, co dziwne, odbierasz świat inaczej niż kilka minut temu. Wszystko wydaje się bogatsze, głębsze, tak jakby twój umysł i ciało stanowiły część czegoś znacznie większego – większego niż wszystko, co sobie dotychczas wyobrażałeś. Twoje ręce, nogi, skóra... Materia... Czas... Przestrzeń... Splecione pola sił wokół ciebie...

Zasłona, której istnienia nawet nie podejrzewałeś, uniosła się, odsłaniając

tajemniczą i nieoczekiwaną rzeczywistość. Pragniesz wrócić do gwiazd. Coś ci mówi, że za chwilę wyruszysz w niezwykłą podróż – w rejony bardzo odległe od znanego ci świata.

ROZDZIAŁ 2

KSIĘŻYC

Jeśli czytasz te słowa, to znaczy, że zdołałeś już przenieść się o 5 miliardów lat w przyszłość. Brawo! Możesz być pewny, że twoja wyobraźnia pracuje bez zarzutu. To świetna wiadomość, bo nic więcej nie jest ci potrzebne w podróży przez przestrzeń kosmiczną, czas, materię i energię – podróży, w której odkryjesz, co wiemy o naszej rzeczywistości na początku XXI wieku.

Nie prosiłeś o to, ale udało ci się zobaczyć, jaki los czeka ludzkość, a właściwie wszystkie formy życia na Ziemi, jeśli nie zrozumiemy, jak działa natura. Musimy nauczyć się brać przyszłość w swoje ręce, aby w dłuższej perspektywie przetrwać i uniknąć połknięcia przez wściekłe umierające Słońce. W tym celu powinniśmy poznać prawa samej natury i dowiedzieć się, w jaki sposób z pożytkiem je wykorzystywać. Trzeba przyznać, że sporo już w tym kierunku zrobiliśmy. Na następnych stronach znajdziesz praktycznie wszystko, co na ten temat wiemy.

Podróżując przez nasz wszechświat, odkryjesz, czym jest grawitacja, i dowiesz się, jak atomy i cząstki oddziałują na siebie, nawet się nie dotykając. Przekonasz się, że nasz wszechświat składa się głównie z zagadek i że rozwiązywanie tych zagadek doprowadziło do odkrycia nowych rodzajów materii i energii.

A gdy już zapoznasz się z całą dostępną nam wiedzą, przeniesiesz się w nieznane i zobaczysz, nad czym pracują najwybitniejsi współcześni fizycy teoretyczni, starający się wyjaśnić najdziwniejsze zjawiska, z jakimi mamy do czynienia. Pojawią się wszechświaty równoległe, wieloświaty oraz dodatkowe

wymiary. Od tego twoje oczy zapłoną pewnie światłem wiedzy i mądrości, którą ludzkość zdobywała i doskonaliła przez tysiąclecia. Musisz się jednak przygotować na to, że odkrycia dokonane przez ostatnie dekady wywróciły do góry nogami nasz dotychczasowy obraz rzeczywistości: nasz wszechświat jest nie tylko większy, niż się spodziewaliśmy, ale również znacznie piękniejszy, niż mogli to sobie wyobrazić nasi przodkowie. I tu mam dla ciebie kolejną dobrą wiadomość: to, że dowiedzieliśmy się tak wiele, czyni nas odmiennymi od pozostałych form życia kiedykolwiek istniejących na Ziemi. Powinniśmy się z tego cieszyć, ponieważ większość z nich już wymarła. Dinozaury rządziły na powierzchni naszej planety przez jakieś 200 milionów lat – my dominujemy tu od niespełna kilkuset tysięcy. Miały mnóstwo czasu, aby zbadać swoje środowisko i czegoś się o nim dowiedzieć. Ale tego nie zrobiły – i dlatego wymarły. Dzisiaj ludzie mogą przynajmniej mieć nadzieję, że wykryją zagrażającą im planetoidę wystarczająco wcześnie, aby zmienić tor jej lotu. Już teraz dysponujemy więc możliwościami, których nie miały dinozaury. Być może to niesprawiedliwe dla dinozaurów, ale patrząc z perspektywy czasu, moglibyśmy powiązać ich wymarcie z brakiem znajomości fizyki teoretycznej.

Na razie wciąż leżysz na plaży, a wspomnienie umierającego Słońca nadal cię prześladowuje. Nie masz jeszcze zbyt dużej wiedzy i bądźmy szczerzy, te migocące kropki, które zdobią nocne niebo, raczej nie są świadome twojego istnienia. Życie i śmierć ziemskich gatunków nie ma dla nich najmniejszego znaczenia. Wygląda na to, że czas w przestrzeni kosmicznej biegnie w skali niedostępnej twojemu ciału. Z perspektywy tych odległych świecących bóstw całe życie ziemskiego gatunku trwa nie dłużej niż pstryknięcie palcami...

Trzysta lat temu jeden z najsławniejszych i najwybitniejszych naukowców wszech czasów Isaac Newton, brytyjski fizyk i matematyk z Uniwersytetu Cambridge w Anglii, twórca pojęcia grawitacji, również traktował czas

w podobny sposób. Dla niego istniał czas ludzki, wyczuwalny i mierzony za pomocą zegarów, oraz czas boski, który nie płynie i jest chwilowy. Z punktu widzenia Newtonowskiego Boga nieskończona linia ludzkiego czasu rozciągająca się od przeszłości w przyszłość jest tylko chwilą, mrugnięciem oka.

Jednak ty nie jesteś Bogiem i gdy patrzysz na gwiazdy, a przyjaciel bez słowa nalewa ci drinka, ogrom stojącego przed tobą zadania zaczyna cię przytłaczać. Wszystko jest zbyt duże, zbyt odległe, zbyt dziwne... Od czego zacząć? Nie jesteś w końcu fizykiem teoretycznym... Nie należysz też jednak do osób, które łatwo się poddają.

Masz oczy i jesteś ciekawy świata, więc kładziesz się na piasku i zaczynasz koncentrować się na tym, co widzisz.

Niebo jest w przeważającej części ciemne.

I są na nim gwiazdy.

A pomiędzy gwiazdami gołym okiem dostrzegasz niewyraźną smugę jarzącą się słabym białym światłem. Czymkolwiek to jest, wiesz, że nazywa się Drogą Mleczną. Smuga wydaje się mniej więcej dziesięć razy szersza od średnicy Księżyca w pełni. Gdy byłeś młodszy, wpatrywałeś się w nią wielokrotnie, ostatnio zdarzało ci się to już trochę rzadziej. Patrząc na nią w tej chwili, uświadamiasz sobie, że ponieważ jest tak charakterystyczna, musiała być od zawsze znana naszym przodkom. Masz rację. To ironia losu, że po wiekach dyskusji nad naturą Drogi Mlecznej, gdy wiemy już, czym ona jest, zanieczyszczenie świetlne powoduje, że z większości zamieszkanym obszarów naszej planety nie można jej dostrzec.

Na tropikalnej wyspie jednak widać ją zewsząd. W miarę jak Ziemia się obraca, Droga Mleczna przesuwa się po nocnym niebie ze wschodu na zachód, podobnie jak Słońce za dnia.

Możliwość, że przyszłość ludzkości znajduje się gdzieś tam daleko, ponad

ziemskim niebem, zaczyna ci się wydawać realna i fascynująca. Czy mógłbyś gołym okiem zobaczyć wszystko, co znajduje się we wszechświecie? Przecząco kręcisz głową. Zdajesz sobie sprawę, że Słońce, Księżyc, niektóre planety – takie jak Wenus, Mars czy Jowisz, setki gwiazd^[1] i ta niewyraźna smuga białawego pyłu zwana Drogą Mleczną nie stanowią Wszystkiego. Poza zasięgiem naszego wzroku, pomiędzy gwiazdami, skrywają się tajemnice, które wciąż czekają na rozwikłanie... Gdybyś mógł zgłębić je wszystkie, co byś zrobił? Najpierw spenetrowałbyś najbliższe otoczenie Ziemi, potem byś wystartował i poleciał tak daleko, jak to tylko możliwe, a następnie... Od czego w końcu masz umysł?

Coś takiego! Twój umysł naprawdę zaczyna oddzielać się od ciała, kierując się w górę, ku gwiazdom.

Odczuwasz zawroty głowy, gdy twoje pozostawione w dole ciało i wyspa, na której leżysz, zaczynają się błyskawicznie zmniejszać. Twój bezcielesny umysł unosi się ku górze, na wschód. Choć nie masz pojęcia, jak to możliwe, znajdujesz się wyżej niż szczyty najwyższych gór. Nad odległym horyzontem dostrzegasz jaskrawoczerwony Księżyc, a sekundę później jesteś już ponad ziemską atmosferą, lecąc przez 380 tysięcy kilometrów pustki oddzielającej naszą planetę od jej jedyne naturalnego satelity. Teraz, z perspektywy przestrzeni kosmicznej, Księżyc wydaje się równie biały jak Słońce.

Twoja podróż ku wiedzy właśnie się rozpoczęła.

Dotarłeś na Księżyc, dotychczas dokonało tego tylko kilkunastu ludzi. Twoje widmowe ciało właśnie spaceruje po jego powierzchni. Ziemia zniknęła za księżycowym horyzontem. Znajdujesz się po tak zwanej ciemnej stronie Księżyca, skąd nigdy nie widać naszej planety. Nie ma tu ani błękitnego nieba, ani wiatru, a nad głową widzisz o wiele więcej gwiazd, niż ujrzałbyś z jakiegokolwiek miejsca na Ziemi. Tutaj jednak nie migocą, bo na Księżycu nie ma atmosfery. Przestrzeń kosmiczna zaczyna się tuż nad jego powierzchnią

o rzeźbie niewyglądzonej przez żadne zjawiska meteorologiczne. Kratery są wszędzie. To zamrożone pozostałości po czymś, co uderzało kiedyś w tę jałową glebę.

Gdy wędrujesz w kierunku tej strony Księżyca, która zwraca się ku naszej planecie, w głodnym wiedzy umyśle w magiczny sposób zarysowuje się historia jego narodzin. Wstrząśnięty wpatrujesz się w grunt pod swoimi stopami.

Co tu się stało?!

Mniej więcej 4 miliardy lat temu w naszą młodą planetę uderzyła inna, wielkości Marsa, odrywając ogromną część Ziemi. Przez kolejne tysiąclecia wszystkie odłamki skalne powstałe w rezultacie tej kolizji zbiły się w olbrzymią kulę, ta zaś znalazła się na orbicie naszej planety. W ten sposób narodził się Księżyc, na którego powierzchni w tej chwili stoisz.

Gdyby coś takiego zdarzyło się obecnie, wszystkie formy życia zniknęłyby z Ziemi. Jednak w owych czasach nasza planeta była naga. Na ironię zakrawa, że bez tego katastrofalnego w skutkach zderzenia Księżyc nie rozświetlałby naszych nocy, na oceanach i morzach nie byłoby większych pływów, a życie w znanej nam obecnie formie zapewne nigdy by tu nie zaistniało. Gdy widzisz, jak sponad księżycowego horyzontu wyłania się błękitna Ziemia, uderza cię myśl, że w kosmicznej skali katastrofalne wydarzenia mogą okazać się zarówno przekleństwem, jak i błogosławieństwem.

Twoja ojczysta planeta widziana z tego miejsca ma rozmiar czterech Księżyców w pełni. Wygląda jak błękitna perła unosząca się na usianym gwiazdami tle.

Znikomość naszego świata wobec ogromu przestrzeni kosmicznej uczy i zawsze będzie nas uczyć pokory.

Idziesz dalej, obserwując Ziemię wznoszącą się na księżycowym niebie, i chociaż otoczenie wydaje się ciche i bezpieczne, dobrze wiesz, że to tylko

pozorny spokój. Czas płynie tutaj inaczej, a w ciągu eonów, które nadejdą, gwałtowne zdarzenia będą nieuniknione. Świadczą o tym kraterzy znaczące powierzchnię Księżyca. Setki tysięcy głazów – każdy o rozmiarach góry – dryfujących w przestrzeni kosmicznej, musiały przez wieki bombardować satelitę Ziemi. Uderzały także z pewnością w naszą planetę, lecz ziemskie rany się zagoiły, nasz świat istnieje i skrywa swoją przeszłość głęboko pod ulegającą nieustannym przemianom warstwą gleby.

Nagle zdajesz sobie sprawę, że w takim wszechświecie twoja ojczysta planeta – mimo jej zdolności do regeneracji – jest krucha, prawie bezbronna...

Prawie.

Jednak niezupełnie. Teraz ma nas. Ma ciebie.

Kolizje podobne do tej, która doprowadziła do narodzin Księżyca, zasadniczo należą już do przeszłości. Obecnie naszemu światu nie zagrażają raczej zbłąkane planety, lecz tylko pojedyncze planetoidy i komety – a Księżyc częściowo chroni i osłania nas przed takimi zagrożeniami. Wszędzie jednak czają się inne niebezpieczeństwa. Gdy obserwujesz zawieszoną na ciemnym niebie błękitną Ziemię, za tobą pojawia się nagle niezwykle jasna kula światła.

Odwracasz się i widzisz przed sobą gwiazdę – najjaśniejszy i najbardziej agresywny spośród obiektów położonych w pobliżu naszej planety.

Nazwaliśmy ją Słońcem.

Leży w odległości 150 milionów kilometrów od naszego świata.

Stanowi źródło całej naszej energii.

Oszłamia cię już sama ilość światła emanującego z tej niezwyklej kosmicznej lampy. Opuszczasz Księżyc i zaczynasz lot w jej kierunku, w kierunku Słońca – aby się dowiedzieć, dlaczego świeci.

[1] Mogłoby się wydawać, że ciemną nocą zdołamy zobaczyć miliony gwiazd. W rzeczywistości, gdy jesteśmy w mieście, gołym okiem zobaczymy ich zaledwie kilkaset, a gdy znajdujemy się w niezanieczyszczonej światłem wiejskiej okolicy – od 4 do 6 tysięcy.

ROZDZIAŁ 3

SŁOŃCE

Gdybyśmy potrafili w ten czy inny sposób zagospodarować całą energię, jaką Słońce wypromieniowuje w ciągu jednej sekundy, potrzeby energetyczne ludzkości byłyby zaspokojone mniej więcej na najbliższe pół miliarda lat.

W miarę jak zbliżasz się do naszej gwiazdy, zdajesz sobie sprawę, że Słońce nie jest równie ogromne jak tamto, które widziałeś w przyszłości odległej o 5 miliardów lat, gdy kończyło ono swój żywot. Choć też jest duże. Zobaczmy to w odpowiedniej skali. Gdyby Słońce miało rozmiar dużego arbuza, małeńka Ziemia znajdowałaby się w odległości 43 metrów od niego i aby ją zobaczyć, musielibyśmy użyć szkła powiększającego.

Od powierzchni Słońca dzieli cię teraz zaledwie kilka tysięcy kilometrów. Ziemia jest już tylko jasną kropką, a gwiazda, którą masz właśnie przed sobą, wypełnia połowę nieba. Wszędzie wokół wybuchają bąble plazmy. Gdy w polu magnetycznym Słońca powstają na pozór przypadkowe ogromne pętle, tuż przed twoimi oczami wyrzucane są miliardy ton niezwykle gorącej materii, która przelatuje przez twoje widmowe ciało. Co za niezwykły widok! Podekscytowany zaczynasz się zastanawiać, co takiego wyjątkowego ma Słońce, czego brakuje Ziemi. Co czyni gwiazdę gwiazdą? Skąd bierze się jej energia? I dlaczego, u licha, pewnego dnia gwiazda musi umrzeć?

Aby się tego dowiedzieć, udajesz się do miejsca, w którym panują istic mordercze warunki – do środka Słońca, ponad pół miliona kilometrów pod jego powierzchnię. Dla porównania: jądro Ziemi dzieli od powierzchni mniej więcej

6500 kilometrów.

Skacząc głową w dół w głąb tego rozżarzonego paleniska, pamiętasz, że cała materia, którą oddychamy, którą widzimy, której dotykamy, którą czujemy czy wykrywamy – nawet ta, z której zbudowane jest twoje ciało – składa się z atomów.

To właśnie z atomów stworzone jest wszystko, co istnieje. Możesz je sobie wyobrazić jako klocki Lego, z których skonstruowane jest twoje otoczenie. W odróżnieniu od nich jednak atomy nie są prostopadłościanami – najczęściej mają kształt zbliżony do kulistego. Składają się z gęstego, przypominającego kulę jądra oraz wirujących wokół niego w dużej odległości małych elektronów. Podobnie jak klocki Lego można je klasyfikować według rozmiarów. Najmniejsze z nich zostały nazwane *wodorem*, a te nieco większe – *helem*. Z tych dwóch rodzajów atomów składa się około 98 procent całej znanej materii w znanym nam wszechświecie. To z pewnością dużo, lecz i tak mniej niż w przeszłości. Uważa się, że jakieś 13,8 miliarda lat temu było to niemal 100 procent. Azot, węgiel, tlen oraz srebro to przykłady atomów, które nie są ani wodorem, ani helem. Musiały zatem pojawić się później. Jak do tego doszło? Jesteś na dobrej drodze, aby się tego dowiedzieć.

Zanurzasz się coraz głębiej we wnętrze Słońca – temperatura rośnie i robi się okropnie gorąco. Gdy docierasz do rdzenia, wynosi ona 16 milionów stopni Celsjusza. A może nawet więcej. Wszędzie znajduje się mnóstwo atomów wodoru, zostały one jednak rozbite przez otaczającą je energię: elektrony krążą gdzieś swobodnie, pozostały gołe jądra. Ciśnienie jest tak wysokie, jądra są tak ciasno upakowane pod wpływem ciężaru, jakim cała gwiazda naciska na swój rdzeń, że prawie nie mogą się poruszać. Wskutek tego muszą stapiać się z sobą i tworzyć większe jądra. To tak zwana *reakcja termojądrowa*.

Kiedy te ciężkie jądra opuszczają już palenisko, w którym się narodziły, będą się łączyć z samotnymi, swobodnymi elektronami, wcześniej oderwanymi od

atomów wodoru, i stworzą nowe, cięższe atomy: azot, węgiel, tlen, srebro...

Aby do reakcji termojądrowej (powstawania dużych atomów z mniejszych) mogło w ogóle dojść, potrzebna jest ogromna ilość energii. Tutaj jej źródłem jest grawitacja Słońca, która skutecznie wciąga wszystko do jego rdzenia, ściskając z olbrzymią siłą. Taka reakcja nie może oczywiście zajść na (lub wewnątrz) Ziemi. Nasza planeta jest zbyt mała i nie ma wystarczająco dużej gęstości, aby na skutek grawitacji w jej jądrze powstały temperatura i ciśnienie niezbędne do takiej reakcji. To określa podstawową różnicę między planetą a gwiazdą. Chociaż w obu wypadkach mówimy o obiekcie kosmicznym o kształcie zbliżonym do kuli, planety są zazwyczaj niewielkich rozmiarów i mają najczęściej skaliste rdzenie, czasem otoczone gazem, gwiazdy zaś to swego rodzaju ogromne elektrownie termojądrowe. Obdarzone przez naturę ogromną energią grawitacyjną, formują materię w swym wnętrzu. Wszystkie ciężkie atomy, z jakich składa się Ziemia, wszystkie atomy potrzebne do życia, wszystkie, z jakich zbudowane jest nasze ciało, powstały kiedyś we wnętrzu gwiazdy. Wciągasz je do płuc, kiedy oddychasz. Gdy dotykasz swojej albo czyjejś skóry, dotykasz gwiazdowego pyłu. Wcześniej zastanawiałeś się, dlaczego gwiazdy w rodzaju Słońca muszą kończyć swój żywot, wybuchając. Teraz znasz już odpowiedź na to pytanie: w przeciwnym razie istniałyby tylko wodór i hel. Materia, z jakiej zbudowany jest nasz świat, byłaby na zawsze zamknięta we wnętrzu wiecznie żyjących gwiazd. Nasza planeta nigdy by nie powstała, a życie, jakie znamy, po prostu by nie istniało.

Spójrzmy na to z jeszcze innej strony: ponieważ nie jesteśmy zbudowani tylko z wodoru i helu, a nasze ciało, Ziemia i wszystko, co nas otacza, zawiera również węgiel, tlen oraz atomy innych pierwiastków, wnioskujemy, że Słońce jest gwiazdą drugiej, a być może nawet trzeciej generacji. Zanim pozostały po eksplozjach pył stał się Słońcem, Ziemią i nami, wcześniej musiały wybuchnąć jedna albo dwie generacje gwiazd. Ale co wywołało ich śmierć? Dlaczego

światliste życie gwiazd musi być zwieńczone widowiskowym wybuchem – i w rezultacie śmiercią?

Jedną z zadziwiających właściwości fuzji jądrowej polega na tym, że bez względu na to, jak ogromna byłaby początkowa ilość energii potrzebna do jej wywołania – masa całej gwiazdy! – w wyniku tej reakcji uwalnia się jeszcze więcej energii.

Przyczyna takiego stanu rzeczy może zaskakiwać, ale ponieważ wszystko sam obserwujesz, musisz pogodzić się z faktami: gdy dwa jądra atomowe stapiają się w jedno większe, część ich masy znika. Nowe jądro ma mniejszą masę niż dwa jądra, z których powstało. To tak jakbyśmy po zmieszaniu kilograma lodów waniliowych z kilogramem takich samych lodów waniliowych nie otrzymali dwóch kilogramów lodów, lecz mniej.

W naszym codziennym życiu nie mogłoby się to zdarzyć, ale w świecie jądrowym dzieje się tak bez przerwy. Na szczęście dla nas masa ta nie ginie bezpowrotnie. Zamienia się w energię, a kurs tej wymiany jest określony wzorem: $E = mc^2$ – słynnym równaniem Einsteina[2].

Na co dzień operujemy raczej przelicznikami walut, a nie kursami wymiany masy na energię. Aby stwierdzić, czy wzór $E = mc^2$ jest dla nas korzystny, wyobraź sobie, że na lotnisku imienia Johna F. Kennedy'ego w Nowym Jorku wymieniasz funty (to masa początkowa) na dolary (to energia, jaką otrzymamy w zamian). Przelicznik wynosi c^2 , gdzie „c” oznacza prędkość światła, a „ c^2 ” to prędkość światła podniesiona do kwadratu. Za jednego funta dostaniesz zatem 90 milionów miliardów dolarów. Można by rzec, że to niezły interes. W rzeczywistości to najlepszy kurs wymiany występujący w przyrodzie.

Oczywiście masa tracona podczas pojedynczej reakcji termojądrowej jest raczej niewielka. Ale we wnętrzu Słońca w każdej sekundzie stapia się z sobą tak wiele atomów, że uwalnia się przy tym ogromna ilość energii, która musi znaleźć jakieś ujście. Na wszelkie sposoby ucieka więc z rdzenia gwiazdy w przestrzeń

kosmiczną. Koniec końców, energia pochodząca z reakcji termojądrowej równoważy grawitację wciskającą wszystko do rdzenia, dzięki czemu rozmiar naszej gwiazdy pozostaje stały. Gdyby działała tylko grawitacja, a tej reakcji by nie było, Słońce musiałoby się skurczyć.

W wyniku syntezy jądrowej emitowana jest olbrzymia ilość światła i cząstek, które zamieniają wszystko wokół w świecącą zupę składającą się z jąder atomowych i elektronów – tak zwaną *plazmę*.

To właśnie eksplozja światła, ciepła oraz energii powoduje świecenie gwiazdy.

Słońce nie jest wielką kulą ognia – ogień potrzebuje tlenu. I choć nasza gwiazda wytwarza go trochę wraz z innymi ciężkimi pierwiastkami, to w przestrzeni kosmicznej nie ma wystarczającej ilości tlenu w stanie wolnym, aby podtrzymać jakikolwiek ogień. Pocierając zapałkę w przestrzeni kosmicznej, nigdy nie rozpalimy ognia. Słońce, podobnie jak wszystkie inne gwiazdy na niebie, jest po prostu jasną kulą świecącej plazmy – gorącą mieszaniną elektronów, atomów, które straciły część elektronów (tak zwanych *jonów*), oraz tych pozbawionych ich zupełnie, czyli samych jąder atomowych.

Dopóki w rdzeniu Słońca będzie wystarczająco dużo małych jąder atomowych, które są tam ściskane, jego grawitacja i energia pochodząca z syntezy jądrowej będą pozostawały w równowadze. Mamy szczęście, że żyjemy w pobliżu gwiazdy znajdującej się w takim stanie.

Choć w istocie nie ma to nic wspólnego ze szczęściem.

Gdyby nasze Słońce nie znajdowało się w takim stanie, nas w ogóle by tu nie było.

Jak już wiesz, Słońce nie będzie wiecznie w stanie równowagi: pewnego dnia w rdzeniu naszej gwiazdy skończy się atomowe paliwo. Wtedy zabraknie promieniującej z jego wnętrza siły, przeciwstawiającej się grawitacji. Grawitacja weźmie górę i nasza gwiazda wkroczy w ostatni etap życia: Słońce skurczy się

i stanie bardziej gęste. Potem nastąpi kolejna reakcja termojądrowa, tym razem z dala od rdzenia, bliżej powierzchni. Ta ponowna reakcja syntezy nie zrównoważy grawitacji, lecz ją przewycięży. Powierzchnia Słońca będzie wypychana na zewnątrz, a ono samo zacznie się powiększać. Widziałeś to zjawisko podczas swojej podróży w przyszłość. Ostatni wybuch energii będzie zapowiedzią końca istnienia gwiazdy, czego też byłeś świadkiem. Wyrzuci on w przestrzeń kosmiczną wszystkie atomy, które Słońce wyprodukowało przez całe swoje życie, i stworzy kolejne – najcięższe, jakie może, takie jak złoto. W końcu atomy te mieszają się z pozostałościami innych gwiazd ginących w pobliżu i uformują olbrzymie chmury kosmicznego pyłu, który być może w odległej przyszłości stanie się zalążkiem nowych światów.

Na podstawie ilości wodoru, jaka pozostała w rdzeniu Słońca, naukowcy zgadują, że eksplozja ta nastąpi za jakieś 5 miliardów lat, w czwartek, plus minus trzy dni.

[2] Prawdopodobnie dobrze znasz wzór $E = mc^2$, ale dla pewności przypomnę, że w tym wzorze „E” oznacza energię, „m” – masę, a „c” – prędkość światła. Tak więc z tego równania, jedyne, jakie znajdziesz w tej książce, wynika, że można dosłownie zamienić masę w energię, a energię w masę.

NASZA KOSMICZNA RODZINA

Teraz wiesz już o Słońcu więcej, niż jeszcze w początkach XX wieku wiedział jakikolwiek człowiek. Całe światło, które dzień po dniu pada na twoje ciało, pochodzi od atomów wytworzonych we wnętrzu naszej gwiazdy, z części jej masy zamienionej w energię. Ziemia nie jest jednak jedynym ciałem niebieskim korzystającym z energii Słońca.

Chwilę później powracasz na bulgoczącą, gorącą powierzchnię Słońca i sokolim wzrokiem obrzucasz otoczenie. Osiem jasnych punktów przesuwa się na tle, wydawałoby się, nieruchomych, odległych gwiazd. Te punkty to planety, kule wypełnione materią. Są zbyt małe, aby mogły w przyszłości stać się gwiazdami. Cztery z nich, te najbliższe Słońca, wyglądają jak małe skaliste światy. Pozostałe cztery składają się głównie z gazów. Przy Słońcu wydają się małe, lecz w porównaniu z naszą planetą – największym z czterech małych światów – to giganty. Z wyjątkiem Ziemi jednak żadna z tych planet ani żaden z setek ich księżyców nie może w przyszłości stanowić potencjalnego schronienia dla ludzkości, mimo że wszystkie powstały z tej samej chmury pyłu pochodzącego z dawno nieistniejących gwiazd. Znajdują się one pod wpływem grawitacji Słońca i razem z naszą gwiazdą znikną w kończącym jej żywot wybuchu. Schronienia – o ile takie w ogóle istnieje – musimy szukać o wiele dalej.

Aby się zorientować, co leży poza strefą wpływu Słońca, musisz przenieść się na jak największą odległość. Po drodze odwiedzisz najdalszych krewnych Ziemi,

olbrzymich przedstawicieli jednej kosmicznej rodziny.

Jesteś teraz mniej więcej trzy razy dalej od Słońca niż twoja planeta. Merkury, Wenus, Ziemia i Mars – cztery małe światy znajdujące się najbliżej Słońca – są już za tobą. Widziana z tego miejsca nasza gwiazda to świecący punkt rozmiaru połowy monety jednopensowej trzymanej w wyciągniętej ręce. Gdyby Ziemia znajdowała się w tym miejscu, to w Wielkiej Brytanii w najcieplejszy dzień lata byłoby zimniej niż obecnie na Antarktydzie podczas najchłodniejszych zim[3].

W miarę jak się oddalasz od Słońca, światło staje się coraz słabsze.

Przelatujesz w pobliżu odłamków skalnych – pozostałości z początków narodzin naszej planety. W większości są to planetoidy o kształcie ziemniaków. Tworzą one ogromną obręcz otaczającą Słońce, zwaną przez astronomów *pasem planetoid*. Pas ten oddziela cztery małe planety typu ziemskiego od świata olbrzymów. Odłamki skalne są od siebie bardzo oddalone i przelatując między nimi, zauważasz, że zderzenie z jakąś planetoidą jest mało prawdopodobne. Wcześniej zresztą udało się go uniknąć wielu sztucznym satelitom.

Zostawiasz za sobą pas planetoid i mijasz gazowe olbrzymy: Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna. To ogromne planety o maleńkich skalnych jądrach ukrytych głęboko pod wzburzoną atmosferą. Wszystkie są dumnymi posiadaczkami wspaniałych układów pierścieni, lecz największy i najpiękniejszy z nich zdecydowanie należy do Saturna.

Przelatując obok, patrzysz na nie z szacunkiem. Te olbrzymie światy istotnie budzą podziw, mimo że nie ma tu warunków sprzyjających powstaniu życia.

Mógłbyś przypuszczać, że skoro minąłeś Neptuna, najdalszą z planet okrążających Słońce, nic więcej już nie zobaczysz, ale jesteś w błędzie. Masz przed sobą kolejny pas, tym razem składający się z brudnych kul śniegowych różnego rodzaju i rozmiaru. Zapewne także one są produktami ubocznymi powstałymi podczas narodzin naszego Układu Słonecznego. Utworzyły się z pyłu pozostałego po eksplozjach gwiazd, które umarły w odległej przeszłości.

Ten pas nosi nazwę *pasa Kuipera*. Słońce wygląda stąd jak łebek szpilki, jak każda inna gwiazda. Tak daleko prawie wcale nie dociera ciepło słoneczne, ale nawet tu coś się dzieje.

Co jakiś czas, w rezultacie zderzeń czy innych zakłóceń toru lotu, jedna lub kilka brudnych kul śniegowych zostaje wyrzuconych ze stabilnej, odległej orbity, po której obiegały Słońce. Pchnięte w kierunku naszej gwiazdy, powoli dostają się w cieplejsze rejony wszechświata i w wyniku działania promieniowania słonecznego zaczynają topnieć, pozostawiając za sobą długie ogony małych skalno-lodowych odłamków, które świecą w ciemności. Tak powstaje jeden z cudów wszechświata, nazwany przez nas *kometami*. Philae, solidnej konstrukcji lądownik Europejskiej Agencji Kosmicznej, osiadł w listopadzie 2014 roku na jednej z komet, aby zbadać jej powierzchnię. Został tam przetransportowany przez sondę Rosetta, która zbliżając się do Słońca i oddalając od niego, krążyła wokół komety i obserwowała, jak jej zewnętrzne warstwy zamieniają się w gaz...

Do tego lodowego pasa należy również Pluton – pozbawiony niedawno miana planety i zdegradowany do stopnia planety karłowatej – oraz dwa inne karły, Haumea i Makemake. Co ciekawe, Pluton wraz ze swoim księżycem Charonem jest tak bardzo oddalony od Słońca i musi pokonać tak duży dystans, aby je okrążyć, że od chwili jego odkrycia i nazwania planetą do czasu, gdy stracił ten status – czyli przez 76 ziemskich lat – nie minął tam nawet rok. To dlatego astronomowie potrzebowali całych dziesięcioleci, aby stwierdzić, że w rzeczywistości ma on rozmiar tylko jednej czwartej Księżyca. Jak się domyślasz, na brudnobrązowym Plutonie, obok którego właśnie przelatujesz, ta zmiana klasyfikacji nie zrobiła żadnego wrażenia. Wkrótce zostawiasz go za sobą, wymykając się coraz bardziej spod ochrony naszej świecącej gwiazdy^[4]. Na swojej drodze napotkasz jeszcze więcej planet karłowatych oraz komet i zobaczysz nieodkryte do tej pory zamrożone światy. Twoją uwagę jednak

szybko zaprzątnie gigantyczna sfera otaczająca wszystko, co dotychczas ujrzales.

Wszystkie planety, planety karłowate, planetoidy i komety, które już zobaczyłeś, leżą mniej więcej w jednej płaszczyźnie, jakby na dysku, którego środkiem jest świecące Słońce. To, co widzisz w tej chwili, wygląda inaczej. Zbiór miliardów miliardów miliardów potencjalnych komet tworzy ogromny sferyczny obłok, który zdaje się wypełniać całą przestrzeń kosmiczną pomiędzy Słońcem a królestwem innych gwiazd. Ten zbiór nazwano *Obłokiem Oorta*.

Ma on zdumiewające rozmiary.

Wyznacza granicę naszego gwiazdnego imperium – *Układu Słonecznego* – do którego należą wszyscy wspomniani wcześniej członkowie kosmicznej rodziny.

Lecąc dalej, wkraczasz na nieznane terytoria i kierujesz się w stronę gwiazdy położonej najbliżej Słońca. Odkryto ją w 1915 roku. Cały wiek temu, gdy dopiero zaczynaliśmy rozumieć, czym jest nasz wszechświat. Nazywa się *Proxima Centauri*.

[3] Jeden z satelitów meteorologicznych agencji NASA w 2013 roku zmierzył na Antarktydzie temperaturę $-94,7$ stopnia Celsjusza, najniższą, jaką kiedykolwiek zarejestrowano na Ziemi. W przestrzeni kosmicznej, w miejscu, gdzie się obecnie znajdujesz, jest znacznie zimniej.

[4] Statek kosmiczny agencji NASA – New Horizons, jako pierwszy dotarł w pobliże Plutona w lipcu 2015 roku. Odkrył niezwykle i zaskakujące cechy tej planety karłowatej, między innymi zagadkowe ślady stosunkowo niedawnej aktywności powierzchniowej.

POZA UKŁADEM SŁONECZNYM

Twoje ciało wciąż leży na plaży, gdzieś na naszej planecie, ale umysł przebywa teraz hen daleko – w większej odległości od Ziemi niż jakikolwiek obiekt zrobiony przez człowieka^[5]. Po przekroczeniu zewnętrznej granicy Obłoku Oorta opuściłeś Układ Słoneczny i znalazłeś się w królestwie innej gwiazdy. Za tą rozmytą linią – nakreśloną jakby po to, żeby dobrze zrozumieć, co ta granica oznacza – dostrzegasz, że niektóre najbardziej odległe komety Układu Słonecznego zmieniły swoje orbity. Zamiast jak dotąd krążyć wokół Słońca, zaczęły obiegać inną odległą gwiazdę – tę, do której właśnie zmierzasz, Proximę Centauri.

Proxima Centauri należy do rodziny gwiazd zwanych *czzerwonymi karłami*. Są one znacznie mniejsze od Słońca (mniej więcej siedmiokrotnie – zarówno pod względem rozmiaru, jak i masy) i mają czerwony odcień – stąd ich nazwa. Czerwonych karłów jest bardzo dużo; naukowcy sądzą, że w istocie stanowią większość gwiazd na niebie, choć ich światło jest zbyt słabe, abyśmy mogli je dostrzec gołym okiem.

W miarę zbliżania się do Proximy obserwujesz, jak gwałtownie zmienia się jej jasność, i widzisz, że dość chaotycznie wyrzuca ona ogromne ilości rozpalonej materii.

Czy w pobliżu tego rozgniewanego czerwonego karła są jakieś planety? Nie dostrzegasz żadnej^[6].

W pewnym sensie szkoda, gdyż cywilizacja, której by się udało zorganizować sobie wygodne życie na planecie krążącej wokół Proximy – choć

to niełatwe – mogłaby śmiało planować nawet bardzo odległą przyszłość. Gdy nasza gwiazda, Słońce, wybuchnie, Proxima będzie wyglądała identycznie jak teraz. Według naszej obecnej wiedzy będzie świeciła tak jak dziś jeszcze 300 razy tyle, ile wynosi obecny wiek wszechświata. Jakkolwiek patrzeć, to kawał czasu.

Proxima jest mniejsza od Słońca, więc maleńkie jądra atomowe, które wchodzi w jej skład, stapiają się w większe znacznie wolniej. Tak to już jest z gwiazdami – rozmiar ma znaczenie: im większa gwiazda, tym krótszy jej żywot... W wypadku planet znajdujących się na ich orbitach istotna jest odległość. Aby woda na powierzchni planety występowała w stanie ciekłym (co, jak wiemy, jest warunkiem utrzymania życia), nie może być tam ani za zimno, ani za gorąco. Dlatego planeta nie może się znajdować ani zbyt blisko, ani zbyt daleko od gwiazdy, wokół której krąży. Strefę wokół gwiazdy, w której woda może występować w stanie ciekłym, nazywamy *ekosferą*. A gdyby tak znaleźć innego czerwonego karła – i podobną do Ziemi planetę, krążącą w odpowiedniej odległości od niego? Mogłaby ona przypominać nasz kruchy świat, lecz istnieć w zasadzie wiecznie. Ech, marzenia...

Ostatnia myśl budzi w tobie wyrzuty sumienia; karcisz się za niewdzięczność i odwracasz głowę, aby spojrzeć na Układ Słoneczny, swój rodzinny świat. Spodziewasz się, że światło Słońca przyćmi wszystkie inne jasne punkty na niebie. Nic podobnego się jednak nie dzieje i nagle zdajesz sobie sprawę ze skali kosmicznych odległości.

Czy zastanawiałeś się może, jak długo leciałby stąd na Ziemię sygnał, który mógłbyś wysłać, będąc prawdziwym kosmicznym podróżnikiem, a nie jedynie czystym umysłem?

Gdybyś miał międzygwiazdny telefon, mógłbyś dzwonić do przyjaciół z każdego postoju i dzielić się z nimi swoimi odkryciami. Telefony komórkowe przekształcają głos w sygnał lecący z prędkością światła, dlatego na Ziemi wydaje

nam się, że łączność jest nawiązywana natychmiastowo. W przestrzeni kosmicznej jednak odległości są tak duże, że nic nie dzieje się natychmiast. Światło z Księżyca dociera na naszą planetę mniej więcej po sekundzie i tyle samo zajmuje mu droga powrotna. Jeśli zapytałbyś znajomego na Ziemi, czy patrząc przez lornetkę, widzi cię na Księżycu, usłyszałbyś jego odpowiedź po dwóch sekundach.

Sytuacja wyglądałaby jeszcze gorzej, gdybyś znajdował się na Słońcu. Światło pokonuje odległość między naszą planetą a Słońcem w 8 minut i 20 sekund. Komunikacja byłaby mocno utrudniona, gdyż czas między pytaniem a odpowiedzią przekraczałby 16 minut. Ale w kosmicznej skali Słońce jest tuż obok nas. Jeśli wybrałbyś numer w miejscu, w którym się teraz znajdujesz, w okolicach Proximy Centauri, dzwonek telefonu na Ziemi rozległby się po jakichś 4 latach i 2 miesiącach. Odpowiedź na swoje pytanie usłyszałbyś zatem po co najmniej 8 latach i 4 miesiącach.

Na razie dotarłeś dopiero do najbliższej Ziemi gwiazdy, nie licząc Słońca, masz jednak wrażenie, że znajdujesz się bardzo daleko od domu. Żeby się nie zgubić, szukasz jakiegoś punktu orientacyjnego.

Mając w pamięci piękną Drogę Mleczną, którą widziałeś z plaży na tropikalnej wyspie, rozglądasz się wokół w poszukiwaniu mętnobiałego pasma światła. Zaskakuje cię, że nie widzisz już grubej, prostej linii, lecz coś, co wygląda raczej jak przechylona obręcz, której fragmenty są jaśniejsze od innych. Ty znajdujesz się gdzieś w środku. Zaczynasz rozumieć, że Droga Mleczna widziana z Ziemi przypominała smugę, gdyż nasza planeta zasłania większą jej część.

W pobliżu Proximy Centauri nie widzisz żadnej planety, bez dłuższego namysłu kierujesz się więc w stronę najjaśniejszej części Drogi Mlecznej.

Nie wiesz jeszcze, że zmierzasz w kierunku centrum skupiska około 300 miliardów gwiazd, zwanego *galaktyką*.

[5] Spośród obiektów zbudowanych przez człowieka najdalej w kosmos dotarła sonda kosmiczna NASA – Voyager 1. Została wystrzelona w 1977 roku, a do granic Układu Słonecznego dotarła w roku 2013. Sonda wciąż przekazuje dane na Ziemię i reaguje na polecenia. Jej baterie będą przypuszczalnie działały do 2025 roku. W 2016 roku poruszający się z prędkością światła sygnał wysłany z Voyagera 1 docierał do Ziemi po mniej więcej 18 godzinach i 40 minutach. W przyszłości będzie to trwało dłużej, ponieważ sonda wciąż się od nas oddala. Jej pozycję można śledzić w czasie rzeczywistym na stronie internetowej voyager.jpl.nasa.gov.

[6] Od niedawna wiadomo już, że wokół Proxymy Centauri krąży jednak planeta. Przypuszczano, że tak jest, już w 2013 roku, ale udało się to potwierdzić dopiero w sierpniu 2016 dzięki projektowi Pale Red Dot. Planecie nadano nazwę Proxima b. Wiemy jeszcze, że krąży ona w tak zwanej strefie życia (ekosferze). Zob. np. <http://www.nature.com/nature/journal/v536/n7617/full/nature19106.html> (dostęp: 18.05.2017) (przyt. red.).

KOSMICZNY KOŁOS

Wyobrażasz sobie, że w centrum skupiska 300 miliardów gwiazd musi się znajdować coś niezwykłego. Weźmy na przykład Ziemię. Jej środek jest najgęstszą, najgorętszą i najbardziej nieprzyjazną częścią naszej planety. Podobnie, w centrum Układu Słonecznego tkwi Słońce, które stanowi jego najgęstszy, najgorętszy i najbardziej nieprzyjazny element. To jeszcze niczego nie dowodzi, lecz może być wskazówką, że w samym środku naszej galaktyki dzieje się coś naprawdę ważnego.

Z szybkością myśli mijasz dziesiątki milionów gwiazd. Niektóre z nich są o wiele większe od Słońca i skazane na krótszy niż ono żywot, z kolei inne, te małe, będą świecić jeszcze przez niewyobrażalnie długi czas. Przelatujesz również przez gwiazdne żłobki – chmury pyłu składające się z pozostałości po eksplozjach setek gwiazd – oraz przez gwiazdne cmentarze, które kiedyś połączą się z sobą, aby stać się gwiazdnymi żłobkami. Jesteś teraz w pobliżu centrum galaktyki, cokolwiek by to oznaczało, i nagle się zatrzymujesz.

Tuż przed sobą widzisz kolejną obręcz – wirującą, barwną, złożoną z rozproszonej materii. Gdy przyjrzesz się jej dokładniej, zauważysz, że składa się z gazu oraz miliardów skał i komet poruszających się wokół źródła jasnego i wysokoenergetycznego światła, kształtem przypominającego obwarzanek.

Co się tutaj dzieje? Czym są te krążące wokół skały i lodowe odłamki? Rozglądasz się jeszcze uważniej, a to, co widzisz, wydaje ci się niemożliwe... W obręczy poruszają się nie tylko pojedyncze głazy, ale również gwiazdy. Całe gwiazdy. Nie planety, lecz gwiazdy. I robią to bardzo szybko.

Jedną z nich, nazwaną S2 (Source 2), aż do 2015 roku była najszybciej poruszającym się znanym nam obiektem we wszechświecie. Obserwując ją z Ziemi, naukowcy stwierdzili, że okrążyła ona obwarzanek w mniej więcej piętnaście i pół roku. Jeśli weźmiemy pod uwagę dystans, jaki w tym czasie pokonuje, oznacza to, że porusza się ze zdumiewającą prędkością 17,7 miliona kilometrów na godzinę. Jak może tego dokonać? Jaki potwór ma wystarczająco silną grawitację, aby utrzymać w pobliżu siebie obiekt pędzący z tak olbrzymią prędkością? Czy w ogóle możliwe jest wygenerowanie takiej siły?

Wyobraź sobie szklaną kulkę i salaterkę.

Jeśli potoczysz kulkę po wewnętrznej ściance salaterki, nadając jej zbyt małą prędkość, zaraz spadnie na dno naczynia. Gdy zrobisz to zbyt szybko, wyleci z niej, rozbijając następnie coś w twojej kuchni. Jeśli jednak nadasz jej odpowiednią prędkość, będzie wirowała po ściance naczynia tak długo, aż tarcie zamieni nadmiar energii kinetycznej w ciepło i spowolni ruch kulki.

A teraz wyobraź sobie, że ta kulka to owa superszybka gwiazda S2, którą na orbicie wokół jaśniejącego środka obwarzanka utrzymuje niewidzialna salaterka. W przestrzeni kosmicznej nie ma tarcia, nie ma więc powodu, aby gwiazda traciła energię^[7]. Znając prędkość, z jaką porusza się S2, możemy sobie wyobrazić kształt salaterki i masę materii znajdującej się na jej dnie.

To dość proste obliczenie naukowcy wykonywali wielokrotnie, nie mogąc uwierzyć w otrzymany wynik. Okazało się bowiem, że do wytworzenia pola grawitacyjnego o odpowiednim natężeniu, które nie doprowadziłoby do wyrzucenia S2 w przestrzeń kosmiczną, potrzebna jest masa ponad 4 milionów Słońc. Musiałaby to być rzeczywiście ogromna gwiazda.

Szkopuł w tym, że wewnątrz orbity S2 nie ma żadnej widocznej gwiazdy. Choćbyś bardzo się starał, nic tam nie zobaczysz.

Aby z Ziemi określić, czym w takim razie jest obiekt o masie 4 milionów

Słońc, który utrzymuje S2 na orbicie, naukowcy zbudowali teleskopy mogące wykrywać dwa rodzaje niewidzialnego dla nas promieniowania elektromagnetycznego: ultrafioletowe i rentgenowskie. To ostatnie może zrobić na nas większe wrażenie, ponieważ zajmuje drugą lokatę pod względem ilości posiadanej energii. Wprawdzie przez taki teleskop naukowcy wciąż nie mogli dostrzec poszukiwanego obiektu, ale za to zauważyli wysokoenergetyczne rozbłyski światła mające źródło w jakimś niewielkim obszarze wewnątrz obręczy. To zatem, co powstrzymuje S2 przed odlotem w przestrzeń kosmiczną, nie tylko nie jest gwiazdą, lecz jest też znacznie mniejsze, niż być powinno. Naukowcom pozostało w zasadzie tylko jedno wyjaśnienie, czym jest ukrywający się tam obiekt. To supermasywna *czarna dziura*.

Badacze nazwali ją *Sagittarius A** (czytaj: A z gwiazdką). Z Ziemi nie są w stanie dokładnie jej zbadać, ponieważ otoczenie czarnej dziury przesłaniają gwiazdy, pył oraz gaz znajdujące się pomiędzy nią a naszą planetą[8].

Ty jednak jesteś tuż obok i jeśli zastanawiasz się, co wyzwała takie wysokoenergetyczne rozbłyski światła wykrywane przez teleskopy na Ziemi, zaraz się tego dowiesz.

Trudno czuć się bezpiecznie, znajdując się tak blisko niewidzialnego potwora, to jasne. Kto wie, do czego jest zdolna czarna dziura. Może potrafi pochłonąć twój umysł, a ten nigdy już nie połączy się ponownie z ciałem? Utknie w jej wnętrzu, na zawsze skazany na wędrówkę z dala od wszystkiego, co znasz? A może w czarnej dziurze istnieje ukryte przejście, drzwi do innego wszechświata, do innej rzeczywistości? Tyle razy już to słyszałeś...

Nie wiedząc, co robić, wpatrujesz się w miliardy maleńkich cząstek pyłu i innych małych odłamków skalnych tworzących jasną obręcz.

Po niecałej minucie ogromna planetoida o kształcie przypominającym ziemniak przelatuje obok ciebie z prędkością miliona kilometrów na godzinę. Uważnie ją obserwujesz. Widzisz, jak pędząc przez obręcz, roztopia się na

drobinki materii w wyniku tarcia spowodowanego przez pył. Podobnie jak spadające gwiazdy – małe odłamki skalne, które wchodzą w ziemską atmosferę i spalają się, nie docierając do powierzchni naszej planety – planetoida znika z tego świata daleko od wnętrza obwarzanka.

Gdy się odwracasz w poszukiwaniu kolejnych atrakcji, widzisz, że teraz w twoim kierunku zmierza już nie potężny odłamek skalny, lecz gwiazda. Duża, świecąca, rozjuszona gwiazda. Podobna do S2, ale jeszcze większa. Czy ona również spłonie? Czy przebije się dalej? Patrzysz, jak zdąża ku swojemu przeznaczeniu, przelatując pod kątem przez obwarzanek. Znajduje się teraz wewnątrz obręczy i na chwilę staje się niewidoczna, lecz szybko pojawia się ponownie, pokonując połowę swojej orbity dziwnym torem, jakby zmienionym przez jakieś tajemnicze moce. Gwiazda nadal leci w dół – wygląda na to, że działają na nią potężne siły. Od jej powierzchni odrywają się bryły o rozmiarach planety. Usiłujesz zachować spokój, gorąco pragnąc, aby twoje obawy okazały się bezpodstawne, lecz wkrótce ogarnia cię zmęczenie i czekasz już tylko na gigantyczną katastrofę...

Dotychczas byłeś bezcielesnym bytem, niepomnym sił rządzących wszechświatem, ale właśnie uległo to zmianie. Przytłoczony ciężkimi myślami, zaczynasz podlegać działaniu grawitacji i odczuwać obecność jej władcy. Wbrew swojej woli jesteś wsysany do wewnątrz, jakbyś zsuwał się po niewidzialnej śliskiej pochyłości. Przelatujesz przez obręcz z rozgrzanej materii i zbliżasz się do ściąganej siłą grawitacji gwiazdy. Widzisz, jak zostaje rozerwana na strzępy i zmienia się w płonący strumień rozgrzanej do białości plazmy, który wiruje, ciągnąc cię w dół, w stronę wciąż niewidocznej czarnej dziury.

Twoje obawy są jak najbardziej uzasadnione. Razem z tobą dziura wciąga setki miliardów miliardów ton plazmy. Serce bije ci jak szalone, gdy zjeżdżasz po spirali coraz szybciej i szybciej, aż w końcu ogromna siła wiru wyrzuca cię na zewnątrz.

Pozostałości po gwiazdzie przekształcają się w potężne strumienie czystej energii, w którą najwyraźniej zamieniła się materia. Zdezorientowany zastanawiasz się, czy nie ześlizgnąłeś się właśnie do jakiegoś świata równoległego wewnątrz czarnej dziury. Ale nie – po chwili zdajesz sobie sprawę, że właśnie oddalasz się od potwora, że zostałeś wyrzucony lub odepchnięty przez władcę masy. Gigantyczna obręcz Drogi Mlecznej znów majaczy w oddali.

Podobnie jak kulka wirująca zbyt szybko po ściance salaterki zostałeś – wraz z pyłem ze zniszczonej gwiazdy – wystrzelony w przestrzeń kosmiczną, zanim jeszcze dotarłeś do tego czegoś, z czego zbudowana jest czarna dziura... Spadałeś zbyt szybko i zostałeś wyrzucony z powrotem jak z procy, nim dosięgnąłeś niewidzialnego potwora. Podobnie zresztą jak gwiazda, której materia zamieniła się w dwa strumienie promieniowania elektromagnetycznego – te o najwyższej energii: gamma i rentgenowskiego. Jeden z nich wystrzelił w górę, drugi zaś w dół, jakby dwie latarnie wysłały sygnały świetlne nie tylko w ogromną przestrzeń pomiędzy gwiazdami Drogi Mlecznej, lecz znacznie dalej, ku jeszcze większej pustce.

Prędkość tych strumieni jest zdumiewająca. Tak jak teraz twoja – lecisz, mijając miliony gwiazd, a olbrzymi palec z obręczką w postaci Drogi Mlecznej wydaje się wskazywać ci cel podróży.

Chyba nie nastąpiła jeszcze właściwa pora, żebyś zanurzył się w głąb czarnej dziury. Może natura chciała, abyś zobaczył więcej piękna wszechświata, nim pozwoli ci na podróż w jej śmiertelnym uścisku...

Niezależnie od przyczyn tego stanu rzeczy bicie twojego serca wraca do normy, a myśli, pozbawione grawitacyjnego uścisku, ponownie ogarnia spokój. Jesteś bardzo daleko i odzyskałeś już swobodę ruchów. Podążasz jednak za strumieniem, aby zobaczyć, dokąd się kieruje. Po chwili uświadamiasz sobie, że stało się coś dziwnego: otacza cię coraz mniej gwiazd. Mija jeszcze chwila i znikają zupełnie. W oddali majaczą jakieś źródła światła, ale znajdują się

w o wiele większej odległości niż cokolwiek, co do tej pory widziałeś. Zdziwiała cię też, że zniknęła obręcz Drogi Mlecznej. Ciekaw, co się z nią stało, spoglądasz w dół i zachłystujesz się najbardziej niezwykłym widokiem, jaki kiedykolwiek miałeś przed oczami. Tak wyjątkowe szczęście nie spotkało jeszcze żadnego człowieka ani żadnego wytworu ludzkich rąk. Obserwacje prowadzone z Ziemi dostarczyły kilku obrazów okolic czarnej dziury, z której właśnie uciekłeś, ale tego obrazu wśród nich nie było. Gdybyś z tego miejsca zadzwonił na naszą planetę, minęłoby 90 tysięcy lat, zanim – o ile w ogóle – otrzymałbyś jakąś odpowiedź.

Znajdujesz się ponad Drogą Mleczną. Twoją galaktyką.

Jeśli patrząc z piaszczystej plaży w nocne niebo, myślałeś, że musi się ona rozciągać aż po krańce wszechświata, teraz już wiesz, że to nieprawda. Nasza galaktyka nie jest Wszystkim – to zaledwie wyspa gwiazd zagubiona w ciemnym bezkresie, który wielokrotnie przewyższa swoim ogromem Drogę Mleczną.

[7] Informacja dla czytających książkę naukowców: na tak wczesnym etapie nie biorę pod uwagę fal grawitacyjnych.

[8] Informacja dla miłośników historii: Sagittarius A* był pierwszym obiektem odkrytym za pomocą radioteleskopu. Dokonali tego w 1974 roku amerykańscy astronomowie Bruce Balick i Robert Brown.

DROGA MLECZNA

Pierwsi ludzie, którzy znaleźli się w przestrzeni kosmicznej, byli oszołomieni pięknem naszej planety i onieśmieleni ogromem otaczającego ją oceanu czerni. Lecz był to zaledwie początek. Widok roztaczający się w tej chwili przed tobą uczy jeszcze większej pokory.

Już wcześniej wiedziałeś, że Droga Mleczna jest galaktyką, ale dopiero teraz uświadamiasz sobie, co to naprawdę znaczy. Widziana z góry (albo z dołu, to nieistotne), nie przypomina już białawej chmury oglądanej na nocnym niebie przez mieszkańców Ziemi, lecz ma postać grubego dysku składającego się z gazu, pyłu i gwiazd. Pod tobą znajduje się 300 miliardów wirujących wokół jasnego środka gwiazd. Związane są z sobą siłami grawitacji i rozrzucone na obszarze, którego pokonanie zajmuje światłu dziesiątki tysięcy lat.

Jeśliby uznać Układ Słoneczny ze wszystkimi jego planetami, planetoidami i kometami za kosmiczną rodzinę, a Proximę Centauri za sąsiednią gwiazdę, to Drogę Mleczną można wtedy traktować jak kosmiczne megalopolis, prężnie rozwijające się miasto złożone z 300 miliardów gwiazd. Jedną z nich jest Słońce.

Jak pamiętasz, takie splecione w wirującym tańcu i otoczone bezkresną przestrzenią skupiska gwiazd, pyłu i gazu naukowcy nazywają *galaktykami*. Tak jak Słońcem nazwaliśmy naszą gwiazdę, tak nazwę Droga Mleczna nadaliśmy szczególnej galaktyce, naszej galaktyce.

Cztery olbrzymie, jasne, spiralne ramiona, rozdzielone ciemnymi obszarami, wirują wokół jej środka – jeszcze jaśniejszego centralnego zgrubienia galaktycznego, które składa się z gazu, pyłu oraz gwiazd i chowa wszystko do

czarnej dziury, z której właśnie uciekłeś. Z miejsca, gdzie jesteś, widać tylko wyrzucony przez tę dziurę wysokoenergetyczny strumień materii, w którym podróżowałeś.

Jeśli trudno ci wyobrazić sobie, czym faktycznie jest 300 miliardów unoszących się swobodnie gwiazd, nie martw się: tak naprawdę nikt nie potrafi tego ogarnąć. Gdybyś jednak po powrocie na tropikalną wyspę chciał opisać przyjaciołom, co w tej chwili widzisz, liczby ci w tym nie pomogą. Lepiej zaproponuj im, aby tekturowe sześcienne pudło o boku metrowej długości napełnili gruboziarnistym piaskiem z otaczającej was plaży. Następnie poproś, żeby napełnili 300 takich kartonów. W naszej galaktyce jest tyle gwiazd, ile ziarenek piasku mieści się w tych wszystkich pudłach. Później zaproponuj im powrót do Londynu i wysypanie zawartości tych 300 kartonów na Trafalgar Square, tak aby piasek miał kształt dysku. Następnie powinni utworzyć z niego cztery spiralne ramiona, a gdy już to zrobią, niech usiądą na pomniku Nelsona, na ramionach admirała. Dopiero wtedy zobaczą, jak wygląda 300 miliardów gwiazd Drogi Mlecznej – tak jak widzisz je teraz ty. Zanim jednak wdrapią się na kolumnę z pomnikiem, powinni pomalować na żółto jedno z ziarenek piasku, a będąc na górze, spróbować je wskazać. Wtedy zrozumieją, jak trudne stoi przed tobą zadanie, gdy próbujesz odnaleźć Słońce, patrząc z góry na Drogę Mleczną. Nie mówiąc już o Ziemi, która jest setki razy mniejsza. Odnalezienie gwiazdy jest trudne, lecz jeszcze gorzej mają poszukiwacze planet.

Znajdując się ponad Drogą Mleczną, masz jednak nad swoimi przyjaciołmi pewną przewagę. Poszukując Słońca, możesz sobie przypomnieć wszystkie zdjęcia nocnego nieba wykonane z Ziemi lub z przestrzeni kosmicznej i porównać je z obrazem, jaki w tej chwili widzisz. Naukowcy przez lata stworzyli mapę gwiazd naszej galaktyki i nawet nie opuszczając Drogi Mlecznej, mogą całkiem precyzyjnie wskazać, w którym miejscu leżą na niej Słońce i nasza planeta.

Aby się zorientować w mapie galaktycznego nieba, koncentrujesz się najpierw na środku galaktyki – okolicach centralnego zgrubienia galaktycznego i czarnej dziury, gdzie wszystko jest jasne, piękne i potężne. Czy tak ważny gatunek jak człowiek nie powinien był raczej rozkwitnąć w tym szczególnym miejscu? Czy biorąc pod uwagę nasze znaczenie, nie byłoby logiczne – i właściwe – aby Słońce i Ziemia stanowiły część tej galaktycznej wspaniałości?

Tak jednak nie jest. Układ Słoneczny leży mniej więcej w dwóch trzecich drogi między centralną czarną dziurą a peryferiami naszej galaktyki, gdzieś na jednym z czterech jasnych ramion. Nie jest to żadne wyjątkowe miejsce^[9]. A mówiąc dosadnie, w kosmicznej skali nawet ogromna dla nas Droga Mleczna znaczy niewiele.

Odwracasz się, myśląc, co by tu jeszcze zobaczyć poza naszą galaktyką, i dostrzegasz jakieś świecące plamki, które chyba leżą w bardzo odległej części wszechświata. Czy to pojedyncze gwiazdy? Wydają się za bardzo rozmazane... I zbyt odległe... A może to całe galaktyki? Czy z naszej planety da się je zobaczyć gołym okiem?

Odpowiedź na to ostatnie pytanie brzmi: nie^[10].

Jeśli ktoś patrzył na nocne niebo tylko z Ziemi, to oglądał wyłącznie gwiazdy należące do naszej galaktyki – Drogi Mlecznej, spiralnego dysku, który przed chwilą zobaczyłeś. Wszystkie, których błysk kiedykolwiek ujrzał, do niej należały (i wciąż należą). Nawet te pozornie odległe od białawej wstęgi rozciągającej się na nocnym niebie. Droga Mleczna nie jest bezgraniczną sferą, ale dyskiem o skończonej powierzchni, Ziemia nie znajduje się w jego środku, lecz raczej bliżej krawędzi. Właśnie dlatego gwiazdy na nocnym niebie są rozmieszczone z niejednakową gęstością. Niebo wygląda inaczej widziane z różnych miejsc na naszej planecie, ponieważ w każdym wypadku patrzymy na inną część Drogi Mlecznej.

Tak się składa, że oś Ziemi nachylona jest w taki sposób, że południowa

półkula zawsze zwraca się w kierunku centrum galaktyki, a północna – w stronę innej jej części, gdzie znajduje się znacznie mniej gwiazd. Właśnie dlatego mieszkańcy półkuli północnej mają nad głowami mniej atrakcyjne niebo niż ci z południowych obszarów naszej planety.

To, co widziałeś z plaży na tropikalnej wyspie i co zwykliśmy nazywać Drogą Mleczną, stanowi tylko fragment naszej galaktyki, wstęgę złożoną z setek milionów gwiazd, zbyt odległych, by każdą z nich można było zobaczyć oddzielnie. Dopiero światło pochodzące od nich wszystkich tworzy wspólnie oglądaną przez nas białawą smugę. Patrząc teraz na te dalekie i nieznane rejony świata, czujesz, że jesteś gotów przenieść się nawet w najbardziej tajemnicze miejsce. Przychodzi ci na myśl, że wszystkie dostrzeżone przez ciebie plamy światła są rozmyte w taki sam sposób jak Droga Mleczna.

To także muszą być galaktyki.

Gdy tak rozmyślasz, przed twoimi oczami zniemacka pojawia się inna galaktyka. Widok jest niezwykły: jej krawędź wychyla się spod Drogi Mlecznej, unosi się pod kątem i teraz galaktyka rośnie w błyskawicznym tempie. To *Andromeda*, nasz lokalny, galaktyczny wielki brat. Jest olbrzymia – aż trudno uwierzyć, że odkrycie, czym jest, zajęło ludziom tak dużo czasu.

Z Ziemi widzimy, jak Andromeda rozpościera się na części nieba o rozmiarze około sześciu razy większym od Księżyca w pełni. Galaktyka znajduje się jednak tak daleko, że chociaż składa się z tysiąca miliardów gwiazd, gołym okiem możemy dojrzeć jedynie centralne zgrubienie galaktyczne. I wydaje nam się ono bardzo małe. Pierwszym człowiekiem, który je dostrzegł, był niezwykły perski astronom Abd Ar-Rahman As-Sufi. Obserwował gwiazdy pod koniec pierwszego tysiąclecia, kiedy na całym świecie wielu współczesnych mu ludzi marnowało krótkie życie na walkę z innymi ludźmi, wymyślanie wyrafinowanych narzędzi tortur, wciąż drząc przed spodziewanym nadejściem końca świata. As-Sufi był jednym z najwybitniejszych astronomów złotej ery

Bagdadu, ale opisując centralne zgrubienie galaktyczne Andromedy jako świecąca słabym światłem chmurę, nie mógł wiedzieć, że to galaktyka. Nie miał nawet pojęcia, czym w ogóle jest galaktyka. Tę wiedzę zdobyliśmy dopiero mniej więcej tysiąc lat później. O galaktykach jako o oddzielnych skupiskach gwiazd nikt nie słyszał aż do lat dwudziestych ubiegłego wieku. Wtedy to dwaj astronomowie, Estończyk Ernst Öpik oraz Amerykanin Edwin Hubble, jako pierwsi zaobserwowali wielkie przestrzenie oddzielające inne grupy gwiazd od Drogi Mlecznej. Uznali oni te skupiska gwiazd za oddzielne światy^[11].

Andromeda jest najbliższym nam położonym obiektem, który dowodzi, że Droga Mleczna to nie cały wszechświat.

Gdy tak na nią patrzysz, widząc, jak nasza galaktyka i ta majestatyczna spirala składająca się z tysiąca miliardów gwiazd wirują wokół siebie, uświadamiasz sobie, że wszystkie galaktyki wszechświata biorą udział w kosmicznym balecie. Uczestniczący w nim tancerze to samotne świecące wyspy – skupiska miliardów gwiazd poruszających się w czarnej kosmicznej pustce.

Jak natchniony ogarniasz teraz umysłem wszystko, aż po kosmiczny horyzont: Drogę Mleczną, Andromedę oraz inne, bliższe i dalsze galaktyki.

Przez niczym niezakłóconą, błogą chwilę widzisz wszystko. Dziesiątki, setki, tysiące, miliony, setki milionów galaktyk. Są wszędzie, tworząc grupy o różnych rozmiarach. Układają się w niezwykle, przypominające włókna struktury, przecinające cały widzialny wszechświat.

Kto by pomyślał?

Kilka minut temu – a może już godzin? – byłeś na wakacjach, leżałeś na plaży, teraz zaś cały wszechświat ogarniasz swoim umysłem. Kropki w przestrzeni kosmicznej nie są już pojedynczymi gwiazdami, lecz grupami tysięcy galaktyk, liczących setki, tysiące lub miliony gwiazd, a Droga Mleczna jest tylko jedną z nich.

Gdy kontemplujesz ten zdumiewający widok, patrzysz na te wszystkie miejsca, prześladowuje cię obawa, że ze znalezieniem swojej ojczystej galaktyki wśród wszystkich innych galaktyk miałbyś taki sam problem, jaki miałeś z odnalezieniem Słońca na Drodze Mlecznej czy ziarnka piasku na Trafalgar Square.

Mimo to uwalniasz swój umysł, lecisz z prędkością myśli i widzisz je wszystkie – wirujące, tańczące, rozrywane na kawałki, zderzające się z sobą. Jesteś świadkiem znikania małych galaktyk, połykanych przez ich gigantyczne sąsiadki.

Chwileczkę.

Czy powinieneś się tym przejmować?

W mgnieniu oka jesteś z powrotem w pobliżu Drogi Mlecznej. Olbrzymia Andromeda znajduje się nad twoją głową. Czy pewnego dnia również ona mogłaby się połączyć z inną galaktyką, z Drogą Mleczną? Te dwie galaktyki z pewnością krążą wokół siebie, lecz dzieje się tam coś jeszcze... Wyostrzasz wzrok i aż podskakujesz, gdy raptem uświadamiasz sobie, że Andromeda i Droga Mleczna zbliżają się do siebie z zadziwiającą prędkością 100 kilometrów na sekundę. Do ich zderzenia pozostają zaledwie 4 miliardy lat.

Galaktyki te zaczną się więc łączyć miliard lat przed wybuchem Słońca.

Przełykając z trudem ślinę, zastanawiasz się, czy ludzkość mogłaby przetrwać coś takiego. W końcu ogarnia cię jednak uczucie ulgi: galaktyki mają bardzo duże rozmiary, a przestrzenie między tworzącymi je gwiazdami są ogromne, więc galaktyczne kolizje rzadko kiedy prowadzą do zderzenia samych gwiazd... Takie ryzyko z pewnością istnieje, lecz na razie nie musisz się tym przejmować.

Na tym etapie trudno uniknąć kopernikańskiej depresji filozoficznej. Możesz

nawet zacząć żałować, że nie żyjesz kilka tysięcy lat temu, kiedy ludzie sądzili, że Ziemia jest płaska i leży w centrum wszechświata, a siebie, z oczywistych powodów, chcieli uważać za coś wyjątkowego. Jakże musiało im dodawać otuchy przeświadczenie, że wszystko kręci się wokół nich, a anioły obracają święte koła kosmicznego mechanizmu, który porusza gwiazdy oraz Słońce! Dlaczego, u licha, Mikołaj Kopernik, polski matematyk i astronom żyjący w XV wieku, zepsuł to wszystko, ogłaszając, że Słońce nie krąży po orbicie wokół Ziemi. Czy żyjący w XVII wieku matematyk i astronom Galileusz musiał zauważyć, że Jowisz ma księżyce, które również nie krążą wokół naszej planety (czy wokół Słońca), lecz poruszają się po orbicie samego Jowisza? A Öpik i Hubble musieli dostrzec gdzieś tam daleko inne galaktyki? Dlaczego to zrobili? Oni zaczęli to wszystko!

No dobrze, nie dość że Kopernik i Galileusz mieli rację, to bez nich i wielu innych osób ludzkość byłaby skazana na zagładę; na domiar złego ja nigdy nie napisałbym tej książki. Ty zaś nigdy nie podróżowałbyś w myślach po naszej najbliższej kosmicznej okolicy, nie mówiąc już o dalszych rejonach wszechświata (które jeszcze odwiedzisz). A tak między nami, czy nie byłoby szkoda, gdyby to całe ukryte przed nami piękno pozostało niezauważone czy niezbadane – lub, co gorsza, widziane tylko przez inne inteligentne gatunki^[12] z ich odległej kosmicznej perspektywy?

A tak przy okazji, gdy o nas mowa i gdy zaczynasz pojmować rzeczywisty rozmiar widzialnego wszechświata, pojawia się pytanie: czy inne gatunki naprawdę istnieją? Czy pośród tych miliardów grup gwiazd rozświetlających ciemny wszechświat są czerwone karły – podobne do Proximy Centauri – które mają własne planety? Czy istnieją układy podwójne gwiazd świecące nad niezamieszkanymi światami? Czy są gdzieś inne Ziemie?

Wydaje się bardzo mało prawdopodobne, żebyśmy byli sami w tym gigantycznym wszechświecie. „Jeśli istniejemy tylko my, to byłoby to okropne

marnotrawstwo przestrzeni”, napisał w 1985 roku amerykański astronom i kosmolog Carl Sagan, a dziś, 30 lat później, nadal nie wiemy, jak naprawdę jest.

Istnienie życia pozaziemskiego to dla nas ekscytująca perspektywa (choć z pewnością również przerażająca), lecz jak na razie pozostaje tylko w sferze przypuszczeń. Ponieważ nasze teleskopy pozwalają nam odkrywać we wszechświecie coraz więcej światów, sytuacja może wkrótce się zmienić. Ja w każdym razie bardzo na to liczę.

Nawet w najmroczniejszych okresach skomplikowanych dziejów ludzkości żyły osoby, które heroicznie podważały opinię autorytetów religijnych, twierdząc, że inne światy najprawdopodobniej rzeczywiście istnieją. Choćby włoski katolicki mnich Giordano Bruno, który w 1600 roku został w Rzymie spalony żywcem, gdyż miał czelność głośno wyrażać swoje heretyckie przemyślenia. Twierdził on, że istnieją niezliczone Słońca oraz krążące po orbitach wokół nich niezliczone Ziemie, i z tego powodu umarł w męczarniach.

Pomimo że w dzisiejszych czasach zbyt wielu, jak sądzę, ludzi (także w krajach najbardziej rozwiniętych) woli zamykać oczy na nowe odkrycia naukowe, niż przyjmując je do wiadomości, to i tak mamy większą wiedzę niż jakakolwiek inkwizycja. Wiemy o istnieniu planet ziemiopodobnych, a osoby takie jak Giordano Bruno zostały już zrehabilitowane, choć stało się to nie tak dawno.

To prawda, że o istnieniu planet takich jak Jowisz czy Wenus ludzkość wiedziała już od wieków, ale planetę krążącą po orbicie gwiazdy innej niż Słońce zaobserwowano po raz pierwszy dopiero 20 lat temu. Dokonali tego w 1995 roku dwaj szwajcarscy astronomowie Michel Mayor i Didier Queloz^[13], którzy dostrzegli gigantyczny obiekt krążący po orbicie gwiazdy oddalonej od nas mniej więcej o 60 lat świetlnych. Odkrytą planetę nazwali 51 Pegasi b.

Planeta odkryta przez Mayora i Quelozę nie nadaje się do zamieszkania,

choćby dlatego że znajduje się zdecydowanie zbyt blisko swojej gwiazdy. Ale bez wątplenia jest to planeta. Idąc tropem Szwajcarów, inni badacze każdego miesiąca znajdowali we wszechświecie kilka tego rodzaju światów. Było tak do czasu, gdy w kosmos zostały wysłane specjalnie zaprojektowane satelity, takie jak wystrzelony w 2009 roku Kepler, teleskop kosmiczny NASA. Dzięki nim do dziś odkryto ponad 6 tysięcy takich potencjalnych nowych światów, z czego 2 tysiące uznano za planety krążące po orbitach odległych gwiazd. Napotkano nawet układy podwójne gwiazd (w których planety krążą po orbitach dwóch słońc), a w przyszłości czeka nas z pewnością dużo więcej niespodzianek. Aby te odległe światy odróżnić od Wenus, Jowisza i innych planet należących do naszej kosmicznej rodziny, nazwano je *egzoplanetami*. Nawiasem mówiąc, kilkanaście spośród tych 2 tysięcy egzoplanet jest potencjalnie ziemiopodobnych, a przynajmniej trzy, których istnienie potwierdzono w 2014 roku, do złudzenia przypominają Ziemię. Planeta odkryta w 2015 roku nosi nazwę Kepler 442b^[14]...

Wszystkie te światy mogą być oczywiście jałowe, ale być może istnieje na nich życie. Jestem gotów się założyć, że w ciągu najbliższych dwóch dekad zostaną odkryte bezpośrednie lub pośrednie znaki życia pozaziemskiego – na znanych albo jeszcze nieznanym nam planetach. Ludzkości niewiele już brakuje do opracowania narzędzi umożliwiających wykrycie oznak aktywności biologicznej w atmosferze tak odległych światów. Czy nie wspaniale byłoby dożyć takiego odkrycia?

Dotychczas zaobserwowane egzoplanety znajdują się w obrębie Drogi Mlecznej, naszej galaktyki, a więc stosunkowo blisko Ziemi. Planety, które może istnieją w innych galaktykach, są o wiele za daleko, aby dało się je dostrzec przez jakikolwiek teleskop. Choć we wszechświecie mogą ich być setki miliardów.

Równie dobrze jak Droga Mleczna tętnić życiem może galaktyka Andromedy. To największa spośród galaktyk położonych w pobliżu Drogi

Mlecznej. Jest bardzo blisko, oczywiście nie w ludzkiej, lecz w galaktycznej skali. Jeśli z Ziemi zatelefonowalibyśmy do jakiegoś miejsca leżącego w okolicy jednej z tysiąca miliardów gwiazd należących do Andromedy, wiadomość zostałaby odebrana za około 2,5 miliona lat. Gdybyśmy więc chcieli nawiązać kontakt, to lepiej wymyślmy najpierw jakieś inteligentne pytanie. I zadbajmy o odpowiedni język.

[9] Nasza obecność może je jednak takim uczynić.

[10] Chyba że masz wyjątkowo dobry wzrok i wiesz, w którym kierunku patrzeć.

[11] Już wcześniej, w XVIII wieku, jako pierwszy możliwość taką rozważał angielski astronom i matematyk Thomas Wright. Kilka lat później nad jego teorią zastanawiał się niemiecki filozof Immanuel Kant.

[12] Napisałem „inne inteligentne gatunki”, choć angielski fizyk teoretyk i kosmolog Stephen Hawking często żartuje (czy aby na pewno żartuje?), że zanim zaczniemy ich poszukiwanie, powinniśmy najpierw znaleźć dowód, że istnieje inteligencja na Ziemi.

[13] Warto zauważyć, że pierwszeństwo należy się innym uczonym. To radioastronomowie Aleksander Wolszczan z Polski oraz Dale Frail ze Stanów Zjednoczonych już w 1992 roku odkryli trzy planety krążące wokół pulsara (gwiazdy neutronowej). Taki układ, ze względu na obecność gwiazdy neutronowej będącej końcowym etapem ewolucji gwiazd, jest jednak bardzo rzadki, jeśli więc ograniczyć się do zwykłych gwiazd, takich jak nasze Słońce, można uznać, że pierwsi byli faktycznie Mayor i Queloz. Więcej zob. <https://www.nature.com/nature/journal/v355/n6356/abs/355145a0.html> (dostęp: 18.05.2017) (przyp. red.).

[14] W 2017 roku odkryto podobny do Ziemi układ planetarny Trappist-1, odległy od naszej planety zaledwie o 40 lat świetlnych (przyp. red.).

PIERWSZA ŚCIANA NA KOŃCU WSZECHŚWIATA

Zaczyna cię nurtować pytanie, jak duży jest cały widzialny wszechświat.

Co byś napotkał, gdybyś poleciał w głąb niego tak daleko, jak to tylko możliwe?

Czy gdzieś istnieje granica tego wszystkiego?

Gdy wrócisz do swojego ciała, prędzej czy później ktoś zechce cię o to zapytać. Lepiej więc dowiedz się tego zawczasu.

Odważnie ruszasz w przypadkowo wybranym kierunku.

Zaczynając oddalać się od swojej ojczystej galaktyki, odkrywasz, że Droga Mleczna jest częścią związanej grawitacyjnie małej grupy 54 galaktyk. Naukowcy nazwali ją *Grupą Lokalną*. Rozciąga się na obszarze o średnicy około 8,4 miliona lat świetlnych. Pod względem rozmiaru królem tej grupy jest Andromeda, a za nią plasuje się nasza Droga Mleczna.

Dalej leżą inne grupy, niektóre z nich składają się z kilkuset galaktyk. Te wielkie skupiska, znacznie większe od naszej grupy, nazywamy *gromadami* galaktyk. Lecąc dalej, mijasz ogromne gromady, czyli *supergromady*. Tworzą je dziesiątki tysięcy świecących spirali oraz owalnych dysków, które z kolei składają się z połączonych siłą grawitacji niezliczonych gwiazd i czarnych dziur.

Te rozciągające się w czasie i przestrzeni supergromady tworzą niewyobrażalnie duże struktury.

Gdy tak oddalasz się od wszystkiego, co do tej pory znałeś, i patrzysz na

wszechświat z innej perspektywy, znowu łapiesz się na tym, że musisz zrewidować mniemanie o doniosłej roli człowieka w tej wielkiej konfiguracji wszechświata. Rozglądasz się wokół, a twoja wyobraźnia pracuje na najwyższych obrotach. Szukając kresu wszechświata, wychwytyjesz światło ze wszystkich kierunków. Nie istnieje tu pojęcie góry czy dołu, nie ma też różnicy między lewą a prawą stroną. Jesteś teraz ponad tysiąc milionów lat świetlnych od Ziemi, a z mrocznej czeluści mrugają do ciebie miliardy galaktycznych lampek. Wszędzie dookoła, blisko i daleko, znajdują się galaktyki, grupy galaktyk, gromady i supergromady leżące od siebie w odległości jeszcze większej niż ta, którą do tej pory przebyłeś.

Trudno uwierzyć, że Droga Mleczna jest tylko jedną z tych wszystkich kropek, choć już wiesz, że to, co widzisz, nie jest fantazją, lecz naukowym faktem.

Fakty faktami, ale pomysł ocalenia Ziemi nagle traci sens. Właściwie po co miałbyś się tym martwić czy przejmować? Przecież lepiej byłoby pozostawić za sobą wszystkie ziemskie sprawy i dryfować bez końca w tym przepięknym bezmiarze... To atrakcyjna perspektywa. Dlaczego by nie spędzić tak reszty życia? Czyż właśnie w ten sposób nie spędzają czasu naukowcy, snując marzenia w swoich laboratoriach?

Gdy tak rozważasz pomysł porzucenia na zawsze codziennego życia, do głowy przychodzi ci nowa myśl. Zaraz, zaraz, ludzkość chyba miała jakiś powód, aby uznać za wszechświat akurat to wszystko, co widzisz, wśród czego się przemieszczasz. Podróżujesz przez wszechświat będący wyobrażeniem stworzonym w umyśle człowieka, tak więc możliwość pojmowania jego ogromu jest ograniczona zdolnościami poznawczymi ludzkiego mózgu. Może się to wydawać dziwne, ale taka koncepcja cię podbudowuje. Za jej sprawą znów zaczynasz się czuć istotą ludzką, przedstawicielem gatunku zdolnego sięgać myślą nawet tam, gdzie wzrok nie sięga... Ogarniając umysłem wszechświat,

zastanawiasz się, czy istnieje coś jeszcze większego. Czy twój umysł jest w stanie objąć jeszcze więcej? Jakikolwiek los czeka Ziemię, nie chcesz go znać. Twoje wirtualne serce wali jak młotem, a ty ze straceńczą odwagą przesz do przodu, pokonując tysiące milionów kolejnych galaktyk. Człowiek od zawsze potrafił się przystosować do nowych warunków, więc nawet ogrom wszechświata przestaje cię już szokować. Coś, co przed chwilą przytłaczało swą wielkością, teraz wyzwala radość.

Tu i ówdzie dostrzegasz zderzające się galaktyki, gwiazdy na skutek wybuchu zmieniające się w supernowce – *supernowe*, przyćmiewające na moment blaskiem swoje rodzeństwo. W całym wszechświecie wszystko porusza się wokół wszystkiego. Patrzysz na coś niewiarygodnie wielkiego i niezmiernie pięknego.

Kontynuujesz podróż, nie oglądając się za siebie. Jesteś w tej chwili w odległości 10 miliardów lat świetlnych od Ziemi.

Twój umysł leci naprzód coraz dalej i dalej.

Oddaliłeś się już o 11 miliardów lat świetlnych od naszej planety.

Dwanaście.

Trzyście miliardów lat świetlnych, i to jeszcze nie koniec.

Pędząc w stanie upojenia, wypatrujesz kresu wszechświata – lecz bez skutku. Zaczynasz nieco zwalniać – otacza cię coraz mniej galaktyk, a tworzące je gwiazdy wydają się wciąż zwiększać. W rzeczywistości są olbrzymie. Niektóre z nich okazują się setki razy większe od przeciętnej gwiazdy w dzisiejszej Drodze Mlecznej. Wciąż poruszasz się naprzód, choć już trochę wolniej. Widzisz przed sobą coraz mniej i mniej lśniących punktów. A gdy osiągasz odległość 13,5 miliarda lat świetlnych od Ziemi, znikają właściwie wszystkie.

Zatrzymujesz się. Czy to możliwe, że dotarłeś do celu? Czy wszechświat naprawdę ma koniec?

To pytanie zadawaliście sobie parę razy z przyjaciółmi jeszcze przed wspólną

wycieczką na tropikalną wyspę. Ale czy kiedyś na serio przypuszczałeś, że oddalając się bez końca od Ziemi, będziesz ciągle widział galaktyki?

No cóż, ponieważ podróżujesz przez taki wszechświat, jaki widzimy z naszej planety, dyskretnie zauważę, że teleskopy nie mogły pokazać nam wszystkiego. Faktycznie istnieją ograniczenia dotyczące tego, co może zobaczyć ludzkie oko i co kiedykolwiek będziemy w stanie dostrzec za pomocą przyrządów optycznych. Twój umysł nie dotarł jeszcze do tej granicy, ale wkrótce ją osiągnie. Na razie znajdujesz się w miejscu odległym od nas w czasie i przestrzeni – tak odległym, że nie narodziły się tu jeszcze nawet pierwsze gwiazdy. Właśnie dlatego miejsce i epokę, w których teraz jesteś, nazwano *kosmicznymi Wiekami Ciemnymi*. Światło dochodzące stąd do nas na Ziemię wędrowało we wszechświecie przez 13,5 miliarda lat. To wtedy, w okresie trwającym 800 milionów lat, pierwsze gwiazdy zabrały się do pracy nad przekształcaniem małych atomów wodoru i helu w materię, z której zbudowani są ludzie oraz planety i gwiazdy. Była to pierwsza generacja gwiazd, nasze Słońce jest przedstawicielem drugiej albo trzeciej generacji.

Kontynuujesz swój lot, spodziewając się, że dalej będzie już tylko mrok. Wtem docierasz do miejsca, przez które światło nie może się przedostać.

Do powierzchni, która wydaje się ścianą w czasie i przestrzeni.

Dalej wszechświat nie jest już ciemny. Jest nieprzezroczysty. Zatrzymujesz się tuż przed przeszkodą i wyciągasz wirtualną dłoń, aby ostrożnie zbadać, co się za tą ścianą znajduje.

Gdy dotykasz czegoś, co sprawia wrażenie potężnej porcji energii, na twoim nieistniejącym fizycznie ciele pojawia się gęsia skórka. Energia ta jest tak gęsta, że w okamgnieniu pojmujesz, dlaczego światło nie jest w stanie dalej się przemieszczać. To tak, jak gdybyś zapalił pochodnię wewnątrz ściany. Światło istnieje za powierzchnią, przed którą się znajdujesz, lecz w ogóle nie może się

poruszać.

Miejsce, do którego dotarłeś, nie jest jedynie wytworem twojej wyobraźni. To najdalszy punkt, jaki możemy dostrzec za pomocą naszych teleskopów. To miejsce w czasie i przestrzeni, w którym nasz wszechświat stał się przezroczysty. Żadne światło nigdy nie dotrze na Ziemię spoza tego miejsca i przed tego momentu i nie zostanie dostrzeżone przez żaden z teleskopów.

Zrozumienie tej kwestii zajęło fizykom teoretycznym wiele dziesięcioleci. Z następnego rozdziału dowiesz się, że znaleźli dla niej błyskotliwe rozwiązanie, które zostało nazwane teorią *Wielkiego Wybuchu*.

Chwilowo pogódź się z tym, że właśnie dotarłeś do krańca widzialnego wszechświata. To powierzchnia, która została odkryta przez teleskopy i naniesiona na mapę. Powierzchnia ściany, której nie może przekroczyć żadne światło. Nazwano ją *powierzchnią ostatniego rozproszenia*.

Gdy cię uderza, jak dziwnie i zaskakująco to brzmi, wszystko wokół ciebie znika, a ty znów znajdujesz się na swojej tropikalnej wyspie, leżysz na plaży i obserwujesz nocne niebo. Wszystko jest wciąż na swoim miejscu: gwiazdy, drzewa, morze. A także przyjaciele, którzy dziwnie na ciebie patrzą.

Siadasz i opowiadasz im o niezwyklej podróży, z której właśnie wróciłeś. Słońce umiera – musimy znaleźć rozwiązanie tego problemu – wszechświat jest tak ogromny, że można oszaleć... No i ta ściana! Gdzieś tam daleko jest ściana, która wyznacza przejście od nieprzezroczystości do Wieków Ciemnych!

Spojrzenia przyjaciół teraz wyrażają niepokój. Pomagają ci wstać i odprowadzają cię do twojej willi, zastanawiając się po drodze, czy coś ci przypadkiem nie zaszkodziło: może grillowane krewetki były trochę nieświeże albo alkohol zbyt mocny...

Kilka godzin później część promieni wschodzącego Słońca (zwłaszcza te odpowiadające kolorowi niebieskiemu) zaczyna odbijać się od pyłu zawartego

w ziemskiej atmosferze, rozpraszając się wokół i ukrywając przestrzeń kosmiczną przed ludzkim wzrokiem. Leżysz jeszcze w łóżku i słyszysz poranny świergot ptaków, a gdy otwierasz oczy, widzisz zarys jakiejś sylwetki. Jedna ze znajomych stoi tuż obok twojego posłania – pewnie czuwała przy tobie przez całą noc. Nie wiesz, co myśleć. Czy to wszystko tylko ci się przyśniło? Czy miałbyś coś przeciwko temu, aby naprawdę podróżować przez bezkres przestrzeni kosmicznej?

Podając ci szklankę wody, znajoma pyta, czy już lepiej się czujesz. Rześka poranna bryza delikatnie muska ci czoło, a ty uśmiechasz się i myślisz, jak dobrze jest być znowu na Ziemi.

Potem uśmiechasz się jeszcze szerzej, gdyż w głębi duszy wiesz, że doświadczyłeś czegoś niezwykłego. Wszystko to zdarzyło się naprawdę, nie było snem, ty zaś miałeś wyjątkowe szczęście: nie musiałeś studiować latami, żeby to zobaczyć. Po prostu ujrzałeś wszechświat taki, jaki zna współczesna nauka.

Widząc twój uśmiech, znajoma oddycha z ulgą i idzie przynieść ci śniadanie. Gdy tylko zostajesz sam, starasz się przypomnieć sobie, przez co przeszedłeś. Żeby nie zapomnieć. Coś ci mówi, że był to zaledwie początek tej niezwykłej przygody.

Siedząc na wyplatany z palmowych liści łóżku i obserwując fale omywające brzeg, przypominasz sobie Ziemię widzianą z przestrzeni kosmicznej – małą niebieską kropkę krążącą po okołosłonecznej orbicie. Pamiętasz też miliardy innych gwiazd wirujących wokół czarnej dziury skrywającej się gdzieś w pobliżu centrum naszej galaktyki, Drogi Mlecznej. Potem wraca obraz Andromedy i kilkudziesięciu innych galaktyk tworzących Grupę Lokalną oraz inne grupy, gromady i supergromady, które rozciągają się w nieskończoność, a może jeszcze dalej.

Nie.

Nie w nieskończoność.

Do Wieków Ciemnych i do ściany. Powierzchni ostatniego rozproszenia, poza którą żadne światło nie może swobodnie się poruszać.

I przekonałeś się, że bez względu na to, jaki kierunek obrał na wycieczce twój umysł, i tak w końcu zderzałeś się ze ścianą.

Aha, w takim razie Ziemia – jeśli weźmiemy pod uwagę skalę znacznie większą, niż ktokolwiek potrafi sobie wyobrazić – pewnie znajduje się w samym środku sfery, której granicę stanowi ta ściana. A to, co leży wewnątrz tej sfery, może być całym widzialnym wszechświatem, jaki kiedykolwiek będzie dostępny dla ludzkości. Oswajając się z tą myślą, obojętnym wzrokiem wpatrujesz się przed siebie, w horyzont.

No tak, jeśli powierzchnia ostatniego rozproszenia rzeczywiście otacza Ziemię, to nasza planeta musi znajdować się w samym środku sfery ograniczonej przez tę ścianę.

Brzmi to logicznie.

Ale zarazem oznacza, że Ziemia jest w centrum swojego widzialnego wszechświata.

Jesteś wstrząśnięty, trudno ci w to uwierzyć. Kręcisz głową i mamroczesz, że to nie ma sensu.

Żadnego sensu.

Ty jednak wiesz, co widziałeś, i nagle pragniesz znowu tam wrócić, i jeszcze raz na wszystko popatrzeć.

Wkrótce będziesz miał okazję to zobaczyć, lecz z innej perspektywy.

Aby cię na to przygotować, powiem tylko, że powierzchnia, którą widziałeś – powierzchnia ostatniego rozproszenia – to nie koniec naszej opowieści. Dalej znajdują się jeszcze co najmniej dwie powierzchnie, które również mają swoje ściany. Pierwsza to sam Wielki Wybuch, a druga skrywa to, co go spowodowało.

Zanim doczytasz tę książkę do końca, czeka cię podróż do tej drugiej ściany,

a nawet jeszcze dalej.

Ale najpierw powinny opaść emocje.

Jesteś przecież na wakacjach i twoja znajoma właśnie przyniosła ci śniadanie.

Gdy będziesz jadł, pomogę ci uporządkować wszystko, czego do tej pory doświadczyłeś.

CZEŚĆ II

**CZYM JEST
PRZESTRZEŃ
POZAZIEMSKA**

PRAWO I PORZĄDEK

Czy próbowałeś kiedyś skakać z urwiska? Albo z ostatniego piętra wieżowca?

Chyba nie.

Dlaczego?

Bobyś zginął.

Każdy z nas by zginął, gdyby spróbował zrobić coś takiego.

Ale skąd to właściwie wiadomo?

Odpowiedź na ostatnie pytanie jest z jednej strony prosta, z drugiej zaś zagadkowa i głęboka. Wyjaśnia ona, jak rasie ludzkiej udało się dotąd podbić Ziemię oraz skrawek nieba, a nawet wysłać cię do gwiazd, co było przedmiotem pierwszej części książki. Odpowiedź ta ma związek z naturą i jej prawami.

Niezależnie od tego, jaką mamy wiedzę, czy lubiliśmy przedmioty ścisłe i czy jesteśmy naukowcami, czy też nie, wszyscy intuicyjnie czujemy, że natura rządzi się swoimi prawami, których nie wolno łamać. Jedno z tych praw mówi, że jeśli podskoczysz zbyt wysoko, będziemy skazani na bolesny upadek.

Przez całe tysiąclecia, od czasów, w których żyli nasi przodkowie – łowcy i zbieracze, ludzie usiłowali odkryć prawa natury. Dzięki temu znamy niektóre z nich. Dziedzina wiedzy, która dzisiaj kontynuuje te poszukiwania i nieustannie wyjaśnia tajemnice natury, nazywa się *fizyką teoretyczną*. Drzwi do tego będącego ciągle w budowie królestwa za chwilę staną przed tobą otworem – będziesz mógł w nim swobodnie buszować.

Można przyjąć, że królestwo fizyki teoretycznej powstało w XVII wieku, kiedy to angielski astronom, fizyk, matematyk i filozof przyrody Isaac Newton stworzył nowy język – analizę matematyczną, który pozwalał mu na opisanie praktycznie wszystkiego, co jest dostępne ludzkim zmysłem. To, że osoba skacząca z urwiska będzie spadała, a nie spacerowała w powietrzu, wynika z prawa natury odkrytego przez Newtona. Jeśli tylko wiemy, gdzie zaczyna się spадanie, to wzór opisujący to prawo określi nam prędkość w chwili upadku oraz jego miejsce. Wzór ten unaocznia nam też, że jeśli pominiemy opór powietrza, to spадanie człowieka niczym się nie różni od spадania gąbki czy kawałka skały. Z tego wzoru możemy również wyliczyć, że Księżyc okrąży Ziemię w niecałe 28 dni, a obrót wokół Słońca zajmuje naszej planecie rok. To szczególne prawo nosi nazwę *prawa powszechnego ciężenia*. Jego odkrywca, Newton, do dziś jest uznawany za jeden z największych umysłów wszech czasów.

Nie trzeba wcale być naukowcem, aby sobie wyobrazić, jak wielką satysfakcję dawało odkrycie takiego prawa. Newton musiał być z siebie bardzo zadowolony, ale zamiast świętować i codziennie urządzać imprezy (co sam robiłbym na jego miejscu), wolał szukać potwierdzenia jego prawdziwości. Zaczął od sprawdzenia, czy jego prawo grawitacji zasługuje na miano uniwersalnego. W tym wypadku duże znaczenie ma wielkość obiektu, a jak już się dowiedziałeś z pierwszej części książki, pod tym względem Ziemia w porównaniu z całym wszechświatem to istny liliput. A to, co jest słuszne dla maleńkiej drobiny kurzu, nie musi się zgadzać, gdy chodzi o całą galaktykę.

Za czasów Newtona nie można było wykazać doświadczalnie, że jego wzór jest nieprawdziwy, czy w inny sposób próbować go zakwestionować. Na przykład strzała zawsze lądowała tam, gdzie przewidywał wzór, tak samo byłoby z górą, gdyby tylko komuś udało się ją cisnąć.

A jak to wygląda z większymi obiektami? I co się dzieje tam, gdzie grawitacja jest silniejsza niż na naszej planecie? Aby się tego dowiedzieć, musimy

opuścić Ziemię. Ponieważ wędrowałeś już po bliskich jej rejonach wszechświata, wiesz, jakie miejsce jest najbardziej oczywiste, najwygodniejsze, a zarazem najjaśniejsze na rozpoczęcie sprawdzania prawdziwości wzoru Newtona. To Słońce.

KŁOPOTLIWY KAWAŁEK SKAŁY

Grawitacja powierzchniowa Słońca – czyli siła, z jaką bylibyśmy ciągnięci w dół, gdybyśmy znajdowali się na jej powierzchni – 28-krotnie przekracza grawitację powierzchniową Ziemi. To imponujące, ale na tle wszystkich obiektów, z jakimi się zetknąłeś, poznając przestrzeń kosmiczną w pierwszej części książki, Słońce wcale się nie wyróżnia. Znacznie większą grawitację mają choćby czarne dziury. W tej konkurencji jednak Słońce nadal deklasuje Ziemię i łatwiej nam je badać niż obiekty takie jak czarne dziury. Czy zatem sformułowane przez Newtona prawo powszechnego ciążenia dotyczy naszej gwiazdy w równym stopniu, co naszej planety? I w jaki sposób można by to sprawdzić?

Miałeś już okazję zobaczyć, że w naszym Układzie Słonecznym znajduje się osiem planet. Patrząc od najdalszej od Słońca do najbliższej, są to: Neptun, Uran, Saturn, Jowisz, Mars, Ziemia, Wenus... Spróbujmy dokładnie się przyjrzeć, jak się poruszają w przestrzeni kosmicznej, i sprawdzić, czy Słońce przyciąga je w sposób zgodny z prawem Newtona. Już w jego czasach, dzięki rzeszom astronomów, którzy nad życie prywatne przedłożyli nocną obserwację gwiazd, ludzkość znała kształt orbit niektórych planet^[15]. Wyniki tej obserwacji okazały się niemal zbyt piękne, aby mogły być prawdziwe: jeśli uwzględni się sposób, w jaki planety na siebie oddziałują, to wszystkie wymienione planety^[16] poruszają się dokładnie tak, jak mówi prawo powszechnego ciążenia. Co za ulga... Więc jednak to prawo jest uniwersalne! Matka Newtona powinna być z niego bardzo dumna.

Ale zaraz, chwileczkę. Bardziej spostrzegawczy z was na pewno zauważyli, że na powyższej liście brak jednej planety. Wymieniliśmy tylko siedem z ośmiu planet należących do Układu Słonecznego. Zapomnieliśmy o jednej – tej znajdującej się najbliżej Słońca. Ona najbardziej ze wszystkich planet odczuwa przyciąganie grawitacyjne Słońca. To Merkury.

Ale z Merkurym mamy pewien kłopot. Niewielką niezgodność, nic poważnego. Drobiazg, który nie powinien mieć większego znaczenia. A jednak ma. W ciągu kilku stuleci, jakie minęły od odkrycia Newtona, ta niewielka niezgodność zmieniła wszystko, co ludzkość poprzednio wiedziała o czasie i przestrzeni.

Merkury niczym szczególnym się nie wyróżnia. To najmniejsza planeta Układu Słonecznego, tylko trochę większa od Księżyca. Jest skalista, z powierzchnią poznaczoną kraterami, które na pewno w najbliższej przyszłości nie znikną. Merkury nie ma atmosfery, brakuje więc tam zjawisk meteorologicznych, które mogłyby wygładzić nieregularną rzeźbę terenu. Krótko mówiąc, nie jest to planeta, którą wybralibyśmy na cel naszych wakacji. Pełny obrót wokół własnej osi zajmuje Merkuremu 59 ziemskich dni, co oznacza, że noc trwa tam ziemski miesiąc, a dzień jest równie długi. Zarówno w dzień, jak i w nocy na planecie panują istic piekielne warunki. W ciągu dnia temperatura sięga 430 stopni Celsjusza, a nocą spada nawet do –180 stopni. Newton o tym nie wiedział i pewnie nawet nie mógł przypuszczać, że Merkury jest tak nieprzyjazną planetą. Dzisiaj to już wiemy. Wiemy również, że zgodnie z prawem Newtona trajektorie wszystkich planet krążących wokół Słońca mają kształt spłaszczonych okręgów. Jak już wcześniej wspomniałem, obliczenia Newtona idealnie się zgadzały (i nadal się zgadzają) z późniejszymi obserwacjami. Gdyby planety zostawiały za sobą ślady, to przy każdym okrążeniu rysowałyby na niebie spłaszczony okrąg – *elipsę* – za każdym razem wyglądający niemal identycznie. Czyli wszystko odbywa się tak, jak przewidział

Newton. Z wyjątkiem tego, co dzieje się z Merkurym. Jego orbita wydaje się wirować, podobnie jak czubek kręcącego się wokół własnej osi jajka. Właśnie dlatego kolejne orbity tej planety różnią się od poprzednich. Główną przyczyną tego stanu rzeczy, co zresztą teoretycznie przewidział Newton, jest wpływ innych planet, które przyciągają do siebie małego Merkurego, gdy tylko znajdzie się w ich pobliżu. To przyczyna główna, lecz nie jedyna, bo nadal istnieje niewielkie odstępstwo od przewidywań teoretycznych. Wyobraź sobie na tarczy zegarka (starego typu, ze wskazówkami) obszar pomiędzy dwiema kolejnymi sekundami i podziel go na pięćset części. Za ledwie jedną z nich odpowiada kątowi, o jaki po upływie stulecia spłaszczony okrąg, po którym krąży Merkury, przesunie się w stosunku do okręgu wyliczonego przez Newtona.

To doprawdy nadzwyczajne, że naukowcy zdołali wykryć tak niewielkie odstępstwo bez trwających setki lat obserwacji. Co więcej, wiemy już, że prawo powszechnego ciążenia nie mogło tego zjawiska uwzględnić, a tym bardziej wyjaśnić. Fenomen ten ma bowiem związek z pewnym aspektem grawitacji, który daleko wykracza poza wyobraźnię Newtona i jego współczesnych.

Równanie Newtona określa, w jaki sposób obiekty się przyciągają, lecz nie mówi nic o tym, czym właściwie jest grawitacja. Zarówno Newton, jak i wielu innych naukowców na próżno łamało sobie głowę, aby zrozumieć, skąd bierze się grawitacja. Czy jest to jakaś cecha samej materii, powodująca przyciąganie się obiektów? Może wszystkie obiekty we wszechświecie są z sobą połączone? A jeśli tak, to czym? Jak dotąd nie odkryto jeszcze ani między naszymi stopami a powierzchnią naszej planety, ani też między Ziemią a Księżycem żadnej widocznej bądź niewidocznej elastycznej liny. A co z oddziaływaniem magnetycznym? No cóż, magnesy nie utrzymają się na podeszwach naszych stóp, ponieważ ciało człowieka jest elektrycznie obojętne. Grawitacja nie może być więc takim oddziaływaniem. Czym zatem jest? I dlaczego uparty Merkury, najmniejsza z planet, ma czelność różnić się od innych?

Newton zmarł w 1727 roku. Nie udało mu się znaleźć odpowiedzi na to ostatnie pytanie. Minęło 188 lat, zanim nieoczekiwanie pojawił się ktoś, kto miał inną – a przy tym dość dziwną – koncepcję.

[15] Uran i Neptun zostały odkryte później, zresztą również dzięki znajomości prawa powszechnego ciężenia Newtona.

[16] W tym Uran i Neptun.

ROK 1915

Badania naukowe w dziedzinie fizyki mają tę dobrą stronę, że jeśli obserwacje kłócą się z teorią, to najpierw się zakłada, że obserwacje są błędne. Eksperyment jest wtedy powtarzany, a jeśli jego rezultaty wciąż nie odpowiadają obliczeniom teoretycznym, sprawdza się, czy przypadkiem ktoś inny nie otrzymał poszukiwanych wyników, stosując alternatywną teorię. Jeśli nie, to uczciwość nakazuje przyznać, że nie mamy zielonego pojęcia, dlaczego natura zachowuje się w taki, a nie inny sposób. Co wtedy? Najrozsądniej jest wypróbować wszystkie dostępne możliwości. Rzecz jasna, „wszystkie” oznacza, że pod uwagę bierze się nawet najbardziej zwariowane pomysły. Muszę przyznać, że to świetna zabawa. Jak się później przekonasz, rozważane obecnie teorie powstania wszechświata mogą śmiało konkurować z najlepszymi wzorcami fantastyki naukowej (zresztą, jak zauważył kiedyś wybitny astronom i kosmolog Martin Rees, obecnie piastujący honorowe stanowisko królewskiego astronoma na brytyjskim dworze, dobra fantastyka naukowa jest lepsza od kiepskiej nauki). Rzecz jasna, na ogół większość tych teorii jest całkowicie błędna. Ale to nie ma znaczenia, istotne jest samo prowadzenie badań i analiza ich wyników. Dotychczas takie podejście raczej się sprawdzało.

Prawo powszechnego ciężenia Newtona było przez niemal dwa stulecia stosowane bez żadnych zastrzeżeń, a przypadek Merkurego, szczerze mówiąc, nie zaprzętał głów większości ludzi. Później jednak pewien uczoney wysunął kompletnie szaloną teorię dotyczącą grawitacji.

Wyobraź sobie, że w przestrzeni kosmicznej mamy tylko Słońce z krążącym

wokół niego Merkurem. Zapomnij o wszystkich innych obiektach znajdujących się we wszechświecie. Istnieje jedynie ta mała skalista planeta krążąca po orbicie wokół olbrzymiego błyszczącego Słońca. Poza tym jest pustka.

A teraz pozbadźmy się Merkurego. Oraz Słońca. Dla jasności: nie powinno pozostać zupełnie nic.

Być może grawitacja ma coś wspólnego z tą „nicością”, która pozostała, czyli z podstawową tkaniną wszechświata (czymkolwiek ona jest)?

Aby zrozumieć, co by się działo, gdyby faktycznie tak było, przywróćmy Słońce i pomyślmy. Przyjmijmy na chwilę, że struktura naszego wszechświata daje się modyfikować, i rozważmy jedno z najprostszych oddziaływań, jakie może wyrzucić na nią Słońce, czyli zaginań. Jak mogłoby się to odbywać? Spróbuj wyobrazić sobie ciężką kulę położoną na gumowej macie. Ta ugnie się pod jej ciężarem, a jeśli jeszcze nasmarujesz matę mydłem, wszystko, co będzie po niej chodziło, na przykład mrówka, i znajdzie się na jej wygiętej części, ześlizgnie się w kierunku kuli. Mrówka będzie odczuwała to oddziaływanie tak samo jak grawitację.

Mam nadzieję, że gdyby wszystkie gwiazdy i planety leżały na posmarowanej mydłem gumie, z pewnością byśmy to już zauważyli. Tak więc w rzeczywistości tkanina wszechświata nie może być płaską gumową matą. Ale może mieć niewidzialny trzeci, a nawet czwarty wymiar. Z czegokolwiek ta struktura byłaby zrobiona, dlaczego nie mielibyśmy sobie wyobrazić, że zakrzywia się wokół znajdującej się w niej materii? Nie tylko na płaszczyźnie, ale we wszystkich kierunkach, tak jak zakrzywia się woda wokół zanurzonej w oceanie kuli.

Przez chwilę poważnie potraktujmy tę koncepcję. W rozważanym przypadku grawitacja byłaby jedynie rezultatem owego wygięcia. Czyli jeśli coś spada, to nie dlatego, że jest ciągnięte w dół przez jakąś siłę, lecz dlatego, że ześlizguje się po niewidocznym zakrzywieniu powstałym w strukturze wszechświata. I dzieje

się tak aż do momentu, gdy taki obiekt uderzy w jakieś podłoże, które zatrzyma jego dalsze spadanie.

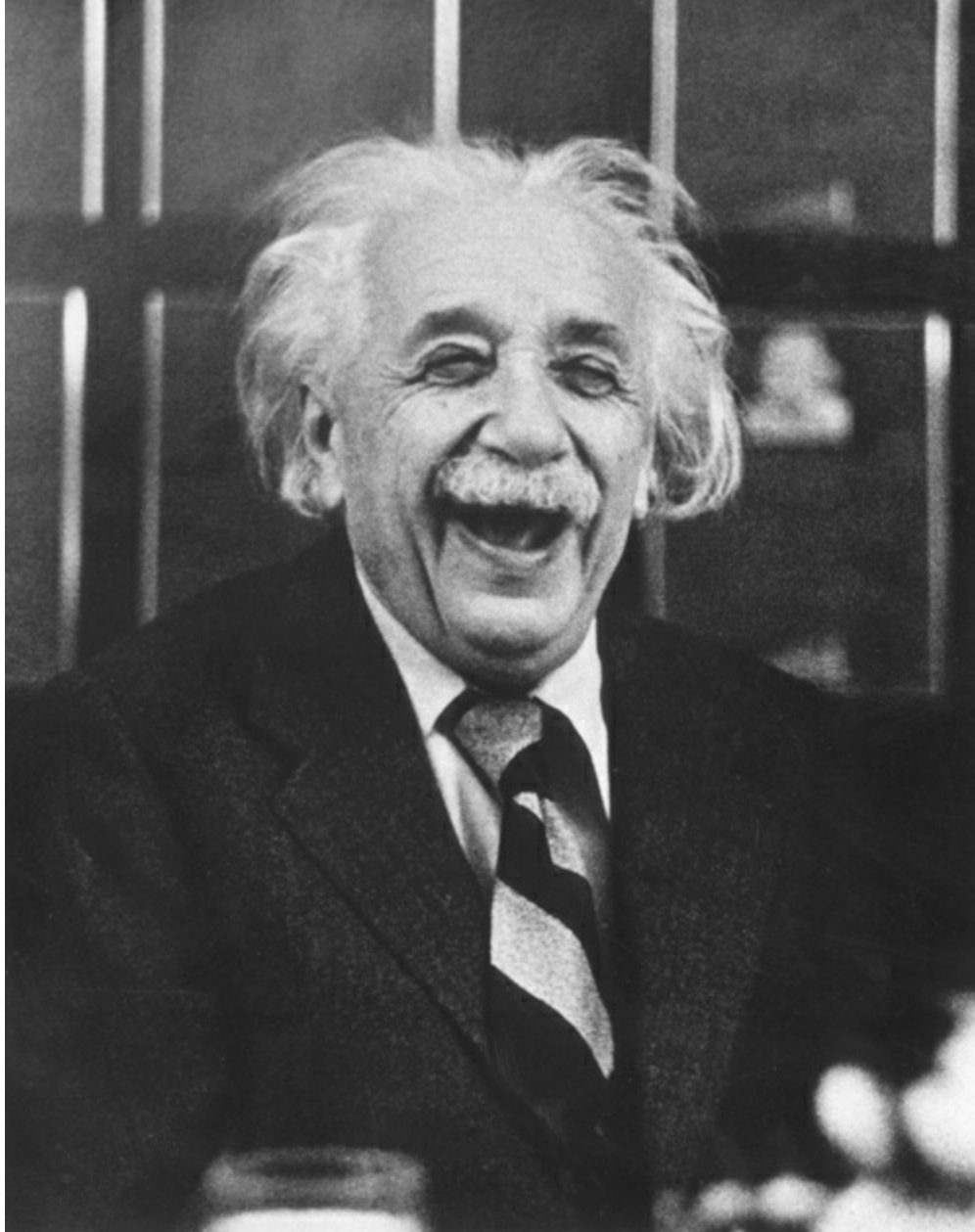
Szalony pomysł, to prawda, lecz czemu nie dać mu szansy? Jak więc w takim wszechświecie mogłyby się poruszać różne obiekty?

Dla wszystkich planet, z wyjątkiem Merkurego, obliczenia wykonane przy użyciu teorii „zakrzywienia” dają dokładnie takie same wyniki jak równanie Newtona. To zarazem pokrzepiające i ekscytujące. No ale co w takim razie dzieje się z Merkurym?

Człowiek, który wpadł na szalony pomysł „zakrzywienia”, ustalił, że w opisywanym przez niego wszechświecie orbita Merkurego, przypominająca spłaszczony okrąg, nie będzie miała kształtu zgodnego z obliczeniami Newtona. Jaka to będzie różnica? Po upływie stu lat różnica kątowa wyniesie jedną pięćsetną sekundy widzianej przez nas na tarczy zegarka. Niewiarygodne! Przez ponad 150 lat po śmierci Newtona nikt nie potrafił tego wykryć. Człowiek, o którym mówimy, dokonał tego – i miał słusność. Grawitacja wreszcie przestała być tajemnicą. Okazała się zakrzywieniem struktury wszechświata spowodowanym przez znajdujące się w niej obiekty. Nie zauważył tego ani Newton, ani nikt inny, a my wciąż staramy się pojąć wszystkie konsekwencje, jakie niesie z sobą ta nowa koncepcja.

Stephen Hawking często mówił: „Trudno porównywać radość z nowego odkrycia do przyjemności z seksu, ale na pewno trwa ona dłużej”. Rzut oka na zdjęcie człowieka, który rozwiązał problem, jaki mieliśmy z Merkurym, chyba nas o tym przekonuje.

Ten człowiek to Albert Einstein, a przedstawiona przed chwilą teoria, łącząca materię i lokalną geometrię wszechświata w teorię grawitacji, nosi nazwę *ogólnej teorii względności*.



Teoria została opublikowana przed stuleciem, w 1915 roku, ale naukowcy potrzebowali trochę czasu, aby zdać sobie sprawę, że Einstein przypadkowo zrewolucjonizował nasze wyobrażenie o wszystkim. Wbrew wcześniejszym przekonaniom uczonego ten stwierdził, że nasz wszechświat nie tylko ma kształt, ale także jest dynamiczny, czyli zdolny do zmiany w czasie. Razem z poruszającymi się planetami, gwiazdami i wszystkim innym przemieszczają się też zakrzywienia tworzone przez wszystkie te obiekty w strukturze wszechświata.

A to, co sprawdza się w lokalnej skali, równie dobrze może okazać się prawdziwe dla całego wszechświata. Inaczej mówiąc, Einstein odkrył, choć sam w to do końca nie wierzył, że wszechświat może się zmieniać w miarę upływu czasu, czyli że może istnieć jego przyszłość. A jeśli coś ma przyszłość, to musi też mieć przeszłość, historię i być może nawet początek.

Przed Einsteinem rozumiało się samo przez się, że nasz wszechświat zawsze po prostu był. Teraz już wiemy, że kiedyś nie istniał, a przynajmniej nie w postaci, w jakiej obecnie go znamy. I wiemy to od stu lat. Zatem z perspektywy wiedzy wszechświat, w którym żyjemy – nasz wszechświat – jest stulatkiem.

WARSTWY PRZESZŁOŚCI

Podróż przez znany współcześnie wszechświat, czyli taka, jaką odbyłeś w pierwszej części tej książki, przypomina trochę spacer po lesie na twojej tropikalnej wyspie, gdzie oszłamia cię piękno rosnących na niej drzew. Po przechadzce mógłbyś wrócić do swojej willi, zaprosić przyjaciół na drinka i opowiadać im, jak wspaniale jest na zewnątrz, jak przyjemnie się oddycha świeżym oceanicznym powietrzem. Te ogólniki nie zaspokoilyby pewnie ciekawości twoich przyjaciół. Możesz spodziewać się pytań, dlaczego drzewa rosną, dlaczego ich liście są zielone i jak to się dzieje, że te wszystkie rośliny wyglądają tak, a nie inaczej...

Jeśli więc wszechświat jest naszym lasem, to czego chcielibyśmy się o nim dowiedzieć? Jakie pytania po twoim powrocie z podróży powinni zadawać przyjaciele, zamiast rysować palcem kółko na czole? Czy wszechświat wystarczy oglądać, czy też trzeba w nim jeszcze coś zrozumieć? A tak na serio: czy faktycznie da się podróżować w taki sposób, jak to robiłeś?

Odpowiedź na to ostatnie pytanie brzmi: nie w postaci cielesnej, nawet jeśli znajdziemy się na statku kosmicznym. Zgodnie z naszym dzisiejszym stanem wiedzy jesteśmy w stanie podróżować w czasie i przestrzeni w taki właśnie sposób jedynie za pomocą wyobraźni. Nic, co niesie jakikolwiek rodzaj informacji, nie może poruszać się z prędkością większą od prędkości światła. Tak więc w rzeczywistości twój umysł leciał przez trójwymiarowy obraz znanego nam obecnie wszechświata – jego rekonstrukcję otrzymaną w wyniku połączenia wszystkich zdjęć wykonanych przez wszystkie teleskopy kiedykolwiek

zbudowane na Ziemi. Możesz ripostować, że nie był to nieruchomy obraz, że widziałeś poruszające się obiekty... W porządku. Powiedzmy, że ten obraz był prawie nieruchomy. Co można z tym fantem zrobić? Czy istnieje jakieś prawo regulujące ewolucję wszystkiego?

Czy pamiętasz, jak twoja znajoma przez całą noc po twoim powrocie z bezcielesnej podróży czuwała przy łóżku, a potem poszła po śniadanie? Chociaż jej już nie widziałeś, intuicja podpowiadała ci, że ona jest gdzieś na zewnątrz pomieszczenia. Nie zacząłeś sobie przecież wyobrażać, że zamieniła się w obłok i przeniosła w przeszłość, aby polować na dinozaury i zdobyć dla ciebie kawałek mięsa. Zgoda, to byłoby całkiem fajne, ale się po prostu nie zdarzy. Podstawową przyczynę takiego stanu rzeczy bardzo trudno określić i udowodnić. Chcąc zgłębić tajemnice wszechświata, musimy jednak przyjąć kilka założeń. Pierwsze założenie, czy też postulat, brzmi: w jakiś sposób możemy zrozumieć naturę, nawet jeśli jest to poza zasięgiem naszych zmysłów. Aby to osiągnąć, powinniśmy od teraz założyć, że w analogicznych warunkach natura przestrzega takich samych praw. I dzieje się tak zawsze: w czasie i przestrzeni, tutaj i gdzieś tam daleko, w przeszłości, teraźniejszości i przyszłości, niezależnie od tego, czy jesteśmy w stanie to dostrzec, czy nie, oraz od tego, czy znamy te prawa, czy też nie. Postulat ten nazwiemy **pierwszą zasadą kosmologiczną**. Użyłem boldu, bo to założenie jest bardzo ważne. Gdybyśmy go nie przyjęli, utknęlibyśmy w martwym punkcie i nie moglibyśmy nic powiedzieć o tym, co się dzieje w miejscach, których w tej chwili nie widzimy albo które są od nas za bardzo oddalone, czy też o tym, co odbywało się w zbyt odległej przeszłości. Bez tego założenia równie dobrze moglibyśmy uznać, że nasza znajoma przeniosła się w czasie, aby zapolować na smakowitego dinozaura.

Wiele przesłanek faktycznie wskazuje, że pierwsza zasada kosmologiczna jest prawdziwa, przynajmniej we wszechświecie, który możemy obserwować przez nasze teleskopy.

Zacznijmy od Słońca.

Wiemy już, co emituje: jakie cząstki, światło o jakiej częstotliwości, jakiego rodzaju energię. Wykrywamy je, gdy docierają na Ziemię. A jak sprawa wygląda z innymi odległymi gwiazdami? Czy świecą dzięki takiemu samemu rodzajowi reakcji termojądrowej, czy też funkcjonują zupełnie inaczej? Czy przypominają płonące polano, czy też są zrobione, tak jak Słońce, z plazmy? Nie mamy do dyspozycji wielu narzędzi, żeby móc to stwierdzić. Tak naprawdę mamy tylko jedno: światło docierające do nas z tych gwiazd. Właśnie w nim kryje się wiele ich tajemnic. Udało nam się odkryć jedną z nich: prawa fizyki wszędzie są jednakowe. Skoro więc światło jest kluczem do zrozumienia kosmosu, przyjrzyjmy się, czym ono jest.

Światło, czyli promieniowanie elektromagnetyczne, może być traktowane dwojako: i jak cząstka (*foton*), i jak fala. Później przekonasz się, że oba te ujęcia są właściwe i dopiero potraktowane komplementarnie pozwalają zrozumieć, jak działa nasz świat. Na razie wystarczy, że światło potraktujemy jak falę.

Aby opisać fale na oceanie, musimy określić dwie ich cechy: wysokość oraz odległość między dwoma kolejnymi grzbietami fal. Kwestia wysokości fali jest oczywista, nie będziemy przecież jednakowo reagować na zbliżającego się do nas 50-metrowego kolosa i na 2-milimetrowego mikrusa. Ze światłem jest tak samo – z wysokością fali świetlnej wiąże się coś, co nazywamy *natężeniem światła*.

Podobnie wygląda sytuacja z drugą cechą morskich fal. Niektóre grzbiety fal są odległe od siebie o setki metrów, inne znajdują się bardzo blisko siebie. Odległość między nimi nazywamy, zresztą dość adekwatnie, *długością fali*. Im większa jest ta długość, tym mniej fal dociera do nas w określonym odcinku czasu, a z liczbą tą wiąże się *częstotliwość* fali. Intuicyjnie czujemy, że im mniejsza długość fali (lub im większa częstotliwość), tym większa jest ilość niesionej przez nią energii. Wyobraź sobie siebie stojącego za zaporą: uderzająca w nią raz na miesiąc pięciometrowa fala nie będzie dla ciebie powodem do

niepokoję, co innego, gdy taka fala będzie uderzać 10 razy na sekundę. Analogicznie jest ze światłem: im mniejsza długość (lub większa częstotliwość) fali świetlnej, tym więcej energii ona niesie.

Wbrew temu, co sądzili nasi przodkowie, oczy odbierają światło, a nie są jego źródłem. I są zbudowane w taki sposób, aby mogły wykrywać wszystkie istniejące rodzaje światła, niezależnie od jego natężenia czy długości fali. Zbyt silne światło po prostu zniszczy siatkówkę twojego oka, oślepiając cię w kilka sekund. Może do tego dojść, gdy wpatrujesz się w Słońce, w promienie niektórych rodzajów laserów albo w zbyt intensywne źródło światła. Jesteśmy w stanie dostrzec tylko te fale świetlne, które nie mają zbyt dużego lub zbyt małego natężenia.

Ograniczenia związane z długością fali są bardziej subtelne. Przez całe tysiąclecia ewolucji naszych przodków (również tych, którzy żyli na długo przed pojawieniem się człokształtnych) ich organy służące do wykrywania światła przystosowywały się do widzenia tego, co było im potrzebne, by przetrwać. Możliwość dostrzeżenia owocu, zauważenia obecności tygrysa szablozębnego czy widzenia światła barwy zielonej, czerwonej bądź żółtej była dla naszych przodków ważniejsza od zdolności wykrycia promieniowania rentgenowskiego emitowanego przez spadające gwiazdy znajdujące się w pobliżu czarnych dziur. Krótko mówiąc, nasze oczy przystosowały się do widzenia tych rodzajów światła, które były nam najbardziej potrzebne w życiu codziennym. Gdybyśmy byli zdolni wykrywać tylko promieniowanie rentgenowskie, już dawno byśmy wymarli.

Wskutek ewolucyjnych uwarunkowań nasze oczy mogą dzisiaj zobaczyć niewiele naturalnych rodzajów światła. Ale wszechświat wcale się tym nie przejmuje. Pełno w nim każdego rodzaju światła. To, które widzimy, słusznie nazwaliśmy *światłem widzialnym*, odrębne nazwy nadając poszczególnym jego rodzajom – barwom. Rozróżnienie między jedną barwą a drugą może czasem

wydawać się dyskusyjne, ale w istocie to kwestia bardzo precyzyjnych definicji matematycznych opartych na odległości, czyli długości fali świetlnej.

Oczy niektórych gatunków zwierząt ewoluowały w inny sposób niż nasze, dlatego zwierzęta te potrafią zobaczyć rodzaje promieniowania elektromagnetycznego spoza widzialnego dla nas zakresu. Na przykład węże mogą widzieć w podczerwieni, a niektóre gatunki ptaków – w ultrafiolecie. Tych obu rodzajów promieniowania elektromagnetycznego ludzie nie są w stanie zobaczyć^[17]. Żaden gatunek zwierzęcia nie ma jednak przyrządów mogących wykryć wszystkie rodzaje promieniowania. Z wyjątkiem człowieka. I całkiem dobrze nam się to już udaje.

Przedstawmy różne rodzaje otaczającego nas promieniowania elektromagnetycznego, zaczynając od tego, które ma najmniej energii: fale radiowe, mikrofales, podczerwień, światło widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie oraz promieniowanie gamma. Fale radiowe cechują się dużą długością fali, wynoszącą od 1 metra do 100 tysięcy kilometrów, niekiedy nawet więcej, podczas gdy długość fali promieniowania gamma to mniej niż jedna miliardowa milimetra. Ale jedne i drugie są promieniowaniem elektromagnetycznym.

Wszystkie dotychczasowe teleskopy zostały skonstruowane tak, aby mogły zbierać to promieniowanie, niezależnie od jego pochodzenia i natężenia. Daje nam to możliwość spojrzenia na wszechświat za pomocą różnych, dostępnych obecnie rozwiązań technicznych. Gdy wpatrujesz się w niebo, czy to gołym okiem, czy też używając teleskopu, łapiesz i przetwarzasz fale świetlne, które zostały wyemitowane gdzieś w przestrzeni kosmicznej przez odległe źródło. Jak już wcześniej wspominałem, w pierwszej części tej książki podróżowałeś przez trójwymiarową rekonstrukcję wszystkich kiedykolwiek zarejestrowanych i udokumentowanych zdjęć. Ponieważ prędkość światła jest ograniczona, być może nie zwróciłeś wtedy uwagi na to, że była to nie tylko podróż w przestrzeń

kosmiczną, ale także podróż w przeszłość.

Niewykluczone, że któryś z twoich przyjaciół zada ci interesujące, choć nieco smutne pytanie: czy to prawda, że gwiazd, które widzimy teraz na niebie, tak naprawdę już nie ma.

Czy tak jest w istocie? Czy żadna z tych gwiazd już nie istnieje?

No nie, one nie zniknęły. A przynajmniej nie wszystkie.

Sprawdźmy to.

Przypuśćmy, że twoja daleka krewna, cioteczna babcia, która uwielbia obdarowywać ludzi brzydkimi wazonami z okazji świąt Bożego Narodzenia, mieszka w Sydney w Australii. Ponieważ jest nieco staroświecka, nie ma zwyczaju narzucać się rodzinie ze swoimi sprawami i nigdy nikogo nie informuje, co się u niej dzieje. Wyjątkiem jest dzień jej urodzin, które przypadają w styczniu. Tego szczególnego dnia wysłała wszystkim zdjęcie, na którym widać, jak stoi przy skrzynce pocztowej. Na odwrocie widnieje zawsze taki sam tekst:

Dziś są moje urodziny. Bardzo chciałabym usłyszeć twój głos. Całusy od cioci.

PS Mam nadzieję, że podoba ci się wazon, który ci wysłałam.

Problem nie tkwi w tym, że właśnie tego dnia, mimo złożonej sobie obietnicy, nie pamiętasz o swojej krewnej, ale w tym, że w chwili gdy dostajesz zdjęcie, tamto „dziś” należy do przeszłości. Być może nawet styczeń już się skończył. I jak zwykle masz nadzieję, że twoja krewna przez cały ten czas nie siedziała przy aparacie, w nadziei że zadzwonisz...

W każdym razie w całej tej historii istotne jest to, że w chwili gdy oglądasz zdjęcie, które zostało zrobione tuż przed wysłaniem listu, to, co na nim widzisz, nijak się ma do obecnego wyglądu twojej krewnej. Równie dobrze może ona już nie żyć, podobnie jak niektóre gwiazdy widziane dzisiaj przez nas na niebie. Niech cię to na razie nie martwi, twoja cioteczna babcia cieszy się dobrym

zdrowiem. Dostaniesz jeszcze kilka wazonów i nie raz będziesz miał okazję, by namówić ją na wysyłanie e-maili zamiast listów. Z pewnością dotrą szybciej. Ale nie w tym samym momencie. To w ogóle nie jest możliwe. Gdyby twoja krewna skorzystała z internetu, zdjęcie dotarłoby do ciebie ułamek sekundy po wysłaniu. A wtedy teoretycznie też mogłaby już nie żyć.

Nie mam zamiaru cię straszyć, że każdy, kogo znasz, może już w tej chwili być martwy. Chcę raczej pokazać, w jaki sposób odbywa się to w kosmosie, gdzie najszybsza firma przewozowa używa światła jako środka transportu. Ale i światło nie przemieszcza się momentalnie, choć jest niezwykle szybkie. W przestrzeni kosmicznej osiąga bezkonkurencyjną prędkość 299 792 458 kilometrów na sekundę. W czasie, w jakim przeczytasz to zdanie, światło okrąży Ziemię 26 razy. Biegnie więc bardzo szybko, szybciej niż wszystko inne, lecz biorąc pod uwagę międzygalaktyczne odległości, zadziwiająco wolno.

Światło przenosi obraz świecącej gwiazdy. Przemieszcza się on w przestrzeni kosmicznej z prędkością światła i może minąć bardzo dużo czasu, zanim do nas dotrze. Oznacza to więc, że faktycznie te najdalsze widziane przez nas gwiazdy mogą już nie istnieć. Nie dotyczy to jednak wszystkich gwiazd. Słońce na przykład istnieje. Ściśle mówiąc, w tej chwili nikt tego nie wie, wiadomo tylko, że 8 minut i 20 sekund temu nie było martwe.

Jak już wiesz z pierwszej części książki, akurat tyle czasu zajmuje światłu przebycie 150 milionów kilometrów, które dzielą nas od Słońca. Oznacza to, że gdyby nasza gwiazda w tej chwili przestała świecić, to dowiedzielibyśmy się o tym (dość poważnym) problemie po 8 minutach i 20 sekundach. Znaczy to również, że z naszej planety widzimy Słońce takie, jakie było właśnie tyle czasu temu. A nigdy takie, jakie jest w momencie, w którym je obserwujemy. Nie jest już ono także w miejscu, w którym je widzimy. Przez te 8 minut i 20 sekund, jakie zajmuje światłu słonecznemu dotarcie do ciebie, nasza gwiazda przemieści się po orbicie wokół centrum naszej galaktyki o 117 300 kilometrów.

Najbardziej odległe od nas światło, jakie dotąd zdołaliśmy wykryć w naszym wszechświecie, przebyło aż 13,8 miliarda lat, zanim dotarło do naszych teleskopów prosto z miejsca, w którym wszechświat stał się widzialny.

Olbrzymie gwiazdy, które zaczęły świecić kilkaset milionów lat później, z pewnością już nie istnieją, mimo że ich światło właśnie do nas dociera. Dzięki czemu zresztą je widzimy.

To samo można powiedzieć o wielu innych gwiazdach znajdujących się pomiędzy Słońcem a odległymi krańcami wszechświata.

Na przykład 24 stycznia 2014 roku astronomowie zaobserwowali na nocnym niebie wybuch gwiazdy w odległej galaktyce. Zobaczyli go na żywo, gdy światło pochodzące z tej eksplozji dotarło do ich teleskopu. Dla nas gwiazda ta przestała istnieć właśnie tego dnia, lecz każda istota żyjąca w jej pobliżu byłaby świadkiem tego wybuchu wtedy, gdy do niego doszło, czyli 12 milionów lat temu.

Nikt nie jest w stanie dotrzeć na drugi koniec wszechświata. Nikt nie może się tam momentalnie teleportować. Koniec końców, badanie nocnego nieba przypomina czytanie kart pocztowych wysłanych z różnych miejsc i epok w dziejach naszego wszechświata. Wszystkie te „pocztówki” łączymy razem, a dzięki temu, że są one odpowiednio otempłowane, możemy zrekonstruować kawałek tej przeszłości, tak jak ją widzimy z Ziemi.

Właśnie przez taki fragment dziejów naszego wszechświata podróżowałeś w pierwszej części książki.

Jeśli chodzi o zbieranie informacji o przestrzeni kosmicznej, to aż do września 2015 roku nasze możliwości techniczne nie pozostawiały nam wielkiego wyboru: musieliśmy do tego celu używać światła. Ale to się zmieniło. Mamy do dyspozycji nowe narzędzie, które z powodzeniem wykryło sygnał do tej pory dla nas nieuchwytny. Sygnał, którego nośnikiem nie jest światło. Jedenastego lutego

2016 roku ogłoszono, że w strukturze naszego wszechświata zostały wykryte zmarszczki, które zmierzono i zbadano. Nie są one elementem światła. Jak się wkrótce przekonasz, występują w czasie i przestrzeni, które są przez nie ściskane i rozciągane, gdy zmarszczki te płyną z prędkością światła przez wszystko, co napotkają na swojej drodze. Detektory tych wyjątkowych fal stały się dla nas nowym oknem umożliwiającym badanie istniejącej rzeczywistości: możemy teraz wykryć to, czego nie mogliśmy dostrzec za pomocą światła. Podpowiem ci, co takiego mogłoby to być: czarne dziury i Wielki Wybuch.

Nie wiemy jednak jeszcze, co zobaczymy tym nowym okiem. Zanim dowiesz się więcej o tych falach i ich niezwykle potężnych źródłach, sprawdźmy, co już się wyjaśniło dzięki wyłapywaniu światła docierającego do nas z przestrzeni kosmicznej.

[17] Ostatnie badania wskazują, że nasze oczy mogą w rzeczywistości dostrzec niektóre – normalnie niewidoczne – rodzaje promieniowania podczerwonego. Nie jest jednak jasne, co z tym robi nasz mózg.

EKSPANSJA

Powtórzmy jeszcze raz: całą naszą dzisiejszą wiedzę o dziejach wszechświata zawdzięczamy docierającemu do nas światłu.

Aby ją odszyfrować, a następnie zrozumieć, musimy zorientować się, jakie dokładnie informacje niesie z sobą to światło oraz w jaki sposób wchodzi w interakcję z materią i jej elementami składowymi, czyli atomami, które napotyka na swojej drodze w przestrzeni kosmicznej.

W dalszej części książki dotrzesz aż do samego serca atomów, lecz na razie nie musisz wiedzieć o nich wszystkiego. Załóżmy, że atomy składają się po prostu z okrągłych jąder otoczonych przez krążące wokół nich elektrony, które nie poruszają się chaotycznie, ale tworzą powłoki.

Aż kusi, żeby wyobrazić sobie elektrony jako planety krążące wokół centralnej gwiazdy, lecz byłoby to mylące – trajektorie elektronów poruszających się wokół jądra atomowego celowo nazywamy *orbitalami*, aby odróżnić je od orbit planetarnych.

Jeśli nadamy planecie odpowiednią prędkość, to teoretycznie może ona krążyć wokół gwiazdy po dowolnej orbicie – choć z pewnością nie dzieje się tak z elektronami. W przeciwieństwie do orbit planetarnych orbitale elektronowe oddzielone są od siebie „strefami zakazanymi”, w których elektrony po prostu nie mają prawa się znaleźć. Co więcej, cząstki te mogą z łatwością – nawet samoistnie – przeskakiwać przez te strefy z jednego orbitalu do drugiego.

Takie skoki, co niezwykle istotne, nie są jednak darmowe.

Aby przemieścić się z jednego orbitalu do drugiego, elektrony muszą albo zaabsorbować, albo wyemitować pewną ilość energii.

Tak się składa, że im dalej od jądra atomowego znajduje się elektron, tym większą ma energię, dlatego aby przeskoczyć na bardziej odległy orbital, musi zaabsorbować pewną jej ilość. To jak z balonem na gorące powietrze, który potrzebuje ciepła płomienia, by unieść się do góry.

Aby przemieścić się bliżej jądra atomowego, elektron musi natomiast pozbyć się pewnej ilości posiadanej energii – podobnie jak balon, z którego wypuszcza się gorące powietrze, aby powrócić na ziemię.

Lecz skąd bierze się ta energia?

No cóż, tu na scenie pojawia się światło: elektrony mogą skakać z jednego orbitalu na drugi, absorbując albo emitując pewną ilość światła. Lecz nie jest to dowolny rodzaj światła.

Zmiana orbitalu na inny wymaga od elektronów przeskoku przez strefę dla nich zakazaną, oddzielającą te orbitale od siebie. Taki wyczyn wiąże się z wchłonięciem lub oddaniem określonej ilości energii odpowiadającej określonemu promieniowi świetlnemu. Gdy na elektrony padnie światło o zbyt małej ilości energii, nie zdołają wykonać skoku i pozostaną na swoich miejscach. Dla odmiany, jeśli elektrony zostaną oświetlone promieniem świetlnym posiadającym zbyt dużo energii, to przeskoczą one przez kilka takich stref zakazanych i mogą nawet zostać wyrzucone ze swojego atomu.

Ludzkość wie o tym od początku ubiegłego stulecia.

Na pozór mogłoby się wydawać, że to żadne przełomowe odkrycie, ale jest inaczej.

Właśnie za to odkrycie, dokonane w odniesieniu do atomów, z których zbudowane są różne metale, Einstein (on naprawdę był wszędobylski) otrzymał w 1921 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki^[18].

*

Po całych dekadach eksperymentów (i rozważań) naukowcy zrozumieli, że energia, jakiej elektron potrzebuje, aby przemieścić się z jednego orbitalu na drugi, jest ściśle określona dla każdego rodzaju atomu. To dla nas wyjątkowo pomyślne, ponieważ różne ilości energii odpowiadają różnym źródłom światła, a za pomocą naszych teleskopów możemy zarejestrować światło dochodzące do nas praktycznie z każdego punktu.

Oznacza to, że naukowcy mogą, nie ruszając się z miejsca, ustalić, z czego zbudowane są takie odległe obiekty, jak gwiazdy czy chmury gazu, a nawet atmosfera planet.

Oto, w jaki sposób się to odbywa.

Wyobraź sobie doskonałe źródło światła, które emituje we wszystkich kierunkach fale o każdej możliwej długości – od fal mających najmniej energii (czyli mikrofal) do tych, które mają jej najwięcej (czyli promieni gamma). Takie źródło tworzy jaskrawo świecącą się sferę. Jeśli w pewnej odległości od niego znajduje się jakiś atom, to jego osłepione światłem elektrony mogą w ataku szaleństwa pochłonąć go tyle, ile potrzebują do przeskoczenia na orbital o większej energii. Gdy tego dokonają, zostają wzbudzone.

Wzbudzone?

Tak, *wzbudzone*. Jest to naukowy termin określający opisane zjawisko.

Zachowują się one trochę tak jak dzieci, które na przyjęciu dostaną słodycze. Nietrudno się później zorientować, jakie słodycze lubią najbardziej (wystarczy zobaczyć, których nie ruszyły). Tak samo w wypadku atomu łatwo możemy określić, jakie rodzaje światła pochłonął. Wystarczy sprawdzić, jakich rodzajów brakuje w jego cieniu. Niewykorzystane przez atom światło swobodnie przez niego przechodzi, a my bez trudu możemy określić długości fal tego światła.

Z kolei brakujące długości fal świetlnych będą widoczne jako ciemne prążki w kompletnej zwykle tęczy barw. Taki obraz nazywamy *widmem*^[19], a ciemne plamy *liniami absorpcyjnymi*.

Na podstawie brakujących w widmie długości fal świetlnych naukowcy potrafią określić, jakie atomy znajdują się na drodze światła docierającego do nas z konkretnego źródła.

Wykorzystując światło, możemy zatem stwierdzić, jaki rodzaj materii znajduje się gdzieś daleko – i wcale nie musimy być na miejscu.

Co więcej, wszystkie dotychczas zbudowane teleskopy optyczne pokazują, że gwiazdy we wszechświecie powstały z tego samego budulca, co Słońce, Ziemia i my sami. Każdy obiekt kosmiczny widoczny na nocnym niebie składa się z takich samych atomów, z jakich składamy się my.

Gdyby było inaczej, dzięki teleskopom na pewno byśmy się o tym dowiedzieli.

Możemy zatem założyć, że prawa rządzące naturą są wszędzie takie same.

Właśnie dlatego pierwsza zasada kosmologiczna jest uznawana za uniwersalną.

Co za ulga!

To tak dobra wiadomość, że znajdując się w przestrzeni kosmicznej, postanawiasz bez zwłoki spojrzeć jeszcze raz na odległe galaktyki, aby się zorientować, z czego są zrobione. Czyż nie wyglądają ładnie ze swoimi pięknymi widmami pełnymi linii odpowiadających wodorowi, helowi i...

Ale zaraz.

Chwileczkę.

Coś tu się nie zgadza...

Patrząc na te wszystkie widma, zdajesz sobie sprawę, że w świetle pochodzącym z odległych gwiazd są brakujące linie, lecz wcale nie tam, gdzie powinny być...

Podczas gdy elektrony niektórych pierwiastków na Ziemi są wzbudzone przez światło niebieskie, to gdzieś tam, w odległych galaktykach, te same elektrony w atomach tych samych pierwiastków wydają się preferować bardziej zielonkawe odcienie światła, aby przeskoczyć z jednego orbitalu na drugi...

Inne atomy, które na naszej planecie są spragnione żółtego światła, gdzie indziej wolą światło o bardziej pomarańczowej barwie.

Z kolei tutejsi wielbiciel oranzu gdzie indziej preferują czerwień.

Dlaczego? Jak to w ogóle jest możliwe?

Czy wszystkie barwy widma w przestrzeni kosmicznej są przesunięte?

A może to my popełniliśmy jakiś błąd?

Ponownie przyglądasz się odległym źródłom światła. Nie ma żadnych wątpliwości. Wszystkie barwy są przesunięte w kierunku czerwieni.

Co gorsza, im dalej leży źródło światła, tym to przesunięcie jest większe...

Kurczę. To było zbyt proste.

Czyżby w różnych rejonach wszechświata obowiązywały jednak inne prawa natury? Czy gdybyś mógł pospacerować po jakiejś planecie podobnej do Ziemi, która krąży po orbicie gwiazdy przypominającej Słońce, to niebo, oceany i szafir miałyby tam zielony kolor, rośliny i szmaragd byłyby żółte, a cytryny czerwone?

Otóż nie.

Gdybyś tam dotarł, ujrzałbyś świat podobny do naszego: cytryny byłyby tam żółte, a niebo niebieskie. Przyczyną zaobserwowanego przez nas przesunięcia barw nie jest odmienność praw natury w innych zakątkach wszechświata. Sprawa ma znacznie głębszy wymiar. Wywraca do góry nogami wszystko, w co ludzkość wierzyła przez ponad dwa tysiące lat.

Czy stroiłeś kiedyś gitarę albo jakiś inny instrument strunowy? Dźwięk wydawany przez struny zmienia się, gdy kręcimy stroikami. Im bardziej struna

jest naciągnięta, tym wyższy jest dźwięk, prawda?

No właśnie, na niebie obserwowałeś podobne zjawisko, z tym że zamiast dźwięku było światło, a struna nie była struną. W przestrzeni kosmicznej światło podróżuje, czy też rozchodzi się, nie po strunie, lecz po samej strukturze naszego wszechświata.

Aby wyjaśnić wykryte dopiero co przez ciebie przesunięcie barw, musimy tę strukturę wziąć pod uwagę.

Dlaczego?

Przesunięcie dotyczy w równym stopniu wszystkich barw, więc zawiniło tu nie światło, lecz raczej przestrzeń, w której się ono przemieszcza.

Wybierz jedną strunę i naciągnij ją za pomocą stroika. Wydawany przez nią później dźwięk jest wyższy nie dlatego, że coś się z nim stało, ale dlatego że struna została naciągnięta. A jest ona naciągnięta w ten sam sposób dla wszystkich tonów. Teraz wyobraź sobie, że mógłbyś naciągnąć strukturę naszego wszechświata podobnie jak strunę gitary. W takiej sytuacji wszystkie długości rozchodzących się fal świetlnych natychmiast staną się większe. Dlaczego? Ponieważ światło może być traktowane jak fala, a takie rozciągnięcie struktury wszechświata zwiększyłoby odległość pomiędzy dwoma kolejnymi grzbietami fal, czyli długość fali. Barwa niebieska stałaby się zieloną, zielona żółtą, żółta czerwoną i tak dalej.

Dla widma oznacza to, że barwy wszechświata zostają przesunięte w kierunku jego czerwonej części, czyli następuje ich *przesunięcie ku czerwieni*.

Wyobraź sobie teraz, że struktury wszechświata nie rozciągamy jednorazowo, lecz że została ona w jakiś sposób rozciągnięta na stałe. Czyli im dłuższą drogę przebędzie światło zmierzające na Ziemię, tym bardziej będzie przesunięte ku czerwieni. W takim wypadku niebieski promień będzie się stopniowo zmieniać w zielony, następnie w żółty, czerwony, aż wreszcie w niewidzialną dla nas podczerwień i mikrofałę... Jeśli więc wiedziałbyś, jak zmienione będą barwy

światła emitowanego przez odległą gwiazdę w momencie, w którym dotrze ono na Ziemię, umiałbyś określić, jak daleko od nas znajduje się ta gwiazda.

Czy rzeczywiście tak jest? Czy naprawdę struktura wszechświata zachowuje się w ten sposób?

Tak. Właśnie takie zjawisko widziałeś na niebie.

Ale co to znaczy w praktyce?

W praktyce oznacza to, że rzeczywista odległość między odległymi galaktykami a nami cały czas się zwiększa, przestrzeń kosmiczna rozciąga się, tym samym rosną odległości pomiędzy galaktykami. Tak więc nasz wszechświat cały czas się zmienia.

Zjawisko to potwierdziły niezliczone eksperymenty i dlatego naukowcy przyjęli je do wiadomości. Naprawdę żyjemy w zmieniającym się i rosnącym wszechświecie.

Einsteinowi jednak to się nie podobało, zresztą sto lat temu taka koncepcja do nikogo nie przemawiała. Dla naszych przodków, czy to laików, czy naukowców, wszechświat zawsze był taki sam. Ale oni nie mieli racji.

Żeby sprawa była jasna: to nie galaktyki się od siebie oddalają. To odległość między nimi się zwiększa. A rozciąga się kosmiczna pustka. Zjawisko to naukowcy nazwali *ekspansją wszechświata*. I wbrew temu, co można by sądzić, nie oznacza to wcale, że wszechświat rozszerza się w czymś. Oznacza to, że on rozszerza się i powiększa od wewnątrz.

Nim wysnujesz z tego wszystkiego jakieś pochopne wnioski i zaczniesz się zastanawiać, co mogłoby spowodować taką ekspansję, może sam zechcesz tę koncepcję sprawdzić. Wyobraź sobie, że jesteś niezwykle bogaty (powiedzmy, że na twoim koncie bankowym jest 100 miliardów funtów) i że masz stu przyjaciół. Bardzo interesujesz się naszym wszechświatem, więc każdemu z nich dajesz miliard dolarów, aby kupił potężny i nowoczesny teleskop. Twoi przyjaciele

powinni teraz podróżować po całym ziemskim globie i za pomocą tych teleskopów obserwować wszelkie istniejące światło dochodzące z jak największej liczby galaktyk.

Kilka miesięcy później zapraszasz ich wszystkich do swojego domu, aby zaprezentowali rezultaty swej pracy. Połowa z nich zachowała się jak prawdziwi przyjaciele (ale z ciebie szczęściarz!) i kupiła teleskop, a druga połowa zdecydowała się zatrzymać pieniądze dla siebie. To jednak bez znaczenia, bo opowieści tych pierwszych były identyczne. Dokądkolwiek się udali: do Chin, Australii, Europy, na środek Pacyfiku czy na Antarktydę, wszyscy dostrzegli na niebie to samo zjawisko. Odległe galaktyki znajdujące się dokładnie nad ich głowami miały dziwnie przesunięte kolory. Wynikało z tego, że wszystkie się od nas oddalały. A im te galaktyki były bardziej odległe, tym szybciej od nas uciekały. Wszystkie one doświadczały zjawiska ekspansji wszechświata.

Co z tym fantem zrobić?

Gdy myślisz o zjawisku ekspansji, powraca osobliwe uczucie, które ogarnęło cię pod koniec poprzedniej części książki.

Najpierw był dziwny widzialny wszechświat w kształcie sfery, w której środku się znajdowałeś, a teraz to...

Czy to może być prawda?

Jeśli wszystko i wszędzie oddala się od naszej planety, to może każda matka na naszej planecie ma rację, uważając, że jej dziecko jest pępkiem świata?

Choć dziwnie to brzmi, wydaje się, że tak.

Co za cudowna wiadomość, cóż za radosny dzień!

Jeżeli w chwili gdy to czytasz, towarzyszy ci paru przyjaciół, pora otworzyć szampana. Wszak jesteśmy wyjątkowi. A zwłaszcza ty.

Nareszcie. Potwierdzona słuszność tej koncepcji. Kopernik nie miał racji.

Powinien był słuchać swojej matki. Matki zawsze mają rację. To my wszyscy tu, na Ziemi, znajdujemy się w centrum wszechświata.

Ale zaraz, zaraz...

A co z matkami na odległych planetach, w innych galaktykach?

Czy gdyby istniały i myślały podobnie jak nasze rodzicielki, myliłyby się co do swoich dzieci?

A czy istnieje jakiś dowód, że gdzieś tam nie ma żadnych matek? Z pewnością nie.

Wbrew temu, co widziałeś, większość naukowców (o ile nie wszyscy) uważa, że nasze położenie we wszechświecie nie jest wyjątkowe. A Kopernik już 400 lat temu twierdził, że nie jesteśmy centralnym punktem Układu Słonecznego. Nie znaczy to wcale, że nie znajdujemy się w centrum widzialnego wszechświata. Bo w nim jesteśmy. Tak jak każde inne miejsce. Każde miejsce leży w centrum wszechświata, który jest z tego miejsca widoczny.

Właśnie to silne przekonanie doprowadziło naukowców do sformułowania kolejnych zasad kosmologicznych[20]. Chcąc wyobrazić sobie, co dzieje się gdzieś tam bardzo, bardzo daleko od naszej planety, naukowcy zakładają, że nigdzie we wszechświecie nie ma uprzywilejowanego miejsca – tak brzmi **druga zasada kosmologiczna**. Z kolei **trzecia zasada kosmologiczna** mówi, że jeśli jakiś obserwator podróżowałby po wszechświecie, to niezależnie od tego, jaki kierunek by obrał, ten wszechświat zawsze wyglądałby dla niego tak samo, a odległe galaktyki zawsze by się od obserwatora oddalały, podobnie jak oddalają się od nas, mieszkańców Ziemi.

Twój przyjaciele tracą już powoli nadzieję na szampana, gdy tobie znów coś przychodzi do głowy: pomyślałeś, że trzecia zasada kosmologiczna musi być błędna.

To jasne, że świat nie wygląda tak samo z miejsca, w którym czytasz tę książkę, jak choćby spod prysznic (o ile nie czytasz tych słów, biorąc prysznic).

W tym miejscu potrzebne jest uściślenie: trzecia zasada kosmologiczna nie dotyczy twojego najbliższego otoczenia, ale obowiązuje w dużej skali, o wiele, wiele większej niż galaktyczna. Mówi ona, że niezależnie od tego, w jakim kierunku patrzysz, wszechświat w bardzo dużej skali wygląda podobnie.

Hm, nadal kiepsko to brzmi. Przecież w pierwszej części książki podróżowałeś po wszechświecie. Czyż nie odwiedziłeś odległych miejsc, które wyglądały inaczej niż wszechświat widziany z Ziemi? Pokonałeś tysiące lat świetlnych, przelatując przez regiony przestrzeni kosmicznej, w których nie świeci już żadna gwiazda, czyli przez tak zwane kosmiczne Wieki Ciemne. Jak to możliwe, że wszechświat może wyglądać tak samo z naszej planety i z miejsca, gdzie w ogóle nie ma gwiazd?

No cóż, nadszedł czas, abyś zrozumiał, co to naprawdę znaczy, gdy mówię, że nie podróżowałeś przez taki wszechświat, jaki istnieje, ale przez wszechświat widziany z Ziemi.

A to niezupełnie to samo. Pamiętaj: wszechświat, który oglądasz w nocy, nie jest wszechświatem, jaki istnieje teraz. Widziany obraz odpowiada wycinkowi jego dziejów, z Ziemią w roli głównej, ponieważ to właśnie na niej żyjemy. Codziennie dostajemy pocztówki ze wszystkich zakątków wszechświata. Zgodnie z trzecią zasadą kosmologiczną hipotetyczni obcy żyjący w jakimś odległym świecie widzieliby dokładnie taki sam wszechświat jak my. Oczywiście, gdy rozpatrujemy to w większej skali, a nie w szczegółach. Oni również mieliby dostęp do wszystkich informacji docierających do nich z przeszłości i również widzieliby fragment dziejów naszego wspólnego wszechświata na swoim nocnym niebie. I też mieliby własne Wieki Ciemne oraz powierzchnię ostatniego rozproszenia. Mieliby to wszystko, mimo że ich fragment dziejów nie przecina się z naszym.

W ostatecznym rozrachunku, aby zrozumieć nasz wszechświat i otrzymać całościowy obraz, należy uwzględnić przeszłość wszystkich jego rejonów.

Historia tych leżących blisko siebie w dużym stopniu się pokrywa, ale dzieje miejsc od siebie bardzo oddalonych mogą nie mieć punktów wspólnych. Mimo wszystko miejsca te powinny być traktowane jednakowo. To właśnie w praktyce oznacza trzecia zasada kosmologiczna. Później dowiesz się więcej.

Nawiasem mówiąc, oznacza ona również, że chociaż w swoim wszechświecie nie zajmujesz jakiegoś wyjątkowego miejsca, to jednak – jak pewnie sądziła twoja matka – znajdujesz się w centrum swojego widzialnego wszechświata.

A jeśli łapiesz się na tym, że ty też zawsze tak myślałeś, pozwól sobie teraz na odrobinę radości.

Powtarzam: jesteś w centrum swojego wszechświata.

Podobnie, co może mniej cię ucieszy, twój sąsiad czy sąsiadka. Oni również znajdują się w centrum swoich widzialnych wszechświatów.

Tak jak każdy inny człowiek.

I dotyczy to wszystkiego, co istnieje.

Każdy człowiek, obiekt czy coś innego jest w centrum swojego wszechświata – wszechświata, który możemy zbadać za pomocą docierającego do nas światła. Tylko wyjątkowo zdarzają się sytuacje, kiedy widzialne wszechświaty dwóch osób dokładnie się pokrywają. Sam zgadnij, jakie sytuacje mam na myśli.

Nadszedł czas, aby dokładniej przyjrzeć się ekspansji, która rozciąga wszechświat.

Czy to naprawdę się dzieje?

Tak. Odległości pomiędzy oddalonymi od siebie galaktykami cały czas się zwiększają. Prawidłowość ta nie dotyczy jednak obiektów znajdujących się blisko siebie, gdyż lokalnie przeważa grawitacja. Galaktyki wytwarzają pole grawitacyjne, które uniemożliwia taką ekspansję zarówno w ich obrębie

(odległość między Słońcem a pobliskimi gwiazdami się nie zwiększa), jak i w pobliżu ich granic (sąsiadujące z sobą galaktyki w rzeczywistości cały czas się do siebie zbliżają). Na większych dystansach natomiast ekspansja odbywa się bez przeszkód.

To, że wszechświat się rozszerza, odkrył w 1929 roku amerykański astronom Edwin Hubble. Prawo opisujące, w jaki sposób galaktyki od nas „uciekają”, nazywamy *prawem Hubble’a*. Dzięki swemu odkryciu Hubble słusznie uznawany jest za jednego z ojców nowoczesnej kosmologii obserwacyjnej. Wspólnie z Ernstem Öpikiem stwierdził on również, że istnieją inne galaktyki, a Droga Mleczna nie jest całym wszechświatem. Gdyby te dwa odkrycia zostały dokonane obecnie, warte byłyby z pewnością Nagrody Nobla. W tamtych czasach jednak patrzeć w gwiazdy i poszukiwanie w nich jakiegoś sensu nie było uznawane za fizykę ani przez fizyków, ani przez Komitet Noblowski. Właśnie dlatego Hubble nie dostał Nagrody Nobla. Zasady jej przyznawania zostały zmienione dopiero po śmierci astronoma i od tej pory otrzymało ją wielu kosmologów. O niektórych z nich będzie mowa w tej książce.

Gdy zdasz sobie sprawę z niezwykłych konsekwencji sformułowanego przez Hubble’a prawa ekspansji – co wkrótce nastąpi – pewnie będziesz nim równie zszokowany jak niektórzy wybitni naukowcy. Po wielu przemyśleniach i wypiciu hektolitrów kawy doszli oni do wniosku, że jeśli wszystko w naszym wszechświecie się od nas oddala, to w takim razie to, co teraz jest bardzo daleko, musiało być w przeszłości bliżej nas.

No proszę!

Oto prawdziwy przełom!

Może kiedyś sam spróbujesz przeprowadzić takie rozumowanie – da ci to sporo satysfakcji. I chociaż odkrycie Hubble’a sprawia wrażenie skromnego, okazało się prawdziwą rewelacją.

Jak wcześniej wspomniałem, Einstein nie chciał w nie uwierzyć.

Dlaczego?

Jakie znaczenie ma to, że odległe galaktyki cały czas „uciekają”, a więc w przeszłości musiały znajdować się bliżej nas?

Pamiętaj: oparte na obserwacji prawo Hubble’a mówi, że to nie galaktyki się od siebie oddalają, lecz dystans pomiędzy nimi się zwiększa.

Inaczej mówiąc, to struktura wszechświata się rozszerza.

Idąc tym tropem, musimy w końcu dojść do wniosku, że cały wszechświat był kiedyś mniejszy.

Jak to możliwe?

I czy ktoś potrafi to udowodnić?

Tak. Można to zrobić, zapuszczając wzrok bardzo daleko stąd. Właśnie tam czekają na nas wiadomości z przeszłości. A to wszystko w jaskrawy sposób (choć sama jest ciemna) potwierdza ściana, którą zobaczyłeś na końcu widzialnego wszechświata. W jednym z dalszych rozdziałów znajdziesz wyjaśnienie. Przede wszystkim jednak będziesz musiał ponownie udać się w przestrzeń kosmiczną. Aby nieco lepiej zapoznać się z grawitacją.

[18] Metale emitują elektrony tylko wtedy, gdy zostaną oświetlone właściwym światłem. Zjawisko to, zwane *efektem fotoelektrycznym*, można wyjaśnić, opierając się na fakcie, który właśnie poznałeś (a więc że elektrony przemieszczają się z orbitalu na orbital – do góry albo w dół – skacząc po poziomach energetycznych), oraz opisując światło jako małe porcje energii, czyli jako cząstki. O tej właściwości światła dowiesz się więcej w dalszej części książki. A skoro już przy tym jesteśmy, pozwólcie mi dodać, że Einstein zapewne jeszcze zasłużył na co najmniej dwie Nagrody Nobla, oprócz tej, którą dostał.

[19] Mówiąc ściśle, jest to widmo *absorpcyjne*. Widmo pokazujące, jaki rodzaj światła jest emitowany przez daną substancję (a to jest właśnie przypadek naszego atomu), nosi nazwę widma *emisyjnego*.

[20] Pamiętaj: pierwsza zasada kosmologiczna mówi, że prawa natury – niezależnie od tego,

czego dotyczą – są wszędzie takie same.

GRAWITACJA I JEJ FALE

Spośród czterech oddziaływań podstawowych rządzących naszym wszechświatem grawitacja jest zapewne tym, którego jesteśmy najbardziej świadomi^[21]. Za każdym razem gdy upadasz, używasz mięśni nóg, aby powstać, lub gdy coś podnosisz, twoje ciało przypomina sobie o istnieniu grawitacji.

Grawitacja ma wpływ na wszystko, co istnieje.

Ale również wszystko jest źródłem grawitacji. Także ty i te kryształowe wazon, które dostajesz na każde Boże Narodzenie od swojej ciotecznej babci z Sydney.

A tak przy okazji, wyobraź sobie, że na wyspę zabrałeś jeden z tych wazonów.

Spójrz na niego.

A następnie upuść go na twarde podłoże.

Wazon rozbije się na drobne kawałki.

Spróbuj sobie teraz wyobrazić, że powtarzasz potem to doświadczenie z całą swoją kolekcją wazonów pochodzących z różnych miejsc na Ziemi.

Czy to nie zdumiewające, że wszystkie, gdy będziesz je upuszczal, zawsze spadną na ziemię? I zawsze się rozbijają. Gdziekolwiek byś się znajdował.

No dobrze.

Taki eksperyment nie tylko pozwoli ci pozbyć się wszystkich wazonów, będzie również dowodem na to, że jeśli jakiś upuszczony obiekt jest gęstszy od powietrza, to zawsze spadnie na ziemię. Od czasów odkrycia Newtona wie o tym każdy racjonalnie myślący człowiek.

A co z obiektami lżejszymi[22] od powietrza? Dlaczego balony z helem unoszą się do góry, a nie opadają w dół? Czyżby one nie odczuwały ziemskiej grawitacji?

Odczuwają. Ale toczy się też między nimi rywalizacja.

Wśród obiektów przyciąganych przez naszą planetę te o największej gęstości (najcięższe) będą opadały najniżej. Obiekty lżejsze od powietrza wydają się unosić do góry, ponieważ powietrze, mając większą niż one gęstość, zajmuje miejsce pod nimi. Gdyby powietrze było widzialne, mógłbyś je obserwować. Tak jednak nie jest i widzisz tylko sam efekt: obiekty lżejsze od powietrza są wypychane do góry przez niewidzialne powietrze, które układa się pod nimi. Grawitacja zawsze działa przyciągająco i sprawia, że rzeczy spadają. W wyniku rywalizacji między substancjami niektóre z nich muszą jednak unieść się do góry, aby ustąpić miejsca innym, tym o większej gęstości.

Mając to na względzie, wyobraź sobie Ziemię jako ogromną kulę z mnóstwem rzeczy, które przylegają do jej powierzchni. Jest to spowodowane tym, że nasza planeta wokół siebie silnie zakrzywia strukturę wszechświata. Wszystkie obiekty, w tym także i ty, zjeżdżają po tym zakrzywieniu w dół dopóty, dopóki nie natkną się na jakieś podłoże lub coś gęstszego od nich samych. Skały w skorupie ziemskiej są gęstsze niż woda. Dlatego ocean znajduje się na twardych skałach. Skały i woda są gęstsze od powietrza. Dlatego atmosfera znajduje się nad powierzchnią naszej planety, niezależnie od tego, czy w danym miejscu występuje ona w stanie stałym czy ciekłym.

Żyjemy pod stukilometrową warstwą powietrza przylegającego do powierzchni Ziemi. Jesteśmy gęstszy od powietrza. Nie latamy, ale jesteśmy lżejszy od gruntu i dlatego po nim stąpamy. Niektórym obiektom i zwierzętom udaje się czasem unieść w powietrze, lecz wymaga to energii, zazwyczaj więc wkrótce potem spadają z powrotem na ziemię. Mogłyby nie spaść, gdyby były lżejsze od powietrza, ale takie przypadki w świecie zwierząt nie są nam znane (byłoby to

zresztą dla nich dość niewygodne).

Jak zatem wszystko znalazłoby się na właściwym miejscu, gdyby nie było naszej planety?

Na twojej tropikalnej wyspie jest właśnie niedziela. Przyjaciele, którzy od twojego powrotu z podróży co rano przynosili ci śniadanie do łóżka, byli coraz bardziej żądni szczegółów tej wyprawy. Niektórzy z nich wątpili, czy naprawdę widziałeś wszystko to, o czym im opowiadałeś. Inni martwili się śmiercią Słońca i mieli z tego powodu kłopoty z zasypianiem. Dlatego usilnie szukali sposobów, aby zamknąć ci usta. I wygląda na to, że udało im się jeden znaleźć.

Otwierasz oczy.

Drobinki kurzu migoczą, tańcząc w promieniach porannego słońca, chociaż one również powinny odczuwać grawitację. Ktoś puka do drzwi.

Siadasz na łóżku, mówiąc: „Proszę!”. Spodziewasz się, że za chwilę zobaczysz któregoś ze swoich przyjaciół – być może z tacą zastawioną owocami i kawą.

Otwierają się drzwi. A w nich pojawia się ona. Twoja cioteczna babcia z Sydney.

Obok niej stoją trzy torby wypełnione kryształowymi wazonami. Nie przypuszczałeś, że to możliwe, ale są jeszcze brzydsze od tych, które chciałeś rozbić, przeprowadzając w myślach eksperyment z grawitacją.

Cioteczna babcia wchodzi i trochę się peszy, widząc cię w łóżku. Zaraz jednak podchodzi do ciebie, poklepuje cię po policzku i z uśmiechem wręcza ci jeden z wazonów. Nie dziwi się, że nic nie mówisz, uważając najwyraźniej, że żadne słowa nie są w stanie wiernie oddać twojej radości z powodu tej niespodziewanej wizyty.

Trzymając w rękach wazon, zamykasz oczy, aby zachować spokój. Jesteś tak

zdesperowany, że zaczynasz marzyć o tym, aby znaleźć się gdzie indziej.

A gdy otwierasz oczy, to marzenie się spełnia.

Jesteś w zupełnie innym miejscu.

W przestrzeni kosmicznej.

Twój pokój, promienie słoneczne, łóżko, cioteczna babcia – to wszystko zniknęło.

Znowu znajdujesz się wśród gwiazd, tak jak w pierwszej części tej książki, lecz tym razem czujesz się tu znacznie bezpieczniej.

Rozglądając się wokół, szeroko się uśmiechasz.

Ani śladu nadchodzącego wybuchu.

Nie ma stopionej Ziemi.

Wszystkie gwiazdy są daleko, panuje spokój.

Unosisz się w samym środku nieskończonej – na pozór – ciemności, upstrzonej małymi światełkami.

Gdy znalazłeś się w przestrzeni kosmicznej (w pierwszej części książki), byłeś tylko umysłem. Oprócz momentu wyrzucenia z czarnej dziury nie czułeś nic. Tym razem będzie inaczej. Wciąż przebywasz w podróży mentalnej, lecz tym razem nie opuściłeś ciała. Ono tu jest – bezpiecznie opakowane w kombinezon kosmiczny doświadcza stanu nieważkości.

Wszystko wydaje się tak realne, że robi ci się słabo. Szybko przewycięzasz to uczucie i w końcu dociera do ciebie, że chociaż twojej ciotecznej babci nie ma już w pobliżu, nadal trzymasz w rękach wazon, który od niej dostałeś. Z grymasem na twarzy rozglądasz się dookoła, lecz nie widzisz niczego, o co mógłbyś go roztrzaskać. Nie ma ani Ziemi, ani żadnej gwiazdy.

Nadrabiając miną, decydujesz się na kolejny eksperyment z grawitacją.

Rozpościerasz ramiona i puszczasz wazon. Wydaje ci się, że pozostaje on w tym samym miejscu. Mija minuta, potem kolejna. A potem jeszcze jedna,

a później następna – i wciąż nic się nie dzieje.

No, może wazon trochę się do ciebie przybliżył. Na tyle nieznacznie, że nie warto o tym wspominać.

W końcu masz już dość wpatrywania się w to paskudztwo, więc popychasz je palcem i obserwujesz, jak powoli oddala się od ciebie – jak ci się wydaje, po linii prostej. No, nareszcie się go pozbyłeś.

Gdybyś go nie popchnął, wazon wciąż znajdowałby się tuż obok ciebie.

Nigdzie by nie spadł. A zresztą na co miałyby spaść? W pobliżu nie ma żadnej planety ani gwiazdy, więc nie istnieje pojęcie góry czy dołu, prawej czy lewej strony. W kompletnej pustce wszystkie kierunki są równorzędne. Nie widać żadnego gruntu, do którego mógłby zmierzać wazon, chyba że samego siebie uznasz za jakiś grunt. Ale to byłaby dla ciebie obraza, czyż nie? No cóż... gdy w grę wchodzi siły natury, na nic nie powinienes się obruszać. Na dłuższą chwilę pograżasz się w błogim nieróbstwie. Nagle co to? Ku twojemu przerażeniu jak bumerang powraca do ciebie wazon. Grawitacja działa. Grawitacja, której źródłem jesteś ty.

Czy to jednak wazon zbliża się do ciebie, czy ty do niego? Na pierwszy rzut oka nie potrafisz tego określić. Niestety, nie masz czasu, aby się nad tym zastanowić, bo tuż obok przelatuje planetoida i jej niewidzialne grawitacyjne palce porywają cię razem z wazonem.

Gdyby ktoś cię o to spytał, zapewne powiedziałbyś, że jesteś cięższy i dlatego jako pierwszy uderzysz w planetoidę. Nie miałbyś racji. Tak się nie dzieje, ty i twój wazon docieracie tam jednocześnie. Gdy tylko stajesz na pylastym podłożu, od razu chwytnyś niewidany wyrób i uderzasz nim o powierzchnię planetoidy.

Nie jest ona tak twarda jak powierzchnia naszej planety i wazon – jaka szkoda! – nie rozbija się na kawałki. Za to otacza cię teraz olbrzymia chmura kosmicznego pyłu... Poirytowany chwytnyś wazon i z całej siły ciskasz go

w kosmos, aby w końcu pozbyć się go na zawsze. Tym razem na pewno do ciebie nie wróci. Odczuwasz prawdziwą ulgę, gdy wazon znika w chmurze pyłu, skazany na wieczne wirowanie wokół własnej osi w przestrzeni kosmicznej.

Wreszcie jesteś sam!

Teraz możesz się zrelaksować i rozkoszować niczym niezakłóconym widokiem, dumając, jak by tu jeszcze wykorzystać grawitację. W sposób, w jaki nikt dotychczas tego nie zrobił.

Gdy tak nad tym rozmyślasz, dociera do ciebie, że odłamek skalny, na którym stoisz, nie porusza się już po linii prostej. Jego trajektoria właśnie się zakrzywiła, planetoida zmierza teraz w kierunku jakiegoś ciemnego, zamrażniętego świata. Jest nim planeta bez gwiazdy, która wędruje w kosmicznej pustce w – zapewne daremnym – poszukiwaniu nowego świecącego domu. No i wbrew temu, co ci się wydawało, w pobliżu czai się niebezpieczeństwo.

Skała, na której lecisz w kierunku planety, przyspiesza tak gwałtownie, że czujesz, jak przewracają ci się wnętrzności. Przez chwilę jesteś niemal pewien, że za chwilę uderzysz w powierzchnię tego zimnego, martwego świata. Kiedyś słyszałeś, że w obliczu nieuchronnej śmierci do ludzi zwykle albo wracają odległe wspomnienia, albo przed oczami przewija im się całe życie. Z tobą jednak nic takiego się nie dzieje. Masz przed sobą jedynie twarz swojej ciotecznej babci. Winisz ją i jej wazon za pewną śmierć, która cię czeka.

Aby ocalić życie, w heroicznym wysiłku odpychasz się gwałtownie od planetoidy i chcąc się od niej oddalić, zaczynasz wykonywać ruchy pływaka. Zaraz jednak uświadamiasz sobie, po pierwsze, że wbrew temu, co myślałeś, nie jesteś na kursie kolizyjnym, a po drugie, że choć od planetoidy z pewnością możesz się odepchnąć, w przestrzeni kosmicznej nie dasz rady pływać.

Przyspieszasz coraz bardziej, jak w międzygwiazdnej kolejce górskiej, ześlizgując się po pochyłości, którą planeta wytworzyła w strukturze

wszechświata. Jak można się było spodziewać, mijasz jej ciemną, zimną powierzchnię w odległości kilku tysięcy kilometrów, a potem ty i planetoida zostajecie wystrzeleni jak z procy w przestrzeń kosmiczną ze znacznie większą prędkością, niż mieliście poprzednio. Właśnie przed chwilą udało wam się ukraść z napotkanego świata trochę energii kinetycznej. Podobnie jak piłeczka na polu do minigolfa, która gdy nie trafi do przesuwającego się dołka, wiruje przez chwilę na jego krawędzi, zanim wyleci w powietrze. Kręci się wtedy jeszcze szybciej i ku twemu zniechęceniu ląduje absurdalnie daleko od miejsca, z którego ją uderzyłeś. Nieruchomy dołek, tak jak i nieruchoma planeta nie są w stanie wywołać takiego efektu. Muszą się poruszać. Kilka minut później, gdy martwa planeta znika w oddali, z powrotem trafiasz na powierzchnię swojej planetoidy. Ze zdumieniem uświadamiasz sobie, że nigdy nie przestała cię przyciągać i co jeszcze dziwniejsze, że poruszaliście się po bardzo podobnej drodze.

To, że ty i czterdziestokrotnie lżejszy od ciebie wazon jednocześnie spadacie na planetoidę, może zaskakiwać, ale odkrycie, że w ten sam sposób planeta przyciąga ciebie i skałę o rozmiarach małej góry, to już za wiele. A jednak faktycznie tak było. Wygląda na to, że wszystkie obiekty, niezależnie od masy, spadają na planety czy też zbliżają się do siebie w identyczny sposób. Może to dziwnie zabrzmieć, ale nawet Słońce i piórko leciałyby z taką samą prędkością w kierunku planetoidy, planety czy czegokolwiek innego. A dzieje się tak, ponieważ będąc pod wpływem grawitacji, zawsze podróżuje się w dół pochyłości wytworzonych przez materię i energię w strukturze naszego wszechświata.

Co zrozumiałe, musisz na chwilę usiąść na skale, aby znaleźć w tym wszystkim jakiś sens. Gapisz się w przestrzeń kosmiczną.

Do głowy nie przychodzi ci żadne konstruktywne wyjaśnienie.

Nie poddajesz się i twoja nieustępliwość w końcu zostaje nagrodzona.

W twoim umyśle nagle pojawia się niezwykle piękny obraz.

W pobliżu odłamków skalnych, odległych planet, gwiazd i galaktyk

wszędzie widzisz zakrzywienia, pochyłości i wzniesienia. Promienie świetlne z jasnych dalekich źródeł wydają się ślizgać po nich, znacząc swoją drogę nieuchwytnymi fluorescencyjnymi liniami. Dzięki nim możesz wyobrazić sobie i zobaczyć rzeczywisty kształt tkaniny, z której zrobiony jest wszechświat. Widzisz więc, że podobnie jak ty i materia światło nie podróżuje w przestrzeni kosmicznej po liniach prostych, jak mogłoby się wydawać. Odchyła się ono w pobliżu galaktyk, gwiazd, planet, a nawet małych odłamków skalnych. Im obiekt ma większą gęstość oraz im bliżej niego przelatuje promień świetlny, tym bardziej widoczne jest odchylenie. Razem z planetami, gwiazdami i galaktykami poruszają się wywołane przez nie zakrzywienia oraz pochyłości. Towarzyszą im, gdy te tańczą wokół siebie i gdy się z sobą łączą. W naszym wszechświecie wszystko i wszędzie się porusza. Nawet sama jego struktura.

Ta struktura, która dotychczas była dla ciebie niewidoczna, a której kształt właśnie zaczynasz dostrzegać, w istocie wygląda niemal tak, jakby była żywa.

Wszystko to obserwujesz, siedząc na planetoidzie i jednocześnie ześlizgując się po zakrzywieniu. To samo dzieje się z tobą, w chwili gdy czytasz tę książkę. Na planetoidzie źródłem zakrzywienia jest skała, a dla ciebie, czytającego teraz tę książkę, jest nim Ziemia. Gdy znajdujesz się na planetoidzie, zakrzywienie jest bardzo łagodne i aby je opuścić, nie trzeba dużo energii. Na naszej planecie natomiast jest ono dużo większe.

Jeśli czytając tę książkę, nie masz wrażenia, że gdzieś spadasz, to tylko dlatego, że albo masz pod stopami jakieś podłoże, albo siedzisz na krześle, które uniemożliwia ci przemieszczanie się. Prawdopodobnie odczuwasz jednak, że twoje ramiona (a w rzeczywistości całe ciało) wciąż ciężą ku dołowi. Gdybyś jednak czytał te słowa, spadając swobodnie po skoku z samolotu, poruszałbyś się w istocie po zakrzywieniu wytworzonym przez Ziemię, choć powietrze spowalniałoby twój ruch. Takie spadanie po zakrzywieniu utworzonym w strukturze wszechświata jest najbardziej naturalnym sposobem poruszania się

dla wszystkich (i wokół wszystkich) istniejących w nim obiektów.

Gdy odepchnąłeś od siebie wazon, najpierw powoli wspinał się on po niewidzialnym zakrzywieniu powstałym w rezultacie twojej obecności, a następnie z niego spadał. W podobny sposób zachowuje się obiekt wyrzucony z powierzchni Ziemi: z początku porusza się do góry, stopniowo zwalniając, a następnie spada, cały czas przyspieszając.

Aby jakiś obiekt znajdujący się na powierzchni naszej planety trafił w przestrzeń kosmiczną, należy rzucić go pionowo do góry z prędkością większą niż 40 320 kilometrów na godzinę. Jeśli będzie ona mniejsza, obiekt spadnie z powrotem na naszą planetę^[23]. Zawsze.

Do uwolnienia się spod wpływu przyciągania grawitacyjnego (nie mylić z przyciąganiem do siebie przez inną osobę) niezbędna jest również minimalna prędkość początkowa. Podobnie jak w sytuacji, gdy chcemy przetoczyć szklaną kulkę przez jakąś górkę.

Nie pchnąłeś wazonu z wystarczającą prędkością, więc do ciebie wrócił, ponieważ ty również zakrzywasz strukturę wszechświata.

Później, gdy z dużą prędkością przelatywałeś w pobliżu planety i ukradłeś jej trochę energii kinetycznej, zupełnie nieświadomie zastosowałeś technikę wykorzystywaną przez naukowców badających przestrzeń kosmiczną. Wysyłają oni satelity na bardzo duże odległości w Układzie Słonecznym i nie potrzebują do tego paliwa. Wystarczy, aby satelity przelatywały w pobliżu planet pod odpowiednim kątem i w odpowiedniej odległości, a zostaną wystrzelone przez nie jak z procy w bardziej odległe rejony naszego kosmicznego sąsiedztwa.

W głowie kotłują ci się myśli i nagle zdajesz sobie sprawę, że przecież nawet na Ziemi wszystko wciąż spada po zakrzywieniu wytworzonym przez materię, z której zbudowana jest nasza planeta. To dlatego Ziemia ma warstwy ułożone w określony sposób, od granicy nieba po środek jądra. Warstwy o najmniejszej gęstości znajdują się nad naszymi głowami, a te o największej gęstości są ukryte

głęboko we wnętrzu globu. Osiągnięcie takiej równowagi trwało miliardy lat. Może jeszcze sobie tego nie uświadamiasz, ale właśnie na dobre pożegnałeś się z koncepcją grawitacji jako siły. Teraz postrzegasz ją raczej jako krajobraz pełen zakrzywień, wzgórz i pochyłości. To chyba właśnie była nauka, jaką miałeś wyciągnąć ze swojej podróży kosmicznej, bo gdy tylko zaczynasz o tym myśleć, momentalnie znów jesteś w swoim pokoju, leżysz w łóżku, a nad tobą stoi twoja cioteczna babcia. Wygląda na nieco zdezorientowaną.

– Czy ja nie dałam ci przed chwilą wazonu? – zastanawia się, widząc twoje puste ręce.

– Jakiego wazonu? – pytasz.

– Nieważne, mój drogi, nieważne.

– Ale... co ty tutaj robisz?

– Zadzwonili do mnie twoi przyjaciele i powiedzieli, że masz halucynacje. Na temat grawitacji. Gdy będziesz w moim wieku, przekonasz się, że potrafi ona sprawić mnóstwo kłopotu. Na razie jednak jesteś młody i nie musisz się tym martwić. Spójrz na wszystkie te wazoni, które ci przyniosłam. Czyż nie są cudowne?

– Ciociu, nie istnieje coś takiego jak siła grawitacji, są tylko zakrzywienia – wyjaśniasz zrezygnowanym głosem, przeklinając w duchu swoich zdradzieckich przyjaciół.

– Tak, wiem, zakrzywienia – nieoczekiwanie zgadza się cioteczna babcia, odpakowując wazoni.

I ku twojemu wielkiemu zaskoczeniu wyjaśnia, że jeśli chodzi o grawitację, to pojęcia takie jak „siła”, „zakrzywienie” czy cokolwiek innego nie robią jej żadnej różnicy. Czyż zwykle nie krzyczymy: „Ratunku! Spadam!”, a nie: „Ratunku! Jestem ciągnięty w dół!”? Po co robić wokół tego tyle zamieszania. A potem cioteczna babcia zabiera się do ozdabiania kilkunastoma wazonami urządzonej ze smakiem wakacyjnej willi. Obserwujesz ją w milczeniu,

zastanawiając się, o co tak naprawdę w życiu chodzi.

Gdy w końcu tej nocy zostajesz wreszcie sam, ukradkiem opuszczasz pokój i idziesz na plażę obserwować gwiazdy. Uwaga twojej ciotecznej babci na temat grawitacji tak cię zaintrygowała, że próbujesz uporządkować wszystko, czego się do tej pory dowiedziałeś.

W samej strukturze wszechświata istnieją zakrzywienia.

Wszystko, co istnieje, tworzy we wszystkich kierunkach niewidzialne zakrzywienia, które nazywamy grawitacją. Im dany obiekt ma większą gęstość, tym zakrzywienie jest większe. Sądzisz, że jeśli wszystkie obiekty obdarzone masą zakrzywiają strukturę naszego wszechświata, to czyni tak z pewnością również światło, ponieważ – jak wynika z wzoru $E = mc^2$ – energia jest masą, a masa energią.

Czy to aby na pewno prawda?

Czy rzeczywiście wszystko zakrzywia tę strukturę, nawet światło? I z czego, u diabła, ta struktura mogłaby być zrobiona?

Czy przebywając w swoim pokoju – lub gdziekolwiek indziej – kiedyś to zakrzywienie poczułeś? Czy kiedykolwiek poczułeś taką niewidzialną pochyłość wytworzoną przez ścianę? Albo przez kanapę, sufit czy też przez niebo lub światło lampy? Nie, czułeś jedynie zakrzywienie wytworzone przez całą planetę – to, z którym twoje mięśnie i kości walczą każdego ranka, gdy wstajesz. Gdybyś składał się z samej wody, rozprysnąłbyś się i rozlał po podłodze, ale nie po ścianie.

Tak naprawdę grawitacja, którą w tej chwili odczuwasz, jest w istocie sumą wszystkich zakrzywień wytworzonych przez wszystko, co cię otacza, w tym ścian, sufitu, a nawet ptaka czy samolotu, które mogą przelatywać wysoko nad twoją głową.

Teraz o wiele ważniejsze jest jednak to, co znajduje się w dole, a nie w górze.

Ziemia pod twoimi stopami zawiera więcej materii i energii niż niebo nad twoją głową. A więc wytwarza bardziej stromą pochyłość. Dlatego najpierw zjeżdżasz właśnie po niej i ją odczuwasz najmocniej. To grawitacja naszej planety.

A co ze strukturą wszechświata? Czym ona jest? Co jest zakrzywiane?

No cóż, to właśnie odkrył Einstein.

Za pomocą wzoru $E = mc^2$ udowodnił, że nie ma różnicy między masą a energią – są to dwa aspekty tej samej rzeczy. Stwierdził tak w 1905 roku, a dziesięć lat później wykazał, że kształt wszechświata w danym miejscu zależy od znajdującej się tam masy i energii. Przy okazji zarzucił na zawsze koncepcję traktującą grawitację jako siłę. Grawitacja to geometria. Zakrzywienia i pochyłości. Wytworzone przez materię i energię. Ale geometria czego? Jasne, że nie ma czegoś takiego jak rozciągająca się, namydlona kosmiczna gumowa mata, po której wszystko się porusza. Pamiętaj jednak: to, że czegoś nie widzimy, nie oznacza jeszcze, że to coś nie istnieje. Zanim ludzkość zdała sobie sprawę, że znajdujące się wokół nas niewidzialne powietrze składa się z atomów i cząsteczek, wszyscy myśleli, że to pusta przestrzeń.

W tym momencie musimy pokonać podobną przeszkodę pojęciową: przestrzeń kosmiczna nie jest pusta, mimo że sprawia takie wrażenie. Nie jest też niezmienna.

Właśnie to coś, co do tej pory nazywałem „strukturą wszechświata”, czyni tę przestrzeń ruchomym i zmieniającym się obiektem geometrycznym.

Einstein odkrył, że owa struktura jest kontinuum czasu i przestrzeni – dwóch wielkości fizycznych, które są nierozzerwalnie związane. Z koncepcją tą oswajaliśmy się przez całe ostatnie stulecie.

Struktura wszechświata jest więc obecnie lepiej znana pod nazwą *czasoprzestrzeni*. Ogólna teoria względności Einsteina mówi o tym, jak czasoprzestrzeń jest zakrzywiana przez to, co się w niej znajduje, i *vice versa*. Jeśli grawitację rozumieć właśnie jako takie zakrzywienie, to energia i materia

z jednej strony, a geometria czasoprzestrzeni z drugiej są tożsamymi pojęciami.

Dotychczas doświadczyłeś jedynie zakrzywienia przestrzeni, ale nie czasu. A przynajmniej tak ci się wydaje. W rzeczywistości z zakrzywieniem czasu masz nieustannie do czynienia. Dochodzi do niego nawet teraz, gdy czytasz te słowa. Ma jednak na ciebie tak niewielki wpływ, że nie jesteś w stanie wykryć go za pomocą zmysłów. Ale już wkrótce znajdziesz się w miejscach, gdzie zakrzywienie czasu będzie czymś oczywistym – i bardzo dezorientującym. Doświadczysz tego zjawiska, przebywając w samolocie (w trzeciej części tej książki) oraz gdy w końcu zanurkujesz do wnętrza czarnej dziury (w części szóstej).

Na razie jednak z powrotem jesteś na swojej plaży i obserwujesz gwiazdy.

Zrobiło się późno, ale nie ma to dla ciebie żadnego znaczenia. Wpatrujesz się w przestworza, czując, jak bardzo zwariowane są te wspaniałe koncepcje, którymi się zajmujesz. I myśląc, że mimo wszystko jakimś cudem świetnie opisują naszą kosmiczną rzeczywistość.

Dzięki temu, że nasza planeta zakrzywia czasoprzestrzeń, wszystko, co znajduje się wystarczająco blisko, zmierza w kierunku jej powierzchni, jeszcze to zakrzywienie zwiększając. Dlatego po miliardach lat od chwili, w której Ziemia narodziła się z chmury gwiazdowego pyłu, jesteśmy w stanie równowagi. Naszą planetę otacza teraz atmosfera, która odgradza nas od przestrzeni kosmicznej, umożliwia oddychanie powietrzem i czasem nawet pozwala spojrzeć w niebo.

Z dala od Ziemi, już poza atmosferą, znajduje się nasz Księżyc, który krąży wokół swojej planety podobnie jak kulka wirująca w salaterce. Sytuacje te jednak się różnią. Naturalny satelita Ziemi, tak jak ona, zakrzywia czasoprzestrzeń, co obserwujemy w postaci pływów morskich. Powstają one dlatego, że woda podąża za Księżycem krążącym po orbicie okołozemskiej^[24].

Jeszcze dalej znajduje się Słońce, które powoduje duże zakrzywienie czasoprzestrzeni. W jego wyniku wszystkie planety, komety oraz planetoidy

naszego Układu Słonecznego wirują i pędzą z różną prędkością i na różnej wysokości, przypominając kulki krążące po ściance salaterki.

Do tego jeszcze istnieje współzawodnictwo między naszymi sąsiednimi gwiazdami.

W pewnej odległości od nas zakrzywienie czasoprzestrzeni powodowane przez inne gwiazdy jest większe od wywoływanego przez Słońce, dlatego dalekie komety, które znajdują się w pobliżu wierzchołka wzgórza czasoprzestrzeni, mają możliwość przedostania się na jego drugą stronę. W ten sposób mogą przemieszczać się z jednego gwiazdnego królestwa do drugiego, podobnie jak kulka wylatująca z jednej salaterki może wpaść do innej, znajdującej się w pobliżu. A w przestrzeni kosmicznej zawsze w pobliżu jest jakaś gwiazda.

Zakrzywienia czasoprzestrzeni powodowane przez wszystkie gwiazdy Drogi Mlecznej sumują się, tworząc pole grawitacyjne naszej galaktyki. Konkuruje ono z polami sąsiednich galaktyk, a zakrzywienie, za które odpowiada Grupa Lokalna, rywalizuje z kolei z zakrzywieniami innych grup, i tak dalej. Einstein znalazł sposób na wyliczenie tego wszystkiego za pomocą jednego równania.

Dobra robota, kolego!

Ze swojego równania Einstein wywnioskował także, że ten bezkres wszechświata wypełniają jakieś dziwne fale.

O tym, że grawitacja jest zakrzywieniem, po raz pierwszy przeczytałeś w jednym z poprzednich rozdziałów, w którym porównałem planety i gwiazdy do ciężkich kul zakrzywiających naciągniętą gumową matę. Teraz już wiesz, że struktura naszego wszechświata (kontinuum czasu i przestrzeni, które nazwaliśmy czasoprzestrzenią) nie jest ani rodzajem maty, ani nawet nie jest płaska. Jest wszechobecna. Planety czy gwiazdy znajdujące się w przestrzeni kosmicznej lepiej więc opisywać jako kule zanurzone w oceanie wypełniającym cały wszechświat, a nie leżące na jakiejś płaskiej powierzchni. Nie ma żadnej powierzchni gdzieś powyżej ani żadnego podłoża pod spodem. Wszędzie tylko

woda.

Gdyby taka zanurzona kula mogła zaburzyć – we wszystkich kierunkach – znajdującą się wokół niej ciecz, przyciągając ją do siebie, byłoby to podobne do działania grawitacji. Razem z wodą zostałyby pociągnięta płynąca spokojnie w pobliżu kuli ryba. Nie udałooby się jej poruszać prosto – tor, po którym się porusza, zostałby zakrzywiony. Jeśli ryba miałaby odpowiednią prędkość, mogłaby nawet zaprzestać machania płetwami i niesiona prądem, leniwie przemieszczać się po orbicie wokół kuli. Tak właśnie odbywa się to w przestrzeni kosmicznej: aby krążyć po orbicie gwiazdy, planeta nie musi nic robić. W rzeczywistości Ziemia porusza się po linii prostej, ale w czasoprzestrzeni zakrzywionej przez Słońce. Nasza planeta nie musi wydatkować żadnej energii na korygowanie toru lotu. Porusza się po niewidzialnych zakrzywieniach czasoprzestrzeni wywołanych przez naszą gwiazdę, przypominając kulkę w salaterce.

Idąc o krok dalej, mógłbyś zapytać, co by się stało, gdyby w oceanie zanurzona była nie jedna, lecz dwie kule orbitujące wokół siebie.

Z pewnością wytworzyłyby jakieś fale.

Nie powstałyby one na powierzchni oceanu, ale w jego głębi. Oddalając się od krążących wokół siebie kul, fale powodowałyby stopniową utratę ich energii, aż w końcu doszłoby do zderzenia się tych obiektów.

A jaką analogię można by znaleźć w naszym wszechświecie? Drganie jego struktury, falowanie czasoprzestrzeni, czyli coś, co nazywamy *falami grawitacyjnymi*. Einstein przewidział teoretycznie ich istnienie w 1916 roku, zaledwie kilka miesięcy po ogłoszeniu swojej teorii grawitacji. Przez całe dziesięciolecie nikt nie chciał go słuchać. W końcu naukowiec przestał sobie tą kwestią zawracać głowę, doszedł bowiem do wniosku, że fale grawitacyjne być może istnieją tylko w jego obliczeniach, a nie w naturze. Dopiero w 1951 roku francuska matematyczka i fizyczka Yvonne Choquet-Bruhat przyznała

Einsteinowi rację... Francuzka udowodniła matematycznie, że jeśli ogólna teoria względności jest prawdziwa, to fale grawitacyjne muszą istnieć. Rozpoczął się wyścig, którego celem było ich wykrycie.

Miliard 300 milionów lat temu w galaktyce odległej od naszej o miliard 300 milionów lat świetlnych dwie czarne dziury o masie 29 i 36 razy większej od masy Słońca^[25], zbliżające się do siebie ruchem spiralnym z prędkością równą połowie prędkości światła, w końcu się połączyły. Podczas tego trwającego około 20 milisekund zderzenia utraciły one energię odpowiadającą trzem masom słonecznym. To kolosalna ilość, w przybliżeniu 50 razy większa od sumy energii wszystkich gwiazd widzialnego wszechświata. Zgodnie z ogólną teorią względności Einsteina i wzorem $E = mc^2$ energia ta zamieniła się nie tylko w światło, ale również w fale grawitacyjne. Fal tych nic nie mogło powstrzymać, więc po upływie miliarda 300 milionów lat dotarły do Ziemi.

Stało się to 14 września 2015 roku o godzinie 9:50:45 czasu uniwersalnego.

Nie zaobserwowalibyśmy ich, gdyby nie błyskotliwość trzech fizyków: Niemca Rainera Weissa oraz Amerykanów Ronalda Drevera i Kipa Thorne'a, którzy poświęcili całe dziesięciolecia na prace zmierzające do skonstruowania detektora fal grawitacyjnych LIGO (*Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory*). W poszukiwaniu takich fal wzięło udział ponad tysiąc naukowców z całego świata. Niezwykłe osiągnięcie wspaniałej trójki bez wątpienia zostanie w najbliższych latach uhonorowane Nagrodą Nobla.

Tak, również w tym wypadku Einstein miał rację. Co za człowiek! Gdyby tak mógł teraz stanąć przed tobą, z ochotą uściskałbyś mu rękę.

Jeśli jednak chodzi o jego teorię względności, to jeszcze nie wszystko.

Chyba już kiedyś czytałeś, że Einstein zaczął poważnie traktować koncepcję mówiącą o tym, że wszechświat może mieć przeszłość i że kiedyś był mniejszy.

Siadasz na plaży, zamykasz oczy i koncentrujesz się, aby dobrze zrozumieć, co mogłoby to znaczyć.

[21] O trzech pozostałych rodzajach oddziaływań zaczniesz się dowiadywać w trzeciej części książki.

[22] W tym rozdziale „łżejszy” należy rozumieć jako „mniej gęsty”.

[23] Kule wystrzelone z karabinu poruszają się dużo wolniej i dlatego zawsze spadają na ziemię, nawet jeśli skierujemy broń pionowo do góry. Zatem nie próbuj tego robić. Te 40 320 km/h to *prędkość ucieczki* z powierzchni Ziemi. Dla porównania, prędkość ucieczki z powierzchni Słońca wynosi około 2,2 miliona km/h, a z powierzchni komety o kształcie gumowej kaczki – na której w 2014 roku wylądował Philae, lądownik Europejskiej Agencji Kosmicznej – tylko 5,4 km/h. Aby uciec z niej w przestrzeń kosmiczną, wystarczyłoby tam tylko lekko podskoczyć.

[24] Księżyc przyciąga też wszystko inne, w tym skorupę naszej planety, nas samych oraz filiżanki i łyżeczki do kawy, lecz ponieważ są one ciałami stałymi – i (lub) są mniejsze – trudniej to zauważyć.

[25] Jeśli się zastanawiasz, jaki rozmiar miały te czarne dziury, odpowiedź brzmi: ich promienie wynosiły odpowiednio niecałe 90 oraz 110 kilometrów.

KOSMOLOGIA

Istnieją pytania, na które można udzielić prostej i niebudzącej wątpliwości odpowiedzi. Nie zaliczysz do nich, niestety, pytania, jak naprawdę wygląda cały wszechświat, mimo że niejedno już miałeś okazję zobaczyć. Równania Einsteina dopuszczają możliwość istnienia różnych postaci naszego wszechświata, co więcej – jak przeczytasz w szóstej części książki – nie wiemy nawet, z czego naprawę jest on zbudowany.

Podsumowując, warto, abyśmy sobie uświadomili, że fizyka, choć to potężna nauka, nigdy dokładnie nie odzwierciedlała rzeczywistości. Wiadomo też, że tak się nie stanie, ponieważ znaczyłoby to, że rzeczywistość – czymkolwiek jest – można byłoby dokładnie poznać. A to niemożliwe. Obserwacje i eksperymenty, niezależnie od stopnia ich ścisłości, dają nam tylko przybliżoną odpowiedź – zawsze istnieje jakiś, choćby niewielki, margines błędu.

Patrząc z perspektywy czasu na dzieje ludzkości, zauważamy, że dostępne rozwiązania techniczne, za pomocą których badaliśmy naturę, rzadko kiedy nadążały za odkryciami dokonanymi dzięki fizyce, co czasem prowadziło do powstawania błędnych wyobrażeń. Gdyby kilkaset lat temu jakiś nasz przodek zdołał przewidzieć istnienie bakterii o rozmiarach jednej tysięcznej grubości włosa, to nikt z jemu współczesnych nie byłby w stanie tego sprawdzić, a ów śmiałek pewnie wylądowałby w zakładzie zamkniętym, żeby niepotrzebnie nie straszył ludzi. To samo dotyczy odległych galaktyk. Gdyby twój przodek upierał się przy ich istnieniu, to również zostałby odizolowany albo spalony żywcem, tak jak Giordano Bruno. Dopiero niecałe sto lat temu pojawiły się rozwiązania

techniczne pozwalające zajrzeć wystarczająco daleko w kosmos i przedstawić nam jego obraz. Dotychczas nie wynaleziono jeszcze na przykład urządzenia, które powiedziałoby ci, czego się dowiesz na końcu tej książki.

Niemniej jednak nauka, krok po kroku, ciągle się rozwija. Czasem to kroki siedmiomilowe, prowadzące do rewolucji w myśleniu, ale na co dzień lepiej traktować naukę jak swego rodzaju drogowskaz dla ludzkiego umysłu. Z pokolenia na pokolenie stara się ona jak najwierniej odzwierciedlać rzeczywistość, wyjaśniając później jej sekrety na drodze eksperymentów. Warto wspomnieć, że nawet gdyby miało się to zmienić w przyszłości, to nauka, jak żadna inna dziedzina ludzkiej aktywności, umożliwiła nam dotąd odkrywanie zjawisk naturalnych niedostępnych ludzkim zmysłom. Zachowując należyta skromność wobec majestatu natury, pamiętajmy, że to nauka, i tylko ona, powoduje, że widzimy to, na co nasze oczy są ślepe.

Wbrew temu, co pewnie sądzi większość ludzi, naukowcy nie lubią komplikacji. Próbując zrozumieć wszechświat jako całość, chcą, aby wszystko było proste. A cała zabawa polega na tym, żeby znaleźć jakiś nieskomplikowany model w pozornie złożonym otoczeniu.

Wymaga to odrobiny sprytu.

Zobaczmy więc, co można zrozumieć z wizji Einsteina, w jak największym stopniu upraszczając obraz, który dotychczas widziałeś. Pomińmy szczegóły i popatrzmy na niego z WIELKIEJ perspektywy. W takim wypadku detale nie mają żadnego znaczenia. Weźmy pod uwagę wyłącznie galaktyki, a nawet tylko skupiska galaktyk. Jesteś w stanie zobaczyć to wszystko swoim dalekowszocznym okiem, które ma tak kosmiczne rozmiary, że Ziemia, Słońce oraz setki miliardów gwiazd tworzących Drogę Mleczną są zaledwie małą kropką wskazującą twoje położenie.

Inne galaktyki rozmieszczone są równomiernie wokół ciebie i widoczna jest nawet włóknista struktura tego rozkładu.

W porządku.

To nie jest skomplikowane. To twoje wstępne założenia.

Wprowadzasz je do równań Einsteina, aby zobaczyć, co – i czy w ogóle coś – z tego wyniknie. Czekasz z niepokojem, ale nie chcesz sobie robić zbyt wielkich nadziei. A potem... następuje cud! To się sprawdza! Wszystko, co znajduje się wokół ciebie, na co patrzysz, galaktyki i skupiska galaktyk poruszają się wokół siebie, tak jak można było oczekiwać. Lecz to nie wszystko, otaczający cię wszechświat – ta część widzialnego wszechświata, którą można obserwować z Ziemi – zaczyna się powiększać. Czasoprzestrzeń rozciąga się pomiędzy tymi wszystkimi kropkami galaktyk, co sprawia, że oddalają się one od siebie, niezależnie od tego, w jaki sposób się poruszają! Jakikolwiek byłby ich ruch w małej, lokalnej skali, przypominają ziarenka maku w rosnącym w piekarniku cieście lub kropki na powierzchni napęłnianego powietrzem balonu: im dalej od Ziemi znajdują się galaktyki, tym szybciej się oddalają. To właśnie widzieli twoi przyjaciele przez wart miliard dolarów teleskop. Rozszerzanie się naszego wszechświata.

W rezultacie wprowadzenia do równań Einsteina prostego modelu widzialnego wszechświata dowiadujesz się o czymś, co było zupełnie niewyobrażalne do czasów odkryć słynnego fizyka. Zgadza się to z tym, co sam zobaczyłeś gdzieś tam wysoko na niebie i co obserwują na co dzień naukowcy: wszechświat może ewoluować (według Einsteina) i faktycznie ewoluuje (według naszych obserwacji).

Ta myśl stała u podstaw *kosmologii* – nauki objaśniającej przeszłość i przyszłość naszego wszechświata. Przed Einsteinem mieliśmy tylko *kosmogonie* – tajemnicze historie o pochodzeniu naszej rzeczywistości, które wymyślaliśmy, żeby jakoś wytłumaczyć sobie to, czego nie ogarnialiśmy umysłem. Teraz mamy także naukę. Narzędzie do rozwikłania opowieści napisanej nie przez człowieka, lecz przez naturę.

Gdy obserwujesz, jak te wszystkie otaczające cię kropki ewoluują, przychodzi ci do głowy, że wzór Einsteina jeszcze do czegoś się przyda. Posługując się nim, możesz przecież nacisnąć w głowie przycisk „przewijanie do tyłu” – i cofnąć ten proces.

I to właśnie robisz.

Będąc naszym widocznym wszechświatem ciasto z makiem natychmiast przestaje rosnąć i zaczyna się zmniejszać. Twoje kosmiczne oko widzi, jak wszechświat się kurczy: odległa przeszłość przesuwa się ku teraźniejszości, w twoim kierunku, pochłaniając obrazy nadchodzących lat.

Zmniejsza się sfera ograniczająca cały wszechświat widziany z Ziemi.

Wciąż się kurczy.

I kurczy się tak długo, aż...

Aż nadchodzi wielka chwila. Mniej więcej sto lat temu belgijski fizyk i jezuita Georges Lemaître postanowił zastosować trzy zasady kosmologiczne do podobnego, lecz wymyślonego, mechanicznego wszechświata, aby obserwować, jak się on rozszerza i kurczy w czasie. Zabieg ten doprowadził go do prostego wniosku: nasza rzeczywistość, którą ludzie uznawali za coś zupełnie oczywistego, od kiedy byli zdolni do myślenia, prawdopodobnie miała jakiś początek.

Równania Einsteina szybko doprowadziły Lemaître'a, a później także wielu innych naukowców, do przyjęcia niejasnej koncepcji, w myśl której nasz wszechświat zawsze posiadał tyle samo energii co dzisiaj, ale niegdyś nie miał rozmiaru. Żadnego rozmiaru w czasie czy w przestrzeni.

Koncepcja ta sprawiała wrażenie kompletnie absurdalnej – i zapewne dalej tak brzmi – lecz wynikała z wzoru Einsteina.

Jak dotąd zresztą nie udało się stworzyć teorii, która lepiej wyjaśniałaby to, co widzimy na nocnym niebie.

Założenie, że wszystko, co znajduje się w naszym widzialnym wszechświecie, miało kiedyś zerowy (lub bardzo bliski zeru) rozmiar, jest podstawą koncepcji obejmowanych zbiorczo nazwą *teorii (Gorącego) Wielkiego Wybuchu*.

Jest on „gorący”, ponieważ tylko w bardzo gorącej przeszłości cała energia widzialnego wszechświata mogłaby być ściśnięta w bardzo małej objętości. Jądro Słońca jest gorące, gdyż całą materię, jaką zawiera, zgniata własna grawitacja naszej gwiazdy. Ściśnij cały widzialny wszechświat do kuli o rozmiarze Słońca, a wejdiesz na kolejny poziom gorąca.

Wybuch nazwano „wielkim”, ponieważ dotyczy całego widzialnego wszechświata.

Mówimy „wybuch”, dlatego że ekspansja, która po nim nastąpiła, wskazuje, że w naszej przeszłości, tuż po narodzinach wszechświata, zaszła jakaś eksplozja. Później przekonasz się, że to wcale nie był wybuch.

Być może określenie: „Niezwykłe, Ogromnie, Niesamowicie, Piekielnie Prażąca, Gorąca, Olbrzymia, Wszechobecna, Uniwersalna Deflagracja” lepiej obrazuje to, co się wtedy zdarzyło, lecz „Gorący Wielki Wybuch” również brzmi odpowiednio, a przy tym dużo skromniej.

A skromność jest tu wskazana, bo choć naszemu kosmicznemu oku może się wydawać, że wszystko, co wiąże się z Wielkim Wybuchem, koncentruje się wokół naszej planety Ziemi, to wcale tak nie jest.

Jak się przekonasz, Wielki Wybuch nie nastąpił w jednym konkretnym miejscu czasoprzestrzeni, lecz zdarzył się wszędzie.

POZA NASZYM KOSMICZNYM HORYZONTEM

Gdy na samym początku swojej podróży wylegiwałeś się na plaży, nurtowała cię myśl, czy to, co możesz na niebie zobaczyć gołym okiem, jest całym wszechświatem.

Teraz już wiesz, że nie jest.

Ludzkie oczy pozwalają dostrzec kilkaset gwiazd należących do naszej galaktyki, Drogi Mlecznej, oraz ledwie widoczne ślady kilku innych, pobliskich galaktyk. Trzeba jednak wiedzieć, gdzie tych ostatnich szukać.

Dzięki teleskopom wiesz już, że cały obserwowalny wszechświat jest niewyobrażalnie wielki. Lecz on również ma swój kres: powierzchnię ostatniego rozproszenia.

Znajduje się ona w naszej przeszłości – jakieś 13,8 miliarda lat temu.

I leży w przestrzeni kosmicznej – około 13,8 miliarda lat świetlnych od nas^[26].

Stanowi granicę tego, co obecnie jesteśmy w stanie zobaczyć.

Światło dochodzące do nas z większej odległości musiałoby podróżować dłużej niż 13,8 miliarda lat. Wcześniej było ono uwięzione, nie mogło się poruszać, gdyż cały wszechświat był zbyt gęsty. Światło zyskało możliwość swobodnego przemieszczania się w czasie i przestrzeni dopiero 13,8 miliarda lat temu, a obrazem tamtego momentu jest powierzchnia ostatniego rozproszenia. Widziana stamtąd, pokazuje początek przezroczystej czasoprzestrzeni, a widziana stąd, z Ziemi, zaznacza kraniec widzialnego wszechświata.

Powierzchnia ta jest w pewnym sensie naszym kosmicznym horyzontem. Dalej nie możemy zobaczyć już nic. W każdym razie nie z Ziemi.

Od początku tej książki podróżowałeś przez taki wszechświat, jaki widzimy ze swojej planety.

Zawsze ograniczałeś się do widzialnego wszechświata, leżącego wewnątrz naszego kosmicznego horyzontu, którego jesteśmy środkiem.

A co z wszechświatem widzianym z miejsca innego niż Ziemia? Czy centrum tamtego kosmicznego horyzontu także będzie nasza planeta?

Wyobraź sobie, że jesteś na tratwie, która dryfuje na środku oceanu, z dala od lądu. Wyraźnie widzisz horyzont, linię oddzielającą wodę od nieba. Gdy rozejrzysz się wokół, zauważysz, że tworzy on okrag, którego środkiem jesteś ty.

Czy to znaczy, że znajdujesz się w centralnym punkcie oceanu?

Jasne, że nie.

Znaczy to tylko tyle, że jesteś w centrum tej części oceanu, którą dasz radę zobaczyć, twojego widzialnego oceanu. Poza tą krawędzią, poza twoim horyzontem, nie możesz zobaczyć już nic.

Lecz to nie znaczy, że tam nic nie ma.

Coś jest.

Na pewno jest.

Twoja przyjaciółka dryfująca na innej tratwie w pewnej odległości od ciebie również będzie widziała otaczający ją horyzont. Jej horyzont, wyznaczający granicę jej widzialnego oceanu.

Gdyby była wystarczająco blisko, mogłaby się znaleźć w zasięgu twojego wzroku. Część fal na waszych widzialnych oceanach byłaby wspólna, lecz patrząc w niektórych kierunkach, twoja przyjaciółka widziałaby coś więcej niż ty, coś poza twoim horyzontem. Podobnie byłoby z tobą, gdybyś spojrział

w przeciwną niż ona stronę.

Trzeba też wziąć pod uwagę możliwość, że twoja przyjaciółka znajdzie się poza twoim horyzontem.

W takim wypadku, mimo że nie będziecie się widzieli, mogą istnieć wspólne części waszych widzialnych oceanów.

Jest jeszcze trzecia możliwość: twoja przyjaciółka będzie tak daleko, że wasze widzialne oceany nie będą miały żadnych części wspólnych. Oznacza to, że widziane z góry okręgi ograniczające wasze pola widzenia nie będą się przecinały. Wszystko, co będzie widziała twoja przyjaciółka, dla ciebie pozostanie całkowicie niewidoczne. Może oglądać jakieś wulkaniczne wyspy i wieloryby, a ty nie będziesz miał pojęcia o ich istnieniu.

Tak samo jest w przestrzeni kosmicznej.

Widzialny wszechświat, który jesteśmy w stanie zobaczyć z Ziemi, jest sferą o promieniu wynoszącym 13,8 miliarda lat świetlnych.

Nie powinniśmy jednak myśleć, że dalej za nią nie ma już nic.

Ktoś znajdujący się na innej planecie byłby otoczony własnym kosmicznym horyzontem, który również miałby promień wynoszący 13,8 miliarda lat świetlnych, ponieważ nie ma powodu, aby gdzie indziej wszechświat był młodszy czy starszy od naszego.

Trzy zasady kosmologiczne, o których już słyszałeś, potwierdzają, co następuje: widzialny wszechświat, tak odległy, że nie ma żadnych widzialnych punktów wspólnych z naszym, będzie wyglądał podobnie (lecz nie identycznie) i będą w nim obowiązywały te same prawa fizyki.

Nawet jeśli tratwa przyjaciółki znajdzie się poza zasięgiem twojego wzroku, to przecież nie pomyślisz, że nad jej widzialnym oceanem znajdują się latające góry.

To samo dotyczy przestrzeni kosmicznej. Prawa natury powinny być wszędzie takie same. Żadne miejsce nie powinno się pod tym względem różnić od innych.

Z dotychczasowych rozważań wynika, że jakikolwiek widzialny wszechświat, oglądany przez kogokolwiek żyjącego gdziekolwiek w całym naszym wszechświecie (poza jego widzialną częścią), również powinien się rozszerzać i zachowywać zgodnie z wzorem Einsteina. Oznacza to, że gdybyśmy cofnęli czas, to również natrafilibyśmy na taki sam jak u nas Wielki Wybuch. Tym razem dotyczyłby ich, a nie nas.

Według takiej wizji naszego całego wszechświata nie ma czegoś takiego jak centrum tej całości, a Wielki Wybuch nastąpił wszędzie.

Wizja taka daje ci przedsmak czegoś, co nazywamy *wieloświatem* – wszechświata składającego się z wielu oddzielnych wszechświatów, które nie mogą się z sobą komunikować, mimo że należą do tej samej całości.

Książka, którą czytasz, opisuje cztery przypadki takich wieloświatów. Na razie przedstawiam ci pierwszy z nich – ten, który większość naukowców uważa za poprawny.

Przyjmijmy, że tak jest. Czy zatem oznacza to, że cały wszechświat – owo „wszystko”, które otrzymamy z połączenia wszystkich widzialnych wszechświatów, widzianych ze wszystkich możliwych miejsc – jest nieskończony?

Nie, nie jest. Cały ocean, na przykład ten powstały przez połączenie wszystkich widzialnych oceanów, widzianych z dowolnej liczby tratw, jest skończony.

Czy w związku z tym cały wszechświat jest skończony?

Nie. Równie dobrze może być nieskończony.

Tego nie wiemy.

Jak już wspomniałem na początku poprzedniego rozdziału, równania

Einsteina nie dają nam, niestety, odpowiedzi na to pytanie.

No dobrze.

Co więc do tej pory udowodniliśmy? Uważasz, że niewiele? Właściwie to nic?

Być może nawet teoria Wielkiego Wybuchu wydaje ci się teraz słabo udokumentowana, ot, jakaś abstrakcyjna koncepcja.

Ktoś mógłby wysunąć argument, że to, co twoi przyjaciele obserwowali na niebie (że im bardziej galaktyka jest odległa, tym szybciej się od nas oddala), świadczy jedynie o tym, że wszechświat obecnie się powiększa. Do takiej ekspansji mogło przecież prowadzić wiele różnych wariantów przeszłości wszechświata. Po co wymyślać ten bzdurny Wielki Wybuch?

To prawda, ktoś mógłby tak argumentować. Ale nie trwałoby to długo.

Nauka to nie polityka.

Natura nie przejmuje się zbytnio ludzkimi opiniami, nawet jeśli są to opinie większości.

Tu zawsze potrzebne są niezbite dowody eksperymentalne.

I jak się wkrótce przekonasz, faktycznie istnieją mocne dowody na to, że w przeszłości mieliśmy Wielki Wybuch. Są tak przekonujące, że niektórzy uznają je za niepodważalne.

[26] W rzeczywistości leży już dalej, ponieważ od czasu, gdy światło, które teraz widzimy, rozpoczęło swoją podróż, wszechświat nieustannie się rozszerzał. Fizycy sądzą, że odległość ta wynosi obecnie około 46 miliardów lat świetlnych.

PAMIĄTKA PO WIELKIM WYBUCHU

Gdyby nasz wszechświat (pozostał przy tym widzialnym) był w przeszłości mniejszy, to jak mógłbyś to udowodnić? Fizycznych podróży w czasie nie bierzemy pod uwagę, ale mógłbyś zajrzeć w przeszłość.

Przyzwyczyłeś się już do myśli, że gdy dociera do ciebie światło gwiazd odległych o miliardy lat świetlnych, to widzisz je takie, jakie były przed miliardami lat. Widzisz przeszłość. Możesz więc sprawdzić, czy wszechświat był kiedyś mniejszy, lub poszukać jakichś sugerujących to wskazówek, badając sposób, w jaki światło do ciebie dochodzi.

Nie zawsze łatwo jest przeprowadzić jakieś sensowne wnioskowanie na podstawie tego, co widzimy na najdalszych krańcach wszechświata. Najlepiej dokładnie ustalić, czego się spodziewamy, a następnie sprawdzić, czy odpowiada to stanowi faktycznemu. Tak właśnie postępują fizycy teoretyczni (a przynajmniej czasem powinni tak robić).

Na początek zobaczmy, do jakich wniosków możemy dojść bez patrzenia w teleskop.

Znowu znajdujesz się na tropikalnej wyspie.

Jest głęboka noc, ale ty, zamiast obserwować gwiazdy, zaczynasz do siebie mówić, upewniwszy się wpierw, że nikt cię nie słyszy. Głośno myślisz, starając się wyobrazić sobie dzieje wszechświata...

– Jeśli wszechświat się rozszerza, to znaczy, że w przeszłości musiał być mniejszy.

– No, tak.

– Lecz jeśli wszechświat w przeszłości był mniejszy, to grawitacja, czyli zakrzywienie czasoprzestrzeni, musiała być wtedy znacznie większa, ponieważ wówczas cała materia i energia powinny były zawierać się w mniejszej objętości.

– To właśnie wynika z równań Einsteina.

– W porządku.

– Czasoprzestrzeń się wtedy zwiększała, gdyż z jakiegoś powodu występowała ekspansja. Początkowo była maleńka i bardzo gęsto wypełniona materią i energią, by po trzynastu miliardach ośmiuset milionach lat ekspansji stać się tym, czym jest teraz, z planetami takimi jak Ziemia i z gwiazdami jak te, które możesz zobaczyć na niebie nad twoją tropikalną wyspą.

– Jeśli ten obraz jest właściwy, to gdy wszechświat był mały...

– W zasadzie nie ma znaczenia, czy był wypełniony gęstą materią czy energią, ponieważ masa i energia mają identyczny wpływ na geometrię czasoprzestrzeni. Również i to stwierdził Einstein.

– Jak dotąd nieźle brzmi.

– A zatem, jeśli cała ta energia była zawarta w maleńkiej objętości, to z pewnością dochodziło tam do tarcia oraz innych zjawisk i w związku z tym we wczesnym wszechświecie musiało być bardzo gorąco.

Można się z tym zgodzić? Owszem, zwłaszcza że do takiego samego wniosku już kiedyś doszedłeś.

Ale można pokusić się też o inne wnioski.

Na przykład taki: wszechświat mógł wtedy być tak gęsty, że żadne światło nie mogło się w nim poruszać.

– Żadne światło nie mogło się w nim poruszać... Hmm... Przypomina to sytuację ze ścianą.

Masz rację, mówimy o ścianie.

Świetnie, tylko tak dalej.

Jeśli model ekspansji jest poprawny, to takie miejsce musiało istnieć na pewnym etapie historii wszechświata. I cóż, ono naprawdę istnieje. Widziałeś jego powierzchnię. To powierzchnia ostatniego rozproszenia, która stanowi granicę tego, co można w naszym wszechświecie zobaczyć.

Właśnie dokonałeś niezwykłej rzeczy.

Ureczywistiłeś marzenie fizyka: myśląc logicznie, wykorzystując równania Einsteina oraz to, co zobaczyłeś we wszechświecie od chwili opuszczenia plaży, doszedłeś do wniosku, że gdzieś tam w naszej przeszłości powinna istnieć nieprzezroczysta ściana, a jej powierzchnia powinna wciąż być widoczna... I tak jest. Powierzchnia ta została wykryta doświadczalnie i w pewien sposób odwzorowana. Wkrótce o tym opowiem.

Zdaję sobie sprawę, że czytając te słowa, pewnie wcale nie czujesz, że właśnie zrewolucjonizowałeś naszą wizję wszechświata. To dlatego, że zaprezentowano ci ścianę, zanim jeszcze zacząłeś o niej myśleć. Nie spędziłeś dwudziestu paru lat, próbując udowodnić, że powinna istnieć, na długo przed jej zobaczeniem. Ci, którzy poświęcili jej kawał swojego życia, musieli poczuć się wyjątkowo, gdy dowiedziono, że ściana istnieje.

W jaki sposób to udowodniono?

Gdy znowu idziesz na spacer po plaży, uświadamiasz sobie pewien problem: powierzchnia, którą widziałeś na granicy obecnego widzialnego wszechświata, nie całkiem pasuje do tej, o której przed chwilą myślałeś. Ta faktycznie istniejąca, którą widzimy przez nasze teleskopy, jest bardzo zimna, podczas gdy ściana, którą sobie wyobraziłeś, miała być bardzo gorąca.

Jak bardzo?

Pewnym osobom udało się za pomocą wzoru Einsteina obliczyć jej domniemaną temperaturę. Okazała się dosyć wysoka: około 3 tysięcy stopni

Celsjusza. Badacze odkryli, że tak gorący musiał być cały wszechświat, gdy stał się przezroczysty.

A ściana, którą widziałeś wysoko na niebie, tak gorąca nie była.

I to jest właśnie problem.

Ale czy o czymś nie zapomniałeś?

Czy wniosku o istnieniu gorącej przeszłości nie oparłeś na założeniu, że czasoprzestrzeń się rozszerza, a widzialny rozmiar wszechświata nieustannie się zwiększa, aby wytłumaczyć to, co twoi przyjaciele dostrzegli na niebie? Czy ta ekspansja mogła mieć wpływ na temperaturę wszechświata?

Otóż tak. Nie tylko mogła mieć wpływ, ale z pewnością miała – a to zmienia wszystko.

Nastaw piekarnik w swojej kuchni na dość wysoką temperaturę i poczekaj, aż się rozgrzeje. Następnie wyłącz go i wyobraź sobie, że szybko powiększa się do rozmiarów budynku. Temperatura w jego wnętrzu natychmiast znacznie się obniży.

Amerykańscy naukowcy George Gamow, Ralph Alpher i Robert Herman już w 1948 roku przeprowadzili obliczenia pokazujące, że – w wyniku ekspansji wszechświata – z promieniowania o temperaturze 3 tysięcy stopni Celsjusza powinien pozostać tylko słaby ślad i wypełnić cały nasz widzialny wszechświat, jak gdyby było emitowane przez powierzchnię twojej ściany. Jakiej więc temperatury możemy się tam spodziewać? Około -260 lub -270 stopni Celsjusza, czyli między 3 a 13 stopni powyżej zera absolutnego.

Siedemnaście lat później, w 1965 roku, dwóch amerykańskich fizyków Arno Penzias i Robert Wilson dostało świetną pracę w laboratorium firmy Bell w Stanach Zjednoczonych. Mieli za pomocą anteny zbierać fale radiowe odbijające się od satelity-balonu. Byłaby to łatwa i przyjemna praca, gdyby nie jedno dość przykre utrudnienie – kłopotliwy szum zakłócający odbierane sygnały. Aby dostać wynagrodzenie za wykonane zadanie, musieli się go

pozbyć. Szukając, gdzie leży ewentualny problem techniczny, wykonali mnóstwo pomysłowych testów. Ale nic to nie dało, szum w tle pozostał. W końcu, nie mogąc znaleźć innej przyczyny, obwinili gołębie i inne przelatujące w pobliżu ptaki, że na supernowoczesnej antenie załatwiają swoje potrzeby fizjologiczne. I tak dwóch facetów o imponującym dorobku naukowym godzinami czyściło całe urządzenie, klnąc przy tym na ptaki. A ponieważ zakłócenia dźwiękowe nie zniknęły, wezwali na pomoc znajomych fizyków teoretyków. Wkrótce potem zrozumieli, że ich próby pozbycia się szumu nie miały najmniejszej szansy na sukces. Okazało się, że szum nie tylko nie był spowodowany „prezentami” od ptaków, ale nawet nie pochodził z Ziemi. Nie były to zakłócenia, lecz sygnał o określonej temperaturze, a konkretnie o temperaturze $-270,42$ stopnia Celsjusza[27]. Pochodził z przestrzeni kosmicznej i napływał zewsząd.

Gamow, Alpher i Herman przewidzieli to, ponieważ tak wynikało z równań Einsteina. Szum był pozostałością po ostatnich mrocznych chwilach w dziejach naszego wszechświata – stopką momentu sprzed 13,8 miliarda lat. O wiele mniejszy niż dziś wszechświat był wtedy tak gęsto wypełniony materią i energią, że żadne światło nie mogło się w nim poruszać[28].

Penzias i Wilson potwierdzili doświadczalnie teorię, która części naukowców wydawała się tak absurdalna, że nawet jej nazwa – teoria Wielkiego Wybuchu – wymyślona przez jednego z renomowanych profesorów owych czasów, brytyjskiego naukowca Freda Hoyle’a z Uniwersytetu Cambridge, w założeniu miała ją tylko ośmieszyć.

W 1978 roku Penzias i Wilson otrzymali Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Odkryli oni ciepło pozostałe z rozpalonego pieca, którym dawno temu był nasz wszechświat – ciepło promieniujące z powierzchni ostatniego rozproszenia, która wyznacza kraniec widzialnego wszechświata[29].

Promieniowanie to, będące jedną z pamiątek po (Gorącym) Wielkim

Wybuchu, nazywamy *mikrofalowym promieniowaniem tła*. Penzias i Wilson udowodnili, że teorie Wielkiego Wybuchu to właściwy trop.

*

Ale dlaczego promieniowanie to nazywamy „mikrofalowym”?

To również wiąże się z ekspansją wszechświata.

Światło wyemitowane w czasie ostatniego rozproszenia, gdy wszechświat stał się przezroczysty, było bardzo dobrze widoczne i zawierało różne barwy, energie i częstotliwości. Obecnie jednak nie jest już ono widoczne dla naszych oczu, ponieważ zostało rozciągnięte.

Czy pamiętasz, że barwa – i energia – fal świetlnych zależy od odległości pomiędzy dwoma kolejnymi grzbietami fal? Otóż światło rozciągane przez trwającą 13,8 miliarda lat ekspansję czasoprzestrzeni najpierw miało barwę indygo, następnie stopniowo przechodziło w niebieskie, potem w zielone, żółte, pomarańczowe, czerwone, aż... stało się niewidoczne dla naszych oczu, zamieniło się w podczerwień i ostatecznie – w mikrofałe.

Obecnie jesteśmy więc na etapie mikrofal. Światło, które kiedyś było gorące i widzialne, po trwającej 13,8 miliarda lat ekspansji przekształciło się w zimne mikrofałe o temperaturze $-270,42$ stopnia Celsjusza.

Gdy sobie to uświadamiamy, teorie Wielkiego Wybuchu nagle przestają nas śmieszyć.

Ale co one właściwie znaczą? Czy wynika z nich, że wszechświat został stworzony na powierzchni ostatniego rozproszenia?

Nic podobnego.

W poprzednim rozdziale przeczytałeś, że powierzchnia, którą widzimy z Ziemi na końcu naszego widzialnego wszechświata, nie ma żadnego znaczenia dla obserwatorów znajdujących się poza naszą planetą, bo oni mają swoje własne powierzchnie ostatniego rozproszenia.

Ale co to dla nas znaczy?

Jeśli to nie tam powstał wszechświat, za powierzchnią ostatniego rozproszenia musi się jeszcze coś znajdować.

Czy wiemy, co moglibyśmy tam znaleźć? Może to Wielki Wybuch?

No cóż, w pewnym sensie tak. Za tą powierzchnią znajduje się Wielki Wybuch.

Lecz nie tuż za nią.

Nastąpił on 380 tysięcy lat wcześniej.

Trzysta osiemdziesiąt tysięcy lat przed tym, jak wszechświat stał się przezroczysty.

To, co znajduje się za (czy poza lub przed) powierzchnią ostatniego rozproszenia, a czym później stał się nasz widzialny wszechświat, można opisać jako zupę składającą się z materii, światła, energii oraz zakrzywienia, z czasem coraz gęstsza i coraz bardziej gorąca. Już wkrótce będziesz gotowy, aby tam się znaleźć i zobaczyć to wszystko na własne oczy. Na razie poprzestańmy na stwierdzeniu, że im dalej wypuszczasz się poza tę ścianę, przenosząc się w głęboką przeszłość naszego wszechświata, tym bardziej ekstremalne wszystko się staje. Jeśli znajdziesz się zbyt daleko, wszystko wokół nagle straci sens. Nawet czas i przestrzeń staną się tak zakrzywione, że równania Einsteina już sobie z taką rzeczywistością nie poradzą.

W takiej sytuacji fizycy teoretycy dochodzą do punktu, gdzie nie można już nic o niczym powiedzieć. Jest on uznawany za moment narodzin takiego czasu i przestrzeni, jakie znamy. Zgodnie z definicją, jaką będziemy stosować w książce, punkt ten znajduje się poza Wielkim Wybuchem.

Dotarcie do niego i odkrycie, czym jest Wielki Wybuch, będzie twoim zadaniem w piątej części książki.

A w części siódmej, podczas twojej ostatniej podróży, znajdziesz się jeszcze dalej, poza początkiem czasu i przestrzeni.

Ale dlaczego nie możemy wybrać się tam już teraz?

No cóż, na razie trochę odetchnij i pogratuluj sobie. Przebyłeś długą drogę od swojego pierwszego lądowania na Księżycu. Poznałeś wiele faktów dotyczących wszechświata, o których twoim pradziadkom nawet się nie śniło.

Dowiedziałeś się, że struktura naszego wszechświata to kontinuum czasu i przestrzeni, zwane czasoprzestrzenią. Jest ukształtowana przez to, z czego się składa, ale też jej geometria i zawartość wciąż ewoluują, wpływając na siebie nawzajem.

Dowiedziałeś się, że – jakkolwiek miarą ją mierzyć – czasoprzestrzeń jest wielka, większa nawet, niż jesteśmy to w stanie zobaczyć – i że nie znamy jej kształtu ani rozmiaru.

Nasza widzialna rzeczywistość jest naprawdę ogromna, lecz nie zawsze tak było.

Dowiedziałeś się, że wszechświat ma przeszłość i prawdopodobnie także początek, a było to 13,8 miliarda lat temu, i skrywa się za nieprzepuszczającą światła powierzchnią.

Dowiedziałeś się też, że od tamtej chwili wszechświat się rozszerza i z każdą chwilą staje się większy.

Powinieneś być dumny z tego, że już to wszystko wiesz.

Czemuż by więc nie przenieść się zaraz do początku naszego wszechświata?

Otóż najpierw powinieneś dowiedzieć się, z czego on się składa. Bez takiej wiedzy nie będziesz miał szans na rozwikłanie największych sekretów dotyczących powstania i ewentualnej przyszłości wszechświata.

– Dobra, zrobmy to! – wołasz do siebie, otwierając oczy.

Znad oceanu wieje lekka nocna bryza. Świeci Księżyc w pełni. Jego okrągłą tarcza odbija promienie słoneczne, dzięki czemu wyspa skąpana jest w srebrnym

światle i pokryta mozaiką cieni. Kilka żółwi nieśmiało wypęła z wody, aby spędzić noc na piasku. A jeśli to ten właściwy dzień, być może złożą jaja. Czujesz się wspaniale.

– Jeszcze tam wróć! – krzyczysz w stronę gwiazd.

Ale nie jesteś już sam.

Słyszając szepty, odwracasz się i widzisz, jak przyjaciele rozmawiają z twoją cioteczną babcią, rzucając na ciebie porozumiewawcze spojrzenia.

Gdy usłyszeli, że przez całą noc mówisz do siebie na plaży, uznali, że trzeba przyspieszyć twój powrót do domu, i poszukali najbliższego lotu. Samolot startuje za kilka godzin. Przyjaciele mówią ci, że powinieneś się spakować i trochę odpocząć.

Twoje żale, protesty i górnolotne przemowy o wolności słowa nie robią na nich żadnego wrażenia.

Zostajesz odesłany do domu.

Choćby ci było trochę żal żegnać się z morzem, ptakami i miłym wietrzykiem, nie martw się: twoja podróż przez współczesną naukę dopiero się rozpoczęła!

[27] Sygnał, czyli mikrofalowe promieniowanie tła, będące promieniowaniem elektromagnetycznym, w zależności od długości fali ma określoną energię i można mu przypisać określoną temperaturę, która odpowiada temperaturze, jaką miałyby ciało, które emitowałyby takie promieniowanie (przyp. red.).

[28] Jeśli się nad tym zastanawiasz, to za miliard lat powierzchnia ostatniego rozproszenia wciąż będzie taka sama, lecz bardziej od nas odległa i w związku z tym mniej wyraźna. A za setki miliardów lat zupełnie zniknie nam z oczu. Tak więc pewnego dnia w niezwykle odległej przyszłości nasi potomkowie nie będą nawet w stanie udowodnić, że dzieje naszego wszechświata rozpoczęły się Wielkim Wybuchem...

[29] Może się też zastanawiasz, dlaczego powierzchnia ostatniego rozproszenia nosi taką nazwę. Otóż gdy światło (powiedzmy, foton) uderza w elektron, to mówimy, że się rozprasza. Tuż

przed ścianą światło bezustannie rozpraszało się w zderzeniu z materią. Była ona tak gęsta, że rozpraszanie odbywało się bez przerwy i fotony nie mogły się w ogóle poruszać. Stąd brała się nieprzezroczystość wszechświata. W miarę swojej ekspansji wszechświat stawał się coraz mniej gęsty, aż pewnego dnia światło mogło się już swobodnie poruszać. To właśnie wtedy, gdy światło rozproszyło się po raz ostatni, w naszej przeszłości pojawiła się powierzchnia ostatniego rozproszenia. To jest twoja ściana. Jest światłem pochodzącym z tamtej chwili, które nadal dziś odbieramy, a które Penzias i Wilson wykryli, gdy rozchodziło się już od 13,8 miliarda lat.

CZEŚĆ III

S Z Y B K O

PRZYGOTOWANIA

Nasze zmysły są przystosowane do naszych potrzeb i naszych rozmiarów – pozwalają nam przetrwać na Ziemi. Oczy potrafią ocenić, czy owoc jest już na tyle dojrzały, aby go zjeść, uszy nasłuchują, czy nie grozi nam jakieś niebezpieczeństwo, a skóra reaguje na zimno lodu i gorąco ognia. Nasze zmysły umożliwiają nam widzenie, wążanie, dotykane, smakowanie i słuchanie środowiska, świata, rzeczywistości, w jakich żyjemy.

Lecz ta rzeczywistość to jeszcze nie wszystko.

W porównaniu z naszą planetą mamy raczej niewielkie rozmiary. Sama Ziemia – jak pewnie zauważyłeś w czasie swoich podróży po wszechświecie – też nie jest zbyt duża, jeśli zestawić ją z kosmosem. Byłoby więc co najmniej dziwne, gdyby do przeżycia na małej i skromnej planecie ewolucja wyposażyła nasze ciało w nader wyrafinowane zmysły zdolne zarejestrować wszystkie znane i nieznane nam bodźce z całego kosmosu.

Przez całe dzieje człowieka jego ciało nie musiało pojmować tajemnic świata subatomowego, prędkości światła czy pełnego zakresu promieniowania, od mikrofala po promienie Roentgena. Nie potrafimy nawet wyczuć różnicy między dwiema wyjątkowo wysokimi czy dwiema ekstremalnie niskimi temperaturami: zanim zdołalibyśmy ocenić takie subtelności, stopiłyby się albo zamroziły nasze palce. Dla naszego przetrwania na Ziemi o wiele istotniejsze jest to, żebyśmy wyciągnęli dłoń z ognia albo ochronili ją przed zimnem.

Językiem możemy wykryć łagodny kwas cytrynowy, aby ocenić przydatność owocu do konsumpcji. Nie jesteśmy jednak w stanie wyczuć różnicy między

żrącymi kwasami, siarkowym i solnym – wcześniej wypaliłyby nam dziurę w języku.

Poza zwykłym efektem grawitacyjnym nasze ciało nie wyczuwa także żadnych zakrzywień czasoprzestrzeni. W codziennym życiu musimy tylko wiedzieć, że na powierzchni naszego świata jest bezpiecznie.

Świat, jaki odbieramy za pomocą zmysłów, jest więc siłą rzeczy ograniczony. Zmysły – nasze okna na świat – to tylko małe iluminatory, przez które patrzymy na przepastne morze ciemności. Przez miliony lat nasza intuicyjna wiedza o tym, co z taką pewnością nazywamy „rzeczywistością”, opierała się wyłącznie na postrzeganiu zmysłowym.

To już jednak należy do przeszłości.

Teraz do badania rzeczywistości możemy wykorzystywać nie tylko nasze zmysły.

A tak widziana rzeczywistość okazuje się inna, niż sądziliśmy.

W pierwszych dwóch częściach tej książki podróżowałeś naprawdę daleko. Przebyłeś międzygalaktyczne pustki i udało ci się nawet zobaczyć, jak duży jest nasz wszechświat. Dowiedziałeś się, że Newton nie miał racji, uważając, że prawo powszechnego ciężenia jest uniwersalne. Grawitacja, jak stwierdził Einstein, jest rezultatem zakrzywienia czasoprzestrzeni, nie siłą.

Newton nauczył nas, jak używać słów i wzorów, by opisywać i przewidywać funkcjonowanie świata, który możemy wykryć za pomocą zmysłów. Einstein, wraz ze swoją ogólną teorią względności, zaprowadził cię jeszcze dalej, ale to nie zmysły pozwoliły ci pójść tam za nim. To był twój mózg. Używając go, odkryłeś prawo, które łączy czas, przestrzeń, materię i energię w teorię grawitacji.

To był twój pierwszy nieznaną łąd.

Za chwilę wkroczysz na dwa inne nieznane terytoria i poczujesz się tak, jak podróżnik pierwszy raz stawiający stopę na dziewiczym lądzie, gdzie wszystko jest obce i niczego nie można być pewnym – nawet praw natury.

Jedno z tych terytoriów jest królestwem wielkich prędkości, drugie, najbogatsze ze wszystkich, to królestwo bardzo małych rozmiarów.

Na pierwszy (i drugi, i trzeci...) rzut oka z pewnością wydadzą ci się obce. Jestem pewien, że twój zdrowy rozsądek będzie się nieustannie buntował. Pamiętaj jednak, że cała materia, z której składa się twoje ciało, należy do tych egzotycznych terytoriów. W rzeczywistości podlegasz prawom natury całkowicie odmiennym od tych, których doświadczałeś, wylegując się na tropikalnej plaży. I tylko dzięki bardzo dziwnemu mechanizmowi rzeczywistość, jaką postrzegamy na co dzień, wygląda w naszych oczach tak, a nie inaczej.

OSOBLIWY SEN

Siedzisz na miejscu 13A, przy oknie. W samolocie jest 73 pasażerów. Wszyscy wyglądają normalnie z wyjątkiem twojego sąsiada, który sprawia wrażenie dziwaka. Starasz się na niego nie patrzeć i prawie zaczynasz żałować, że poprosiłeś o miejsce z dala od swojej ciotecznej babci. Jesteś na pokładzie dopiero od kilku minut – weszliście jako ostatni i samolot zaraz wystartuje. Twój przyjaciele z wakacji machają ci na pożegnanie, czują wyraźną ulgę, że wyjeżdżasz. Wzdychasz, żałując, że podróż przez wszechświat już się skończyła. Chociaż trochę nieswojo się czuleś, była to dobra zabawa, dlatego teraz niezbyt chętnie lecisz z powrotem do domu.

Silniki wypychają skrzydlatą maszynę do góry, w niebo, w zakrzywienie czasoprzestrzeni, które nasza planeta tworzy samą swoją obecnością. Zostajesz wciśnięty w fotel, więc czujesz się cięższy niż zwykle. W tej chwili odczuwasz grawitację, tak jakbyś znajdował się nie w samolocie, lecz na powierzchni jakiejś innej planety, gdzie ciężenie jest większe niż na Ziemi.

Tęskniąc za kolejną podróżą międzygwiazdną, zamykasz oczy i uruchamiasz wyobraźnię.

W twojej głowie pojawia się piękny, nieznaną krajobraz z dziwnymi drzewami i jeziorami oraz z niebem, na którym znajdują się dwa słońca. Przypominasz sobie, że w ostatnich kilku latach ludzkość odkryła tysiące planet krążących po orbitach odległych gwiazd, planet, z których nieliczne mogą być podobne do Ziemi.

Buczenie silników samolotu powoli cię usypia. Zaczynasz marzyć o tym, że

jesteś gdzieś daleko, lecisz futurystycznym samolotem przez różowe obce niebo z dwoma słońcami. Do twoich uszu dociera odległy głos. Informuje, że twój samolot osiągnął wysokość przelotową i zaraz zacznie przyspieszać do niespotykanej prędkości wynoszącej 99,999999999 procent prędkości światła.

Po pewnym czasie budzi cię głos stewardesy, która mówi, że samolot niedługo będzie lądować. Rzut oka na zegarek uświadamia ci, że spałeś osiem godzin. Przeciągasz się, ziewasz, odsuwasz przesłonę i wyglądasz przez okno. Widać tylko jedno Słońce. Jego promienie odbijają się od porannych chmur, nadając im różowy odcień podobny do koloru obcego nieba, o którym fantazjowałeś, zanim zasnąłeś. Patrzysz w dół. Powierzchnia Ziemi widziana z samolotu wcale nie wygląda tak, jak się spodziewałeś. Bezkresny ocean rozciąga się aż po horyzont.

Macie lądować za niecałą minutę, ale widzisz tylko przestwór wód... Ogarniają cię czarne myśli, zimny dreszcz przebiega ci po krzyżu. Czyżby samolot został porwany? Pozostali pasażerowie i siedząca kilka rzędów przed tobą cioteczna babcia sprawiają wrażenie odprężonych, twój dziwny sąsiad śpi. A więc to nie porwanie.

Ale wciąż coś jest nie w porządku.

Może podczas twojego snu cała Ziemia została zalana wodą?

Gdzieś już czytałeś, że mniej więcej 10 tysięcy lat temu wszystkie oceany na naszej planecie były głębsze niż teraz i pokrywały znaczną część kontynentów. Zastanawiasz się nad tym, spoglądając przez okno. Może przeniosłeś się w czasie i obudziłeś się na zalanej wodą Ziemi, na której żyją teraz dawno wymarłe gatunki? Uśmiechasz się na tę myśl, ale nie możesz pozbyć się wrażenia, że coś tu jednak nie gra.

Zegarek pokazuje, że spałeś osiem godzin. W czasie, gdy byłeś nieświadomy, z tobą i samolotem wszystko mogło się zdarzyć.

Dotychczas, jak każdy z nas, zwykle budziłeś się w tym samym miejscu, w którym zasypiałeś. Wyobraź sobie teraz, że zapadasz w drzemkę pierwszy raz w życiu. Po przebudzeniu z pewnością byłbyś trochę zdezorientowany. Najpierw byś sprawdził, która godzina i gdzie się znajdujesz – wiele osób w panice tak robi, budząc się z dala od domu. Faktycznie większość z nas zawsze sprawdza, która jest godzina, niezależnie od tego, gdzie się budzi. Tylko w wyjątkowych wypadkach – na przykład po szczególnie udanej imprezie – sprawdzamy również miejsce.

Tak naprawdę nigdy nie budzisz się w tym samym miejscu, w którym zasypiałeś. Nigdy, ponieważ na czas twojego snu Ziemia nie staje w miejscu. Przez godzinę przebywa 800 tysięcy kilometrów wokół centrum naszej galaktyki. A z nią także i ty. Odpowiada to mniej więcej dwudziestu podróżom dookoła naszego globu. W każdej godzinie snu. Jak długo jednak leży się w swoim łóżku, nikt się tym nie przejmuje.

Co innego, gdyby naszej planecie – albo tylko tobie – udało się przemieścić także w czasie. Jednak to niemożliwe. Podróże w czasie nie istnieją. A może jednak?

Gdy przez okno samolotu przyglądasz się rozległemu miastu leżącemu pośrodku oceanu, zdajesz sobie sprawę, że nie wylądujesz na takiej Ziemi, jaką opuściłeś.

Oczywiście wpadasz w panikę i próbujesz wstać, ale powstrzymują cię pasy bezpieczeństwa, a ryczące silniki zagłuszają twój krzyk. Machasz rozpaczliwie do stewarda, lecz ten ze złością marszczy brwi i ucisza cię gestem. Za chwilę przypomina przez mikrofon, że awanturowanie się podczas lądowania i startu samolotu w 2416 roku wciąż jest karalne.

Otwierasz szeroko oczy.

Co on powiedział? W którym roku?

Sekundę później twój samolot ląduje na wodzie i zaczyna sunąć aleją

pośród szklanych drapaczy chmur o zupełnie obcej ci architekturze.

Gapisz się w okno tępym wzrokiem, kiedy nagle rozlega się głos stewardesy. Łagodnym, profesjonalnym tonem używanym przez obsługę samolotów na całym świecie wita cię w domu, 4 czerwca 2416 roku, cztery stulecia po twoim starcie, trzy dni przed planowanym terminem lądowania. Jest dziesiąta dwadzieścia pięć, poranna mgła wkrótce ustąpi, zapowiada się słoneczny dzień. Przewiduje się temperaturę o dziesięć stopni wyższą od średniej temperatury z początku XXI wieku. Stewardesa dziękuje też za wybranie McFly Airlines, członka Future Skies Alliance.

Rok 2416.

Spoglądasz na smartfon. Brak zasięgu, oczywiście. Na szczęście twój zegarek nadal chodzi. A według niego podróżowałeś zaledwie osiem godzin, a nie czterysta lat.

Coś tu jest bardzo, ale to bardzo nie w porządku.

Czy to jakiś żart? Może to wszystko zaplanowali twoi przyjaciele?

Sprawdzasz swój bilet lotniczy.

Jest wystawiony na lot powrotny do domu.

Czy jesteś pod wpływem narkotyków?

A może, co gorsza, to dzieje się naprawdę?

Czy na lotnisku masz się spodziewać komornika z powodu czterystuletnich zaległości w płaceniu czynszu? Czy przyjdzie osoba, z którą się ostatnio umówiłeś na randkę? A co z mlekiem, które zostało w lodówce? Te ważne praktyczne pytania, które przychodzą ci na myśl, przyprawiają cię o zawrót głowy.

Jesteś w przyszłości, czterysta lat później.

Ale w czyjej przyszłości? Z pewnością nie we własnej, ponieważ twoje ciało nie wygląda, jakby przez te osiem godzin się zestarzało. To może w przyszłości twoich przyjaciół i rodziny? Miasto, w którym właśnie wylądowałeś,

z pewnością nie przypomina miast z twoich czasów.

Wydaje się, że kiedy spałeś, czas na zewnątrz samolotu faktycznie przyspieszył.

Ale chwileczkę...

Jak czas na zewnątrz samolotu mógł tak bardzo przyspieszyć, podczas gdy czas w jego wnętrzu biegł po staremu?

To brzmi absurdalnie.

Ale zdaje się, że tak właśnie jest.

A winę za to ponosi wyjątkowa prędkość twojego samolotu.

NASZ WŁASNY CZAS

Prędkość zmienia wszystko. Nawet czas i przestrzeń.

Zegar poruszający się w przestrzeni kosmicznej z ogromną prędkością nie tyka w takim samym tempie jak zegarek na twoim nadgarstku, gdy przechadzasz się po tropikalnej plaży. Nie istnieje pojęcie uniwersalnego czasu – boskiego zegara, który znajdowałby się gdzieś poza naszym wszechświatem i jednocześnie mierzył ruch tego, co się we wszechświecie znajduje, przebieg ewolucji, wiek samego wszechświata oraz wszystko inne.

Zdarzenie z samolotu świetnie to ilustruje.

Czas, z jakim mamy do czynienia, wydaje się dla wszystkich identyczny – uniwersalny. Złudzenie to ma tylko jedną przyczynę: w porównaniu ze światłem nikt z nas (nawet pilot myśliwca) nie porusza się znacznie szybciej czy znacznie wolniej od innej osoby, co doskonale służy zegarmistrzom. Gdyby wszyscy ludzie, zwierzęta i przedmioty znajdujące się na powierzchni naszej planety miały własne zegary, to czas przez nie wskazywany różniłby się od innych, choć nasze zmysły nie byłyby w stanie tego wyczuć. Każdy z nas ma własny, przypisany mu na wyłączność czas. Einstein doszedł do takiego wniosku dziesięć lat przed opublikowaniem swojej teorii grawitacji – ogólnej teorii względności, z którą zapoznałeś się w poprzedniej części książki.

Mając dwadzieścia parę lat, Einstein zarabiał na życie jako urzędnik patentowy (a właściwie jego asystent) w Bernie w Szwajcarii, ponieważ nikt nie

chciał mu zaoferować pracy na żadnym uniwersytecie. Nie uniemożliwiło mu to jednak myślenia.

W przerwach między ocenianiem wniosków patentowych próbował sobie wyobrazić, jak świat ukazuje się ruchomym obiektom w zależności od ich prędkości. Chciał opracować teorię poruszających się ciał. Nie miał wtedy jeszcze obsesji ani na punkcie grawitacji, ani na punkcie wszechświata jako całości. Interesowało go tylko, jak to się dzieje, że obiekty się w nim poruszają.

W 1905 roku, jako zaledwie dwudziestosześcioletek, Einstein opublikował wyniki swojej pracy. Cała naukowa społeczność wkrótce zdała sobie sprawę, że zza biurka zagubionego gdzieś w budynkach Szwajcarskiego Biura Patentowego nieznana nikomu osoba wysunęła niezwykłą tezę. Brzmiała ona następująco: zegary nie zawsze chodzą w tym samym tempie. A ściśle mówiąc, tykanie zegarów zależy od tego, jak się względem siebie poruszają.

Na dodatek teoria wysunięta przez tego nieznanego młodego człowieka umożliwia przewidywanie rzeczywistej różnicy czasu, jakiej doświadczyliby dwaj podróżnicy, w zależności od ich prędkości względnej. Teoria ta nazywa się *szczególną teorią względności*.

Wyobraźmy sobie bliźnięta.

Dwoje, ponieważ zwykle występują w parach.

Kilka lat po ukazaniu się publikacji Einsteina francuski fizyk Paul Langevin, korzystając z jego teorii, obliczył, że jeśli jeden z tych bliźniaków zostanie wysłany w poruszającej się z prędkością wynoszącą 99,995 procent prędkości światła rakiecie w półroczną podróż po orbicie okołoziemskiej, to drugi bliźniak będzie czekał na Ziemi na jego powrót przez 50 lat. Tak długo będzie również czekała na niego cała ludzkość – nasza planeta okrąży w tym czasie Słońce 50 razy. I chociaż są oni bliźniakami, to po zakończeniu podróży jeden z nich będzie starszy od drugiego o 49 lat i 6 miesięcy. Brzmi to dość zaskakująco.

Gdy podgrzewasz metalowy pręt, to się rozszerza i wydłuża. Mówimy wtedy, że się rozpręża. Jeśli będziemy go podgrzewać w precyzyjny sposób, to może doprowadzimy tylko do wydłużenia się samego pręta, a nie kowadła, na którym on spoczywa – czyli otoczenie pręta się nie zmieni.

Szczególna teoria względności mówi, że podobne zjawisko dotyczy czasu. W wypadku rakiety wystrzelonej z prędkością wynoszącą 99,995 procent prędkości światła – czy twojego lecącego z prędkością 99,999999999 procent prędkości światła samolotu – wszystko, co znajduje się wewnątrz nich, również będzie się bardzo szybko poruszało. Ale nie ich otoczenie. Tak więc przez ich czas, i tylko ich czas, będą pod wpływem tej ekstremalnej, w stosunku do otaczającego ich świata, prędkości.

To, czego doświadczyły bliźnięta Langevina oraz ty, podróżujący w wyjątkowo szybko poruszającym się samolocie, naukowcy nazywają *dylatacją czasu*. Im szybciej się poruszamy, tym dylatacja czasu jest wyraźniejsza.

Bardzo osobliwe zjawisko.

Szczególna teoria względności Einsteina wskazuje na coś jeszcze trudniejszego do zaakceptowania: jeśli twój czas ulega dylatacji, to długość przedmiotów się zmniejsza...

Ponieważ w samolocie smacznie spałeś, gdy te rzeczy się działy, chciałbym zaproponować ci kolejny wypad w świat wielkich prędkości.

Zobaczysz sam, czym staje się nasza rzeczywistość, gdy oglądamy ją w czasie podróży z niewiarygodnie dużą prędkością.

Na chwilę zapomnij o swoim samolocie, a nawet o grawitacji.

Wyobraź sobie, że znajdujesz się na Ziemi, w skafandrze kosmicznym, a do pleców masz przymocowane dwie rakiety, w których nigdy nie skończy się paliwo. Zostawiasz za sobą dotychczasowe życie i wybierasz się w podróż.

Startujesz z nadzieją, że na swojej drodze nie napotkasz żadnych zabłąkanych odłamków skalnych.

Tym razem przez dzieje naszego wszechświata będzie podróżował nie tylko twój umysł, lecz umysł wraz z ciałem, a kosmiczna przejażdżka ma być jedynie zabawą.

Jesteś już w przestrzeni kosmicznej.

Sprawdzasz swój zegarek.

Tyka tak samo jak zawsze – wydaje się, że sekunda trwa na nim sekundę, cokolwiek to znaczy.

Ziemia za twoimi plecami coraz bardziej się oddala. Wyobraź sobie, że znajduje się nad nią olbrzymi zegar, który będziesz widział z każdego miejsca wszechświata. Powiedzmy, że pokazuje on godzinę, dzień i rok, jakie są właśnie w domu twojej ciotecznej babci.

Twoje silniki sterujące mają potężną moc.

Lecisz z prędkością wynoszącą 87 procent prędkości światła.

Dla zegarka znajdującego się na twoim nadgarstku i dla twojego organizmu sekunda wciąż trwa sekundę, ale wszystko wokół ciebie zaczyna być dziwnie zniekształcone.

Odwracasz się, aby spojrzeć na zegar znajdujący się ponad Ziemią.

Gdy na twoim zegarku mija sekunda, na twojej ojczystej planecie mijają dwie.

Zadziwiająco.

Starzejesz się teraz dwa razy wolniej niż osoba znajdująca się na Ziemi. Ale jeśli chodzi o twoje postrzeganie rzeczywistości, sekunda zawsze trwa sekundę. Wydaje się, że to zegar na naszej planecie chodzi szybciej.

Lecisz dalej.

Teraz poruszasz się już z prędkością wynoszącą 98 procent prędkości światła

Gdy na Ziemi upływa pięć godzin, tobie mija tylko godzina.

Patrzysz przed siebie, na odległe galaktyki.

Co dziwne, wszystkie świecące kropki na niebie, które jeszcze przed chwilą wydawały się nadzwyczaj odległe, teraz już nie są tak daleko. Tak jakby te galaktyki skoczyły w twoim kierunku i znajdowały się dokładnie pięć razy bliżej.

Lecz to z pewnością nie jest możliwe.

Spoglądasz na zegarek oraz na tachometr (urządzenie mierzące prędkość, podobnie jak w samochodzie). Lecisz z prędkością wynoszącą 99,995 procent prędkości światła, czyli taką, jaką Langevin nadał rakiecie jednego ze swoich bliźniaków. To wciąż nie tak szybko, jak na pokładzie twojego samolotu, ale nawet w takiej sytuacji zegary na Ziemi tykają sto razy szybciej niż twój zegarek. Gdy na twojej ojczystej planecie minie cała doba, w miejscu, gdzie się znajdujesz, będzie to tylko 1 minuta i 26 sekund. Jeden twój rok to w domu twojej ciotecznej babci całe stulecie. Ale jak to się stało, że te odległe galaktyki, które powinny znajdować się miliony lat świetlnych przed tobą, nagle znalazły się w tak niewielkiej odległości od ciebie? Z pewnością nie mogą być tak blisko po zaledwie kilku godzinach podróży!

A jednak są.

Sto razy bliżej.

Twoja odległość od nich zmniejszyła się tyle samo razy, ile razy twój czas zwolnił w stosunku do ziemskiego.

To jednak zupełnie inny przypadek niż rozszerzanie się wszechświata w każdym kierunku.

Tutaj jest inaczej. Zjawisko zachodzi jedynie w tym kierunku, w którym podróżujesz.

I zależy ono od ciebie i tylko od ciebie.

Zapomnij więc o wszechświecie. Pomyśl o sobie i skoncentruj się na tym, co widzisz.

Masz wrażenie, że z twojej prawej i lewej strony nic się nie zmieniło, podobnie nad i pod tobą – znajdujące się tam odległe galaktyki są teraz mniej więcej w tym samym miejscu, co przed twoim startem. Ale zupełnie inaczej jest z galaktykami, które widzisz przed sobą. Tak więc nie masz już żadnych wątpliwości, że dzieje się coś podejrzanego – wydaje się, że nie tylko wydłużył się czas, ale też coś się stało z długością i odległością... Skróciły się? Skurczyły się?

Wszystko na to wskazuje. Cały wszechświat wygląda teraz tak, jakbyś patrzył na niego przez zdeformowaną lupę, która zmniejsza odległości przed tobą, ale nie po bokach.

Sprawdzasz czas na swoim zegarku.

Sekunda wciąż trwa na nim sekundę. Cały czas przyspieszasz i wszystko wydaje się coraz bardziej zniekształcone. Co zrozumiałe, jesteś zdezorientowany i przestraszony, robisz więc gwałtowny zwrot o 180 stopni, aby wrócić na Ziemię. Spodziewasz się, że będzie ona bardzo daleko... Ale nasza planeta znajduje się tuż przed tobą! Obracasz głowę. Galaktyki, w których stronę przed chwilą zmierzałeś, są znowu tam, gdzie były – niezwykle daleko! W jakimkolwiek kierunku poruszasz się z tą zadziwiającą prędkością, wszystko, co znajduje się przed tobą, wydaje się odległe o rzut kamieniem, podczas gdy odległości w innych kierunkach się nie zmieniają...

Kilka minut później, wciąż zbity z tropu, przelatujesz obok Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, która krąży wokół naszej planety w obłędnym tempie. Spoglądasz na swój zegarek: sekunda nadal trwa na nim sekundę... Mijas astronautkę, której ruchy przyspieszyły sto tysięcy razy. Wskazówki jej zegarka obracają się jak szalone. Widzisz różnicę między jej czasem a swoim! Widzisz, jak mija jej życie. Dziesięć godzin na jej zegarku to zaledwie ułamek sekundy na twoim... Stosownie do tego się porusza... To samo dzieje się ze stacją kosmiczną, z Ziemią i ze wszystkim, co znajduje się

w pobliżu... A twoje rakiety wciąż działają i pchany naprzód, mkniesz obok naszej planety. Coraz szybciej i szybciej. W stronę nieskończoności...

Mija pół sekundy twojego czasu; astronautka jest już z powrotem na Ziemi. Kilka mrugnięć okiem później już nie żyje, jej dzieci zdążyły dorosnąć i mieć swoje dzieci. Nasza planeta obraca się przez kolejne tysiące dni, nocy i lat, ale ty jesteś zbyt daleko, aby cokolwiek więcej zobaczyć.

Mija kilka twoich sekund.

Nadal przyspieszasz.

Nie ma sensu wracać na Ziemię. Wylądowałbyś w tak odległej przyszłości, że czułbyś się jak zabytek i z pewnością tak też byłbyś traktowany.

Cały wszechświat znajdujący się przed tobą sprawia wrażenie, jakby się wciąż zbliżał i stawał coraz bardziej płaski.

Po bokach nic się nie zmienia. Zaburzenia pojawiają się tylko w kierunku, w którym podróżujesz.

Cały czas przyspieszasz.

Jesteś coraz bliżej osiągnięcia prędkości światła, ale znowu coś jest nie w porządku: choć dotąd rakiety coraz szybciej popychały cię do przodu w czasie i w przestrzeni, ostatnio twoja prędkość przestała tak szybko wzrastać.

Wygląda na to, że teraz energia rakiet zamienia się w... W masę.

Jesteś tego pewien. Z minuty na minutę stajesz się coraz cięższy.

Lata diety zrujnowane przez rakiety.

Kto by pomyślał?

„CO JEST?!” – krzyczysz zirytowany, a wszystko wokół zastyga w bezruchu.

Unosisz się gdzieś wysoko i daleko w przestrzeni kosmicznej, zapewne miliony lat w przyszłości, ale pozostajesz nieruchomy.

To całkiem wygodne.

Przez chwilę możesz się odprężyć.

Świetnie.

Przeanalizujmy razem trzy sprzeczne z intuicją aspekty podróży, którą właśnie odbyłeś.

Po pierwsze, twój czas płynął inaczej niż czas ludzi znajdujących się na Ziemi oraz czas astronautki (który był tak zbliżony do pokazywanego przez olbrzymi zegar unoszący się nad domem twojej ciotecznej babci, że można je uznać za identyczne). Mechaniczne zegarki na waszych nadgarstkach nie odmierzały czasu w tym samym tempie, a różnica była tym większa, im szybciej się poruszałeś. Dziwna sprawa, ale tak właśnie jest.

Po drugie, w podróży obserwowałeś, że odległości przed tobą się skracały. Obiekty, które wydawały się bardzo odległe, gdy poruszałeś się z normalną prędkością, momentalnie się przybliżyły, kiedy przyspieszałeś. Zgadzam się, to też dziwne, ale tak się dzieje. Zjawisko to nazywamy *skróceniem odległości*.

Po trzecie, w trakcie podróży stawałeś się coraz cięższy. Było to, delikatnie mówiąc, irytujące, choć zapewne nie tak niespodziewane jak dwa poprzednie efekty – przecież już wiesz, że $E = mc^2$. A zatem, przyjrzyjmy się teraz temu szczególnemu skutkowi ubocznemu podróży z dużą prędkością.

Nic, co ma masę, nie może osiągnąć prędkości światła, nie mówiąc już o jej przekroczeniu. To jedno z praw fizyki. Im szybciej jakiś obiekt się porusza, tym trudniej nadać mu jeszcze większą prędkość. Aby zrozumieć, co to oznacza w praktyce, wyobraź sobie, że lecisz tak szybko, że dodanie zaledwie jednego kilometra na twoim tachometrze oznaczałoby, że osiągnąłeś prędkość światła.

Wyjmij teraz z kieszeni piłkę tenisową i rzuć ją przed siebie. Na potrzeby naszego eksperymentu założmy, że nadajesz jej prędkość 20 kilometrów na godzinę.

Na Ziemi byłoby to łatwe. Ale w twojej sytuacji takie nie jest. A tak

naprawdę to w ogóle niemożliwe. Nic nie może poruszać się szybciej niż światło. Gdy więc lecisz z prędkością zaledwie o kilometr mniejszą od jego prędkości, twoja piłka po prostu nie może poruszać się jeszcze o 20 kilometrów na godzinę szybciej.

Nic nie powstrzyma cię od rzucenia piłką, ale jeśli nie może ona lecieć szybciej niż światło, z pewnością coś innego musi skorzystać na tym, że ciskasz ją w pustkę. Tylko co? Odpowiedź na to pytanie daje nam stary dobry wzór $E = mc^2$, z którego wynika, że dodatkowa energia, którą przekazujesz piłce, rzucając ją, zamieni się w masę, gdyż nie może zamienić się w prędkość^[30].

Wiesz już, że masę można zamienić w energię (na przykład we wnętrzu gwiazd), a teraz masz do czynienia z odwrotnym zjawiskiem – energia jest zamieniana w masę. I w tym miejscu postawmy kropkę. Dzięki szczególnej teorii względności Einsteina właśnie się dowiedziałeś, dlaczego, zanim krzyknąłeś i wszystko zamarło w bezruchu, stawałeś się coraz cięższy.

Zajmijmy się teraz dwoma innymi problemami, które pojawiły się podczas twojej podróży: wydłużeniem czasu oraz skróceniem odległości.

Wielu ludzi (w tym i ja) jest jednocześnie zakłopotanych i zafascynowanych, gdy stają wobec faktu, że nie istnieje coś takiego jak uniwersalny czas. Zdrowy rozsądek, trenowany przez miliony lat ewolucji na powierzchni naszej małej planety, intuicyjnie buntuje się przeciwko takiej koncepcji. Nawet jeśli potrafimy dostrzec wpływ czasu na nas i nasze otoczenie, to pozostaje on dość abstrakcyjnym pojęciem, nieuchwytnym upływem czegoś całkiem niewidzialnego. Mimo jego osobliwej natury na pewno możemy pogodzić się z myślą, że czas nie płynie tak równomiernie, jak nam się kiedyś wydawało.

Przestrzeń – przeciwnie – wydaje nam się czymś całkiem znajomym. Myśląc w ten sposób, popełniamy błąd, ponieważ tak nie jest.

Pewnie sądzisz, że metr jest zawsze metrem?

No cóż, nie jest to prawda. Wszystko zależy od tego, kto na niego patrzy.

Czas i przestrzeń są z sobą powiązane: jeżeli czas się zmienia, to i przestrzeń nie pozostaje taka sama.

Zastanawiasz się, dlaczego tak musi być?

Dlaczego odległość i długość muszą się skracać, gdy czas się wydłuża?

Odpowiedzi należy szukać w tym, że w naturze istnieje bezwzględne, nienaruszalne ograniczenie prędkości, którym jest prędkość światła.

Gdyby odległości miały się nie skracać, to już byś przekroczył to ograniczenie.

W przestrzeni kosmicznej światło porusza się z prędkością około 300 tysięcy kilometrów na sekundę.

Gdybyś leciał z prędkością wynoszącą 87 procent prędkości światła, znajdujący się na naszej planecie obserwator widziałby, jak w ciągu jednej jego sekundy pokonujesz 260 tysięcy kilometrów.

Lecąc tak szybko, musisz jednak pamiętać, że twoje sekundy są teraz inne niż jego. Przy prędkości wynoszącej 87 procent prędkości światła jedna twoja sekunda równa jest dwóm sekundom na Ziemi, po upływie których znajdujący się na niej obserwator widzi, że przebyłeś 520 tysięcy kilometrów. To dwa razy więcej od dystansu, jaki pokonałeś w ciągu jednej jego sekundy.

Nic w tym osobliwego, prawda?

Nieprawda, ponieważ gdybyś przeleciał 520 tysięcy kilometrów w czasie dwóch jego sekund, minęłyby tylko jedna twoja sekunda.

Musiałbyś zatem poruszać się z prędkością 520 tysięcy kilometrów na sekundę.

Prędkość światła wynosi 300 tysięcy kilometrów na sekundę, pobiłbyś więc wszechświatowy rekord...

Lecz to jest zabronione. Nie przez policję – przez naturę. Pamiętaj: nic nie może poruszać się szybciej od światła. Na początku XX wieku przeprowadzono wiele eksperymentów, które potwierdziły zarówno tę teorię, jak i fakt, że w przestrzeni kosmicznej światło zawsze podróżuje z taką właśnie prędkością (ani szybciej, ani wolniej). Newton, ze swoją wizją świata, nigdy nie byłby w stanie tego wyjaśnić. Ale dokonał tego Einstein. Dzięki własnej wizji.

W Einsteinowskiej teorii dotyczącej poruszających się obiektów, czyli szczególnej teorii względności, czas i odległość muszą się wydłużać i skracać w taki sposób, aby żaden obiekt nie przekroczył ograniczenia w postaci prędkości światła, niezależnie od tego, kto go obserwuje i gdzie się znajduje.

Czas obserwatora znajdującego się na Ziemi płynie dwa razy szybciej niż twój? Jeśli tak, to odległość, jaką przebywasz, jest z twojego punktu widzenia dwa razy mniejsza od odległości widzianej przez tego obserwatora.

Lecąc z prędkością wynoszącą 87 procent prędkości światła, nie pokonujesz w każdej sekundzie 520 tysięcy kilometrów, lecz 260 tysięcy. To, co dla obserwatora z Ziemi wydaje się jednym kilometrem, z twojej perspektywy jest połową kilometra.

Twoja prędkość jest zawsze taka sama, niezależnie od tego, czy mierzysz ją ty, czy ktoś inny. Prędkość nie zależy od obserwatora, zależne od niego są tylko czas i odległość.

Gdy leciałeś szybciej, wydawało ci się, że odległe galaktyki są coraz bliżej ciebie. Działo się tak dlatego, że znalazły się one znacznie bliżej. Naprawdę. I nie dotyczy to jedynie odległości: same obiekty wraz ze wzrostem prędkości także się skrcają. Rakieta kosmiczna widziana przez kogoś, kto nie porusza się razem z nią, również – wraz ze wszystkimi pasażerami znajdującymi się na pokładzie – stałaby się krótsza. I nawet ty, lecący niczym Superman z prędkością wynoszącą 87 procent prędkości światła z wysuniętymi do przodu zaciśniętymi pięściami,

z perspektywy obserwatora na Ziemi skróciłbyś się o połowę. Ale osoby lecące razem z tobą nic by nie zauważyły, ponieważ ich taśma miernicza także stałaby się krótsza...

Wszystko to jest konsekwencją przyjęcia stałej, skończonej i nieprzekraczalnej prędkości światła.

Kwestie te w 1905 roku przedstawił Einstein w swojej szczególnej teorii względności – teorii opisującej prawa natury dla każdego, kogo interesują podróże z (niebывale) dużymi prędkościami.

Dziwne? Owszem.

Sprzeczne z naszą intuicją. Niewątpliwie.

Ale tak to działa w naturze.

A co z grawitacją? Na chwilę celowo o niej zapomnieliśmy. Jeśli jednak chcemy mieć realistyczną wizję naszego wszechświata, musimy znowu odwołać się do niej. Zaraz będziesz więc kontynuował swoją szaleńczą podróż przez wszechświat, którego struktura, czyli czasoprzestrzeń, i pełna energii zawartość wzajemnie na siebie oddziałują. Czasoprzestrzeń zakrzywia się wokół znajdujących się w niej obiektów, tworząc grawitację.

Wróćmy do ciebie.

Przebywasz w przestrzeni kosmicznej. Wszystko nadal trwa w bezruchu.

Ziemia została gdzieś daleko za tobą. Astronautka, którą widziałeś, już bardzo dawno temu zmarła i została pochowana. Pędzisz w kierunku odległych galaktyk, które teraz wydają się położone znacznie bliżej ciebie.

Pamiętaj o tym, że czas i przestrzeń są nierozzerwalnymi elementami czasoprzestrzeni, a grawitacja jest efektem zakrzywienia tej struktury przez energię, która się w niej znajduje, niezależnie od jej formy. Pamiętaj też o tym, że

masa jest energią.

Gdy powoli zastygałeś w bezruchu, stawałeś się coraz cięższy.

Poruszmy ten zatrzymany obraz.

Gotowy?

Znowu lecisz.

Twoje ciało przemieszcza się niezwykle szybko, a silniki sterujące z potężną siłą pchają cię naprzód. Stajesz się coraz cięższy, a ponieważ tym razem bierzemy pod uwagę grawitację, twoja rosnąca masa zakrzywia coraz bardziej znajdującą się wokół ciebie czasoprzestrzeń.

Twoje ciało ma teraz masę niewielkiej góry^[31].

Odłamki skalne, w pobliżu których przelatujesz, zaczynają zsuwać się po wytworzonym przez ciebie zakrzywieniu i w końcu na ciebie spadają.

Ponieważ jednak stajesz się coraz cięższy, nie zmieniając przy tym swoich rozmiarów, masz większą gęstość, a więc uderzające w ciebie skały wprawdzie zadają ci ból, lecz chwilę potem rozpadają się na drobne kawałki.

Gromadzisz coraz więcej energii i stajesz się równie ciężki jak cała nasza planeta.

Przechwyciłeś znajdujące się na twojej drodze duże odłamki skalne, a nawet małe planety. Wszystkie one krążą teraz wokół ciebie.

Jesteś taki ciężki, że zakrzywienia, które twoje ciało wytworzyło w czasoprzestrzeni, są już tak wyraźne, że widziany przez ciebie wszechświat jest zniekształcony w każdym kierunku. Nie tylko w tym, w którym się poruszasz. Przyczyna tym razem leży nie w prędkości, ale w grawitacji, zakrzywieniu czasoprzestrzeni oraz energii, którą w sobie zgromadziłeś. Energia ta sprawia, że czas i przestrzeń, splecione z sobą w strukturze wszechświata, są tak zakrzywione, że w którąkolwiek byś spojrzał stronę, wydaje ci się, że wszechświat jest

zniekształcony i coraz szybciej się porusza, tak jakby twój czas płynął teraz wolniej niż gdziekolwiek indziej.

*

Twoje ciało ma już masę równą mniej więcej masie pięciu Ziemi. Bardzo trudno ci podnieść ręce, właściwie w ogóle nie możesz się poruszyć...

Szczerze mówiąc, gdybym był tobą, to w tym miejscu już bym się zatrzymał.

Dlaczego?

Ponieważ prędzej czy później, gromadząc w swoim ciele coraz więcej energii, zamieniłbyś się w czarną dziurę.

Tego byś chyba nie chciał.

Niestety, jesteś już zbyt ciężki, aby się poruszać, nie możesz więc nawet sprawdzić, czy rakiety, które masz na plecach, są zaopatrzone w jakiś ukryty wyłącznik.

Czujesz, że dłonie przykleiły ci się do bioder, a całe ciało zaczyna jakby zapadać się w sobie i...

„STOP!!!” – krzyczysz w panice i chwilę później znów siedzisz w samolocie, na miejscu przy oknie.

Twój dziwny sąsiad przygląda ci się uważnie.

Z wyrazu jego twarzy wnioskujesz, że go obudziłeś.

Facet faktycznie jest jakiś dziwny, lecz w tej chwili ty zapewne wyglądasz jeszcze mniej normalnie.

Mamroczesz niewyraźnie „przepraszam” i wyglądasz przez okno.

Świta.

Nic nie wskazuje na to, żebyście zaraz mieli wylądować w mieście przyszłości.

Ani śladu odległych galaktyk, które znajdowałyby się bliżej, niż powinny.

Nie krąży też wokół ciebie żadna planeta.

Po prostu lecisz.

Spoglądasz na zegarek.

Wydaje się, że jesteś w powietrzu od ośmiu godzin.

– Czy coś się stało? Czemu pan tak krzyczał? – pyta twój dziwny sąsiad.

– Gdzie jesteśmy? Który mamy rok? – odpowiadasz pytaniem, otwierając szeroko oczy.

– Słucham?

– Który mamy rok? – nerwowo domagasz się odpowiedzi.

– Dwa tysiące szesnasty! – z lekkim zdziwieniem odpowiada mężczyzna.

Gdy stewardesa ogłasza, że samolot zaczyna schodzić do lądowania, zdajesz sobie sprawę, że to wszystko było tylko snem, że wcale nie przeniosłeś się w przyszłość – jesteś w drodze do swojego uroczego, starego, normalnego rodzinnego miasta, z betonowymi ulicami i ceglanymi domami.

Temperatura na zewnątrz wynosi 12 stopni Celsjusza, kontynuuje stewardesa, a koło południa powinno się zacząć przejaśniać...

2016 rok.

Co za ulga...

I co za dziwny sen.

[30] Ściśle biorąc, w wypadku tak niezwykłych prędkości wzór Einsteina wymaga pewnych modyfikacji (co zauważył zresztą już sam Einstein), lecz sama koncepcja w zasadzie pozostaje bez zmian.

[31] Właśnie to dzieje się z cząstkami przyspieszanymi w akceleratorach. Nie rozwijają prędkości światła, lecz stają się coraz cięższe, choć masy góry nie osiągają.

JAK SIĘ NIE ZESTARZEĆ

To, czego przed chwilą doświadczyłeś, nie było tylko czystą fantazją.

Naprawdę udało ci się zobaczyć, jak wyglądałby wszechświat, gdybyś poruszał się bardzo, bardzo szybko. Prędkości, przy których dziwne efekty, jakie odczułeś na własnej skórze, nie mogą być już ignorowane, naukowcy nazwali *prędkościami relatywistycznymi*, a wszystko, co ci się śniło, jest zgodne ze współczesnym rozumieniem praw natury widzianych z relatywistycznej perspektywy.

Dotychczas takich prędkości żaden człowiek oczywiście nie osiągnął, udało się to jedynie znajdującym się wokół nas cząstkom. W 1905 roku, gdy Einstein ogłaszał swoje niezwykle koncepcje, trudno było jednak sprawdzić, jak te cząstki się zachowują.

Dopiero 66 lat po ogłoszeniu szczególnej teorii względności dwóch amerykańskich naukowców, Joseph Hafele i Richard Keating, wymyśliło eksperyment, który pozwolił wykryć dziwne efekty wydłużenia czasu, przewidziane teoretycznie przez Einsteina.

Mamy rok 1971.

Hafele i Keating zdobyli trzy najlepsze w tamtych czasach zegary atomowe. Gdy się je z sobą zsynchronizowało, chodziły niezwykle dokładnie: po milionach lat różnica pomiędzy ich wskazaniem nie mogła wynieść więcej niż miliardową część sekundy. Naprawdę bardzo, bardzo godne zaufania zegary.

Tak więc Hafele i Keating mieli trzy z nich. Zsynchronizowane z sobą.

Zabrali je na lotnisko.

Jeden zostawili w poczekalni, a dwa pozostałe dosłownie posadzili na specjalnie dla nich zarezerwowanych miejscach w dwóch samolotach.

Gdy wyobrażam sobie reakcję innych pasażerów, nie potrafię powstrzymać chichotu.

Koniec końców, oba samoloty wystartowały. Jeden z nich poleciał na wschód, a drugi na zachód, by po okrążeniu Ziemi wylądować na tym samym lotnisku. Tam czekał na nie zsynchronizowany z nimi trzeci zegar. Mimo że nasza planeta obraca się w kierunku wschodnim, prędkość samolotu lecącego z lotniska na wschód różni się bardzo nieznacznie od prędkości samolotu poruszającego się na zachód. Gdyby zatem natura zachowywała się tak, jak podpowiada nam intuicja, trzy zegary atomowe powinny pozostać zsynchronizowane niezależnie od tego, co robią samoloty. Na uniwersalnym zegarze, który Bóg trzyma na nocnym stoliku, sekunda zawsze trwa sekundę. Wszystkie zegary, jakich do tej pory używałeś, mechaniczne bądź inne, z pewnością to potwierdzą. Czyli miałeś rację. A może jednak nie? Natury nie obchodzi, co mówi nam intuicja, a tak się składa, że w tym wypadku intuicja nie ma racji. Zwykle zegary są tylko za mało dokładne, aby to wykazać. Nasza intuicja może się mylić, Einstein nie.

Gdy samoloty wylądowały, Hafele i Keating zorientowali się, że ich trzy zegary atomowe nie są już z sobą zsynchronizowane.

Zegar z samolotu lecącego na wschód był opóźniony o 59 miliardowych sekundy w stosunku do zegara, który pozostał na lotnisku. A ten lecący na zachód przyspieszył o 273 miliardowe sekundy.

Gdyby zegary stały obok siebie, taka różnica we wskazaniach wystąpiłaby dopiero po ponad 300 milionach lat.

*

Według Hafelego i Keatinga istnieją dwa powody takiej niezgodności.

Pierwszy wiąże się z prędkością. Zgodnie ze szczególną teorią względności Einsteina prędkości względne trzech zegarów powinny faktycznie skutkować małym – lecz mierzalnym – efektem wydłużenia czasu.

Powód drugi nie ma nic wspólnego z prędkością – jest związany z grawitacją i ogólną teorią względności. Ciężka kula tocząca się po gumowej macie zakrzywia ją bardziej w swoim najbliższym otoczeniu. Według Einsteina podobnie Ziemia działa na czasoprzestrzeń – efekt jej zakrzywienia jest bardziej zauważalny w pobliżu powierzchni planety niż w przestrzeniach, gdzie latają samoloty. Zależnie od wysokości grawitacja będzie w różnym stopniu oddziaływała na upływ czasu.

O tych dwóch – niezależnych od siebie – efektach wiedziano z obliczeń teoretycznych, zanim jeszcze Hafele i Keating przeprowadzili swój eksperyment.

Wszystko się zgodziło.

Ogólnie biorąc, zgodnie z teoriami Einsteina zegar lecący na wschód powinien się spóźnić nawet o 60 miliardowych sekundy, a ten lecący na zachód spieszyć o mniej więcej 275 miliardowych sekundy w porównaniu z zegarem znajdującym się na naszej planecie.

Eksperyment pokazał, że Einstein miał rację.

Przedstawione liczby być może nie robią na tobie dużego wrażenia, ponieważ te różnice czasu wydają się bardzo małe. I takie są. Pamiętaj jednak, że samolot leci niezbyt szybko, a Ziemia jest niezbyt dużym obiektem kosmicznym. Jeśli polecisz szybciej i (lub) znajdować się będziesz w przestrzeni kosmicznej blisko obiektu o znacznie silniejszej grawitacji, to różnica czasu może być ogromna – czego doświadczyłeś we śnie w samolocie lecącym niemal z prędkością światła. Rzecz jasna, po 1971 roku eksperyment Hafelego i Keatinga powtarzano, stosując bardziej precyzyjne metody i z jeszcze większą dokładnością

potwierdzając jego rezultaty. Czasoprzestrzeń w pełni zasługuje na swoje miano – to continuum czasu i przestrzeni.

W naszym wszechświecie upływ czasu zależy od obserwatora: od tego, gdzie on się znajduje, z czym sąsiaduje (kwestia grawitacji) oraz jaką ma prędkość. Na początku XX wieku brzmiało to bardzo abstrakcyjnie. Dzisiaj to fakt potwierdzony doświadczalnie. Wszyscy musimy go zaakceptować.

W naszym wszechświecie czas i odległość nie są pojęciami uniwersalnymi. Zależą od obserwatora – osoby, która ich doświadcza i na nie patrzy. Oba te pojęcia są względne. W przeciwnym razie prędkość światła nie byłaby ani stała, ani ograniczona.

Co ludzkość zrobiła z tą wiedzą? Czy dysponując nią, odmieniła swe codzienne życie? Kwestie bezpośrednio związane z prędkością zmieniły naprawdę dużo. Szybko poruszające się cząstki są wykorzystywane w różnych rozwiązaniach technicznych służących do przesyłania informacji. Szczególna teoria względności pomogła również zrozumieć, jak zachowuje się materia, z której jesteśmy zbudowani. Jak się wkrótce przekonasz, elektrony znajdujące się w atomach twojego ciała (oraz praktycznie wszystko w świecie bardzo małych rozmiarów) poruszają się naprawdę bardzo szybko.

Choć może to dziwić, odkrycia dotyczące powiązania grawitacji i czasoprzestrzeni dotychczas znalazły praktyczne zastosowanie tylko w systemie nawigacji satelitarnej (GPS). Za każdym razem gdy sprawdzasz swoją pozycję za pomocą jakiegoś urządzenia GPS, na przykład smartfona czy nawigacji samochodowej, korzystasz z tego, że czas i przestrzeń są zakrzywione wokół naszej planety. Im bliżej jesteś jej powierzchni, tym zakrzywienie – zarówno w przestrzeni, jak i w czasie – jest większe.

Na satelitach znajdują się zegary, które komunikują się z twoim urządzeniem GPS, aby ustalić jego pozycję. Gdyby nie brano pod uwagę różnicy upływu czasu między Ziemią a satelitą, sprzęt nie mógłby bezbłędnie wskazywać

lokalizacji. Różnica wynosiłaby około 10 kilometrów dziennie, więc urządzenia GPS byłyby bezużyteczne. System nawigacji satelitarnej działa prawidłowo dzięki Einsteinowi i jego teoriom względności: szczególnej i ogólnej.

W porządku. Tak to więc wygląda. Nie istnieje jeden zegar tykający w takim samym tempie w całym wszechświecie.

W porównaniu z Ziemią i jej wszystkimi mieszkańcami samolot z twojego snu, który leciał z prędkością wynoszącą 99,999999999 procent prędkości światła, poruszał się w przestrzeni kosmicznej nadzwyczaj szybko. Możesz uważać się za szczęśliwca, że wylądowałeś już w 2416 roku.

Gdybyś leciał szybciej, skończyłbyś swoją podróż w jeszcze bardziej odległej przyszłości.

O ile bardziej odległej? I tym razem zależałoby to od twojej prędkości.

Istnieje tu jednak pewne ograniczenie, ponieważ nic nie może poruszać się szybciej niż światło.

Gdybyś chciał przemieszczać się z prędkością równą prędkości światła, mógłbyś to kiedyś urzeczywistnić, ale w tym celu musiałbyś się bardzo poświęcić i pozbyć swojej masy. Całej – ponieważ światło nie jest w stanie unieść żadnej masy^[32]. Dlatego przemieszcza się tak szybko. Z prawdziwą lekkością.

Co zatem dzieje się z materią?

Doświadczyłeś tego na własnej skórze: wszystkie ciężkie obiekty stają się jeszcze cięższe, gdy zbyt przyspieszają. Aby więc osiągnąć prędkość światła, trzeba być przede wszystkim pozbawionym masy.

Ale co by się stało, gdybyś zdołał przekształcić się w jakiś rodzaj nieposiadającego masy bytu? Jak wtedy płynąłby twój czas? Odpowiedź brzmi szokująco: wcale by nie płynął. Tykanie jakiegokolwiek zegara, który miałbyś z sobą (on również straciłby masę), po prostu by ustało.

Przy prędkości, z jaką biegnie światło, czas się zatrzymuje.

Całkowicie.

I właśnie dlatego światło, które podróżowało do nas przez cały wszechświat, jest dokładnie takie samo jak w chwili, gdy zostało wysłane. W odróżnieniu od pocztówki, która po trwającej 13,8 miliarda lat podróży wyglądałaby zupełnie inaczej, byłaby wystrzępiona i wyblakła, obrazy niesione w kosmosie przez światło nie zmieniają się z upływem czasu. Gdy odbieramy światło pochodzące z najdalszych regionów naszego widzialnego wszechświata, otrzymujemy dokładny obraz tamtych odległych czasów^[33].

Ponieważ posiadasz masę, nie masz wyboru – musisz poddać się wpływowi czasu. Nic na to nie poradzisz. Chcąc żyć wiecznie, musiałbyś zamienić się w światło, co jest niemożliwe. Gdybyś był jednak w stanie to zrobić, twój czas przestałby płynąć. Byłbyś naprawdę wieczny, ale nie zdawałbyś sobie z tego sprawy.

Nie żałuj, że wieczność pozostaje dla ciebie niedostępna. Choć swoje ważysz (bez urazy), możesz znaleźć się w przyszłości nieosiągalnej dla twoich bliźnich. W tym celu musiałbyś poruszać się tak szybko, jak robił to twój samolot. Albo osiedlić się na planecie mającej znacznie silniejszą grawitację niż Ziemia.

Wiem, że niektórym z was, z różnych powodów, nie podoba się starzenie i bardzo byście chcieli pozostać młodzi tak długo, jak tylko się da, albo przynajmniej żyć dłużej niż sąsiad. Mam dla was przestrożę: nie ma sensu próbować szybko biegać, zostać kierowcą Formuły 1 czy pilotem doświadczalnym RAF-u. Nie warto też wchodzić na pokład samolotu lecącego z prędkością wynoszącą 99,999999999 procent prędkości światła.

Dlaczego?

Ponieważ twój upływ czasu, z twojego punktu widzenia, nigdy się nie zmieni.

Dla twoich oczu i wszystkich komórek ciała sekunda zawsze będzie sekundą, dzień dniem, rok rokiem i tak dalej. Twój osobisty czas oraz proces starzenia się nie zwolnią, ty nie będziesz żył dłużej, twoje komórki będą rosnać i obumierać w tym samym tempie. To samo będzie dotyczyło podróżujących z tobą osób. Poruszanie się z dużą prędkością czy zamieszkanie na planecie o dużo większej gęstości nie sprawi, że będziesz żył dłużej, ponieważ zawsze będziesz miał wrażenie, że doba jest dobą (i tak zresztą będzie). Jednak innym ludziom może się wydawać, że żyjesz dłużej od nich.

Teoretycznie można byłoby przewinąć do przodu własną terażniejszość i przenieść się w ten sposób w przyszłość innej osoby (być może nawet pewnego dnia będzie to stosowane w praktyce)^[34], ale wydłużyć sobie życia za pomocą szybkiego podróżowania – już nie.

Dzięki teoriom względności Einsteina – szczególnej i ogólnej – dowiedziałeś się, że dostępną dzięki zmysłom rzeczywistość, w której toczy się nasze codzienne życie, otacza jeszcze inny, wręcz niesamowity świat. Bez porównania dziwniejsze od wszystkiego, co dotychczas przeżyłeś, będzie jednak to, czego doświadczysz po bezpiecznym powrocie do domu.

Po wielkich rozmiarach i szalonych prędkościach nadszedł czas na wejście do świata bardzo małych rozmiarów.

I obawiam się, że jeśli jeszcze nie uwierzyłeś w magię, teraz chyba będziesz musiał w nią uwierzyć...

^[32] Co oznacza, że fotony nie mają masy spoczynkowej i mogą poruszać się tylko z prędkością światła (przyp. red.).

[33] Musimy jednak uwzględnić poprawki wynikające z przesunięcia ku czerwieni, spowodowanego ekspansją wszechświata. Obrazy kosmosu są z tego powodu rozciągnięte, ale się nie zestarzały.

[34] Ale nie będzie powrotu. Jeśli więc pojawi się okazja takiej wycieczki, zastanów się dwa razy, zanim z niej skorzystasz.

CZĘŚĆ IV

**DAJEMY NURKA
W KWANTOWY
ŚWIAT**

BRYŁKA ZŁOTA I MAGNES

Twoja cioteczna babcia wyjechała. Prosiłeś ją, aby została kilka dni, choćby po to, żeby mieć z kim pogadać o swoim dziwnym relatywistycznym śnie, ale nieoczekiwanie odmówiła. Uznała, że już wyzdrowiałeś i dobrze się czujesz. A skoro odegrała już swoją rolę – sprowadziła cię do domu – może wracać pierwszym lotem do Sydney. Zostawiła u ciebie całą kolekcję kryształowych wazonów, które przywiozła, aby ci sprawić przyjemność. Ona jest już w Australii, a ty znowu w domu. Na swojej kanapie. Patrzysz na te okropne wazony i bawisz się magnesikiem w kształcie palmy, który kupiłeś w sklepie z pamiątkami, aby przypominał ci twoją tropikalną wyspę.

Do końca urlopu został ci jeszcze tydzień – siedem dni, żeby znaleźć mnóstwo sposobów na pozbycie się tych wszystkich wazonów, ale wciąż się wahasz.

Czy dobiegły już końca twoje przygody z ukrytą naturą rzeczywistości, czy też odsłoni się przed tobą kolejny poziom wszechświata?

Nie znajdując prostej odpowiedzi na to pytanie, wstajesz i idziesz zrobić sobie coś do picia.

Gdy krzątasz się po kuchni i zaparzasz kawę, nagle zauważasz, że ze ściany jakoś dziwnie wystaje cegła. Zaintrygowany pociągasz za wystającą część i po chwili trzymasz już cegłę w ręce. Ze zdumieniem odkrywasz, że w głębi leży sześcienna bryłka złota, przypuszczalnie schowana tam (raczej mało starannie) przez poprzednich lokatorów. Ma rozmiar połowy twojej dłoni, a więc warta jest małą fortunę. Zachodzisz w głowę, jak to możliwe, że do tej pory nie dostrzegłeś

nierówności w murze. To jakaś tajemnicza sprawa! Bez wątpienia jednak trudno o lepszy powrót do domu – nie co dzień trafia się taki fart. Przestajesz myśleć o tej zagadce, nalewasz sobie kawy i z uśmiechem zadowolenia patrzysz na swój skarb.

Podróżowałeś przez kosmos, królestwo wielkich rozmiarów.

Poruszałeś się szybko, tak szybko, jak tylko to możliwe.

Nie masz jednak zielonego pojęcia o świecie bardzo małych rozmiarów. Z jakiej materii faktycznie jest zbudowany? Czy złoto składa się z małych cegiełek?

Dlaczego substancje, które nas otaczają, tak się od siebie różnią? Dlaczego złoto różni się choćby od sera? Dlaczego w temperaturze pokojowej ludzie nie mają ciekłej postaci, jak woda?

Bez żalu decydujesz się poświęcić bogactwo na ołtarzu nauki i przecinasz bryłkę złota na dwie równe części, aby zobaczyć, co jest w środku.

W odróżnieniu od niektórych serów (choć nie wszystkich) wewnątrz bryłki złota ma taki sam kolor i wygląd jak jej zewnętrzna powierzchnia – i podobnie jak ona nie pachnie. Na wszelki wypadek przecinasz na dwie części jedną z połówek, a potem kilkakrotnie powtarzasz ten zabieg, gorączkowo szukając jakichś różnic między coraz mniejszymi bryłkami.

Wszystkie one wydają się tylko złotem.

Ktoś mógłby pomyśleć, że takie przecinanie może trwać bez końca, ale tak nie jest. Po 26 lub 27 przepołowieniach zostaniesz z najmniejszym z możliwych kawałkiem złota – gdybyś przeciął go jeszcze raz, otrzymałbyś coś, co z pewnością nie będzie już złotem.

Tę elementarną ilość złota – najmniejszą porcję, jaka wciąż jest złotem – naukowcy nazywają *atomem* złota.

Może się wydawać, że przepołowienie czegoś 26 razy to nic niezwykłego, ale tak nie jest. W domu raczej tego nie zrobisz. Aby ci uzmysłwić, z czym

musiałbyś się zmierzyć, postawię problem inaczej. Jeślibyś na przykład wyrwał z tej książki jedną kartkę, a następnie składał ją na pół 26 razy, otrzymałbyś papierową iglicę o wysokości około 14 kilometrów. A gdybyś chciał uzyskać coś tak cienkiego jak ta kartka, musiałbyś 26-krotnie przecinać na pół górę wyższą 1,5 raza od Mount Everestu.

Tylko najlepsze współczesne technologie pozwalają obejrzeć pojedynczy atom złota^[35].

A co z ołowiem, srebrem czy węglem?

Każda inna substancja czysta zachowałaby się tak jak złoto: jeśli mieszczący się w twojej dłoni kawałek takiego materiału przepołowiłbyś 26 razy (plus minus jeden lub dwa), otrzymałbyś atom. Dzieląc go dalej, dostałbyś już coś zupełnie różnego od substancji wyjściowej. Ser nie jest substancją czystą, ale i on jest zbudowany z atomów, które do siebie przywierają. W naszym wszechświecie cała materia, o jakiej wiemy, zbudowana jest z atomów.

W takim razie z czego zrobione są same atomy?

Tego jeszcze nie wiesz, lecz przeczuwasz, że wypełniają je mniejsze elementy, a te małe części składowe są takie same we wszystkich atomach całego wszechświata. Wkrótce wybierzesz się w podróż po tym świecie, ale już teraz mogę ci powiedzieć, że atomy poszczególnych substancji czystych różnią się liczbą tych mniejszych elementów. Dlatego substancje te mają odmienne właściwości, a co za tym idzie, różną wartość. Każdy broker zwątpi, czy jesteś przy zdrowych zmysłach, jeśli spróbujesz wymienić kilogram rtęci (wart około 23 funtów) na kilogram złota (około 23 tysięcy funtów) albo plutonu (mniej więcej 2,6 miliona funtów, zależnie od rynku), kierując się tylko tym, że wszystkie te pierwiastki składają się z atomów o podobnej budowie.

Czym zatem są atomy? Co nadaje zbudowanym z nich substancjom tak odmienne właściwości i kształty? I dlaczego, skoro wszystko składa się z tego samego tworzywa, masło możemy przeciąć nożem, a diamentu nie?

Z głową pełną pytań zbliżasz się do lodówki, aby wziąć mleko do kawy, i machinalnie przykładasz do drzwiczek magnes w kształcie palmy. Gdy wysuwa się z twoich palców i przywiera do metalu, zastygasz w bezruchu.

Dotychczas takie zachowanie się magnesu było dla ciebie czymś całkiem normalnym.

Ale teraz już nie jest.

Jak właściwie magnesy to robią?

Skąd lodówka wie, że magnes się do niej zbliża? I jak magnes się orientuje, że to jest akurat lodówka? A może to po prostu magia?

O ile cię pamięć nie myli, nigdy w życiu nie widziałeś żadnej wymiany między magnesem a lodówką. Żadnej upiornej ręki wyciągniętej z jednej strony, aby przyciągnąć drugą stronę do siebie.

Może po prostu nigdy nie przyjrzałeś im się wystarczająco dokładnie?

Zdejmujesz magnes z drzwi lodówki i wpatrujesz się w ciemną powierzchnię, która znajduje się po drugiej stronie szorstkiego wizerunku palmy. Wydaje ci się, że jest płaska.

Przykładasz policzek do lodówki i trzymając mocno magnes pomiędzy kciukiem a palcem wskazującym, ponownie zbliżasz go do jej drzwi. W skupieniu obserwujesz powietrze między magnesem a lodówką.

Dzieli je teraz kilka centymetrów.

Coś czujesz.

Siłę.

Siła przyciągania ciągnie magnes w kierunku lodówki. Albo lodówkę w stronę magnesu. Albo przyciągane są jednocześnie i magnes, i lodówka. Trudno powiedzieć.

W samym powietrzu nic się jednak nie dzieje. Tego jesteś pewien. Nic, co by tłumaczyło, w jaki sposób magnes i lodówka wyczuwają swoją obecność.

Magnes znajduje się teraz jakieś pół centymetra od lodówki, a siła przyciągania staje się znacznie większa.

Ledwie ci się udaje go utrzymać.

I wciąż nic nie dostrzegasz.

Gdy puszczasz magnes, wyskakuje on z twoich palców w stronę drzwi lodówki i po chwili przywiera do nich nieruchomo. Wydaje się w tym momencie tak samo szczęśliwy, jak ty jesteś zadowolony i zdziwiony.

Przez całe stulecia wielu ludzi zastanawiało się nad tym dziwnym przyciąganiem. Czyż nie ma w nim czegoś niesamowitego? Magnes skoczył. Zanim dotknął drzwi lodówki, nic wyjątkowego się nie zdarzyło, działała jednak jakaś siła. Wprawdzie nasi przodkowie nie mieli lodówek, ale obserwując zachowanie się magnesów, mówili o dziwnym oddziaływaniu na odległość, czymś niewidzialnym, co powoduje ich ruch.

Faktycznie, trochę przypomina to grawitację.

Nikt nie może zobaczyć grawitacji.

Kiedy Newton przedstawił niezwykle wzór pokazujący, jak obiekty w całym wszechświecie przyciągają się wzajemnie, nie miał pojęcia, co konkretnie odpowiada za siłę grawitacji, którą opisał. Dopiero około stu lat temu odkrył to Einstein. Stwierdził, że grawitacja nie jest siłą, ale spadaniem. Spadaniem po zakrzywieniach czasoprzestrzeni.

Czy zatem to samo dotyczy magnesów? Czy one również tworzą strome zakrzywienia w czasoprzestrzeni?

Nie, to nie może być to samo. Gdyby było, magnesy przyciągałyby wszystko (drewno, nas, piwo – dosłownie wszystko), nie tylko gwoździe, opłki żelaza oraz inne potencjalne magnesy. A przecież nigdy nie czułeś, aby twoje palce były przyciągane przez magnes. Należało znaleźć jakąś inną przyczynę tego

zjawiska. I znaleziono ją. Mniej więcej osiemdziesiąt lat temu.

Wiąże się ona z czymś, co nazywamy polem, a ściśle mówiąc – *polem kwantowym*. Ponieważ wiesz już o istnieniu atomów i magnesów, jesteś gotowy, by za chwilę zapoznać się z cudem pola kwantowego.

[35] O jednej z takich technologii przeczytasz w dwóch innych rozdziałach.

JAK RYBA W MORZU

Wyobraź sobie, że jesteś rybą i przyszło ci do głowy, żeby zobaczyć, co znajduje się ponad oceanem, twoim wodnym domem. Rozpędzasz się w głębinach i jak torpeda wystrzelujesz ku górze. Chcesz dotrzeć do czegoś, co ludzie określają jako powierzchnię oceanu, a co ty, jako ryba, pewnie nazywasz sufitem.

Płyniesz szybko, coraz szybciej. Woda opływa twoje łuskowate ciało. W miarę jak zbliżasz się do kresu wodnej toni, robi się coraz jaśniej. I oto jesteś na zewnątrz, wokół ciebie nie ma już wody. Lecisz przez jakąś niebieską pustkę (my, ludzie, zwiemy ją atmosferą). Machasz płetwami, najmocniej jak potrafisz, lecz wyżej już nie popłyniesz. Nie jesteś ptakiem, więc jak każda ryba szybko kończysz swoją podróż do góry. Ześlizgujesz się w dół po zakrzywieniu czasoprzestrzeni wytworzonym przez Ziemię i z pluskiem wpadasz z powrotem do oceanu.

Jakiś czas później, w bezpiecznych słonych głębinach, rozmawiasz o niedawnej przygodzie z zaprzyjaźnionymi rybami, które też interesują się nieznanym. Szybko ustalacie, że powyżej sufitu waszego olbrzymiego wodnego świata nie da się pływać, i dochodzicie do wniosku, że ponad oceanem jest tylko niebieska pustka.

My, ludzie, wiemy więcej. Wiemy już, że nad oceanem znajduje się powietrze, któremu daleko do nicości. Jeśli będziemy go pozbawieni przez więcej niż kilka minut, umrzemy. Większość z nas jednak nie jest o wiele mądrzejsza od żyjących w morzu ryb. Czyż nie wydaje się nam, że powyżej atmosfery, warstwy

naszego cennego powietrza, nie ma już nic? Czy nie sądzimy, że przestrzeń kosmiczna jest tylko czarną pustką?

Czytając tę książkę, już wkrótce się przekonasz, że to mylny pogląd.

Przestrzeni kosmicznej daleko do pustki.

Gdy, jako ryba, na krótko wyskoczyłeś ponad powierzchnię oceanu, wkroczyłeś do innego świata, składającego się głównie z gazu i pyłu, a nie z cieczy.

Świat, w którym za chwilę się znajdziesz, jest znacznie rozleglejszy niż atmosfera. Nazywamy go *światem kwantowym* – jest to świat fundamentalnych składników materii oraz światła.

W odróżnieniu od morza, które składa się z wody i kończy tam, gdzie zaczyna się powietrze, kwantowy świat jest wszędzie. W morzu, w ziemi, w materii, z której jesteśmy zbudowani, w świetle oraz w przestrzeni kosmicznej.

Nawet w pustce przestrzeni kosmicznej. Aby wkroczyć do tego królestwa, ludzkość potrzebowała całych tysięcy. Drzwi do kwantowego świata kryją się głęboko w świecie bardzo małych rozmiarów. A ponieważ powietrze, grawitacja i wiele innych rzeczy mogą nam zaburzyć obraz, postaramy się na chwilę o nich zapomnieć.

Najlepszym sposobem na to jest powrót w przestrzeń kosmiczną.

Gdy odrywasz magnes od drzwi lodówki, aby jeszcze raz obejrzeć go od spodu, nie zauważasz żadnych widocznych zmian na jego powierzchni. Wciąż jest czarna i gładka. A jednak poczułeś jakąś siłę. Nie masz co do tego żadnych wątpliwości. Niesamowite.

Chcąc powtórzyć eksperyment, ponownie przyciskasz policzek do lodówki. Tak bardzo koncentrujesz się na swoim zadaniu, że wszystko – z wyjątkiem magnesu i lodówki – nagle znika. Podłoga, powietrze, bryłka złota, ściany

i twoje mieszkanie. Znika też całe twoje rodzinne miasto. Oraz Ziemia, Księżyc i wszystko inne.

Unosisz się w przestrzeni kosmicznej, w świecie, w którym obowiązują znane nam prawa natury. Wokół ciebie nie ma powietrza, nie odczuwasz też grawitacji. Tak naprawdę jesteś tylko ty, magnes, lodówka oraz to coś, co powoduje, że te przedmioty wzajemnie na siebie oddziałują.

Dzieje się tak już nie pierwszy raz, więc za bardzo się tym nie martwisz i wracasz do swojego zadania.

Przyłożony do drzwi lodówki policzek jest zimny. W chwili gdy puszczasz trzymany w ręku magnes, rozpoczynasz zupełnie nową przygodę – zaczynasz się zmniejszać! Podczas swoich podróży przez czasoprzestrzeń patrzyłeś na wszechświat z perspektywy, która pozwoliła ci objąć wzrokiem ogromne rozmiary. Później musiałeś poznać świat szaleńczych prędkości, poruszałeś się więc niesłychanie szybko. A teraz kurczysz się, żeby wyruszyć do świata kwantów.

Bardzo się kurczysz.

Stajesz się własną miniaturką, masz teraz rozmiar kilku atomów.

Jak mały więc jesteś?

Sprawdźmy to.

Gdy czytasz te słowa, w książce albo na ekranie komputera, tekst jest zapewne oddalony od twoich oczu o kilkadziesiąt centymetrów. Najmniejsza rzecz, jaką z tej odległości możesz dostrzec, ma rozmiar równy mniej więcej jednej dwudziestej milimetra, czyli jednej trzeciej grubości ludzkiego włosa.

W tej chwili jesteś jeszcze 100 tysięcy razy mniejszy – wystarczająco mały, aby zobaczyć, co w rzeczywistości się dzieje między magnesem a lodówką.

Skoncentrowany, choć nieco zdumiony swoimi rozmiarami, rozglądasz się wokół, szukając wyciągniętych gdzieś w powietrzu upiornych rąk. Kręcisz maleńką główką w lewo i w prawo, patrzysz w górę i w dół.

Ale nie widzisz nic.

Wiesz, że magnes masz gdzieś z prawej strony, a lodówkę gdzieś za lewym uchem, lecz są zbyt daleko, abyś mógł je dostrzec z obecnej perspektywy.

Więc czekasz.

Ale nic się nie dzieje.

Zupełnie nic.

Po dłuższej chwili zupełnej samotności postanawiasz zmienić taktykę. Może powinieneś zdać się nie na wzrok, lecz na swoje odczucia? Tak jak w dzieciństwie, kiedy w chwilach nudy udawałeś, że masz nadludzką moc.

Bierzesz kilka głębokich oddechów, aby się skupić, a następnie wyłączasz wzrok. Jesteś teraz zawieszonym w przestrzeni maleńkim joginem. Mniejszym od ziarna pyłku. Z zamkniętymi oczami powoli rozpościerasz ramiona w sposób, w jaki robią to na filmach.

Z początku nic nie czujesz. Ale po chwili już tak.

Wydaje ci się, że jesteś rybą w morzu, masz wrażenie, jakby wszystko wokół ciebie było skąpane w czymś w rodzaju... Nie, to nie woda... Otwierasz maleńkie oczy, chcąc zobaczyć, czym jest to morze, ale poprzednie odczucie natychmiast znika i znowu wokół ciebie nie ma nic. To naprawdę bardzo dziwne wrażenie. Nawet trochę przerażające, lecz nie jesteś tchórzem i nie uciekasz z podkulonym ogonem. Szybko się opanowujesz i dochodzisz do wniosku, że – jak wiele innych zjawisk zachodzących w naszym wszechświecie – to, co przed chwilą odczuwałeś, jest rzeczywiste, choć niewidoczne dla oka.

Znowu zamykasz oczy, aby w stylu jogina wkroczyć do kwantowego świata.

„Morze” jest tam, gdzie było, wokół ciebie. I są nawet... Prądy? Na to wygląda. Zaczynają się tam, gdzie powinien być magnes, a kończą na lodówce. Wokół znajdują się i przenikają przez ciebie zapętlone linie sił. Uświadamiasz

sobie, że właśnie tym, co teraz czujesz, spowodowane jest wzajemne oddziaływanie na siebie magnesów i lodówek. To tak zwana *siła pola elektromagnetycznego*. Masz zamknięte oczy, wydaje ci się więc, że wszędzie wokół rozpościera się jakby mgła utkana z sił, która zagęszcza się w pobliżu magnesu i lodówki. Przechodzą przez nią z prędkością światła drobne fale, sygnalizując, że te dwa przedmioty zbliżają się do siebie, co oznacza, że prędzej czy później w siebie uderzą, a to znaczy, że... Otwierasz oczy i z rozwartymi z przerażenia ustami wpatrujesz się w olbrzymi czarny magnes, który za chwilę cię zmiążdży.

Cofasz się, drżąc ze strachu.

Jesteś teraz tak blisko magnesu, że niemal widzisz drgające na jego powierzchni atomy. Wydaje się, że wewnątrz niego przepływają ledwie zauważalne prądy. Co to za prądy? Elektryczne? Magnetyczne? I takie, i takie? Nie masz zielonego pojęcia, ale jedno jest pewne. To, że... ZARAZ! CO TO BYŁO?

Coś się stało.

Widziałeś to.

To nie było ramię wysuwające się z magnesu w kierunku lodówki, lecz światło. Trudno powiedzieć, wirtualne czy realne. Pojawiło się niespodziewanie przed twoimi małąkami oczami, wydobywając się znad powierzchni magnesu. A może z jego wnętrza? Obracasz głowę, chcąc zobaczyć, dokąd ono zmierza, i widzisz, jak w twoją stronę suną olbrzymie drzwi lodówki...

Wstrzymujesz słabiutki oddech.

Za chwilę zostaniesz zgnieciony.

W czymś, co jeszcze przed chwilą wydawało się pustką rozdzielającą magnes i lodówkę, pojawia się coraz więcej dziwnych perłowych refleksów światła. A pustka zdecydowanie nie wygląda już na pustą. Wokół ciebie rozbłyskują refleksy światła, ciągnąc ku sobie magnes i lodówkę niczym zastęp

miniaturowych aniołków.

Fascynacja tym widowiskiem zaczyna przeradzać się w obawę, że twoje lilipucie ciało właśnie dożywa swoich ostatnich chwil. Zastanawiasz się, czy te cząstki światła są jedynie produktami twojej wyobraźni, czy też istnieją naprawdę...

Wyglądają na wirtualne, ponieważ trwają tylko przez moment i pojawiają się znikąd. A jednak wywierają bardzo konkretny wpływ na magnes... Tak, te świecące osobniki mają w sobie siłę, która przyciągnęła go do twojej lodówki...

Zamykasz maleńkie oczy.

Zaraz zostaniesz zgnieciony.

I nagle... Pstryk!

Jesteś znów w swojej kuchni i w osłupieniu wpatrujesz się w drzwi lodówki, do których z cichym metalicznym dźwiękiem przed chwilą przywarł magnes.

Ocierasz spływającą po czole strużkę zimnego potu i głęboko oddychasz. Karcisz sam siebie za myśl, że to wszystko było tylko wytworem twojej wyobraźni.

Przecież czułeś się tak, jakby to się działo naprawdę.

Byłeś właśnie świadkiem *oddziaływania na odległość*, które nie jest żadną magią, choć muszę przyznać, że sprawia niesamowite wrażenie. Ponad wszelką wątpliwość widziałeś, jak tajemnicza siła zmuszająca dwa magnesy do wzajemnego oddziaływania na siebie – siła elektromagnetyczna – była przenoszona przez wirtualne fotony, o których niezwykłości stanowi to, że istnieją wyłącznie w tym jednym celu. Fotony pojawiły się pomiędzy magnesem a lodówką, jakby wyłaniając się z nicości – ale nie było tak. Właśnie odkryłeś, że pomiędzy dowolnymi dwoma obiektami we wszechświecie, niezależnie od tego, czy są magnesami, czy nie, istnieje coś, co nazywamy polem

elektromagnetycznym. Jest to bezmiar siły, z którego w każdej chwili mogą wyskoczyć wirtualne cząstki światła.

Gdy wpatrujesz się teraz w lodówkę, te niezliczone perełki światła kursują między drzwiami a magnesem, ale ty już ich nie widzisz i nigdy nie będziesz w stanie ich dostrzec. Właśnie dlatego nazywamy je wirtualnymi. Wyskakują z pustki, która nie jest pustką, i znikają niezauważone przez nikogo.

Takie wirtualne nośniki sił przez cały czas znajdują się wokół, a nawet wewnątrz ciebie.

Wszystkie one należą do pola elektromagnetycznego, niewidzialnej mgły, która wypełnia nie tylko przestrzeń pomiędzy naszymi lodówkami a magnesami, ale także cały wszechświat.

A co z magnesami, które się odpychają? Z pewnością i takie widziałeś, prawda?

Jak się wkrótce przekonasz, gdy będziesz przelatywał przez atom, te wirtualne perełki światła, których istnienie właśnie odkryłeś, mogą albo przyciągać, albo odpychać materię, z której jesteśmy zbudowani i która nas otacza, albo też w ogóle na nią nie działać. Wszystko zależy od tego, co materia w sobie zawiera. W istocie zależy to tylko od jednej rzeczy, którą naukowcy nazywają *ładunkiem elektromagnetycznym*. I tak jak możesz określić swoją masę, stając na wadze, tak samo jesteś w stanie zmierzyć swój ładunek, używając odpowiedniego przyrządu. Ale twój całkowity ładunek wynosi zero – ludzkie ciało jest elektrycznie obojętne (w przeciwnym razie magnesy przywierałyby do ciebie, co byłoby dość kłopotliwe). Nie dotyczy to jednak pojedynczych cząstek, z których składa się twoje ciało.

W naturze występują tylko dwa rodzaje ładunków elektrycznych. Dla ułatwienia nazwano je dodatnimi i ujemnymi, plusem i minusem.

Reguła jest taka, że wirtualne cząstki światła odpychają podobne do siebie ładunki elektryczne, a przyciągają przeciwne. Plus i plus, podobnie jak minus

i minus, są odsuwane od siebie przez wirtualne fotony, które się między nimi pojawiają. A im bliżej te ładunki się znajdują, tym więcej wirtualnych perełek światła i tym mocniejsza siła odpychania. Z kolei plus z minusem lubią się przytulać. Tak jak twój magnes i twoja lodówka. Im bliżej są siebie, tym mocniej się przyciągają. Perełkami światła nie przejmują się natomiast obiekty elektrycznie obojętne. Obiekty takie mają albo identyczną liczbę ładunków dodatnich i ujemnych (tak jak twoje ciało), albo nie mają żadnego ładunku elektrycznego (później poznasz takie cząstki). Oto właśnie zasady, które rządzą światem elektromagnetyzmu.

Możesz sobie teraz pomyśleć – nie mogąc zobaczyć tego wszystkiego, co dzieje się między magnesami a lodówkami – że przedstawiłem ci jedynie bardzo użyteczną konstrukcję myślową, a nie dokładny opis zjawiska faktycznie zachodzącego w naturze. Możesz argumentować, że pole elektromagnetyczne to tylko pewne wyobrażenie umożliwiające naukowcom opisanie, w jaki sposób naładowane obiekty reagują na obecność magnesów. Z pewnością niegłupie i pomysłowe, ale wyłącznie wyobrażenie.

Możesz tak pomyśleć, lecz nie będziesz miał racji.

Pole, o którego istnieniu właśnie się dowiedziałeś, ta niewidzialna mgła, która przenika cały wszechświat i aktywizuje się w pobliżu naładowanych obiektów – oraz pomiędzy nimi – jest jednak czymś więcej.

Czymś bardzo realnym. W rzeczywistości nie tylko rządzi wszystkim, co ma elektryczny lub magnetyczny ładunek, ale też jest podmiotem, który w całym wszechświecie daje życie każdej naładowanej cząstce, jak również światłu. Jego przejawem są elektrony i widziane przez ciebie światło. Są to tylko zmarszczki tego pola.

Wielu najwybitniejszych współczesnych naukowców uważa pole elektromagnetyczne za coś bardziej podstawowego od samych magnesów. A nawet od samych lodówek. Coś bardziej podstawowego od światła. I bardziej

podstawowego od ciebie – choć to ostatnie twierdzenie może wydać się absurdalne.

Dalej w tej części książki dowiesz się jeszcze o dwóch innych polach kwantowych, które również wypełniają cały wszechświat. I zrozumiesz, że – jak głosi współczesna nauka – ty, ja oraz cała materia, jaką znamy i widzimy, a także całe świecące gdziekolwiek światło to nic innego jak przejawy, czyli znów zmarszczki, tych pól. My, ludzie, jesteśmy naprawdę podobni do ryb pływających w morzu. Morzu składającym się z pól. Podobnie jest ze wszystkim innym. I choć nasi przodkowie żyli kiedyś w prawdziwym morzu, musiały upłynąć eony, aby ewolucja uczyniła ich potomków zdolnymi do odkrycia, że istnieje morze pól kwantowych.

WCHODZIMY DO WNĘTRZA ATOMU

Jak sroka w kość wpatrujesz się w lodówkowy magnes. Wystarczy. Potrząsasz głową i otwierasz lodówkę, aby wziąć mleko, które zamierzałeś z niej wyjąć, zanim magnes zwrócił twoją uwagę na dość upiorne zjawisko.

Wracasz do stołu, na którym zostawiłeś kubek, i już masz nalewać do niego mleko, gdy zauważasz leżącą obok bryłkę złota.

Czym dokładnie są znane ci już atomy tego pierwiastka i te drgające na powierzchni magnesu? Czy to małe okrągłe kulki? A może sześciiany? Czym właściwie są ładunki elektryczne, do których podążają wirtualne perełki światła pola elektromagnetycznego? I co, do licha, miałem na myśli, mówiąc, że są to przejawy jakichś pól?

Jak mogłeś się spodziewać, zadawszy te pytania, znów stajesz się własną miniaturką, unosisz się z podłogi i lewitujesz po kuchni, z dala od jakiegokolwiek znanego ci obiektu. Bardzo chciałbyś się dowiedzieć, z czego zrobiony jest atom złota, który wcześniej wybrałeś.

To nie na niego jednak natykasz się najpierw, lecz na najmniejszy istniejący atom, który stanowi 74 procent całej znanej materii wszechświata – atom wodoru. To właśnie takie atomy stapiają się w jądrach gwiazd, w tym Słońca, tworząc większe atomy, czego produktem ubocznym jest świecenie.

Prawdę mówiąc, niewiele widzisz.

Jesteś pewien, że coś leży przed tobą, ale trudno ci określić, gdzie to się znajduje, nie mówiąc już o tym, czym to jest. Wyteżasz wzrok, ale ponieważ nic to nie daje, ponownie postanawiasz przestawić się na odczuwanie, naśladowając

jogina.

O dziwo, to działa.

Twoje oczy są zamknięte, ale możesz się zdać na wyobraźnię.

Przez otaczające cię pole elektromagnetyczne przechodzi jakaś fala... Porusza się po kuli... Pustej kuli albo raczej płacie... Nie, to nie fala... Raczej coś, co ma kształt kuli – nie, właściwie płata – i szybko faluje... Niemal z prędkością światła... Czyli świat widziany z takiej perspektywy musi być bardzo zniekształcony... A czas musi biec zupełnie inaczej niż twój... Zaraz, zaraz, to coś nie znajduje się w żadnym konkretnym położeniu... Uff, szczerze mówiąc, nie masz pojęcia, czym jest to, co sobie teraz wyobrażasz, ale ta cała szybko poruszająca się^[36] rzecz o kształcie kuli, płata czy czegoś jeszcze innego niesie ładunek elektryczny. Możesz wyczuć jego oddziaływanie na tle pola elektromagnetycznego – podobnie jak to było wcześniej w wypadku zbliżającego się magnesu. Czy to właśnie jest atom?

Wciąż skoncentrowany uświadamiasz sobie, że jest jeszcze coś innego... Coś znajdującego się bardzo głęboko, coś bardzo małego w porównaniu z rozpiętością poruszającej się fali. Aby móc przez cały czas utrzymać w pobliżu poruszający się ładunek, którego obecność odczuwasz, to coś musi być silne, a nawet bardzo silne.

Uświadamiasz sobie, że jądro atomu wodoru jest otoczone poruszającym się ładunkiem elektrycznym. Wszystkie atomy we wszechświecie mają taką samą budowę: jądro, które może mieć różne rozmiary, otoczone jest przez jedną albo więcej elektrycznie naładowanych fal.

Naukowcy nazwali jądro atomu *nukleonem*, a rozmytą, naładowaną i drgającą falę – *elektronem*.

To zastanawiające odkrycie.

Elektron w niczym nie przypomina maleńkiej kropki, jak to sobie wcześniej wyobrażałeś.

Chcąc zyskać pewność, że się nie mylisz, porzucasz metodę „na jogina” i otwierasz oczy. Nieoczekiwanie drgająca fala natychmiast znika, aby stać się czymś innym, czymś o wiele bardziej przypominającym cząstkę.

No dobrze.

Dokładnie takie same elektrony występują, w różnej liczbie, w każdym atomie wszechświata. Są niezbędne do funkcjonowania wszystkich urządzeń wykorzystujących oddziaływania elektromagnetyczne: komputera, pralki, telefonu komórkowego, żarówki... Dosłownie wszystkich. Na nich opiera się działanie sprzętu elektroenergetycznego i urządzeń telekomunikacyjnych.

Bardzo, bardzo powoli wyciągasz swą maleńką rączkę, aby chwycić jakiś elektron i dokładnie go zbadać.

Co dziwne, bardzo trudno go złapać. Za każdym razem gdy kątem oka zauważasz elektron, ten zaczyna poruszać się chaotycznie, jakby już sama próba zlokalizowania go powodowała niemożliwą do przewidzenia zmianę kursu.

Twoja wyobraźnia nie płata ci figli.

To realne zjawisko. Jedno z wielu zachodzących w świecie kwantowym, a nie w tym codziennym, z kryształowymi wazonami i filiżankami kawy.

To element fundamentalnej nieprzewidywalności natury widzianej z naszego punktu widzenia. O co dokładnie chodzi, dowiesz się w szóstej części książki, ale już teraz czujesz, że dzieje się coś niezwykłego. Wydaje ci się, że musisz tylko złapać elektron i zmusić go do mówienia. Masz rację. Zminiaturyzowany czy nie, jesteś teraz czystym umysłem i możesz robić wszystko, na co tylko masz ochotę. I niech cię diabli, jeśli ten mikrus zdoła ci się wymknąć! Kątem oka dostrzegasz go po swojej prawej stronie i skaczesz w tym kierunku. Hop! I już go masz w zaciśniętej prawej dłoni. Czujesz, jak elektron porusza się wewnątrz niej jak motyl machający skrzydłami niemal z prędkością światła. Zaczynasz zaciskać palce. Elektron jest naładowaną cząstką, a więc – za pośrednictwem perełek światła wyskakujących z pola elektromagnetycznego – oddziałuje,

z wzajemnością, na inne takie cząstki zawarte w twojej maleńkiej dłoni. Zaciskasz dłoń coraz mocniej i mocniej, aby uspokoić elektron znajdujący się w najmniejszym ze swoich więzień... I nagle przestajesz go wyczuwać. Zniknął.

Otwierasz dłoń.

Nie ma na niej żadnego elektronu.

Jesteś absolutnie pewien, że pomiędzy twoimi paluszkami nie została żadna szczelinka, a jednak udało mu się uciec. A ty nic nie poczułeś. Elektron przeniknął przez twoje ciało, nawet go nie dotykając.

I teraz znowu krąży wokół niewidocznego jądra atomu wodoru, z którego go zabrałeś.

To doprawdy niegrzeczne z jego strony.

Ale jak on to zrobił? W jaki sposób elektron wyswobodził się z uścisku, nawet nie dotykając twojej dłoni? No cóż, „tunelował”, czyli przeniknął przez nią. Wyskoczył. To był rekordowy skok, kwantowy. Takie rzeczy mogą dziać się tylko w świecie subatomowym, ale nie w naszym codziennym życiu, na poziomie makro – wśród kuchni, wazonów i samolotów. Tak przynajmniej można by sądzić.

Nie zbadaliśmy jeszcze elektronu, ale znamy już jedną z jego dziwnych właściwości: potrafi skakać w wyjątkowy sposób. Zjawisko to nazywamy *tunelowaniem kwantowym* lub *skokami kwantowymi*. Dotyczy nie tylko elektronów – tak się zachowują wszystkie cząstki, które można znaleźć w kwantowym świecie.

Skoro już to ustaliliśmy, zastanówmy się przez chwilę nad terminologią.

Gdy naukowcy odkrywają coś nowego, muszą to jakoś nazwać. W wypadku świata bardzo małych rozmiarów, czyli kwantowego, łączą ten przymiotnik z innym, często dobrze znanym słowem. Na przykład „tunelowanie”, „skok” czy

„świat” to pojęcia, które rozumiemy bez trudu. Obecność słowa „kwantowy” jest jednak pewnego rodzaju ostrzeżeniem. Wskazuje ono, że dzieje się coś podejrzanego. W naszym przykładzie podejrzanym jest to, że elektrony naprawdę tunelują przez różne rzeczy... tylko że nie ma żadnego tunelu.

Skoki kwantowe prawie nigdy nie zdarzają się w ludzkiej skali. Wyobraźmy sobie, że jednak tak się dzieje. Znajdujesz się w tej samej kuchni, ale przeniosłeś się w czasie do swojego dzieciństwa. Twój ojciec właśnie poprosił cię o sprzątniecie ze stołu, lecz jest już późno i poczułeś się tak, jakby na twoich wątych barkach spoczął cały ciężar świata.

Mruczysz pod nosem coś, co przypomina warczenie niedźwiadka. Ale to nie odnosi skutku, stół wciąż czeka na ciebie.

Zrozpaczony siadasz na kuchennej podłodze. No i proszę. Nagle znalazłeś się obok stołu w jadalni, po drugiej stronie ściany, a wszystkie sztuczki, talerze i szklanki przeskoczyły – albo tunelowały (jak kto woli) – przez ścianę do kuchni.

Może brzmi to jak jakaś bajka albo wygląda jak scena z filmu *Mary Poppins*, ale prawdę mówiąc, przy takich kwantowych skokach nigdy nie wiemy, gdzie wylądowałyby sztuczki, talerze i szklanki. Właściwie to nie ma szans, żeby znalazły się w zmywarce. Twój ojciec musiałby kupić nowe, bo już nigdy nie znaleźlibyście tych starych.

Brzmi dziwnie, prawda?

No cóż, to właśnie jest tunelowanie kwantowe. Gdyby w naszej ludzkiej skali obowiązywały prawa mechaniki kwantowej, nie istniałyby ani drzwi, ani ściany, a my nie mielibyśmy nawet odrobiny prywatności. Na szczęście tak nie jest, choć to dość tajemnicza sprawa.

Z drugiej strony, w królestwie rzeczy bardzo małych prawie wszystko może przekroczyć każdą barierę właśnie dzięki tunelowaniu kwantowemu. W jaki sposób? Uznaje się, że te małeństwa są w stanie tego dokonać, ponieważ mogą

czepać energię z pola kwantowego, w którym się znajdują, czyli z morza, w którym pływają, wypełniającego każde wolne miejsce w czasoprzestrzeni. Każdą ilość energii. Marzenie wszystkich sportowców.

To wszystko jednak nie daje ci pojęcia, jak wygląda elektron. Będę z tobą szczerzy: twoja miniaturka może doznać rozczarowania. Nie potrafimy sobie wyobrazić, jak wygląda elektron – właśnie ze względu na samo pole kwantowe, do którego należy.

Pole elektromagnetyczne jest wszędzie i każdy elektron wszechświata nie tylko do niego należy, ale jest identyczny ze wszystkimi pozostałymi elektronami, istniejącymi gdziekolwiek i kiedykolwiek. Wszechświat nie zauważy zamiany jednego elektronu na drugi. Z powodu pola kwantowego, którego są manifestacją, elektronów nie można opisać w taki sposób, w jaki da się opisać obiekt makroskopowy. Elektrony należą do tego pola, są jego częścią, tak jak kropla wody jest częścią olbrzymiego oceanu czy podmuch wiatru częścią nocnego powietrza, kropla i podmuch, których nie jesteś w stanie zlokalizować. Nieważne, ile im się przyglądamy – krople i podmuchy są dla nas po prostu oceanem i wiatrem. Będąc elementem całości znacznie większej niż one same, tracą własną tożsamość.

W świecie kwantowym, gdy tylko popatrzysz na elektrony, stają się cząstkami o określonych właściwościach – jak krople wyjęte z oceanu. Ich właściwości to dla nas zupełna nowość – elektrony nie zachowują się w taki sposób, jakiego byśmy od nich oczekiwali. A w każdym razie nie tak, jak oczekiwałyby nasze przyzwyczajone do codzienności zmysły.

Jeśli wiesz już, gdzie znajduje się elektron, nie możesz powiedzieć, jak szybko się porusza – jego prędkość jest teraz nieprzewidywalna. Właśnie dlatego miałeś tak duże problemy ze znalezieniem elektronu w atomie wodoru. Gdy tylko go dostrzegłeś, zaczynał poruszać się zupełnie chaotycznie. Nie byłeś w stanie go śledzić i zniknął ci z pola widzenia.

Podobnie kiedy wiesz, ile energii ma elektron, nie jesteś w stanie określić, jak długo będzie ją miał.

Energia i czas, położenie i prędkość – w kwantowym świecie nie są to pojęcia od siebie niezależne. Dowiesz się o tym więcej w szóstej części książki. Ponieważ w tym świecie jesteś debiutantem – twoja miniaturka podróżuje po nim po raz pierwszy – powinieneś do tego wszystkiego podejść tak jak wtedy, gdy jako małe dziecko odkrywałeś świat, czyli bez uprzedzeń. Nie można jednocześnie określić położenia i prędkości? Świetnie. Tak to już jest. Prawa fizyki kwantowej umożliwiają skoki i tunelowanie do innych światów? W porządku, niech tak będzie. Wytlumaczenie tych wszystkich faktów przyjdzie w swoim czasie. Albo i nie.

Szczerze mówiąc, cała ta kwantowo-tunelowa rzeczywistość również dla mnie brzmi jak kompletny nonsens, ale przypomina mi się, co po zakończeniu wykładów z fizyki kwantowej Einstein podobno powiedział swoim studentom: „Jeśli mnie zrozumieliście, to znaczy, że nie wyrażałem się jasno”. Jeżeli i dla ciebie nie ma to sensu, wszystko jest w porządku. Natura się nie obraża. Jest po to, abyśmy ją odkrywali, i tyle. Ale czy naprawdę jest rzeczywista?

No cóż, niektórzy potraktowali tunelowanie kwantowe bardzo poważnie i próbowali znaleźć dla tego zjawiska praktyczne zastosowanie. Trudno uwierzyć, ale im się udało.

Ponad trzydzieści lat temu dwaj fizycy zatrudnieni w oddziale firmy IBM w Zurychu, Niemiec Gerd Binnig i Szwajcar Heinrich Rohrer, uznali, że zjawisko tunelowania kwantowego można wykorzystać do uzyskania obrazu dowolnej powierzchni w niespotykanej małej skali. Wierzyli, że naprawdę uda im się zobaczyć atomy.

W normalnych warunkach elektron nie opuszcza swojego atomu, jeśli nie ma dokąd pójść. A jeśli jest gdzieś jakieś miejsce, dokąd może się udać, musi ono leżeć bardzo blisko. Tak to wygląda, gdy elektron nie wykorzystuje swojej

kwantowej mocy do tunelowania przez pustkę i przeskakiwania przez przeszkody.

Używając wyjątkowo cienkiej i wyjątkowo ostrej igły podłączonej do detektora prądu elektrycznego, Binnig i Rohrer przeszukiwali powierzchnię materiału, nie dotykając jej. Nie powinni byli nic wykryć, gdyż odległość między powierzchnią a igłą była zbyt duża, aby elektron mógł ją pokonać. Wykryli jednak prądy elektryczne odpowiadające skokom elektronów^[37]. Im bliżej atomu z powierzchni substancji znajdowała się igła, tym więcej naukowcy wykrywali skoków i tym większe było natężenie prądu. Wyniki umieścili na wykresie, otrzymując trójwymiarowy, niezwykle szczegółowy obraz substancji na poziomie atomowym. Naukowcy ci skonstruowali mikroskop, obecnie nazywany *skaningowym mikroskopem tunelowym*, za pomocą którego można zobaczyć same atomy. Jego dokładność jest zdumiewająca, mieści się w zakresie od 1 do 10 procent średnicy atomu wodoru. Inaczej mówiąc, gdyby atom wodoru miał stopy, to używając takiego mikroskopu, można byłoby je zobaczyć, a może nawet policzyć palce.

Atomy złota, podobne do tych, które znalazłeś w kuchni, zostały przeskanowane w ten sposób już kilkadziesiąt lat temu, a dziś skaningowe mikroskopy tunelowe są używane do obrazowania, w jaki sposób różne rodzaje atomów są z sobą splecione w otaczającej nas materii, oraz do badania najnowocześniejszych materiałów. Dzięki takim mikroskopom inżynierowie uzyskali możliwość poruszania pojedynczych atomów. Tunelowanie kwantowe naprawdę istnieje. I ma praktyczne zastosowania.

Zaprojektowanie tego narzędzia badawczego przyniosło Binnigowi i Rohrerowi w 1986 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki^[38].

Elektrony, które próbowałeś złapać, występują na peryferiach wszystkich atomów wszechświata. I są nieuchwytnie. Wprawdzie naukowcy nie potrafią

dokładnie opisać wyglądu elektronów, używając terminologii wziętej z codziennego życia, ale muszą akceptować ich dziwne zachowanie.

Zgodnie z obecnym stanem wiedzy elektrony nie składają się z żadnych mniejszych elementów. W przeciwieństwie do atomów nie mogą być w żaden sposób cięte, rozszczepiane ani łamane. Są po prostu utworzone z pola elektromagnetycznego – są jego przejawem.

Ze względu na to, że są tylko sobą, że są jednym z najbardziej podstawowych przejawów pola elektromagnetycznego, elektrony nazywamy *cząstkami fundamentalnymi*.

W przeciwieństwie do nich te efemeryczne perełki światła, które wcześniej pojawiły się pomiędzy magnesem a twoją lodówką, zostały nazwane *cząstkami wirtualnymi*.

Cząstki wirtualne są nośnikami oddziaływań. Istnieją tylko po to, aby przetransmitować siłę elektromagnetyczną pomiędzy elektrycznie lub magnetycznie naładowanymi cząstkami.

Atomy – zbudowane z mniejszych elementów (takich jak elektrony oraz różne składniki jądra) – nie są cząstkami fundamentalnymi. Składają się z wielu takich cząstek.

Elektrony nie tylko oddziałują wzajemnie z resztą świata za pośrednictwem wirtualnych fotonów, ale wchodzi w kontakt z rzeczywistymi fotonami, z rzeczywistym światłem, które wykrywa twoje oko. Dzięki takiej grze materii i światła widzimy świat tak, a nie inaczej.

W dzisiejszym rozumieniu rzeczywiste fotony, tak jak elektrony, są fundamentalnym przejawem pola elektromagnetycznego. Nie mają wewnętrznej struktury. To nic więcej niż fale w niewidzialnym morzu, kwantowe fale, które mogą zachowywać się jak fale oraz jak cząstki.

Ich gromadka omywa w tej chwili twój atom wodoru. Przebyły długą drogę, aby tu dotrzeć. Przez mniej więcej milion lat próbowały wydostać się ze

stopionego rdzenia Słońca na jego powierzchnię, co udało im się jakieś 8 minut i 20 sekund temu. Gdy wreszcie nie krępowała ich już żadna materia, popędziły z prędkością światła przez przestrzeń kosmiczną, aby pokonać 150 milionów kilometrów dzielących rozgniewaną powierzchnię naszej gwiazdy od Ziemi. Ze wszystkich miejsc, do których mogły się udać, fotony te wybrały atmosferę ziemską, w którą uderzyły przed ułamkiem sekundy. A po przedarciu się przez nią dotarły do... Do okna twojej kuchni. W tym miejscu fotony nie mogły już wiele więcej zrobić, przeszły więc przez szybę i omyły twój atom wodoru.

Zamknięty w miniaturowym ciele obserwujesz, jak pędzą przez kuchnię, z nadzieją że zobaczysz, jak uderzą w twój atom. Ale fotony przelatują przez niego i rozbijają się o ścianę w kuchni.

Z wyjątkiem jednego, którego już nie ma.

Przepadł.

Ale dokąd się udał?

Zaskoczony rozglądasz się wokół, aż wreszcie zdajesz sobie sprawę, że twój nieuchwytny elektron wodoru porusza się teraz zupełnie inaczej. Zachowuje się jak otaczające jądro fale, których grzbiety znajdują się blisko siebie.

Jak to możliwe?

Został wzbudzony.

Połknął foton.

Przypomnij sobie, że z tym dziwnym zjawiskiem mieliśmy po raz pierwszy do czynienia w drugiej części książki, gdy zajmowaliśmy się pierwszą zasadą kosmologiczną.

Ale teraz dzieje się coś znacznie ciekawszego: po krótkiej chwili elektron ni stąd, ni zowąd wypluwa w przypadkowym kierunku dokładnie ten sam foton, który zniknął, bo został przez niego połknięty.

Po dłuższej chwili zastanowienia wysnuwasz jedyny możliwy wniosek, że najbardziej znane cząstki fundamentalne, czyli elektrony i fotony, mogą na siebie wzajemnie oddziaływać, i faktycznie to czynią. Że jedne mogą się zamieniać w drugie.

Jeszcze trochę nad tym rozmyślasz i uświadamiasz sobie, że zawsze o tym wiedziałeś. Czyż pływając się w słońcu, nie czujesz ciepła? Czy zimą twoja skóra nie rozgrzewa się przy ogniu płonącym w kominku? Skóra, tak jak cała materia wszechświata, składa się z atomów, których zewnętrzne powłoki są wypełnione elektronami. Gdy w atomy twojej skóry uderza światło słoneczne, chwytają one niektóre fotony, które przeistaczają się we wzbudzone i poruszające się nieco szybciej elektrony. W ten sposób powstaje ciepło, tak lubiane (albo i nie) przez twoje ciało.

Jest to tak niewiarygodne odkrycie, że muszę powtórzyć: materia i światło mogą się zmieniać jedno w drugie, i to robią.

Wszystko w naszym świecie jest grą materii i światła.

Ale nie tylko tym.

[36] „Szybko poruszająca się” może w tym wypadku oznaczać: mająca nawet prędkość relatywistyczną, czyli stanowiącą znaczny ułamek prędkości światła.

[37] Na wypadek gdybyś się zastanawiał, wyjaśniam, że wirtualne fotony, te perełki światła przenoszące siłę elektromagnetyczną, nie mogą być za to odpowiedzialne, gdyż nie niosą żadnego ładunku elektrycznego.

[38] W tym samym roku otrzymał ją również Ernst Ruska, niemiecki fizyk, który zbudował inny rodzaj mikroskopu, nazwany mikroskopem elektronowym. Rok 1986 upłynął więc pod znakiem powiększania.

BEZWZGŁĘDNY ŚWIAT ELEKTRONÓW

W poprzednich dwóch rozdziałach dokonałeś ważnych odkryć, chociaż widziałeś tylko wzajemne oddziaływanie na siebie magnesu i lodówki oraz prześlizgnąłeś się po powierzchni atomu. Odkryłeś tajemnicę elektromagnetycznego oddziaływania na odległość i widziałeś, jak mogą się bawić z sobą materia i światło. Ich gra to tylko jedno oblicze naszego świata, lecz mamy szczęście, że skromne ludzkie zmysły są w stanie zarejestrować to zjawisko. Światło nieustannie uderza w nasze ciało, wzbudzając elektrony we wszystkich tkankach, w siatkówce naszych oczu, ogrzewając materię, z której jesteśmy zbudowani, i dostarczając jej w ten sposób energii. Atomy mogą również „wypluwać” światło połknięte przez ich elektrony, sprawiając, że ludzie i obiekty „świecą” jakąś barwą lub kilkoma barwami – barwami atomu czy grupy atomów, które je połknęły. W ten właśnie sposób zyskują kolor nasze oczy, nasza skóra, włosy i ubrania oraz wszystkie rośliny i kamienie. Tak powstają także różne odcienie kolorystyczne odległych gwiazd. Gdy promienie świetlne uderzają w pomidor, to całe światło widzialne jest przez niego wchłaniane i go ogrzewa bądź jest przez niego magazynowane. Wyjątek stanowi światło czerwone, z którego atomy pomidora nie mają żadnego pożytku, więc je „wypluwają”. A gdy powróci do naszych oczu, dostajemy informację, że patrzymy na przepiękny czerwony pomidor. Bez elektronów i fotonów nie widzielibyśmy ani pomidora, ani siebie wzajemnie. Nie mielibyśmy również pojęcia, z czego zbudowana jest reszta wszechświata, ani nie zdawalibyśmy sobie sprawy, że wszędzie obowiązują te same prawa natury. Jeszcze bardziej

zdumiewa to, że dzięki zmysłom nasze ciało przekształca te wszystkie nieziemskie oddziaływania w doznania przetwarzane później przez mózg. Dzięki temu gatunek ludzki znalazł naukowe wyjaśnienie tych oddziaływań oraz odkrył istnienie pól, które wypełniają cały wszechświat. To nie tylko coś zdumiewającego, to istny cud.

A co z jądrem atomowym? Czy ono również składa się z elektronów? Czy jest jeszcze jednym przejawem pola elektromagnetycznego? W pewien sposób musi nim być, ponieważ – jak ci wiadomo – jako całość atom wodoru, któremu się przypatrujesz, jest elektrycznie obojętny. Jądro atomowe musi więc również posiadać ładunek, przeciwny do ładunku krążącego wokół niego elektronu. Z daleka wygląda to tak, jakby te ładunki się znosiły. Ale jak to się dzieje, że ty tego nie widzisz?

Twojej miniaturce, która taksuje wzrokiem unoszący się w kuchni atom wodoru, w pewnej chwili przychodzi do głowy, że ten gagatek to głównie pusta przestrzeń, tak mało w nim jest faktycznej zawartości.

W istocie w taki sposób są zbudowane wszystkie znane atomy we wszechświecie – pomiędzy jądrem atomowym, z czegośkolwiek by się składało, a elektronami znajduje się pustka.

Dziwne.

Dlaczego więc magnes nie przechodzi przez powierzchnię lodówki, skoro między wszystkimi atomami tych przedmiotów jest tyle wolnej przestrzeni? Dlaczego przywiera do lodówki? Czy atomy nie powinny się po prostu mijać jak dwie chmury pary wodnej, nie zauważając nawet swojej obecności? No cóż, na szczęście dla nas to niemożliwe, ponieważ wtedy świat nie byłby stabilny. Powodem takiego stanu rzeczy są elektrony, nie jądra atomowe. Twój atom złota pomoże wyjaśnić tę kwestię.

Badany przez ciebie atom wodoru jest najmniejszym znanym atomem. Atom złota jest większy. Doskakujesz do niego i zaczynasz go oglądać.

Najpierw dostrzegasz, że wokół jego jądra mknie ze świstem nie jeden samotny elektron o falowej strukturze, jak to było w wypadku wodoru – jest ich aż 79. I wszystkie zachowują się identycznie jak elektron krążący w atomie wodoru.

Następnie zauważasz, że te posiadające własności falowe elektrony, mimo że są identyczne, nie dzielą z sobą swoich terytoriów. Jak ognia unikają przebywania w jednym miejscu w tym samym czasie, ponieważ tak się składa, że zabrania im tego natura. Niezależnie od tego, do jakiego atomu należą elektrony, ich struktury falowe nigdzie się na siebie nie nakładają. Tym samym możliwość współzamieszkiwania przez nie atomu jest obwarowana ścisłymi warunkami. Elektrony nie mają wyboru – muszą się układać wokół jądra warstwami, jak w cebuli, i tak właśnie robią. Na pierwszej powłoce, licząc od wewnątrz, mogą się znajdować zaledwie 2 elektrony, na drugiej może być ich tylko 8, na trzeciej – 18, na czwartej – 32 i tak dalej.

Maksymalna liczba elektronów na kolejnych powłokach jest taka sama dla wszystkich znanych atomów we wszechświecie. Atomy odróżniają się od siebie nie właściwościami samych elektronów, ale ich liczbą. Elektrony są zawsze identyczne.

Atom wodoru, najmniejszy ze wszystkich atomów, ma jeden elektron, którego orbital znajduje się na pierwszej powłoce elektronowej. Hel ma 2 elektrony, których orbitale wypełniają pierwszą powłokę. Z kolei na przykład w atomie neonu jest 10 elektronów. Jego pierwsze dwie powłoki są wypełnione. Chemiczne i mechaniczne właściwości wszystkich atomów zależą od tego, w jakim stopniu są wypełnione ich zewnętrzne powłoki elektronowe.

Jeśli chciałbyś do atomu dodać dodatkowy elektron, nie mógłbyś go umieścić w dowolnym miejscu, a już na pewno nie na wypełnionej powłoce.

Trudno byłoby to sobie wyobrazić, gdyby elektrony były kulistymi cząstkami.

Więc choć w szczególnych okolicznościach mogą faktycznie przypominać szklane kulki (więcej przeczytasz o tym w części szóstej), kiedy indziej zachowują się jak fale. A fale mogą bez trudu wypełnić każdą objętość. I właśnie dlatego na zapełnionej powłoce elektronowej nie ma już miejsca dla żadnego nowo przybyłego elektronu. Gdyby jednak jakiś dodatkowy elektron (swobodny albo należący do innego atomu) naprawdę chciał zostać częścią już istniejącego atomu, musiałby albo usadowić się gdzieś na wolnym miejscu, dalej od jądra niż już należące do niego elektrony, albo usunąć jeden z nich siłą. Elektrony bardzo nie lubią, gdy ich falowe postacie nakładają się na siebie. W tym świecie nie ma litości.

Niechęć elektronów do mieszkania razem ma swoją nazwę. To *reguła Pauliego*, nazwana tak na cześć szwajcarskiego fizyka teoretyka Wolfganga Pauliego^[39], który sformułował ją w 1925 roku. Dwadzieścia lat później otrzymał za to odkrycie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Reguła ta wyjaśnia, dlaczego magnes przywiera do drzwi lodówki, a nie przenika przez nie, i co dla nas jeszcze istotniejsze, dlaczego my nie możemy przechodzić przez ściany i nie spadamy w dół przez podłogę. Tłumaczy także, dlaczego możesz utrzymać w dłoniach tę książkę: zewnętrzne elektrony atomów znajdujących się w jej okładce nie chcą ustąpić miejsca elektronom z koniuszków twoich palców. A twoje elektrony również nie ustąpią. Trzymają się więc z dala od siebie. I nie ma szans, abyś mógł je zmusić do innego zachowania. Fale elektronów nigdy na siebie nie zachodzą. Nie próbuj przebiec przez ścianę, aby udowodnić, że ja czy Pauli nie mamy racji. Złamałbyś nos, zanim elektrony cokolwiek by zauważyły.

Choć elektrony cenią sobie prywatność, nie mają nic przeciwko temu, aby robić coś wspólnie. Dzięki temu – i na szczęście dla nas – mogą współtworzyć materię, z jakiej jesteśmy zbudowani. O czym za chwilę się przekonasz.

Już miałeś zanurkować w głąb atomu złota, ale to musi poczekać, bo tak się składa, że obok przelatuje atom tlenu.

Gapisz się na niego.

Ma osiem elektronów i jest mniejszy od atomu złota, ale o wiele większy od atomu wodoru.

Pierwszą powłokę elektronową ma już zapełnioną, ale na drugiej, zewnętrznej, z sześcioma elektronami, jest miejsce na jeszcze dwa inne.

Samotne elektrony z atomów wodoru na pewno skorzystają z takiej okazji.

W pobliżu znajdują się dwa atomy wodoru i gdy atom tlenu je mija, pierwszy samotny elektron skacze i dołącza do tlenowej rodziny.

I nigdy już nie będzie sam.

Po chwili obserwujesz kolejny skok, drugiego elektronu, który wypełnia ostatnie wolne miejsce w atomie tlenu.

A ponieważ wszystkie elektrony wszechświata są identyczne, nikt nie potrafi określić, który z nich był w atomie pierwszy, a który przybył później. Doskonałe upodobnienie.

Jądra atomowe, związane ze swoimi elektronami za pomocą wirtualnych perełek światła, nie mają innego wyboru i muszą za nimi podążać – dlatego te trzy atomy są teraz z sobą połączone. Dwa atomy wodoru i jeden atom tlenu są skazane na wspólne życie.

W takiej sytuacji nie ma już miejsca na żaden dodatkowy elektron. Cała konstrukcja jest stabilna.

Dzieląc z sobą w taki sposób elektrony, atomy stają się częścią większych struktur zwanych *cząsteczkami*. Cząsteczka, której powstawanie przed chwilą obserwowałeś, składa się z dwóch atomów wodoru i jednego atomu tlenu.

Dwa H i jedno O.

H₂O.

To woda – najcenniejsza dla życia cząsteczka, jaką znamy.

W skali wszechświata woda raczej nie powstaje w twojej kuchni, tylko w przestrzeni kosmicznej, wewnątrz rozproszonych po galaktykach ogromnych chmur gwiazdnego pyłu, które astronomowie nazywają *mgławicami*.

Wewnątrz tych mgławic tlen wytwarzany w eksplodujących gwiazdach miesza się z wszechobecnym wodorem.

Gdy gwiazdy giną, wysyłają swoje nasiona, umożliwiając tym samym powstawanie cząsteczek wody. Oraz wielu innych rodzajów cząsteczek.

Dzieląc z sobą jeden albo więcej elektronów, atomy mogą się na wiele sposobów łączyć w sieci o rozmaitej złożoności. Natura stworzyła w ten sposób cząsteczki o różnych rozmiarach i właściwościach – od dość małych po niezwykle długie, takie jak składające się z miliardów połączonych atomów ludzkie DNA, w którym zawarte są wszystkie informacje niezbędne do zbudowania kogoś takiego jak ty.

Aby rzucić światło na genezę cząsteczek, które zapoczątkowały życie na Ziemi, i wyjaśnić tajemnicę pochodzenia wody pokrywającej obecnie 70 procent powierzchni naszej planety, w ostatniej dekadzie wysłano w przestrzeń kosmiczną wiele satelitów. Czy woda na Ziemi pochodzi z planetoid albo z komet, które uderzyły w naszą planetę jakieś 4 miliardy lat temu? Czy te odłamki skalne i lodowe kule przyniosły na Ziemię niektóre, a może nawet wszystkie, molekularne zarodki życia? Wkrótce powinniśmy się tego dowiedzieć, gdyż wiele z tych satelitów osiągnęło swój cel albo lada dzień to zrobi.

Obecnie już wiemy, że do zbudowania wszystkich cząsteczek, jakie są potrzebne do utrzymania życia na Ziemi, wystarczy zaledwie sześć rodzajów

atomów. Są to atomy takich pierwiastków, jak węgiel, wodór, azot, tlen, fosfor i siarka, znanych pod akronimem CHNOPS^[40]. A tak nawiasem mówiąc, ponieważ całe twoje ciało jest zbudowane z cząsteczek składających się z tych właśnie atomów, ty też jesteś CHNOPS. Bez urazy.

Gdy tak rozmyślasz nad swoim chnopsowatym ciałem, przychodzi ci do głowy kolejne pytanie. Skoro ciało i powietrze składają się z atomów mających wspólne elektrony, to dlaczego możesz (i całe szczęście) iść przez powietrze, a nie jesteś w stanie przejść przez ścianę?

To naprawdę istotne pytanie.

Jak wiemy, powietrze jest wypełnione atomami o niezliczonej liczbie elektronów, które powinny uniemożliwić ci poruszanie się. Tak jednak nie jest, ponieważ obowiązuje reguła Pauliego.

Nie wszystkie atomy powietrza dzielą swoje elektrony z innymi atomami i dlatego nie są z sobą tak mocno związane, jak te tworzące twoje ciało. Zamiast blokować ruchy człowieka, rozsuwają się, ustępując miejsca twoim atomom torującym sobie drogę. Gdy atomy powietrza od czasu do czasu wpadają na siebie, powstaje wiatr. A tak na marginesie, na tym właśnie polega różnica między gazem a ciałem stałym.

W cieczach pobliskie atomy są z sobą trochę bardziej związane, jednak nie na tyle mocno, aby cię zatrzymać, o ile nie będziesz próbował wejść do cieczy zbyt szybko. Na przykład skacząc z urwiska w stalowoszarą toń morza. W ciałach stałych atomy nie rozsuwają się, jeśli ich się do tego w jakiś sposób nie zmusi – tu nasuwa się obraz ostrych nożyczek przecinających papier.

Elektron może nie tylko walczyć o nowe miejsce pobytu, bywa również zmuszany do opuszczenia swojej pozycji – w ten sposób pozostawia wolne miejsce dla innego elektronu. Gdy atom traci elektron (na przykład po uderzeniu przez potężny foton ze światła słonecznego), połączone ładunki elektryczne jądra

i atomu (albo atomów) nie dają już w sumie zera. Atomy ogołocone z jednego albo większej liczby elektronów stają się tym, co naukowcy nazwali *jonami*^[41]. Jony zwykle poszukują czegoś, z czym mogłyby się związać i stworzyć cząsteczkę. A tak naprawdę bardzo zależy im na znalezieniu elektronów. Fizycy mówią wtedy, że są one wyjątkowo *reaktywne*.

Ale wiązania stworzone przez elektrony w cząsteczkach mogą też, dla odmiany, zostać zerwane. Podczas takiego procesu uwalnia się energia – i po to właśnie jemy posiłki. Cząsteczki znajdujące się w pożywieniu są rozbijane wskutek zachodzących w twoim ciele reakcji chemicznych, co prowadzi do uwolnienia energii, którą później twój organizm wykorzystuje na wiele sposobów, aby utrzymać cię przy życiu.

W porządku.

Na tym kończymy nasz przegląd świata maleńkich elektronów.

Prześlizgnąwszy się zaledwie po zewnętrznej warstwie trzech rodzajów atomów, zdążyłeś zdać sobie sprawę, że współczesna nauka wie prawie wszystko o codziennym funkcjonowaniu naszego organizmu. Zanim udasz się do wciąż tajemniczego jądra atomowego, podsumuję dla ciebie treść ostatnich paru rozdziałów.

Zewnętrznymi elementami wszystkich atomów wszechświata są rozmazane, mające własności falowe, duże ładunki elektryczne, zwane elektronami. To cząstki fundamentalne pola elektromagnetycznego, które bardzo chronią swoją prywatność. Reguła Pauliego zabrania dwóm elektronom przebywania w tym samym miejscu w przestrzeni i w czasie. Chociaż we wszystkich atomach wszechświata jest więcej pustki niż czegokolwiek innego, zakaz ten sprawia, że nie możesz przechodzić przez ścianę, nie spadasz w dół przez krzesło, łóżko czy jakiegokolwiek inne ciało stałe. W przeciwnym razie życie byłoby trudne. Reguła Pauliego zwraca też uwagę na strukturalne i chemiczne odmienności między

różnymi atomami. Ponieważ wszystkie elektrony atomu nie mogą się tłoczyć w pobliżu jego jądra, otaczają je więc warstwami, jak w cebuli, wypełniając jedynie dostępne miejsca. Im jest ich więcej, tym większy jest atom, w którego skład wchodzi.

Należy podkreślić, że regule Pauliego podlegają nie tylko elektrony, ale także niektóre inne cząstki – lecz nie wszystkie. Na przykład światło pragnie się odróżniać. W dowolnie małej przestrzeni możesz upchnąć tyle fotonów, ile tylko chcesz. Zupełnie nie będzie im to przeszkadzało. Co więcej, fotony nawet to lubią, a im bardziej dwa z nich są do siebie podobne, tym chętniej się do siebie przytulają, jak pingwiny na mrozie. Beneficjentami takich czułości są lasery – urządzenia emitujące wysokoenergetyczne wiązki identycznych fotonów.

W tym miejscu mógłbyś odnieść wrażenie, że elektrony i światło to jedyne cząstki, które się liczą we wszechświecie. Wkrótce się dowiesz, że w jądrze atomu znajdują się także inne ich rodzaje. Poza tym chciałbym podkreślić, że są cząstki, które do atomów nie należą. One wcale nie przejmują się ani pragnieniem prywatności elektronów, ani nawet ich istnieniem. W ogóle niczym się nie przejmują. Niektóre z nich są nawet tak beztroskie, że większość czasu spędzają, przelatując przez wszystko i wszystkich, właściwie nie pozostawiając po sobie śladu. Z perspektywy tych maleńkich cząstek wszechświat musi wydawać się bardzo nudny i pusty. Nawet Ziemia i ty. Wkrótce się z nimi spotkasz.

Na razie znów masz powód do dumy! Wiesz już teraz o elektronach i świetle tyle, ile pół wieku temu wiedziała zaledwie garstka ludzi, a skoro większość z nich dostała Nagrodę Nobla, musieli być bardzo bystrzy.

Ale to jeszcze mało.

Dzięki tym ludziom możesz wyjaśnić w zasadzie wszystko, co masz wokół siebie: począwszy od koloru pomidora i solidności ściany czy ziemi pod twoimi nogami, a skończywszy na tym, że magnes wysuwa ci się z palców, przylegając do drzwi lodówki.

Wszystko, czego ty i twoi przyjaciele doświadczacie na co dzień, jest regulowane przez bawiące się z sobą materię i światło, które przeobrażają się jedno w drugie, oraz przez elektrony, które swoim sobowtórom kategorycznie odmawiają wstępu do własnego kawałka czasoprzestrzeni.

Gdy następnym razem będziesz kogoś obejmował, wyobraź sobie, jak między wami tworzą się wirtualne perełki światła i coraz bardziej szaleją, w miarę jak się do siebie zbliżacie. Aż w pewnej chwili elektrony zachowujące się zgodnie z regułą Pauliego zdecydują, że bliżej siebie już nie możecie być. Nie jestem jednak pewien, czy o tym zdumiewającym zjawisku powinieneś wspominać zaraz na pierwszej randce – decyzja należy do ciebie...

Zanim ponownie ruszysz w podróż przez znaną już nam materię, mam dla ciebie jeszcze jedną dobrą wiadomość: eksperymenty przeprowadzone w 2014 roku w imponujących podziemnych laboratoriach Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire – CERN), położonych przy granicy francusko-szwajcarskiej, potwierdziły, że ludzkość teoretycznie wie dziś wszystko o materii, z jakiej jesteśmy zbudowani.

Wszystko.

Nie znaczy to, że wyjaśnione zostały wszystkie tajemnice (o wielu z nich przeczytasz w szóstej części książki), znaczy natomiast, że od 2014 roku mamy pełny obraz całej znanej nam zawartości wszechświata, odpowiadający temu, co potrafimy zgłębić lub odkryć, korzystając ze wszystkich nowoczesnych technologii.

Do tego obrazu należą również jądra atomowe, które możesz już zacząć badać.

Jeśli przypuszczasz, że znowu odkryjesz tam dziwne rzeczy, przecucie cię nie myli.

[39] Tak się składa, że Pauliego rzuciła żona, wiążąc się później z chemikiem. Fizykowi teoretykowi trudno się z czymś takim pogodzić, naukowiec zaczął więc topić swoje smutki w alkoholu. Nic dziwnego, że jego regułę nazywa się również zasadą wykluczenia. Ironia losu sprawiła, że będąc w głębokiej depresji, wyjaśnił, z jakiego powodu możemy żyć na powierzchni naszego świata, nie zapadając się w głąb niego. A mogłoby się wydawać, że dla niego samego taki powód już nie istnieje.

[40] Poszczególne litery akronimu CHNOPS oznaczają odpowiednio: C – *carbon* (węgiel), H – *hydrogen* (wodór), N – *nitrogen* (azot), O – *oxygen* (tlen), P – *phosphorus* (fosfor), S – *sulfur* (siarka) (przyp. red.).

[41] Atomy, które w jakiś sposób zyskały jeden albo więcej elektronów, również nazywa się jonami. Jony to atomy posiadające inną niż naturalna liczbę elektronów.

OSOBLIWE WIĘZIENIE

Kawa powoli stygnie, a ręka, w której trzymasz kartonik z mlekiem, zaczyna cię boleć. Wcale się tym nie przejmujesz.

Twoja miniaturka właśnie wyruszyła w stronę jądra jednego z atomów wodoru, które na twoich oczach stworzyły cząsteczkę wody. Wiele efemerycznych perełek światła (wirtualnych fotonów, które widziałeś pomiędzy magnesem a lodówką) pojawia się wokół i znika, potwierdzając w ten sposób, że jądro, do którego się zbliżasz, jest naładowane elektrycznie, i obalając tezę mówiącą, że pomiędzy elektronami atomu wodoru a jego jądrem jest tylko nicność.

Zanim jednak do tego jądra dotrzesz, musisz pokonać ogromny dystans – większy, niż się spodziewałeś.

Ale w końcu je odnajdujesz.

Jądro atomu wodoru, podobnie jak krążące wokół niego elektrony, wydaje się bezkształtne. Ma za to masę i jest znacznie cięższe od elektronu – aż 1836 razy. I ma też ładunek, lecz przeciwnego znaku niż ładunek elektronu.

Cząstkę tę nazywamy *protonem*.

Jest większa od elektronu, ale w porównaniu z samym atomem (którego zewnętrzną granicę wyznacza elektron) okazuje się niezwykle mała. Odkrył ją w 1911 roku urodzony w Nowej Zelandii brytyjski fizyk Ernest Rutherford. Trzy lata później dostał Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii za badania nad zupełnie nowym w tamtych czasach zjawiskiem, które nazwano radioaktywnością. Uczony ten nie wiedział jednak – bo nie mógł wiedzieć – że

proton w odróżnieniu od elektronu nie jest cząstką fundamentalną. Wewnątrz niego znajduje się coś jeszcze.

Nie tracąc czasu na rzeczy niemożliwe, zamykasz oczy i aby poczuć, czym jest wewnętrzny świat protonu, rozpościerasz ramiona jak jogin.

Przytłoczony przez siłę tak potężną, że w porównaniu z nią wszystko, czego do tej pory doświadczyłeś, wydaje się dziecięcą igraszką, natychmiast otwierasz oczy.

Oddziaływanie elektromagnetyczne może cię bez trudu pokonać: niektóre magnesy przylegają do siebie tak mocno, że nie jesteś w stanie ich rozdzielić.

Również grawitacja może cię zwyciężyć – i rzeczywiście tak jest: skacząc do góry, nigdy nie uwolnisz się od wpływu ziemskiego ciężenia.

Lecz to, z czym masz teraz do czynienia, reprezentuje zupełnie inny poziom mocy.

Wewnątrz protonu, który wyglądał z daleka jak niewyraźna, mglista sfera, zauważasz pojawiające się i znikające niezliczone cząstki wirtualne. Podobne elektromagnetyczne perełki światła widziałeś już pomiędzy magnesem a lodówką oraz między elektronem a protonem. Ale te nie są wirtualnymi fotonami – to nośniki nowej siły. A siła ta, razem z polem kwantowym, którego jest częścią, stabilizuje całą materię wszechświata.

Bez niej w mgnieniu oka zniknęłoby wszystko, co znamy. Wszystko, również twoje ciało.

Wirtualne cząstki, które przenoszą tę zdumiewającą siłę utrzymującą materię w stanie równowagi, są setki razy potężniejsze od fotonów przenoszących siłę elektromagnetyczną. Są to nośniki tak zwanych *oddziaływań silnych*.

Lecz jeśli są to jedynie nośniki sił, to dlaczego nie dostrzegasz cząstek fundamentalnych tego nowego pola? Wirtualne fotony zmuszały naładowane

cząstki, żeby wzajemnie na siebie oddziaływały, ale co oddziałuje tutaj?

Bez chwili wahania wskakujesz do wnętrza protonu, zamykasz swoje lilipucie oczka, podnosisz do góry maleńkie rączki i... Sondujesz... Wyczuwasz... Badasz, do czego służą nośniki takiej wielkiej siły... Otacza cię tak potężna energia, że musisz się bardzo skoncentrować, ale w końcu ci się to udaje. Dostrzegasz trzy niewyraźne, małe, ciężkie obiekty o własnościach falowych. Naukowcy nadali im nazwę *kwarków*. Może dziwnie brzmi, lecz czy nie jest tak ze wszystkimi nowymi słowami?

Nikt oprócz ciebie nie widział do tej pory kwarka na własne oczy. One nigdy nie występują samodzielnie – silne, małe wirtualne osobniki, które nieustannie pojawiają się wokół ciebie i znikają, po prostu by na to nie pozwoliły. Im dalej od siebie znajdują się kwarki, tym brutalniejsze stają się potężne nośniki sił. Zmuszają one te cząstki do bycia razem o wiele skuteczniej niż jakakolwiek znana nam siła natury.

Trzy kwarki obserwowane przez ciebie wewnątrz protonu mają w związku z tym dość ograniczone życiowe możliwości. Prawdę mówiąc, są jak zamknięte w więzieniu.

A ich wirtualni strażnicy, potężne nośniki sił? Kim albo czym one są? Z pewnością nie fotonami. Zapamiętaj, że nie są one częścią pola elektromagnetycznego, ale przejawem zupełnie innego pola – *pola kwantowych oddziaływań silnych*. Nośniki te, zwane *gluonami*, bardzo skutecznie skleją kwarki z sobą, stąd ich nazwa pochodząca od angielskiego czasownika *to glue*, czyli kleić.

Kwarki i gluony.

Tworzą one wszystkie protony naszego wszechświata.

A oto pewna ciekawostka związana z tym najmniejszym z więzień, które odwiedza właśnie twoja miniaturka. Większość z nas jest głęboko przekonana, że dla kogoś, kto znalazł się za kratami, wolność oznacza przebywanie jak najdalej

od celi i strażników. No cóż, w wypadku uwięzionych w protonach kwarków jest na odwrót – dla nich wolność oznacza małe odległości. Im bliżej im do siebie, tym większą mają swobodę. Wolność kwarków to bardzo dziwna sprawa: dopiero gdy zbliżają się do siebie, otwierają się przed nimi nieograniczone możliwości.

Za odkrycie tego osobliwego rodzaju wolności trzech amerykańscy naukowcy, David Gross, Frank Wilczek i David Politzer, otrzymali w 2004 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. To doprawdy trudna do zrozumienia koncepcja. Tak trudna, że gdy parę lat przed przyznaniem im tej nagrody spotkałem się w Cambridge z Davidem Grossem i Frankiem Wilczkiem, miałem chęć poprosić o zwrot pieniędzy, jakie wydałem na tabletki od bólu głowy, usiłując zrozumieć ich odkrycie.

Kwarki i gluony.

Kwarki to cząstki elementarne, co znaczy, że składają się jedynie z samych siebie.

Gluony zaś to nośniki najpotężniejszej siły, jaką znamy, *oddziaływania jądrowego silnego*. Wiąże ono kwarki, pozwalając im na swobodne poruszanie się jedynie wtedy, gdy znajdują się blisko siebie – dzięki temu materia, z której jesteśmy zbudowani, nie rozpada się.

Kwarki i gluony.

Te oryginalne nazwy służą do opisywania istoty rzeczywistości niesłychanie, wydawałoby się, odległej od naszego codziennego życia. Przepotężna siła, z gluonami i kwarkami, ma jednak związek z 99,97 procent masy naszego ciała. Gdyby osoba ważąca 60 kilogramów straciła wszystkie swoje kwarki i wiążące je gluony, schudłaby natychmiast do 18 gramów. I oczywiście by zmarła.

Pojęcia kwarków i gluonów są więc nam bardzo potrzebne, abyśmy zdołali ogarnąć umysłem to, czego ludzkość dowiedziała się dotąd o otaczającej ją rzeczywistości, i mogli zrozumieć, z czego jest zbudowana. Wydaje mi się, że to

wystarczająco dobry powód, aby je zbadać. A poza tym już wkrótce pozwolą nam przenieść się w czasie do momentu, który nastąpił mniej więcej sekundę po narodzinach czasu i przestrzeni.

Jak już mówiłem, pole, do którego należą te nowe osobniki, nazywane jest polem oddziaływań silnych lub polem silnym. Oczywiście jest to pole kwantowe, a więc większość wspomnianych wcześniej dziwnych kwantowych zachowań elektronów i światła, takich jak na przykład znikanie i pojawianie się w innym miejscu albo tunelowanie, też tu występuje. Należy podkreślić, że pole silne nie jest tym samym co pole elektromagnetyczne, choć i ono wypełnia cały wszechświat. Można powiedzieć, że to inne morze, którego kroplami są kwarki i gluony, a nie elektrony i fotony. I nic nie stoi na przeszkodzie, aby cząstki należały do obydwu tych pól: elektrycznie naładowane kwarki należą zarówno do pola elektromagnetycznego, jak i do pola oddziaływań silnych. Mogą oddziaływać wzajemnie z nośnikami sił każdego z nich poprzez światło oraz gluony.

Gdy w grę wchodzi niewielkie odległości, gluony są znacznie silniejsze od światła.

A jak wygląda sytuacja z tym nowym morzem? Jakie są jego cząstki fundamentalne?

Pole silne ma ich sześć. To sześć różnych kwarków, które mogą z tego pola wyskoczyć w każdej chwili i w każdym miejscu, jeśli tylko jest w nim wystarczająca ilość energii. Jedynie dwa rodzaje z nich występują w jądrze atomu. Nazwano je kwarkami *górnymi* i *dolnymi*. W każdym protonie wszechświata znajdują się trzy kwarki: dwa górne i jeden dolny. Można zatem powiedzieć, że protony doświadczają więcej wlotów niż upadków, co być może tłumaczy, dlaczego są szczęśliwe w swoim subatomowym więzieniu.

Lecz protony nie są jedynym więzieniem dla kwarków, o czym za chwilę się

dowiesz, badając swój atom złota.

Twoja miniatuurka znudziła się już wodorem i z powrotem przeskakuje nad kuchenny stół, gdzie wcześniej cięłeś na kawałki swój skarb.

Twój atom złota wciąż tam jest – nurkujesz i już jesteś w środku.

Jego jądro, ukryte głęboko pod 79 elektronami, które wokół niego krążą, jest znacznie większe od jądra atomu wodoru. Znajdujesz w nim 79 protonów, które pasują do równie licznych elektronów. Dostrzegasz też inne niewyraźne sfery otaczające – a może rozdzielające? – te protony. Naliczyłeś ich 118. Nie mają ładunku.

Ponieważ obiekty te są elektrycznie obojętne, nazwano je *neutronami*. Również one służą za więzienie dla kwarków. Neutrony zostały odkryte przez angielskiego fizyka Jamesa Chadwicka. Los zrzucił, że był on zastępcą genialnego Ernesta Rutherforda^[42]. W 1935 roku Chadwick za swoje odkrycie otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

W każdym protonie gluony więżą dwa kwarki górne i jeden dolny, czyli górne mają przewagę. W neutronach jest na odwrót: kwarki dolne prowadzą z górnymi dwa do jednego.

W jaki więc sposób te wszystkie więzienia tworzą razem jądro atomowe? Dlaczego nie oddalają się od siebie? I nie rozpadają? Przecież wszystkie protony są naładowane dodatnio i powinny się odpychać.

Ale tak się nie dzieje. Dlaczego? Ponieważ uniemożliwia im to w bardzo dziwny, tak zwany resztkowy sposób pole silne i jego nośniki sił.

Aby zrozumieć, co to znaczy, twoja miniatuurka podejmuje śmiałą decyzję: zbada z bliska te nieuchwytnie gluony strzegące kwarków w protonie. One tam są. Nie jesteś w stanie ich zobaczyć, ale jako jogin możesz je wyczuć. Gluony

pojawiają się i znikają, pilnując, aby kwarki nie włączyły się gdzieś na własną rękę.

Nagle dzieje się coś bardzo dziwnego.

Z protonu coś uciekło, wyskoczyło. Ale co to było? Gluon? Czemu nie? W końcu to są strażnicy, nie więźniowie...

Lecz to nie był tylko jeden gluon.

W każdym razie nie sam.

Wyostrasz swoje zmysły jogina... Są!

Tak się składa, że gluony nigdy nie uciekają pojedynczo.

Muszą znaleźć sobie inny gluon do pary. Jakiegoś przyjaciela. Gdy gluony już się dobiorą, przeobrażają się w coś innego...

Rozglądasz się dookoła i widzisz, że gdzieś z twojej lewej strony, pomiędzy dwoma kwarkami, zdarza się to samo co wcześniej.

Jakiś gluon wyskakuje z pola, to samo robi jego przyjaciel, inny gluon, przylegają do siebie i... Hop! Tak jak światło może przekształcić się w elektron, tak te dwa gluony przeobrażają się w kwarki! Taki duet nie jest już związany z innymi gluonami! Jako nowe podmioty mogą swobodnie opuścić więzienie dla kwarków, w którym do tej pory przebywały!

Obserwujesz, jak to robią.

Właśnie kierują się do pobliskiego więzienia. Stają się teraz w istocie nośnikami jeszcze innej siły, która nie działa na kwarki, ale na same więzienia dla kwarków. Gdy dotrą do jednego z nich, przeistaczają się z powrotem w gluony i zaczynają pilnować znajdujących się tam kwarków...

To dzięki takim zamianom neutrony i protony współistnieją w jądrach atomowych. Dwa gluony przeobrażone w kwarki i podróżujące z jednego więzienia do drugiego zapewniają ich stabilność. Taki duet kwarków tworzy nową cząstkę, którą nazywamy *mezonem*. A siła, którą przenoszą, to *oddziaływanie jądrowe silne*. Jest to bardzo mocna siła przyciągająca.

Japoński fizyk teoretyk Hideki Yukawa przewidział istnienie mezonów na długo przed tym, jak zostało to potwierdzone doświadczalnie. Za to osiągnięcie został w 1949 roku uhonorowany Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki.

Zabawnym zrzędzeniem losu gotująca się zupa z kwarków i gluonów, którą można znaleźć wewnątrz wszystkich protonów i neutronów, jest również odpowiedzialna za wspomnianą wcześniej brakującą masę, która powoduje świecenie gwiazd[43].

Jak już dobrze wiesz, małe atomy stapiają się we wnętrzu gwiazd, tworząc nowe, większe. Oznacza to, że gwiazdy stapiają z sobą neutrony i protony, a te stopione neutrony i protony nie potrzebują do pilnowania kwarków tylu wirtualnych gluonów (czy tylu mezonów do pilnowania ich więzień), ile musiały mieć wcześniej, gdy istniały oddzielnie. Podobna sytuacja występuje podczas łączenia się dwóch firm: niektórzy pracownicy okazują się niepotrzebni i zostają zwolnieni... W rdzeniach gwiazd również zwalniane są zbędne gluony, kwarki i mezony. Ponieważ mają one pewną ilość energii, a energia to masa, pozbycie się ich sprawia, że maleje masa świeżo stopionego jądra gwiazdy. To dlatego każde jądro powstałe w rezultacie fuzji jest lżejsze od wszystkich tworzących je jąder z osobna wziętych. W odróżnieniu jednak od zwolnionych ludzi ta utracona masa zamienia się w energię, co powoduje świecenie gwiazd. Kurs tej wymiany określa wzór $E = mc^2$.

Głęboko we wnętrzu gwiazd energia grawitacyjna jest w ten sposób wykorzystywana do tworzenia atomów. W tym procesie masa przekształca się w światło i ciepło oraz w wiele innych cząstek, które nas otaczają, ale których nie jesteśmy w stanie zobaczyć. Choć większa część naszej rzeczywistości wymyka się ludzkim zmysłom, to wszystko w naszym wszechświecie jest z sobą powiązane.

[42] Ernest Rutherford, jeden z najwybitniejszych eksperymentatorów wszech czasów (wspomniany już wcześniej w tej części książki), również odkrył, że atomy mają jądro. James Chadwick pracował w Laboratorium Cavendisha na Uniwersytecie Cambridge w Anglii, w czasie gdy kierował nim Rutherford.

[43] Jeśli już zapomniałeś o czym mowa, przypominam, że pisałem o tym w części pierwszej, w rozdziale 3, na stronie 28.

OSTATNIA SIŁA

Jesteś już świadomy istnienia dwóch pól kwantowych. Jedno z tych pól odpowiada za wszystkie oddziaływania elektromagnetyczne. Drugie stanowi źródło najpotężniejszego oddziaływania, jakie zna ludzkość – nazwanego (bardzo adekwatnie) oddziaływaniem silnym – z jego resztkową silną siłą jądrową.

Oddziaływania te oraz ich pola mają w pewnym sensie „uprawnienia budowlane”. Wprawdzie magnesy mogą się wzajemnie przyciągać albo odpychać, ale siła elektromagnetyczna gwarantuje, że elektrony pozostaną na orbitach wokół jąder atomowych. Nie oddalą się ani nie spadną na jądro, bo uniemożliwiają im to wirtualne perełki światła. Pole elektromagnetyczne nadaje atomom ich elektronową stabilność i zapewnia sposoby dzielenia się posiadany ładunkiem, żeby tą drogą budowały cząsteczki, żeby budowały materię, z której jesteśmy utworzeni.

Oddziaływanie silne z kolei ma pod opieką same jądra atomowe. Utrzymuje razem tworzące je neutrony i protony. Bez tego działania wszystkie jądra by się rozpadły, a my zamienilibyśmy się w mgłę protonów i neutronów. Podobnie Ziemia i wszystko inne.

Aby tę całą konstrukcję jeszcze wzmocnić, oddziaływanie silne utrzymuje kwarki wewnątrz protonów i neutronów, wiążąc je gluonami wyskakującymi z tła pola.

Podróżując wewnątrz obu pól, widziałeś, że ich oddziałujące z sobą cząstki i nośniki sił nadają światu prawdziwą, choć ulotną namacalność. Obserwowałeś bawiące się z sobą – i zamieniające się jedne w drugie – fotony i elektrony.

A także gluony i kwarki wirujące w jądrach atomów drogiego złota oraz pospolitego wodoru. Atomy tego ostatniego są najmniejszymi i najliczniejszymi cegiełkami materii wszechświata – tymi, które gwiazdy stapiają w swoich jądrach, aby stworzyć substancję, z której jesteśmy zbudowani.

Kiedy wodór się wyczerpie, prędzej czy później nastąpi śmierć wszystkich gwiazd we wszechświecie...

Ta ostatnia myśl momentalnie przypomina ci, co się stanie z naszym Słońcem za 5 miliardów lat, i natychmiast powracasz do normalnych rozmiarów. Zostawiasz swoją miniaturkę unoszącą się gdzieś w świecie rozmiarów zbyt małych, abyś normalnym okiem mógł je dostrzec.

Twoje wyobrażenie wszechświata znacznie się zmieniło od czasu, gdy patrzyłeś na gwiazdy, leżąc na tropikalnej plaży. Teraz już wiesz, że nigdzie nie ma pustki, że wszystko oddziałuje na wszystko, aż do najgłębiej ukrytych elementów atomów, które powstały i istnieją dzięki oddziaływaniom na niezwykle duże odległości.

*

Niebo za oknem twojej kuchni robi się czerwone. Słońce znika gdzieś na zachodzie, rozświetlając ognistymi kolorami płaskie podstawy chmur.

Od długiego trzymania kartonika z mlekiem ścierpła ci już ręka, ale tego nie czujesz, gdy sącząc zimną kawę, podchodzisz do okna i spoglądasz w niebo. Nagle zaczynasz lepiej rozumieć, co oznacza bycie częścią gwiazdnej rodziny.

Wszystkie gwiazdy wszechświata promieniują światłem i zasypują swoje otoczenie cząstkami, które są bezpośrednim lub ubocznym produktem fuzji jąder atomowych zachodzącej w głębi nich. O ile grawitacja gwiazd, zakrzywienie, które tworzą w czasoprzestrzeni, sprawia, że każdy znajdujący się albo przemykający w ich pobliżu obiekt na nie spada, o tyle strumienie cząstek i światła kierują się na zewnątrz, w przestrzeń kosmiczną, i wypełniają wszystko

falami niewidzialnych pól.

Wszechświat naprawdę przypomina olbrzymi ocean. Dlatego niektórzy (znakomici) inżynierowie kosmiczni rozważali możliwość budowania statków kosmicznych o ogromnych żaglach, które łapałyby wiatr słoneczny. Napędzane jego siłą, podróżowałyby przez wszechświat niczym kosmiczni żeglarze, pokonując krzywizny czasoprzestrzeni bez konieczności zaopatrywania się w paliwo...

Zapadła noc, a ty wciąż tkwisz przy oknie. Niebo jest bezchmurne. Wpatrujesz się w gwiazdy. Widzisz ich niezbyt wiele, przeszkadza zanieczyszczenie światłem. Już wiesz, że tutejsze gwiazdy nie są tymi samymi gwiazdami, które obserwowałeś z tropikalnej wyspy. Teraz zbierasz fotony emitowane przez gwiazdy znajdujące się w innej części Drogi Mlecznej. Lecz wciąż są to takie same olbrzymie kule, których grawitacyjna energia tworzy duże atomy z mniejszych, łącząc ich jądra.

Co więcej, wszystko gdzieś tam, daleko wydaje się obdarzone siłą twórczą, z której dotąd nie zdawaliśmy sobie sprawy.

Wydaje się – to dobre słowo. Nie widziałeś jeszcze wszystkiego.

Żeby to pokazać, potrzebne jest trzecie pole kwantowe.

Trzecie morze, które podobnie jak dwa poprzednie wypełnia cały wszechświat. Morze, w którym fundamentalnymi nośnikami sił nie są ani fotony, ani gluony, ani mezony.

W jakimś sensie niszczy ono to, co wcześniej stworzyły inne pola. To ostatnie z czterech oddziaływań rządzących naszym wszechświatem.

Ta ostatnia siła także jest siłą jądrową i tak samo jak oddziaływanie silne, które niedawno poznałeś, wpływa jedynie na elementy składowe jąder atomowych. Jest jednak od niego znacznie słabsza i dlatego nazwana została *oddziaływaniem jądrowym słabym*. Wszechobecne pole kwantowe, z którego

są utworzone cząstki fundamentalne tego oddziaływania oraz jego nośniki sił, nazywamy *słabym jądrowym polem kwantowym*. Jedną z jego właściwości jest spontaniczne rozszczepianie jąder atomowych – zjawisko zwane *radioaktywnością*.

Zanim zobaczysz radioaktywność w akcji, warto, abyś sobie przypomniał, że badanie tego fenomenu kosztowało życie wielu ludzi. Naukowcy, nieświadomi śmiertelnych skutków działania niewidzialnego promieniowania, które powoli niszczyło ich organizm, pracowali z silnie radioaktywnymi substancjami, nie stosując żadnych środków ochronnych... Jedną z ofiar promieniowania jądrowego była wybitna, urodzona w Polsce francuska uczona Maria Skłodowska-Curie, jedyna osoba, która otrzymała Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki (w 1903 roku, za współudział w odkryciu zjawiska radioaktywności) oraz w dziedzinie chemii (w 1911 roku, za odkrycie dwóch nowych pierwiastków: radu i polonu). Być może badaczka nie była świadoma przyczyn swojej śmierci, ale gdyby tylko miała wiedzę, którą dysponujemy dzisiaj, oraz magiczną zdolność zamieniania się we własną miniaturkę, mogłaby zobaczyć to samo, co za chwilę zobaczysz ty.

Gdy wylewasz zimną kawę do zlewu, twój umysł wraca do miniaturowego ciała, a twoje małe oczy przez chwilę przywykają do ciemności.

Jesteś znowu w pobliżu swojego atomu złota.

Znajduje się tuż przed tobą. Jest tak mocny i masywny, że do jego stworzenia musiała być potrzebna energia większa od grawitacji gwiazdy^[44]. Złoto powstaje nie za życia gwiazdy, lecz podczas jej gwałtownej śmierci. Gdy nasze Słońce będzie umierało, przy okazji wytworzy trochę złota, które kiedyś może będą prezentowały na swoich palcach (czułkach?) przyszłe gatunki obcych.

Kiedy jednak teraz patrzysz na atom złota, wcale nie wydaje ci się tak cenny, za jaki uważa go niemal cała ludzkość.

Dlaczego więc złoto jest tak pożądane?

Czy jego atom z czasem się zmienia? Czy przechwytuje mijające go inne atomy, aby utworzyć jakieś niezwykle cząstki?

Przez chwilę czekasz, aby się o tym przekonać.

Ale nic takiego się nie dzieje.

I właśnie o to chodzi.

To, że nic się z nim nie dzieje, jest w istocie jednym z powodów, dlaczego złoto tak wysoko cenimy. Złoto nie rdzewieje. Nie utlenia się (a tak się dzieje, gdy z jakimś atomem wiążą się elektrony z atomu tlenu). Nie ulega korozji. Jest przy tym najbardziej plastyczny spośród wszystkich metali: jeśliś miał ładną bryłkę złota, mógłbyś z niej zrobić najdłuższy i najcieńszy drut (platyna i srebro przerwą się dużo wcześniej). Gdybyś dysponował dużą liczbą atomów tego pierwiastka, faktycznie mógłbyś uformować złoto w dowolny kształt. I cokolwiek byś z nim zrobił, wciąż będzie przewodziło prąd elektryczny. Oznacza to, że elektron umieszczony na jednym końcu łańcucha zbudowanego z atomów złota pokona całą jego długość ruchem falowym i opuści go na drugim końcu.

Dla wszystkich tych wyjątkowych właściwości można znaleźć praktyczne zastosowania, które nie zawsze dają się dostrzec w obrączce ślubnej, choć są bezcenne.

A gdy dodamy do tego, że złoto występuje rzadko, trudno się je wydobywa i powstaje ono w następstwie umierania gwiazdy, zaczynamy rozumieć, dlaczego jest takie drogie. Jednak na razie zostawmy je w spokoju, bo nie dzieje się tutaj zupełnie nic.

Aby zobaczyć coś nowego, potrzebujemy jakiegoś innego atomu – dziwnym trafem jeden taki właśnie znalazł się w pobliżu.

Ten atom jest większy.

O ile możesz zauważyć, wokół jego jądra, składającego się z 94 protonów i 145 neutronów, wirują 94 elektrony. W atomie tym jest więc 239 więzień kwarków, czyli o 42 więcej niż w atomie złota.

Obserwujesz jedną z odmian niesławnego pierwiastka zwanego *plutonem*. A ponieważ jest w nim 239 więzień kwarków, nazwano ją plutonem-239. Istnieją jeszcze inne odmiany plutonu, podobnie jak istnieją inne odmiany złota^[45] niż to, które znalazłeś w swojej kuchni. W ich jądrach może znajdować się więcej albo mniej neutronów, ale liczba protonów pozostaje niezmienna. W przeciwnym razie nie byłby to już ani pluton, ani złoto.

Atom złota nie wydaje ci się szczególnie interesującym obiektem obserwacji, za to zdajesz sobie sprawę, że w jądrze plutonu-239 zaraz wydarzy się coś dziwnego.

Bez wahania pokonujesz kolejne warstwy powłok elektronowych. Przemierzasz ogromne obszary pustki wypełnione wirtualnymi fotonami. Wreszcie docierasz do jądra atomowego i tuż przed sobą masz 239 więzień kwarków. Dzięki oddziaływaniu jądrowemu silnemu są starannie ułożone. Przeczucie mówi ci, żeby skierować się do jednego z neutronów.

Nurkujesz właśnie tam.

W neutronie znajdują się dwa kwarki dolne i jeden górny, sklejone z sobą przez silne gluony.

Akurat wtedy, gdy pojawiaasz się w pobliżu neutronu, jeden z kwarków dolnych zostaje uderzony przez wirtualną cząstkę, której nigdy wcześniej nie widziałeś. Cząstka pojawiła się niespodziewanie, tylko po to, aby przekształcić kwark dolny w kwark górny. Neutron, do którego ten kwark należy, zmienił się w ten sposób w proton, co spowodowało duże zamieszanie. Całe jądro atomowe zostało wytrącone z równowagi. Efekt jest natychmiastowy i dramatyczny.

Szósty zmysł mówi ci, żeby poszukać jakiegoś schronienia, twoja miniaturka spieszenie opuszcza więc jądro oraz powłoki elektronowe plutonu. Widzisz, jak jądro dzieli się na coraz mniejsze i mniejsze elementy, próbujące – czasem bez powodzenia – zabrać z sobą elektrony. Na każdym etapie tego procesu są wystrzeliwane wyjątkowo energetyczne cząstki. Wśród nich jest też taka, jakiej nigdy nie widziałeś. Pluton rozpada się na twoich oczach. A wszystkie produkty tego rozpadu strzelają teraz jak sztuczne ognie, w końcu się wypalając. O ile w pobliżu nie znajdują się inne atomy plutonu-239. Ale w twojej kuchni ich nie ma i sytuacja szybko się uspokaja.

Przed chwilą oglądałeś w akcji czwartą ze znanych nam sił natury – oddziaływanie jądrowe słabe, z jego wirtualnymi nośnikami sił, które mogą przekształcać jeden rodzaj kwarków w drugi. Te nośniki są zwane *bozonami W i Z*.

To, co widziałeś, było rozpadem atomu na mniejsze, bardziej stabilne atomy. Takie spontaniczne rozszczepienie jądra atomowego – przeciwieństwo fuzji – nazywamy *rozpadem radioaktywnym*. Na tym właśnie polega *radioaktywność*, a odpowiedzialne jest za nie oddziaływanie jądrowe słabe i jego nośniki, czyli bozony W i Z.

Wolfgang Pauli – ten sam Pauli, który sformułował zasadę wykluczenia – badał rozpad jądra atomu mniej więcej sto lat temu. Nie miał wtedy takiej wiedzy na temat pól, jak ty masz teraz, ale zauważył, że podczas rozpadu radioaktywnego dochodzi do utraty energii. Pauli przewidział teoretycznie istnienie nieznannej dotychczas cząstki, która mogłaby być odpowiedzialna za zabieranie tej energii z atomu. Cząstka ta miałaby znikomą masę, nie zawierałaby żadnego ładunku elektrycznego i byłaby tak nieuchwytna, że przez całą znaną nam materię przechodziłaby niemal zupełnie swobodnie.

Dziś wiemy już na pewno, że taka cząstka istnieje. Przed chwilą ją widziałeś. Ze wszystkich cząstek powstających w wyniku rozpadu radioaktywnego jest

jedyną, jakiej do tej pory nie znałeś. Nazywa się ją *neutrinem*.

Amerykański fizyk Frederick Reines wraz ze swoimi współpracownikami wykrył ją doświadczalnie w 1956 roku, za co prawie czterdzieści lat później, w 1995 roku, otrzymał Nagrodę Nobla. Uczony ten powiedział kiedyś, że neutrino to najmniejsza porcja rzeczywistości, jaką człowiek kiedykolwiek sobie wyobraził. Obecnie wiemy, że neutrino (a jest ich wiele rodzajów) podlegają tylko oddziaływaniu pola jądrowego słabego oraz grawitacji, zupełnie zaś nie reagują na pola elektromagnetyczne i silne.

Atomy widziane z perspektywy neutrin wyglądają w istocie tak samo jak z twojej, czyli są puste.

I to jest dobra wiadomość.

Dlaczego?

Gdyby neutrino i atomy oddziaływały wzajemnie na siebie, mielibyśmy kłopot, ponieważ cząstki te w dużych ilościach są produkowane we wnętrzu Słońca.

Ściśle biorąc, w kolosalnych ilościach.

Przez centymetr kwadratowy twojej skóry przechodzi w jednej sekundzie około 60 miliardów neutrin.

I żadne z nich nawet cię nie zauważa.

Może to zabrzmieć irytująco, ale neutrino nie widzą żadnej różnicy między tobą a na przykład nicością. Przelatują przez ciebie, a potem przez Ziemię^[46]. I kontynuują swoją podróż przez przestrzeń kosmiczną, tak jakby ani Ziemi, ani ciebie w ogóle nie było.

*

Wszystkich nas uczono, że promieniowanie jądrowe jest niebezpieczne, więc w miarę możliwości powinniśmy trzymać się z daleka od substancji radioaktywnych, takich jak pluton, uran, rad czy polon – i to prawda. Skoro

jednak neutrino właściwie nie odróżniają ciebie od nicości, to nie one są przyczyną tego zagrożenia.

Niebezpieczeństwo musi mieć zatem związek z innymi cząstkami uwalnianymi podczas rozpadu radioaktywnego. Na szczęście, już je znasz.

Gdy jądro atomowe się rozpada, dzieli się i może emitować neutrino, więzienia kwarków, elektrony i światło. Ta ostatnia trójka jest niebezpieczna.

Największy przyjemniaczek składa się ze związanych razem czterech więzień kwarków: dwóch neutronów i dwóch protonów połączonych w jedną całość. Został nazwany *cząstką alfa*. W zasadzie odpowiada on atomowi helu ogołoconemu z elektronów. Takie jądro, aby stać się atomem, musi skądś ukraść dwa elektrony. Może tego dokonać na kilka sposobów: pozbawić jakiś inny atom elektronów (mało kulturalne), dzielić elektrony z innymi pobliskimi atomami (wersja altruistyczna) albo adoptować jakieś błąkające się „sierotki” (jak samarytanin).

W pierwszym wypadku pozbawiony elektronów atom sam zaczyna szukać innych elektronów... Gdy w jego pobliżu znajdą się jakieś żywe stworzenia (na przykład ludzie, jak ty w kuchni), może zadziałać dziwna chemia z elektronami ukradzionymi z atomów naszej skóry, czego skutkiem będzie oparzenie radioaktywne. Właśnie dlatego cząstki alfa są niebezpieczne.

Drugi ancygonek to wysokoenergetyczny elektron. Ta emitowana w czasie rozpadu radioaktywnego cząstka może bardzo daleko wybić inne napotkane elektrony (co prowadzi do tego samego rodzaju zagrożenia dla zdrowia). Trzecim gagatkiem są wysokoenergetyczne fotony, czyli *promieniowanie gamma*. Poznaliśmy go już w trakcie wcześniejszej kosmicznej podróży, zwracając wtedy uwagę na jego niewiarygodnie wysoką energetyczną częstotliwość.

Promieniowanie gamma może pozbawić atom jednego z elektronów, gdy tylko w ten atom uderzy. Zamieni go w ten sposób w jon chętny do szukania nowego elektronu, co również doprowadzi do oparzenia skóry.

Ale promienie gamma mogą nam zaszkodzić jeszcze bardziej.

Nic nie potrafi ich zmusić, aby zatrzymały się na powierzchni naszego ciała. Mogą przedostać się dalej i siać spustoszenie w głębi organizmu człowieka, nie tylko wyrzucając elektrony z ich atomowego domu, ale również rozbijając cząsteczki DNA w jądrach komórek naszego ciała. Zmienia to instrukcje, których organizm używa do wytwarzania wszystkiego, co jest mu potrzebne do życia. W rezultacie powstają nowotwory złośliwe i (lub) mutacje genetyczne.

Zgadamy się co do tego, że wszystkie wymienione konsekwencje radioaktywności są straszne. Ale ma ona też jasną stronę: pomimo swojego niszczycielskiego potencjału radioaktywność – tak jak grawitacja, elektromagnetyzm oraz oddziaływanie silne – jest naturalnym procesem, który trwa nieustannie, i to wszędzie, nawet wewnątrz twojego ciała, choć tam przebiega bardzo wolno. Martwić należy się tylko w wypadku wysokiego poziomu radioaktywności.

W zasadzie wszyscy powinniśmy się cieszyć, że promieniowanie jądrowe w ogóle istnieje. Owszem, może nas ono zabić, ale bez niego w ogóle nie moglibyśmy się urodzić. W głębi Ziemi, pod naszymi stopami, znajduje się wiele atomów, które bezustannie się rozpadają. Wprawdzie płaszcz Ziemi zawiera dziś mniej pierwiastków radioaktywnych niż w przeszłości, lecz wciąż je zawiera. Gdy atomy się tam rozpadają, emitowane przez nie cząstki uderzają w swoich sąsiadów, generując ciepło, które podgrzewa naszą planetę. Bez radioaktywności nie istniałaby aktywność sejsmiczna ani wulkaniczna. Powierzchnia Ziemi byłaby potwornie zimna już przed miliardami lat. Prawdopodobnie nie istniałoby więc w ogóle życie, jakie znamy.

Promieniowanie jądrowe rozbija atomy i zabija żywe stworzenia. Jest jednak niezbędne, by ogrzewać nasz świat. W ten sposób zwraca nam część energii zmagazynowanej przez gwiazdy w atomach, z których powstała nasza planeta.

Zanim wyprawię cię w podróż w poszukiwaniu początków czasu i przestrzeni, coś jeszcze ci powiem. Energia atomowa powstająca w wyniku czy to rozszczepiania, czy to fuzji jąder atomowych jest wyjątkowo potężna. Ludzkość próbuje, z lepszym lub gorszym skutkiem, zagospodarować ją w elektrowniach jądrowych. Można tylko mieć nadzieję, że pewnego dnia takie technologie będą nieszkodliwe dla środowiska i bezpieczne dla człowieka, gdyż mają nadzwyczajny potencjał.

Mimo raczej złej prasy i niewybaczalnych nadużyć, do jakich dochodziło w przeszłości, nie powinniśmy zapominać, że bez sił jądrowych byśmy nie istnieli. Bez radioaktywności nie byłoby życia na Ziemi.

Oczywiście mam na myśli życie, jakie znamy.

[44] Żadna gwiazda nie jest w stanie swoją grawitacją wytworzyć takiego ciśnienia wewnątrz, żeby stworzyć atom złota (przyp. red.).

[45] Oraz wodoru i każdego innego pierwiastka.

[46] Tak się dzieje w dzień. W nocy neutrino również przez ciebie przechodzą, ale dopiero po przejściu przez Ziemię.

CZEŚĆ V

**PODRÓŻ DO
POCZĄTKU CZASU
I PRZESTRZENI**

MIEĆ PEWNOŚĆ

Miałem dwadzieścia dwa lata, gdy zacząłem interesować się czymś, co można by nazwać hardcorową fizyką teoretyczną. Wcześniej przez parę lat studiowałem matematykę i byłem pod wrażeniem jej piękna. Jak powiedział grecki filozof Platon – jakieś 2,5 tysiąca lat temu, kiedy nikt nie miał pojęcia, czym faktycznie jest niebo – to właśnie językiem matematyki bogowie przemawiają do ludzi.

Gdy zostałem przyjęty na studia na wydziale matematyki zaawansowanej i fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Cambridge w Anglii, pomyślałem sobie: „Super! Pora poważnie pomyśleć o realnym świecie!”.

Jak widzisz, nie za bardzo się orientowałem, co mnie czeka, tak jak ty zapewne nie wiesz, co ci się przydarzy w kolejnych rozdziałach tej książki.

Aby wybać, co nauka ma do powiedzenia o otaczającym nas świecie, przed pierwszym rokiem studiów na Uniwersytecie Cambridge przeczytałem w lecie kilka podręczników oraz prac dawnych i współczesnych mistrzów. Skupiłem się szczególnie na świecie kwantowym, bo przecież – jak dowiedzieliśmy się z czwartej części książki – właśnie w świecie bardzo małych rozmiarów trzeba szukać korzeni tego, co istnieje. To tam znajdziemy elementy składowe wszystkiego, co zawiera w sobie wszechświat. W istocie należy mieć o tym pojęcie również po to, aby móc posługiwać się ogólną teorią względności Einsteina – w przeciwnym razie jej równania nie wyjaśnią nam do końca, jak wygląda wszechświat w bardzo dużej skali.

Wiele Nagród Nobla w dziedzinie fizyki przyznano naukowcom za

przełomowe odkrycia dotyczące świata bardzo małych rozmiarów.

Nie muszę chyba mówić, jak bardzo byłem podekscytowany perspektywą czekających mnie atrakcji. Gdy zacząłem zapoznawać się z teoriami pionierów tych badań, tuzów intelektu, postanowiłem zapisywać ich niezwykle przemyślenia, aby być pewnym, że dobrze je zrozumiałem. Oto garść z nich.

Nie mam żadnych wątpliwości, że nikt nie rozumie mechaniki kwantowej[47].

*Richard Feynman, laureat Nagrody Nobla
w dziedzinie fizyki z 1965 roku*

Pan Bóg jest wyrafinowany, ale nie jest perfidny[48].

*Albert Einstein, laureat Nagrody Nobla
w dziedzinie fizyki z 1921 roku*

Skoków kwantowych nie sposób przedstawić za pomocą wizualizacji[49].

*Max Born, laureat Nagrody Nobla
w dziedzinie fizyki z 1954 roku*

Ci, którzy nie byli zszokowani teorią kwantową, prawdopodobnie jej nie zrozumieli[50].

*Niels Bohr, laureat Nagrody Nobla
w dziedzinie fizyki z 1922 roku*

Zaczynam mieć wątpliwości, być może Bóg jest jednak perfidny[51].

Albert Einstein

Takie twierdzenia w ustach ojców założycieli fizyki kwantowej wystarczają, aby zachwiać przekonaniem nawet najbardziej pewnych siebie studentów. Mimo to, razem z dwustu kolegami i koleżankami z całego świata, wysiedziałem do końca na tych fantastycznych wykładach i zdałem egzamin magisterski z matematyki – tak zwany Part III of the Mathematical Tripos, będący chyba najdawniejszym sprawdzianem z matematyki na świecie. Ponieważ większość

pytań dotyczyła matematyki czystej, ogrom nowego materiału nie pozwolił nam poświęcić zbyt wiele czasu na filozofię.

A potem nastąpił skok na głęboką wodę.

Dziewięć miesięcy po rozpoczęciu studiów na Uniwersytecie Cambridge profesor Stephen Hawking, jeden z najślawniejszych (i najbardziej błyskotliwych) współczesnych fizyków, zaproponował mi, abym pod jego kierunkiem pracował nad doktoratem na temat czarnych dziur i pochodzenia naszego wszechświata. Obowiązkowe miało się stać krytyczne myślenie. Tak więc całe kolejne lato spędziłem, studiując wszystko, co udało mi się znaleźć na temat właściwie wszystkiego, i doszedłem do punktu, w którym ty, czytając tę książkę, teraz się znajdujesz. Mając Hawkinga za promotora, zamierzałem to połączyć w jedną całość i pójść jeszcze znacznie, znacznie dalej. Teraz nadeszła twoja kolej, aby zrobić to samo.

Cóż więc jeszcze zostało do zobaczenia?

Oto zapowiedź.

W 1979 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki otrzymało aż trzech badaczy. Byli to Sheldon Lee Glashow i Steven Weinberg ze Stanów Zjednoczonych oraz Abdus Salam z Pakistanu.

Naukowcy próbowali przez lata zrozumieć pewne dość dziwne przejawy oddziaływania jądrowego słabego, które ostatnio widziałeś w akcji. Glashow, Salam i Weinberg odkryli coś niewiarygodnego: elektromagnetyzm oraz oddziaływanie słabe są dwoma przejawami jeszcze innego oddziaływania, innego pola, które istniało już dawno temu. Stwierdzili, że na samym początku dziejów wszechświata co najmniej dwa z niewidzialnych mórz kwantowych wypełniających naszą rzeczywistość były jednym – nazywamy je *oddziaływaniem elektroślabym*.

Już samo to odkrycie oznaczało niezwykle przełom w nauce (stąd Nagroda Nobla). Co więcej, utorowało ono drogę do czegoś o wiele, wiele istotniejszego:

kuszającej perspektywy ujednoczenia wszystkich znanych oddziaływań (i stworzenia jednej opisującej je teorii).

Poszukiwanie takiego ujednoczenia będzie motywem przewodnim wycieczki, która zaczyna się teraz i potrwa aż do ostatniej strony książki. Będziesz podróżował do źródeł czasu i przestrzeni, dotrzesz do wnętrza czarnej dziury, a nawet przekroczysz granice naszego wszechświata.

Aby tam się dostać, musisz jednak najpierw dowiedzieć się, co pozostanie w miejscu, z którego usuniemy wszystko, co się w nim znajduje.

[47] R. Feynman, *Probability and uncertainty – the quantum mechanical view of nature*, w: tenże, *The Character of Physical Law*, Cambridge 1967, s. 129.

[48] Za: M. Buczkówna, *Jest Bóg – nie ma Boga. (Zapis depresji)*, „Twórczość” 2000, nr 2, s. 105–110.

[49] Za: R.C. Pine, *Science and the Human Prospect*, Belmont 1989, w: <http://www2.hawaii.edu/~pine/booklqts/chapter8qts.html> (dostęp: 2.06.2017).

[50] N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, w: tenże, *The Philosophical Writings of Niels Bohr*, t. 2, *Essays 1932–1957*, Oxford 1987.

[51] Za: M. Buczkówna, dz. cyt.

NIE MA CZEGOŚ TAKIEGO JAK NICOŚĆ

Wciąż znajdujesz się w kuchni.

Jest ciemna, cicha noc.

Jeśli wcześniej zaledwie dostrzegałeś piękno świata, teraz, gdy już wiesz dużo więcej, wszystko wydaje ci się głębsze, pełne mocy i bardziej tajemnicze.

Nawet twoja skromna kuchnia.

W powietrzu unosi się mnóstwo atomów, które ześlizgują się w dół po zakrzywieniu czasoprzestrzeni wokół Ziemi.

Atomów powstałych w rdzeniach nieistniejących już od dawna gwiazd.

Atomów w całym twoim ciele, ulegających rozpadowi radioaktywnemu.

Pod stopami masz podłogę – elektrony nie pozwalają ci przeniknąć przez nią, dzięki czemu możesz stać, chodzić, biegać.

Twoja planeta, Ziemia, to zawieszona w czasoprzestrzeni bryła materii, którą współtworzą trzy znane nam pola kwantowe. W całości utrzymuje ją grawitacja, czyli tak zwana czwarta siła (potocznie tak się ją nazywa, mimo że w istocie nie jest siłą).

To wszystko brzmi wyjątkowo absurdalnie – albo wręcz cudownie – zaparzasz więc kolejną kawę, niesiesz ją do salonu i zasiadasz na wygodnej, solidnej, dającej poczucie bezpieczeństwa kanapie.

Próbujesz uporządkować myśli chodzące ci po głowie. Czy sens życia jest ukryty gdzieś tam, gdzie jeszcze wspólnie nie dotarliśmy? I czy to, czego się do tej pory dowiedziałeś, naprawdę ma jakiś sens?

*

Wkrótce odwiedzisz miejsca jeszcze bardziej odległe niż te, które widziałeś do tej pory. Zanim wyruszysz w drogę, chciałbym ci uprzytomnić, że odkrywanie tajemnic świata trwa nieustannie. Nauka wprawdzie nie zna odpowiedzi na wszystkie pytania, ale wiele wątpliwości potrafi wyjaśnić. Muszę cię jednak ostrzec, że pod koniec podróży możesz mieć w głowie większy mętlik niż na początku. Jak to kiedyś ujął amerykański fizyk teoretyk Edward Witten^[52], wszechświat znajdujący się poza twoim bezpiecznym domem nie został stworzony dla twojej wygody.

Mam też dobrą wiadomość: zapuszczając się na głębokie, mroczne morza, będziemy mieli ogromną swobodę indywidualnej interpretacji tego, co zobaczymy. Powinniśmy się z tego cieszyć, gdyż im większa różnorodność punktów widzenia, tym szersza perspektywa – i tym lepiej dla ludzkości oraz dla nauki.

Jak już wspomniałem w poprzednim rozdziale, zanim śmiało otworzymy drzwi do nieznanego, musimy najpierw oswoić się z czymś, co naukowcy nazwali *próżnią*. Będzie to podstawa zrozumienia kwantowej rzeczywistości opisanej przez fizyków teoretyków zgodnie ze współczesnym stanem wiedzy. Próżnia to umysłowa konstrukcja, która pozwoliła nam na niezwykle ściśle przewidywania teoretyczne, wielokrotnie sprawdzane w niezliczonych eksperymentach.

Wybierz jakiegokolwiek miejsce – dowolny rejon wszechświata – i usuń z niego wszystko, co się tam znajduje. Dosłownie wszystko.

To dziwne, ale mimo że dokładnie wyczyściłeś to miejsce ze wszystkiego, co się tam znajdowało, wcale nie jest ono puste.

Czy ma to jakiś sens? Wątpliwe. Lecz natury nie obchodzi, czy uważamy coś za rozsądne, czy nie.

Teraz zamknij oczy.

Dlaczego?

Niektóre rzeczy znajdujące się wokół nas nie znoszą, gdy się je obserwuje. A próżnia, z którą się za chwilę zapoznasz, jest właśnie czymś takim.

Aby się dobrze przygotować na to spotkanie, odpręż się i wróc myślą do swej podróży samolotem z tropikalnej wyspy.

Być może pamiętasz, że wkrótce po starcie zasnąłeś. I gdybyś spytał o to swojego dziwnie wyglądającego sąsiada, pewnie powiedziałby ci, że przez większą część lotu chrapałeś z głową przechyloną na bok.

Co się właściwie stało podczas lotu – przez te osiem godzin, kiedy spałeś? Jakie strefy czasowe minąłeś po drodze? I jaką trasą naprawdę leci jakikolwiek samolot, gdy nikt go nie obserwuje?

Wszystko, co wiesz na temat swojego lotu, ogranicza się do tego, co zobaczyłeś przed zaśnięciem i po przebudzeniu. Wyglądałeś przez okno i najpierw widziałeś, jak twój samolot startuje z pasa na jakiejś odległej wyspie, a potem jak bezpiecznie ląduje w twoim rodzinnym kraju. Ale to, co się działo pomiędzy tymi dwoma zdarzeniami, nie zostawiło żadnego śladu w twoim umyśle. Po prostu nie masz pojęcia, co się wtedy zdarzyło.

A gdyby tak ktoś ci powiedział, że samolot leciał zupełnie inną trasą? Na przykład przez Jowisza. Albo przez Ziemię, tak jak neutrino? Albo że przenosił się w czasie tam i z powrotem? Jak się domyślam, bardzo trudno byłoby ci w to uwierzyć.

Nie ma większego znaczenia, czy wtedy spałeś, czy nie. Pewnie pamiętasz, że z takim dziwnym przebiegiem lotu miałeś już do czynienia w trzeciej części książki – w ciągu ośmiu godzin swojego czasu przeniosłeś się o 400 lat w przyszłość Ziemi. Musimy więc dokładnie przyjrzeć się temu, co się zdarzyło.

Teraz już wiesz, że aby mogło do tego dojść, twój samolot musiałby lecieć niezwykle szybko. By w ciągu twoich ośmiu godzin na pokładzie minęło aż 400 lat na Ziemi, powinien on w istocie wystrzelić w przestrzeń kosmiczną, a potem

wrócić na naszą planetę z prędkością zbliżoną do prędkości światła.

W prawdziwym życiu możesz znaleźć wiele argumentów świadczących przeciwko takiemu – czy jakiemuś innemu, równie dziwnemu – przebiegowi lotu. A co byś sobie o mnie pomyślał, gdybym ci powiedział, że twój samolot nie tylko poleciał w przestrzeń kosmiczną i z powrotem, ale naprawdę jednocześnie obrał wszystkie możliwe i niemożliwe tory lotu, które prowadziły z miejsca i czasu, w którym zasnąłeś, do miejsca i czasu, w którym się obudziłeś? Przez Ziemię i z powrotem. Wokół Jowisza i z powrotem. Wszystkie.

Obawiam się, że już nigdy nie traktowałbyś mnie poważnie.

No dobrze.

Oznacza to, że wreszcie jesteś gotowy na spotkanie z próżnią.

Kawa, wazon, kanapa i cały twój dom – wszystko zniknęło.

Znajdujesz się znowu w świecie dostępnym tylko dla umysłu, a sam nawet nie przypominasz cienia – jesteś zupełnie przezroczysty i pozbawiony konturów. Nie masz żadnego wpływu na nic, co mogłoby znaleźć się wokół ciebie, ale też nic nie może w żaden sposób na ciebie oddziaływać.

Hm, co cię właściwie otacza?

No cóż, ty uważasz, że to nicość.

Rozciągająca się w nieskończoność i w każdym kierunku ciemność – nic więcej.

To cię nie zraża – zdążyłeś się już przyzwyczaić do daleko idących zmian w otaczającej cię scenerii. Spokojnie dryfujesz przez coś, co wygląda jak wszechświat opróżniony ze wszystkiego, co wcześniej się tu znajdowało.

Na pierwszy rzut oka sprawia to kojące wrażenie, ale szybko zaczynasz się nudzić. Nie mając nic lepszego do roboty, znowu myślisz o tym, co ci przed chwilą mówiłem o spaniu w samolocie.

Czy prawdziwy samolot może faktycznie lecieć w tak zupełnie nieprzewidywalny sposób? Można sobie wyobrazić najrozmaitsze, nawet bardzo kręte, warianty jego lotu, ale przelot przez środek Ziemi albo podróż w czasie tam i z powrotem? Bez przesady!

Tak, tak, masz rację. To jedyna naturalna reakcja na tak odlotowe pomysły...

Niezupełnie. Powinieneś jednak dopuścić, że coś, co w odniesieniu do samolotu brzmi jak szaleństwo, może być jak najbardziej realne, jeśli idzie o cząstkę.

Pomyślmy więc teraz o cząstce, której nikt nie obserwuje. Wyobraź sobie, że podróżuje z jednego miejsca do drugiego i że możesz ją wykryć tylko ty i tylko tam, gdzie zaczyna się podróż i gdzie się ona kończy. Zadajmy zatem ponownie pytanie: jaką drogę wybierze cząstka, jeśli nie będzie przez ciebie obserwowana?

Na pewno to zależy...

Nie, nic nie zależy. W wypadku samolotu może to brzmieć abstrakcyjnie, lecz jeśli chodzi o cząstkę, jest faktem. Dopóki jej nikt nie obserwuje, cząstka podróżuje wszystkimi możliwymi torami lotu, czy wydają się sensowne, czy nie. Cząstki poruszają się i zachowują zupełnie inaczej niż cokolwiek, z czym zetknąłeś się w swoim codziennym życiu. Może to już zauważyłeś, badając wewnętrzną budowę atomu. Okazało się wtedy, że elektrony i wszystko inne, co się w nim znajduje, to nie kuliste bryłki materii. Teraz zbliżamy się do jeszcze głębszej prawdy: pola kwantowe robią z cząstkami różne dziwne rzeczy.

Przynależność cząstek do pola kwantowego oznacza, że nieustannie dzielą się na wiele kopii samych siebie. A tory obrane przez te wszystkie kopie wypełniają każde możliwe miejsce w czasie i w przestrzeni. Jeśli miałbyś chęć taką cząstkę wykryć, to tylko przypadkiem, z jakimś prawdopodobieństwem mógłbyś ją znaleźć w jednym określonym czasie i miejscu.

Co gorsza, zanim cząstka materii lub światła zostanie wykryta, jej niezliczone kopie mogą się podzielić i stać się czymś innym, a potem zamienić się znowu

w taką samą cząstkę, jaką była na początku. Tak jak światło może stać się elektronem, a elektrony światłem, tak wszystkie cząstki w naszym wszechświecie – gdy ich nie obserwujemy – mogą zamienić się w coś innego. Cząstki kwantowe to przebiegłe istotki – gdy nikt ich nie kontroluje, może się z nimi zdarzyć wszystko. A jeśli nie wierzysz mi na słowo, zobacz to na własne oczy.

*

Coś zaczyna się dziać w tej bezkresnej, ciemnej pustce, w której lewitujesz: wokół ciebie materializuje się biały sześcian pokoju bez żadnych drzwi. Po chwili otaczają cię ściany pokryte milionami niezwykle małych, doskonale białych czujników.

Na środku pokoju, dokładnie przed tobą, stoi pionowy metalowy słup o szerokości dłoni, łączący podłogę z sufitem.

Poza tym w pomieszczeniu znajduje się tylko żółte urządzenie przypominające maszynę do wyrzucania piłek tenisowych. I jesteś niemal pewien, że ten dziwny mały robot gapi się na ciebie przez zakończenie rury wyrzutowej.

Najwyraźniej jest zaprogramowany, aby być uprzejmym, ponieważ mówi ci cześć.

Wydobywa się z niego ochryply głos, chociaż nie ma ust, oczu, uszu ani żadnej innej części ciała.

Na wszelki wypadek odpowiadasz na powitanie i zaczynasz zadawać pytanie.

Maszyna przerywa ci w połowie zdania, informując, że ma do wykonania zadanie. Jest wypełniona brzęczącymi cząstkami, które zaraz będzie po jednej rzucać na drugą stronę pokoju.

Jeśli się zastanawiasz, czy są to cząstki światła czy materii, odpowiedź brzmi: oba rodzaje, ponieważ – jak się zaraz przekonasz – będą się w zasadzie

zachowywały tak samo.

Robotowi najwyraźniej się spieszy, bo natychmiast zaczyna odliczanie.

– Trzy... Dwa... Jeden...

Rura emituje cząstkę, a za chwilę po drugiej stronie pokoju słychać dźwięk dzwonka. Odnosisz dziwne wrażenie, że robot jest z siebie bardzo zadowolony.

Lekko przechylasz się na bok i widzisz, że jeden z czujników znajdujących się w ścianie za metalowym słupem zrobił się czarny.

– Odpowiedz, jak ta cząstka się tam dostała – żąda robot.

Niespieszony jego obojętnym, profesjonalnym tonem przesuwasz się i stajesz na wprost maszyny. Zakończenie rury wyrzutowej najwyraźniej łączy z poczerniałym czujnikiem linia prosta, która prawie dotyka metalowego słupa.

– To jest trajektoria lotu cząstki – oświadczasz, wskazując palcem jedyny możliwy kierunek, jaki mogłaby obrać.

– Nieprawda – mówi bez ogródek robot.

– Co takiego? – pytasz zaskoczony.

– Twoja odpowiedź będzie błędna, niezależnie od tego, jaki wskażesz kierunek – oświadcza robot, budząc w tobie wątpliwość, czy faktycznie zaprogramowano go na uprzejmość.

– Ale to jedyna możliwa droga! Właśnie na nią patrzę – obruszasz się.

– Jeśli będziesz polegał na swoich zmysłach i intuicji – mówi maszyna – zawsze będziesz udzielał nieprawidłowych odpowiedzi. Tak robi każdy człowiek, gdy pierwszy raz wchodzi do tego pokoju. Zasady, według których postępują cząstki kwantowe, są odmienne od reguł rządzących naszym codziennym życiem. W tym wypadku twoje zmysły i intuicja są nieprzydatne, musisz o nich zapomnieć.

Choć ta uwaga może wydawać ci się niegrzeczna, robot ma całkowitą rację. I nie daj się zwieść pozorom – skromna obudowa kryje w sobie najbardziej

zaawansowany komputer na świecie. Podobnie jak inne komputery, w prawdziwym życiu często będące najlepszymi przyjaciółmi naukowców, którym pomagają w tworzeniu różnych teorii, tak i nasz robot superkomputer będzie dla nas przydatny aż do końca tej książki.

Potrafi symulować wszystko, co stosuje się do znanych nam praw natury. Biały pokój, w którym się teraz znajdujesz, jest wytworem komputera. Ale to, co dzieje się wewnątrz, jest całkowicie zgodne z prawami natury.

Mogłoby się wydawać, że cząstka rzucona przez robota leciała po idealnej linii prostej. Cząstki należą jednak do świata bardzo małych rozmiarów, niedostępnego ludzkim zmysłom. Komputer oznajmił ci, że się mylisz, choć to, co się przed chwilą zdarzyło, nie ma nic wspólnego ani z jakością twojego wzroku, ani z bystrością umysłu. W ten sposób dał ci jasno do zrozumienia, że natura jest krnąbrna – cząstki kwantowe nie zachowują się jak piłki tenisowe, lecz po prostu są sobą. Aby dostać się z jednego miejsca do drugiego, korzystają ze wszystkich możliwych dróg, jakie istnieją w czasie i przestrzeni, dróg mających te same punkty początkowe i końcowe. Cząstka wyrzucona przez robota poleciała w tym samym czasie wszędzie. Jednocześnie. I na lewo, i na prawo od słupa oraz przez sam słup. A także poza pokój, w przeszłość i w przyszłość – jej podróż trwała aż do chwili, gdy uderzyła w czujnik znajdujący się na ścianie.

Nie martw się, nie musisz koniecznie tego rozumieć. Zresztą w zasadzie i tak nie ma to żadnego znaczenia, takie po prostu są prawa natury. Cząstki, których nikt nie obserwuje, rzeczywiście podróżują wszystkimi dostępnymi drogami w czasoprzestrzeni. Metalowy słup na środku pokoju nic tu nie zmienia. Faktycznie jest on tylko po to, aby można było sobie to wszystko łatwiej wyobrazić. Jeśli go zabierzemy, cząstka nadal będzie się poruszała i na lewo, i na prawo od miejsca, w którym się on znajdował.

Z czujnikami będącymi w ścianach jest jednak zupełnie inaczej: gdy cząstka trafi w jeden z nich, to właśnie wtedy gdzieś się w końcu pojawia.

Znajdujący się obok ciebie żółty robot zaczyna się trząść i nagrzewać. Zastanawiasz się, czy przypadkiem zaraz się nie popsuje, ale maszyna, jakby czytając w twoich myślach, znowu się odzywa.

– Wszystko w porządku. Zwalniam upływ czasu, to wymaga pewnej energii. Zanim zdążysz mrugnąć okiem, wyrzucę kolejną cząstkę. Zobacysz, jak wyglądałby pokój, gdybyś mógł śledzić wszystkie trasy, jakimi podróżuje cząstka od rury wyrzutowej do ściany.

Odruchowo mrugasz, a robot rozpoczyna kolejne odliczanie. Czas zaczyna zwalniać.

– Trzy... Dwa..... Jeden.....

Cząstka wylatuje z robota w bardzo zwolnionym tempie. Z początku wygląda trochę jak rozmyta chmura. Stajesz dokładnie za rurą wyrzutową i widzisz, jak po chwili cząstka dzieli się na nieskończoną ilość obrazów samej siebie – mających w istocie strukturę falową – i wygląda jak zmarszczka rozchodząca się w polu tła, którego jest częścią. Porusza się we wszystkich kierunkach, w czasie i w przestrzeni, również na lewo i na prawo od słupa oraz przez sam słup, a także przez ściany pokoju, dzieląc się na niezliczone obrazy samej siebie. Ostatecznie skupiają się one w jednym punkcie na przeciwległej ścianie pokoju, wzbudzając znajdujący się tam czujnik. Słychać dźwięk dzwonka, czujnik robi się czarny, a czas znów płynie jak dawniej.

Naukowcy uważają, że gdy cząstki nie są przez nikogo obserwowane, zachowują się tak, jak to przed chwilą widziałeś dzięki komputerowej symulacji białego pokoju. Zasady gry się zmieniają, gdy ktoś na cząstki patrzy. Kiedy radar śledzi tor lotu samolotu, maszyna znajduje się tylko w tym miejscu, w którym jest wykrywana przez urządzenie. Podobnie wygląda sytuacja, gdy ktoś chce wykryć cząstkę za pomocą czujnika umieszczonego na ścianie. Wtedy nie znajduje się już ona wszędzie, ale gdzieś. Cząstka, gdy nikt jej nie obserwuje –

w przeciwieństwie do samolotu z ludźmi na pokładzie – rzeczywiście jest wszędzie.

*

Upraszczając, można by ćwiczenie z cząstkami porównać do sytuacji, kiedy w lesie pada drzewo. Czy zrobiło jakiś hałas, jeśli nikt tego nie słyszał? A tak w ogóle – czy faktycznie upadło?

Zajmujemy się tu jednak nie filozofią, lecz naturą. Mówimy o zachowaniu się cząstek, które nas otaczają i z których jesteśmy zbudowani.

Dlaczego zatem cząstki, czyli natura, miałyby się przejmować tym, czy ktoś je obserwuje, czy też nie? No cóż, wielu naukowców spędziło całe życie zawodowe, głowiąc się jedynie nad tym zagadnieniem. Niektórzy z nich znaleźli dość szalone wyjaśnienia tego zjawiska – zapoznasz się z nimi później, w szóstej części książki. Na razie niech ci wystarczy, że to, czego właśnie byłeś świadkiem, znalazło potwierdzenie w niezliczonych eksperymentach. Cząstki są wszędzie, a po chwili już ich tam nie ma. W symulacji przeprowadzonej przez robota to czujniki zmusiły wyrzucane przez niego cząstki do uderzenia w jakieś miejsce na ścianie pokoju.

– Masz prawo czuć się zdezorientowany – oznajmia robot. – Pokazałem ci, że naturę rzeczywistości zmienia sam fakt jej badania.

– Czy mógłbyś to powtórzyć? – pytasz, marszcząc brwi.

– Rzeczywistość zmienia się, gdy ją obserwujesz – powtarza monotonnym głosem robot. – Nic dziwnego, że masz zamęt w głowie.

Wygląda więc na to, że kwantowy świat, królestwo bardzo małych rozmiarów, stwarza mnóstwo możliwości.

Pola kwantowe, do których należą wszystkie cząstki, są sumą tych możliwych scenariuszy i tak to już jest, że jedna z możliwości zostaje wybrana ze

wszystkich istniejących przez samo obserwowanie cząstki, przez sam akt jej wykrywania w celu zbadania jej właściwości. Nie wiadomo, dlaczego i jak to się dzieje, ale efekt jest zawsze taki sam. Gdy w jakiś sposób oddziałujesz na kwantowy świat, mnogość staje się pojedynczością. To tak, jakby wszystkie przemyślenia, jakie na danym etapie swojego życia miałbyś na pewien temat, zostały zredukowane do jednej myśli, w chwili gdy ktoś usłyszy, jak wypowiadasz je na głos. To właśnie zrobiły czujniki znajdujące się na przeciwległej ścianie białego pokoju. Zmusiły wyrzuconą przez robota cząstkę do wylądowania w jakimś miejscu, pozbawiając ją w ten sposób jej wszechobecnej natury.

Gdy tylko zaczynasz pojmować wszystkie możliwe konsekwencje takiego stanu rzeczy, dostajesz gęziej skórki, choć wciąż jesteś tylko cieniem. Czyżbyś za pomocą odpowiedniego sprzętu wykrywającego cząstki potrafił stworzyć własną rzeczywistość? Czyżbyś przez samą próbę ich wykrycia mógł spowodować, że materia, jaką tworzą, poruszałyby się w określony sposób, umożliwiając kształtowanie całego wszechświata według twoich upodobań? Witten wprawdzie orzekł, że wszechświat nie został stworzony dla twojej wygody, lecz być może się mylił.

Zanim zaczniesz się przechwalać swoimi zdolnościami, z przykrością muszę ci oznajmić, że Witten miał jednak rację, a twoja nowo odkryta moc jest jedynie ułudą. Nie możesz kształtować wszechświata, ponieważ nie da się przewidzieć, która ze wszystkich kwantowych możliwości kwantowego świata stanie się za chwilę rzeczywistością. Jest to jeden z elementów magii pól, które budują wszechświat. W kwantowym świecie to, co uważaliśmy za pewnik, staje się możliwością, czyli prawdopodobieństwem, które badamy doświadczalnie. Wyniku tych eksperymentów nikt jednak nie jest w stanie przewidzieć ze stuprocentową pewnością – przypomina to rzucanie monetą albo kostką. Naukowcy sądzili kiedyś, że ta niepewność wynika z jakichś braków w ich

wiedzy, lecz dzięki ogłoszonemu w 1964 roku słynnemu twierdzeniu północnoirlandzkiego fizyka Johna Stewarta Bella wiadomo, że tak nie jest. Twierdzenie Bella pozwoliło francuskiemu fizykowi Alainowi Aspectowi wykazać doświadczalnie, że istnienie raczej możliwości niż pewników jest właściwością świata bardzo małych rozmiarów, z którą po prostu musimy się pogodzić.

W porządku.

Ale co to wszystko ma wspólnego z próżnią, którą miałeś badać? Poczekaj chwilę, zaraz się dowiesz.

Znika wypełniony czujnikami biały pokój z metalowym słupem i żółtym robotem, który nawet nie raczył się z tobą pożegnać.

Znowu jesteś sam, otoczony przez nicość, i chyba panuje tu coś na kształt kosmicznej nocy.

Kurczysz się do rozmiarów swojej miniatutki i zaczynasz dostrzegać jakiś ruch...

Wygląda to tak, jakby jakaś cząstka (albo może dwie, tego nie jesteś pewien) właśnie pojawiła się tuż przed tobą, aby zaraz zniknąć w obłoku światła.

Wokół nic nie było, po chwili coś się pojawiło, a teraz znowu nie ma nic.

Dziwne.

To dzieje się znowu i znowu. I jeszcze nieskończenie wiele razy, wszędzie.

Jesteś właśnie świadkiem samoistnego powstawania cząstek z niczego. Zanim – z niewiadomego powodu – znikną ci z oczu, przemierzają wszystkie drogi, jakie otwiera przed nimi kwantowa wolność.

To ostatnie zdanie do ciebie przemawia. W białym pokoju widziałeś, jak zachowują się cząstki kwantowe, gdy nie są badane. Ale w jaki sposób mogą one

wyskakiwać z nicości?

No cóż, to, co je otacza, nie jest wcale nicością. Wokół znajdują się pola kwantowe.

Aby się gdzieś pojawić, cząstki muszą zaczerpnąć z tych pól trochę energii. A ponieważ pola kwantowe wypełniają każde miejsce w czasie i w przestrzeni, cząstki mogą pojawić się dosłownie zawsze i wszędzie. Właśnie dlatego nigdzie we wszechświecie nie ma czegoś takiego, jak prawdziwa pustka.

Cały czas wpatrujesz się w ciemność i nagle objawia ci się cała prawda. Wszędzie widzisz stapiające się z sobą cząstki. Wypełniają wszystko, pędzą przez niespokojne tło falujących pętli. Wirtualne cząstki, poruszające się i oddziałujące wzajemnie na siebie, pojawiające się i znikające w obłokach światła lub energii. Niezwykły pokaz sztucznych ogni, odbywający się wszędzie, bez wyjątku. „Nicość” jest czymś zasadniczo innym, niż pewnie myślałeś – na pewno nie bezkresną pustką przestrzeni kosmicznej.

I właśnie to naukowcy nazywają *próżnią*.

Jest to coś, co pozostaje, gdy wszystko zostanie zabrane: pola kwantowe na najniższym możliwym poziomie energetycznym, z wirtualnymi cząstkami wyskakującymi z nich tylko po to, aby gdzieś popędzić i po chwili odejść w zapomnienie.

Powtórzę jeszcze raz: w naszym wszechświecie nie istnieje coś takiego jak pustka.

Nie bez racji mógłbyś sądzić, że w miejscu, z którego zabrano wszystko, nie zostaje nic. Ale w rzeczywistości nie da się usunąć próżni z pól kwantowych, podobnie jak z jakiegoś miejsca nie można zabrać czasu ani przestrzeni.

Jeśli jednak próżnia nie jest całkowicie pusta (o ile próżnię pola kwantowego zdefiniujemy jako wszystkie cząstki, które mogą z niego wyskoczyć), to całkiem naturalnie nasuwa się pytanie, czy jest ona wszędzie taka sama, czy też jej natura

zmienia się w zależności od miejsca. A może istnieje wiele próżni?

W 1948 roku duński fizyk Hendrik Casimir przewidział teoretycznie, że jeśli tak zdefiniowana próżnia jest w naszym wszechświecie faktem, a nie jedynie fantazją, to nie tylko istnieją różne rodzaje próżni, ale mają one bardzo konkretny wpływ na nasz świat. I jest to wpływ, który potrafimy wykryć.

Wyobraź sobie umieszczoną na kółkach ścianę, która dzieli pokój na dwie części: w jednej z nich znajduje się powietrze, a w drugiej woda. Spodziewasz się zapewne, że pchana przez wodę ściana będzie się przesuwała na kółkach w stronę części pokoju wypełnionej powietrzem. Teraz wyobraź sobie dwie ustawione naprzeciwko siebie maleńkie metalowe płytki. Jeśli damy im swobodę ruchu, podobnie jak ścianie na kółkach, powinny się przyciągać albo odpychać. Wynika to stąd, że znajdująca się pomiędzy nimi próżnia jest inna od tej, która jest poza nimi.

Dlaczego?

Z prostego powodu: poza płytkami jest więcej przestrzeni niż pomiędzy nimi. I dlatego wirtualne cząstki pojawiające się pomiędzy metalowymi płytkami różnią się od cząstek wyskakujących znikąd w przestrzeni poza nimi, a w związku z tym inna jest też tam próżnia.

W rezultacie płytki powinny się poruszać – i tak się też dzieje. W 1997 roku udowodnił to doświadczalnie amerykański fizyk Steve Lamoreaux wraz ze współpracownikami. Zjawisko to znane jest jako *efekt Casimira*.

Efekt Casimira potwierdza, że pustka nie istnieje, pokazuje ponadto, że są różne rodzaje próżni, dające początek pewnej sile – sile próżni[53].

Nawiasem mówiąc, właśnie znalazłeś rozwiązanie wyjątkowo skomplikowanej łamigłówki.

Jak już wiesz, wszystkie cząstki w naszym wszechświecie są jedynie przejawem pól kwantowych. Są jak fale na morzu, jak piłki wyrzucone w powietrze. Cząstki i fale rodzą się i rozchodzą w polu kwantowym, do którego

należą.

Czy pamiętasz, że gdy poznawałeś świat bardzo małych rozmiarów, okazało się, że wszystkie napotkane przez ciebie cząstki fundamentalne są zawsze takie same? Że dowolne dwa elektrony^[54] zawsze są identyczne?

Jak to możliwe?

W życiu codziennym taka perfekcja po prostu nie istnieje. Kiedy coś robisz, na coś patrzysz, coś budujesz czy o czymś myślisz, nie ma dwóch doskonale identycznych obiektów. Ani ludzi (nawet bliźniaków), ani ptaków albo myśli. Nigdy. Nawet jeśli podobnie wyglądają, nie są nierozróżnialne. Jak to więc możliwe, że elektrony – i inne cząstki elementarne – są zawsze całkowicie i doskonale identyczne?

Odpowiedź na to pytanie brzmi: wszystkie cząstki fundamentalne, w całym wszechświecie, pochodzą z tych samych pól ła, które mogą je w każdej chwili z powrotem połączyć – z próżni pola kwantowego. Niewidzialnych mórz ła wypełniających cały nasz wszechświat.

Wszystkie elektrony są identycznymi przejawami pola elektromagnetycznego – wyskakują one ze swoich próżni i rozchodzą się w tym polu. Podobnie zachowują się wszystkie fotony.

Za każdym razem gdy elektron staje się realny, jest budzony ze swojego widmowego letargu pod wpływem impulsu z otaczającej go próżni pola elektromagnetycznego. Za każdym razem gdy pojawia się gluon, bierze się on z energii oddanej albo pobranej z próżni oddziaływania silnego. Za każdym razem gdy zachodzi rozpad radioaktywny, ma w tym udział próżnia oddziaływania słabego, która wystrzeliwuje cząstki elementarne, neutrina. Im więcej ta próżnia ma energii, tym więcej wyskakuje z niej cząstek elementarnych.

W porządku, skoro tak dobrze nam idzie, kontynuujmy: wygląda na to, że wszystkie pola zachowują się tak samo i przestrzegają tych samych zasad. A jak

jest z grawitacją?

Wszędzie tam, gdzie ona działa, mamy również do czynienia z polem grawitacyjnym. Na razie jednak wydaje się, że to pole różni się od innych, ponieważ nikt nie wie, w jaki sposób mogłoby ono być polem kwantowym. Później się dowiesz, że nikt też nie wie, jak skłonić cząstki do wyskakiwania z próżni pola grawitacyjnego, nie wywołując katastrofalnych następstw. Gdyby okazało się to możliwe, z grawitacją związane byłyby również jakieś cząstki, które – podobnie jak w wypadku innych pól – wyskakiwałyby z pola grawitacyjnego, aby przerosić jego oddziaływanie. Te cząstki nazywalibyśmy *grawitonami*. Jeszcze ich nie wykryto, a zakrzywienia czasoprzestrzeni są wciąż najlepszą spośród teorii wyjaśniających działanie grawitacji.

Nawet gdyby te cząstki nie istniały, grawitacja – mimo że prawdopodobnie nie ma kwantowej natury – i tak jest polem. A to znaczy, że liczba pól, za pomocą których opisujemy wszystko, co wiemy, wynosi cztery.

Ale dlaczego cztery?

Dlaczego powinny być cztery pola podstawowe?

A nie pięć, dziesięć czy też czterdzieści dwa albo 17 092 008 pól, które wyjaśniałyby, w jaki sposób zachowuje się natura?

A co z odpowiadającymi im próżniami? Czy po prostu wszędzie mieszkają one razem, nie zauważając się nawzajem? Brzmi kuriozalnie, prawda? Czy życie nie byłoby prostsze, gdyby istniało tylko jedno pole?

Byłoby.

Ale prostota jest czymś, czego zawsze chętnie poszukują fizycy teoretycy. A nawet czymś, co pobudza ich wyobraźnię, i dlatego właśnie wciąż próbują połączyć cztery znane nam pola w jedno.

Można by powiedzieć: *jedno pole, aby wszystkim rządziło*.

Łatwo powiedzieć, trudniej zrobić.

Nawet cząstki elementarne każdego ze wspomnianych pól nie są takie same.

A w jednym z nich (czyli w polu grawitacyjnym) w ogóle nie wykryto żadnych cząstek.

Wzbudzenie jednego z pól daje inne efekty niż wzbudzenie drugiego. Odmienne są też ładunki cząstek^[55]. Zupełnie różne są właściwości poszczególnych pól: elektromagnetyzm działa na dużą odległość, może przyciągać albo odpychać, podczas gdy grawitacja tylko przyciąga, a oddziaływanie silne ma bardzo niewielki zasięg oddziaływania... I tak dalej, i tym podobnie.

A jednak...

Aby stworzyć stop dwóch różnych substancji, trzeba je podgrzać do odpowiednio wysokiej temperatury. Wtedy połączą się w coś całkowicie nowego, powstanie z nich nowa substancja.

Gdybyśmy chcieli połączyć pola, to ten sposób również okazałby się skuteczny. Konieczna byłaby jednak niewyobrażalna ilość energii: aby zamienić dwa pola – elektromagnetyczne oraz jądrowe słabe – w jedno, potrzebujemy temperatury około miliona miliardów stopni.

Takie temperatury nie występują w znanej nam naturze.

Ale być może nie zawsze tak było.

W istocie taka ogromna ilość energii naprawdę była kiedyś wszechobecna. Bardzo dawno temu, gdy wszechświat był młodszy i mniejszy. Aby wyobrazić sobie, jak się to wtedy odbywało, Salam, Glashow i Weinberg połączyli pole elektromagnetyczne z polem słabym, odkrywając w ten sposób pole elektroslabe. Zauważyli, że w ekstremalnych warunkach dwa pola – jedno odpowiadające za elektromagnetyzm, a drugie za radioaktywność – są w istocie jednym polem.

Następnym krokiem będzie połączenie tego nowego pola z trzecim znanym polem kwantowym – oddziaływań silnych – odpowiedzialnym za zachowanie się kwarków i gluonów w jądrze atomowym. W ten sposób zbliżymy się do czegoś, co górnolotnie nazwano teorią wielkiej unifikacji. Do tego celu potrzebna

jest jeszcze większa ilość energii.

Jak wielka?

Przyprawiająca o zawrót głowy. Tak duża ilość, że dodanie miliarda czy nawet dwóch miliardów stopni nie zrobi większej różnicy.

Skąd wiemy, że to wszystko prawda?

Skąd wiemy, że Salam, Glashow i Weinberg mają rację? Pewnie jedno pole ma większy sens niż trzy lub cztery, lecz skąd mamy pewność, że w ogóle możliwa jest i czeka na opracowanie jakaś teoria wielkiej unifikacji?

Stąd, że fizycy przewidzieli teoretycznie, że takie nowo powstałe pole będzie miało własne cząstki fundamentalne i nośniki sił. Aby to sprawdzić, zbudowali akceleratory cząstek, w których istniejące cząstki są z sobą zderzane. W takich akceleratorach nie tylko są one rozbijane, dzięki czemu wiemy, z czego się składają, ale też powstająca przy tej okazji kolosalna ilość energii wzbudza każde nieaktywne pole w naszym wszechświecie.

Największą ilość energii w wyniku takich zderzeń uzyskano w 2015 roku. Odpowiadała ona w przybliżeniu temperaturze 100 milionów miliardów stopni. Mogłoby się wydawać, że to mnóstwo energii, ale warto pamiętać, że mówimy o akceleratorze cząstek. Nie przyspiesza on krów ani planet, lecz niewiarygodnie małe cząstki. Energia powstająca w wyniku tych zachodzących w miniaturowej skali zderzeń mogłaby napędzić jedynie lecącego komara. W tak małej skali jednak ta wyzwalana energia jest ogromna. Zgodnie z przewidywaniami Salama Glashowa i Weinberga, powstały wówczas całkowicie nowe cząstki (konkretnie bozony W i Z) – cząstki, których istnienie ma sens tylko wtedy, gdy patrzymy na nie z elektroslabej perspektywy.

Nie wiem jak Ciebie, ale mnie takie osiągnięcia nie przestają zadziwiać.

Jaką rolę odgrywa w tym wszystkim grawitacja? Skoro jest uczestniczką zamiany czterech pól w jedno, to dlaczego o niej zapominamy? Znalezienie odpowiedzi na to (podchwytliwe) pytanie będzie naszym celem w siódmej części książki.

Uzbrój się w cierpliwość – zobaczyłeś już i poznałeś prawie wszystko, co wiadomo o materii, z której jesteś zbudowany. Z jednym istotnym wyjątkiem, którym jest twoja masa.

Dziwne, dlaczego do tej pory nic na ten temat nie słyszałeś. Wydawałoby się, że to raczej istotna kwestia, prawda?

Skąd zatem bierze się masa?

Jak już wiesz, gwiazdy w swoim wnętrzu stapiają małe jądra atomowe w większe.

Czy wytwarzają również masę?

Nie.

W istocie robią coś zupełnie odwrotnego.

Pozbywając się w procesie fuzji zbędnych gluonów, neutrony i protony tracą część swojej energii, a więc także i masę^[56] – zgodnie z wzorem Einsteina $E = mc^2$. Takie jest właśnie pochodzenie energii, która powoduje świecenie gwiazd. Widziałeś już, jak to się odbywa. Ale nasuwa się tu jeszcze jeden wniosek: jeśli jądro atomowe traci masę, wyrzucając swoje gluony, oznacza to, że właśnie one były tą masą. A zatem, część masy atomów bierze się z samego istnienia tych wirtualnych gluonów, które więżą kwarki. Gdy naukowcy dokładniej przyjrzeni się tej kwestii, zdali sobie sprawę, że ta „energia zupy gluonów”, obecna we wszystkich neutronach i protonach naszego wszechświata, stanowi nie jakąś, lecz ogromną część masy materii, jaką znamy. Choć nie całą masę.

Ale to nie wyjaśnia wszystkiego. Na przykład nadal nie wiemy, dlaczego kwarki i elektrony mają masę. A raczej jak tę masę nabywają, bo przecież wcześniej jej nie miały.

Salam, Glashow i Weinberg udowodnili, że gdy nasz – bardzo wtedy młody – wszechświat rozszerzał się i schładzał, pole elektroślabe rozdzieliło się na dwa pola: elektromagnetyczne i słabe. Ale nie wspomniałem dotąd, że aby do tego doszło, musiało pojawić się jeszcze jedno pole.

Kolejne pole kwantowe, z własnymi nośnikami sił i całą resztą.

Nośniki te nie mogą przenosić żadnej z sił, z którymi się już zapoznałeś, a nie istnieje żadna inna licząca się siła... Co zatem robią?

No cóż, nadają one masę pewnym cząstkom i powodują, że inne cząstki stają się bezmasowe. Na przykład fotony i gluony nigdy nie odczuwały ich obecności i nadal jej nie czują. Mogą poruszać się w tym polu, nawet go nie zauważając. Wciąż więc są cząstkami bezmasowymi i cały czas podróżują z prędkością światła.

Obecność tych nośników zauważyły natomiast kwarki, elektrony oraz neutrino, uzyskując masę. Z tego powodu nie są już w stanie osiągnąć prędkości światła^[57].

Pytam zatem ponownie: skąd wiemy, że to prawda? Skąd mamy pewność, że jakieś tajemnicze pole jest odpowiedzialne za masę tych cząstek?

Chodzi o to, że to nowe pole, podobnie jak wszystkie inne pola, ma swoje cząstki fundamentalne.

Jak się jednak można było spodziewać, zobaczyć je albo wykryć nie jest łatwo.

Obliczono, że aby wzbudzić owo pole i doprowadzić do narodzin jego cząstek fundamentalnych, potrzebna jest ogromna ilość energii – większa od ilości niezbędnej do powstania pola elektroślabe. Trudno w to uwierzyć, ale w 2012 roku naukowcom udało się tego dokonać w Wielkim Zderzaczu

Hadronów (LHC), najpotężniejszym akceleratorze cząstek, znajdującym się pod Genewą w Szwajcarii^[58]. Odkryli oni cząstkę fundamentalną należącą do tego pola – brakującą część układanki – źródło całej znanej masy naszego wszechświata, niezależnie od tego, czy zawdzięczanej gluonom, czy też nie.

Odkrycie to potwierdziło, że fizycy rzeczywiście byli cały czas na dobrym tropie.

Media nazwały tę nową cząstkę *bozonem Higgsa* (choć może być wiele rodzajów bozonów Higgsa), a nowo wyodrębnione pole znane jest jako *pole Higgsa* albo *pole Higgsa-Englerta-Brouta*. W 2013 roku dwaj fizycy teoretycy, Brytyjczyk Peter Higgs oraz Belg François Englert, otrzymali za to odkrycie Nagrodę Nobla (przewidzieli je teoretycznie ponad 40 lat wcześniej, razem z Belgiem Robertem Broutem, zmarłym w 2011 roku^[59]). Krótko mówiąc, odkryli, w jaki sposób powstała część masy materii, gdy 13,8 miliarda lat temu nasz wszechświat się schładzał. Imponujące osiągnięcie – ich samych, ale i całej ludzkości.

A ponieważ wspomniane odkrycie trafiło na pierwsze strony gazet, warto ponownie podkreślić, że pole Higgsa nie jest odpowiedzialne za masę wszystkiego, z czego jesteśmy zbudowani, lecz tylko za jego część. Jak już wcześniej wspomniałem, większość masy neutronów i protonów pochodzi od siły, która wiąże kwarki – z kwarkowo-gluonowej zupy. Gdyby pole Higgsa zostało nagle wyłączone, kwarki stałyby się bezmasowe, a my byśmy umarli. Za to masa protonu i neutronu prawie by się nie zmieniła.

Skoro określona została już rola pola silnego w posiadaniu przez nas masy i skoro wiesz, skąd pochodzi cała znana nam materia, pomyśl teraz znowu o tych wszystkich wyskakujących z próżni cząstkach, które widziałeś wcześniej. Widziałeś je... Choć nie powinienesz był widzieć. Natura nie pozwala cząstkom pojawiać się samodzielnie – muszą zapłacić za to pewną cenę.

Jak się za chwilę przekonasz, ceną tą jest istnienie nowego rodzaju materii, nazwanego *antymaterią*.

[52] Edward Witten należy do grona twórców tak zwanej *teorii strun*, z którą zapoznasz się pod koniec siódmej części książki. Tak się też składa, że jest on jedynym fizykiem odznaczonym Medalem Fieldsa (odpowiednikiem Nagrody Nobla w dziedzinie matematyki).

[53] Ponieważ nasze elektroniczne urządzenia stają się coraz mniejsze, inżynierowie będą musieli zwracać na to zjawisko coraz większą uwagę.

[54] Dotyczy to również kwarków, gluonów, fotonów oraz wszystkich innych cząstek fundamentalnych ze wszystkich pól kwantowych.

[55] W kwantowej teorii pola cząstki powiązane z danym polem mają swój ładunek, na przykład w wypadku elektromagnetyzmu jest to dodatni i ujemny ładunek elektryczny, a w wypadku oddziaływania silnego są to tzw. trzy zapachy lub kolory kwarków (przyp. red.).

[56] Pamiętaj, że im więcej protonów i neutronów znajduje się w jądrze atomu, tym mniej gluonów potrzeba, by utrzymać kwarki za murami ich więzień.

[57] W rzeczywistości neutrino mają masę, ale jest tak znikoma, że przez dłuższy czas nikt nie zdawał sobie sprawy z jej istnienia. O masie neutrino dowiedzieliśmy się dzięki geniuszowi dwóch fizyków: Japończyka Takaakiego Kajity i Kanadyjczyka Arthura B. McDonalda. W 2015 roku otrzymali oni za to odkrycie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

[58] Wszystkie cząstki odczuwające wpływ oddziaływania silnego noszą nazwę *hadronów*. W akceleratorze LHC (Large Hadron Collider) doprowadza się głównie do wysokoenergetycznych zderzeń protonów, które też są hadronami.

[59] Nagrodę Nobla przyznaje się tylko żyjącym naukowcom.

ANTYMATERIA

W przeszłości, aż do całkiem niedawnych czasów, przeważająca część powierzchni Ziemi nie była ludziom znana. Dzisiaj mamy łatwy dostęp do zdjęć satelitarnych całej naszej planety, lecz zaledwie kilka wieków temu mapy pokazywały tylko małe fragmenty Europy, Ameryki i Azji. Wykreślały je osoby mieszkające na tych terenach, nie istniał więc żaden jednolity obraz naszego świata. Nieustraszeni odkrywcy reprezentujący różne cywilizacje porzucali bezpieczny ląd i żeglowali przez wichry i burze, aby poznać świat leżący poza granicami ich ojczyzny. Odkrywali kolejne lądy, na których albo nigdy wcześniej nie stanęła ludzka stopa, albo były już jakieś cywilizacje. Mniejsze, otoczone wodą obszary lądu nazywano wyspami, większe kontynentami. Z każdym takim odkryciem poszerzały się granice ludzkiego królestwa, a przy okazji nasi przodkowie coraz wyraźniej uświadamiali sobie, że żyją na niewiarygodnie zasobnej, choć stosunkowo niewielkiej planecie, dryfującej po oceanie ogromnego wszechświata.

Minęły dziesięciolecia.

Za sprawą ludzkiej agresji, chciwości i ciekawości wiedza o Ziemi z czasem się rozrastała, a to, co nieznanne, coraz częściej nie leżało gdzieś za horyzontem, lecz znajdowało się nad naszymi głowami. Nową zagadką stała się przestrzeń kosmiczna, którą każdy mógł obserwować – wystarczyło spojrzeć w górę. Ale tam odległości są niewiarygodnie duże. Kiedy piszę tę książkę, ludzie wysyłają w kosmos różne satelity, próbując setki miliony kilometrów od Ziemi znaleźć odpowiedź na pytanie, skąd wzięła się na naszej planecie woda i dlaczego

pojawiło się tutaj życie.

Eksploracja kosmosu nie polega już tylko na wysyłaniu ludzi na niebezpieczne wyprawy, dziś latają na nie za nas roboty. Czy jednak na początku XXI wieku, kiedy znowu nasila się zainteresowanie podróżami międzyplanetarnymi, można pozostać na Ziemi i wciąż być odkrywcą?

Oczywiście, że tak.

Czyimś celem może być dno oceanów – środowisko tak trudne do zbadania za pomocą naszych urządzeń (nie mówiąc już o nas samych), że dotarło tam mniej ludzi niż na Księżyc.

Ktoś wybierze odmienne podejście i zajmie się nauką.

Chociaż uprawianie nauki na pozór jest mniej efektowne niż żeglowanie karawelą czy pilotowanie statku kosmicznego, może nas za to zaprowadzić wszędzie. Od dna mórz po kraniec naszego widzialnego wszechświata. I jeszcze dalej. Czytając tę książkę, pewnie się przekonasz, że twój umysł jest w stanie zabrać cię do miejsc niedostępnych ciału – tam, dokąd nikt jeszcze do tej pory nie dotarł. Badając szczegółowo naturę czasu i przestrzeni albo kwantowe zachowanie cząstek i światła, każdy z czytelników wyrusza w nieco inną podróż, wyobrażając sobie to wszystko na swój sposób. Tworząc w swoim umyśle galaktyki i wirtualne cząstki światła, wkraczasz do świata teorii – świata bez granic.

Nikt nie potrafi przewidzieć, w jakim miejscu leży jakaś nieznana jeszcze wyspa albo dziewiczy ląd. Odkrywca, zanim dokona czegoś wielkiego, często najpierw ponosi wiele porażek. Czasem możemy liczyć na szczęście, ale ono nie zawsze się do nas uśmiecha. Lepiej oprzeć się na stałym fundamencie, którym z pewnością są dokonania innych. To samo dotyczy nauki – przy odkrywaniu antymaterii również podążano przetartymi przez pionierów ścieżkami. Jeden genialny człowiek otworzył innym oczy na niezwykle fakt: materia, z której jesteśmy zbudowani i która tworzy planety, gwiazdy oraz galaktyki, *stanowi*

jedynie połowę istniejącej materii. Nie odkrył tego przez czysty przypadek. Korzystał z dokonań poprzedników, a konkretnie z poczynionych przez Einsteina ustaleń dotyczących bardzo szybkiego poruszania się obiektów i dziwnego zachowania się kwantowych cząstek. Tym człowiekiem był Paul Dirac. Stworzył on pojęcie pola kwantowego, a następnie odkrył antymaterię. Ten brytyjski uczony w latach 1932–1969 zajmował prestiżowe stanowisko profesora matematyki w katedrze Lucasa na Uniwersytecie Cambridge. Wśród jego poprzedników na tym stanowisku był między innymi Isaac Newton (w latach 1669–1702), a wśród następców – Stephen Hawking (w latach 1979–2009).

Czym więc jest antymateria?

Wiesz już, co oznacza wzór $E = mc^2$: masa może się zamieniać w energię, a energia w masę. Po całkiem wysokim kursie. A jak się dowiedziałeś z poprzedniego rozdziału, energia ta może zostać na krótki czas pożyczona z próżni, z różnych pól, w celu stworzenia cząstek.

Powróćmy teraz do twojej miniatutki.

*

Wciąż znajdujesz się w pustym wszechświecie, otoczony przez próżnię – ściśle mówiąc, przez próżnię pola elektromagnetycznego.

Nagle na twoich oczach wyskakuje z niej elektron.

Dlaczego? Ponieważ może to zrobić. Widzisz pojawiający się elektron. Hop! Tak po prostu.

Przed chwilą była tam tylko próżnia. A teraz jest elektron, który ma masę.

Sam fakt jego pojawienia się oznacza, że jakaś uśpiona energia przeobraziła się w masę. Wszystko zgodnie z wzorem $E = mc^2$. To jest jasne.

Ale elektron ma również ładunek elektryczny. W takim razie trzeba zadać pytanie: skąd się on bierze?

Masa bierze się z energii, masa i energia są równoważnymi wielkościami, zatem w chwili gdy z pożyczonej energii powstaje masa, bilans wychodzi na zero. To po prostu zamiana jednej formy energii w inną. Ładunek elektryczny to jednak zupełnie inna sprawa. Gdy pojawia się elektron, pojawia się też ujemny ładunek elektryczny. Przedtem go nie było, a teraz jest. A z tym na pewno nie można się tak po prostu pogodzić. Jak wspomniałem pod koniec poprzedniego rozdziału, nie da się stworzyć czegoś z niczego bez ponoszenia kosztów. W prawdziwym życiu to się nie zdarza – słyszę, jak wzdychasz – i tak samo jest w świecie kwantowym.

Cóż więc pocniemy z ładunkiem elektrycznym? Czy przymkniemy na niego oko?

Nie możemy tego zrobić, ponieważ jest o wiele za duży. Każdy elektron we wszechświecie ma jakiś ładunek, ma go też wiele innych cząstek elementarnych.

Skąd zatem się on bierze?

No cóż, najprostsza odpowiedź często jest prawidłowa: elektron nigdy nie pojawia się sam. Musi mu towarzyszyć identyczna cząstka, różniąca się od niego tylko tym, że jej ładunek elektrycznym ma przeciwny znak. Cząstkę tę nazywamy *antyelektronem*.

Wprowadzono ją teoretycznie, aby ładunek każdej z kiedykolwiek powstałych par elektron–antyelektron wynosił zero. Nie trzeba już odwoływać się do wzoru $E = mc^2$ ani do niczego innego. Takie zjawisko nie łamie żadnych reguł: przed pojawieniem się elektronu i antyelektronu całkowity ładunek wynosił zero i tak samo jest teraz, po tym fakcie.

Właśnie na tym polegało genialne odkrycie Paula Diraca.

Chciałbyś zapytać: i czym się tu ekscytować? No cóż, ten sceptycyzm można by ci wybaczyć.

Cząstka identyczna z elektronem, ale obdarzona przeciwnym ładunkiem, nie była w tamtych czasach znana. Nikt wtedy antyelektronów nie widział.

Dzisiaj wykrywamy je wszędzie.

Proces, w rezultacie którego z nicości wyłaniają się elektron oraz jego przeciwieństwo, nazywamy *tworzeniem par* cząstka–antycząstka. Istnieje również proces odwrotny: gdy elektron spotyka antyelektron, ulegają one *anihilacji* – znikają. Pstryk! I już ich nie ma, masa w jednej chwili przekształca się z powrotem w energię, w światło.

Elektrony oraz ich przeciwieństwa powstają z pola elektromagnetycznego i wtapiają się w nie z powrotem w procesie anihilacji.

Jeśli więc elektrony istnieją samodzielnie i wyłaniają się z pola elektromagnetycznego w procesie tworzenia par cząstka–antycząstka, to powinny również istnieć samodzielne antyelektrony. I w rzeczy samej tak jest, lecz nie znajdziemy ich wszędzie.

W 1928 roku Dirac określił antyelektron jako „dziurę w morzu”, przez morze rozumiejąc to, co dzisiaj nazywamy kwantowym polem elektromagnetycznym. Nazwał go tak, ponieważ cząstka ta jest nośnikiem „brakującego” ładunku elektrycznego.

Antyelektron – owa „dziura” Diraca – został odkryty doświadczalnie pięć lat później, w 1933 roku. Wtedy też Dirac za swoje dokonania otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki^[60]. Jego teoria pól dotyczy właśnie tych pól, które widzisz wszędzie, odkąd zacząłeś eksplorować świat bardzo małych rozmiarów, by w końcu odkryć antymaterię.

Tak naprawdę antyelektrony Diraca jako pierwszy wykrył amerykański fizyk Carl D. Anderson. Nie nazywał ich jednak antyelektronami, ale nadał im nową nazwę: *pozytony*, która obowiązuje do dziś. W 1936 roku za swoją detektywistyczną pracę Anderson został uhonorowany Nagrodą Nobla.

W ten sposób narodziła się antymateria.

Wcześniej wspomniałem, że połowę całej materii stanowi antymateria. Ale jeśli w jej skład wchodzi jedynie antyelektrony, to nie jest ona połową wszystkiego. Co z antykwarkami, antyświatłem i antygluonami?

No właśnie, odkrycie dotyczące elektronów odnosi się również do wszystkich innych cząstek.

One także mają swoje przeciwieństwa.

Istnieją i antykwarki, i antyneutrony, i antyfotony. Co ciekawe, pewne cząstki, te niemające ładunku elektrycznego, mogą grać na dwa fronty i być również własnymi antycząstkami. Dobrym przykładem jest światło, ponieważ fotony i antyfotony nie mają ładunku elektrycznego, są identyczne.

Dlaczego więc nie widzimy wokół nas tych wszystkich antycząstek?

Odpowiedź na to pytanie brzmi: one tam są, znajdują się wokół ciebie, ale występują w niewielkich ilościach, ponieważ kiedy już taka cząstka się pojawi, żyje przez bardzo, bardzo krótki czas. Pamiętaj, że każda antycząstka, która wpada na cząstkę będącą jej odpowiednikiem, natychmiast się z nią anihiluje, zamieniając się w obłok energii i światła, zgodnie z wzorem $E = mc^2$.

Moglibyśmy sobie wyobrazić, że gdzieś tam, we wszechświecie, istnieje cały świat zbudowany z antymaterii. Albo antyświat, jeśli wolisz takie określenie. Nikt nie wie, czy coś takiego istnieje, lecz jeśli tak jest i pewnego dnia spotkasz w przestrzeni kosmicznej kogoś podobnego do siebie, to nie ściskajcie sobie dłoni. Ty i twój odpowiednik z antymaterii stanowilibyście prawdziwą mieszanką wybuchową i natychmiast doszłoby do eksplozji. Gwałtownej^[61].

Niemniej jednak antymateria istnieje. Nawet w tej chwili, wewnątrz ciebie.

Za każdym razem gdy zachodzi rozpad radioaktywny, powstaje jakaś antymateria, tylko po to, by anihilować się ze swoim odpowiednikiem z materii i stać się promieniem światła tak potężnym, że może przelecieć przez twoje ciało niezauważony przez nikogo.

Twoje oczy nie mogą tych promieni dostrzec, ponieważ, jak już wcześniej

wspominaliśmy, w procesie ewolucji nie wykształciła się u nas taka zdolność. Ale to, czego nie widzą oczy, potrafią wykryć urządzenia – błyskotliwi inżynierowie wykorzystali wspomniane wyżej odkrycie, opracowując sprzęt do skutecznej diagnostyki i badań medycznych. Przykładem jest stosowana w szpitalach pozytonowa tomografia emisyjna (Position Emission Tomography – PET). Do ciała pacjenta zostaje wprowadzony radioaktywny kontrast w postaci płynu, który podczas rozpadu emituje pozytony. Pozytony anihilują się następnie z elektronami, zamieniając się w potężne promienie gamma, które już poza ciałem człowieka są wykrywane przez urządzenie PET. W rezultacie otrzymujemy trójwymiarowy obraz pokazujący funkcjonowanie naszego organizmu. To genialny wynalazek.

W porządku.

Poznałeś już pola i ich próżnie.

Wiesz o możliwości ich unifikacji.

A także o masie, ładunkach elektrycznych i antymaterii.

Oznacza to, że jesteś już przygotowany do podróży poza obszary, które poznałeś w pierwszej części książki. Możesz ruszać w drogę do Wielkiego Wybuchu i jeszcze dalej, do początków czasu i przestrzeni.

Dobrze ci radzę: weź głęboki wdech, zanim odwrócisz kartkę.

[60] Nagrodę Nobla z fizyki w 1933 roku otrzymali wspólnie Paul Dirac i Erwin Schrödinger (przyp. red.).

[61] Jak bardzo gwałtownej? No cóż, według wzoru $E = mc^2$, aby uwolnić mniej więcej trzykrotność energii bomby atomowej zrzuconej na Hiroszimę, trzeba mieć zaledwie jeden gram antymaterii, która by anihilowała się z materią będącą jej odpowiednikiem. Twoje spotkanie z ważącym 70 kilogramów antytobą doprowadziłoby do wybuchu o sile 210 tysięcy takich bomb. Przyznasz, że to piekielnie silny uścisk dłoni.

ŚCIANA POZA ŚCIANĄ

Przez lata pewnie uważałeś za oczywiste, że nasz wszechświat jest w większości pusty, nieruchomy i niezmienny. W odróżnieniu od swoich przodków mogłeś słyszeć o Wielkim Wybuchu, lecz prawdopodobnie nigdy się nie zastanawiałeś, co naprawdę znaczy ten termin.

W rzeczywistości pod wieloma względami przypominamy ryby pływające w morzu. Tyle tylko, że jak już wiesz, nie pływamy w jednym morzu składającym się z wody, lecz w wielu morzach, które opisał nasz kolega Dirac. Morza te noszą nazwę pól i wypełniają cały wszechświat, a my jesteśmy ich różnorodnym i bardzo złożonym przejawem.

Gdy tak o tym myślisz, dochodzisz do wniosku, że właściwie ma to sens. Dzięki tej koncepcji wszystko staje się łatwiejsze do zrozumienia: czas, masa, prędkość i odległość, splecione wewnątrz mórz – pól.

Wszechświat jest ogromny. Pomiedzy gwiazdami, galaktykami i skupiskami galaktyk rozciągają się niewiarygodnie duże obszary. Nie jest to jednak pustka, ale pola, które umożliwiają odległym obiektom wzajemne oddziaływanie na siebie, nie bezpośrednio, lecz poprzez wymianę cząstek, tak zwanych nośników sił.

Pola łączą wszystko ze wszystkim.

W tej myśli jest coś pocieszającego.

Za chwilę zaczniesz cofać się w czasie, aż do początków naszego wszechświata, do narodzin czasu i przestrzeni. Czy wszyscy ci szamani, święci

i ludzie na haju nie mieli przypadkiem racji, przez wszystkie te wieki tańcząc, śpiewając, malując, pisząc i krzycząc, że „jedność jest wszystkim, a wszystko jest jednością”?

No cóż, w pewnym sensie może i tak.

Lecz z pewnością nie wiedzieli dlaczego.

Wie to natomiast nasz robot superkomputer, który właśnie ponownie się tu pojawił.

Maszyna wyrzucająca piłki tenisowe znów znajduje się tuż przed tobą. Nie mając twarzy, patrzy na ciebie dość obojętnie swoją rurą, ale teraz już wiesz, że nie możesz traktować jej tylko jako urządzenia.

Zdobywszy dużą wiedzę, jesteś podniesiony na duchu i czujesz się pewnie. Przygotowujesz swój umysł na kolejny wysiłek związany z poznawaniem dziejów naszego wszechświata.

– Czy jesteś gotowy? – pyta wydobywający się jakby z otchłani metaliczny głos.

Wiesz, że robot poprowadzi cię do początków czasu i przestrzeni, lecz on nie daje ci nawet chwili do namysłu. W okamgnieniu znajdujecie się razem w powietrzu, nad domem, twoim domem.

Z miejsca, w którym przebywałeś, robot zabrał cię nad twoje rodzinne miasto.

Pędzicie ku górze.

Przecinasz kolejne warstwy atmosfery i unosisz się wysoko nad swoim rodzinnym światem, aby za chwilę ponownie zmierzyć się z przestrzenią kosmiczną.

– Skorzystamy z najlepszej symulacji lotu, jaka kiedykolwiek powstała – oświadcza robot. – To, co teraz zobaczysz, jest trudne do osiągnięcia nawet dla

najpotężniejszych komputerów zaprogramowanych, podobnie jak ja, na postępowanie zgodne ze wszystkimi dotychczas odkrytymi prawami natury.

– Ruszajmy wreszcie! – wykrzykujesz, czując podekscytowanie na myśl o zbliżającej się podróży.

Nie możesz się doczekać, aby dotrzeć tam, gdzie nie sięga wzrok, i pokonać po drodze wszystkie nakładające się na siebie warstwy przeszłości.

Wiesz, że gdybyś chciał dolecieć do jakiejś gwiazdy normalną drogą, we własnym ciele, podróż zajęłaby ci szmat czasu. A gwiazda zdążyłaby się już zmienić. To jak z wyjazdem do Nowego Jorku, dokąd leciałbyś wiele godzin. Kiedy dotarłbyś do celu, miasto nie wyglądałoby już tak samo jak wtedy, gdy rozpocząłeś podróż. Ludzie, samochody, chmury, krople deszczu – wszystko znajdowałoby się już w innym miejscu.

Gdybyś podróżował do gwiazdy w odległej galaktyce, różnice byłyby jeszcze większe. W czasie twojego lotu wszechświat wciąż by się rozszerzał. Inne byłoby mikrofalowe promieniowanie tła, niższa średnia temperatura wszechświata, a powierzchnia ostatniego rozproszenia znajdowałaby się jeszcze dalej. Jeślibyś podróżował w normalny sposób, choćby z największą osiągalną prędkością, nigdy nie dotarłbyś do przeszłości.

W jaki więc sposób symulacja komputerowa może cię przenieść w przeszłość – w tym wypadku w bardzo odległą przeszłość?

Odpowiedź szybko przychodzi ci do głowy: aby się znaleźć w niemowlęcym okresie rozwoju wszechświata, w ogóle nie powinieneś się poruszać. To czas musi się cofać, co właśnie w tej chwili zaczyna się dziać.

Nie ruszając się z miejsca, zaczynasz nową podróż przez dzieje naszego wszechświata, cofając się w czasie aż do Wielkiego Wybuchu, a nawet jeszcze dalej.

Awatar komputerowego robota znika, wykazując się w ten sposób nieoczekiwanym taktem. Teraz już nic nie ogranicza twojego pola widzenia.

W mgnieniu oka cofasz się w przeszłość o 7 milionów lat.

Powierzchnia ostatniego rozproszenia, wyznaczająca kres wszechświata widzianego z Ziemi, znajduje się teraz trochę bliżej ciebie. Mikrofalowe promieniowanie tła, wypełniające wszechświat, ma nieznacznie wyższą temperaturę. Siedem milionów lat to jednak niewiele w porównaniu z całą liczącą 13,8 miliarda lat historią, dlatego niebo nie różni się szczególnie od tego, które widziałeś przed chwilą. Ziemia, którą masz teraz pod tobą, wygląda jednak inaczej. Nie ma na niej miast ani migoczącego oświetlenia ulicznego. Pierwsi ludzie dopiero zaczęli się różnić od małych człekokształtnych. Twój odlegli przodekowie byli mocno owłosionymi drapieżnikami. Gatunek ludzki przebył naprawdę długą drogę...

Następne mgnienie oka i przenosisz się o 65 milionów lat w przeszłość.

Dinozaury dopiero co wymarły w następstwie gwałtownych wulkanicznych erupcji i katastroficznego zderzenia Ziemi z planetoidą o średnicy 10 kilometrów. Na naszej planecie przeżyły jedynie małe ssaki. Niektóre z nich po przejściu wielu etapów ewolucji stały się najpierw naszymi owłosionymi przodkami, a potem ludźmi.

Jeszcze jedno mgnienie oka i jesteś już w epoce sprzed ponad 4 miliardów lat.

W Ziemię uderzyła właśnie planeta o rozmiarach Marsa, wyrrywając dużą jej część. W ten sposób powstał Księżyc. Mikrofalowe promieniowanie tła ma zdecydowanie wyższą temperaturę, a powierzchnia ostatniego rozproszenia leży znacznie bliżej ciebie. Objętość całego wszechświata, widzianego z miejsca, w którym się teraz znajdujesz, stanowi niecałe 70 procent objętości wszechświata z 2016 roku.

Cofasz się w czasie jeszcze o parę miliardów lat.

Widzialny wszechświat ma rozmiar o ponad połowę mniejszy od obecnego. Ziemia jeszcze nie istnieje. Na jej obecnym miejscu, na twoich oczach, umierają gwiazdy, a w rezultacie tych niezwykłych eksplozji w przestrzeń kosmiczną wyrzucana jest materia, z której były zbudowane. Za kilkaset milionów lat ten pył oraz odłamki skalne połączą się w olbrzymie obłoki, a grawitacja doprowadzi do powstania przynajmniej jednej gwiazdy – Słońca – oraz krążących wokół niego planet.

Kolejne mgnienie oka i widzisz to, co zdarzyło się ponad 5 miliardów lat przed powstaniem naszej planety i 9,5 miliarda lat przed twoim narodzeniem.

Widzialny wszechświat ma 25 procent objętości wszechświata z 2016 roku. Powierzchnia ostatniego rozproszenia znajduje się znacznie bliżej niż wcześniej. Pomiędzy nią a tobą, wokół gigantycznych czarnych dziur, formują się galaktyki. Od czasu do czasu dochodzi między nimi do kolizji o niewyobrażalnej sile.

Jeszcze jedno mgnienie oka i przenosisz się o 13,7 miliarda lat w przeszłość.

Nadal znajdujesz się w miejscu, w którym kiedyś będzie Ziemia, ale widzialny wszechświat, który cię otacza, ma niecałe pół procent objętości wszechświata, z jakiego rozpocząłeś swoją podróż. To jego Wiek Ciemny.

W Wiekach Ciemnych, przez które podróżowałeś w pierwszej części książki, było zimno, ponieważ patrzyłeś na nie wtedy z ziemskiej perspektywy po ponad 13,7 miliarda lat rozszerzania się wszechświata.

Jednak 13,7 miliarda lat temu nie było ani ciemno, ani zimno. I teraz właśnie tam się znajdujesz.

Pierwsze gwiazdy jeszcze nie zapłonęły, dlatego materia, którą widzisz, nie

mogła powstać w wyniku fuzji jądrowej w rdzeniach gwiazd. Jesteś więc otoczony przez najmniejsze istniejące atomy: głównie wodoru, ale również helu. A promieniowanie, które się wszędzie jarzy – kosmiczne promieniowanie tła – nie jest już mikrofalowe. Twoje oczy je widzą. Początkowo cały nasz wszechświat wypełniało właśnie to jasne światło. W promieniowanie mikrofalowe zamieniło się ono znacznie później, po kilku miliardach lat rozszerzania się wszechświata.

Kolejne mgnienie oka i cofasz się jeszcze o 100 milionów lat. Jesteś teraz w okresie sprzed 13,8 miliarda lat.

Powierzchnia ostatniego rozproszenia, stanowiąca kres widzialnego wszechświata, znajduje się o minutę świetlną od ciebie. Oznacza to, że długość promienia twojego widzialnego wszechświata wynosi teraz mniej niż jedna ósma odległości Ziemi od Słońca.

Cały wszechświat jest przezroczysty zaledwie od 60 sekund.

I jest gorący.

Wszędzie panuje temperatura 3 tysięcy stopni Celsjusza.

Jesteś nadal w Wiekach Ciemnych, lecz wszystko wokół tak się świeci, że zaczynasz wątpić, czy to właściwa nazwa.

W tym miejscu się zatrzymujesz.

Za chwilę komputer zacznie ponownie cofać czas, choć już trochę wolniej, a ty znajdziesz się w dziwnym, niewidzialnym – dosłownie – miejscu. Po upływie minuty rozpoczniesz coś, co można by nazwać ostatnią podróżą...

Powierzchnia ostatniego rozproszenia znajduje się tuż przed tobą.

Bierzesz głęboki wdech, gotowy, aby ją przekroczyć i dotrzeć do niewidzialnego.

Czas się cofa...

I już jesteś po drugiej stronie.

Wkroczyłeś do tej części przeszłości naszego wszechświata, której nie da się zobaczyć.

I faktycznie nic już nie widzisz.

Tutaj światło się nie rozchodzi, ponieważ wokół jest zbyt dużo energii.

Ale ty wiesz, co zrobić.

Natychmiast przełączasz się na tryb jogina i ku swojemu wielkiemu zaskoczeniu odkrywasz, że wszechświat znajdujący się za powierzchnią, którą właśnie przekroczyłeś, jest wielki.

I stary.

Ma przynajmniej 380 tysięcy lat.

To wciąż nie koniec twojej podróży.

Znów koncentrujesz się na tym, co cię otacza, co się dzieje poza ścianą stanowiącą koniec widzialnego wszechświata.

Temperatura otoczenia wynosi 5 tysięcy stopni Celsjusza. Wszystkie elektrony, które pewnego dnia zwiążą się z jądrami atomowymi, tworząc atomy wodoru i helu, poruszają się teraz swobodnie. Są wzbudzone przez uderzające w nie fotony, które odbijają się od nich, aby potem uderzyć w kolejny elektron. Pole elektromagnetyczne jest tak wypełnione energią, że wszystkie jego cząstki fundamentalne błyskawicznie zamieniają się w inne.

Kolejne mgnienie oka i od momentu, w którym wszechświat stał się przezroczysty, przenosisz się jeszcze o dziesiątki tysięcy lat w przeszłość.

Jesteś otoczony przez gęsty bulion z cząstek. To mieszanka wszelkich wzbudzeń pól kwantowych, ich cząstek elementarnych oraz nośników sił. Wpadają na siebie, ale nie mogą dalej się przemieszczać. Wokół jest zbyt dużo energii. Cząstki się pojawiają, zderzają i znikają. A w miarę cofania się czasu wszechświat wciąż się kurczy, gęstość energii wzrasta i wokół dzieją się coraz gwałtowniejsze rzeczy.

Mimo wszystko usiłujesz zachować trzeźwość umysłu i koncentrujesz się na swojej podróży w przeszłość. Jesteś czystym umysłem i w trybie jogina podróżujesz przez coś, co sprawia wrażenie wyjątkowo realistycznej symulacji. Wszechświat nadal się zmniejsza, a jego tkanina – czasoprzestrzeń – zakrzywia się w nieprawdopodobny sposób. Fale grawitacyjne są wszędzie. Nic, co znasz czy co mógłbyś sobie wyobrazić, nie zdołałoby przeciwstawić się takiej miażdżącej i rozrywającej sile.

Przez ułamek sekundy zastanawiasz się, dlaczego nic jeszcze dotąd nie słysząc o grawitacji, ale nie masz kiedy o tym pomyśleć. Cofnąłeś się w czasie o kolejne dziesiątki tysięcy lat i otacza cię teraz prawdziwe piekło. Temperatura, ciśnienie oraz wpływ grawitacji rosną w niewiarygodnym tempie, a twoje wirtualne serce bije coraz mocniej.

Jesteś teraz 380 tysięcy lat przed momentem, w którym świat stał się przezroczysty. Gdyby ktoś patrzył w tej chwili z Ziemi przez teleskop, widząc przeszłość sprzed 13,8 miliarda lat, nie byłby w stanie cię dostrzec, znajdujesz się bowiem o 380 tysięcy lat świetlnych dalej, poza ścianą wyznaczającą kres widzialnego wszechświata.

Inaczej mówiąc, brakuje jeszcze mniej więcej trzech minut do momentu, który można by określić jako narodziny czasu i przestrzeni.

Czas wciąż się cofa, rozpadają się już nawet jądra atomowe, co pozwala wszystkim kwarkom na opuszczenie neutronowych i protonowych więzień. A samo oddziaływanie jądrowe silne jest obezwładnione przez otaczającą je energię. Nawet najmocniejsze znane konstrukcje, czyli protony i neutrony, wpadają w szalony taniec, podczas którego oszołomione uderzeniami nośników oddziaływania silnego protony zamieniają się w neutrony i znikają z wszechświata.

A jaka panuje teraz temperatura?

100 miliardów stopni.

Wszędzie.

Ale to cię nie zatrzymuje.

Kontynuujesz swoją podróż. W miarę cofania się czasu, sekunda po sekundzie, wszystkie otaczające cię cząstki światła zamieniają się w pary materia–antymateria. Odbywa się to wszędzie. I wydaje się, że tej pierwszej jest tyle samo, co jej odpowiednika. Będąc w półtransie, zastanawiasz się, dlaczego to materia ostatecznie zdominowała wszechświat. Musiało zdarzyć się coś wyjątkowego, co zachwiało pierwotną równowagę. Zasłona tajemnicy może zostać uchylona już wkrótce, gdy unowocześniony i wzmocniony akcelerator cząstek LHC (włączony ponownie w CERN w lipcu 2015 roku) odsłoni przed nami kolejne tajemnice wszechświata.

Żałujesz, że nie możesz zostać tutaj trochę dłużej, aby ubiec CERN i samemu znaleźć rozwiązanie tej zagadki. Nie jesteś jednak teraz panem swojego losu, przemierzasz więc dalej wszechświat wypełniony zupą tak potężnej energii, że wszystko jest rozchwiane do ostateczności, grawitacja zagina i miażdży, a pola osiągają szalony poziom wzbudzenia.

W tym wypadku to nie masa gwiazdy, która poprzez zakrzywienia czasu i przestrzeni, wytwarzające grawitację, wpływa na każde istniejące pole, lecz energia całego wszechświata ściśniętego wewnątrz sfery o średnicy 100 lat świetlnych^[62]. Taka strefa, o środku w miejscu dzisiejszej Ziemi, zawierałaby nie więcej niż 5 tysięcy gwiazd. Na początku wszechświata miała ona energię zdolną stworzyć setki miliardów galaktyk, z których każda składałaby się z setek miliardów gwiazd. Że nie wspomnę o pyłe kosmicznym.

A ponieważ chcesz zobaczyć więcej, kontynuujesz swój lot pod prąd rzeki czasu.

Jesteś teraz oddalony o jedną milionową sekundy od swojego ostatecznego celu.

Temperatura osiągnęła 100 milionów miliardów stopni.

Wokół znajduje się tak dużo energii, że nawet gluony, strzegące więzień kwarków, nie są w stanie utrzymać w zamknięciu swoich więźniów. Neutrony się rozpadają. Znajdujące się teraz na wolności kwarki zaczynają reagować ze swoimi antycząstkami, zamieniając je w czystą energię.

Gdy się rozglądasz, zdajesz sobie sprawę, że całkowicie zanikła różnica między materią, światłem i energią.

Pola, które jak dotąd, podczas całej twojej podróży, były odrębnymi bytami, definiującymi za pomocą różnych sił wszystko, o czym tylko mógłbyś pomyśleć, teraz – zgodnie z oczekiwaniami – stapiają się w jedno pole. Pole elektroslabe jest aktywne. Gdy znika część starych cząstek, które do tej pory widziałeś wszędzie, w tym samym czasie zewsząd wyskakują nowe cząstki – cząstki fundamentalne należące do pola elektroslabego. Zanika pole Higgsa, a wraz z nim wszystkie obdarzone masą cząstki Higgsa, z których istnienia ludzkość tak długo nie zdawała sobie sprawy.

Cząstki, które w tej chwili widzisz, to bozony W i Z – nośniki sił pola elektroslabego.

A ponieważ wokół znajduje się bardzo duża ilość energii, trudna do wytworzenia na Ziemi, to są one wszędzie.

Wszechświat ma teraz temperaturę 100 miliardów miliardów stopni, a panujące prawa natury znacznie się różnią od tych, z którymi miałeś do czynienia przez całe życie.

Znikają kwarki i antykwarki.

Gluony są wchłaniane przez pole tła.

Znajdujesz się teraz o tysięczną część miliardowej miliardowej miliardowej części sekundy od czegoś, co jest ni mniej, ni więcej tylko domniemanym początkiem czasu i przestrzeni. To, co można by nazwać Początkiem wszystkiego, co stanie się później całym naszym widzialnym wszechświatem, jest

kurczącą się wciąż sferą o średnicy 10 metrów.

Wszystko, co się wewnątrz niej znajduje, jest w tej chwili podgrzane do niewiarygodnie wysokiej temperatury miliarda miliardów miliardów stopni. W miarę jej wzrostu wszystkie pola tworzące całą materię, z której jesteś zbudowany, łączą się w jedno wielkie zunifikowane pole.

Tej unifikacji nie podlega jedynie grawitacja.

Będąc tak blisko Początku, zaczynasz sądzić, że niewiele więcej może się jeszcze zdarzyć.

W istocie właśnie dotarłeś do czegoś, co zostało nazwane Wielkim Wybuchem: momentu, w którym energia zmagazynowana w wielkim zunifikowanym polu zaczyna się zamieniać w cząstki.

Co zadziwiające, chociaż fizyka doświadczalna nigdy jeszcze nie dotarła do takiego miejsca, twój robot wcale nie ma zamiaru się zatrzymać, tak jakby chciał dać ci do zrozumienia, że to nie tutaj rozpoczyna się historia wszechświata. I rzeczywiście – ku twojemu zaskoczeniu czas cofa się dalej, a cała materia i energia nagle znikają. Choć oczekiwałeś czegoś zupełnie innego, wszystko niewiarygodnie stygnie, a cała dostępna energia zamienia się w jeszcze inne pole, z którym nie miałeś do tej pory do czynienia, pole wypełnione własnymi cząstkami.

Uważa się, że to nowe pole – nazwane *polem inflatonowym* – jest odpowiedzialne za początkową fazę ekspansji wszechświata.

I znowu wszystko nagle przyspiesza, a cały wszechświat w niepojęty sposób zapada się w sobie, w niewyobrażalnym tempie wciągając cię do środka.

W czasie krótszym od tego, jaki światło zajęłoby przejście przez jądro atomu znajdującego się w twojej kuchni, cały wszechświat – sfera o średnicy 10 metrów – kurczy się do rozmiarów miliardy razy mniejszych od protonu.

Naukowcy nazwali ten okres epoką *kosmologicznej inflacji*^[63]. Właśnie ją przeżyłeś, cofając się w czasie. Dalej nie ma już materii, w ogóle nie ma już nic.

Zniknęły wszystkie znane ci pola.

Obowiązujące tu prawa natury w niczym nie przypominają tych, z którymi miałeś do czynienia w swoim życiu czy dotychczas w obecnej podróży.

Uważa się, że to gdzieś tutaj te trzy pola, czy też siły, które rządzą całą znaną materią i antymaterią dzisiejszego wszechświata, w tym też tą, z której jesteś zbudowany, złąły się z grawitacją.

Masz ochotę dalej cofać się w czasie, aż przed Wielki Wybuch, do samych narodzin naszego wszechświata, ale odkrywasz, że coś jest nie w porządku.

Pojęcia czasu i przestrzeni, do których byłeś do tej pory przyzwyczajony, nie mają już zastosowania.

Grawitacyjne zakrzywienie czasoprzestrzeni jest zbyt potężne. Efekty kwantowe są za silne.

Gdy ani czas, ani przestrzeń, ani czasoprzestrzeń nie istnieją, nie możesz się już dalej przemieszczać. W takich warunkach dalsza podróż nie ma sensu.

Nie dotarłeś do Początku i nie masz nawet pojęcia, jak można się tam dostać.

To bardzo frustrujące.

Zaczynasz żałować, że nie możesz spojrzeć na to wszystko z zewnątrz, bo jak dotąd zawsze znajdowałeś się wewnątrz wszechświata. Ale samo to słowo również wydaje się nie mieć sensu.

Właśnie dotarłeś do powierzchni jeszcze innej ściany – innej niż powierzchnia ostatniego rozproszenia, która jest granicą tego, co możemy zobaczyć z Ziemi. Tej ściany nie może pokonać nie tylko światło, ale także współczesna wiedza.

Dalej leży królestwo *grawitacji kwantowej*, gdzie wszystkie znane naturalne pola mogą być, na kwantowy sposób, scalone w jedno. Tam nasz wszechświat staje się tajemnicą zarówno dla współczesnej nauki, jak i wierzeń czy filozofii.

W pewnym sensie w tym miejscu kończy się nasza wiedza, a zaczynają czysto teoretyczne rozważania. Teleskopy zbierające światło nie pomogą nam w podróży poza powierzchnię ostatniego rozproszenia. Naukowcy zbudowali więc akceleratory cząstek pozwalające osiągać temperaturę i ciśnienie, jakich można się spodziewać poza tą powierzchnią. I przyniosło to efekt. Udało się sformułować nowe prawa i cofnąć się w czasie, choć w pośredni sposób. Detektory fal grawitacyjnych pozwalają nam teraz wykrywać zmarszczki rozchodzące się w samej czasoprzestrzeni. Fale te nie przejmują się żadnymi ścianami. Kusząca perspektywa wykrycia pewnego dnia sygnałów z odległej przeszłości (przez którą podróżowałeś), gdy takich pierwotnych fal musiało być emitowanych mnóstwo, nie jest już więc tylko czystą fantazją. Ale podróż poza granicę grawitacji kwantowej, do tak zwanej *ery Plancka*, to już zupełnie inna sprawa. Nikt nawet nie wie, jak myśleć o tym, co się tam znajduje. Nasz cały widzialny wszechświat był wtedy tak mały, że aby go sobie wyobrazić, potrzebujesz teorii słonia zamienionego w mrówkę – teorii, która uwzględniałaby prawa fizyki kwantowej, wraz ze skokami kwantowymi i wszystkim innym. Potrzebujesz grawitacji oraz efektów kwantowych, a także grawitacji kwantowej i jeszcze czegoś więcej. Ale my tego nie mamy, nie potrafimy ująć tego w żadne ramy. Nie możesz więc iść dalej, więcej – nie możesz nawet wnioskować, co znajduje się za ścianą Plancka w czasie czy w przestrzeni, ponieważ te dwa pojęcia nie mają tam sensu. Gdy naukowcy twierdzą, że nasz wszechświat ma 13,8 miliarda lat, mają na myśli to, że właśnie tyle czasu upłynęło od chwili, gdy – znane nam – czas i przestrzeń zaczęły mieć sens, gdy sens zaczęła mieć czasoprzestrzeń. A zdarzyło się to mniej więcej 380 tysięcy lat przed powierzchnią ostatniego rozproszenia, zanim jeszcze mikrofalowe promieniowanie tła wypełniło przestrzeń kosmiczną. Nastąpiło to jakąś milionową część miliardowej części miliardowej części miliarda przed Wielkim Wybuchem. Naukowcy mają więc prawo twierdzić, że

taki właśnie czas upłynął od początku czasu i przestrzeni. Lecz nie oznacza to, że wtedy zaczął się nasz wszechświat. Ani że tylko taki wszechświat istnieje i kiedykolwiek istniał.

*

Jesteś znowu w swoim salonie, na zniszczonej starej kanapie. Targają tobą tak silne emocje, że aż chwytasz się oparcia.

Podróżowałeś w czasie i przestrzeni. Widziałeś galaktyki, gwiazdy oraz pola. Obserwowałeś grawitację w akcji i dowiedziałeś się, jak jej wpływ na kształt i losy czasoprzestrzeni zależy od tego, co zawiera w sobie wszechświat.

Tak, dokonałeś tego wszystkiego.

A teraz zaczyna dziać się z tobą coś niezwykłego, tak jakbyś miał za chwilę dokonać przełomowego odkrycia...

Myśli kłębią ci się w głowie. Znowu czujesz się jak dziecko, które nagle zdało sobie sprawę, że świat da się zrozumieć i że w jakiś sposób, do pewnego stopnia, udało nam się go zrozumieć – a efekty zaprezentował ci komputer...

Dowiedziałeś się, że korzystając z ogólnej teorii Einsteina, można poznać całe dzieje wszechświata, jeśli tylko wiadomo, co w sobie zawierał.

Teraz już wiesz, że w skład wszechświata wchodzi pola kwantowe, które poruszają się, ewoluują i oddziałują na siebie wzajemnie. Obecnie są trzy takie pola, ale kiedyś, bardzo, bardzo dawno temu, było tylko jedno.

Wspomniane pola są rodzicami wszystkich cząstek i antycząstek naszego wszechświata. Dlatego właśnie wszystkie cząstki elementarne są dokładnie takie same, niezależnie od tego, czy znajdują się w twoim ciele czy w innej galaktyce, w teraźniejszości czy w przeszłości.

To wszystko może oznaczać tylko jedno: musiałeś chyba stać się bogiem.

Tak.

Bogiem.

Wiesz o grawitacji.

Wiesz, co znajduje się wewnątrz wszechświata.

A gdy powiążesz to z sobą, wiesz wszystko.

Znasz historię wszechświata.

Jego przeszłość, teraźniejszość i przyszłość.

Jesteś bogiem, niemal z definicji.

Twarz ci promienieje, chwytasz telefon i wybierasz numer jedynej osoby, która przychodzi ci do głowy.

– Kto mówi?

Głos w słuchawce jest przepojony podejrzliwością. To twoja cioteczna babcia.

– To ja!

– Och! Jak się masz, kochany? Co u ciebie słyhać? Czujesz się już lepiej?

– Lepiej? Czuję się fantastycznie! – wykrzykujesz.

– Miło mi to słyszeć. Czy stało się coś szczególnego?

– Podróżowałem, poznawałem wszechświat i... Wiem, że to brzmi głupio, ale... Wyobraź sobie, że za pomocą samej wyobraźni potrafię stworzyć i przekształcać wszechświat taki jak nasz. Tak musi czuć się bóg.

Twoja cioteczna babcia milczy przez dłuższą chwilę.

– Rozumiem – mówi lakonicznie.

– Co rozumiesz? – pytasz, trochę zawiedziony jej brakiem entuzjazmu.

– Nic, nic. No cóż, po prostu ja już to słyszałam.

– Słyszałaś?

– Ludzie lubią bawić się w bogów, prawda? Pamiętasz moje dobre przyjaciółki Kati i Gabi?

– Nie, ale posłuchaj, ja...

– Mój drogi, pozwól mi dokończyć. No więc wszystkie trzy poszłyśmy

w ostatni weekend na strzelnicę. Wiesz, Kati i Gabi bardzo lubią strzelać z łuku i dowiedziałam się od nich ciekawej rzeczy. Jeśli mamy pewną podstawową wiedzę o funkcjonowaniu naszego świata, możemy określić miejsce upadku strzały, znając miejsce i sposób jej wystrzelenia. Fascynujące, prawda?

– Z pewnością, ciociu. To balistyka, prawa Newtona.

– Naprawdę? No cóż, dobrze wiedzieć. I działają w całym wszechświecie?

– Słucham?

– Czy masz coś, od czego można zacząć? Czy masz coś, do czego mógłbyś zastosować tę twoją balistykę czy inne prawa natury, które podobno odkryłeś?

– Ja... Masz na myśli jakiś rodzaj stanu początkowego?

– Nie wiem. Czy chcesz, żebym poprosiła Kati i Gabi, by zadzwoniły do ciebie w tej sprawie? One naprawdę dobrze znają się na takich rzeczach.

– Nie, nie, nie! Nie trzeba...

– Dobrze, dobrze, nie denerwuj się. Zadzwonisz do mnie, gdy już znajdziesz ten swój stan początkowy?

– Ja... Tak, na pewno.

– Dziękuję, że się odezwałeś, kochaniutki. Jesteś słodki. Pa!

I rozłącza się.

Gdy w osłupieniu wpatrujesz się w telefon, pozwól mi zwrócić uwagę, że – jak już pewnie sam zauważyłeś – twoja cioteczna babcia ma rację. Aby cokolwiek zrozumieć z wszechświata, potrzebujesz dwóch danych. Pierwszą jest prawo albo zestaw praw, a drugą stan początkowy.

Gdybyśmy chcieli poznać losy całego wszechświata, od samego początku, stosując dotychczasowy sposób rozumowania, nie wystarczyłyby nam do tego celu wszystkie prawa świata.

Potrzebny byłby jeszcze jakiś trwały stan początkowy, do którego mógłbyś

zastosować prawa ewolucji. Ale ty po prostu go nie masz. Gorzej: czy możesz być pewien, że znane ci prawa rządzące grawitacją i polami kwantowymi obowiązywały również w samych początkach naszego wszechświata?

Wzdychając, siadasz znowu na kanapie i chwytasz kubek z kawą, czując, że wciąż brakuje ci jakichś ważnych danych...

[62] Jeśli zastanawiasz się (i słusznie), dlaczego wszechświat ma średnicę 100 lat świetlnych, a nie kilku minut świetlnych, odpowiedź na to pytanie znajdziesz w szóstej części książki.

[63] O inflacji dowiesz się więcej z siódmej części książki.

ZAGINIONE PRZESZŁOŚCI SĄ WSZĘDZIE

Czas.

Przestrzeń.

Czasoprzestrzeń.

Czego jeszcze o nich nie wiesz, a powinieneś się dowiedzieć?

Cząstki. Nośniki sił.

Pola.

Grawitacja i jej fale.

Czy nie doświadczyłeś już wszystkiego?

Skąd więc twój niepokój?

Otwierasz oczy.

Z wielkim zaskoczeniem odkrywasz, że nie jesteś już w domu, ale siedzisz w ciasnym fotelu, w dziwnie znajomym samolocie.

A konkretnie, na miejscu 13A.

Inni pasażerowie stoją jeden za drugim w przejściu między fotelami, gotowi do wyjścia.

Zdezorientowany wyglądasz na zewnątrz przez małe okienko, ale nie ma wątpliwości: naprawdę znalazłeś się z powrotem wewnątrz swojego podróżującego w czasie samolotu. Właśnie wylądował, w 2416 roku. Trudno ci racjonalnie myśleć, wstajesz więc i w ślad za innymi pasażerami wysiadasz z maszyny. Teraz przemierzasz długie, wydające się nie mieć końca przeszklone korytarze z widokiem na morze.

Dlaczego znów znalazłeś się w tym miejscu?

Przed chwilą byłeś w domu. Wróciłeś z podróży przez znany nam wszechświat i właśnie zadzwoniłeś do swojej ciotecznej babci. Przypominasz sobie, że istnieje kula o promieniu 13,8 miliarda lat świetlnych i środkiem znajdującym się na Ziemi, kula, która zawiera w sobie wszystkie warianty przeszłości ludzkiej rasy możliwe do odtworzenia za pomocą światła. Dalej, poza tą sferą, przez 380 tysięcy lat istniała jeszcze jedna warstwa rzeczywistości. A co znajduje się za nią? Tego nie wie nikt.

Gdy tak wędrujesz przez kolejne korytarze, a Słońce z roku 2416 oświetla Ziemię z przyszłości w ciągu 8 minut i 20 sekund, nagle ogarnia cię dotkliwe uczucie samotności.

Jaki to wszystko ma sens?

Jak nasz wszechświat może być tak duży, skoro my sami jesteśmy tacy mali? Czy jesteśmy na zawsze skazani na zagubienie w czasie i przestrzeni – i wynikającą z tej świadomości udrękę? A może ludzkość jest na początku długiej technologicznej podróży, dzięki której pewnego dnia odległe światy staną się nam bliższe? Czy właśnie to się tutaj dzieje? Czy zaraz zobaczysz jeden z wielu możliwych wariantów przyszłości naszej planety – przyszłości, w której nie będzie różnicy między dala a bliskością, w której przeszłości i przyszłości będą dla naszych potomków jedynie kierunkami podróży, jakie mogą sobie wybrać?

Podróże w czasie są od wieków marzeniem ludzi, ale jeszcze nie słyszałeś o kimś, kto rzeczywiście odbyłby taką podróż.

Kiedyś – w samo południe 28 czerwca 2009 roku – Stephen Hawking zorganizował imprezę dla podróżników w czasie. Aby mieć pewność, że nie pojawi się na niej nikt przypadkowy, wysłał zaproszenia dopiero po jej zakończeniu. Ale na przyjęcie nikt nie przyszedł.

A co ma dać tobie ta nowa podróż – tobie, małej istocie zagubionej w bezmiarze przestrzeni i czasu?

W końcu dochodzisz szklanym korytarzem do holu wielkiego portu lotniczego, który raczej powinien się nazywać portem dla osób podróżujących w czasie. Setki ludzi stoją w kolejce, aby przejść przez coś, co wygląda na kontrolę celną. W holu jest bardzo jasno. Światło wpada do wnętrza przez gigantyczne okna, za którymi widać wyrastające z morza drapacze chmur. Gdy dołączasz do innych pasażerów i stajesz w jednej z kolejek, nagle ogarnia cię obawa. Być może teraz wcale nie śniesz, może właśnie to jest rzeczywistością, a snem był twój pobyt w domu. Nic dziwnego, że zaczynasz się niepokoić.

Jeśli to jest rzeczywistość, to co się stało z twoją przeszłością?

Jeśli naprawdę podróżowałeś przez 400 lat, to czy twoja przeszłość gdzieś tam jeszcze istnieje? Czy gdybyś zechciał, mógłbyś wrócić do swojego minionego życia czy też odeszło ono już na zawsze? A twoi drodzy przyjaciele, którzy wysłali cię z wyspy do domu, już od dawna nie żyją? Zaczyna cię dręczyć myśl, że tak właśnie jest: ścisnąłeś ich czas w przeszłości, żeby znaleźć się tutaj.

Zrozumienie zależności między czasem a przestrzenią może sprawiać kłopot. Trudno ci wyobrazić sobie sytuację, w której jedna osoba może jednocześnie przeżywać kilka wariantów życia w tym samym wszechświecie i mieć tego świadomość – mimo że pola raczej zezwalają na coś takiego jedynie cząstkom, które nie są przez nikogo obserwowane.

To, co jest możliwe w wypadku pojedynczych cząstek, wydaje się nieosiągalne dla zbioru miliardów miliardów z nich, czyli ludzkiego ciała. Rozmyślasz o tym z pewnym smutkiem i nagle robi ci się ciężko na sercu – prawie fizycznie czujesz nieprzekraczalną przepaść dzielącą cię od ludzi, których kochałeś.

W tym, co do tej pory zobaczyłeś, jest jednak pewna pociecha. Życie twoich najbliższych stało się serią obrazów poruszających się w czasoprzestrzeni. Całe światło i inne cząstki bezmasowe, które kiedyś odbiły się od ich ciał lub w jakikolwiek sposób z nimi oddziaływały, stworzyły wspomnienie ich istnienia.

Jest to pewien obraz, rodzaj powłoki przemieszczającej się z prędkością światła od Ziemi ku odległemu nieznanemu, takie małe fale na niewidzialnych, lecz wszechobecnych polach. A ponieważ przeniosłeś się o 400 lat w przyszłość, to widzialne wspomnienie życia każdego z nich omywa teraz planety i gwiazdy odległe o 400 lat świetlnych od naszej planety. Tak długo, jak będzie istniał nasz wszechświat, ich obraz będzie się coraz bardziej oddalał od Ziemi, wpadając być może po drodze do urządzeń zbierających światło, postawionych gdzieś przez jakichś obcych.

A co z materią, z której jesteście zbudowani? Co z atomami, które narodziły się miliardy lat temu w jądrach dawno nieistniejących gwiazd, a potem uformowały ciała twoich przyjaciół i najbliższych? I z tymi wszystkimi bilionami bilionów cząstek rozrzuconych po całym świecie... W tej chwili możesz nawet znajdować się w pobliżu jednej z nich. Tak czy inaczej, wszystkie cząstki i tak są jedną.

Przychodzi ci do głowy refleksja, że może w ostatecznym rozrachunku wcale nie jesteście tacy mali. Nasz obraz istnieje i zawsze będzie istniał, a wspomnienie naszego życia będzie wiecznie podróżowało wśród gwiazd. Ta myśl podnosi na duchu.

Czas, przestrzeń oraz pola czynią z nas fragment niezwykle rozległej rzeczywistości.

Rozpościerasz ramiona, aby poczuć pola, z jakich się składasz, i podnosisz wysoko do góry ręce, by zobaczyć, jak wspinają się po niewidzialnym zakrzywieniu, które Ziemia stworzyła w otaczającej ją czasoprzestrzeni. Zaczynasz wreszcie rozumieć, w jaki sposób te wszystkie przeszłości, teraźniejszości i przyszłości mogą być powiązane.

– Proszę pana, czy wszystko w porządku? – niespodziewanie pyta cię umundurowana kobieta.

Wyrwany z zadumy, czujesz zakłopotanie, że wcześniej jej nie dostrzegłeś.

Niepewnym głosem odpowiadasz, że czujesz się świetnie, ale... Psiakość, niektóre rzeczy chyba nigdy się nie zmienią – na widok urzędnika celnego nawet w 2416 roku człowiek odruchowo kurczy się w sobie.

– Z jakich czasów pan przybywa? – dopytuje się kobieta.

– Z początku dwudziestego pierwszego wieku – odpowiadasz tonem mającym sprawiać wrażenie, że tego rodzaju podróże są dla ciebie chlebem powszednim.

– Proszę za mną.

Ton kobiety nie budzi wątpliwości, że jest to polecenie, a nie prośba.

Wychodzisz z kolejki i podążasz przez hol za urzędniczką, obrzucany pełnymi wyrzutem spojrzeniami innych pasażerów.

Gdy przed urzędniczką rozsuwają się drzwi, pytasz, o co chodzi.

– Proszę wejść do środka – słyszysz w odpowiedzi.

Wewnątrz za dużym biurkiem siedzi kolejny urzędnik (wygląda raczej wrogo). Nad jego głową wisi napis: „Oddział psychiatryczny dla podróżujących w czasie – wszelkie wykroczenia przeciw personelowi będą ścigane z urzędu”.

Wyraźnie niezadowolony z przybycia kolejnego pacjenta urzędnik niecierpliwie pokazuje, abyś usiadł.

Rozpaczliwie rozglądasz się dookoła, czując, że zaczynasz się pocić. Pomieszczenie jest puste. Tylko biurko, nieprzyjazny urzędnik, napis i... Znajoma żółta rura wystająca z boku biurka. Całe twoje zdenerwowanie znika – rozpoznajesz swojego dawnego kompana od rzucania cząstkami.

Czy to kolejna symulacja? Jeśli tak, to z pewnością sprawiła, że teraz bardziej doceniasz swoje miejsce we wszechświecie. Stworzyła przy tym okazję do pogłębionej refleksji o naturze życia i śmierci.

Koniec końców, interpretacja rzeczywistości to sprawa indywidualna – ani

superkomputer, ani ja nie powinniśmy narzucać ci naszych opinii. Masz prawo do własnych poglądów. Muszę cię jednak ostrzec, że do tej pory zaledwie prześlizgnąłeś się po dwóch teoriach służących naukowcom do opisywania naszego wszechświata: kwantowej teorii pola oraz teorii grawitacji Einsteina^[64]. Obie sprawiają wrażenie spójnych i przejrzystych, lecz powinieneś wiedzieć, że wiele zawartych w nich koncepcji budzi wątpliwości.

Będę teraz z tobą całkowicie szczerzy: tak naprawdę nikt jeszcze nie zrozumiał wszechświata. Dlatego pewnie tak bardzo nas cieszy, gdy udaje się znaleźć coś, czego istnienie było tylko przewidziane teoretycznie, na przykład bozon Higgsa czy fale grawitacyjne.

Nawet otaczająca cię rzeczywistość – tu i teraz, czy znajdujesz się na kanapie, czy na tropikalnej wyspie – owiana jest tajemnicą. Jedno jest pewne: wszystkie istotne tajemnice, te wokół ciebie, wewnątrz ciebie czy te znajdujące się daleko, po drugiej stronie Wielkiego Wybuchu, ostatecznie prowadzą do unifikacji pól kwantowych z teorią kwantowej grawitacji.

To prawda, że taka teoria Wszystkiego jeszcze nie powstała, ale przynajmniej odkryto już jedną z właściwości kwantowej grawitacji. Albo, jeśli wolisz, wskazówkę. Zachęcający trop prowadzący do tego, co znajduje się poza ścianą Plancka.

To dobra wiadomość.

Zła wiadomość jest taka, że trop ten prowadzi przez jedyne znane nam okno, dające nadzieję, że pewnego dnia będziemy mogli podróżować, choćby mentalnie, poza początek czasoprzestrzeni. I właśnie dlatego robot przybył po ciebie do portu dla osób podróżujących w czasie. Gdy pomieszczenie, w którym przebywasz, znika, a przed tobą znów pojawia się mroczny widok głębokiej przestrzeni kosmicznej, próbujesz zapytać o cel podróży, lecz robot przerywa ci w pół zdania.

– Zabieram cię do czarnej dziury – oznajmia maszyna.

Hm, na samym początku swoich kosmicznych przygód podróżowałeś już do jednej z czarnych dziur. Czy coś cię podczas tej pierwszej wizyty ominęło?

Tym razem odpowiedź jest bardzo prosta.

Nie dotarłeś wystarczająco blisko.

[64] Te dwie teorie obejmują również szczególną teorię względności Einsteina, dotyczącą (szybko) poruszających się obiektów.

CZEŚĆ VI

**NIEOCZEKIWANE
ZAGADKI**

WSZECHŚWIAT

Jeśli się zastanowić, jest coś szczególnego we wszechświecie, którego jesteśmy częścią. Jego nazwa w języku angielskim – *universe* (pochodząca od łac. *universum*) – zawiera dwa człony: *uni* („jeden”) i *verse* („zamieniony w”), może więc być odczytana jako „zamieniony w jeden (jedno)”, co od razu zwraca uwagę na pewną osobliwość naszego kosmicznego domu.

Każdy eksperyment przeprowadzony wewnątrz naszego wszechświata może być wielokrotnie powtarzany. Chcesz sprawdzić na Ziemi prawo grawitacji Newtona? Wystrzel strzałę. Nie jesteś pewien, czy wszystko przebiegło prawidłowo? Wystrzel kolejną. I następną. Jeśli będziesz cierpliwy, zorientujesz się, że znając początkowe położenie strzały, kąt, pod jakim została wystrzelona, oraz jej prędkość, będziesz w stanie przewidzieć, gdzie wyląduje. Tym zajmuje się balistyka. I to się sprawdza. W przeciwnym razie już dawno przestano by używać łuków i strzał, a Anglia należałaby do Francji.

Udowodniono, że znając odpowiednie prawo oraz stan początkowy, można przewidzieć, gdzie wyląduje strzała, i w ten sposób obronić cały kraj.

W wypadku wszechświata jako całości jest to trochę bardziej skomplikowane.

Nawet gdybyś miał do dyspozycji prawo wyjaśniające wszystko, które obowiązywałoby wszędzie, to jak je stosować? Jak mógłbyś go użyć, żeby się dowiedzieć, w jaki sposób wszechświat stał się taki, jaki jest teraz? Potrzebowałbyś do tego wiedzy o jego stanie początkowym. Ale jej nie masz.

Mimo to możesz spróbować przechytryć naturę. Gdybyś dzisiaj zaczął cofać

czas, być może dotarłbyś do tego początkowego zdarzenia, które miało miejsce dawno temu. To właśnie zrobili naukowcy – i ty w piątej części książki. Dotarliście do ściany Plancka. To całkiem dobry początek, gdyż właśnie tam zaczęły się czas i przestrzeń, jakie znamy.

Nie przesłania to jednak frustrującego faktu, że – w odróżnieniu od doświadczenia ze strzałami – do eksperymentowania masz tylko jeden wszechświat. Nie będzie ci dana szansa stworzenia innego, z odmiennymi warunkami początkowymi, i sprawdzenia, co z tego wyniknie. W każdym razie nie w laboratorium.

A jeśli nasz wszechświat nie jest jedyny? A gdyby był częścią jakiegoś rodzaju wieloświata, odmiennego od tego, z którym zapoznałeś się pod koniec drugiej części książki? Czy nasza rzeczywistość mogłaby być jedną z niezliczonych możliwych rzeczywistości, z których każda miałaby inny początek, może nawet odmienne prawo, a w konsekwencji całkiem inną teraźniejszość?

Koncepcja takiego wieloświata to kwestia, z którą wkrótce się zmierzysz, bo właśnie za jej pomocą współczesna fizyka teoretyczna próbuje rozwikłać tajemnice, z którymi będziesz miał do czynienia w tej części książki.

Część ta będzie się trochę różniła od poprzednich. W częściach pierwszej i drugiej podróżowałeś przez świat bardzo dużych rozmiarów i zapoznałeś się z grawitacją. W części trzeciej zobaczyłeś, jak wygląda nasza rzeczywistość, gdy bardzo szybko się poruszasz, a potem w części czwartej wkroczyłeś do królestwa bardzo małych rozmiarów. Podsumowując, do tej pory zajmowałeś się względnością czasu i przestrzeni oraz fizyką kwantową. Ale nie spotkałeś się jeszcze z tym, żeby grawitacja łączyła się z zagadnieniami kwantowymi. A to właśnie wkrótce cię czeka.

W tym celu będziesz musiał trochę poćwiczyć swój umysł, w podobny sposób, jak rozciągasz swoje ciało.

Połączenie grawitacji z fizyką kwantową oznacza skojarzenie bardzo dużych rozmiarów z bardzo małymi. Twój umysł będzie więc musiał się nauczyć, w jaki sposób przeskakiwać, tam i z powrotem, między takimi rozmiarami.

Przy tej okazji dowiesz się, co szwankuje w teoriach, które już poznałeś.

Gdy już będziemy mieli to za sobą, wraz ze swoim robotem przewodnikiem wyruszysz w podróż do miejsca, gdzie odczuwalna jest zarówno grawitacja, jak i efekty kwantowe.

Na razie przyjrzyjmy się wspólnie – tylko ty i ja – zagadkom współczesnej nauki.

Można uznać, że w fizyce istnieją trzy rodzaje zagadek.

Pierwszy rodzaj to zagadki ściśle związane z samymi teoriami, czyli teoretyczne. Drugi rodzaj dotyczy obserwacji i eksperymentów – zagadki te zwykle, choć nie zawsze, są siłą napędową dalszych badań. Trzeci rodzaj zagadek pojawia się, kiedy nikt już nic nie rozumie. Czarne dziury oraz fizyka dotycząca okresu przed czasoprzestrzenią należą do tych wszystkich trzech rodzajów. Są one zarówno mostami, jak i przeszkodami na drodze prowadzącej nas do Świętego Graala współczesnych badań, czyli teorii unifikującej świat kwantowy z odkrytymi przez Einsteina dynamicznymi aspektami czasoprzestrzeni. Dlatego właśnie są tak ekscytujące.

I dlatego robot ma wielką chęć zabrać cię w pobliże czarnej dziury.

Ale dlaczego do czarnej dziury, a nie do początków wszechświata? Zaraz dostaniesz odpowiedź.

Między czarną dziurą a narodzinami wszechświata istnieją pewne podobieństwa. W obu wypadkach ogromna ilość energii zawarta jest w dość małej objętości. W obu z nich coś bardzo dużego kurczy się do bardzo małych rozmiarów. I wreszcie, w żadnym z nich nie można zignorować grawitacji ani efektów kwantowych.

W tym sensie czarne dziury oraz początek naszego wszechświata wyglądają bardzo podobnie.

Nikt nie może oglądać wszechświata z zewnątrz, to jasne. W warunkach doświadczalnych, nawet znając prawo rządzące zachowaniem wszystkiego, co istnieje, widzialnego i niewidzialnego, nie moglibyśmy sprawdzić, czy różne stany początkowe prowadzą do otrzymania odmiennych modeli ewolucji naszego wszechświata jako całości. Nie potrafimy odtworzyć Wielkiego Wybuchu w laboratorium, a na nocnym niebie nie pojawiają się nowe wszechświaty, które moglibyśmy zbadać.

I właśnie dlatego czarne dziury są dla nas tak przydatne.

Przede wszystkim jest ich mnóstwo. Wybierzmy jakąkolwiek galaktykę wszechświata i prawdopodobnie w jej centrum znajdziemy supermasywną czarną dziurę. W różnych miejscach galaktyki mogą też licznie występować mniejsze czarne dziury, o masie równej kilku masom Słońca. Największa czarna dziura odkryta do 2016 roku ma masę 23 miliardy razy większą od masy naszej gwiazdy. Leży w odległości jakichś 12 miliardów lat świetlnych stąd, w galaktyce, która była bardzo młoda, gdy wysyłała światło widziane przez nas teraz. Na drugim końcu skali mamy najmniejsze czarne dziury, które teoretycznie mogą mieć nawet rozmiary tak zwanej *długości Plancka*, przy której trzeba brać pod uwagę zarówno zjawiska grawitacyjne, jak i kwantowe. Długość Plancka wynosi 16 milionowych części miliardowej części miliardowej części milimetra. Jak widać, czarne dziury mogą mieć właściwie dowolny rozmiar.

Czarne dziury i bardzo wczesny wszechświat mają pewne ważne cechy wspólne. Istnieje w nich granica, poza którą nie można rozpatrywać grawitacji bez uwzględniania efektów kwantowych. Tą granicą jest ściana Plancka, którą widziałeś, wracając z podróży w czasie poza Wielki Wybuch –

opisanej w poprzedniej części. Kiedy wszechświat się rodził, ta ściana była wszędzie. W wypadku czarnych dziur jednak granica ta jest zwykle dla nas niewidoczna. Kryje się za bramą, która się otwiera tylko w jedną stronę – za *horyzontem zdarzeń*. Przejdziesz przez taką bramę pod koniec tej części książki.

Wycieczka ta będzie kluczem otwierającym ci drzwi do części siódmej, w której wyruszysz na ostatnią wycieczkę – będziesz podróżował przez wszechświat w ujęciu najpopularniejszych współczesnych teorii. Prezentują one wizję Wszystkiego, która jest próbą zunifikowania przestrzeni, czasu oraz pól kwantowych. Teorie te – zwane *teoriami strun* – obejmują wieloświaty, wszechświaty równoległe, dodatkowe wymiary i co tylko chcesz. Są tak zwariowane, że mógłbyś zacząć podejrzewać naukowców o utratę zmysłów.

Gdyby nie to, że oni rozwiązują te wszystkie zagadki.

Po tym, co do tej pory przeszedłeś, możesz się uśmiechnąć z niedowierzaniem, gdy usłyszysz, że fizyka XX wieku jest jeszcze daleka od odkrycia wszystkiego. W istocie zostawiła nas z obrazem naszego wszechświata, który w większości składa się z mrocznych niewiadomych. Nie powinieneś jednak czuć się z tego powodu rozczarowany. Te niewiadome są (zasłoniętymi) oknami wychodzącymi na piękny ogród – naukę przyszłości. A tak między nami, widząc, jak bardzo wiedza ludzkości praktycznie we wszystkich dziedzinach poszerzyła się w ciągu niecałego stulecia i jakie zaskakujące pomysły kielkują w głowach fizyków teoretyków, nie powinniśmy mieć wątpliwości, że czeka nas jeszcze wiele myślowych rewolucji. Niektóre z nich mogą nawet być już dojrzałe lub gotowe wypączkować lada dzień, brakuje im tylko odpowiednio zaprojektowanego doświadczenia. Jedynie czekają, żeby kształtować nasze wyobrażenia, obiecując nam jakąś nową, dziwną, magiczną rzeczywistość.

Posłuchaj, co cię jeszcze czeka.

Najpierw przyjrzesz się ponownie polom kwantowym wypełniającym nasz

wszechświat i zobaczysz, że kompletnie nie mają sensu, mimo że do tej pory mówiłem ci coś innego. Potem zajmiesz się znowu wszystkimi zrodzonymi z tych pól cząstkami, umieszczając je w kontekście kwantowej grawitacji, i zobaczysz, że to też nie ma najmniejszego sensu. Następnie spotkasz kota, który będzie jednocześnie żywy i martwy – i przestaniesz już w ogóle cokolwiek rozumieć.

Podbudowany tymi sukcesami usłyszysz o wszechświatach równoległych, wyrastających z naszego jak gałęzie z drzewa.

Gdy się przekonasz, że kwantowy świat zupełnie nie pasuje do naszych zdroworozsądkowych wyobrażeń o rzeczywistości, przeniesiesz się na bardziej znajome terytorium. Chcąc w końcu zlikwidować lukę istniejącą pomiędzy światami bardzo małych i bardzo dużych rozmiarów, wrócisz do obrazu w dużej skali. Szukając zaś świeżego spojrzenia na teorię Einsteina, ponownie przyjrzyj się galaktykom i rozszerzaniu się wszechświata, w nadziei że wszystko to jest dobrze wyjaśnione. Co zabawne, okaże się, że wcale tak nie jest. Przekonasz się, że większej części naszego wszechświata nie tylko nie jesteśmy w stanie obserwować przez teleskopy, ale w ogóle nic o niej nie wiemy. Gdziekolwiek spojrzysz, wszechświat będzie pełen zagadek. I dotyczy to zarówno bardzo dużej, jak i bardzo małej skali.

Czy tego chcesz, czy nie, będziesz musiał pogodzić się z faktem, że Einsteińska teoria zakrzywionej czasoprzestrzeni – chociaż jest i zawsze będzie potężna – nie jest kompletna, a nawet sama przewiduje swoje załamanie, dlatego nie może być teorią Wszystkiego. W naszym wszechświecie istnieją miejsca, gdzie nie może być stosowana. Oznacza to, że jeśli mamy zamiar wszystko wyjaśnić, musimy znaleźć jakąś wszechstronniejszą koncepcję.

Gdzie teoria Einsteina zawodzi?

Pewnie już się domyśliłeś: wewnątrz czarnych dziur oraz przed Wielkim Wybuchem, gdzieś na drodze do ściany Plancka.

Do tej pory zgłębiałeś najlepsze teorie, jakie ludzkość wymyśliła, aby wyjaśnić otaczający nas świat. W praktyce oznacza to, że wiesz teraz o wszechświecie tyle, ile wie zdolny absolwent najlepszych ziemskich uczelni. Oczywiście nie z merytorycznego punktu widzenia, ale pod względem znajomości różnych koncepcji. Powinno to wystarczyć, żebyś mógł brylować na każdym przyjęciu.

Nadszedł czas, abyś poszedł jeszcze dalej i zrozumiał, co w tym wszystkim szwankuje. A potem będziesz nie tylko brylował, ale także wprawiał swoich przyjaciół w pełen niedowierzania podziw.

KWANTOWE NIESKOŃCZONOŚCI

Czy pamiętasz moment, w którym zobaczyłeś, jak naprawdę wygląda próżnia przestrzeni kosmicznej? To, co dotychczas wydawało ci się jedynie pustką, zamieniło się w dzikie terytorium falujących pól. Falowania te stały się cząstkami, które wyskakiwały zewsząd, z różnych próżni pól.

Jeśli w świecie kwantowym coś jest możliwe, to się to zdarza. Zapomnij zatem na chwilę o swoim normalnym rozmiarze oraz o grawitacji i wyobraź sobie swoją miniaturkę siedzącą na maleńkim krzeselku i zanurzoną w kwantowych polach świata bardzo małych rozmiarów. Jesteś jak sędzia obserwujący dwa elektrony oddziałujące na siebie, tak jakby to był mecz tenisa. Graczami są tu elektrony, a piłkami – wirtualne fotony, które pomiędzy nimi tańczą.

Jeden elektron masz po swojej prawej stronie, drugi znajduje się po lewej. Są identyczne i oba mają ten sam ładunek elektryczny. Mogą się więc, podobnie jak magnesy, odpychać. Zapowiada się zabawa. Elektrony są na razie bardzo daleko, poruszają się w polu elektromagnetycznym, z którego się narodziły. Zbliżają się do siebie i prawie się zderzają, oddziałują na siebie, bawią się. Wyskakujące z pola elektromagnetycznego wirtualne fotony zmieniają tor lotu elektronów, rozpraszając je. Gra skończyła się tak szybko, jak się zaczęła. Elektrony i wirtualne fotony zniknęły.

Czekasz na następny mecz.

Zbliża się kolejna para elektronów.

Tym razem bardziej skupiasz uwagę na wirtualnych fotonach, a nie na elektronach. Wyostrzasz wzrok.

Elektrony się poruszają, zbliżają do siebie i... hop! – pojawiają się wirtualne fotony. Żeby nic ci nie umknęło, spowalniasz czas.

Elektrony zaraz zmieniają tor lotu.

Wirtualne fotony są na swoich miejscach.

Coś jednak się dzieje.

Jeden z wirtualnych fotonów, które pojawiły się pomiędzy dwoma elektronami – tenisistami, samoistnie uległ dziwnej przemianie.

Stał się parą typu cząstka–antycząstka: elektronem i pozytonem.

Rzucasz szybkie spojrzenie na elektrony, ciekaw, jak poradzą sobie bez wirtualnej perełki światła. Wydaje się, że zupełnie nie przejmują się jej utratą. Patrzysz więc znów na dopiero co powstałą parę i... To już nie jest para, ale dwie i pół cząstki.

Zamykasz maleńkie oczka i pocierasz powieki.

Co to za gra?

Otwierasz oczy.

Pomiędzy dwoma elektronami pojawiły się tysiące par cząstek i antycząstek.

Mrugasz oczami.

Są ich setki milionów.

A już po chwili tysiące miliardów.

Mrugasz jeszcze raz i... Po cząstkach nie ma ani śladu.

Sprawdzasz, co się dzieje z elektronami.

Rozproszyły się. Podobnie jak tamci gracze. Zdumiewające.

To, czego byłeś świadkiem, jest konsekwencją praw mechaniki kwantowej, które obowiązują w świecie bardzo małych rozmiarów: jeśli coś jest możliwe, to się zdarza. A dla wirtualnych fotonów, skąpanych w energii poruszających się elektronów, bardzo prawdopodobnym scenariuszem jest przekształcanie się

w wirtualne pary cząstek–antycząstek, które następnie mogą się zmieniać w kolejne i kolejne pary cząstek–antycząstek albo anihilować się i znów stawać się światłem, które z kolei może...

Chyba już rozumiesz.

Nawet jeśli oddziałują na siebie tylko dwa małe elektrony, to możliwości pojawienia się w tej sytuacji wirtualnych par są nieskończone. Dlatego mamy do czynienia z nieskończoną ilością takich par.

Rozmyślasz o tym, wciąż siedząc wygodnie na małym stołku sędziowskim i czekając na kolejny mecz – i kolejne fajerwerki. Ale nie pojawiają się żadni nowi gracze, żadne elektrony. Ponieważ jednak wiesz, czego szukać, dostrzegasz wyłaniające się z nicości – choć wolniej niż poprzednio – wirtualne pary cząstek–antycząstek. Wyglądają jak wyskakujące z nienacka tenisowe piłki i antypiłki – tyle że w pobliżu nie ma żadnych tenisistów.

Powstawanie takich par to *fluktuacje kwantowe próżni*.

Dochodzi do nich nieustannie, a gdy tylko jest jakaś dostępna energia do wykorzystania – na przykład energia kinetyczna nadlatujących elektronów – stają się bardziej intensywne. Tuż przed tobą pojawia się samoistnie para elektron–pozyton, która anihiluje się, przechodząc w foton^[65], a ten z kolei samorzutnie zamienia się w inną parę, kwark–antykwar. Następnie antykwar emituje gluon, który z kolei...

Aby otrzymać prawidłowy obraz naszego świata, musimy wszystkie te nieskończone możliwości powstawania cząstek–antycząstek brać pod uwagę przez cały czas i w każdym miejscu, nawet w próżni, gdzie wydaje się, że nie ma nic.

Co za bałagan.

Bałagan o katastrofalnych konsekwencjach: możliwości jest tak wiele (faktycznie to nieskończona liczba) i są tak istotne, że w każdym punkcie naszego wszechświata powinna znajdować się nieskończona ilość energii. Nawet tam,

gdzie nie ma nic innego, czyli w próżni. Oczywiście nie jest tak, w przeciwnym bowiem razie nasz wszechświat w każdym punkcie by się teraz zapadał z powodu ogromnego wpływu grawitacji na czasoprzestrzeń. Coś się więc w tym naszym obrazie nie zgadza.

Aby poradzić sobie z tym dokuczliwym problemem, teoretycy zajmujący się zagadnieniami pól kwantowych wymyślili bardzo sprytną sztuczkę: postanowili po prostu zapomnieć o grawitacji i nie brać jej w swych rozważaniach pod uwagę. A gdy tak zrobili, pozbyli się tym samym wartości nieskończonych. Następnie przeprowadzili obliczenia na tym wszystkim, co pozostało i... Czary-mary... To zadziałało!

Holenderski fizyk teoretyk Gerard 't Hooft jest tylko jednym z wielu ojców tej matematycznej operacji. W 1999 roku całe to grono wybitnych fizyków, wraz z ich promotorem Martinusem Veltmanem, otrzymało za to osiągnięcie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Dzięki nim (i paru innym naukowcom) kwantowa teoria pola, mimo wspomnianej matematycznej sztuczki, jest – ze względu na zdolność przewidywania – chyba najbardziej udaną teorią naukową wszech czasów. Pozbycie się wartości nieskończonych pozwoliło na uzyskiwanie nieosiągalnej wcześniej dokładności przewidywań dotyczących cząstek. W wypadku ich masy lub ładunku dokładność przewidywań mogła sięgać jednej stumiliardowej części danej wartości. Aby się wykazać równą precyzją, człowiek musiałby umieć wykryć, że w jednym z milionów kufli piwa serwowanych w pubie brakuje jednej kropli. Gdybyśmy mieli taką umiejętność, to codziennie z tego powodu na pewno wybuchalyby awantury.

Kwantowe teorie pól zapewniają zdumiewającą ścisłość przewidywań, ale opisana wyżej sztuczka powoduje u nas wszystkich frustrację, na którą nie pomoże nawet milion piw.

Dlaczego te nieskończoności w ogóle się pojawiają?

Czy dlatego że nie mamy pojęcia, co się dzieje w tych regionach

wszechświata, które mają rozmiary nawet mniejsze niż te, jakimi zajmują się wspomniane teorie?

Być może.

Tak w każdym razie uważał pewien niezwykle amerykański fizyk Kenneth Geddes Wilson. Nie badał on tych nieskończenie małych królestw, aby dojść do jakichś konkluzji dotyczących cząstek, lecz uznał, że takie mikroskopijne skale mogą faktycznie stanowić problem. Wilson przekonywał, że chcąc rozmawiać o cząstkach, nie trzeba wcale poruszać się w tak małej skali – nie musimy przecież znać się na atomach, aby porównywać jabłka na bazarze. Naukowiec twierdził – i udowodnił – że coś, co nie jest nam znane, może zostać zmierzone, sklasyfikowane, a potem zapomniane.

I to się sprawdziło – w 1982 roku za to odkrycie badacz otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Wilson nie rozwiązał problemu tego, co się dzieje w świecie nieskończenie małych rozmiarów, ale zwyczajnie się go pozbył. Odciał – czy też odsiał – to, co nie jest znane, w wyniku czego wszystkie nieskończoności, które przedtem psuły nam obraz pola, przestały się pojawiać.

Proces usuwania nieskończonych wartości nazywa się *renormalizacją*. Jeśli ktoś wykonuje obliczenia, ta metoda jest wyjątkowo skuteczna. Ale jeśli ktoś chce kiedykolwiek zrozumieć wszystko, nie może omijać nieznanego. Musi się w nim zanurzyć. Szczególnie w wypadku grawitacji zabiegi renormalizacyjne się nie sprawdzają.

Kwantowe teorie pola dotyczą tego, co znajduje się we wszechświecie. Są niezwykle dokładne, ale tylko wtedy, gdy się przyjmie, że czasoprzestrzeń jest niezmienna, a grawitacja na nic nie oddziałuje. To nie jest rzeczywisty świat.

Musimy znaleźć sposób na przywrócenie grawitacji.

Musimy zamienić ją w pole kwantowe.

Ale jak to zrobić?

Kwantowe teorie pola zakładają, że jeśli istnieją jakieś pola, to mogą one wytwarzać niewielkie ilości energii lub małe porcje materii, które nazywamy *kwantami*^[66]. Kwanty pola elektromagnetycznego są najniższymi stanami energetycznymi jego cząstek elementarnych – fotonów i elektronów. Podobnie kwanty pola sił jądrowych silnych to kwarki i gluony, a kwantami pola grawitacyjnego, uznawanego za hipotetyczne pole kwantowe, są znane nam już grawitony. Słyszałeś o nich wcześniej, w piątej części książki, ale potem już się nimi nie zajmowaliśmy. Dlaczego więc teraz ponownie się pojawiły? Ponieważ chcielibyśmy się dowiedzieć, co jest z nimi nie w porządku.

Założmy zatem, że grawitacja – podobnie jak pozostałe znane ci już pola – jest polem kwantowym, a grawitony są nośnikami jej sił. Po dokonaniu obliczeń dotyczących wpływu grawitonów na otoczenie fizycy teoretycy doszli do wniosku, że są podobne do zakrzywień czasoprzestrzeni.

W teorii to one są grawitacją.

Bardzo obiecujący początek.

W toku dalszych badań naukowcy zdali sobie jednak sprawę, że kwanty pola grawitacyjnego, czyli grawitony, także sprawiają, że prosta koncepcja grawitacji zupełnie się załamuje. To niedobra wiadomość.

Ale dlaczego tak się dzieje?

Po pierwsze, grawitony nie mają żadnego powodu, aby wzajemnie na siebie nie oddziaływać: gdyby istniały, powinno tak się dziać, ponieważ grawitacja wpływałaby na nie tak, jak na wszystko inne.

Po drugie, będąc cząstkami elementarnymi, powinny również móc się pojawiać wszędzie z próżni swoich pól, co skutkowałoby takimi

nieskończonościami, z jakimi poradzili sobie Hooft i Veltman. Jednak tym razem nieskończoności kwantowej grawitacji nie dają się usunąć przez żadne procedury renormalizacyjne – mechanizm Hoofta i Veltmana zupełnie się tu nie sprawdza, a metoda Wilsona również nie ma tu zastosowania, ponieważ nie uwzględnia odległości, na jakich działają grawitony.

Podsumowując, oznacza to, że kłopotliwe nieskończoności pojawiają się, gdy próbujemy zamienić grawitację w pole kwantowe w standardowy sposób. Jednak w wypadku siły ciężenia nie możemy przymknąć na nie oka, ponieważ to właśnie grawitony są grawitacją.

Gdyby siła ciężenia była, jak przed chwilą wspomnieliśmy, polem kwantowym, a grawitony opisywały działanie grawitacji, to czasoprzestrzeń powinna reagować na te nieskończone wartości i zapadać się właściwie wszędzie. Ale tak się nie dzieje. W przeciwnym razie nie rozmawialibyśmy teraz o tym, ponieważ w ogóle by nas nie było.

Co zabawne, wielu naukowców (w tym i ja – w części siódmej wytłumaczę ci dlaczego), których być może uznasz za szaleńców, wciąż uważa, że grawitony naprawdę istnieją, przynajmniej jako element tej ogólniejszej teorii, której wszyscy poszukują.

Skoro już się tym zajęliśmy, idźmy dalej, abyś mógł poznać, od samego początku, kilka powodów, dla których ogólna teoria względności Einsteina i kwantowa teoria pola pozostają z sobą w sprzeczności.

Grawitacja ma związek z czasoprzestrzenią. To znaczy z czasem i przestrzenią. Wszystko się splata.

W kwantowej teorii pola cząstki elementarne, które wyskakują z próżni, są częścią tego pola. W wypadku kwantowej teorii pola *grawitacyjnego* cząstki

elementarne również powinny być częścią jakiegoś pola. Ale jest nim czasoprzestrzeń. Tak więc cząstki te powinny składać się z czasu i przestrzeni.

Oznacza to, że wszędzie wokół powinny znajdować się porcje czasoprzestrzeni i, nawiasem mówiąc, ani czas, ani przestrzeń nie powinny być ciągle.

Co gorsza, te porcje czasoprzestrzeni powinny móc się zachowywać tak jak fale, jak również tak jak cząstki. I uczestniczyć w tunelowaniu kwantowym, czyli w skokach kwantowych...

Jeśli jesteś normalnym człowiekiem, to już próbując wyobrazić sobie to zjawisko, poczujesz zawroty głowy.

Dla samej natury nie byłby to żaden problem.

Prawdziwa trudność polega na tym, że jeśli nawet zapomnimy o tych kłopotliwych nieskończonościach, wszystkie inne teorie pól kwantowych tylko wtedy trafnie opisują zachowanie cząstek, z których się składamy, gdy w pobliżu nie ma takich porcji czasoprzestrzeni.

Inaczej mówiąc, oznacza to, że w ogólnej teorii względności i kwantowej teorii pola nie stosuje się takich samych pojęć do opisywania czasu oraz przestrzeni.

I to jest problem.

Bardzo duży problem. I nie mamy dla niego żadnego oczywistego rozwiązania.

Możemy mieć wrażenie, że utknęliśmy gdzieś w środku pomiędzy dwiema niezwykle użytecznymi teoriami. Jedną – opisującą strukturę naszego wszechświata (to teoria grawitacji Einsteina, czyli ogólna teoria względności), oraz drugą – opisującą wszystko, co ten wszechświat w sobie zawiera (to kwantowa teoria pola). I te dwie teorie nie chcą wejść z sobą w dialog.

Przez bardzo długi czas nie kontaktowali się z sobą nawet badacze zajmujący się każdą z tych teorii. W 1962 roku amerykański fizyk teoretyk Richard

Feynman – jeden z najwybitniejszych naukowców wszech czasów, który otrzymał Nagrodę Nobla za pracę nad kwantową teorią pola – po konferencji poświęconej grawitacji napisał do żony wiele mówiący list: „Konferencja nic mi nie daje. Niczego się nie uczę. Ponieważ nie robią żadnych doświadczeń, dziedzina ta jest martwa, więc zajmuje się nią niewielu spośród najlepszych. Skutek jest taki, że jest tu mnóstwo tumanów (126), co nie wpływa korzystnie na moje ciśnienie. (...) Przypomnij mi, żebym nie jeździł na żadne konferencje na temat grawitacji!”^[67].

Dzięki nowym technologiom i pracy fizyków teoretyków takich jak Stephen Hawking naukowcy szybko się jednak zorientowali, że nie mogą zamykać oczu na to, o czym nie mają pojęcia. Założenia obu teorii zaczęły przenikać z jednej do drugiej, dając początek szalonym pomysłom. Zapoznasz się z nimi w siódmej części książki.

[65] Błąd autora – powstają dwa fotony, które potem rozpadają się na więcej cząstek (przyp. red.).

[66] Kwant (*quantum*) oznacza po łacinie dosłownie „małą porcję”, a kwanty (*quanta*) to liczba mnoga tego rzeczownika.

[67] R. Feynman, „*A co Ciebie obchodzi, co myślą inni?*” *Dalsze przypadki ciekawego człowieka*, tłum. R. Śmietana, Kraków 1997.

RACZEJ: BYĆ I NIE BYĆ

Czy pamiętasz te cząstki kwantowe, którymi w białym pokoju z metalowym słupem bawił się robot? W tym świecie bardzo małych rozmiarów jest tak, że cząstki, jeśli tylko nikt ich nie obserwuje, naprawdę podążają wszystkimi możliwymi i niemożliwymi drogami z jednego miejsca do drugiego i z jednego czasu do innego.

Dlaczego więc te wszystkie kwantowe opcje wszystkich cząsteczek, z jakich składa się twoje ciało, nie miałyby zamienić cię w twoją kwantową wersję?

Czy nie byłoby fajnie?

W takiej sytuacji mogłyby się jednocześnie urzeczywistnić wszystkie możliwe do wyobrażenia scenariusze twojego życia. Mógłbyś być bardzo bogaty i bardzo biedny, w związku małżeńskim i stanu wolnego, dostać Nagrodę Nobla i być kompletnym głupkiem, być tu i tam, żyć teraz i kiedy indziej... I wszystkie scenariusze życia, jakie mógłbyś sobie wymarzyć, oraz takie, jakich byś nie chciał, naprawdę byś przeżywał.

Ale nic nie wskazuje na to, aby coś takiego się działo.

A przecież jesteś zbudowany z elementów kwantowych, no nie? Więc to powinno się dziać.

Ale się nie dzieje.

Dlaczego?

No cóż, choć to może brzmi szokująco, nikt tego nie wie. W istocie ma to związek z jedną z największych zagadek kwantowego świata: dlaczego nigdzie wokół nas nie zauważamy zjawisk kwantowych?

Skoro podobnie jak wszystko, co istnieje, jesteśmy zbudowani z cząstek kwantowych, czyli przejawów pól kwantowych, to dlaczego funkcjonujemy w świecie właśnie w taki sposób, a nie tak, jak to robią cząstki na najniższym, subatomowym poziomie?

Ktoś mógłby powiedzieć, że ten świat jest taki, jaki jest, że fizyka nie zajmuje się podważaniem jego praw, lecz próbami ich wyjaśniania.

Z takim pokornym podejściem mamy jednak pewien problem. Mianowicie, prawa rządzące światem kwantowym tak bardzo odstają od tego, co obserwujemy na co dzień, że powinien istnieć jakiś rodzaj stanu przejściowego pomiędzy światem kwantowym a tym klasycznym, takim jak ten, w którym żyjemy i do którego jesteśmy przyzwyczajeni. Gdyby cząstki, z których składają się nasze ciała, lub te znajdujące się w powietrzu czy w przestrzeni kosmicznej zachowywały się jak przyzwoite piłki tenisowe czy bejsbolowe, byłoby wspaniale. Rozumielibyśmy wtedy wszystko – od najmniejszych po największe elementy składowe wszechświata.

Ale cząstki tak się nie zachowują.

Zauważyłeś to wielokrotnie podczas swojej podróży po świecie bardzo małych rozmiarów. Czy pamiętasz, jak próbowałeś złapać elektron wirujący wokół atomu wodoru i jak trudno ci było określić, gdzie on się znajduje i jak szybko się porusza? Ponownie przyjrzyjmy się temu zjawisku.

Wyobraź sobie, że jesteś swoją miniaturką. Jesteś mniejszy od atomu i właśnie zbliża się do ciebie jakaś cząstka. Nic o niej nie wiesz, nie znasz jej rozmiaru, położenia ani prędkości, z jaką się porusza. Wiesz tylko, że zachowuje się zgodnie z prawami kwantowego świata.

Z torebeczki, którą masz z sobą, wyjmujesz małą latarkę. Spodziewasz się, że po jej włączeniu światło odbije się od cząstki, niezależnie od tego, gdzie się ona znajduje, i w ten sposób wskaże ci jej pozycję.

Ale do tego nie możesz użyć dowolnego światła.

Musi być odpowiednie.

Czy pamiętasz, że o świetle można myśleć jako o fali? No właśnie. W tym wypadku „odpowiednie światło” oznacza, że odstęp pomiędzy dwoma kolejnymi grzbietami fal (długość fali) musi mieć w przybliżeniu rozmiar twojego celu albo być od niego mniejszy. Jeśli długość fali będzie zbyt duża, światło w ogóle nie zauważy cząstki. Przejdzie przez nią, tak jak fale radiowe przechodzą przez ściany twojego domu, nawet ich nie dostrzegając. Jeśli jednak będziesz dysponował odpowiednią długością fali świetlnej, światło odbije się od cząstki, co pozwoli ci określić jej położenie z dokładnością zastosowanej długości fali. Będziesz znał też jej prędkość, czyli wiedział to wszystko, co chciałeś o tej cząstce wiedzieć.

To proste.

Regulujesz strumień światła swojej najnowocześniejszej miniaturowej latarki, tak aby miał jak najwięcej energii. Celujesz i... Bum! Trafiłeś w coś. To cząstka. Światło odbiło się od niej i wróciło do ciebie. Czas, jaki mu to zajęło, pozwala ci ustalić, gdzie dokładnie znajdowała się cząstka w chwili uderzenia, czyli nie może już znajdować się wszędzie. Gdy cząstka zostanie wykryta, traci swoje kwantowe właściwości. Ze wszystkich możliwych położzeń, jakie jednocześnie zajmowała jeszcze ułamek sekundy temu, zostało wybrane jedno przez sam akt użycia latarki jako narzędzia badawczego. Podobnie było w wypadku cząstki wyrzucanej w białym pokoju przez robota – przemieszczała się wszędzie aż do chwili wykrycia jej przez czujnik. Ten nieodwracalny proces nazywamy *załamaniem funkcji falowej*.

Gdy ono nastąpi, będziesz znał położenie cząstki z dokładnością równą długości fali. Teraz chcesz się jeszcze dowiedzieć, jak szybko poruszała się cząstka w chwili uderzenia.

Ale tym razem to nie będzie takie proste.

Prawdę mówiąc, nie będziesz w stanie udzielić ścisłej odpowiedzi.

Nigdy.

Pamiętaj: im krótsza fala, tym więcej energii ma odpowiadające jej światło.

Jeśli chcesz określić pozycję cząstki z większą dokładnością, musisz użyć światła o większej energii, które w związku z tym mocniej w nią uderzy – a zatem będziesz mniej wiedział o prędkości cząstki po uderzeniu.

W świecie, do jakiego jesteśmy przyzwyczajeni, to banalne stwierdzenie.

Spróbuj w ciemności ustalić położenie obiektu, rzucając w niego jakimś przedmiotem. Uderzenie będzie miało wpływ na badany obiekt. Jeśli to, co rzuciłeś, odbije się z powrotem w twoim kierunku, będziesz wiedział, gdzie badany obiekt znajdował się w chwili uderzenia. Gdy jednak rzucisz w niego ponownie, aby się dowiedzieć, dokąd poleciał, zobaczysz, że wskutek pierwszego uderzenia zmieniła się jego prędkość.

To naprawdę banalne.

W świecie kwantowym jednak nie mamy tu jedynie do czynienia z banalną niewiadomą. To istotne prawo natury. Mówi ono, że w zasadzie nie możemy wiedzieć naraz dwóch rzeczy: znać położenia cząstki i prędkości, z jaką się ona porusza. Prawo to – od nazwiska niemieckiego fizyka teoretyka Wenera Heisenberga – nazwano *zasadą nieoznaczoności Heisenberga*. Jego odkrywca jest jednym z współtwórców kwantowej teorii świata atomowego, za co nagrodzony został w 1932 roku Nagrodą Nobla. Heisenberg wiedział, o czym mówi, ale sam – podobnie jak później nikt inny – teorii tej nie rozumiał. Wykracza ona poza naszą intuicję, jest sprzeczna ze zdrowym rozsądkiem.

Zasada nieoznaczoności sprawia, że świat kwantowy bardzo różni się od naszego codziennego, klasycznego świata.

W tej chwili wiesz, w jakim położeniu względem twojego ciała znajduje się książka, którą czytasz, i jak szybko się porusza. Możesz więc z dużą dokładnością określić jej położenie i prędkość. Istnieje jednak jakaś niepewność dotycząca tych dwóch danych, ale zbyt mała, abyśmy mogli ją zauważyć, a więc w istocie nie

ma większego znaczenia.

W świecie bardzo małych rozmiarów, w swojej miniaturowej postaci, nie byłbyś w stanie utrzymać w rękach ani książki, ani latarki. Gdybyś wiedział dokładnie, gdzie znajduje się miniaturka twojej książki, niepewność co do jej prędkości byłaby ogromna, ponieważ musiałbyś wystrzelić w jej kierunku bardzo dużo cząstek, żeby ją zobaczyć, i w efekcie nigdy byś jej nie ujrzał. Gdybyś z kolei znał dokładną prędkość książki, w żaden sposób nie mógłbyś określić, gdzie ta książka jest, trudno byłoby więc ją czytać. W świecie bardzo małych rozmiarów położenie obiektu oraz jego prędkość zlewają się w bardzo mgliste pojęcie. To kolejny problem, z jakim – podobnie jak w wypadku efektu Casimira – w miarę miniaturyzacji urządzeń coraz częściej będą musieli mierzyć się inżynierowie.

Podsumowując, zasada nieoznaczoności Heisenberga nie jest zagadką.

To fakt.

Ściśle mówiąc, nie chodzi tu nawet o samą nieoznaczoność. Zasada ta po prostu stwierdza, że nasze tradycyjne pojęcia położenia i prędkości nie mają zastosowania w świecie bardzo małych rozmiarów.

W tym świecie natura zachowuje się inaczej i mamy teorie, które to uwzględniają i przewidują – zajmuje się tym fizyka kwantowa. A te dziwne zjawiska zachodzą również w ludzkiej skali, ale nie jesteśmy odpowiednio zbudowani, aby móc je zauważyć. W wypadku dużej liczby cząstek przestają one mieć znaczenie. To także doskonale znany fakt.

Gdzie więc jest ta poszukiwana przez nas tajemnica? Czy w ogóle istnieje?

Tak.

W wykonywanym przez ciebie pomiarze pominęliśmy jedno: załamanie się samej funkcji falowej.

Właśnie to jest zagadką.

I to naprawdę intrygującą.

Pozostawione samym sobie cząstki kwantowe zachowują się jak wiele kopii samych siebie (czyli w istocie jak fale), przemieszczając się w czasie i przestrzeni jednocześnie wszystkimi możliwymi drogami.

Powraca więc pytanie: dlaczego nie doświadczamy tej mnogości wokół nas? Czy dlatego że cały czas wszystko badamy? Dlaczego wszystkie doświadczenia dotyczące na przykład położenia cząstki sprawiają, że cząstka ta nagle znajduje się raczej gdzieś niż wszędzie?

Tego nie wie nikt.

Każda cząstka jest falą różnych możliwości, dopóki nie zaczniemy się nią zajmować. Gdy zostanie przez Ciebie wykryta, znajduje się już w określonym miejscu i zawsze tam zostanie, a nie będzie znajdowała się wszędzie.

Dziwne.

Żadne prawa fizyki kwantowej nie pozwalają na takie załamanie się funkcji falowej. To zagadka zarówno eksperymentalna, jak i teoretyczna.

Fizyka kwantowa stwierdza, że jeśli coś gdzieś istnieje, to może oczywiście przekształcić się w coś innego, ale nie może zniknąć. A ponieważ fizyka kwantowa pozwala na jednoczesne istnienie wielu możliwości, to powinny one wciąż istnieć, nawet po przeprowadzeniu pomiaru. Ale tak się nie dzieje. Wszystkie możliwości, oprócz jednej, znikają i ich nie widzimy. Żyjemy w klasycznym świecie, gdzie wszystko opiera się na prawach fizyki kwantowej, lecz nic w nim nie przypomina kwantowej rzeczywistości.

Nasuwa się więc pytanie: jak doprowadzić do tego, żeby zjawiska kwantowe pojawiały się w ludzkiej skali, tak abyśmy mogli je zbadać i na własne oczy zobaczyć załamanie się funkcji falowej – jeśli ono w ogóle zachodzi? Czy to w ogóle możliwe? A gdybyśmy mogli dostrzec takie efekty kwantowe, czego powinniśmy się spodziewać?

W 1935 roku, dwa lata po otrzymaniu Nagrody Nobla za badania

w dziedzinie fizyki kwantowej, austriacki fizyk Erwin Schrödinger wymyślił doświadczenie pokazujące zjawisko kwantowe w ludzkiej skali. Do jego przeprowadzenia potrzebne są pudełko i kot. Choć to tylko eksperyment myślowy, naukowcy wciąż się zastanawiają, czy zwierzę, które brało w nim udział, jest żywe czy martwe.

Za chwilę ponownie przeprowadzimy to doświadczenie. Mam nadzieję, że nie jesteś zbyt wielkim miłośnikiem tych rozkosznych, mrużących, niewinnych stworzeń, ponieważ istnieje obawa, że w czasie eksperymentu kot może ucieść. W każdym razie pamiętaj, że doświadczenie ma szczytny cel – przedstawienie zjawisk kwantowych w skali makroskopowej. Trzeba się liczyć z pewnymi ofiarami.

Zabezpieczywszy się taką klauzulą, zaczynamy eksperyment.

Na wypadek gdyby ktoś jeszcze tego nie wiedział, wyjaśniam: kot to czworonożny ssak, zwykle ogoniasty i pokryty futrem, który żyje w rzeczywistości o tej samej skali co my. Większość ludzi, choć nie wszyscy, lubi te zwierzęta przytulać. Koty występują praktycznie we wszystkich kolorach, choć o ile wiem, nie w zielonym.

Do przeprowadzenia myślowego eksperymentu Schrödingera wybrałem uroczonego małego czarno-białego kotka. Potrzebujesz jeszcze pudełka, które po zamknięciu będzie tak doskonale szczelne, że nikt z zewnątrz nie zorientuje się, co dzieje się w jego wnętrzu.

Poza kotem i pudełkiem musisz jeszcze mieć substancję radioaktywną. Bardzo szczególną – taką, w wypadku której prawdopodobieństwo, że w czasie trwania eksperymentu wyemituje jakieś promieniowanie, wynosi 50 procent. Substancje promieniotwórcze są bardzo nieprzewidywalne. Z praw fizyki kwantowej wynika, że nie ma żadnego sposobu, aby przewidzieć, czy się rozpadną i wyemitują jakieś promieniowanie. Istnieje tylko pewne prawdopodobieństwo, że tak się zdarzy. W wypadku twojej substancji masz

jedną szansę na dwie.

Teraz pozostały ci do zdobycia jeszcze trzy rzeczy: czujnik promieniowania, młotek oraz fiolka zawierająca bardzo silną truciznę.

Gdy już je będziesz miał, musisz wszystko połączyć w taki sposób, aby wtedy, gdy czujnik wykryje promieniowanie, młotek rozbijał fiolkę, uwalniając w ten sposób truciznę. Eksperyment będzie dla ciebie nieszkodliwy, pod warunkiem że umieścisz młotek, substancję radioaktywną, truciznę oraz kota w pudełku, które następnie szczelnie zamkniesz.

Następnie musisz czekać.

I co dalej?

Prawdopodobieństwo, że kot zostanie otruty, wynosi 50 procent. Wszystko zależy od tego, czy dojdzie do rozpadu promieniotwórczego.

Zgadzam się, to dziwaczny eksperyment.

Zdecydowanie nie powinieneś próbować tego w domu.

Teraz pojawia się pytanie: czy kot jest martwy?

Tak jak tego chcieliśmy, zachodzą tu zjawiska kwantowe. A wynik doświadczenia ma charakter makroskopowy – jego skala jest wystarczająco duża, abyśmy go zobaczyli.

Nie ma jednak sposobu, aby bez otwarcia pudełka ustalić, czy doszło w nim do rozpadu radioaktywnego, a więc nie dowiemy się, czy fiolka została rozbita, a tym samym jaki jest stan kota: żyje czy też jest martwy.

Nic nowego pod słońcem, mówisz? No cóż, w wypadku kwantowego świata wskazana jest czujność i umiar w korzystaniu ze zdrowego rozsądku. A najlepiej w ogóle z niego nie korzystać. Aby w tej sytuacji wysnuwać jakieś wnioski, musimy przestrzegać praw fizyki kwantowej. W prawdziwym życiu można by oczekiwać, że kot w pudełku albo żyje, albo jest martwy.

Ale obie te odpowiedzi mogą być błędne.

W kwantowym świecie to, co się może zdarzyć, zdarza się. Powinieneś się już do tego przyzwyczaić.

W naszym doświadczeniu prawdopodobieństwo, że dojdzie do rozpadu substancji radioaktywnej i że tak się nie stanie, wynosi tyle samo, a zatem zdarzy się jedno i drugie. I podobnie jak to było w wypadku cząstki, która mogła poruszać się jednocześnie po lewej i po prawej stronie słupa, tak i tutaj rozpad promieniotwórczy jednocześnie zachodzi i nie zachodzi – pod warunkiem że nikt nie patrzy. Jak już wspomniałem, przeważnie nie zauważamy takiej superpozycji różnych możliwych scenariuszy, ponieważ nie wiadomo, dlaczego nigdy nie występuje ona w ludzkiej skali. Nasz wyjątkowy eksperyment został jednak pomyślany w taki sposób, że możemy go obserwować: jednoczesność dwóch kwantowych możliwości (rozpadu promieniotwórczego i jego braku) jest bezpośrednio związana z dramatyczną śmiercią lub z przeżyciem kota.

Co mówią prawa obowiązujące w świecie kwantowym?

Mówią one, że skoro rozpad promieniotwórczy i brak tego rozpadu to zdarzenia bezpośrednio związane z trucizną, kot – dopóki nie otworzymy pudełka – nie jest albo żywy, albo martwy, lecz jednocześnie i żywy, i martwy.

Zanim otworzyłeś pudełko, rozpad promieniotwórczy zdarzył się i nie zdarzył, więc trucizna została uwolniona i nie została uwolniona.

Tak więc kot jest martwy i nie jest martwy.

Jest jednocześnie martwy i żywy.

Słyszac to, natychmiast otwierasz pudełko i sprawdzasz, co się stało.

Wyskakuje z niego cały i zdrowy kot, miłutkie stworzenie.

Na dnie pudełka nie ma żadnego trupa.

Drapiesz się w głowę.

Cała ta zabawa z superpozycją stanów oraz załamywaniem się możliwości kwantowych nagle zaczyna wyglądać jak wyszukana sztuczka iluzjonisty, a nie – prawdziwe zjawisko.

Czy gdzieś popełniliśmy błąd? Czy kot przez pewien czas naprawdę był jednocześnie żywy i martwy, czy też to wszystko było tylko oszustwem?

Sprawdźmy to.

Otwarcie pudełka było ingerencją w przebieg eksperymentu, prawda?

Tak, to była ingerencja. Zajrzałeś do środka, a gdy się na coś patrzy, natura musi wybrać.

Musiał więc nastąpić ten wybór, to załamanie superpozycji (o ile się zdarzyło), pozostawiając kota przy życiu^[68].

Ale czy los kota został rozstrzygnięty przed otwarciem pudełka? Czy też natychmiast po jego otwarciu?

Wracasz w ten sposób do pytania zadanego na początku: czy załamanie w ogóle nastąpiło?

Na pomysł kociego eksperymentu myślowego Schrödinger wpadł w 1935 roku i przez lata nikt nie umiał rozwiązać tej łamigłówki. Dopiero dwaj fizycy, Francuz Serge Haroche i Amerykanin David J. Wineland, zdołali wymyślić rzeczywisty eksperyment, żeby wykryć owe superpozycje, które następnie miały się załamać.

Nie wykorzystali oni jednak do tego celu kota. Użyli atomów i światła.

Zobaczyli, że superpozycje kwantowe są jak najbardziej realne i że praktycznie każda kwantowa cząstka może istnieć – i istnieje – jednocześnie w odmiennych, wzajemnie wykluczających się stanach. To podstawowy powód, dla którego inżynierowie starają się zbudować komputer kwantowy. Dzięki zdolnościom cząstek kwantowych do natychmiastowego znajdowania się w różnych stanach komputery takie teoretycznie miałyby wykładniczo większą moc obliczeniową od tradycyjnych komputerów, gdyż mogłyby jednocześnie wykonywać równoległe obliczenia. Za swoje odkrycie Haroche i Wineland otrzymali w 2012 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. W pewien sposób udowodnili, że kot Schrödingera na pewnym etapie naprawdę był jednocześnie

i żywy, i martwy.

Ale gdzie tu zagadka?

Musi mieć związek z tym, czego już nie ma.

Świetnie, że superpozycje są realne. Właśnie to udowodnili Haroche i Wineland. Musimy się z tym pogodzić.

Co się jednak stało z innymi możliwymi scenariuszami, gdy otworzyłeś pudełko, superpozycje się załamały i wyskoczył żywy kot? Gdzie się podział martwy kot, skoro na pewnym etapie zwierzę było realne?

To jest ta zagadka.

Głowiło się nad nią wielu naukowców, a ostatnio pojawiło się kilka możliwych wyjaśnień. Niektórzy sądzą, że możliwości, które nie zostały zaobserwowane, znikają jak krople atramentu w jeziorze – będącym w tym wypadku światem, w którym żyjemy. Tak jakby krople niezrealizowanych możliwych rzeczywistości rozpuściły się w tej jednej jedynej, która istnieje i której jesteśmy częścią. Inni naukowcy uważają, że z tym wszystkim ma coś wspólnego nasza świadomość, że to sam akt eksperymentowania, a nawet myślenia, zawiesza rzeczywistość w jednym stanie, w ten sposób ją tworząc.

Ale jest jeszcze amerykański fizyk teoretyk Hugh Everett III.

Urodzony w 1930 roku Everett był dziwakiem. Wybitnie zdolny, studiował matematykę, chemię i fizykę. Doktoryzował się pod kierunkiem jednego z najbardziej wpływowych amerykańskich fizyków w historii, Johna Archibalda Wheelera z Uniwersytetu Princeton. Tuż po obronie pracy doktorskiej przestał się jednak zajmować fizyką, bo chyba uważał, że jest zbyt pokręcona. Wpływ na to pewnie też miały nieudane próby skłonienia społeczności naukowej do poważnego zainteresowania się jego studenckimi koncepcjami. W wieku dwudziestu jeden lat Everett, porzuciwszy badania teoretyczne, rozpoczął pracę nad ściśle tajnymi projektami amerykańskich sił zbrojnych. Zmarł z powodu nadużywania alkoholu i palenia zbyt wielu papierosów. Jego życiorys do

złudzenia przypomina losy niektórych sławnych poetów i malarzy, którzy bez rozgłosu zmarnowali w młodości swój talent, zlekceważeni przez rówieśników. Ukończona w 1956 roku rozprawa doktorska Everetta później stała się klasyką. Autor zawarł w niej niezwykle twierdzenie, że skoro kwantowe koncepcje sprawdzają się w bardzo małej skali, to powinny być również poważnie brane pod uwagę w każdej, nawet ludzkiej skali. Wszystko w naszym wszechświecie jest zrobione z materii kwantowej, musi więc być traktowane jak ogromna kwantowa fala różnych, istniejących jednocześnie możliwości.

Jeśli tak na to spojrzeć, nigdy nie ma żadnego załamania, a zatem istnieje każdy możliwy scenariusz. Cały wszechświat rozgałęzia się za każdym razem, gdy ma być dokonany jakiś wybór w rezultacie eksperymentu czy czegokolwiek innego. Powinno więc istnieć niewyobrażalnie wiele wszechświatów równoległych, w których wszystkie ewentualności, wszystkie alternatywne rozwiązania są faktami.

Everett uważał, że równoległe rzeczywistości powinny istnieć wokół nas.

Wahasz się, zanim wybierzesz jedną z dwóch wind? Inne twoje wcielenie, istniejące w rozgałęziającym się wszechświecie równoległym, wybiera tę drugą. Kolejne uderza w ścianę pomiędzy dwiema windami, a w jeszcze innym wszechświecie idziesz po schodach. W ten sposób zrealizowane są wszystkie możliwe scenariusze.

W pewnym sensie koncepcja Everetta – dosłowne rozumienie fizyki kwantowej – mówi nam, że jeśli tylko zapomnimy o swoim egoizmie, już nigdy nie będziemy mieć powodów do smutku. Nawet gdy tutaj przydarzy nam się coś złego, to nieskończenie wiele naszych równoległych wcieleń, w nieskończenie wielu wszechświatach równoległych, uniknie nieszczęścia i wciąż będzie żyło szczęśliwie.

W jeszcze innym bezkresie równoległych rzeczywistości Everett wciąż żyje i nawet czyta teraz tę książkę. W niektórych z nich podoba mu się to, co o nim

napisałem, ale w innych nie. W jeszcze innych to on napisał tę książkę, a kot Schrödingera jest w niej zielonym psem.

Według Everetta natura nigdy nie dokonuje żadnego wyboru. Urzeczywistniają się wszystkie możliwości.

A ty po prostu o tym nie wiesz.

Nic dziwnego, że Everett porzucił fizykę.

Jego koncepcja, doprawdy dziwaczna, dziś jest poważnie traktowana przez niektórych największych współczesnych fizyków i wykorzystywana w wielu modelach matematycznych dotyczących początków czasoprzestrzeni. Na horyzoncie nie widać żadnego doświadczalnego potwierdzenia (ani zaprzeczenia) tez Everetta. Stanowią one jednak bardzo kuszącą przesłankę, by przyjąć, że rzeczywistość, w jakiej żyjemy, nie jest superpozycją stanów kwantowych – inne możliwości, których my nie doświadczamy, są realne, ale gdzie indziej.

Skoro się już z tą koncepcją oswoiłeś, podsumujmy teraz szybko twoje doświadczenia.

Do tej pory, od początku swojej wycieczki, wędrowałeś osobno przez świat bardzo dużych rozmiarów i świat rozmiarów bardzo małych. Przelatując przez kosmiczne królestwa, zobaczyłeś, jak wygląda wielkoskalowa struktura naszego wszechświata i w jaki sposób rządzi nią ogólna teoria względności. W królestwie bardzo małych rozmiarów przekonałeś się, że kwantowe prawa natury różnią się od tych, z którymi mamy do czynienia w codziennym życiu. Podróżowałeś więc przez coś, co ludzkość już poznała zarówno teoretycznie, jak i doświadczalnie. Widziałeś, jak w obu skalach wygląda wszechświat z punktu widzenia współczesnego naukowca.

W tej części książki zacząłeś dostrzegać ograniczenia tej wiedzy. Zauważyłeś, że ogólna teoria względności i kwantowa teoria pola niechętnie wchodzą z sobą w dialog, a prawa mechaniki kwantowej nie rządzą naszym codziennym

życiem – dla niektórych przyczyną tego jest istnienie światów równoległych.

W części siódmej zobaczysz jeszcze dziwniejsze rzeczy.

Na razie jednak kontynuujemy umysłową gimnastykę i opuszczamy świat bardzo małych rozmiarów, aby powrócić do Einsteina. Co z jego teorią? Jakie kryje tajemnice?

Czy w ogóle można jeszcze mówić o jakichś tajemnicach?

A może są tak wszechobecne jak wartości nieskończone, które psują kwantową teorię pola?

Odpowiedź na dwa ostatnie pytania brzmi: tak.

[68] Równie dobrze mógłby być martwy, ale wolimy szczęśliwe zakończenia.

CIEMNA MATERIA

Zapomnij o kotach, psach i wszechświatach równoległych, w których rozgrywają się alternatywne rzeczywistości.

Zapomnij o świecie kwantowym.

Zapomnij o swojej miniaturce.

Jesteś teraz w przestrzeni kosmicznej.

Zdażyłeś już zdać sobie sprawę, że świat bardzo małych rozmiarów ma wiele tajemnic, i zamierzasz sprawdzić, czy teoria Einsteina jest słuszna wszędzie, czy może też coś w niej szwankuje, nawet jeśli nikt nie próbuje zamienić jej w teorię kwantową.

Znajdujesz się więc w kosmosie. Ziemię zostawiłeś za sobą, lecisz naprzód. Mijasz Księżyc, Słońce i pobliskie gwiazdy.

Na razie teoria grawitacji Einsteina sprawdza się idealnie. Gwiazdy i planety poruszają się tak, jak powinny.

Wylatujesz z Drogi Mlecznej w przestrzeń międzygalaktyczną, gdzie się zatrzymujesz.

Droga Mleczna znajduje się tuż pod tobą. Inne galaktyki lśnią w oddali. Te olbrzymie spirale składające się z setek miliardów gwiazd samotnie świecą w ciemnym wszechświecie.

Zdobyłeś już trochę informacji na temat grawitacji, więc wiesz, że zarówno

prędkości planet krążących wokół gwiazd, jak i prędkości samych gwiazd w obrębie galaktyk są nieprzypadkowe. Gwiazdy, które lecą zbyt szybko, opuszczają swoje galaktyki i będą się wiecznie błąkać, jak błędne ogniki, pokonując niezmierzone odległości dzielące jedną galaktykę od drugiej. Gdy gwiazdy poruszają się zbyt wolno, spadają w dół po zakrzywieniu czasoprzestrzeni wytworzonym przez wszystkie inne gwiazdy, zakrzywieniu, które skutecznie skieruje je do jądra galaktyk, do ich centralnego zgrubienia, gdzie zakończą swój żywot, połknięte lub zniszczone przez gigantyczną czarną dziurę, która cierpliwie czeka tam na zdobycz. Nie mając odpowiedniej prędkości, aby utrzymać się na orbicie, gwiazda albo ucieka z galaktyki, albo jest skazana na upadek, czyli zachowuje się podobnie jak wirująca w salaterce kulka, która albo spada na dno naczynia, albo zostaje z niego wyrzucona.

Pamiętasz, że teoria Newtona zawodziła, gdy grawitacja była zbyt silna. Gdy znajdowaliśmy się w pobliżu Słońca, równania wymagały korekty ze względu na anomalię orbity Merkurego. Einstein wprowadził te poprawki, rewolucjonizując w ten sposób nasze wyobrażenie o czasie i przestrzeni. A dziś, sto lat później, przyszła kolej na samego Einsteina, żeby zmierzył się ze zmianą skali. Co się dzieje z Einsteinowską grawitacją wokół całych galaktyk? Czy jego teoria zakrzywienia czasoprzestrzeni sprawdza się w wypadku nie jednej, lecz setek miliardów gwiazd?

Właśnie to będziesz za chwilę badał.

Bierzesz stoper i zaczynasz mierzyć czas gwiazd, gdy przemierzają Drogę Mleczną. Jednoczesne przebadanie 300 miliardów gwiazd jest skomplikowane, zaczynasz więc od peryferii – czubka jednego ze wspinających spiralnych ramion galaktyki, z dala od Sagittariusza A*, naszej własnej supermasywnej czarnej dziury.

Odliczasz dziesięć sekund.

Gwiazda, którą badałeś, przebyła w tym czasie 2500 kilometrów. Nieźle.

Poruszała się zatem wokół centrum galaktyki ze średnią prędkością 900 tysięcy kilometrów na godzinę. Całkiem przyzwoity wynik.

Inne znajdujące się w pobliżu gwiazdy są równie szybkie.

Każde dwie gwiazdy znajdujące się w tej samej odległości od jądra naszej galaktyki poruszają się z tą samą prędkością. Wolniejsze gwiazdy powinny być od niego bardziej oddalone, a te najszybsze, takie jak żwawa S2, z którą niedawno miałeś do czynienia, powinny leżeć w głębi galaktyki. A ile czasu zajmuje tym outsiderom pełne okrążenie Drogi Mlecznej? Nie mylisz się – około 250 milionów ziemskich lat. Długa podróż. Droga Mleczna jest ogromna. Słońce (a więc i Ziemia), położone trochę bardziej w głębi galaktyki, obiega ją w ciągu niespełna 225 milionów lat, czyli w okresie zwanym *rokiem galaktycznym*. Gdy Ziemia była ostatni raz w takim jak dziś położeniu w naszej galaktyce, dinozaury miały przed sobą jeszcze 160 milionów lat istnienia... Trzymając się tej terminologii, powiemy, że Wielki Wybuch zdarzył się mniej więcej 61 lat galaktycznych temu, a za 21 lat galaktycznych Droga Mleczna i Andromeda znajdą się tak blisko siebie, że zaczną się zderzać. Nawiasem mówiąc, Słońce wybuchnie kilka galaktycznych miesięcy później. Jeśli tak to ujmemy, ten termin wcale nie wyda się bardzo odległy...

W porządku.

Na razie wszystko idzie dobrze.

Nic nie wskazuje na to, żeby z teorią Einsteina były jakieś problemy, z wyjątkiem...

Z wyjątkiem tego, że ona w ogóle istnieje.

Będę z tobą szczery: nie jesteś pierwszą osobą, która sprawdza, jak szybko poruszają się gwiazdy w naszej galaktyce. Ich prędkości są znane od dość dawna – na początku lat trzydziestych XX wieku zmierzył je holenderski astronom Jan Oort.

Ale Oort na tym nie poprzestał, poszedł jeszcze dalej.

Najpierw oszacował ilość materii zawartej w całej Drodze Mlecznej. Następnie sprawdził, czy zaobserwowane przez niego prędkości odpowiadają tym, które powinny mieć gwiazdy, aby mogły się poruszać po stabilnych orbitach.

Ale te prędkości się nie zgadzały.

Ani trochę.

Znajdujesz się teraz ponad Drogą Mleczną, możesz więc sam się o tym przekonać.

Sumując masę gwiazd, całego pyłu oraz wszystkiego innego, co widzisz w naszej galaktyce, dochodzisz do zadziwiającej konkluzji: jeśli weźmiemy pod uwagę prędkość gwiazd, to materii jest zdecydowanie za mało, aby jakąkolwiek gwiazdę powstrzymać od ucieczki.

I w przeciwieństwie do niezgodności ruchu Merkurego z prawem Newtona w tym wypadku rozbieżność wcale nie jest mała.

Ilość materii powinna być pięć razy większa od tej, którą widzisz. W przeciwnym razie wszystkie gwiazdy, w tym nasze Słońce, powinny wylecieć z galaktyki.

Zarówno ty, jak i Oort musieliście coś przeoczyć.

Brakuje więc nie jakichś kilkuset milionów gwiazd i ich odpowiednika w postaci pyłu. To można by złożyć na karb niedokładnego oszacowania ilości materii przez ciebie i przez Oorta. Pomyłki się zdarzają. Ale pięć razy więcej? Co tu się dzieje? I przede wszystkim, kim był ten Oort? Czy można mu ufać?

Tak. Nie był on pierwszym lepszym astronomem. Jego wyjątkowo trafne spostrzeżenia pomogły ludzkości zrozumieć wiele z tych rzeczy, które zobaczyłeś, podróżując przez Układ Słoneczny i Drogę Mleczną w pierwszej części tej książki. Na jego konto należy na przykład zapisać odkrycie, że Słońce

nie leży w centrum naszej galaktyki (teraz to może wydawać się oczywiste, ale przed Oortem takie nie było). Przewidział również istnienie wielkiego zbioru komet (miliardów miliardów), noszącego obecnie miano Obłoku Oorta, przez który przelatywałeś, zanim znalazłeś się w grawitacyjnym królestwie czerwonego karła, Proximy Centauri.

Oort był naukowcem wizjonerem. Aby wyjaśnić absurdalną dysharmonię między ilością materii, jaką możemy wykryć w naszej galaktyce, a prędkością wchodzących w jej skład gwiazd, w 1932 roku przyjął niezwykle śmiało założenie. Uznał, że Drogę Mleczną wypełnia nieznany rodzaj materii. Wcześniej nikt jej w żadnej formie nie wykrył ani na Ziemi, ani nigdzie indziej, ponieważ nie oddziaływała ona ze światłem, a więc była niewykrywalna dla zbierających je teleskopów. Nazwał ją *ciemną materią*^[69]. Według Oorta jest ona dla nas niewidzialna. Efekty jej działania możemy dostrzec jedynie za pośrednictwem grawitacji, ponieważ materia ta zakrzywia czasoprzestrzeń podobnie jak zwykła materia, choć z całą pewnością nią nie jest. Ciemna materia nie może być zbudowana z takich samych cząstek jak to, co już znamy, bo inaczej byłibyśmy w stanie ją dostrzec .

Takie odkrycie może wydawać się zbyt doniosłe – i zbyt ekscytujące – aby było prawdą. Oort, choć niezwykle zdolny, mógł przecież popełnić błąd. Aby to sprawdzić, zamierzasz przyjrzeć się innym galaktykom i zaobserwować, w jaki sposób poruszają się wokół siebie. To właśnie zrobił w 1933 roku szwajcarski astronom Fritz Zwicky.

Gdyby ciemna materia naprawdę istniała i była grawitacyjnie aktywna nie tylko w obrębie Drogi Mlecznej, ale także wewnątrz i w pobliżu innych galaktyk, to wpływałaby nie tylko na ruchy gwiazd w obrębie galaktyk, ale również na poruszanie się galaktyk względem siebie.

Koncentrujesz się więc i wpatrujesz w galaktyki.

Analizujesz ten widowiskowy kosmiczny taniec olbrzymich skupisk

świeących gwiazd i... Nie masz już żadnych wątpliwości.

Podobnie jak Zwicky musisz przyznać, że wszystkie galaktyki poruszają się wokół siebie o wiele za szybko, by dało się wykluczyć istnienie ogromnych ilości aktywnej grawitacyjnie ciemnej materii.

A ciemna materia nie jest zwykłą materią.

Nie jest też antymaterią.

Jest czymś innym

Czym – tego nie wie nikt.

Od lat trzydziestych XX stulecia przeprowadzono wiele innych badań w tym zakresie i wszystkie doprowadziły do tego samego wniosku. Ciemna materia istnieje. Wszędzie tam, gdzie jest materia, znajduje się również otaczająca ją ciemna materia. I mimo że w tej książce próbuję pokazać ci wszystko, czym na temat wszechświata chciałbym się z tobą podzielić, to w tym miejscu muszę przyznać, że nic więcej nie mogę ci powiedzieć.

Dlaczego?

Ponieważ nawet dzisiaj, ponad 80 lat po śmiałym twierdzeniu Oorta, wciąż nie mamy pojęcia, z czego ta ciemna materia się składa. Wiemy, że istnieje, i wiemy, gdzie się znajduje. Sporządziliśmy mapy jej występowania wewnątrz i wokół galaktyk w całym wszechświecie. Wiemy już nawet bardzo dokładnie, czym ona nie jest, ale nie orientujemy się, czym jest. Tak, jej obecność jest przytłaczająca – na każdy kilogram zwykłej materii, składającej się z neutronów, protonów i elektronów, przypada pięć kilogramów ciemnej materii, zrobionej nie wiadomo z czego.

Ciemna materia.

Nieoczekiwana grawitacyjna zagadka numer jeden.

Można by sądzić, że teoria Einsteina nie sprawdza się w skali galaktycznej,

podobnie jak teoria Newtona zawodzi, gdy jesteśmy w pobliżu Słońca. Z wielu niezależnych badań wynika, że ciemna materia faktycznie jest wszędzie: wokół galaktyk, w tym naszej Drogi Mlecznej, i w całym wszechświecie, ale ty nie jesteś w stanie jej zobaczyć.

Wygląda więc na to, że w naszym wszechświecie niewidzialne przeważa nad widzialnym.

[69] Tym sformułowaniem (w kontekście brakującej masy) jako pierwszy posłużył się Jacobus Kapteyn w 1922 roku (przyp. red.).

CIEMNA ENERGIA

W ciągu eonów, jakie minęły od Wieków Ciemnych naszego wszechświata, doszło do wielu galaktycznych kolizji – całe galaktyki zderzały się i scalały. Wszędzie w przestrzeni kosmicznej kryje się przemoc, a galaktyki, na które w tej chwili patrzysz, są tylko tym, co daje się dostrzec.

Ciemnej materii, której jest pięć razy więcej niż zwykłej materii, nie możemy zobaczyć, ale jest jej tak dużo, że musiała – i wciąż musi – odgrywać istotną rolę w tym kosmicznym walcu, którego jesteś świadkiem. Teraz już wiesz, że tancerzami są tu skupiska gwiazd odziane w niewidzialne płaszcze uszyte z ciemnej materii.

Im dłużej obserwujesz te poruszające się galaktyki i im więcej widzisz tancerzy oraz tanecznych figur, tym więcej tamtejszych światów, w których niebo wygląda zupełnie inaczej niż w naszym, zaczynasz sobie wyobrażać. Chciałbyś wiedzieć, czy jakiejś odległej cywilizacji udało się już znaleźć odpowiedzi na nurtujące ludzkość pytania...

Nagle oślepia cię światło z jakiegoś potężnego źródła i zamierasz bez ruchu.

Próbując je zlokalizować, wpatrujesz się w ciemność, ale światła już nie ma.

Niespodziewanie znów zostajesz oślepiony, tym razem przez światło z innego, niewyobrażalnie odległego źródła.

A potem jeszcze raz.

Wyrwany z zadumy, koncentrujesz się na galaktykach, z których, jak się wydaje, pochodzą te sygnały.

Sam nie wiesz, czemu serce bije ci jak szalone. Patrząc na ich światło,

widzisz, jak krążące wokół siebie galaktyki giną w oddali.

Coś tu się nie zgadza.

Nie oddalają się w tym kierunku, w którym powinny.

I nie mówimy tu o tym, jak wokół siebie wirują, ale o samym rozszerzaniu się wszechświata, o tym, jak wszystkie galaktyki oddalają się od siebie, podobnie jak ziarenka maku w rosnącym cieście. Biorąc pod uwagę to wszystko, czego się już o tej ekspansji dowiedziałeś, czujesz, że galaktyki te nie poruszają się jak należy.

To jest nieoczekiwana grawitacyjna zagadka numer dwa.

I wchodzi tu w grę o wiele większa ilość ukrytej energii niż ta zawarta w ciemnej materii.

Aby zrozumieć tę zagadkę, musisz wiedzieć, w jaki sposób w naszym wszechświecie szacuje się odległości.

Zanim rozpocząłeś podróż w przestrzeń kosmiczną, leżałeś na plaży na tropikalnej wyspie, patrząc w gwiazdy. Jak mogłeś określić, która gwiazda na nocnym niebie jest bliżej, a która dalej od ciebie? Intensywność ich blasku nie jest wystarczającym kryterium. Gwiazdy mają rozmaite rozmiary, a ich rzeczywista jasność może się znacznie różnić się od postrzeganej przez nas. Widziana z Ziemi jasna gwiazda może być faktycznie ogromna i znajdować się bardzo daleko albo być bardzo mała i leżeć o wiele bliżej. Żeby ocenić ten dystans, trzeba zatem posłużyć się innym sposobem. Dotychczas do tego celu naukowcy używali trzech metod.

Pierwszą metodę można stosować do wszystkich obiektów, planet lub gwiazd, które znajdują się dość blisko nas. Jest najprostsza i opiera się na zdrowym rozsądku (w tym wypadku dozwolonym, gdyż nic kwantowego się tu nie dzieje). Wyobraź sobie, że obserwujesz drzewa przez boczną szybę samochodu jadącego po autostradzie. Te znajdujące się blisko drogi wydają się

przesuwać szybciej, a te bardziej oddalone – wolniej. Pasma górskie widoczne ponad horyzontem zdają się pozostawać cały czas w tym samym miejscu. Mogą więc służyć za nieruchome tło. W przestrzeni kosmicznej obowiązuje ta sama zasada. Weźmy naszą planetę krążącą wokół Słońca. Wydaje się, że obiekty położone bliżej Ziemi poruszają się na tle bardzo odległych gwiazd, które wyglądają na nieruchome. Naukowcy mogą więc określić, jak daleko od nas znajduje się dany obiekt, na podstawie zmiany jego położenia w stosunku do tła, na którym go widzimy. Do tego wystarczy matematyka na poziomie zrozumiałym dla Euklidesa, a on żył ponad 2200 lat temu. To bardzo skuteczna metoda w wypadku niewielkich odległości, czyli w obrębie Drogi Mlecznej, ale nie nadaje się do określania odległości galaktycznych. Galaktyki są zbyt daleko. Dla ciebie, znajdującego się na Ziemi krążącej wokół Słońca, perspektywa, z jakiej obserwujesz kosmos, zmienia się – od lata do zimy – aż o 300 milionów kilometrów. To jednak za mało, aby dostrzec jakikolwiek ruch galaktyk – są one przez cały czas elementem nieruchomego tła. Aby się dowiedzieć, jak daleko od nas znajduje się jakaś galaktyka, musimy zastosować drugą metodę, w której ważną rolę odgrywa szczególny rodzaj gwiazd, zwanych *cefeidami*.

Cefeidy są bardzo jasnymi gwiazdami, a ich jasność z niezwykłą regularnością oscyluje pomiędzy poziomem maksymalnym a minimalnym. Co ciekawe, naukowcy znaleźli sposób na powiązanie okresu tej oscylacji z całkowitą ilością emitowanego przez cefeidę światła. Wystarcza im to, żeby określić, w jakiej odległości od nas ta gwiazda się znajduje – światło słabnie w miarę dystansu przebytego od źródła, podobnie jak słabnie dźwięk syreny, w miarę jak oddala się radiowóz. Jeśli zbierzemy docierającą na Ziemię porcję światła emitowanego przez odległą cefeidę, poznamy jej odległość od Ziemi. A tak się szczęśliwie składa, że cefeid jest wiele.

Ale ta metoda również ma ograniczenia. Do zmierzenia największych odległości we wszechświecie pojedyncze cefeidy już się nie przydadzą, ponieważ

nawet najpotężniejsze teleskopy nie odróżniają ich od innych, pobliskich grup gwiazd. Do badania bardzo odległego wszechświata potrzebna jest trzecia metoda.

Być może pamiętasz osiągnięcia amerykańskiego astronoma Edwina Hubble'a, o których czytałeś w drugiej części książki. W latach dwudziestych XX wieku jako pierwszy zaobserwował on, że odległe galaktyki się od nas oddalają, że wszechświat się rozszerza. Kilku twoich przyjaciół wyświadczyło ci uprzejmość i potwierdziło ten fakt, obserwując nocne niebo przez warte miliard dolarów teleskopy.

Hubble wykorzystał przesunięcie barw światła pochodzącego ze znajdujących się w odległych galaktykach cefeid, aby określić ich prędkość. Zwrócił uwagę, że była wprost proporcjonalna do odległości, w jakiej się od nas znajdowały: galaktyki leżące dwa razy dalej oddalały się dwa razy szybciej. Prawo to obecnie nazywa się *prawem Hubble'a*.

Trzecia metoda opiera się właśnie na prawie Hubble'a i ma zastosowanie wtedy, gdy nie można odróżnić cefeid od ich otoczenia. Analizując przesunięcie barw światła dochodzącego do nas z odległych galaktyk, naukowcy potrafią powiedzieć, jaką część naszego rozszerzającego się wszechświata ono przebyło. A to umożliwia określenie odległości, w jakiej teraz znajduje się dana galaktyka.

Prawo Hubble'a jest dość proste i dobrze koresponduje z naszą dotychczasową wiedzą: miliardy lat temu czas i przestrzeń stały się tym, czym są teraz, od tamtej pory czasoprzestrzeń się rozszerzała, a tempo tej ekspansji – co wydaje się normalne w wypadku ekspansji zapoczątkowanej gwałtownym uwolnieniem energii (czyli Wielkim Wybuchem) – przez cały ten czas się zmniejszało.

Ten schemat wydaje się całkiem logiczny.

Tyle tylko, że przeczy temu, co niedawno zobaczyłeś. To, w jaki sposób przesunęły się barwy widzianych przez ciebie rozbłysków światła, nie pasuje do

tego wielkiego, pięknego i spójnego obrazu. Coś się nie zgadza i gdzieś tutaj czai się zagadka numer dwa.

Aby się zorientować, o co w tym wszystkim chodzi, kontynuujmy podróż i zobaczmy, co zapoczątkowało te niezwykle potężne rozbłyski światła, które cię oślepiły.

Ruszasz znad Drogi Mlecznej i kierujesz się w stronę wyjątkowo pięknej i kolorowej galaktyki spiralnej leżącej w odległości około 8 miliardów lat świetlnych od Ziemi. Pokonujesz ogromne dystanse dzielące naszą kosmiczną rodzinę od tej wyspy światła, a gdy już jesteś w jej pobliżu, wlatujesz do niej z boku. Mijasz miliony gwiazd znajdujących się w tej galaktyce oraz chmury pyłu o rozmiarach tysięcy Układów Słonecznych i nagle się zatrzymujesz.

Tuż przed sobą widzisz nie jeden, ale dwa świecące obiekty. Natychmiast przykuwają twoją uwagę. Z dużą prędkością, w dość asymetryczny sposób, krążą wokół siebie. Jeden z nich jest ogromną, rozgniewaną czerwoną gwiazdą. Drugi obiekt również świeci jasno, ale jest o wiele mniejszy, ma rozmiar podobny do Ziemi i kolor zbliżony do bieli. Nie daj się jednak zwieść. Mimo ogromnej różnicy ich wielkości rządzi tu ten maluch, a nie czerwony olbrzym. Mała biała kula jest pozostałością po rdzeniu gwiazdy, która wybuchła kilkaset milionów lat przed twoim przybyciem. Ginąca gwiazda pozbyła się swoich zewnętrznych warstw, rozrzucając je na wszystkie strony, a jej rdzeń uległ kompresji i stał się tym, co teraz masz przed sobą. To *biały karzeł*, niezwykle gęsty i gorący obiekt. Zwykle białe karły schładzają się przez dziesiątki milionów lat i gasną, stając się ostatecznie zimnymi, ciemnymi, samotnymi kosmicznymi wędrowcami. Ten wybrał jednak zupełnie inną drogę.

Żeby mieć pojęcie o gęstości białego karła, zróbmy piłki bejsbolowe z różnych materiałów. Zwykle taka piłka składa się z gumy, skóry oraz powietrza i waży około 145 gramów. Gdybyś taką samą objętość wypełnił ołowiem,

otrzymałbyś piłkę ważącą mniej więcej 2,3 kilograma. A piłka zrobiona z najcięższego pierwiastka występującego naturalnie na Ziemi, czyli z osmu, miałaby masę prawie dwa razy większą, czyli około 4,5 kilograma.

Teraz wypełnij taką samą objętość materiałem, z którego składa się biały karzeł, i twoja piłka bejsbolowa będzie ważyła 200 ton. W królestwie niezwykle gęstych obiektów białe karły zajmują trzecie miejsce. Są tuż za gwiazdami neutronowymi (nazwanymi tak, ponieważ składają się tylko z neutronów), a pierwsze miejsce w rankingu zajmują czarne dziury. Można by więc oczekiwać, że wewnątrz białych karłów, podobnie jak we wnętrzu gwiazd, dochodzi do niezwyklej fuzji jądrowych. Ale nic takiego się nie zdarza, chyba że znajdą jakiś sposób, by urosnąć. I rzeczywiście, białe karły pozostają białymi karłami dopóty, dopóki ich masa nie przekroczy 140 procent masy naszego Słońca.

A ten przed tobą ma coś, czym może się pożywić. Gwiazdę. Czerwonego olbrzyma, który na twoich oczach właśnie jest zjadany żywcem.

Gwiazda ta jest skazana na śmierć z powodu potężnej grawitacji białego karła, związanej z jego niezwykle gęstością. Czerwony olbrzym krążący wokół białego karła nie jest nawet w stanie utrzymać swoich zewnętrznych warstw – odrywają się, tworząc długą smugę jaskrawo świecącej, niezwykle gorącej plazmy. Widzisz, jak ta błyszcząca, wirująca kosmiczna rzeka spływa spiralnie w kierunku żarłocznego sąsiada, a następnie zostaje uwięziona na jego powierzchni i skompresowana.

Mamy tu do czynienia z kolosalną energią. Odczuwa ją nawet sama czasoprzestrzeń – taniec czerwonego giganta z białym karłem powoduje powstanie fal grawitacyjnych rozchodzących się w postaci zmarszczek w tkance wszechświata. Omywają one pobliskie obiekty, zmieniając czas i przestrzeń^[70].

Gdy obserwujesz, jak coraz więcej materii olbrzymiej gwiazdy dociera do powierzchni białego karła, słusznie przewidujesz, że za chwilę zdarzy się coś niezwyklego. Biały karzeł faktycznie znacznie przybrał na wadze, osiągając

wartość graniczną, czyli 140 procent masy Słońca. Ciśnienie w jego rdzeniu wzrosło wystarczająco, aby zapoczątkować nową, zdumiewająco gwałtowną reakcję łańcuchową, prowadzącą do niezwykłego końca. W mgnieniu oka biały karzeł wybucha, a eksplozja jest 5 miliardów razy jaśniejsza od Słońca. Imponujący łabędzi śpiew.

Takie eksplozje nazywane są *supernową typu Ia*. W każdej galaktyce zdarzają się mniej więcej raz na sto lat. Są dla nas wyjątkowo przydatne, ponieważ zawsze mają bardzo podobny, a właściwie nawet identyczny przebieg. Do eksplozji dochodzi, gdy biały karzeł pożywi się inną gwiazdą i osiągnie 140 procent masy Słońca. Dlatego wszystkie supernowe mają jednakową jasność – są 5 miliardów razy jaśniejsze od Słońca, przy rozmiarze niewiele większym od Ziemi. Jako znacznie jaśniejsze niż cefeidy, idealnie sprawdzają się w roli świec, za pomocą których możemy badać najdalsze rejony naszego wszechświata i sprawdzać działanie prawa Hubble’a.

Supernowe typu Ia są znacznie jaśniejsze od wszystkiego, co znamy, i w odróżnieniu od cefeid mogą być przez teleskop dostrzeżone w odległych galaktykach. Na podstawie ich jasności absolutnej naukowcy potrafią wywnioskować, podobnie jak w wypadku cefeid, w jakiej odległości supernowe się znajdują i jak szybko się od nas oddalają.

W 1998 roku dwa niezależne zespoły badające odległe supernowe opublikowały wyniki swoich prac. Jedna ekipa pracowała pod kierunkiem amerykańskiego astrofizyka Saula Perlmuttera, a drugą kierowało dwóch innych amerykańskich astrofizyków, Brian Schmidt i Adam Riess. Oba zespoły doszły do wniosku, że mniej więcej 5 miliardów lat temu, po trwającym 8 miliardów lat okresie normalnego rozszerzania się wszechświata, jego ekspansja zaczęła przyspieszać.

Spółeczność naukowa była tym odkryciem zaszokowana.

Ty również powinieneś być wstrząśnięty.

Nie tylko że tego nie oczekiwano – spodziewano się czegoś wręcz odwrotnego.

W wielkiej skali wszystkim rządzi ogólna teoria względności Einsteina, a jego grawitacja, podobnie jak grawitacja Newtonowska, pozwala jedynie na przyciąganie się obiektów. Cokolwiek wypełnia wszechświat – materia, antymateria czy ciemna materia – musi więc w dłuższej perspektywie zwalniać tempo ekspansji, a nie je przyspieszać.

Z obserwacji Perlmuttera, Riessa i Schmidta wynikało jednak coś odwrotnego. Jedynym sposobem na wyjaśnienie tej sprzeczności było znalezienie czegoś całkiem nowego, co odpowiadałoby za takie przyspieszenie. Musiałoby to wypełniać cały wszechświat i mieć niezwykłą właściwość – działać jak siła antygravitacyjna, czyli odpychać materię i energię, a nie je przyciągać.

Z nieznanymi powodami mniej więcej 5 miliardów lat temu ta nowa siła przewyciężyła wszystkie inne potężne siły naszego wszechświata. Wcześniej jej działanie było nieodczuwalne.

Powstała wtedy zagadkowa energia nazwana *ciemną energią*. Co ciekawe, biorąc pod uwagę obserwowane efekty, musi jej być bardzo dużo.

W istocie, według najnowszych badań niesamowicie dużo.

Trzy razy więcej niż ciemnej materii.

Piętnaście razy więcej niż zwykłej materii, z której jesteśmy zbudowani.

Za ustalenie, że ekspansja wszechświata przyspiesza, a nie zwalnia, Perlmutter, Schmidt i Riess zostali w 2011 roku uhonorowani Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki. W następstwie ich odkrycia cały energetyczny budżet naszego wszechświata musiał zostać obliczony od nowa. Obecnie, według szacunkowych danych pochodzących z satelitów NASA, wygląda on następująco:

ciemna energia: 72 procent,
ciemna materia: 23 procent,
znana nam materia (w tym światło): 4,6 procent^[71].

Wszystko, co dotychczas zobaczyłeś w czasie swoich podróży, stanowi jedynie 4,6 procent całej zawartości wszechświata.

Reszta pozostaje tajemnicą.

Inaczej niż to było z ciemną materią, istnienie pewnej formy ciemnej energii już wcześniej brano pod uwagę. Sto lat temu taką możliwość dopuszczał sam Einstein. Choć wtedy uznał tę koncepcję za „swoją największą pomyłkę”, dzisiaj wydaje się raczej, że pomyłką było nazwanie jej pomyłką.

Być może pamiętasz z drugiej części książki, że Einsteinowi nie podobała się koncepcja zmieniającego się, ewoluującego wszechświata. Był raczej skłonny sądzić, że czas i przestrzeń, z jakimi miał do czynienia, od zawsze były niezmiennie i takie też pozostaną. Niestety, ogólna teoria względności, w swojej najprostszej formie, mówi coś innego. Według niej czasoprzestrzeń może się zmieniać, i tak się też dzieje. Aby dopuścić możliwość, że wszechświat się nie zmienia, Einstein zmodyfikował trochę swoje równania, wprowadzając do nich nowy człon – jedyny dodatkowy człon, na jaki pozwalały. W tamtych czasach było to śmiałe posunięcie – równania Einsteina oznaczały (i wciąż oznaczają), że ilość energii w każdym miejscu naszego wszechświata dokładnie odpowiada jego lokalnej geometrii, a zatem jeśli jedna z tych wielkości się zmieni, zmianie ulegnie również druga. Gdy wszędzie została dodana pewna nowa forma energii, wszędzie też zmieniał się kształt wszechświata i jego dynamika. Mówiąc o energii, Einstein miał na myśli wszystko, co powoduje efekt grawitacyjny – obecnie w ten sposób traktuje się materię, światło, antymaterię, ciemną materię i wszystko inne, co przejawia normalne, przyzwoite, przyciągające zachowanie grawitacyjne.

Ale człon dodany do równań przez Einsteina – zależnie od znaku – może opisywać efekty przyciągania albo odpychania. Fizycznie odpowiada on energii wypełniającej cały wszechświat. Einstein nazwał go *stałą kosmologiczną*.

Dzięki tej stałej wszechświat mógł pozostać statyczny i zachowywać się przyzwoicie, nie burząc filozoficznej wizji twórcy...

Einstein poczuł ulgę – znów mógł w nocy spokojnie spać.

Nic z tego. Mniej więcej dziesięć lat później, dzięki pracom Hubble'a, ekspansja wszechświata stała się faktem potwierdzonym doświadczalnie. Koniec ze statycznym wszechświatem! Einstein wycofał więc ze swoich równań stałą kosmologiczną, uznając jej wprowadzenie za swoją największą pomyłkę.

Co za ironia losu, że dzisiaj, jakieś sto lat później, wydaje się, że to, co uczony usunął ze swoich równań, dziś mogłoby być przydatnym narzędziem, jakiego teoretycy potrzebują, aby wyjaśnić największą zagadkę w historii ludzkości – ciemną energię, która jest motorem przyspieszenia ekspansji naszego wszechświata. Stała kosmologiczna może go zamienić w całkowite przeciwieństwo statycznego wszechświata – w coś, co rozszerza się z coraz większą prędkością. Mogłoby to być rozwiązanie zagadki ciemnej energii. Pozostaje tylko jeden problem: odkrycie jej źródła. Wrócimy do tego w siódmej części książki.

Nawiasem mówiąc, byłoby wspaniale, gdyby każdy mylił się tylko tak jak Einstein.

Koncepcja ciemnej energii, czymkolwiek ta energia jest, już zmieniła nasze widzenie kosmologii. Przed odkryciami Perlmuttera, Riessa i Schmidta sądzono, że przyszłość naszego wszechświata – zależnie od jego całkowitej zawartości – może przebiegać według dwóch scenariuszy. W pierwszym scenariuszu zakładano, że zawiera on zbyt wiele materii. W konsekwencji, na pewnym etapie, proces rozszerzania się wszechświata zostałyby odwrócony. Wtedy grawitacja

byłaby górą, a cała sytuacja wyglądałaby tak, jakby użyto zbyt mocnej sprężyny. W pewnej chwili cały wszechświat zacząłby się więc kurczyć i wszystko skończyłoby się tak zwanym *Wielkim Kolapsem*. To przeciwieństwo Wielkiego Wybuchu – czas biegłby w takim wypadku szybko, ale w innym kierunku niż teraz.

Według drugiego scenariusza byłoby zbyt mało materii lub energii, aby powstrzymać rozszerzanie się wszechświata. Odkrycie przez Perlmuttera, Riessa i Schmidta ciemnej energii wskazuje, że taka przyszłość jest bardziej prawdopodobna. Możemy przypuszczać (o ile, patrząc przez nasze teleskopy, nie ujrzymy pewnego dnia kolejnej niespodzianki), że pole sił antygravitacji spowoduje niekończącą się ekspansję wszechświata, w wyniku czego czeka nas bardzo zimna kosmiczna przyszłość. Zgadzam się, zarówno Wielki Kolaps, jak i śmierć wskutek zamrożenia to dość przygnębiająca perspektywa. Ale – jak się przekonasz w następnej i ostatniej części książki – ta mroźna śmierć wcale nie musi być końcem wszystkiego.

Może też być tak, że teoria Einsteina po prostu nie sprawdza się w odniesieniu do tak ogromnej skali. W takim razie nie wolno nam stosować jego równań do wysnuwania wniosków o istnieniu ciemnej energii. Podobnie jak koncepcje Newtona zastosowane do opisu ciał znajdujących się w pobliżu wielkich gwiazd dawały błędne wyliczenia orbit, tak równania Einsteina mogą w którymś miejscu odbiegać od rzeczywistości. Obecnie jednak można przyjąć, że ciemna energia jest realna, a nawet że ma kwantowe pochodzenie. To bardzo ekscytująca perspektywa dla wszystkich tych, którzy lubią łączyć świat bardzo małych rozmiarów ze światem rozmiarów bardzo dużych.

Tak czy siak, ciemna materia i ciemna energia – czymkolwiek są – to wielka sprawa. Newtonowska grawitacja pomogła nam odkryć nowe planety wokół Słońca. Grawitacja według Einsteina postawiła nas w obliczu jeszcze większych zagadek – tajemnic tak głębokich, że mogą w nich kryć się jakieś wskazówki czy

też klucze, które otworzą nam drzwi do nieznanych królestw naszej wielkoskalowej rzeczywistości.

Chyląc głowę przed doniosłością tych odkryć, wróćmy jednak do naszych podróży. Nadszedł czas, abyś się dowiedział, czemu ogólna teoria względności nie może być teorią Wszystkiego i dlaczego przewiduje swoje własne fiasko.

[70] Jeśli się zastanawiasz, jaki wpływ może mieć na ciebie fala grawitacyjna, oto garść bardzo przybliżonych danych. Gdybyś znajdował się w pobliżu dwóch czarnych dziur, których kolizja została wykryta przez detektor LIGO, twój rozmiar – w wyniku działania ich fal grawitacyjnych – zmieniłby się o mniej więcej 2–3 procent. Może się wydawać, że to niewiele, ale tak samo zmieniłyby się rozmiary wszystkich obiektów w pobliżu ciebie, także planet i gwiazd. Rozchodząc się coraz dalej, fale grawitacyjne stopniowo by zanikały, podobnie jak fale wywołane przez wpadający do oceanu meteoryt. Gdy zatem fale grawitacyjne powstałe wskutek połączenia się dwóch czarnych dziur dotarły do Ziemi 1,3 miliarda lat później, ich wpływ na czasoprzestrzeń był śmiesznie mały. Można tu mówić o zmianie nie większej niż grubość ludzkiego włosa na dystansie pomiędzy naszą planetą a Proximą Centauri – gwiazdą, którą odwiedziłeś w pierwszej części książki, najbliższą naszemu Układowi Słonecznemu, odległą od niego o cztery lata świetlne. Tak czuły jest detektor LIGO. Ma się rozumieć, kolizje czarnych dziur to wyjątkowo gwałtowne zdarzenia, tym samym wywołują imponujące fale grawitacyjne. O wiele mniejsze są fale powstałe w wyniku pożarcia olbrzymiej gwiazdy przez białego karła, czego w tej chwili jesteś świadkiem, ale to też jest zdarzenie z gatunku gwałtownych. Szczególnie pod sam koniec.

[71] Ich suma nie daje 100 procent, ponieważ liczby te są obarczone pewnym błędem. Źródło: Sonda kosmiczna WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).

OSOBLIWOŚCI

Pamiętasz kwantowe nieskończoności?

To pojawianie się, nieustannie i wszędzie, nieskończonej liczby cząstek w próżni z kwantowej teorii pola? I katastrofalne skutki, jakie to miało dla czasoprzestrzeni?

Aby sobie z tym poradzić, naukowcy musieli albo wyłączyć grawitację i traktować nieskończone wartości tak, jakby ich w ogóle nie było, albo ignorować najmniejsze rozmiary. Było to skuteczne, dopóki nie brali pod uwagę grawitacji kwantowej.

Na chwilę odsuńmy więc na bok kwantowe historie.

Wróćmy do grawitacji. Czy możliwe jest, aby zwykła materia, jaką znamy i z jaką mamy codziennie do czynienia, miała taki sam wpływ na strukturę naszego wszechświata? Czy może ona sprawić, aby czasoprzestrzeń zapadła się w siebie?

Odpowiedź na te pytania brzmi: zdecydowanie tak. I nawet tym razem rezultat zobaczymy na niebie.

Aby lepiej zrozumieć kwestie grawitacyjne, wyobraźmy sobie mnóstwo bardzo ciężkich szklanych kulek rzuconych na gumową matę.

W wyniku wytworzonego przez nie zakrzywienia kulki znajdujące się blisko siebie stoczą się w jedno miejsce, a powstałe w ten sposób zgrupowanie jeszcze zwiększy zakrzywienie materiału. Z każdą kolejną kulką staczającą się w dół, by dołączyć do grupy, guma coraz bardziej się odkształca.

Na pewnym etapie proces ten się zakończy, ponieważ albo wszystkie kulki wpadną do zagłębienia, albo te pozostałe będą znajdowały się zbyt daleko.

Nic w tym dziwnego.

Jeśli jednak gumowa mata jest miękka jak guma do żucia lub nie jest wystarczająco mocna, aby utrzymać tyle kulek w równowadze, to nawet gdy przestanie ich przybywać, mata może się nadal coraz bardziej uginać pod ich ciężarem, aż w końcu pęknie.

Żaden materiał nie jest na tyle mocny, aby utrzymać każdy ciężar. Stąd wziął się pomysł granicznej gęstości: jeśli położysz zbyt dużą masę na zbyt miękkiej powierzchni, to powierzchnia wokół masy będzie się coraz bardziej zniekształcała, aż wreszcie się rozerwie.

A co w takiej sytuacji będzie się działo z czasoprzestrzenią?

Chociaż nie grozi jej rozerwanie, na obiekty o bardzo dużej gęstości zareaguje jeszcze gwałtowniej, ponieważ jej strukturą jest nie tkanina, lecz czas i przestrzeń.

Czasoprzestrzeń. To nie płaska tkanina, ale objętość. Plus czas.

Czasoprzestrzeń zakrzywia się, skręca i rozciąga wokół znajdujących się w niej obiektów, niezależnie od tego, czy są materią, czy jakimś innym rodzajem energii. Tak rozumiał to Einstein.

Jeśli będziesz gromadził coraz więcej energii (nieważne, w jakiej formie) w określonej objętości, to podobnie jak w wypadku gumowej maty znajdziesz się w końcu w kłopotcie. Po przekroczeniu pewnej wartości granicznej nic nie powstrzyma coraz większego zakrzywiania się czasoprzestrzeni, nawet jeśli nic więcej już do niej nie wpadnie.

Gdy zakrzywienie będzie się pogłębiało, zgniecione zostanie to, co je zapoczątkowało, wskutek czego gęstość tam jeszcze wzrośnie. To błędne koło doprowadzi do nieuchronnego załamania się czasoprzestrzeni, zniekształconej przez wartości nieskończone, z którymi nie radzi sobie ogólna teoria

względności. Takie nieskończoności nazywamy *osobliwościami*. Różnią się one od tych, które widziałeś wcześniej. Nie mają nic wspólnego z procesami kwantowymi. Pojawiają się wtedy, gdy w zbyt małej objętości znajdzie się za dużo masy lub energii.

Osobliwości te występują lokalnie. A sama możliwość ich istnienia zapowiada fiasko teorii grawitacji Einsteina.

Pod koniec lat sześćdziesiątych i na początku lat siedemdziesiątych XX wieku, gdy inni chodzili na haju, słuchali psychodelicznej muzyki albo byli zajęci poszukiwaniem nowych cząstek fundamentalnych, brytyjski fizyk-matematyk Roger Penrose oraz Stephen Hawking udowodnili za pomocą zestawu słynnych twierdzeń, że takie załamania zdarzają się we wszechświecie, w którym na wielką skalę rządzi ogólna teoria względności. Ich twierdzenia dowiodły, że z pokorą przewidywała ona własne fiasko. Tak jak Newton potrzebował obszerniejszej teorii, aby uwzględnić anomalię orbity Merkurego, tak i teoria Einsteina potrzebowała rozwinięcia choćby po to, żeby wyjaśnić te wszystkie załamania.

Ciekawi cię, gdzie do nich dochodzi. Czy zdarzają się w naturze, czy są to jedynie kaprysy teoretyków?

Nie, są realne – i wiem, że ty orientujesz się, gdzie je znaleźć.

Jedna taka osobliwość, matka wszystkich osobliwości, występuje w przeszłości naszego wszechświata, kiedy cała jego energia była zamknięta w wyjątkowo małej objętości.

W pewnym sensie nasz wszechświat narodził się z takiej osobliwości, bo to z niej powstały czas i przestrzeń, jakie dzisiaj znamy.

Inna osobliwość znajduje się głęboko we wnętrzu wszystkich czarnych dziur, którymi usiany jest wszechświat.

Wbrew temu, co niektórzy sądzą, czarne dziury są przeciwieństwem pustych

dziur – rodzą się, kiedy w wyniku katastrofalnych kolapsów zbyt dużo materii zostaje ściśnięte w zbyt małej objętości. Jak się później przekonasz, taki proces może zostać zapoczątkowany przez śmierć gwiazdy olbrzyma.

Pytania, które nurtowały i pobudzały wiele wybitnych umysłów od czasu ogłoszenia twierdzeń Penrose'a-Hawkinga, brzmią następująco: skoro osobliwości najprawdopodobniej występują w naturze, to czy można sobie choćby wyobrazić, co się wewnątrz nich dzieje? W jaki sposób trzeba myśleć o miejscach, gdzie czas i przestrzeń nie mają już żadnego sensu? Jaka teoria nadawałaby się do zbadania tych katastrofalnych kolapsów?

Musiałaby to być teoria, która sprawdzałaby się i w świecie wielkich, i w świecie małych rozmiarów.

Ponieważ zarówno czarne dziury, jak i początki naszego wszechświata charakteryzują się gigantycznymi ilościami energii zamkniętymi w bardzo małej objętości, powinna to być teoria łącząca w sobie procesy grawitacyjne i kwantowe.

Każda teoria, która pozwoliłaby nam zrozumieć nasz wszechświat lepiej niż teoria Einsteina, musiałaby uwzględniać kwantowe aspekty grawitacji, to znaczy czasoprzestrzeń.

Penrose i Hawking udowodnili, że ogólna teoria względności Einsteina ma poważne ograniczenia, że nie potrafi ona wyjaśnić całości naszego wszechświata, ani tego z przeszłości, ani obecnego: załamuje się, zanim zaczniemy w ogóle badać, co znajduje się w głębi dzisiejszych czarnych dziur. W związku z tym można by sobie pomyśleć, że całą winę za trudności związane ze znalezieniem kwantowej teorii grawitacji ponosi sama grawitacja – dziecko Einsteina. Już się jednak przekonałeś, że tak nie jest. Mamy również kłopot z samą kwantową wizją świata.

Spróbujesz połączyć te dwie wizje wszechświata – choćby miało to okazać się trudne – gdyż właśnie nadszedł czas, abyś zbadał czarną dziurę.

SZAROŚĆ TO NOWA CZERŃ

Zważywszy na okoliczności, czujesz się nadzwyczaj normalnie.

Masz wciąż materialną postać, nie jesteś przezroczysty, możesz poruszać rękami i nogami. Twoje ciało składa się z krwi i kości, a serce bije tak jak zawsze. Trochę boli cię szyja, czujesz się więc tak, jakbyś był na Ziemi. Ale znajdujesz się w przestrzeni kosmicznej. Twój robot przewodnik, składający się z maleńkiej żółtej obudowy oraz rury wyrzutowej, znajduje się tuż obok ciebie, tak samo namacalny i realny jak ty sam.

Rozglądasz się dookoła.

Futurystyczne lotnisko zniknęło. Niczego nie rozpoznajesz, ale domyślasz się, że musisz być we wnętrzu jakiejś galaktyki, w pobliżu jej centrum. Tryliony gwiazd świecą tak jak zwykle. Wszędzie, tylko nie przed tobą, gdzie rozciąga się jedynie ciemna plama czasoprzestrzeni.

Lecąc u boku robota, uświadamiasz sobie, że obszar ciemności dryfuje na tle gwiazd.

Czyli jest blisko.

Pustka zawieszona w przestrzeni. Mroczne niebezpieczeństwo zagrażające wszystkiemu w pobliżu.

Wiesz, co to jest. Czarna dziura.

Jest ogromna, ma masę około 10 miliardów razy większą od masy Słońca. W niczym nie przypomina tamtej czarnej dziury, którą widziałeś blisko centrum Drogi Mlecznej. Nie otacza jej pierścień z płonących świateł. W pobliżu nie ma żadnej gwiazdy, która mogłaby wpaść do jej wnętrza. Ta czarna dziura już

pożarła i strawiła wszystkie gwiazdy, które kiedykolwiek się w tym miejscu znajdowały. Oraz znakomitą większość odłamków skalnych.

Teraz jest tu zupełnie pusto. Nie ma czym się pożywić, z wyjątkiem skał, które pechowym dla nich zrządzeniem losu przyleciały tu z daleka. Niektóre są jeszcze w drodze.

– Jeśli gdzieś tam w dole jest choćby ślad kwantowej grawitacji, to go znajdziemy – oznajmia maszyna.

– Czy to będzie niebezpieczne? – pytasz.

– Na pewno. To czarna dziura.

Spoglądasz na nią ponownie, porównując ją z czarną dziurą, którą spotkałeś na swojej drodze na początku książki. Tym razem z jej biegunów nie wytryskują strumienie światła – jest tylko owalna, płaska, czarna plama pustki. Zjeżdżasz spiralnym ruchem w dół, po wytworzonym przez nią zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Gdy tak spadasz, obrazy odległych gwiazd przemieszczających się w pobliżu jej krawędzi ulegają zniekształceniu i znajdują się nagle w zupełnie innym miejscu niż jeszcze ułamek sekundy wcześniej. Nie są to już świetlne punkty, ale małe, jaskrawo świecące struny na zewnętrznej krawędzi ciemnego dysku. Potem i one znikają, jakby zostały połknięte przez ciemną pustkę. Lecz po chwili pojawiają się po jej drugiej stronie, gdzie stopniowo z powrotem zamieniają się w odległe świecące kropki.

Masz wrażenie, że światło jest zniekształcane przez krawędzie tej przypominającej ciemną studnię dziury, niczym przez soczewkę.

Cały czas poruszasz się po torze spiralnym, z robotem u boku. Jesteś jeszcze dość daleko od samej czarnej dziury, ale już przeczuwasz, jaki czeka cię los, i zaczynasz pragnąć, aby to, co zamierza pokazać ci robot, nie pojawiło się zbyt późno – cokolwiek by to „zbyt późno” miało znaczyć.

– Obejrzyj się przez lewe ramię – mówi robot.

Odwracasz się i widzisz skałę zmierzającą prosto do wnętrza czarnej dziury. To wirująca planetoida o wielkości góry. Z oszałamiającą prędkością przelatuje w odległości około 100 kilometrów od ciebie.

Koncentrujesz wzrok na jej ciemnosrebrnej powierzchni. Jest to jedyny ruchomy obiekt na tle czarnego dysku dziury.

Skała oddala się od ciebie i wydaje się coraz mniejsza, ma teraz rozmiar brzoskwini trzymanej w wyciągniętej ręce, a po chwili jest już zniekształconym orzeszkiem. Nagle, gdy spiralne spadanie przenosi cię na drugą stronę czarnej dziury, pojawiają się dwa obrazy planetoidy. Jeden po twojej lewej stronie, drugi po prawej. Zniekształcenie czasoprzestrzeni wokół ciemnej plamy jest tak duże, że światło wydaje się docierać do twoich oczu kilkoma różnymi drogami...

– Skała wkrótce go przekroczy – mówi do ciebie, prawie z żalem, robot.

– Przekroczy? – pytasz, coraz bardziej zaniepokojony. – Co masz na myśli? Co przekroczy?

– Horyzont zdarzeń.

– Co takiego?

– *Horyzont zdarzeń czarnej dziury*. Granicę, spoza której nie ma już powrotu. Sam to zobaczysz. Albo i nie. Żadnemu człowiekowi ani żadnej maszynie nigdy nie udało się być tak blisko czarnej dziury, a co dopiero znaleźć się w jej wnętrzu. Istnieje teoria na temat tego, co powinno tam się dziać, ale może być błędna. Po przekroczeniu tego horyzontu znajdziemy się poza granicą tego, co znane.

– To może nie powinniśmy się za bardzo do niego zbliżać – mówisz.

– A może właśnie powinniśmy – oponuje robot. – Przeprowadzamy eksperyment naukowy. Musimy podjąć przemyślane ryzyko.

– Ale gdzie mam szukać tego horyzontu?

– Wszędzie.

Maszyna przesuwa swoją rurę wyrzutową w lewo i w prawo, wskazując kolejno na dwa obrazy planetoidy i na wolne miejsce pomiędzy nimi.

Przenosisz wzrok z jednego obrazu na drugi i czekasz, aż oba przelecą przez horyzont zdarzeń i znikną w głębi czarnej dziury. Po zrobieniu kolejnego okrążenia widzisz, że mała srebrnobrązowa planetoida, która ma teraz rozmiar orzecha, wciąż się unosi ponad ciemną pustką. Dziwne, ale chyba się przez ten czas wcale nie zmieniła. A nawet w ogóle przestała się poruszać.

– Nie wpadła! – krzyczysz, czując ulgę.

Być może wcale cię dziś nie czeka rozerwanie na strzępy przez czarną dziurę.

– Wpadła – poprawia cię maszyna. – Już jej tam nie ma.

– Chyba żartujesz.

– Przepadła – upiera się robot. – Pozostał tylko jej obraz. To jest zakrzywienie czasoprzestrzeni w całej okazałości. Czasu oraz przestrzeni. Nasz czas, twój i mój, nie biegnie tak samo jak czas planetoidy. Ona znajduje się już poza horyzontem zdarzeń, a jej obraz wciąż jest na horyzoncie. Tak to wygląda.

Mija cię kolejny obiekt pędzący w kierunku otchłani. Tym razem jest to skrzący się kamień, który przypomina ogromny diament – i faktycznie nim jest. Niektóre ginące gwiazdy pozostawiają po sobie diamenty wielkości Księżyca.

Obserwując, jak spada, kończysz kolejne okrążenie wokół czarnej dziury i uświadamiasz sobie, że jesteś teraz znacznie bliżej niej. I poruszasz się znacznie szybciej. Z każdym kolejnym okrążeniem widzisz, jak kilka obrazów planetoidy, a obok nich obraz diamentu, wyglądających tak, jakby były zamrożone ponad tą surrealistyczną ciemnością, ulega coraz większemu zniekształceniu – jak wszystko inne, co możesz zobaczyć.

Niezależnie od tego, co mówią ci oczy, robot znowu ma rację: planetoidy i diamentu nie można już w żaden sposób odzyskać. A po ich połknięciu czarna dziura się powiększyła. Albo przynajmniej poszerzył się jej horyzont zdarzeń.

– Czy właśnie to chciałeś mi pokazać? – pytasz robota. – Że pusta dziura

rośnie, gdy coś połknie?

– Czarne dziury wcale nie są puste – złowróżbnym tonem odpowiada robot.

W rzeczywistości czarne dziury są krańcowym przeciwieństwem pustki – powstają wtedy, gdy w zbyt małej objętości znajduje się zbyt wiele materii i energii. Do stworzenia jednej czarnej dziury potrzebna jest ogromna ilość energii. Z tego, co wiemy, tylko największe spośród świecących gwiazd, kiedy giną, uwalniają wystarczającą ilość energii, aby zgnieść rdzeń do postaci czarnej dziury.

Podczas swojej podróży spotkałeś już białe karły. Powstają one w wyniku podobnego rodzaju kompresji, lecz nie tak ekstremalnej, jak w wypadku czarnych dziur. Nic nie może się z nimi równać, mimo że wszystkie pozostałości po ginących gwiazdach robią wrażenie. A skoro już jesteśmy przy czarnych dziurach, to w czasie gdy po spirali okrążasz jedną z nich, niepowstrzymanie opadając w kierunku jej wnętrza, chciałbym przedstawić ci jeszcze jeden powód, dla którego są one tak przerażające i tajemnicze.

Gdybyś wylądował na dowolnym obiekcie we wszechświecie – odłamku skalnym, planecie czy gwiazdzie – mógłbyś wysłać z niego sygnał świetlny, pokazujący twoje położenie. Ale im większa byłaby gęstość tego obiektu, tym więcej energii musiałby mieć twój sygnał, aby wspinać się po utworzonym przez ten obiekt zakrzywieniu w otaczającej go czasoprzestrzeni. Sytuacja wygląda podobnie jak w wypadku salaterki: im jest głębsza, tym energiczniej musisz zakreślić kulka, by zdołała się wytoczyć przez brzeg i na zewnątrz. Lądując kolejno na planecie, gwiazdzie albo białym karle, potrzebowałbyś coraz mocniejszego sygnału świetlnego, aby zdołał przezwyciężyć siłę przyciągania tych obiektów i wydostał się w przestrzeń kosmiczną.

Czarne dziury są jeszcze gorsze. Zawierają ogromną ilość materii i energii i w związku z tym wytwarzają tak stromą krzywiznę czasoprzestrzeni, że

wszystko, co nieopatrznie znajdzie się zbyt blisko nich, musi w nie wpaść. Według ogólnej teorii względności nic w naszym wszechświecie nie ma wystarczająco dużo siły, aby uciec z grawitacyjnego uścisku czarnej dziury. Nawet światło. Granica, spoza której nic nie ma szans do nas powrócić – horyzont zdarzeń czarnej dziury – leży tam, gdzie obrazy planetoidy i diamentu wyglądają dla zewnętrznego obserwatora jak zamrożone.

Ciemna przestrzeń przed tobą stale się powiększa – jest jak ogromna paszcza, która lada chwila może połknąć twoją rzeczywistość.

Otoczające cię zewsząd odległe gwiazdy wyglądają teraz zupełnie inaczej. Odnosisz nawet dziwne wrażenie, że wszystko, co widzisz przed sobą, w rzeczywistości leży z tyłu... Obracasz głowę i zdajesz sobie sprawę, że to nie tylko wrażenie – tak jest w istocie. Światło emitowane przez gwiazdy znajdujące się za tobą porusza się z właściwą sobie prędkością, wyprzedzając cię i przemieszczając się po zakrzywieniu wytworzonym przez czarną dziurę. Wszystkie promienie świetlne rozchodzące się po lewej stronie tego kolosa zwracają za nim o 180 stopni, podobnie jak w kolejce górskiej, i pojawiają się z jego prawej strony. Potem światło kieruje się w twoją stronę i dociera do twoich oczu. Patrząc do przodu, widzisz więc także to, co jest za tobą.

Z miejsca, w którym się teraz znajdujesz, możesz zobaczyć praktycznie cały wszechświat, po prostu patrząc przed siebie.

Wciąż poruszasz się ruchem spiralnym w dół, a tymczasem wszystko staje się coraz bardziej zagmatwane.

Obrazy planetoidy i diamentu znowu się poruszają. W miarę jak się do nich zbliżasz, wasz czas płynie w coraz bardziej zbliżonym tempie, aż nagle wszystkie te obrazy zupełnie znikają.

Właśnie zobaczyłeś, jak przekraczają horyzont zdarzeń. Według ich czasu zdarzyło się to kilka godzin temu.

Robot, którego masz u boku, obrócił się, a jego rura skierowana jest teraz w przestrzeń kosmiczną.

Również się odwracasz – wolno, bojąc się tego, co cię czeka.

To, co widzisz, przekracza granice twojej wyobraźni.

Wszystkie gwiazdy, które jeszcze przed chwilą zdawały się zupełnie nieruchome, teraz się poruszają. Ich ruch, zazwyczaj niezauważalny nawet w ciągu całego ludzkiego życia, jest teraz dla ciebie widoczny. Wszystkie gwiazdy, od najbliższych do najdalszych, pędzą przez czas i przestrzeń. Niektóre z nich poruszają się tak szybko, że jedyne, co jesteś w stanie dostrzec, to znikające błyskawicznie zakrzywione ślady rozrzucone po całym obrazie wszechświata. Gdy wcześniej przemykałeś przez niego z prędkością coraz bardziej zbliżoną do prędkości światła, odbywało się to w podobny sposób. Obserwowałeś życie astronautki, jej dzieci i wnuków, a ich czas, w porównaniu z twoim, przyspieszał. Wtedy działało się tak z powodu twojej prędkości, tym razem przyczyną różnicy jest grawitacja, zakrzywienie czasoprzestrzeni spowodowane obecnością czarnej dziury. Bo tutaj, w pobliżu niej, twój czas płynie wolniej niż gdziekolwiek indziej. Oglądasz odsłaniającą się przed tobą przyszłość naszego wszechświata, znów przekonując się w praktyce, co to znaczy, że czas i przestrzeń są scalone w czasoprzestrzeń.

– Czy przekroczyliśmy już horyzont zdarzeń? Czy jesteśmy skazani na spadanie bez końca? – pytasz, czując nagły niepokój.

Robot znowu się obraca, tym razem w twoim kierunku. Jesteś zaskoczony, widząc, jak bardzo powiększył się otwór jego rury wyrzutowej. Wygląda teraz tak, jakby miał służyć do wyrzucania kul do kręgli, a nie cząstek...

– Nie, my nie przekroczyliśmy jeszcze horyzontu zdarzeń. Ale ty zaraz to zrobisz – odpowiada robot.

Wiesz, że to niemożliwe, jednak wydaje ci się, że w głosie maszyny

pobrzmiewa nuta zadowolenia. Lecz zanim zdobywasz się na reakcję, maszyna strzela ci w pierś ciężką kulą. Nie masz wyboru, musisz chwycić pocisk. Jego impet momentalnie pcha cię w dół, w przepastną ciemność...

Krzyczysz i rozpaczliwie próbujesz się czegoś chwycić, żeby zatrzymać spadanie, ale nie znajdujesz żadnego oparcia.

Spadasz. Robot się oddala.

Sekunda twojego czasu odpowiada teraz minucie jego czasu.

A po chwili godzinie.

Dobie.

Rokowi.

W miarę jak robot znika w oddali, przed twoimi oczami mijają miliony lat. Jedne gwiazdy wybuchają, inne się rodzą, a ty jesteś świadkiem tego wszystkiego.

Upływają miliardy lat. Jakaś galaktyka łączy się z tą, w której się znajdujesz.

Robota już nie widać. Jesteś zdany tylko na siebie.

I wpadasz w panikę.

Przekroczyłeś horyzont zdarzeń czarnej dziury. Osłupiały oglądasz przyszłość wszystkiego. Boisz się tak bardzo, że nie możesz się skoncentrować. Spadając nogami w dół, patrzysz w górę na odsłaniające się przed tobą przyszłe losy całego wszechświata. Sam tymczasem pogrążasz się w otchłani nieznanej nicości, na której dnie znajduje się osobliwość.

Odwracasz się, aby na nią popatrzeć – na to tajemnicze centrum czarnej dziury, gdzie przeciwieństwo nicości, owa materia składająca się na ten nonsensowny twór w jakimś miejscu powinna ten absurd tworzyć.

Ku swemu zaskoczeniu zupełnie nic nie widzisz. Nawet swojego ciała – stóp, nosa ani dłoni.

Światło może do ciebie docierać z góry, z zewnątrz, ale w ogóle nie dochodzi z dołu, nawet z najmniejszej odległości. Nie ma wystarczająco dużo energii. Przekroczyłeś horyzont zdarzeń czarnej dziury i odtąd będziesz już zawsze gwałtownie spadał w kierunku powierzchni zapadniętych rdzeni wielu gwiazd, scalonych w bezustannej implozji, która będzie trwała tak długo, aż na tyle rozciągnie czasoprzestrzeń, że ogólna teoria względności Einsteina już sobie z tym nie poradzi. Konsekwencje takiego wydarzenia są nam nieznane.

Gdybyś naprawdę znajdował się w takim miejscu, już byś nie żył. Nawet światło nie może pokonać małego dystansu od twoich stóp do oczu, tym bardziej więc twoja krew, by dostać się do mózgu, nie mogłaby wspiąć się po zakrzywieniu czasoprzestrzeni, po którym zjeżdżasz teraz w dół.

Zostało nam jeszcze dużo do zobaczenia, musimy więc założyć, że wciąż żyjesz.

Nie masz ochoty wpatrywać się w tę ciemność bez dna. Dlatego chcesz się znowu obrócić, aby spojrzeć na wszechświat, którego obrazy spływają teraz w twoim kierunku przez odległy już horyzont zdarzeń. Ale nie możesz tego zrobić. Wszelki ruch do góry, na zewnątrz, jest zabroniony. Do jego wykonania potrzebna byłaby energia, jakiej nie ma nawet światło.

Ruch w górę nie jest dozwolony.

Gdy się zastanawiasz, czy może cię spotkać jeszcze coś gorszego, siły pływowe grawitacji zaczynają sprawiać ci ból. Efekt grawitacyjny spowodowany przez niewidzialną czarną dziurę zaczyna ciągnąć twoje stopy silniej niż ramiona i głowę. Jak tak dalej pójdzie, niedługo będziesz wyglądał jak nitka spaghetti.

Gdyby nawet podstępny robot wyposażył cię w najmocniejsze silniki sterujące, jakie kiedykolwiek zbudowano, i tak nic by to nie zmieniło.

Żaden silnik tu nie pomoże. Jeśli próbowałbyś uciec do góry spoza horyzontu zdarzeń czarnej dziury, czułbyś się tak, jakbyś się poruszał po śliskiej,

rozciągniętej tkaninie czasoprzestrzeni – tak jakbyś ćwiczył na nieskończenie długiej bieżni treningowej, której prędkość jest zawsze znacznie większa od twojej, w wyniku czego jesteś stale ciągnięty do tyłu.

Penrose i Hawking twierdzą, że jest to efekt działania znajdującej się gdzieś tam w dole osobliwości czasoprzestrzeni, osobliwości, której nigdy nie zobaczymy z przestrzeni kosmicznej. Żadne światło nie jest w stanie wydostać się spoza horyzontu zdarzeń, który ukrywa tę osobliwość. Tam w dole załamują się same pojęcia czasu i przestrzeni, podobnie jak to było przed Wielkim Wybuchem. Nikt nigdy nie zajrzał do samego środka osobliwości, aby móc po powrocie opowiedzieć, co się tam dzieje. Widocznie takie miejsca na zawsze muszą pozostać ukryte.

Ogólna teoria względności mówi, że ani ty, ani żaden należący do twojego ciała atom nigdy się stamtąd nie wydostaniecie.

To smutna wiadomość, szczególnie że zostało z ciebie tylko długie włókno cząstek, które kiedyś składały się na twoje ciało.

Tak, to smutne, ale tam, w dole, nie można ufać ogólnej teorii względności. Musimy pamiętać, że nie jest to teoria pól kwantowych.

W chwili gdy to do ciebie dociera, natychmiast odzyskujesz nadzieję i zamieniasz się w swoją miniaturkę.

I czekasz.

Na początku nic się nie dzieje.

A potem niespodziewanie znikają wszystkie cząstki elementarne, z których jesteś zbudowany.

Ściśle biorąc, wyskakują.

W istocie wykonują skok kwantowy.

I są teraz na zewnątrz.

Na zewnątrz czarnej dziury, gdzie, na twoje szczęście, układają się ponownie w twoją miniaturkę.

Czeka też tam na ciebie twój robot.

W pierwszej chwili masz ochotę rzucić się na niego i urwać mu metalową rurę za to, że wystrzelił cię poza horyzont zdarzeń czarnej dziury. W tej samej chwili słyszysz jego metaliczny głos:

– Czekałem na ciebie dziesięć miliardów lat. Cieszę się, że mnie poznałeś.

Nagle tracisz ochotę, aby zrobić mu krzywdę. A poza tym masz teraz ważniejsze rzeczy na głowie. Musisz pomyśleć o paru faktach, takich jak choćby ten, że właśnie byłeś świadkiem oddziaływania na siebie grawitacji i pól kwantowych.

Wszędzie dookoła gwiazdy znowu poruszają się tak wolno, że trudno zauważyć ich ruch. Dziesięć miliardów lat minęło od chwili, gdy przekroczyłeś horyzont zdarzeń czarnej dziury (przepraszam, zostałeś poza niego wepchnięty). Spoglądasz na czarny obszar przestrzeni kosmicznej, z którego w cudowny sposób uciekłeś. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że wcale się nie zmienił. Teraz jednak wiesz, czego szukać – jest tak, jakby usunięto kolejną zasłonę i jakbyś wreszcie naprawdę widział. Cząstki uciekają z czarnej dziury, rozchodzą się i oddalają od niej. Wygląda to tak, jakby ciemny potwór wyparowywał.

Być może działo się to cały czas, a ty po prostu nic nie zauważyłeś. Ale jak to możliwe?

Jak powiedział kiedyś Richard Feynman, dopiero wtedy naprawdę rozumie się jakieś zjawisko, kiedy można wymienić wiele różnych powodów, dla których się ono wydarza.

W czasie gdy razem z robotem będziecie obserwować cząstki odlatujące w przestrzeń kosmiczną, podam ci cztery powody, dla których czarne dziury pozwalają im uciekać. Wszystkie mają związek z procesem, który jest już ci znany.

Pierwszy powód jest najprostszy.

Jak już wiesz, cząstki kwantowe potrafią czerpać energię ze swojego pola. I mogą to robić nawet wtedy, gdy znajdują się poza horyzontem czarnej dziury. Dzięki tej pożyczonej energii wolno im się poruszać szybciej niż światłu, choć tylko przez chwilę. Trwa to jednak na tyle długo, że mogą wykonać skok kwantowy z głębi czarnej dziury, skąd normalnie nie ma powrotu. To właśnie zrobiła twoja miniaturka. To proces kwantowy.

Wszystkie wyjaśnienia tego, co ci się przydarzyło, czerpią z teorii kwantowej. Dlatego należy opatrzyć je etykietką „ostrożnie”, bo podobnie jak większość tego, co już widziałeś w świecie kwantowym, zapewne wydadzą ci się absurdalne.

Drugi powód sprawia wrażenie absurdu do kwadratu: mógłbyś powiedzieć, że wszystkie cząstki, które przekroczyły horyzont zdarzeń czarnej dziury, jednocześnie go nie przekroczyły. Większość dróg, jakimi może się poruszać cząstka (rozumiana jako fala), prowadzi poza czarną dziurę, ponieważ poza nią jest więcej miejsca niż w jej wnętrzu. O dziwo, gdy się to dokładnie przemyśli, okazuje się, że czarna dziura będzie wyparowywała, czyli efekt będzie taki sam jak w wypadku pierwszego powodu.

Trzeci powód jest następujący: ze względu na to, że horyzont zdarzeń oddziela próżnię znajdującą się wewnątrz czarnej dziury od tej, która jest na zewnątrz, powstaje pewien rodzaj siły próżni, wywołanej przez efekt Casimira. W wyniku tego horyzont zdarzeń jest pchany do wnętrza czarnej dziury, która się kurczy i wyparowuje. Co znowu, w dość cudowny sposób, daje efekt podobny do opisanych powyżej.

Czwartym i ostatnim powodem, który tutaj przytoczę, jest tworzenie się par cząstka–antycząstka w pobliżu wszystkich horyzontów zdarzeń czarnych dziur. Antycząstki wpadają do wnętrza dziur częściej niż cząstki i dlatego wokół nas mamy więcej cząstek niż antycząstek. Po przekroczeniu horyzontu zdarzeń

antycząstka jest skazana na anihilację z cząstką, w wyniku czego obie znikają. Na zewnątrz pozostaje jedynie cząstka powstała razem z antycząstką, bliźniak cząstki, która uległa anihilacji wewnątrz czarnej dziury. I znowu rezultat tego zjawiska jest identyczny z opisanym w poprzednich wypadkach.

Te wszystkie zjawiska kwantowe obserwowałeś już wcześniej, lecz teraz zachodzą one w pobliżu czarnej dziury. Wynika z nich jeden wniosek: dziury te parują, są nieszczelne.

Obserwując świecącą czarną dziurę, uświadamiasz sobie, że ten kosmiczny potwór, który przez eony połykał całe gwiazdy, nie jest już czarny, ale szary. I że się kurczy.

Jeszcze bardziej zaskakuje to, że im więcej cząstek wyrzuca on na zewnątrz, tym wydaje się gorętszy, a im jest gorętszy, tym więcej wyrzuca cząstek. To błędne koło nieubłaganie prowadzi do jego śmierci.

Śmierci czarnej dziury.

Może brzmi to niewiarygodnie, ale czarna dziura, którą obserwujesz, naprawdę się zmniejsza i emituje jakieś promieniowanie. Energia, którą czasoprzestrzeń zmagazynowała wewnątrz niej, pozwalając jej połykać całe światy, jest teraz cząstka po cząstce zwracana do przestrzeni kosmicznej. Tak jakby czarne dziury – podobnie jak rozpad radioaktywny – istniały po to, aby niszczyć różne obiekty, dawać drugą szansę cząstkom.

Wszystkie pola kwantowe występujące w naturze, wzbudzone przez ten najpotężniejszy spośród znanych we wszechświecie obiektów wytwarzających grawitację, wykorzystują teraz tę niespodziewaną okazję, by naładować się energią. W miarę jak czarna dziura staje się coraz gorętsza, cząstki fundamentalne tych pól, do tej pory uśpione, budzą się i pędzą przed siebie. Widzisz, w jaki sposób się to odbywa. Im mniejsza staje się czarna dziura, tym większe jest wzbudzenie pól i tym więcej energii mają wypuszczane przez nie cząstki. Po raz kolejny energia grawitacyjna przekształca się w materię oraz światło.

Gdy to wszystko odbywa się na twoich oczach, uświadamiasz sobie, że na Ziemi jest zupełnie inaczej: kubek z gorącą wodą zwykle staje się coraz chłodniejszy, a nie coraz cieplejszy, gdy woda paruje. W przeciwnym razie pozostawiona przez nas na stole gorąca kawa mogłaby doprowadzić do katastrofy. W wieczornych wiadomościach byłoby mnóstwo historii w rodzaju: „Po raz kolejny kubek z kawą spowodował zapalenie się stołu, w wyniku czego w płomieniach stanął cały budynek. Pamiętajcie, aby zawsze wylewać gorące napoje do odpowiednich pojemników”.

Czarne dziury najwyraźniej różnią się od kubków z kawą. Im bardziej parują, tym bardziej się kurczą i tym wyższą mają temperaturę. Nikt nie wie, czym się ten proces kończy. Czy czarne dziury kończą swój żywot wybuchem? A może zostaje po nich jakiś niezwykły ślad? Aby odpowiedzieć na te pytania, musimy poznać prawa, które rządzą skrytą głęboko wewnątrz nich osobliwością. Zagadnieniem tym naukowcy zajmują się od 1975 roku.

Właśnie wtedy Stephen Hawking przewidział teoretycznie parowanie czarnych dziur.

Z początku uczony nie ufał swoim obliczeniom. Wydawało się, że światło dochodzi z miejsca, w którym nikt by się go nie spodziewał. Hawking powtarzał je więc jeszcze wiele razy. I zawsze okazywało się, że światłu oraz cząstkom naprawdę udawało się wydostać z wnętrza czarnej dziury. Wyniki swoich badań opublikował w czasopiśmie „Nature”, dzięki czemu stał się znany na całym świecie, a nie tylko w kręgach naukowych. Zjawiska kwantowe powodują parowanie czarnych dziur. To, co do tych obiektów wpada, wcale nie jest skazane na pozostanie w ich wnętrzu na zawsze. Wydostaje się z nich, choć w niezauważalny dla nas sposób. A skoro czarne dziury mogą parować, to zachowują się tak, jakby miały jakąś temperaturę. Temperatura ta zwana jest *temperaturą Hawkinga*.

Obserwując czarną dziurę wypromieniowującą resztki swojej energii, dochodzisz do wniosku, że te dwa światy – bardzo dużych i bardzo małych rozmiarów – naprawdę się z sobą porozumiewają. I tak być powinno. Jak dotąd promieniowanie emitowane przez czarną dziurę jest jedynym dowodem na to, że nasze teorie mogą w tym aspekcie odzwierciedlać rzeczywistość. To właśnie wskazuje, że kwantowa teoria grawitacji mimo wszystko mogłaby powstać. Każda poważna kandydatka musiałaby dawać możliwość przewidywania temperatury Hawkinga oraz parowania czarnej dziury przez cały czas, aż do jej śmierci.

- Czarne dziury mogą umierać – mówisz głośno z niedowierzaniem.
- Jak wszystko we wszechświecie – odpowiada robot.

W końcu lat siedemdziesiątych XX wieku odkrycie Hawkinga doprowadziło do bardzo dziwnej i nieco irytującej konstatacji. Mając do dyspozycji swoje równania dotyczące temperatury, uczony starał się z odkrytego promieniowania wydobyć i odczytać informacje, które wyjaśniałyby powstawanie czarnych dziur. Aby ułatwić sobie zadanie, zaczął od w pełni uformowanej dziury – wrzucał do niej różne rzeczy, aby zobaczyć, jaki to będzie miało wpływ na jej promieniowanie. Co dziwne, nie miało żadnego. Emitowane promieniowanie nic nie mówiło o wysłanym do czarnej dziury obiekcie, z jednym wyjątkiem: informowało o jego masie. Wynikało z tego, że dziury wymazują wszystkie właściwości połykanych przez siebie substancji. Wszystkie oprócz masy. Niezależnie od tego, czy horyzont zdarzeń czarnej dziury przekroczy kilka osób, paczka z książkami, odłamek skalny czy też diament, to jeśli będą miały taką samą masę początkową, wyparują później w identyczny sposób. Hawking wysnuł z tego wniosek, że ludzie, książki oraz kamienie smakują czarnym dziurom tak samo. Dla przeciętnego człowieka oznacza to, że przywiązują one wagę jedynie do masy, co niektórym może wydawać się pewnym

uproszczeniem. Dla naukowców była to jednak filozoficzna katastrofa.

Przed odkryciem Hawkinga sądzono, że czarne dziury pożerają wszystko, co przekroczyło ich horyzont zdarzeń, powiększając przy tym swoje rozmiary – i nie był to żaden problem. Obiekty te nie ginęły, ale były magazynowane poza tym horyzontem i później trudno je było stamtąd wydobyć. Tak naprawdę było to niemożliwe, lecz mniejsza o to.

Jeśli z czarnych dziur wyparowują ocenzone informacje, wówczas ów fenomen pociąga za sobą kłopotliwe następstwa: rzeczy zaczynają znikać z naszej rzeczywistości. Skoro *promieniowanie Hawkinga*^[72] nie zależy od tego, co wpada do dziur, to te czarne potwory wymazują pamięć naszego wszechświata. A gdy wyparuje z nich cała ich przeszłość, wtedy wszystko, co zmagazynowały, nie będzie już jedynie trudno dostępne albo niedostępne. W ogóle już tego nie będzie. Przepadnie. Naukowcy poszukiwali teorii Wszystkiego, teorii, która pozwoliłaby wyjaśnić wszystko w jednym prostym wzorze, tymczasem pierwszy efekt tych poszukiwań okazał się straszliwym ciosem dla całej nauki. Skoro nie jest ona w stanie odzyskać tych wszystkich zaginionych w czarnych dziurach przeszłości, to znaczy, że nie ma już nadziei na opisanie i zrozumienie całej historii wszechświata. Promieniowanie Hawkinga nie było dźwiękiem dzwonu obwieszczającego koniec fizyki kwantowej czy ogólnej teorii względności, lecz końcem fizyki wyjaśniającej pochodzenie naszego wszechświata. Problem ten nazwano *paradoksem informacyjnym czarnej dziury*.

Dzisiaj fizycy są już oswojeni ze zgrubnymi przybliżeniami, jakie stosował Hawking, aby uzyskać swój wynik. Ale wówczas, gdy czterdzieści lat po tym odkryciu Hawking zaproponował mi wspólną pracę, do rozwiązania problemu było jeszcze daleko. Obecnie tu i ówdzie słychać, że może się znaleźć jakieś wyjście, bo jeśli naszą wiedzę o świecie kwantowym zastosowalibyśmy do samych czarnych dziur, to czarne dziury mogłyby być w jakimś miejscu i jednocześnie tam nie być... Z następnej, ostatniej już części tej książki dowiesz

się, dokąd takie pomysły doprowadziły naukowców.

Na razie jednak przebywasz w odległej o miliardy lat przyszłości i nagle przypominasz sobie tę podejrzaną radość robota, gdy zobaczył cię po tym, jak wydostałeś się z wnętrza czarnej dziury. Czy nie zastanawiałeś się wtedy, dlaczego było mu tak miło, że go poznałeś?

Myślałeś, że to szczerą radość, prawda? Ale chyba tak nie było i teraz znasz już powód: robot nie był pewien, czy w ogóle cokolwiek pamiętasz. Nie miał pojęcia, czy czarna dziura nie wymazała z twojego ciała i umysłu wszystkich zapisanych w nich informacji. Kiedy go poznałeś i chciałeś roztrzaskać na kawałki za to, że cię do tej dziury wepchnął, wiedział już, że...

Wiedział, że mu to zapamiętałeś i że nie ma mowy o utracie żadnych informacji, chociaż nie mogłeś przypomnieć sobie nic z powrotnego lotu przez horyzont zdarzeń czarnej dziury.

Pamiętasz, jak stałeś się zbiorem cząstek fundamentalnych. I jak się ocknałeś już na zewnątrz dziury.

Między jednym a drugim zdarzeniem wystąpił skok kwantowy. Albo coś innego.

Od porządnej kwantowej teorii grawitacji oczekivalibyśmy dokładnego wyjaśnienia, jak to się mogło stać. A ponieważ wkrótce sam się tym zajmiesz, proszę, weź pod uwagę, że od początku tej części książki masz do czynienia z rozważaniami czysto teoretycznymi. Ani ciemnej materii, ani ciemnej energii nigdy nie udało się otrzymać doświadczalnie. To samo dotyczy czarnych dziur: ich parowanie nie zostało jeszcze ani pośrednio, ani bezpośrednio potwierdzone przez eksperyment. W przeciwnym razie Hawking otrzymałby Nagrodę Nobla.

Zacznijmy od tego, że parowanie czarnej dziury jest trudne do wykrycia.

Jak bardzo trudne?

Sprawdźmy to na przykładzie Słońca.

Chcąc zamienić je w czarną dziurę, musiałbyś je ścisnąć tak, aby stało się kulą

o średnicy 6 kilometrów. To mniej więcej dwie trzecie Londynu^[73]. Większość czarnych dziur we wszechświecie powstaje w wyniku śmierci gwiazd olbrzymów, a więc ich rozmiary powinny być większe (nasze Słońce nie jest gwiazdą olbrzymem). Załóżmy, że jedna z takich dziur o masie Słońca połączyła to, co znajdowało się w pobliżu, i teraz unosi się bezgłośnie, z dala od wszystkiego. Emituje ona promieniowanie o temperaturze Hawkinga, która w tym wypadku wynosi mniej więcej jedną dziesięciomilionową stopnia powyżej zera absolutnego, czyli około $-273,15$ stopnia Celsjusza.

Jedna dziesięciomilionowa stopnia to niewiele. Trudno samemu dokonać pomiaru w takiej skali, lecz nie pomiar jest podstawowym problemem. Główny kłopot polega na tym, że to dużo mniej niż temperatura mikrofalowego promieniowania tła, w którym skąpane jest wszystko w naszym widzialnym wszechświecie, wynosząca 2,7 stopnia powyżej zera absolutnego. W rezultacie nie widzimy i jeszcze nigdy nie widzieliśmy parujących czarnych dziur o masie gwiazd. Były i są one maskowane przez pozostałe z okresu Wielkiego Wybuchu promieniowanie reliktowe, którym również się karmią.

A ponieważ im cięższa jest czarna dziura, tym niższa jest jej temperatura, sytuacja wygląda jeszcze gorzej w wypadku olbrzymich, supermasywnych potworów, które leżą w centrach większości galaktyk naszego wszechświata. Ich temperatura Hawkinga jest jeszcze niższa niż dziur o masie Słońca, nie wspominając już o tym, że są otoczone przez wyjątkowo gorące pierścienie wpadającej do ich wnętrza materii. To, za co Hawking mógłby otrzymać Nagrodę Nobla, może się więc znajdować w świecie bardzo małych rozmiarów – mikroskopijne czarne dziury powinny być bardzo gorące.

Z tym, niestety, wiąże się wciąż pewien problem: naukowcy są przekonani, że zaobserwowali olbrzymie czarne dziury, ale nigdy nie widzieli tych malutkich. Mniejsza z tym. Załóżmy, że istnieją. Czy w praktyce do czegoś by się nam przydały?

Aby się o tym przekonać, pozwólcie mi zrobić w tym momencie pewną dygresję, która rzuci trochę światła na coś, co wcześniej nazwałem ścianą Plancka.

Na początku XX wieku jeden z najwybitniejszych uczonych wszech czasów stworzył dziedzinę nauki, którą nazywamy dzisiaj fizyką kwantową. Podobnie jak Einstein, był Niemcem, a nazywał się Max Planck. W 1918 roku został laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki.

Planck, prowadząc swoje badania, zdał sobie sprawę, że w pewnej skali zjawisk kwantowych nie można już pomijać. W wypadku dużego obiektu nie ma żadnych problemów. Można stosować Newtonowskie rozumienie natury i wszystko ma wtedy odniesienie do rzeczywistości, z jaką stykamy się na co dzień. Jeśli jednak zaczniemy ten obiekt coraz bardziej zmniejszać, takie wyobrażenie świata zaczyna się sypać. Powtórzę przy tej okazji jeszcze raz, że Newton znalazł sposób na opisanie świata w skali dobrze nam znanej z codziennego życia. Jest on zgodny z naszym zdrowym rozsądkiem. W świecie wielkich rozmiarów i dużych ilości energii pałeczkę przejmuje wizja Einsteina. W świecie bardzo małych rozmiarów górą jest Planck. W tym wypadku musimy brać pod uwagę zjawiska kwantowe. Istnieje stała fizyczna, która pozwala nam dokonywać obliczeń, kiedy dochodzi do takich zjawisk. Nazywamy ją *stałą Plancka*.

Jest ona tak samo istotna, jak dwie inne uniwersalne stałe fizyczne, czyli prędkość światła oraz stała grawitacji, opisująca, w jaki sposób przyciągają się dwie masy.

Pewnego dnia Planck zaczął eksperymentować z tymi stałymi, w wyniku czego udało mu się zbudować z nich trzy wielkości. Pierwsza była masą, druga długością, a trzecia jednostką czasu.

Masa wynosiła 21 mikrogramów, dwadzieścia jeden milionowych części grama. Nazywamy ją *masą Plancka*.

Długość wynosiła tysięczną część milionowej części miliardowej części miliardowej części miliardowej części metra. Nazywamy ją *długością Plancka*.

Czas był równy milionowej części miliardowej części miliardowej części miliardowej części miliardowej części sekundy. Nazywamy go *czasem Plancka*.

Gdzie się je wykorzystuje?

W skalach, w których musimy uwzględnić zarówno teorię grawitacji, jak i fizykę kwantową. To progi, po których przekroczeniu potrzebna jest grawitacja kwantowa, aby wyjaśnić to, co się tam odbywa. Choć niektóre kwantowe efekty grawitacji mogą się pojawiać jeszcze przed osiągnięciem tych progów.

Co to oznacza w praktyce?

No cóż, oznacza to, że jednostki Plancka opisują najmniejszą czarną dziurę, jaka może istnieć.

A zatem, zgodnie z dzisiejszym stanem wiedzy najmniejsza czarna dziura waży około 21 mikrogramów. Co zabawne, taką masę potrafimy ogarnąć umysłem. Nie brzmi to zbyt imponująco. Ale to bardzo dużo, jeśli ściśniemy tę dziurę do najmniejszej objętości istniejącej w czasoprzestrzeni, czyli sfery o średnicy równej długości Plancka. Taka czarna dziura wyparowałaby w ciągu... milionowej części miliardowej części miliardowej części miliardowej części miliardowej części sekundy. W czasie Plancka.

Zakładając, że w ogóle bylibyśmy w stanie mierzyć tak małe rzeczy zdarzające się tak szybko, musielibyśmy stworzyć czarną dziurę o masie równej masie Plancka. Lecz przy obecnym poziomie technologicznym akcelerator cząstek musiałby mieć rozmiar naszej galaktyki, aby mógł wytworzyć energię niezbędną do stworzenia takiej czarnej dziury poprzez zderzenie cząstek o bardzo dużej prędkości.

Nie muszę mówić, że wykracza to daleko poza zasięg naszych możliwości, i wątpię, aby znalazł się ktoś chętny do zbudowania takiego urządzenia (oprócz Hawkinga, z oczywistych powodów).

Jedyna nadzieja w tym, że uda się nam wykryć takie małe czarne dziury, w chwili gdy wystrzelują w przestrzeń resztki swojej energii. Dopóki jednak nie zdarzy się jakieś nieznane nam jeszcze zjawisko, które podpowie, czego i gdzie mamy szukać, musielibyśmy mieć niewiarygodne szczęście, by taką dziurę zaobserwować.

Mimo to nikt nie wątpi w istnienie promieniowania Hawkinga. A to oznacza, że gdzieś tam wyłania się nowa rzeczywistość – rzeczywistość kwantowa, zawierająca w sobie czas i przestrzeń.

Jak się zaraz przekonasz, na takim właśnie fundamencie w umysłach niektórych z najwybitniejszych żyjących naukowców powstał absolutnie niezwykły obraz naszego wszechświata.

[72] Promieniowaniem Hawkinga nazywamy to, co wydostaje się z czarnych dziur, gdy one parują.

[73] Jeśli zamiast Słońca chciałbyś w czarną dziurę przekształcić Ziemię, musiałbyś ścisnąć całą jej zawartość (wraz z tobą) do rozmiaru pomidorka koktajlowego.

CZĘŚĆ VII

KROK W NIEZNANE

POWRÓT DO POCZĄTKÓW

Jak już miałeś okazję sam się przekonać, widzialny wszechświat nie jest nieskończony, a Ziemia, wraz z tobą, znajduje się w jego centrum. To fakt o znaczeniu praktycznym. Kluczowe jest tu słowo „widzialny” – światło, dochodzące do ciebie z różnych kierunków, niesie informacje z jednakowo odległej przeszłości, dlatego nasze kosmiczne otoczenie ma kształt kulisty. Nie znaczy to, że cały wszechświat jest kulisty – taki kształt ma ta jego część, którą jesteś w stanie zobaczyć. Najstarsze docierające do ciebie światło opuściło powierzchnię ostatniego rozproszenia, czyli ścianę znajdującą się na krańcu widzialnego wszechświata, mniej więcej 13,8 miliarda lat temu, gdy wszechświat schłodził się już na tyle, aby stać się przezroczysty. Uznaje się, że liczył on sobie wtedy 380 tysięcy lat, a jego temperatura wynosiła 3 tysiące stopni Celsjusza. Wcześniej wszechświat był mniejszy i bardziej gorący, a później już tylko rozszerzał się i schładzał.

Tak więc widzialny wszechświat jest kulą, której środek znajduje się na naszej planecie – kulą utworzoną ze wszystkich przeszłości, które obecnie do nas docierają. Zewnętrzna krawędź tej złożonej z wielu warstw – historycznych epok – kosmicznej cebuli, ta granica naszych dostrzegalnych przeszłości, jest zarazem jej pierwszą widzialną częścią, jest tym momentem w dziejach naszego wszechświata, w którym światło zyskało możliwość swobodnego poruszania się, nieograniczone dłużej przez materię. Byłeś tam i widziałeś to. A nawet tę granicę przekroczyłeś. Jest w niej jednak coś osobliwego. Coś wyjątkowo osobliwego, czego mogłeś wtedy nie zauważyć.

Czy pamiętasz, co na nocnym niebie dostrzegli twoi przyjaciele, używając podarowanych przez ciebie kosztownych teleskopów? Zwrócili oni uwagę, że w każdym jego punkcie promieniowanie wypełniające nasz wszechświat jest właściwie takie samo. Odkrycie tego mikrofalowego promieniowania tła wydawało się triumfem teorii Wielkiego Wybuchu. Stanowiło niezbity dowód na to, że nasz wszechświat był w przeszłości mniejszy i o wiele gorętszy. Ani twoi przyjaciele, ani ty sam nie zauważyliście jednak, że promieniowanie to było zbyt jednorodne, aby pasowało do koncepcji rozszerzania się naszego wszechświata. Jak zaraz zobaczysz, to między innymi z powodu tej nadzwyczajnej jednorodności naukowcy wprowadzili pojęcie epoki kosmologicznej inflacji, która miała miejsce przed Wielkim Wybuchem i która go zapoczątkowała 380 tysięcy lat przed tym, jak wszechświat stał się przezroczysty.

Zobaczysz również, że daje to możliwość istnienia nie jednego, lecz nieskończenie wielu Wielkich Wybuchów.

Poproś wszystkich swoich sąsiadów, aby wyłączyli w nocy oświetlenie, usiądź na leżaku i obserwuj niebo. Do twoich oczu z odległej przestrzeni kosmicznej dociera jednak jakieś światło, choć jest zbyt słabe, abyś był go świadomy – to mikrofalowe promieniowanie tła. Dysponując odpowiednim sprzętem i wpatrując się w niebo wystarczająco długo, możesz sporządzić jego mapę. Okaze się, że otrzymasz bardzo jednorodny obraz tego promieniowania. Wszędzie panuje temperatura $-270,42$ stopnia Celsjusza, czyli o $2,73$ stopnia wyższa od zera absolutnego. Weź teraz z sobą leżak i przenieś się do miejsca położonego po przeciwnej stronie naszej planety, czyli na antypodach. Jeśli początkowo byłeś gdzieś w Wielkiej Brytanii, to teraz znajdujesz się na środku Pacyfiku. W pobliżu ciebie nie ma żadnych źródeł światła. Siedzisz na leżaku na tratwie i znów patrzysz w niebo, a twoje oczy zbierają światło, które podróżowało przez wszechświat przez 13,8 miliarda lat.

A tam panuje dokładnie taka sama temperatura, $-270,42$ s topnia Celsjusza. To mikrofalowe promieniowanie tła.

Nie ma absolutnie żadnego powodu, aby wszędzie była ona taka sama. W rzeczy samej taka możliwość powinna być wykluczona...

Mikrofalowe promieniowanie tła, które dotarło do ciebie w Wielkiej Brytanii, pochodziło z jednej strony widzialnego wszechświata, a to na Pacyfiku z dokładnie przeciwnego kierunku. Źródła tego promieniowania są od siebie tak odległe (13,8 miliarda lat świetlnych razy dwa), że jeśli na jakimś etapie historii naszego wszechświata nie zdarzyło się nic dziwnego, to nie ma możliwości, żeby kiedykolwiek miały z sobą jakiś kontakt.

A więc nie powinny mieć identycznej temperatury.

Aby zrozumieć, jak bardzo jest to dziwne, weź kubek z gorącą kawą i idź z nim do salonu.

Jeśli nie mieszkasz w piecu, to z początku twój salon powinien być zimniejszy od kawy, lecz jeśli poczekaś wystarczająco długo, kubek i pokój będą w końcu miały taką samą temperaturę. To znaczy temperaturę równowagi. Czytając tę książkę, już wielokrotnie się przekonałeś, że kawa zawsze za bardzo stygnie, aby mogła smakować.

Umieść teraz kubek w zamkniętej lodówce. Po chwili zostanie osiągnięta nowa, niższa niż wcześniej, temperatura równowagi.

A jeśli weźmiesz swój napój na gorącą pustynię, temperatura równowagi będzie jeszcze inna, tym razem wyższa.

To wszystko brzmi całkiem sensownie. Nie ma w tym nic dziwnego.

Nalej sobie teraz kolejny kubek gorącej kawy i ponownie zanieś go do salonu. Jest bardzo mało prawdopodobne, że osiągnie on ostatecznie taką samą temperaturę, jaką miałby w zamrażarce znajdującej się w Japonii.

Nie ma żadnego powodu, aby dwa obiekty lub miejsca, które nie są ani nigdy nie były z sobą w kontakcie i nie wiedzą nawet o swoim istnieniu, miały

identyczną temperaturę. To sensowne założenie, prawda? Tak sensowne, że powinno odnosić się również do przestrzeni kosmicznej.

Aby dwie oglądane z antypodów części nocnego nieba osiągnęły po 13,8 miliarda lat oddzielnego istnienia taką samą temperaturę, wynoszącą $-270,42$ stopnia Celsjusza, musiały kiedyś w przeszłości być w kontakcie. Ale to niemożliwe: biorąc pod uwagę wiek wszechświata i tempo jego rozszerzania się, leżą od siebie tak daleko, że w żaden sposób nie mogło się to zdarzyć. Chyba że doszłoby do jakiegoś wyjątkowo dziwnego zjawiska.

Na przykład coś poruszałyby się szybciej niż światło.

Nie jest to jednak możliwe w wypadku sygnału (czyli czegoś, co może z jednego miejsca do drugiego przenosić jakąś informację w dowolnej formie). Nie mówimy tu o procesach kwantowych, jakiegokolwiek więc byłyby te sygnały, nie mogą poruszać się szybciej od światła. To naprawdę zabronione.

Mimo to temperatura mikrofalowego promieniowania tła jest, jaka jest – faktycznie, że w różnych miejscach wynosi tyle samo, nie można uznać za przypadek. Jak to możliwe?

Być może czasoprzestrzeń – tożsama z wszechświatem – powiększała się kiedyś z prędkością większą od prędkości światła.

I właśnie coś takiego widziałeś, gdy cofnąłeś się do czasów przed Wielkim Wybuchem, do tak zwanej *ery inflacyjnej*, kiedy cały wszechświat był wypełniony polem inflatonowym.

Współczesna koncepcja inflacyjnej fazy wczesnego wszechświata została wysunięta w latach osiemdziesiątych XX wieku przez amerykańskiego fizyka teoretyka Alana Gutha, rosyjskiego kosmologa Aleksieja Starobinskiego oraz rosyjsko-amerykańskiego fizyka teoretyka Andrieja Lindego. Mówi ona, że dawno temu, zanim jeszcze zaistniały materia, światło i cokolwiek innego, co jest nam znane, czyli przed widzialnym wszechświatem i Wielkim Wybuchem,

istniało pole wypełniające wszechświat siłą odpychającą, antygravitacją. Było ono tak potężne, że zapoczątkowało okres niezwyklej ekspansji, która rozsadzała różne obszary wczesnego wszechświata w tempie znacznie szybszym od prędkości światła. W związku z tym bardzo obecnie od siebie odległe obszary mogły w przeszłości być z sobą w kontakcie^[74].

Dlatego właśnie wprowadzono pojęcie pola inflatonowego.

Ale czy ono realnie istnieje? Czy możemy, podobnie jak w wypadku wszystkich innych pól kwantowych, wykryć jakieś jego cząstki fundamentalne?

Jeśli jest ono realne, to większość jego cząstek musiała zniknąć dawno temu (zapoczątkowując Gorący Wielki Wybuch), lecz niektóre powinny pozostać. Pole inflatonowe powinno w jakiś sposób wciąż wypełniać cały wszechświat, występując w jednej ze swoich najmniej energetycznych postaci – próżni, która z powodu braku wystarczającej ilości energii prawie nigdy nie zostaje na tyle wzbudzona, żeby wytworzyć cząstki, które moglibyśmy zobaczyć.

Inflatony, bo tak nazywają się cząstki tego pola, nie zostały (jeszcze) wykryte. Wielu naukowców uważa jednak, że jakaś forma inflacji, z towarzyszącym jej polem inflatonowym, musiała w przeszłości wystąpić. Mnie ta koncepcja bardzo się podoba, potraktujmy ją więc poważnie i zobaczymy, jak wyglądałaby historia wszechświata, gdyby takie pole w nim istniało.

Pole inflatonowe najpierw zrobiło bardzo dobrą robotę, rozdzielając różne części naszego widzialnego wszechświata tak szybko, że później już nigdy nie były z sobą w kontakcie – i pewnie już nigdy nie będą – chociaż wcześniej były.

Następnie doszło do Wielkiego Wybuchu. Z nadzwyczajnej ilości energii uwolnionej przez zanikające pole inflatonowe, które potem się uspokoiło, powstały wszystkie inne pola, cząstki oraz nośniki sił.

Potem rozpoczęła się ekspansja naszego wszechświata. Zwykła ekspansja, a nie superszybka inflacja.

Pole inflatonowe nie zniknęło całkowicie, ale zapoczątkowując Wielki

Wybuch, zużyło zbyt wiele energii, aby mogło mieć jakiś wpływ na cokolwiek przez... następne 8 miliardów lat.

Po upływie 8 miliardów lat od Wielkiego Wybuchu, w ciągu których nasz wszechświat nieprzerwanie rósł, materia powstała z pola inflacyjnego stała się już wystarczająco rozrzedzona, aby jego próżnia obudziła się z letargu. Miało to dramatyczny efekt: jej siła antygravitacyjna uruchomiła przyspieszone rozszerzanie się wszechświata.

Za doświadczalne wykrycie w 1998 roku tego przyspieszenia Perlmutter, Schmidt i Riess otrzymali trzynaście lat później Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Rzecz jasna, obecny wpływ pola inflatonowego na zachowanie się naszego wszechświata jest niczym w porównaniu z jego oddziaływaniem przed Wielkim Wybuchem, w *epoce inflacyjnej*, kiedy to rozsadzało wszystko. Pole to może jednak kształtować przyszłość, jaka czeka naszą rzeczywistość.

Obszary naszego wszechświata widziane obecnie z Ziemi po jej przeciwległych stronach wydają się od siebie zbyt oddalone, aby kiedykolwiek doszło między nimi do kontaktu, ale ten kontakt nastąpił. Przed Wielkim Wybuchem. Dlatego te części nocnego nieba mogą być jednak do siebie podobne.

Czy zatem wprowadzenie nowego pola, pola inflatonowego, jest jedynie sposobem na rozwiązanie łamigłówki, sprytną sztuczką wyjaśniającą, dlaczego antypodyczne punkty nocnego nieba mają taką samą temperaturę, czy też inflacja naprawdę się zdarzyła? Czy możemy to sprawdzić?

Zadziwiająca, ale jest to możliwe.

[74] Nawiasem mówiąc, nie stoi to w sprzeczności z Einsteinowskim ograniczeniem w postaci prędkości światła, ponieważ tak szybko rozszerzała się sama czasoprzestrzeń, a nie przemieszczający się w niej jakiś sygnał. Dwa obiekty oddalające się od siebie z prędkością większą od prędkości światła nie miałyby nigdy możliwości nawiązania z sobą kontaktu.

WIELE WIELKICH WYBUCHÓW

Jakiś czas temu przeprowadziłeś eksperyment z kotem. Kotem Schrödingera. Chodziło o znalezienie sposobu, aby niektóre dziwne mikroskopowe zjawiska kwantowe przenieść do makroskopowej, dostrzegalnej rzeczywistości. No cóż, inflacja także to robi. I żaden kot nie jest jej potrzebny.

Właśnie się dowiedziałeś, że epoka inflacyjna chronologicznie występowała przed Wielkim Wybuchem. W niewyobrażalnie krótkim czasie^[75] pole inflatonowe zamieniło niezwykle mały wszechświat w coś makroskopowego. Pole to wraz ze swoimi cząstkami fundamentalnymi (inflatonami) przekształciło się w czystą energię, zgodnie z wzorem $E = mc^2$. Uwolniona została przy tym jej olbrzymia ilość, a wszechświat stał się niewiarygodnie gorący. W ten sposób miał się rozpocząć (Gorący) Wielki Wybuch, a wzbudzone wtedy pola stały się później tym, z czego obecnie składa się wszystko, co istnieje, a więc i my.

W epoce inflacyjnej tempo ekspansji wszechświata było tak niezwykle szybkie, że wszystkie fluktuacje kwantowe, do jakich mogło wtedy dojść (a zatem doszło), zostały kolejno zamrożone. Co jeszcze bardziej intrygujące, te zamrożone fluktuacje możemy dzisiaj dostrzec w coraz dokładniejszym obrazie mikrofalowego promieniowania tła, jakim dysponują naukowcy.

Inflacja pozwala przewidzieć niezwyklej jednorodność promieniowania tła, które wypełnia wszechświat. Ale to tylko jeden z powodów, dla których powstał ten konstrukt. W istocie bowiem nie jest to przewidywanie.

W następstwie inflacji w promieniowaniu tła powinny istnieć jakieś fluktuacje kwantowe w postaci niewielkich różnic temperatury między różnymi

kierunkami. Taką różnicę nazywa się *anizotropią*.

Wprawdzie wcześniej o tym zjawisku nie wiedzano, a jednak takie fluktuacje faktycznie zostały wykryte. Amerykańscy astrofizycy George F. Smoot i John C. Mather otrzymali w 2006 roku wspólnie Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki za eksperymentalne wykrycie niezwyklej jednorodności promieniowania tła oraz występujących w nim bardzo małych anizotropii.

Anizotropie te są rzędu tysięcznych części stopnia Celsjusza, niemniej jednak istnieją. Uznaje się nawet, że to one zapoczątkowały tworzenie się gwiazd i galaktyk.

Bez nich wszechświat byłby jednorodny, a gwiazdy nigdy by nie powstały. Dzięki tym fluktuacjom w młodym wszechświecie występowały niewielkie różnice między różnymi miejscami, a grawitacja jeszcze je zwiększyła, w wyniku czego pojawiły się gwiazdy oraz inne obiekty, z których składa się nasz kosmos.

Co więcej, inflacja łączy świat bardzo małych rozmiarów ze światem rozmiarów bardzo dużych, ponieważ obejmuje zarówno fluktuacje kwantowe na bardzo wczesnym etapie rozwoju naszego wszechświata, jak i narodziny obiektów, które znajdują się w nim obecnie. Inflacja podpowiada nawet, czym mogłaby być owa tajemnicza ciemna energia. Mianowicie ta siła antygrawitacyjna mogłaby pochodzić z pozostałości energii próżni pola inflatonowego.

Inflacja pomogłaby wyjaśnić wiele z niewyjaśnionych zagadek przestrzeni kosmicznej. Dlatego też musi być traktowana bardzo poważnie. I tak też się dzieje. A skoro już o tym mowa, nadszedł czas na pokazanie zaskakujących następstw przedstawionego powyżej scenariusza.

Obecnie uważa się, że pole inflatonowe nie może cały czas pozostawać w uśpieniu. Jego aktywność nie powinna się ograniczać tylko do jednego strzału, który nastąpił w chwili narodzin naszego wszechświata. Przypuszcza się, że zapoczątkowało ono nie jeden Wielki Wybuch, lecz wiele Wielkich Wybuchów.

Nieskończenie wiele.

Tak jak wszystkie pola kwantowe, pole inflatonowe powinno podlegać kwantowym fluktuacjom umożliwiającym mu wykonywanie lokalnych skoków z jednego stanu próżni do innego. W wypadku pól, z którymi miałeś dotychczas do czynienia, w rezultacie takiego procesu cząstki mogą przeskakiwać z jednego miejsca do drugiego albo pojawiać się znikąd. Tym razem oznacza to, że pole jest w stanie stworzyć swój mały wszechświat. Albo dwa. Lub wiele wszechświatów. Wszędzie. Dosłownie wszędzie, mimo że skale czasowe, w jakich to się odbywa, mogą (ale nie muszą) być ogromne. Ten niekończący się proces nosi nazwę *wiecznej inflacji*. Bąble wszechświatów pojawiają się wewnątrz wszechświatów istniejących wcześniej, tam gdzie kwant próżni pola inflatonowego wykonał skok do innego stanu, do innej próżni. Podobne są do kropli oleju upuszczonych na tafłę jeziora. Powiększają się i powiększają. Rosną i rosną... A wewnątrz nich rosną inne krople oleju.

Bąble wszechświatów wewnątrz bąbli wszechświatów znajdujących się w bąblach wszechświatów.

To przykład wieloświata innego od tych, które dotąd widziałeś^[76]. Według tego scenariusza ty i ja żylibyśmy w jednym z takich bąbli, a wewnątrz niego mogłyby się znajdować kolejne bąble wszechświatów i czekać na pojawienie się w naszej czasoprzestrzeni w pewnym momencie odległej przyszłości. Nasz wszechświat również mógł wyskoczyć kiedyś z innego bąbla, który jest teraz znacznie większy i trochę zniszczony albo opustoszały. Śmierć z zimna, jaka w przyszłości, jak się wydaje, czeka nasz widzialny wszechświat, może być więc niezbędna do rozwoju nowych bąbli wszechświatów...

W porządku.

Pod koniec książki, gdy będziesz podróżował przez krajobraz teorii strun, przyjrzymy się ponownie tym śmiesznym, wyskakującym jak diabełek z pudełka wszechświatom. Do tego czasu wieczna inflacja może (i powinna) wydawać ci się

czymś zupełnie szalonym (tak jest w moim wypadku, ale to mi się podoba). Ale po spotkaniu ze strunami, które wkrótce nastąpi, nic już nigdy nie będzie ci się wydawało normalne... Przedstawione ci właśnie bąble wszechświatów powinieneś traktować jako wstęp do tej twojej ostatniej podróży. Zanim się ona rozpocznie, zanim wrócisz do widzialnego wszechświata i zobaczysz, gdzie mogą się kryć te słynne struny, oraz dowiesz się, czym one są i jakie mają znaczenie dla naszej rzeczywistości, sprawdźmy, czy zdobyta już przez nas wiedza pozwoli nam przyjrzeć się temu, co działo się przed inflacją.

Dla tych wszystkich, którzy pytają: „Jak zaczął się wszechświat?”, scenariusz wiecznej inflacji nie brzmi przekonująco, ponieważ tak naprawdę nie ma w nim żadnego początku. Są tylko bąble.

Ale mogą istnieć inne możliwości.

Wszystkich teraz nie wymienię. Wspomnę tylko o jednej.

Chronologicznie pierwszej.

[75] Jeśli jesteś amatorem liczb, to wyobraź sobie, że inflacja kosmologiczna zaszła pomiędzy jakąś $0,00000000000000000000000000000001$ (10^{-36}) sekundy a $0,00000000000000000000000000000001$ (10^{-32}) sekundy po narodzinach czasu i przestrzeni. W tym czasie pole inflacyjne zwiększyło rozmiary wszechświata $100000000000000000000000000$ (10^{26}) razy.

[76] Pierwszy wieloświat składał się ze wszystkich obszarów naszego wszechświata, które znajdują się poza dającą się zaobserwować rzeczywistością, a drugi był dokonaną przez Everetta „wieloświatową” interpretacją mechaniki kwantowej. Ten trzeci przykład to wszechświaty powstałe wewnątrz innych wszechświatów.

WSZECHŚWIAT BEZ GRANIC

Epoka inflacyjna poprzedzała Wielki Wybuch.

Zgodnie z teorią wiecznej inflacji zawsze istniało, istnieje i powstanie jeszcze nieskończenie wiele wszechświatów. A tak się zdarzyło, że jeden z nich jest nasz. Wyobraźmy sobie jeden wszechświat, z jednym „początkiem” (cokolwiek to znaczy) i z jedną epoką inflacyjną.

Przewijamy teraz czas do tyłu, zaczynając od Wielkiego Wybuchu.

Oto Wielki Wybuch: bum!

Przed nim była inflacja. Gdy cofamy się w czasie, wygląda ona jak spektakularny kolaps.

A potem, no cóż, natrafiamy na problem.

Na ścianę Plancka i erę Plancka, kiedy i gdzie czas oraz przestrzeń przestają mieć sens.

Ściana Plancka leży jakieś 380 tysięcy lat przed powierzchnią ostatniego rozproszenia, powierzchnią znajdującą się na końcu naszego wszechświata. Gdyby nam wolno było zgadywać, to powiedzielibyśmy, że jesteśmy mniej więcej o czas Plancka oddaleni od momentu, który można nazwać *chwilą zero*^[77]. Takiego założenia nie możemy jednak przyjąć. Znajdując się wewnątrz naszego wszechświata, nie jesteśmy w stanie dotrzeć do chwili zero. Nie można mówić o czasie tam, gdzie (lub kiedy) on nie istniał. Mówienie o czymś „poza” albo „przed” erą Plancka nie ma sensu. Do tego naprawdę potrzebna jest nam grawitacja kwantowa, która niesie z sobą mnóstwo nowych koncepcji zastępujących czas i przestrzeń czymś kwantowym. Trudne zadanie, podobnie

jak poszukiwanie warunku początkowego dla istnienia naszej rzeczywistości.

Trudne do wykonania, ale nie niemożliwe. Jako pierwsi, mniej więcej trzydzieści lat temu, problemem tym zajmowali się Stephen Hawking oraz amerykański fizyk teoretyk James Hartle. Zaraz ci opowiem, do jakich doszli wniosków.

Wyobraź sobie swoją miniaturkę w bardzo młodym wszechświecie. We wszechświecie, w którym czas i przestrzeń dopiero zaczęły mieć sens. Jest maleńki, trochę większy niż rozmiar Plancka, ale nie za wiele. Znajdujesz się wewnątrz niego i też jesteś maciupenki.

Niewiele możesz zobaczyć.

Wszystko, co się dzieje w skali mniejszej od długości Plancka, znajduje się poza czasem i przestrzenią, jest więc ukryte przed twoim wzrokiem.

Przebywasz tam, w tym wyjątkowo młodym wszechświecie, w swojej miniaturowej postaci, i czujesz się jak ślepiec... Ale zaraz... Czy nie przypomina ci to sytuacji, z jakimi miałeś już wcześniej do czynienia?

Czy zwiedzając kwantowy świat, nie przełączałeś się na tryb jogina, zamykając oczy, aby z niczym nie oddziaływać i mieć dostęp do tego, co było ukryte przed twoim wzrokiem?

Badając wnętrze atomów, musiałeś funkcjonować w tym trybie, aby się zorientować, co wokół ciebie się dzieje. Chcąc zrozumieć to, co w ten sposób odkryłeś, nauczyłeś się, że gdy w świecie kwantowym naturę i jej koty pozostawi się bez dozoru, wszystkie kwantowe możliwości urzeczywistniają się jednocześnie.

Tutaj jest gorzej.

To nie kot czy cząstka są niewidoczne, ale cała przeszłość naszego wszechświata, przeszłość ukryta za ścianą oznaczającą prawdziwy początek czasu

i przestrzeni, jakie znamy. Ta ściana to ściana Plancka, która cię teraz otacza, a to, co się poza nią znajduje, jest poza zasięgiem twoich zmysłów.

Zgodnie z prawem kwantowym ściana Plancka kryje zatem superpozycję wszystkich kwantowych możliwości.

Pewnie chcesz wiedzieć, czego one dotyczą.

No cóż, różnych przeszłości.

Cały młody wszechświat ukryty jest przed tobą za ścianą Plancka, zatem to jego musi dotyczyć jedna ze złotych zasad kwantowego świata, która brzmi: dopóki nikt nie patrzy, mogą występować – i występują – wszystkie możliwości.

Hawking zastosował tę zasadę do bardzo wczesnego wszechświata.

Nie mógł jednak posługiwać się takim czasem, jaki znamy i stosujemy na co dzień. Nie jest to dozwolone, gdy wychodzi się poza skalę Plancka. Przekształcił go więc w tak zwany *czas urojony*, którym łatwiej było mu operować. Użył go do analizowania wszystkich możliwych przeszłości wszechświata, których nie jesteśmy w stanie zobaczyć, znajdując się wewnątrz niego.

Taki pomysł przyszedł Hawkingowi do głowy w latach osiemdziesiątych.

Tuż przed tym uczony znalazł sposób na postępowanie z czarnymi dziurami kwantowego świata. Wiedział, że są one szare i emitują cząstki. Wiedział też, że musi istnieć grawitacja kwantowa. Dzięki temu był w stanie wyjść umysłem poza Wielki Wybuch.

Hawking – wspólnie ze swoim kolegą, amerykańskim fizykiem teoretykiem Jamesem Hartle'em z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara – opracował model matematyczny, który według mnie zmienia już na zawsze sposób, w jaki umysł ludzki wyobraża sobie wszechświat.

Hawking i Hartle założyli, że wszechświaty, które istniały przed naszym,

musiały jakiś skończony, *urojony* czas temu powstać z niczego (w sensie matematycznym).

I wzięli pod uwagę wszystkie wszechświaty, które miały tę właściwość.

Analizowali je dokładnie, a było ich wiele.

Zastosowali do nich złotą zasadę kwantowego świata: zamiast wybrać jeden wszechświat i obserwować, jak stopniowo ewoluuje, by stać się naszą rzeczywistością, uwzględnili w swych rozważaniach wszystkie wszechświaty. W teorii oznacza to, że dodali je do siebie i uznali, że ich suma wygląda tak, jak wyglądał wszechświat przed ścianą Plancka, dokąd nikt nie jest w stanie zajrzeć. Ich model matematyczny znany jest obecnie pod nazwą *funkcji falowej wszechświata Hartle'a-Hawkinga*, a warunek początkowy, mówiący, że wszystkie możliwe wszechświaty, które należy brać pod uwagę, to wszechświaty, które powstały z niczego, nazywa się *warunkiem braku brzegu*.

Z punktu widzenia tych dwóch naukowców nasz wszechświat, ze wszystkimi jego możliwymi stanami we wczesnym okresie, nie miał żadnego początku.

A jakiś skończony urojony czas później, kiedy czas i przestrzeń zaczęły mieć sens, stał się naszym wszechświatem.

Co to dokładnie znaczy, nie jest w tej chwili istotne.

To, co zrobili ci dwaj naukowcy, jest istnym szaleństwem.

Określili oni matematycznie stan początkowy całego wszechświata. W sposób matematyczny potraktowali problem powstania naszego wszechświata z niczego.

Uwaga: to jeszcze nie koniec tej historii. Prześledzenie wszystkich obliczeń w modelu Hartle'a i Hawkinga jest, niestety, niezwykle trudnym zadaniem (żeby nie powiedzieć: niemożliwym). Trzeba jednak podkreślić, że oni pierwsi stworzyli matematyczny model obejmujący początek oraz późniejszą ewolucję

naszej rzeczywistości.

Był to kamień milowy w historii ludzkości, która od tysiącleci stara się odkryć prawa natury.

Przez cały ten czas rozumienie tych praw zmieniało się i rozwijało.

Sto lat temu Einstein przedstawił nową koncepcję grawitacji i wtedy zdaliśmy sobie sprawę, że naszej przeszłości powinniśmy szukać nie tylko pod stopami, w wykopaliskach archeologicznych, ale również w gwiazdach. Mniej więcej w tym samym czasie wielu naukowców zaczęło odkrywać dziwne prawa mechaniki kwantowej rządzące światem bardzo małych rozmiarów.

A jeszcze później, około 30 lat temu, Hartle i Hawking, zachęceni efektami parowania czarnej dziury, zaczęli śmiało składać wszystko w jedną całość i opracowywać matematyczny model początków wszystkiego.

Ich spostrzeżenia mogą oczywiście w przyszłości okazać się błędne, i to samo można powiedzieć o wszystkich koncepcjach teoretycznych, lecz nie ma to żadnego znaczenia. Istotne jest to, że odkrywanie początku naszego wszechświata wkroczyło w nową erę, w której fizyka matematyczna została wreszcie dopuszczona do badania tego zagadnienia.

Pomysł Hawkinga, polegający na analizowaniu wszystkich możliwych wszechświatów za pomocą innego (urojonego) czasu, nie pojawił się znikąd. Miał źródło w pracach wybitnych umysłów XX wieku – Paula Diraca i Richarda Feynmana, którzy stworzyli tę koncepcję, aby zbudować nowoczesne teorie pól kwantowych.

W takim scenariuszu widzialny wszechświat nadal jest sferą o promieniu około 13,8 miliarda lat świetlnych. To jego największy rozmiar, jaki jesteśmy w stanie zbadać. Zabawne, że zbierając docierające do nas z przestrzeni

kosmicznej światło oraz inne sygnały i podróżując coraz dalej i dalej w świecie wielkich rozmiarów, kończymy naszą wyprawę, spoglądając nie tylko w przeszłość, ale również w świat bardzo małych rozmiarów.

Nasi przodkowie tego nie wiedzieli.

A jak się zaraz przekonasz, równie dobrze może to działać w przeciwną stronę.

Ponownie wyruszysz w podróż do świata bardzo małych rozmiarów, lecz tym razem dotrzesz dalej, niż kiedykolwiek byłeś. Tam znajdziesz okno prowadzące do zupełnie nowej rzeczywistości, większej niż cokolwiek, co sobie dotychczas wyobrażałeś. Większej nawet od bąbli wszechświatów wewnątrz bąbli wszechświatów znajdujących się w bąblach wszechświatów wiecznej inflacji.

W świecie dużych rozmiarów znalazłeś coś małego.

Za chwilę znajdziesz coś ogromnego w świecie małych rozmiarów.

Ale czego powinieneś wypatrywać?

[77] Jeśli nie pamiętasz, a chciałbyś sobie przypomnieć, to czas Plancka nie trwa długo: milionową część miliardowej części miliardowej części miliardowej części miliarda sekund.

NIEZBADANY FRAGMENT RZECZYWISTOŚCI

Jak już wiesz, cały nasz widzialny wszechświat jest sferą o promieniu około 13,8 miliarda lat świetlnych. Z tak gigantycznej perspektywy widać najpierw włókna ogromnych skupisk galaktyk skąpanych w gazach i ciemnej materii oraz – patrząc bardziej ogólnie – wszystkie obecne tam pola kwantowe. Z tak daleka nie można ich zobaczyć, ale można je odczuć. One są materią, z której zbudowany jest widzialny wszechświat. To pole Higgsa, które nadaje materii masę. To pole inflatonowe, czy też ciemna energia, przeciwdziałające wpływowi grawitacji i powodujące coraz szybsze rozszerzanie się wszechświata.

I jest też sama grawitacja, zbliżająca wszystko do wszystkiego.

Obserwujesz to z daleka i zaczynasz powiększać obraz.

Widzisz teraz galaktyki składające się z setek miliardów gwiazd. Znajdujące się w ich centrach supermasywne czarne dziury wypluwają strumienie światła o ogromnej energii oraz materię. Widzisz ciemną materię. Widzisz, jak przeciwdziała rozrywaniu na kawałki galaktyk przez ich ruch wirowy.

Jeszcze bardziej powiększasz obraz.

Osiągnąłeś skalę gwiazd, ogromnych kul rozpalonej plazmy, świecących światłem, które pomaga nam badać odległy wszechświat.

Potem widzisz planety, kuliste światy, zbyt małe, aby kiedykolwiek stały się gwiazdami.

Jeszcze mniejsze są planetoidy, komety oraz żywe stworzenia, którym nasza planeta udziela schronienia pod stukilometrową warstwą atmosfery.

Potem pojawiają się mikroby, komórki, cząsteczki, atomy, elektrony i fotony, protony i neutrony, kwarki i gluony.

Dalej powiększasz obraz.

Znów znajdujesz się w królestwie pól kwantowych.

Grawitacja została tutaj pokonana przez wszystkie oddziaływania kwantowe.

Powiększasz obraz jeszcze bardziej, a potem przestajesz.

Czy pamiętasz problemy z polami kwantowymi? I renormalizację, czyli sztuczkę, jaką zastosowali teoretycy zajmujący się fizyką kwantową, aby się pozbyć nieskończonych wartości, które były dla nich utrapieniem? Czy pamiętasz, że próba traktowania grawitacji jak pola kwantowego zupełnie się nie udała, ponieważ nieskończonych wartości, jakie się w tym wypadku pojawiały, nie można było w żaden sposób usunąć, co wszędzie powodowało załamywanie się czasoprzestrzeni? To właśnie ich powinniśmy się teraz pozbyć. Wtedy znajdziesz okno prowadzące do nowej ogromnej rzeczywistości, o której wspomniałem na końcu poprzedniego rozdziału. Wkrótce przejdziesz przez to okno, lecz najpierw musimy usunąć te irytujące nieskończone wartości.

Jak to zrobimy? No cóż, przekonajmy się. Co wiemy o czasoprzestrzeni? Wiemy, że jej opis za pomocą fizyki z początku XXI wieku napotyka pewne granice.

W świecie bardzo dużych rozmiarów ta granica leży gdzieś poza Wielkim Wybuchem, poza epoką inflacyjną, kiedy wszechświat był w erze Plancka. Ta granica jest oddalona od nas o 13,8 miliona lat świetlnych w czasie i przestrzeni.

W świecie bardzo małych rozmiarów granica również istnieje. I pojawia się wszędzie.

Jakikolwiek obraz byś powiększał, na pewnym etapie osiągniesz skalę Plancka.

Oczywiście, o ile coś nie stanie ci na przeszkodzie.

Dzięki badaniom Hawkinga nad czarnymi dziurami wiemy, że grawitacja nie

jest niczym chroniona przed zjawiskami kwantowymi i że istnieje grawitacja kwantowa, choć niekoniecznie rozumiemy, jaki mogłoby to mieć wpływ na istniejącą rzeczywistość.

W światach bardzo małych i bardzo dużych rozmiarów istnieją granice, poza którymi nie możemy już nic zbadać. Wyznaczają je skale Plancka.

Czy w jakimkolwiek eksperymencie osiągnięto te ograniczenia rozmiarów, energii i czasu?

Nie, nikt tego nie dokonał. Obiekty, które chcielibyśmy zbadać, są zbyt małe, mają o wiele za dużo energii i za dużą prędkość. Obecnie są to jedynie ograniczenia teoretyczne. Ale co gorsza, istnieje też ograniczenie praktyczne, ponieważ nikt nie jest w stanie takich wartości osiągnąć.

Dlaczego?

Ponieważ powstałaby wtedy maleńka czarna dziura o rozmiarach Plancka, o której wspomniałem na końcu poprzedniej części książki. Jedynym sposobem na zbadanie rzeczywistości istniejącej poza czarną dziurą byłoby wysyłanie większej ilości energii, więcej światła o coraz mniejszej długości fali, w nadziei że odbije się od czegoś i dotrze z powrotem do naszych oczu. Ale tak się nie stanie, światło zostanie połknięte przez czarną dziurę, która w efekcie się powiększy, skrywając jeszcze głębiej tajemnice grawitacji kwantowej. Inaczej mówiąc, nasza obecna wiedza nie pozwala nam na zbadanie niczego, co wykracza poza skalę Plancka.

Co zatem zrobimy?

No cóż, spróbujmy znowu przechytryć rzeczywistość.

Możemy na przykład uznać, że nic nie może powstrzymać grawitacji kwantowej, albo stworzyć dla skali Plancka nową fizykę.

Mając do dyspozycji współczesne akceleratory cząstek i robiąc najlepszy

użytek z tego, co da się zaobserwować na niebie, fizycy teoretycy są przeświadczeni, że rozumieją już, jak zachowuje się natura, od skali galaktycznej po tę najmniejszą, w których wszystkie pola kwantowe stapiają się w jedno. Skalę wielkiej unifikacji. Aby ją osiągnąć, potrzebna jest energia wynosząca mniej więcej jeden procent energii Plancka. Rzecz jasna, to ogromna energia, odpowiadająca temperaturze mniej więcej 100 miliardów miliardów miliardów stopni. Lecz nie jest to granica Plancka.

Zapewne pamiętasz, że energia i rozmiary są z sobą powiązane: im większa energia fali, tym mniejsza odległość pomiędzy dwoma kolejnymi grzbietami fal. W królestwie bardzo małych rozmiarów jednej setnej (czyli jednemu procentowi) energii Plancka odpowiada długość 100 razy większa od długości Plancka.

Oznacza to, że pomiędzy tą długością a długością Plancka istnieje jakaś nieznaną nam rzeczywistość^[78].

Nie jesteśmy w stanie stwierdzić doświadczalnie, co się tam dzieje.

Aby lepiej sobie wyobrazić, co czuje fizyk teoretyk, napotykając tę eksperymentalną lukę, pomyśl, jak wyglądałby świat, gdyby nasz wzrok pozwalał ci widzieć z rozdzielczością wynoszącą metr. Zwykle ta rozdzielczość jest tak duża, że dostrzegasz obiekty znacznie cieńsze od ludzkiego włosa. Wyobraź sobie jednak, że przed twoim wzrokiem pozostaje ukryte wszystko, co ma rozmiar poniżej metra. Nie widziałbyś w swoim otoczeniu żadnych szczegółów, nie byłbyś nawet w stanie dostrzec małych dzieci. Pojawiałyby się one przed twoimi oczami dopiero wtedy, gdy mierzyłyby metr...

Nie mówię, że mogą istnieć dzieci o wzroście mniejszym niż stukrotność długości Plancka, lecz nie wiemy, co w świecie mini może ukrywać przed nami natura. A nasza rzeczywistość ma korzenie gdzieś w świecie bardzo małych rozmiarów. Z tak małych elementów jest zbudowana. To samo dotyczy nas. A ponieważ tamten świat nie został jeszcze zbadany doświadczalnie, to być może, w skali Plancka, pojęcia czasu i przestrzeni różnią się od tych, które znamy.

Możliwe, że z tego powodu zaczyna się tam także zmieniać natura grawitacji, materii oraz światła.

I to nawet radykalnie.

Być może na przykład stają się one jednym.

Dotychczas widziałeś rzeczy, które w większości są znane, i zapoznałeś się z problemami, które wynikły z tej naszej wiedzy.

Wkrótce pójdziesz o wiele dalej.

Założymy, że rzeczywistość, po której będziesz podróżował, naprawdę istnieje. Pamiętaj jednak, że to tylko czysta teoria.

Wiele najwybitniejszych współczesnych umysłów pracowało przez całe dziesięciolecia, aby stworzyć obraz, który będziesz oglądał.

[78] W czerwcu 2015 roku w zlokalizowanym w pobliżu Genewy Wielkim Zderzaczem Hadronów uzyskano tak dużą energię, że pobito wszystkie poprzednie rekordy i o połowę zmniejszono rozmiar tego nieznanego terytorium. Na związane z tym przełomowe odkrycia naukowe musimy jeszcze jakiś czas poczekać.

TEORIA STRUN

Sylwetkę twojego robota otacza dziwna mgiełka niebieskiej elektrycznej poświaty, tak jakby jego wewnętrzne podekscytowanie wydobywało się z elektrycznych obwodów na zewnątrz. Jesteście otoczeni przez odległe galaktyki i unosicie się obaj w przestrzeni kosmicznej w pobliżu miejsca, gdzie kiedyś znajdowała się czarna dziura, z której uciekłeś.

Widziałeś już wszystko, co było do zobaczenia.

Leciałeś superszybkim samolotem.

Obserwowałeś fluktuacje próżni pól kwantowych i dowiedziałeś się sporo o materii i świetle.

Widziałeś wybuchające gwiazdy, które dawały początek nowym światom, a także białe karły i parujące czarne dziury, które pozwalają nam wnioskować, że istnieje jakaś nieznana jeszcze teoria grawitacji kwantowej.

– Nadszedł czas, aby sondować głębiej – mówi robot.

I natychmiast obaj zaczynacie się zmniejszać.

Widzisz przelatujące w pobliżu cząstki oraz światło. Widzisz też fluktuacje próżni wszystkich znanych pól. Wciąż się kurczysz. Osiągasz skalę wielkiej unifikacji, gdzie, jak się sądzi, wszystkie pola kwantowe zachowują się jak jedno. Dalej się kurczysz. Jesteś już znacznie mniejszy od swojej miniatutki. Aby uzyskać grubość ludzkiego włosa, musiałbyś się powiększyć miliard miliardów miliardów razy. Na dole początkowo nic nie widzisz, ale po chwili coś przed sobą dostrzegasz.

To struna. Struna zrobiona z niczego. Nie tworzą jej nawet czas ani

przestrzeń. Gdy patrzysz na drgającą strunę, odnosisz wrażenie, że ona sama zastępuje oba te pojęcia.

Nie osiągnąłeś jeszcze skali Plancka i nie będziesz w stanie tego dokonać. Wbrew temu, co mógłbyś sądzić, w teoretycznym świecie, do którego teraz wkraczasz, skala Plancka nie istnieje. Nie oznacza to jednak, że to, co dotychczas widziałeś, nie ma sensu, lecz jedynie, że tu, na dole, nie możesz ufać żadnej z poznanych przez ciebie dotąd koncepcji. Z wyjątkiem kwantowych. Ale tylko tych dotyczących strun, nie cząsteczek.

To, co się wije tuż przed tobą, może być jednym z najbardziej elementarnych składników wszechświata. Jest to *struna kwantowa*.

Być może właśnie za jej sprawą uda się wyjaśnić wszystko, co wcześniej widziałeś, w tym grawitację oraz istnienie całego naszego wszechświata.

Znajdująca się przed tobą struna wibruje. W kwantowy sposób. Właściwie to nie możesz zlokalizować jej krawędzi, ale jesteś w stanie stwierdzić, że one istnieją, choć wszystko w tej strunie bardzo szybko się porusza.

To piękny widok, emanujący radosną energią. Nie możesz mu się oprzeć, sięgasz po tę poruszającą się jakby samoistnie strunę i chwytasz ją jak strunę do gitary.

Choć jest zrobiona z niczego, widzisz wiele układających się na sobie wibracji, przypominających drgania wydawane przez instrument muzyczny. W wypadku struny w gitarze największa fala stojąca daje ton podstawowy, a inne fale – wyższe tony harmoniczne. To, co masz przed sobą, wygląda jak zamazana struna gitary... Lecz samej struny nie ma. To struna zrobiona z niczego – lub, jeśli wolisz, struna fundamentalna – zdolna wydawać drgania. Pamiętaj, że gdy termin z języka potocznego poprzedzony jest słowem „kwantowy”, możemy się spodziewać, że nic nie będzie takie, jak się wydaje. Dlatego „struna kwantowa” nie jest żadną struną. Podstawowa vibracja nie rodzi tu dźwięku, ale światło. Cząstkę światła. Nośnik siły elektromagnetycznej.

Wszystkie cząstki kwantowe, z jakimi miałeś do czynienia, wszystkie cząstki tworzące twoje ciało oraz cała materia wszechświata mogłyby być wibracjami takich otwartych strun...

Twoją uwagę przyciąga coś po prawej stronie. Obracasz swoją miniaturową główkę i widzisz kolejną, zupełnie inną strunę. Tym razem przypomina ona zamkniętą pętlę. I również wibruje w kwantowy sposób.

Jej podstawowe wzbudzenie nie ma tym razem nic wspólnego ze światłem – ma ono związek z grawitonem. Nośnikiem grawitacji. Jest to skwantowana grawitacja. Ta pętla, ta zamknięta struna samym swoim istnieniem daje ci do zrozumienia, że masz do czynienia z kwantową teorią grawitacji. Jeśli umieścisz ją w dowolnym miejscu, jej wibracje będą miały taki sam efekt jak grawitacja. I nigdzie nie widzisz żadnych nieskończoności. Na zawsze zniknęły wszystkie nieskończone wartości, które trapiły grawitację kwantową. Stało się tak, ponieważ zrezygnowałeś z koncepcji, w myśl której wszystko odbywa się w czasie i przestrzeni. W wypadku przypominających kropki cząstek, znajdujących się w jednorodnej czasoprzestrzeni, łatwo wyobrazić sobie konkretne miejsce, w którym mogłyby się one zderzyć. A kwantowa teoria pola, mimo całej jej dziwaczności, również mówi, że gdy cząstki oddziałują na siebie, odbywa się to w określonym miejscu w czasie i przestrzeni. W wypadku strun już tak nie jest, cząstki są tu wibracjami strun, a wibracje strun cząstkami. Rozciągniętymi na całej długości i w całym czasie. Gdy na siebie oddziałują, nie odbywa się to ani w ściśle określonym miejscu, ani w konkretnym czasie. Bierze w tym udział struna jako całość. Nie ma już nieskończenie małego. W ten sposób pozbyliśmy się wszystkich nieskończonych wartości, z którymi miałeś wcześniej do czynienia.

Ta pętla, ta zamknięta struna zawiera w sobie grawitację, a więc jest grawitacją. A z otwartych strun promieniuje światło. Łącząc jedno z drugim,

otrzymamy teorię unifikującą grawitację i elektromagnetyzm... Teoria strun kwantowych jest zatem czymś więcej niż tylko teorią kwantowej grawitacji. Ta ostatnia dotyczy jedynie grawitacji, traktowanej w kwantowy sposób. Nie zajmuje się innymi polami kwantowymi. Robią to struny, na które teraz patrzysz.

A co z innymi polami?

Czy te struny mogą naprowadzić nas na teorię Wszystkiego, która scalałaby grawitację ze wszystkimi polami kwantowymi, jakie znamy?

Żeby tak się stało, musiałyby one również uwzględniać materię.

Gdzie jest ta materia? Nie widzisz żadnej. Dlaczego więc te struny są tak wyjątkowe? Co niesamowitego jest w ich istnieniu? Czemu teoretycy tak się nimi ekscytują?

Słusznie się nad tym zastanawiasz. I choć po zobaczeniu tych dwóch strun – zamkniętej i otwartej – możesz już wiele na ten temat powiedzieć, wciąż nie wiesz wszystkiego.

– Ruszamy – oznajmia robot.

I ponownie zaczynacie się zmniejszać.

Teraz otwarte struny są, w porównaniu z tobą, ogromne. Gdy im się dokładnie przyglądasz, zaczynasz zdawać sobie sprawę, że jest w nich coś więcej, niż wydawało ci się na pierwszy rzut oka. Za chwilę dokonasz czegoś, czego nie jest w stanie zrobić żaden zbudowany z materii człowiek. Ale ty masz teraz taką możliwość. Zapamiętaj jedno: żeby wyruszyć poza granice tego, co znane, zawsze trzeba z czegoś zrezygnować. Ty będziesz musiał porzucić myśl o wyjątkowości twojego wszechświata, który być może uważałeś dotąd za jedyne w swoim rodzaju. Lecz to jeszcze nie wszystko.

Aby przejść od Newtona do Einsteina, musiałeś pożegnać się z koncepcją statycznego, niezmiennego wszechświata, w którym grawitacja była siłą.

Konieczne było wprowadzenie pojęcia czasoprzestrzeni, z trzema wymiarami przestrzennymi i jednym wymiarem czasowym, które splatają się w jeden byt deformujący się wokół materii i energii. Aby przejść od Newtona do fizyki kwantowej, musiałeś pożegnać przypominające kropki cząstki i zaznajomić się z falami, polami, nieoznaczonościami oraz różnymi historiami. A teraz, aby przejść od grawitacji i teorii pól kwantowych do strun, trzeba zamienić wszystko, co jest fundamentalne, w teorię zamkniętych i otwartych strun. To byłoby proste, ale dodatkowo musisz pożegnać się z koncepcją rzeczywistości, która ma tylko cztery wymiary. Struny nie mogą funkcjonować w czterowymiarowej czasoprzestrzeni. Potrzebują więcej miejsca, żyją więc w dziesięciowymiarowym wszechświecie.

Gdy zbliżasz się z robotem do struny, dostrzegasz, że nad każdym punktem, który jak sądziłeś, znajduje się w naszym wszechświecie, jest sześć nowych wymiarów przestrzeni tworzących własny świat. Przypuszcza się, że właśnie z tych małych dodatkowych wymiarów pochodzi cała materia, z której jesteśmy zbudowani.

Jeśli masz problem z wyobrażeniem sobie czterech wymiarów, nie mówiąc już o dziesięciu, nie przejmuj się. Musisz tylko wiedzieć, że te sześć dodatkowych wymiarów rozciąga się w innych kierunkach niż znane nam lewo–prawo, góra–dół, przód–tył, które funkcjonują w naszym trójwymiarowym świecie. Powinieneś też zdawać sobie sprawę, że są one zbyt małe, abyś w codziennym życiu mógł zauważyć ich istnienie albo podróżować po nich. Ale teraz ty i robot zmniejszyliście się tak bardzo, że jesteście w stanie to zrobić.

Jak te wymiary wyglądają?

No cóż, nie sposób powiedzieć. Jest ich tak wiele! Tak wiele możliwych sposobów splecenia z sobą dodatkowych wymiarów, aby powstała z nich struna... Tak wiele sposobów owinięcia ich wokół siebie, a każde z tych różnych opakowań stwarza odmienne warunki istnienia rzeczywistości. Fizycy teoretycy

dodatkowe wymiary muszą być bardzo małe, jeden – albo więcej z nich – może być ogromny.

– Chodź ze mną – mówi robot, machając do ciebie rurą służącą do wyrzucania cząstek. – Możemy już tego ponownie nie zobaczyć.

I wtedy zdarza się najbardziej niezwykła rzecz.

Zawsze uczono cię, że nie można spojrzeć na wszechświat z boku. Mówienie o jego krawędzi czy granicy jest nonsensem. Wszechświat z definicji jest wszędzie, a próby wyobrażenia sobie, jak wyglądałby z góry albo z dołu, nie mają żadnego sensu. Tymczasem robot właśnie wyprowadza cię z niego, poruszając się w kierunku, który nie prowadzi ani w dół, ani do góry, ani w lewo, ani w prawo, ani do przodu, ani do tyłu. Teraz wydaje się, że takie krawędzie jednak istnieją, lecz poza wymiarami, które na co dzień są dostępne twoim zmysłom.

Jesteś poza wszechświatem.

Widzisz wszystko.

Twój cały wszechświat.

Z innego wymiaru. Widzisz otwarte struny – te o kształcie sznurowadeł i wibracjach dających początek światłu – jak wibrują teraz na różne sposoby, w zależności od ukrytych wymiarów, w jakich się one rozciągają. Widzisz również, że końcówki tych otwartych strun tkwią w twoim wszechświecie, który dopiero co opuściłeś. Z kolei zamknięte struny, pętle, te, które wibrując, dają taki sam efekt jak grawitacja, mają swobodę ruchu i mogą wędrować poza wszechświat...

Nagle zdajesz sobie sprawę, że za tobą coś jest. Odwracasz się i zapiera ci dech.

Tam jest inny wszechświat.

Równoległy do twojego, do naszego. Widzisz, jak zamknięte struny przemieszczają się z jednego wszechświata do drugiego, co pokazuje, że mogą się z sobą kontaktować za pomocą grawitacji. To czwarty, wywierający największe wrażenie rodzaj wszechświatów równoległych. Nazywamy je branami – jak „membrany”, ale bez „mem” – aby pokazać, że mogą być czymś więcej niż tylko rodzajem płacht i mieć więcej niż dwa wymiary. To, co w tej chwili widzisz, jest jedną taką braną, innym wszechświatem, ale może być ich wiele. I także mogą mieć różną liczbę wymiarów. Gdy zajmujący się tym zagadnieniem fizycy-matematycy zmieniali sposób wzajemnego oddziaływania na siebie tych wszechświatów, potrafiły przemieniać się jeden w drugi i zachowywać się jak struny. Mogą one być osobnymi bytami albo rozmaitymi aspektami tej samej rzeczywistości, rzeczywistości obserwowanej z różnych punktów widzenia. A to wszystko może być jednym z aspektów jeszcze większej rzeczywistości, cokolwiek owa rzeczywistość miałaby tu znaczyć. Naukowcy pracujący pod kierownictwem wybitnego argentyńskiego fizyka teoretyka Juana Maldaceny dowiedli nawet, że to wszystko można zrozumieć, nie używając pojęcia grawitacji, tak jakby każdy wszechświat mógł być opisany na podstawie tego, co się dzieje gdzieś na jego odległej granicy...

Dociera do ciebie bulwersująca prawda. Znajdujesz się poza granicami wszechświata.

Wszędzie dookoła są inne wszechświaty, o innych wymiarach. Istnieją maleńkie wymiary, wokół których owijają się struny, wewnątrz i w pobliżu tych wszechświatów. Wprawiają je w drgania dające początek materii i światłu, które mają zakaz opuszczania swoich bran, swojego wszechświata, twojego wszechświata. Ich końcówki mają swobodę ruchu w wymiarach, w których ty powstałeś, ale nie są w stanie ich opuścić.

Gdy z miejsca, w którym się znajdujesz, obserwujesz pętle zamkniętych strun przemieszczające się z jednej brany do drugiej, zdajesz sobie sprawę, że jakaś

energia może być zdolna do opuszczenia twojego wszechświata. Dostrzegasz nawet coś, co wygląda na czarne dziury łączące pobliskie brany za pomocą kanału zniekształconej czasoprzestrzeni. Grawitacja każdej z bran przyciąga pozostałe i zaczynasz się zastanawiać, czy w tych innych branach przypadkiem nie żyją inni ludzie... Czy czarne dziury mogłyby być przejściami łączącymi twój świat z ich światem? Czy osobliwość, do której nie dotarłeś, może otwierać się na inną rzeczywistość? Czy narodziny naszej brany, naszej czasoprzestrzeni mogły mieć jakiś związek z kolizjami z innymi, istniejącymi wcześniej branami? Czy ciemną materię i ciemną energię można by wytłumaczyć istnieniem bran?

Gdy kierujesz swój wzrok z powrotem na wszechświat, który przed chwilą opuściłeś, nagle okazuje się, że coś się stało z upływem czasu. Widzisz bąble nowych wszechświatów inflacyjnych pojawiające się wszędzie wewnątrz twojego wszechświata, w twojej branie, rozprzestrzeniające się w tym, co było twoim światem, tak jak krople oleju na powierzchni stawu.

– Powinniśmy wracać! – wołasz.

Ale jesteś sam.

Ani śladu robota.

Wślizgujesz się do wnętrza pobliskiej brany, mając nadzieję, że jest tą, z której przybyłeś.

I zaczynasz się powiększać.

Inne brany znów stają się niewidoczne, a struny, które mogą stworzyć twoją rzeczywistość, znikają w oddali.

Wokół ciebie są teraz kwarki i gluony. Po chwili pojawiają się protony, potem elektrony, atomy. Cząsteczki. Pył. Piasek. Morze.

Otwierasz oczy.

Jesteś na plaży.

W tym samym miejscu, z którego rozpocząłeś swoją podróż.

Świecą gwiazdy.

Delikatny wietrzyk przynosi woń egzotycznych kwiatów.
Otaczają cię twoi przyjaciele.
Uśmiechają się.
– Obudził się! – mówi jeden z nich. – Nalejcie mu drinka!
Siadasz zakłopotany.
Ktoś podaje ci szklanę.
Szczypiesz się. Au, boli!
Sączysz drinka.
Spoglądasz na morze, drzewa, gwiazdy.
Kształty.
Wysoko na nocnym niebie pojawiają się kształty. Twarze.
Newton. Maxwell. Einstein. Planck. Schrödinger. Dirac. Feynman.
Hawking. 't Hooft. Weinberg. Maldacena. Witten.
I cała rzesza innych.
Wszyscy oni patrzą na ciebie z uśmiechem.
Chcesz z nimi porozmawiać, ale oni odwracają się, by podziwiać majestat
przestrzeni kosmicznej.
A potem wszyscy znikają wśród gwiazd.
Znikają też same gwiazdy. I morze.
Mrugasz.
Jesteś z powrotem w domu, na swojej kanapie.
Okno jest otwarte.
Siadasz i rozglądasz się dookoła.
Kawa wciąż stoi na stole.
Znów boleśnie się szczypiesz.
Upijasz łyk, aby pobudzić umysł.
Kawa i twój salon osiągnęły temperaturę równowagi.

Wypluwasz zimny napój.

– Wszystko ze mną w porządku – mówisz głośno, lecz aby się upewnić, że tak jest w istocie, sięgasz po telefon i dzwonisz do swojej ciotecznej babci.

A potem znowu mrugasz.

EPILOG

W ciągu dziejów filozofowie – a obecnie fizycy teoretycy – próbowali wyobrazić sobie świat. Aby odkryć rządzące naturą prawa, których istnienie jest dziś dla nas oczywiste (lecz których języka bardzo długo nie rozumieliśmy), przedstawiali sobie siebie w sytuacjach niemożliwych do urzeczywistnienia ani w życiu codziennym, ani w laboratorium. Takie eksperymenty nazywamy *eksperymentami myślowymi*. Przeprowadzamy je, używając do tego celu wyłącznie umysłu.

W tej książce miałeś do czynienia z wieloma takimi eksperymentami. Pozwalały ci podróżować w wyobraźni przez wszechświat, jaki znamy obecnie, jak również w nieznanne.

Schrödinger zastosował tę samą metodę, aby pokazać, jak dziwaczne wydawałyby się prawa mechaniki kwantowej, jeśliby je zastosować w codziennym życiu, w świecie makroskopowym. Skończyło się to tym, że kot nie był ani martwy, ani żywy, lecz jednocześnie i martwy, i żywy. Doprawdy dziwna to rzecz, ale potwierdzono naukowo, że tak jest.

Einstein również chętnie stosował eksperymenty myślowe. Wyobrażał sobie, jak wyglądałaby rzeczywistość, gdyby prędkość światła miała wyznaczać nieprzekraczalne ograniczenie prędkości. W tym celu usiadł na fotonie. Patrząc na świat z tej perspektywy, wymyślił szczególną teorię względności, która wyraźnie mówi, że samolot lecący z taką prędkością jak ten, w którym się znajdowałeś, faktycznie znalazłby się w przyszłości odległej od nas o 400 lat. To też okazało się słuszne. Einstein poszedł dalej i wyjaśnił, czym jest grawitacja, co

doprowadziło do odkryć naukowych, które nawet po 100 latach wciąż wydają się rewolucyjne.

Przez ostatnie stulecie siłą napędową badań naukowych była intuicja, choć nie ta oparta na zdrowym rozsądku, który dotychczas pozwolił trwać naszemu gatunkowi.

Jedenastego lutego 2016 roku zostało opublikowane opracowanie naukowe, pod którym podpisało się ponad tysiąc naukowców z całego świata, ogłaszające, że ludzkość wkroczyła w nową erę, jeśli chodzi o zdolność zaglądania w przeszłość i przyszłość naszego wszechświata.

Po raz pierwszy w historii wykryto wtedy fale rozchodzące się w strukturze wszechświata. Ich istnienie przewidział w 1916 roku Einstein i chociaż w 1974 roku amerykańscy fizycy Russell Hulse i Joseph Taylor znaleźli pośredni dowód na to zjawisko (za co w 1993 roku otrzymali Nagrodę Nobla), same fale pozostawały jednak nieuchwytnie.

Aż do niedawna.

Dzięki przewidywaniom Einsteina sprzed stulecia mamy nowe narzędzie do badania przestrzeni pozaziemskiej. Reaguje ono nie tylko na światło, ale także na fale grawitacyjne – małe odkształcenia czasu i przestrzeni, które z prędkością światła przebiegają przez wszystko, co napotkają na swojej drodze. Także przez Ziemię i ciebie. Biegając, kołyszają czasem, nami i wszystkim, co istnieje. Do tej pory ludzkość ich nie dostrzegała. Lecz to już przeszłość.

Einstein nie był jedyny. Wszystkie twarze, które zobaczyłeś w gwiazdach, gdy obudziłeś się na plaży, należały do tytanów intelektu z przeszłości i z teraźniejszości. Rzecz jasna, tych wszystkich osób nie sposób wymienić – jest ich zbyt wiele. Dzięki ich dokonaniom nasz świat z każdą chwilą się poszerza i staje się coraz lepiej poznany. Ludzie ci stworzyli opowieść o naszym gatunku – książkę, w której strona po stronie opisali wszystko, co już wiemy o naszej rzeczywistości. Większość z nich nie jest powszechnie znana, ale to ważne

postacie.

Pamiętając jednak, jak zaczęła się twoja podróż, powinieneś zdawać sobie sprawę, że nie znalazłeś sposobu na to, aby ocalić Ziemię przed wybuchem Słońca w przyszłości. Prawdopodobnie nie wiesz nawet, jak uchronić naszą planetę przed wszystkimi możliwymi katastrofami, jakie wcześniej mogą się jeszcze zdarzyć. Ale z pewnością odkryłeś, co pomoże naszemu gatunkowi dokonać tego i przetrwać. To nasz mózg. Nasz umysł. Nasza wyobraźnia. Nauka.

Zgodnie z obecnym stanem wiedzy niemożliwe są podróże z jednej części wszechświata do innej jego części w ciągu życia jednego człowieka, a nawet tysiąca kolejnych generacji. Możesz to robić tylko w wyobraźni. Jeszcze kilka pokoleń wstecz podróż żaglowcem z Europy do Australii zajmowała kilka miesięcy. W dzisiejszych czasach lot samolotem na tej trasie określamy w godzinach. Nie wiemy, co przyniosą technologie przyszłości ani na co pozwoli nam kiedyś ogólna teoria względności. Jak już wcześniej wspomniałem, dotychczas dała nam GPS. Tylko GPS. W przyszłości może nam umożliwić znalezienie skrótów w czasoprzestrzeni, tak zwanych *tuneli czasoprzestrzennych*, które łączyłyby dwa odległe miejsca bez konieczności pokonywania dzielących je ogromnych dystansów. Widziałeś znajdujące się bardzo daleko niezliczone planety – światy, do których być może zawitamy pewnego dnia...

Jak dotąd udało się nam polecieć ponad chmury, dotrzeć na Księżyc i wysłać sondy kosmiczne na obrzeża Układu Słonecznego. To, co znajdowało się dalej, ludzkość mogła jedynie obserwować. Dzięki szeregowi eksperymentów myślowych przyjrzałeś się wszystkiemu, co jest nam znane i nieznanie, oraz zgromadziłeś w jednym miejscu całą dostępną obecnie wiedzę w dziedzinie fizyki teoretycznej.

Część tego, czego dowiedziałeś się podczas swojej podróży, może się jednak okazać nieprawdą. Ciemna materia, ciemna energia, kosmiczna inflacja, wszechświaty lub rzeczywistości równoległe oraz struny – to wszystko koncepcje, które kiedyś mogą zostać zarzucone, ale w dzisiejszych czasach są bardzo istotne. Pokazują, w jaki sposób ludzkość próbuje znaleźć w naszym wszechświecie jakiś sens. Za kilka stuleci wszystko to może zostać albo odrzucone, albo zaakceptowane. Tego nie wiemy. Żyjąc w naszych czasach, siłą rzeczy trudno nie odnieść się do tych niezwykłych koncepcji. Zanim zaczniesz się sam nad tym wszystkim zastanawiać, przedstawię ci podsumowanie tego, co zobaczyłeś – i coś jeszcze.

Jak już wiesz, Newton nie stworzył ostatecznej teorii natury, tak zwanej teorii Wszystkiego, o której wspominałem jakiś czas temu i która jak dotąd pozostaje nieuchwytna. Konkurencją dla niej mogłaby być teoria strun. Teoria Newtona nie wyjaśnia nawet dziwnego sposobu, w jaki porusza się Merkury, nie mówiąc już o ekspansji czasoprzestrzeni. Tak więc w pewnym sensie jest błędna. A mimo to błyskotliwa. Można ją nawet nazwać doskonałą – wiemy, w jakich obszarach się sprawdza oraz gdzie i dlaczego się załamuje. Można ją stosować (w przybliżeniu) w odniesieniu do rozmiarów, jakie jesteśmy w stanie objąć umysłem – pomiędzy czymś bardzo dużym a bardzo małym – oraz do niezbyt dużych prędkości i niezbyt silnych energii. Świat, którego doświadczamy i który dzięki ewolucji możemy postrzegać za pomocą naszych zmysłów, funkcjonuje w granicach, w których sprawdza się teoria Newtona. Tam ma źródło nasz zdrowy rozsądek.

Ale są rzeczy, które rozgrywają się poza tymi granicami. W światach bardzo dużych prędkości, bardzo małych rozmiarów, bardzo dużych rozmiarów i bardzo dużych energii. Na tych nieznanach terytoriach prawa Newtona nie mają zastosowania, nie pomogą nam tam także nasze zmysły. Co zadziwiające, ludzkość zdołała jednak odkryć prawa natury obowiązujące tam, gdzie nasz

wzrok już nie sięga. Teorie pól kwantowych mają zastosowanie w świecie bardzo małych rozmiarów, a ogólna teoria względności rządzi w świecie bardzo dużych rozmiarów i bardzo dużej gęstości energii^[79]. A pomiędzy tymi dwoma światami królem jest Newton. Tam gdzie nie działają jego prawa, zaczynamy wykrywać bądź przewidywać dziwne nowe zjawiska wskazujące, że z naszą rzeczywistością graniczą jakieś nowe, tajemnicze światy.

Zarówno teorie pól kwantowych, jak i ogólna teoria względności poszerzyły nasze horyzonty i otworzyły nam oczy na wszechświat o wiele bardziej rozległy od tego, który byli sobie w stanie wyobrazić nasi przodkowie. Teorie te również mają swoje ograniczenia, lecz – inaczej niż w wypadku teorii Newtona – nikt nie ma pewności, co leży poza ich zasięgiem. Czytając tę książkę, poruszałeś się w ramach tych niezwykle udanych teorii, a w jej ostatniej części nieśmiało zrobiłeś krok w nieznanne. Wkroczyłeś do wszechświata, którego główne elementy składowe są utworzone ze strun i bran. Istnieją w nim zwielokrotnione rzeczywistości i możliwości oraz kwantowe próżnie, co oznacza, że w tego rodzaju wszechświatach rządzą nieznanne nam prawa.

Dzięki swojej niezwyklej przenikliwości Einstein odkrył, że istota grawitacji odbiega od wyobrażeń Newtona. Wykazał, że zjawisko to powodują zakrzywienia i pochyłości. Grawitacja, materia i energia są z sobą powiązane w bardzo prosty sposób: nasz wszechświat ma strukturę zwaną czasoprzestrzenią – jej zakrzywienia i kształty zależą od tego, co się wewnątrz niej znajduje. Efekty działania tych zakrzywień na pobliskie obiekty oraz światło odczuwamy jako grawitację – i tak też je nazywamy. Tak mówi ogólna teoria względności, która liczy sobie 100 lat. Aby określić lokalny kształt wszechświata w pobliżu gwiazdy i zorientować się, jak grawitacja wpływa na jej otoczenie, wystarczy jedynie znać ilość energii zawartej w tej gwiazdzie. Takich obliczeń dokonało wielu naukowców, a pierwszym z nich był niemiecki fizyk Karl

Schwarzschild.

W 1915 roku – tym samym, w którym Einstein ogłosił swoją teorię, zrozumiałą w owych czasach zaledwie dla garstki ludzi – Schwarzschild opisał dokładną geometrię czasoprzestrzeni w pobliżu gwiazdy. Miał wtedy 43 lata i dokonał tego, walcząc na rosyjskim froncie podczas pierwszej wojny światowej. Zmarł kilka miesięcy później w wyniku choroby, której się tam nabawił. Na wojnach zginęło zbyt wielu ludzi takich jak Schwarzschild, którzy mogliby nam pomóc lepiej i szybciej zrozumieć świat.

Jednak dzięki odkryciom Schwarzschilda możliwe się stało przewidywanie trajektorii ruchu obiektów i światła wokół gwiazdy. Wyliczono wtedy prawidłową orbitę Merkurego i stwierdzono, że światło powinno być odchylane przez Słońce. W 1919 roku takie odchylenie (wcześniej niezauważone) wykryła ekspedycja pod kierownictwem brytyjskiego astronoma Arthura Eddingtona. Fotografie wykonane podczas całkowitego zaćmienia wykazały, że gwiazdy widziane w pobliżu Słońca nie znajdowały się w miejscach, gdzie się ich spodziewano. Leżały natomiast dokładnie tam, gdzie powinny się znaleźć zgodnie z teorią Einsteina, odchylone w wyniku oddziaływania Słońca na czasoprzestrzeń. Grawitacja jest zakrzywieniem czasoprzestrzeni, a samo światło też jej podlega.

Niedługo po śmierci Schwarzschilda tę samą metodę zastosowano do jeszcze większych obiektów, czyli galaktyk, co doprowadziło naukowców do wniosku, że te dziwne kosmiczne miraży, łuki świetlne unoszące się w odległym wszechświecie, naprawdę istnieją. Są to obrazy jeszcze bardziej oddalonych galaktyk, których światło uległo zniekształceniu w trakcie podróży do nas. Bliższe galaktyki działały zatem jak kosmiczne soczewki, umożliwiając nam oglądanie obszarów leżących poza nimi i poznawanie starszej historii naszego wszechświata. Te kosmiczne soczewki i miraży zostały wykryte w 1979 roku, ponad 60 lat po opublikowaniu wyników pracy Einsteina. Dzisiaj widzimy je na

prawie każdym zdjęciu głębokiego kosmosu, zrobionemu dzięki teleskopom. Przy okazji pokazują one, że geometryczna interpretacja grawitacji Einsteina sprawdza się nie tylko w pobliżu Słońca, ale w całej przestrzeni kosmicznej.

Ogólna teoria względności dała nam nowe wyobrażenie o wszechświecie.

Ty, ja, wszyscy i wszystko jesteśmy w tej chwili otoczeni przez informacje docierające do nas z przeszłości. Znajdujemy się w centrum naszej widzialnej rzeczywistości, gdzie wszędzie, z wyjątkiem czarnych dziur, obowiązuje prawo Einsteina. To samo dotyczy naszego rozumienia materii i światła: całym widzialnym wszechświatem rządzą takie same prawa jak naszym najbliższym kosmicznym otoczeniem. Materia, z której jesteśmy zbudowani, czy światło, które odbija się od naszego ciała, wszędzie w naszym widzialnym wszechświecie podlegają tym samym prawom kwantowym.

Powiązanie reguł dotyczących spraw dalekich i bliskich doprowadziło naukowców do konkluzji, że nasz wszechświat ma swoją historię i że jej częścią był Wielki Wybuch. A dzięki światłu możemy odczytać z gwiazd przebieg minionych epok – aż do momentu w przeszłości, kiedy nie mogło się ono jeszcze przemieszczać. Ten moment, to miejsce w przeszłości naszego wszechświata, kiedy czasoprzestrzeń stała się wystarczająco obszerna, aby światło zyskało swobodę ruchu, nazwaliśmy powierzchnią ostatniego rozproszenia. Zniknęła ona, gdy wszechświat osiągnął temperaturę 3 tysięcy stopni Celsjusza. Przedtem był całkowicie nieprzejrzysty, potem stał się przezroczysty. Pozostałością po tamtej temperaturze jest mikrofalowe promieniowanie tła. Obecne są w nim ślady tego, co istniało kiedyś.

Jeśli chodzi o jeszcze bardziej odległą przeszłość, wpatrywanie się w nocne niebo pozwalało nam do tej pory tylko na wysnuwanie pośrednich konkluzji. W przyszłości do odczytywania sygnałów z odleglejszych obszarów będziemy mogli użyć naszych nowych oczu – detektorów fal grawitacyjnych, ale na razie

jeszcze nie jest to możliwe. Dziś, aby zrozumieć, co się dawniej działo, musimy odtwarzać warunki panujące niegdyś w niezwykle małej objętości, jaką nasz wszechświat zajmował w swoim okresie niemowlęcym.

Od lat siedemdziesiątych XX wieku robimy to w akceleratorach cząstek. Dzięki nim osiągnęliśmy o wiele bardziej miarodajne wyniki przy badaniu świata cząstek oraz światła. Teorie pól kwantowych przedstawiły nam prawdopodobny obraz tego, czym jest nasz wszechświat i z czego był utworzony miliardową część miliardowej części miliardowej części sekundy po narodzinach czasu i przestrzeni, jakie znamy – narodzinach, które przewidziała ogólna teoria względności Einsteina.

Również od lat siedemdziesiątych wiemy, że ogólna teoria względności ma swoje ograniczenia, poza którymi się załamuje. Tam gdzie pojawiają się tego rodzaju problemy, potrzebna jest nowa teoria – teoria kwantowej grawitacji – ale nie tylko ona. Jaka to ma być teoria, tego jeszcze nie wiemy^[80]. Wiemy jednak, że taka teoria powinna zostać opracowana. Wskazuje na to parowanie czarnej dziury.

Gdy zmniejszyłeś się, aby odkryć, gdzie należy szukać takiej koncepcji, znalazłeś się w całkowicie nowej rzeczywistości – rzeczywistości składającej się ze strun, bran oraz innych wymiarów. Wkroczyłeś do świata teorii strun, chyba najbardziej znanej rywalki teorii kwantowej grawitacji lub teorii Wszystkiego, choć nie ma w niej jeszcze przewidywań, które można by doświadczalnie sprawdzić.

To właśnie w ramach teorii strun i bran, zwanej czasami *M-teorią*, robot, czyli twój przewodnik przez czas, przestrzeń i nieznanne, dotarł do krańca swojego czasu. Dalej nie są bowiem w stanie nic zdziałać nawet najpotężniejsze superkomputery. Tam może sobie poradzić tylko ludzki umysł. Jego nie krępują żadne ograniczenia.

Nie ma wątpliwości, że przyszłe odkrycia, zarówno teoretyczne, jak i uzyskane w wyniku doświadczeń, będą wykraczały poza stan dzisiejszej wiedzy i otworzą nam nowe okna na wszechświat, który jest bardziej niezwykły, niż ktokolwiek może to sobie dzisiaj wyobrazić. Ogólna teoria względności i teorie pól kwantowych osiągną wtedy doskonałość, jak teoria Newtona, ponieważ będziemy wiedzieli, dlaczego załamują się w określonych warunkach, i znali ich następczynię. Na razie jednak są one błędne – w takim samym sensie, w jakim błędna była teoria Newtona.

I dzięki tym błędom możemy przyjrzeć się nieznanemu.

Bez odkryć Newtona nie mielibyśmy żadnego porównania, nie zauważylibyśmy nawet nieznacznego przesunięcia orbity Merkurego.

Bez tej niezgodności z przewidywaniami Newtona, który nie potrafił określić, co się dzieje z bardzo szybko poruszającymi się obiektami, nie byłoby trafnych spostrzeżeń Einsteina dotyczących oddziaływania na siebie struktury wszechświata i jego zawartości.

Bez równań Einsteina, podobnie jak nasi przodkowie, bylibyśmy nieświadomi faktu, że nasz wszechświat ma swoją historię. Nie moglibyśmy sobie wyobrazić, jak on funkcjonuje w całości.

Bez takiego wyobrażenia nie odkrylibyśmy fal grawitacyjnych i ciemnej materii. Ani ciemnej energii.

Naukowe pomyłki są potrzebne do odnalezienia prawidłowych odpowiedzi, pomagają posuwać się naprzód.

A co nastąpi w przyszłości? Co zmieni nasze nowe narzędzie – detektor fal grawitacyjnych?

Gdy 400 lat temu włoski fizyk i filozof Galileusz skierował w niebo wynaleziony przez siebie teleskop, stał się zapewne ojcem astronomii obserwacyjnej.

Dostrzegł księżycy Jowisza – obiekty kosmiczne krążące wokół czegoś, co

nie jest Ziemią.

Przekreśliło to raz na zawsze liczącą tysiące lat (błędną) koncepcję, według której wszystko się obraca wokół naszej planety, a ona jest centrum wszechświata. Utorowało również drogę do naukowego badania rzeczywistości, której wymiary okazały się nieporównanie większe, niż się spodziewano.

Cztery lata później teleskop Galileusza został zastąpiony przez kosmiczny teleskop Hubble'a, teleskopy rentgenowskie i działające w ultrafiolecie oraz radioteleskopy. Urządzenia te razem z innymi narzędziami analizującymi światło pomogły nam znaleźć odpowiedzi na wiele pytań związanych z kosmosem i naszym pochodzeniem, co doprowadziło do konkluzji, że wszechświat nie istniał od zawsze.

Światło nie rozchodzi się jednak we wszystkim. Tak jak nie możemy zobaczyć, co znajduje się za ścianą, tak samo przeważnie nie potrafimy za pomocą przyrządów optycznych dostrzec, co leży po drugiej stronie Drogi Mlecznej czy poza odległą galaktyką, ponieważ na drodze światła staje pył, gwiazdy, a czasem również inne galaktyki. Inaczej jest z falami grawitacyjnymi – w odróżnieniu od światła nie dają one cienia. Chyba że znajdują się za czarnymi dziurami. W zasięgu ręki jest więc zapewne rewolucja w myśleniu podobna do tej zapoczątkowanej przez Galileusza, mamy bowiem teraz nowe oko do obserwacji kosmosu.

Pierwsza wykryta fala grawitacyjna była charakterystyczną sygnaturą dwóch łączących się z sobą czarnych dziur. Wcześniej nie mieliśmy dowodów na to, że czarne dziury mogłyby wokół siebie krążyć, nie mówiąc już o łączeniu się. To odkrycie na miarę Nagrody Nobla.

W nadchodzących miesiącach i latach niewątpliwie znajdziemy znacznie więcej czarnych dziur. Być może okaże się, że są wszędzie – większe i mniejsze. A nasze teorie dotyczące życia tych kosmicznych potworów od ich narodzin aż do śmierci zostaną wreszcie zweryfikowane. Wnętrza czarnych dziur pozostaną

jednak poza zasięgiem naszych możliwości eksperymentalnych (nawet fale grawitacyjne nie są w stanie wydostać się z ich wnętrza). Ale już teraz możemy badać powierzchnie i horyzonty zdarzeń czarnych dziur. Dzięki sygnałowi zarejestrowanemu we wrześniu 2015 roku okazało się, że prawdopodobnie mieliśmy rację co do niektórych ich właściwości, a to z kolei może sugerować, że teoretyczne czarne dziury odpowiadają tym istniejącym w rzeczywistości. Ich rozmiar oraz kształt zależą od bardzo niewielu parametrów, a mianowicie od masy, ładunku oraz sposobu, w jaki wirują. Jest to *twierdzenie o raku struktury* (a dosłownie „o braku włosów”) czarnej dziury. Zostało sformułowane (i tak nazwane) mniej więcej 50 lat temu przez Johna Archibalda Wheelera, niezwykłego fizyka, który był promotorem prac doktorskich Richarda Feynmana, Hugh Everetta III oraz... Kipa Thorne’a, jednego z pomysłodawców detektora LIGO, który wykrył fale grawitacyjne.

Dzięki temu twierdzeniu zderzenia czarnych dziur oraz inne kosmiczne zawieruchy bez wątpienia staną się dla nas idealnymi punktami odniesienia, służącymi do określania ogromnych odległości. Będzie to niezależna metoda weryfikacji pomiarów dokonywanych do tej pory jedynie za pomocą przyrządów optycznych. Wchodzi tu w grę natura ciemnej materii oraz istnienie ciemnej energii. Wkrótce powinniśmy dowiedzieć się o tych zagadnieniach czegoś więcej.

Nie ty jeden się zastanawiasz, na czym może polegać odkrycie, którego nikt się nie spodziewa. Ja też o tym myślę! Czy znajdziemy dowody na istnienie dodatkowych wymiarów? Czy odkryjemy coś, o czym nigdy nawet nie myśleliśmy? Miejmy nadzieję, że tak. Skonstruowaliśmy właśnie nowe oko, a w tym, co ono może nam pokazać, najlepsze będą niespodzianki, rzeczy nieprzewidywalne, które dostarczą nam nowych tajemnic do rozwikłania.

W 2017 roku powinny już jednocześnie działać trzy detektory fal grawitacyjnych: dwa w Stanach Zjednoczonych (LIGO) i jeden we Włoszech

(VIRGO)^[81]. Na razie są one zdolne wykryć jedynie fale grawitacyjne, których źródło leży nie dalej niż 1,5 miliarda lat świetlnych od nas. Należy sądzić, że za rok ich zasięg będzie trzy razy większy. A jest jeszcze projekt LISA, Europejskiej Agencji Kosmicznej (European Space Agency – ESA), dotyczący umieszczenia w przestrzeni kosmicznej swego rodzaju anteny wykrywającej fale grawitacyjne, bardziej czulej niż LIGO i VIRGO. Jego realizacja bez wątpienia złapie teraz drugi oddech. Marzy mi się, aby ten projekt doprowadził do wykrycia fal pochodzących spoza powierzchni ostatniego rozproszenia, z burzliwego dzieciństwa naszego nieprzezroczystego wówczas wszechświata. Bądźmy optymistami – to pozwoli nam zobaczyć erę inflacyjną (o ile istniała), powstałe zaraz po tym czarne dziury, a może nawet sam Wielki Wybuch. Albo jeszcze lepiej: doprowadzi do czegoś całkiem innego – wykrycia naukowych pomyłek i znalezienia nowych, prawidłowych odpowiedzi. Mam nadzieję, że obserwując następnym razem gwiazdy i Księżyc, będziesz pamiętał, jak dziwny, rozległy i piękny jest nasz wszechświat. To właśnie poszukiwanie w nim ukrytego piękna i kolejnych zagadek stwarza okazję do poszerzania naszej wspólnej wiedzy i snucia marzeń, co pozwoli znaleźć sposób na przetrwanie naszego gatunku w dłuższej perspektywie.

[79] A królestwo bardzo dużych prędkości należy do obu tych światów.

[80] A będzie ich zapewne więcej niż jedna.

[81] Detektory faktycznie już działają (przyp. red.).

PODZIĘKOWANIA

Pisanie książki to niełatwe zadanie. Rzadziej wspomina się o tym, że to również bardzo egocentryczne zajęcie.

Za to, że mi na nie pozwoliła i przez cały czas służyła pomocą, jestem niezmiernie wdzięczny Lauren, mojemu jaśniejącemu, utkanemu z gwiazdznego pyłu cudowi.

Napisać książkę to jedno, ale wydać ją, to całkiem coś innego. Dziękuję za to wielu osobom. Wymieniam je w kolejności zgodnej z chronologią działań wydawniczych.

Philippa Donovan ze Smart Quill Editorial. To ona, po przeczytaniu propozycji mojego skromnego projektu – napisania „przystępnej książki popularnonaukowej o wszystkim, co wiadomo o naszym wszechświecie od czasów sprzed Wielkiego Wybuchu aż do dziś” – zamiast po cichu wyrzucić go do kosza, przedstawiła mnie najlepszemu agentowi na świecie.

Antony Topping z agencji literackiej Greene & Heaton. Jest najlepszym agentem na świecie. A także najlepszym przyjacielem, jakiego mogliby sobie wymarzyć książka oraz jej autor.

Jon Butler. Chciałbym, żeby wiedział, jak bardzo doceniam to, co zrobił dla tej książki. Przysłużył się jej swoją kreatywnością, zdolnością do inspirowania innych, delikatnością, wnikliwością, a nade wszystko wyrozumiałością. Cieszę się, że zostało nam jeszcze do przedyskutowania kilka nierozstrzygniętych problemów teoretycznych – liczę na to, że omówimy je kiedyś przy piwie...

Kate Rizzo z agencji literackiej Greene & Heaton. Dzięki niej ta książka

będzie podróżować po całym świecie. A może nawet jeszcze dalej. To wspaniała osoba.

Wszyscy pracownicy wydawnictwa Macmillan. Zarazili mnie swym entuzjazmem i poczuciem humoru. Bez Robina Harviego, Nicholasa Blake'a i Willa Atkinsa książka nigdy by się tak dobrze nie czytała, a ja nie byłbym z niej taki dumny.

Przed wręczeniem egzemplarza książki mojemu niegdysiejszemu promotorowi Stephenowi Hawkingowi chciałem się upewnić, że w jej tekście nie ma błędów. Kilku moich przyjaciół naukowców wspaniałomyślnie zgodziło się poświęcić swój cenny czas na korektę naukową. Oto oni: David Tong, profesor fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Cambridge w Anglii, James Sparks, profesor fizyki matematycznej na Uniwersytecie Oksfordzkim w Anglii, Andrew Tolley, adiunkt fizyki na Case Western Reserve University w Stanach Zjednoczonych, oraz Cristiano Germani, pracownik naukowy programu Ramón y Cajal w Institute of Cosmos Science na Uniwersytecie Barcelońskim w Hiszpanii. Ogromnie wam wszystkim dziękuję. Jestem waszym dłużnikiem.

Nie muszę chyba dodawać, że jeśli do książki mimo wszelkich starań wkradły się jakieś błędy, to winić za to należy tylko mnie.

Stephenie, mogąc wręczyć Ci egzemplarz tej książki, wykorzystam okazję, aby podkreślić, jakim zaszczytem jest dla mnie możliwość podziękowania Ci za to, że odkryłeś przede mną cuda fizyki teoretycznej. Wszystko, czego się dowiedziałem o naszej rzeczywistości, zaczęło się od Ciebie. To Ty nauczyłeś mnie, w jaki sposób myśleć o naszym pięknym świecie – świecie, który za sprawą ludzi takich jak Ty stał się jeszcze piękniejszy.

ŹRÓDŁA

Pisząc książkę taką jak *Wszechświat w twojej dłoni*, trudno wskazać, skąd dokładnie czerpało się informacje. Nie jestem autorem prezentowanych w książce teorii, starałem się tylko jak najlepiej je objaśnić.

Większość wiadomości pochodzi pewnie z podręczników dla słuchaczy ostatnich lat studiów wyższych oraz z dyskusji ze Stephenem Hawkingiem i innymi niezwykle błyskotliwymi profesorami.

Moja wiedza bez wątpienia opiera się także na wykładach i rozmowach, w których brałem udział, gdy przebywałem w Katedrze Matematyki Stosowanej i Fizyki Teoretycznej (Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics) na Uniwersytecie Cambridge w Wielkiej Brytanii czy kiedy odwiedzałem California Institute of Technology (Caltech) w Pasadenie oraz Kavli Institute of Theoretical Physics w Santa Barbara w Stanach Zjednoczonych, gdzie każdego roku jako doktorant Stephena Hawkinga spędzałem miesiąc razem z nim i z innymi jego podopiecznymi (Thomasem Hertogiem, Jamesem Sparksem i Oisínem Mac Conamhna).

Nie potrafię wymienić wszystkich artykułów naukowych, które w trakcie pisania *Wszechświata w twojej dłoni* przeczytałem, korzystając z elektronicznego archiwum arXiv. Jest ich bez liku.

Poniżej zamieszczam niekompletną listę pierwszorzędných podręczników, które często przeglądałem. Uwaga: to nie są przystępne książki popularnonaukowe. Ale są wspaniałe i chciałem je tutaj wymienić, ponieważ były dla mnie bardzo ważne.

- Ch.W. Misner, K.S. Thorne, J.A. Wheeler, *Gravitation*, W.H. Freeman, San Francisco 1973.
- R.M. Wald, *General Relativity*, University of Chicago Press, Chicago 1984.
- S.W. Hawking, G.R. Ellis, *The Large Scale Structure of Space-Time*, Cambridge University Press, Cambridge 1975.
- V.P. Frolov, I.D. Novikov, *Black Hole Physics*, Springer, Dordrecht 1998.
- S. Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes*, Oxford University Press, Oxford 1998.
- M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*, Perseus Books, Cambridge 1995.
- A. Zee, *Quantum Field Theory in a Nutshell*, Princeton University Press, Princeton 2010.
- N.D. Birrell, P.C.W. Davies, *Quantum Fields in Curved Space*, Cambridge University Press, Cambridge 1984.
- S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, t. 1–3, Cambridge University Press, Cambridge 1995.
- M.B. Green, J.H. Schwarz, E. Witten, *Superstring Theory*, t. 1–2, Cambridge University Press, Cambridge 1987.
- J. Polchinsky, *String Theory*, t. 1–2, Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- C. Rovelli, *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, Cambridge 2007.
- Euclidean Quantum Gravity*, red. S.W. Hawking, G.W. Gibbons, World Scientific, Singapore 1993.

Christophe Galfard uzyskał tytuł doktora fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Cambridge, gdzie w latach 2000–2006 jako student profesora Stephena Hawkinga prowadził badania naukowe nad tak zwanym paradoksem informacyjnym czarnej dziury.

Tytuł oryginału: *The Universe in Your Hand.*
A Journey Through Space, Time and Beyond

Copyright © Christophe Galfard 2015, 2016

Copyright © for the translation by Sławomir Paruszewski

Wydawca prowadzący: Olga Orzeł-Wargskog

Redaktor prowadzący: Agnieszka Urbanowska

Konsultacja merytoryczna: dr Tomasz Kazimierczak

Portret Alberta Einsteina: © Ruth Orkin / Hulton Archive / Getty Images

Korekta: Maria Armata / Wydawnictwo JAK,

Bogumiła Ziembła / Wydawnictwo JAK

Projekt okładki i ilustracja na okładce: Ignasi Font

Adaptacja okładki na potrzeby polskiego wydania: Eliza Luty

ISBN 978-83-7515-662-1



OTWARTE

www.otwarte.eu

Wydawnictwo Otwarte sp. z o.o., ul. Smolki 5/302, 30-513 Kraków

Plik opracował i przygotował Woblink

woblink

woblink.com