

MICHIO KAKU

FIZYKA RZECZY

NIEMOŻLIWYCH

***NAUKOWA WYPRAWA DO ŚWIATA FAZERÓW, PÓL SIŁOWYCH,
TELEPORTACJI I PODRÓŻY W CZASIE***

Przełożyli: Bogumił Bieniok i Ewa L. Łokas

Tytuł oryginału

Physics of the Impossible.

A Scientific Exploration into the World of Phasers,

Force Fields, Teleportation, and Time Travel

Mojej kochającej żonie Shizue oraz Michelle i Alyson

SPIS RZECZY

Wstęp i podziękowania

Podziękowania

Część I. Niemożliwości typu 1

Rozdział 1. Pola sił

Rozdział 2. Niewidzialność

Rozdział 3. Fazery i gwiazdy śmierci

Rozdział 4. Teleportacja

Rozdział 5. Telepatia

Rozdział 6. Psychokineza

Rozdział 7. Roboty

Rozdział 8. Istoty pozaziemskie i UFO

Rozdział 9. Statki kosmiczne

Rozdział 10. Antymateria i antywszechświaty

Część II. Niemożliwości typu II

Rozdział 11. Szybciej od światła

Rozdział 12. Podróże w czasie

Rozdział 13. Wszechświaty równoległe

Część III. Niemożliwości typu III

Rozdział 14 Perpetuum mobile

Rozdział 15. Prekognicja

Epilog. Przyszłość rzeczy niemożliwych

Przypisy

Bibliografia

Literatura w języku polskim

Literatura w języku angielskim

WSTĘP I PODZIĘKOWANIA

Jeżeli na samym początku idea nie wydaje się absurdalna,
nie ma dla niej żadnej nadziei.
- Albert Einstein

Czy będziemy kiedyś potrafili przechodzić przez ściany? Budować statki kosmiczne poruszające się szybciej od światła? Odczytywać myśli innych osób? Stać się niewidzialnymi? Przesuwać przedmioty siłą samych myśli? Przesyłać nasze ciała w mgnieniu oka w inny zakątek przestrzeni kosmicznej?

Pytania te fascynują mnie od dzieciństwa. Gdy dorastałem, pociągała mnie, jak wielu innych fizyków, możliwość podróży w czasie, istnienia broni strzelającej wiązkami energii, pól siłowych, wszechświatów równoległych i tym podobnych. Magia, fantazja i fantastyka naukowa razem tworzyły olbrzymi plac zabaw dla mojej wyobraźni. Zapoczątkowały trwające przez całe życie zauroczenie tym, co niemożliwe.

Pamiętam, jak oglądałem w telewizji powtórki serialu *Flash Gordon*. W każdą sobotę wpatrywałem się w telewizor, podziwiając przygody Flasha, dr. Zarkova i Dale Arden, zachwycając się otaczającym ich przepychem futurystycznej techniki: statkami kosmicznymi, tarczami niewidzialności, działami wystrzeliwującymi wiązki energii i unoszącymi się na niebie miastami. Nie przegapiłem ani jednego odcinka. Film ten otworzył przede mną całkowicie nowy świat. Uwielbiałem wyobrażać sobie, że kiedyś polecę rakieta na jakąś obcą planetę, żeby badać jej niezwykłą powierzchnię. Zostałem wciągnięty na orbitę tych fantastycznych wynalazków i wiedziałem, że moje przeznaczenie musi być w jakiś sposób związane z wszystkimi obiecywanymi w serialu cudami nauki.

Jak się okazuje, nie byłem w tym przeświadczeniu odosobniony. Wielu spełnionych naukowców zainteresowało się nauką dzięki fantastyce naukowej. Wielkiego astronoma Edwina Hubble'a zainspirowały dzieła Juliusza Verne'a. Właśnie pod wpływem lektury książek tego pisarza Hubble postanowił porzucić obiecującą karierę prawniczą i zająć się nauką. W efekcie został największym astronomem XX wieku. Wyobraźnia Carla Sagana, uznanego astronoma i autora wielu bestsellerów, rozbudziła się po przeczytaniu serii książek Edgara Rice'a Burroughsa o Johnie Carterze z Marsa. Sagan marzył, że któregoś dnia, tak jak John Carter, będzie badał piaski Marsa.

W dniu, w którym zmarł Albert Einstein, byłem jeszcze dzieckiem, ale pamiętam, jak ludzie mówili ściszym głosem o jego życiu i śmierci. Następnego dnia zobaczyłem w gazecie zdjęcie jego biurka, a na nim rękopis największego, nieukończonego dzieła Einsteina. Zastanowiło mnie, co mogło być tak doniosłe, że największy umysł naszych czasów nie potrafił tego dokończyć? W artykule przeczytałem, że Einstein zajmował się niemożliwym do spełnienia marzeniem, problemem tak trudnym, że żadna śmiertelna istota nie może sobie z nim poradzić. Potrzebowałem wielu lat, by odkryć, czego dotyczył ten rękopis: był on poświęcony wielkiej,

jednoczącej teorii wszystkiego. Marzenie uczonego - któremu poświęcił ostatnie trzy dziesięciolecia życia - pomogło mi lepiej spożytkować własną wyobraźnię. Zapragnąłem, choć w niewielkim stopniu, być częścią tego wysiłku mającego na celu dokończenie pracy Einsteina i zjednoczenie praw fizyki w jednej teorii.

Gdy dorastałem, powoli zaczęło do mnie docierać, że chociaż to Flash Gordon był bohaterem i zawsze podbijał serce pięknej dziewczyny, ciężar całego serialu spoczywał na uczonej. Bez dr. Zarkova nie byłoby statków kosmicznych, wypraw na Mongo ani ratowania Ziemi. Nie ujmując nic bohaterom, bez nauki nie ma fantastyki naukowej.

Uświadomiłem też sobie, że wszystkie te opowieści z naukowego punktu widzenia są niemożliwe, stanowią jedynie wytwór wyobraźni. Dorastanie wymaga porzucenia takich fantazji. W prawdziwym życiu, mówiono mi, trzeba pozbyć się mrzonek i zająć czymś praktycznym.

Ja jednak doszedłem do wniosku, że jeżeli dalej chcę się zajmować tym, co niemożliwe, muszę to robić na gruncie fizyki. Bez solidnego przygotowania z zaawansowanej fizyki do końca życia będę jedynie spekulował na temat futurystycznych rozwiązań technicznych, nie rozumiejąc, czy są one w ogóle możliwe. Zrozumiałem, że muszę się zagłębić w zaawansowaną matematykę i nauczyć fizyki teoretycznej. I tak też zrobiłem.

Kiedy w szkole średniej zorganizowano festiwal nauki, zbudowałem z tej okazji w garażu mamy rozbijacz atomów. Udałem się do zakładów Westinghouse'a i zebrałem 200 kilogramów ścinków stali transformatorowej. W czasie Bożego Narodzenia" na szkolnym boisku do footballu rozwinąłem 35 kilometrów miedzianego drutu. W efekcie zbudowałem akcelerator cząstek, betatron, o mocy 2,3 miliona elektronowoltów, który zużył 6 kilowatów mocy (całą moc dostępną w naszym domu) i wygenerował pole magnetyczne 20 tysięcy razy silniejsze od pola magnetycznego Ziemi. Moim celem było uzyskanie wiązki promieni gamma wystarczająco silnej do wytworzenia antymaterii.

Dzięki temu projektowi wziąłem udział w Narodowym Festiwalu Nauki i w końcu spełniłem swoje marzenie, zdobywając stypendium na studia w Uniwersytecie Harvarda, gdzie mogłem, tak jak sobie planowałem, zostać fizykiem teoretykiem i podążać śladami człowieka będącego dla mnie przykładem - Alberta Einsteina.

Teraz dostaję e-maile od autorów literatury fantastycznonaukowej i scenarzystów, w których proszą mnie, abym pomógł uatrakcyjnić ich opowieści, opisując granice praw fizyki.

"Niemożliwe" jest pojęciem względnym

Jako fizyk nauczyłem się, że określenie "niemożliwe" jest często względne. Przypominam sobie, jak kiedyś nauczycielka podeszła do mapy Ziemi i wskazała linie brzegowe Ameryki Południowej i Afryki. Czy to nie dziwny przypadek - powiedziała - że linie te pasują do siebie, niemal jak dwa kawałki układanki? Niektórzy uczeni - ciągnęła - wysuwają hipotezę, że być może były one kiedyś częścią jednego, olbrzymiego kontynentu. Ale to głupie. Żadna siła nie mogłaby rozsunąć dwóch wielkich kontynentów. Takie myślenie jest absurdalne - dodała na zakończenie.

Tego samego roku uczyliśmy się o dinozaurach. Czy to nie dziwne - mówiła nasza nauczycielka

- że dinozaury panowały niepodzielnie na Ziemi przez miliony lat, a potem jednego dnia wszystkie zniknęły? Nikt nie wie, dlaczego wyginęły. Niektórzy paleontolodzy przypuszczają, że może ich śmierć spowodował meteor z kosmosu, ale to niemożliwe, taki pomysł bardziej pasuje do fantastyki naukowej.

Dzisiaj wiemy, że na skutek tektoniki płyt kontynenty jednak się przemieszczają oraz że 65 milionów lat temu olbrzymi meteor o średnicy 10 kilometrów najprawdopodobniej spowodował wyginięcie dinozaurów i większej części istot żywych na Ziemi. W czasie mojego krótkiego życia wielokrotnie byłem świadkiem, jak coś, zdawałoby się niemożliwego, staje się uznanym faktem naukowym. Czy nie możemy więc przypuszczać, że kiedyś będziemy potrafili teleportować się z jednego miejsca w inne lub budować statki kosmiczne, którymi polecimy do gwiazd odległych o lata świetlne?

Dzisiejsi fizycy zwykle uważają takie wyczyny za coś niemożliwego. Ale czy mogą one stać się realne za kilkadziesiąt lat? Albo za dziesięć tysięcy lat, gdy nasza technika będzie jeszcze bardziej zaawansowana? A może za milion lat? Ujmijmy to jeszcze inaczej - gdybyśmy mogli w jakiś sposób spotkać cywilizację wyprzedzającą nas o milion lat, czy używana przez nich na co dzień technika byłaby dla nas magią? Pytanie to, jego sens, jest jedną z kluczowych kwestii przewijających się w tej książce: czy jedynie dlatego, że coś jest dzisiaj "niemożliwe", pozostanie niemożliwe przez kolejne wieki czy miliony lat?

Biorąc pod uwagę niezwykle postępy nauki w ostatnim stuleciu, w szczególności powstanie teorii kwantowej i ogólnej teorii względności, możemy oszacować w przybliżeniu, kiedy, jeżeli w ogóle, niektóre z tych fantastycznych rozwiązań technicznych mogą się ziścić. Wraz z pojawieniem się jeszcze bardziej zaawansowanych teorii, takich jak teoria strun, nawet pojęcia ocierające się o fantastykę naukową, jak podróże w czasie i wszechświaty równoległe, są obecnie na nowo analizowane przez fizyków. Pomyślmy o tych postępach techniki, które 150 lat temu uczeni określali jako "niemożliwe", a które teraz stały się częścią naszej codzienności. W 1863 roku Juliusz Verne napisał powieść *Paryż w XX wieku*. Książka ta, ukryta, leżała w zapomnieniu przez ponad wiek, aż do jej przypadkowego odkrycia przez prawnuka autora i wydania w 1994 roku. W powieści tej Verne wyobrażał sobie, jak mógłby wyglądać Paryż w roku 1960. Książka pełna jest opisów cudów techniki, które w XIX wieku bez wątpienia uważano za niemożliwe, między innymi faks, ogólnoswiatową sieć komunikacyjną, szklane drapacze chmur, napędzane benzyną pojazdy i pociągi szybkie, poruszające się po położonych nad ziemią torach.

Nie powinno nas dziwić, że Verne potrafił przewidzieć to wszystko z niezwykłą dokładnością, ponieważ zewsząd otaczał go świat nauki i ciągle wypytywał uczonych o informacje. Głęboki szacunek dla podstaw nauki pozwolił mu dojść do tak zadziwiających przewidywań.

Niestety, niektórzy z największych uczonych XIX wieku przyjęli przeciwną postawę i oznajmili, że pewne rozwiązania techniczne są całkowicie niemożliwe. Lord Kelvin, prawdopodobnie najznamienitszy fizyk epoki wiktoriańskiej (pochowany w Opactwie Westminsterskim obok Isaaca Newtona), stwierdził, że niemożliwością jest istnienie urządzeń latających "cięższych od

powietrza", takich jak samoloty. Uważał, że promienie Rontgena są oszustwem, a radio nie ma przyszłości. Lord Rutherford, który odkrył jądro atomowe, odrzucił możliwość zbudowania bomby atomowej, nazywając takie rozważania "bredniami". Chemicy w XIX wieku stwierdzili, że poszukiwanie kamienia filozoficznego, fantastycznej substancji zamieniającej ołów w złoto, to naukowa ślepa uliczka. Dziewiętnastowieczna chemia opierała się na założeniu niezmienności pierwiastków, takich jak ołów. A jednak posługując się dzisiejszymi rozbijaczami atomów, możemy, w zasadzie, zmienić atomy ołowiu w złoto. Wyobraźmy sobie, jak fantastyczne wydawałyby się na początku XX wieku używane przez nas obecnie telewizory, komputery i Internet.

Przechodząc do trochę bliższych nam czasów, zauważmy, że również czarne dziury uważane kiedyś były za fantastykę naukową. Sam Einstein napisał w 1939 roku artykuł, w którym "dowodził", że czarne dziury nie mogą powstawać. A jednak Kosmiczny Teleskop Hubble'a i rentgenowski teleskop Chandra odkryły już w przestrzeni kosmicznej tysiące czarnych dziur.

Powodem, dla którego te rozwiązania techniczne uznano za "niemożliwe", jest to, że w XIX i na początku XX wieku nie znano podstawowych praw fizyki i nauki w ogóle. Jeżeli uświadomimy sobie, jak wielkie w tamtych czasach były luki w rozumieniu nauki, szczególnie na poziomie atomowym, nie powinno nas dziwić, że takie postępy uznawano za niemożliwe.

Badanie rzeczy niemożliwych

Na ironię zakrawa fakt, że poważne badania rzeczy niemożliwych często pozwalały odkryć bogate i całkowicie nieoczekiwane obszary nauki. Na przykład prowadzone przez całe stulecia bezowocne poszukiwania perpetuum mobile doprowadziły fizyków do wniosku, że takiego urządzenia nie można skonstruować, co z kolei zaowocowało sformułowaniem zasady zachowania energii i trzech praw termodynamiki. W ten sposób bezskuteczne próby zbudowania perpetuum mobile pozwoliły rozwinąć całkowicie nową gałąź termodynamiki, która przyczyniła się do powstania silnika parowego, narodzin epoki maszyn i nowoczesnego społeczeństwa przemysłowego.

Pod koniec XIX wieku uczeni zdecydowali, że to "niemożliwe", żeby Ziemia liczyła sobie miliardy lat. Lord Kelvin stwierdził stanowczo, że roztopiona Ziemia ochłodziłaby się w ciągu 20-40 milionów lat, co stoi w sprzeczności z twierdzeniami geologów i darwinistów, utrzymujących, iż Ziemia może mieć miliardy lat. Ostatecznie jednak udowodniono, że to możliwe, dzięki odkryciu przez Marię Skłodowską-Curie i innych uczonych siły jądrowej i wykazaniu, że jądro Ziemi, ogrzewane przez rozpad radioaktywny, rzeczywiście mogłoby utrzymywać się w stanie ciekłym przez miliardy lat.

Ignorując rzeczy niemożliwe, robimy to na własne ryzyko. W latach dwudziestych i trzydziestych XX wieku Robert Goddard, twórca współczesnej techniki raketowej, spotkał się ze zdecydowaną krytyką ze strony ludzi, którzy twierdzili, że rakiety nigdy nie będą mogły latać w przestrzeni kosmicznej. Prześmiewczo nazywali jego poszukiwania "wariactwem Goddarda". W roku 1921 redaktorzy "New York Timesa" tak wyśmiewali pracę dr. Goddarda: "Profesor Goddard nie rozumie związku pomiędzy akcją i reakcją, nie uświadamia sobie konieczności dysponowania czymś

lepszym niż próżnia, co mogłoby spowodować reakcję. Wydaje się, że brakuje mu podstawowej wiedzy, którą codziennie wbija się do głowy uczniom szkół średnich". Rakiety nie mogą latać w przestrzeni kosmicznej, twierdzili oburzeni redaktorzy, ponieważ nie ma tam powietrza, od którego można się odpychać. Niestety, przywódca pewnego kraju poważnie potraktował wnioski wypływające z "niemożliwych" rakiet Goddarda - był nim Adolf Hitler. W czasie II wojny światowej niemiecki ostrzał niezwykle zaawansowanymi technicznie raketami V-2 siał w Londynie śmierć i zniszczenie, niemal doprowadzając do jego kapitulacji.

Badając rzeczy niemożliwe, możemy również zmienić bieg historii świata. W latach trzydziestych XX wieku powszechnie uważano, a pogląd ten podzielał nawet Einstein, że bomba atomowa jest "niemożliwa". Fizycy wiedzieli, że głęboko we wnętrzu jądra atomowego, zgodnie z równaniem Einsteina $E = mc^2$, uwięziona jest olbrzymia ilość energii, ale uważali, iż energia wyzwolona z jednego jądra atomowego jest tak mała, że nie warto jej nawet rozważać. Jednak fizyk atomowy Leó Szilard przypomniał sobie powieść H.G. Wellsa z 1914 roku, *The World Set Free* (Uwolniony świat), w której autor przewiduje powstanie bomby atomowej. W książce znajduje się stwierdzenie, że tajemnica bomby atomowej zostanie rozwiązana przez pewnego fizyka w 1933 roku. Szilard natknął się przypadkiem na tę książkę w roku 1932. Zainspirowany powieścią, w 1933 roku, dokładnie tak jak przepowiedział Wells kilkadziesiąt lat wcześniej, wpadł na pomysł wzmocnienia siły pojedynczego atomu poprzez wywołanie reakcji łańcuchowej, w wyniku której energia rozszczepienia pojedynczego jądra uranu może ulec wzmocnieniu o czynnik wielu bilionów. Szilard doprowadził wtedy do wykonania serii kluczowych eksperymentów i przeprowadzenia potajemnych negocjacji między Einsteinem a prezydentem Franklinem Rooseveltem, które w ostatecznym rozrachunku doprowadziły do uruchomienia "Projektu Manhattan" i zbudowania bomby atomowej.

Ciągle na nowo przekonujemy się, że badanie rzeczy niemożliwych otwiera przed nami zupełnie nowe perspektywy, przesuwa granice fizyki i chemii, i zmusza uczonych do zastanowienia się na nowo, co rozumieją przez słowo niemożliwe. Sir William Osler powiedział kiedyś: "Filozofie jednej epoki stają się absurdami kolejnej; a niedorzeczności dnia wczorajszego stają się mądrościami jutra".

Wielu fizyków podziela słynne powiedzenie T.H. White'a, który w *Był sobie raz na zawsze król* napisał: "Wszystko, co nie jest zabronione, jest obowiązkowe!"¹. W fizyce ciągle znajdujemy dowody na potwierdzenie tej tezy. Jeżeli nie istnieje prawo fizyki wyraźnie zakazujące istnienia jakiegoś nowego zjawiska, w końcu odkrywamy, że ono występuje. (Zachodziło to kilkakrotnie w trakcie poszukiwań nowych cząstek subatomowych. Badając granice tego, co zakazane, fizycy, często nieoczekiwanie, odkrywali nowe prawa fizyki)². Wnioskiem wypływającym ze stwierdzenia

¹ T.H. White, *Był sobie raz na zawsze król: Miecz dla króla*, przeł. J. Kozak, Świat Książki, Warszawa 1999, s. 155 (przyt. tłum.).

² Dzieje się tak za sprawą teorii kwantowej. Gdy do jakiejś teorii dodaje się wszystkie możliwe poprawki kwantowe (w żmudnym procesie zwanym renormalizacją), okazuje się, że zjawiska, które wcześniej w klasycznym ujęciu były niemożliwe, ponownie pojawiają się w obliczeniach. Oznacza to, że jeżeli tylko coś

T.H. White'a może być: "Wszystko, co nie jest niemożliwe, jest obowiązkowe!".

Kosmolog Stephen Hawking próbował na przykład udowodnić, że podróże w czasie są niemożliwe, starając się odkryć nowe prawo fizyki, nazwane przez niego "założeniem o ochronie chronologii", które by ich zakazywało. Niestety, mimo wielu lat ciężkiej pracy nie udało mu się udowodnić tej zasady. W rzeczywistości stało się coś przeciwnego, fizycy dowiedli, że prawo zabraniające podróży w czasie jest poza zasięgiem naszej obecnej matematyki. Ponieważ nie istnieje aktualnie prawo fizyki zabraniające istnienia wehikułów czasu, fizycy muszą traktować taką możliwość bardzo poważnie.

Celem tej książki jest zastanowienie się, które rozwiązania techniczne uważane obecnie za "niemożliwe" mają szansę stać się za kilkadziesiąt, kilkaset lat częścią naszej codzienności.

Już teraz jedno z "niemożliwych" rozwiązań technicznych okazuje się możliwe: chodzi o zjawisko teleportacji (przynajmniej na poziomie atomowym). Jeszcze zaledwie kilka lat temu fizycy stwierdziliby, że przesyłanie obiektu z jednego miejsca w inne stanowi pogwałcenie praw fizyki kwantowej. Scenarzyści serialu telewizyjnego *Star Trek* byli tak nękanymi krytycznymi uwagami fizyków, że do swoich urządzeń teleportujących dodali "kompensatory Heisenberga", aby poradzić sobie z tym problemem. Dzisiaj, dzięki niedawno osiągniętemu przełomowi, fizycy mogą teleportować atomy na drugi koniec pomieszczenia lub fotony na drugi brzeg pięknego modrego Dunaju.

Przewidywanie przyszłości

Wysuwanie hipotez na temat przyszłości jest zawsze trochę ryzykowne, szczególnie jeżeli dotyczą one czasów odległych o setki czy tysiące lat. Fizyk Niels Bohr lubił powtarzać: "Formułowanie przewidywań jest bardzo trudne. Zwłaszcza tych dotyczących przyszłości". Istnieje jednak pewna zasadnicza różnica między czasami Juliusza Verne'a a współczesnymi. Dzisiaj w zasadzie rozumiemy podstawowe prawa fizyki. Obecnie fizycy rozumieją podstawowe prawa w imponującym zakresie 43 rzędów wielkości, od wnętrza protonu po rozszerzający się Wszechświat. W efekcie, mogą określić z dużą pewnością, jak w ogólnych zarysach może wyglądać technika przyszłości, a także lepiej odróżnić te pomysły, które są jedynie nieprawdopodobne, od tych, które są zupełnie niemożliwe.

W tej książce dzielę zatem rzeczy "niemożliwe" na trzy kategorie.

Pierwszą grupę nazywam *Niemożliwościami typu I*. Są to rozwiązania techniczne obecnie niemożliwe do osiągnięcia, ale niebędące w sprzeczności z żadnymi znanymi prawami fizyki. Być może więc uda się je zrealizować w jakiejś zmodyfikowanej postaci jeszcze w tym wieku albo w następnym. W kategorii tej mieszczą się: teleportacja, silniki na antimaterię, pewne odmiany telepatii, psychokineza i niewidzialność.

Druga grupa nosi nazwę *Niemożliwości typu II*. Są to rozwiązania techniczne leżące na granicy naszego rozumienia świata fizycznego. Jeżeli w ogóle są możliwe, może uda się je

nie jest jednoznacznie zabronione (na przykład przez prawo zachowania), pojawia się w teorii po

zrealizować za tysiące albo miliony lat. Zaliczają się do nich wehikuły czasu, możliwość podróży hiperprzestrzennych i przemieszczanie się przez tunele czasoprzestrzenne.

Ostatnia grupa to *Niemożliwości typu III*. Są to rozwiązania techniczne będące w sprzeczności ze znanymi prawami fizyki. To zadziwiające, ale bardzo niewiele rozwiązań można zaliczyć do tej kategorii. Jeżeli jednak okaże się, że ich realizacja jest możliwa, będzie to wymagało dokonania głębokich zmian w naszym rozumieniu fizyki.

W moim odczuciu taki podział jest ważny, ponieważ uczeni odrzucają tak wiele rozwiązań technicznych pojawiających się w fantastyce naukowej, twierdząc, że są zupełnie niemożliwe, podczas gdy w rzeczywistości chodzi im o to, że są one niemożliwe do zrealizowania przez prymitywne cywilizacje, takie jak nasza. Na przykład zwykło się uważać, że odwiedziny obcych istot nie są możliwe z powodu olbrzymich odległości dzielących od siebie gwiazdy. Ale chociaż podróże międzygwiazdne bez wątplenia są poza zasięgiem możliwości technicznych naszej cywilizacji, w przypadku cywilizacji wyprzedzających nas w rozwoju o tysiące lub miliony lat mogą one być realne. Ważna jest więc odpowiednia klasyfikacja takich "niemożliwości". Rozwiązania techniczne niemożliwe do osiągnięcia przez naszą obecną cywilizację niekoniecznie muszą być niemożliwe dla wszelkich innych rodzajów cywilizacji. Wypowiadając się na temat tego, co jest możliwe, a co nie, musimy brać pod uwagę poziom techniki, jaki osiągniemy za tysiące, a nawet miliony lat.

Carl Sagan napisał kiedyś: "Co dla cywilizacji oznacza osiągnięcie wieku miliona lat? My od kilkudziesięciu lat dysponujemy radioteleskopami i statkami kosmicznymi; nasza cywilizacja techniczna liczy sobie kilkaset lat [...] zaawansowana cywilizacja rozwijająca się przez miliony lat wyprzedza nas tak, jak my wyprzedzamy małpiatki czy makaki".

We własnych pracach badawczych skupiam się na próbie dokończenia realizacji marzenia Einsteina o "teorii wszystkiego". Praca nad teorią ostateczną jest dla mnie niezwykle ekscytująca - teoria ta może jednoznacznie rozwiązać niektóre z najtrudniejszych, kwestii współczesnej nauki dotyczących niemożliwego", takich jak pytania o to, czy możliwe są podróże w czasie, co znajduje się w środku czarnej dziury lub co się wydarzyło przed Wielkim Wybuchem. Wciąż oddaję się marzeniom, rozmyślam o moim trwającym całe życie zauroczeniu tym, co niemożliwe i zastanawiam się, czy któreś z tych niemożliwych rzeczy pewnego dnia staną się częścią naszej codzienności.

Podziękowania

Informacje zawarte w tej książce dotyczą wielu gałęzi i dziedzin nauki, a także prac wielu wybitnych uczonych. Następujące osoby poświęciły swój czas na długie wywiady, konsultacje i ciekawe, inspirujące rozmowy - jestem im za to niewymownie wdzięczny:

Leon Lederman, laureat Nagrody Nobla, Illinois Institute of Technology

Murray Gell-Mann, laureat Nagrody Nobla, Santa Fe Institute i Cal Tech

Henry Kendall, laureat Nagrody Nobla, MIT
Steven Weinberg, laureat Nagrody Nobla, University of Texas w Austin
David Gross, laureat Nagrody Nobla, Kavli Institute for Theoretical Physics
Frank Wilczek, laureat Nagrody Nobla, MIT
Joseph Rotblat, laureat Nagrody Nobla, St. Bartholomew's Hospital
Walter Gilbert, laureat Nagrody Nobla, Harvard University
Gerald Edelman, laureat Nagrody Nobla, Scripps Research Institute
Peter Doherty, laureat Nagrody Nobla, St. Jude Children's Research Hospital
Jared Diamond, zdobywca Nagrody Pulitzera, UCLA
Stan Lee, założyciel wydawnictwa Marvel Comics i twórca Spidermana
Brian Greene, Columbia University, autor książki *Piękno Wszechświata*
Lisa Randall, Harvard University, autorka książki *Warped Passages*
Lawrence Krauss, Case Western University, autor książki *Fizyka podróży międzygwiazdnych*
J. Richard Gott III, Princeton University, autor książki *Time Travel in Einstein's Universe*
Alan Guth, fizyk, MIT, autor książki *Wszechświat inflacyjny*
John Barrow, fizyk, Cambridge University, autor książki *Kres możliwości?*
Paul Davies, fizyk, autor książki *Superforce*
Leonard Susskind, fizyk, Stanford University
Joseph Lykken, fizyk, Fermi National Laboratory
Marvin Minsky, MIT, autor książki *The Society of Minds*
Ray Kurzweil, wynalazca, autor książki *The Age of Spiritual Machines*
Rodney Brooks, dyrektor Artificial Intelligence Laboratory w MIT
Hans Moravec, autor książki *Robot*
Ken Crowell, astronom, autor książki *Magnificent Universe*
Don Goldsmith, astronom, autor książki *Runaway Universe*
Neil de Grasse Tyson, dyrektor Hayden Planetarium, Nowy Jork
Robert Kirshner, astronom, Harvard University
Fulvia Melia, astronom, University of Arizona
Sir Martin Rees, Cambridge University, autor książki *Przed początkiem*
Michael Brown, astronom, Cal Tech
Paul Gilster, autor książki *Centauri Dreams*
Michael Memonick, redaktor artykułów naukowych w czasopiśmie "Time"
Timothy Ferris, University of California, autor książki *Corning of Age in the Milky Way*
Ted Taylor, projektant amerykańskich głowic jądrowych
Freeman Dyson, Institute for Advanced Study, Princeton
John Horgan, Stevens Institute of Technology, autor książki *Koniec nauki*
Carl Sagan, Cornell University, autor książki *Kosmos*
Ann Druyan, wdowa po Carlu Saganie, Cosmos Studios

Peter Schwarz, futurolog, założyciel Global Business Network
Alvin Toffler, futurolog, autor książki *The Third Wave*
David Goodstein, zastępca rektora Cal Tech
Seth Lloyd, MIT, autor książki *Programming the Universe*
Fred Watson, astronom, autor książki *Star Gazer*
Simon Singh, autor książki *Wielki Wybuch*
Seth Shostak, SETI Institute
George Johnson, dziennikarz zajmujący się nauką w "New York Timesie"
Jeffrey Hoffman, MIT, astronauta NASA
Tom Jones, astronauta NASA
Alan Lightman, MIT, autor książki *Sny Einsteina*
Robert Zubrin, założyciel Mars Society
Donna Shirley, członek programu NASA Mars
John Pike, GlobalSecurity.org
Paul Saffo, futurolog, Institute of the Future
Daniel Werthheimer, SETI@home, University of California w Berkeley
Robert Zimmerman, autor książki *Leaving Earth*
Marcia Bartusiak, autorka książki *Einstein 's Unfinished Symphony*
Michael H. Salamon, członek programu NASA Beyond Einstein
Geoff Andersen, U.S. Air Force Academy, autor książki *The Telescope*

Chciałbym również podziękować mojemu agentowi Stuartowi Krichewsky'emu, który był u mego boku przez wszystkie te lata, doglądając moich książek, a także wydawcy Rogerowi Schollowi, którego pewna dłoń, zdrowy rozsądek i doświadczenie wydawnicze ukształtowało tak wiele książek. Pragnę również podziękować moim kolegom w City College w Nowym Jorku i w Graduate Center of City University w Nowym Jorku, szczególnie VP. Nairovi i Danowi Greenbergowi, którzy wspólnie poświęcili swój czas na dyskusje.

Część I

NIEMOŻLIWOŚCI TYPU I

Rozdział 1

POLA SIŁ

I Gdy wybitny, ale starszy już uczony stwierdza, że coś jest możliwe, niemal na pewno ma rację. Gdy mówi, że coś jest niemożliwe, najprawdopodobniej się myli.

II Jedyne sposoby, by odkryć granice możliwości, to przekroczyć je i sięgnąć po niemożliwe.

III. Każde wystarczająco zaawansowane rozwiązanie techniczne jest nieodróżnialne od magii.

Trzy prawa Arthura C. Clarke'a

"Podnieść osłony!".

W wielu odcinkach serialu *Star Trek* tak właśnie brzmi pierwszy rozkaz kapitana Kirka wykrzykiwany do załogi w celu podniesienia pól siłowych chroniących statek "Enterprise" przed ogniem wroga.

Pola siłowe odgrywają tak kluczową rolę w serialu, że przebieg bitwy można ocenić na podstawie ich stanu. Zawsze, gdy pola siłowe tracą moc, w kadłub okrętu "Enterprise" trafia coraz więcej niszczycielskich wybuchów i ostateczna kapitulacja staje się nieunikniona.

Czymże więc jest pole siłowe? W fantastyce naukowej odpowiedź jest zwodniczo prosta: cienką, niewidoczną, choć nieprzepuszczalną barierą, odbijającą zarówno promienie laserowe, jak i rakiety. Na pierwszy rzut oka pole siłowe wygląda tak prosto, że jego wytworzenie i wykorzystanie w roli tarczy bojowej wydaje się kwestią niedalekiej przyszłości. Można by się spodziewać, że któregoś dnia jakiś przedsiębiorczy wynalazca ogłosi odkrycie obronnego pola siłowego. Jednak prawda jest znacznie bardziej złożona.

Tak samo jak żarówka Edisona zrewolucjonizowała współczesną cywilizację, pole siłowe mogłoby dogłębnie wpłynąć na każdy aspekt naszego życia. Armia mogłaby dzięki niemu stać się niezwyciężona, dysponując nieprzenikalnymi tarczami chroniącymi przed pociskami i kulami wroga. Mosty, autostrady i drogi można by teoretycznie budować po prostu za naciśnięciem guzika. W jednej chwili na pustyni mogłyby wyrastać całe miasta z wieżowcami zbudowanymi wyłącznie z pól siłowych. Rozciągnięte nad miastami pola siłowe pozwoliłyby ich mieszkańcom dowolnie neutralizować wpływ zjawisk atmosferycznych - wichur, śnieżyc, trąb powietrznych. Można by budować miasta pod powierzchnią oceanu, pod bezpiecznym baldachimem pól siłowych. Pola siłowe całkowicie mogłyby zastąpić szkło, stal i zaprawę murarską.

Może to dziwne, ale pole siłowe jest chyba jednym z najtrudniejszych do wytworzenia w laboratorium urządzeń. Niektórzy fizycy uważają nawet, że jego wytworzenie może w ogóle nie być możliwe bez zmiany niektórych z opisanych właściwości.

Michael Faraday

Pojęcie pola sił wywodzi się z prac wielkiego dziewiętnastowiecznego brytyjskiego uczonego Michaela Faradaya.

Faraday urodził się w rodzinie robotniczej (jego ojciec był kowalem) i wiódł na początku XIX wieku skromne życie ucznia introligatora. Młodego Faradaya fascynowały olbrzymie postępy w odkrywaniu tajemniczych właściwości dwóch nowych sił: elektryczności i magnetyzmu. Czytał wszystko, co napisano na te tematy i uczęszczał na wykłady profesora Humphreya Davy'ego w Royal Institution w Londynie.

Pewnego dnia profesor Davy dotkliwie poranił sobie oczy w wypadku z substancjami chemicznymi i zatrudnił Faradaya jako swojego sekretarza. Faraday powoli zdobywał zaufanie uczonych w Royal Institution i w końcu pozwolono mu przeprowadzać własne poważne eksperymenty, chociaż często go lekceważono. Z upływem lat profesor Davy coraz bardziej zazdrościł inteligencji młodemu asystentowi, którego sława tak rosła w kręgach eksperymentatorów, że w końcu przyćmiła jego własne dokonania. Po śmierci Davy'ego w 1829 roku Faraday mógł już bez przeszkód kontynuować prace, dokonując wielu zadziwiających przełomów, dzięki którym powstały generatory zdolne zasilać całe miasta i zmienił się bieg rozwoju światowej cywilizacji.

Kluczem do największych odkryć Faradaya były jego pola sił. Jeżeli w pobliżu magnesu umieścimy żelazne opiłki, zobaczymy, że ułożą się one w przypominający pajęczynę wzór wypełniający całą przestrzeń. To są właśnie linie sił Faradaya, stanowiące graficzny obraz tego, jak pola elektryczności i magnetyzmu wypełniają przestrzeń. Jeżeli na przykład narysujemy pole magnetyczne Ziemi, przekonamy się, że linie wyłaniają się z obszaru bieguna północnego, zakrzywiają się wokół Ziemi i kończą w okolicach bieguna południowego. Podobnie, gdybyśmy narysowali linie pola elektrycznego powstającej w trakcie burzy błyskawicy, zobaczylibyśmy, że linie sił koncentrują się wokół jej końca. Dla Faradaya pusta przestrzeń wcale nie była pusta, lecz wypełniona liniami sił mogącymi wprawić w ruch odległe obiekty. (Z powodu biedy w młodości, Faraday był matematycznym analfabetą i dlatego jego notatniki nie są wypełnione równaniami, lecz odręcznymi diagramami takich linii sił. Może się to wydać absurdalne, ale właśnie dzięki brakowi wykształcenia matematycznego Faraday zaczął tworzyć te piękne diagramy linii sił, które teraz można odnaleźć w każdym podręczniku fizyki. W nauce obraz oddający fizyczną naturę zjawiska jest często ważniejszy niż matematyka użyta do jego opisu).

Historycy snują domysły, co naprowadziło Faradaya na trop pól sił, jednego z najważniejszych pojęciowych odkryć w całej nauce. Tak naprawdę *całą współczesną fizykę* zapisuje się w języku pól Faradaya. Kluczowy przełom związany z polami sił, który na zawsze zmienił naszą cywilizację, nastąpił w 1831 roku. Pewnego dnia, przesuwając zwykły magnes nad zwojem drutu Faraday zauważył, że w ten sposób, bez dotykania przewodu, udało mu się wytworzyć w nim prąd elektryczny. Oznaczało to, że niewidzialne pole magnesu potrafiło przepychać elektrony przez puste obszary w przewodzie, wywołując w nim przepływ prądu.

Okazało się, że pola sił Faradaya, które dotychczas uważano za bezużyteczne, bezsensowne bazygroły, są rzeczywistymi, istniejącymi naprawdę siłami, zdolnymi przesuwać obiekty i wytwarzać moc. Obecnie światło, przy którym czytasz tę stronę, prawdopodobnie powstaje dzięki temu, związanemu z elektromagnetyzmem, odkryciu Faradaya. Wirujący magnes wytwarza pole sił, które popycha elektrony w przewodzie, zmuszając je do poruszania się w postaci prądu elektrycznego. Ten prąd elektryczny w przewodzie można następnie wykorzystać do zapalenia żarówki. Tę samą zasadę stosuje się do wytworzenia elektryczności zasilającej wszystkie miasta świata. Na przykład przepływająca przez zaporę woda obraca wielki magnes w turbinie, co powoduje popychanie elektronów w przewodzie i powstanie prądu elektrycznego, który następnie jest przesyłany liniami wysokiego napięcia do naszych mieszkań.

Innymi słowy, pola sił Michaela Faradaya są siłami napędzającymi współczesną cywilizację, od elektrycznych buldożerów po dzisiejsze komputery, Internet i iPody.

Pola sił Faradaya inspirują fizyków już od półtora wieku. Einstein tak uległ ich wpływowi, że zapisał swoją teorię grawitacji, posługując się właśnie polami sił. Również dla mnie prace Faradaya były inspiracją. Wiele lat temu udało mi się zapisać teorię strun w postaci pól sił Faradaya i zapoczątkować tym samym strunową teorię pola. W fizyce, gdy ktoś mówi: "jego myśli są niczym linie sił", jest to wielki komplement.

Cztery siły

Jednym z największych osiągnięć fizyki ostatnich dwóch stuleci jest wyodrębnienie i opisanie czterech sił rządzących Wszechświatem. Wszystkie je można opisać, posługując się wprowadzonym przez Faradaya językiem pól.

Niestety, żadne z nich nie ma własności nawet zbliżonych do spotykanych w fantastyce naukowej opisów pól siłowych. Oto te siły:

1. *Grawitacja*, nierzucająca się w oczy siła utrzymująca nasze stopy pewnie na ziemi, zapobiegająca rozpadowi naszej planety i gwiazd, utrzymująca w całości układy planetarne i galaktyki. Bez grawitacji, pod wpływem ruchu obrotowego Ziemi, zostalibyśmy wyrzuceni z jej powierzchni w przestrzeń kosmiczną z prędkością 1600 kilometrów na godzinę. Problem w tym, że grawitacja ma własności dokładnie przeciwne do pól siłowych z fantastyki naukowej. Grawitacja przyciąga, a nie odpycha, jest niezwykle słaba w porównaniu z innymi siłami i działa na olbrzymie, astronomiczne odległości. Innymi słowy, jest niemal przeciwieństwem płaskiej, cienkiej, nieprzenikalnej bariery, o której czytamy w książkach fantastycznonaukowych i którą oglądamy w filmach. Na przykład, aby przyciągnąć piórko do podłogi, potrzeba całej olbrzymiej Ziemi, a my możemy przeciwdziałać jej grawitacji, podnosząc to piórko jednym palcem. Nie wysilając się zbytnio, możemy przezwyciężyć grawitację całej planety ważącej około sześciu bilionów bilionów kilogramów.

2. *Elektromagnetyzm*, siła rozświetlająca nasze miasta. Lasery, radio, telewizja, najnowsze urządzenia elektroniczne, komputery, Internet, elektryczność, magnetyzm - wszystko to są konsekwencje istnienia siły elektromagnetycznej. Jest to chyba najbardziej użyteczna siła, jaka

kiedykolwiek została zaprzęgnięta w służbę człowieka. W przeciwieństwie do grawitacji, może ona zarówno przyciągać, jak i odpychać. Istnieje jednak kilka powodów, dla których nie nadaje się do wytwarzania pól siłowych. Po pierwsze, łatwo ją zneutralizować. Plastik i inne izolatory mogą na przykład z łatwością przechodzić przez potężne pola elektryczne czy magnetyczne. Kawałek plastiku rzucony w pole magnetyczne przeleci przez nie na wylot. Po drugie, elektromagnetyzm działa na duże odległości i nie można w żaden prosty sposób ograniczyć jego działania do płaszczyzny. Prawa siły elektromagnetycznej opisują równania Jamesa Clerka Maxwella i nie wydaje się, by pola siłowe mogły być jednym z ich rozwiązań.

3 i 4. *Słabe i silne oddziaływania jądrowe.* Oddziaływanie słabe jest siłą rozpadu radioaktywnego. Jest to siła ogrzewająca radioaktywne wnętrza Ziemi. Jest to również siła odpowiedzialna za wybuchy wulkanów, trzęsienia ziemi i dryf kontynentów. Oddziaływanie silne utrzymuje w całości jądro atomu. Energia Słońca i gwiazd ma swoje źródło w oddziaływaniu jądrowym, odpowiedzialnym za rozświetlenie Wszechświata. Problem w tym, że oddziaływanie jądrowe ma krótki zasięg, działa głównie na odległość jądra atomowego. Ponieważ jest ono tak bardzo związane z własnościami jąder atomowych, niezwykle trudno się nim posługiwać. Obecnie jedyny sposób, w jaki potrafimy użyć tej siły, sprowadza się do rozbicia na kawałki cząstek subatomowych w rozbijaczach atomów lub do zdetonowania bomby atomowej.

Chociaż pola siłowe wykorzystywane w fantastyce naukowej nie są być może zgodne ze znanymi prawami fizyki, istnieją wciąż pewne luki, które mogą umożliwić ich wytworzenie. Po pierwsze, może istnieć jakaś piąta siła, wciąż niewykryta w żadnym laboratorium. Siła taka mogłaby na przykład działać tylko na odległościach od kilku centymetrów do metrów, a nie w olbrzymich skalach astronomicznych. (Jednak pierwsze próby wykrycia takiej piątej siły zakończyły się niepowodzeniem).

Po drugie, być może uda się wykorzystać plazmę do uzyskania niektórych z właściwości pól siłowych. Plazma jest czwartym stanem materii. Ciała stałe, ciecze i gazy stanowią trzy znane nam stany materii, ale najpowszechniej występującą postacią materii we Wszechświecie jest plazma, gaz zjonizowanych atomów. Ponieważ atomy tworzące plazmę są rozbite na części, czyli elektrony są oderwane od jąder atomowych, atomy takie mają ładunek elektryczny i można nimi łatwo manipulować za pomocą pól elektrycznych i magnetycznych.

Plazma to najobficiej występująca widzialna postać materii we Wszechświecie, tworząca Słońce, gwiazdy i gaz międzygwiazdowy. Ten stan materii nie jest nam bliski, gdyż bardzo rzadko można go spotkać na Ziemi, choć obserwujemy go, patrząc na błyskawice, Słońce i telewizory plazmowe.

Okna plazmowe

Jak stwierdziliśmy wyżej, jeżeli ogrzejemy gaz do odpowiednio wysokiej temperatury, zamieniając go w plazmę, będzie można go kształtować za pomocą pól elektrycznych i magnetycznych. Można mu na przykład nadać kształt płaskiej karty lub okna. Co więcej, takie okno plazmowe można wykorzystać do oddzielenia próżni od normalnego powietrza. W zasadzie

mogłoby ono zapobiegać wyciekaniu powietrza ze statku kosmicznego, tworząc tym samym wygodną, przezroczystą przegrodę między przestrzenią kosmiczną a wnętrzem statku.

W serialu *Star Trek* takie pole siłowe stosuje się do zabezpieczenia przed próżnią przestrzeni kosmicznej hangaru wahadłowca, w którym mieści się niewielki statek wahadłowy. Jest to sprytny sposób na zaoszczędzenie pieniędzy na dekoracjach, a przy okazji urządzenie takie jest możliwe do skonstruowania.

Okno plazmowe zostało wynalezione przez fizyka Ady'ego Herschcovitcha w 1995 roku w Brookhaven National Laboratory na Long Island. Stworzył je, by poradzić sobie z problemem spajania ze sobą metali za pomocą wiązki elektronów. Spawacze posługują się palnikiem acetylenowym do wytworzenia płomienia gorącego gazu, którym nadtapiają metal i łączą ze sobą metalowe części. Wiązka elektronów może łączyć metale szybciej, bez zanieczyszczeń i znacznie taniej niż przy użyciu tradycyjnych sposobów. Problem ze spawaniem wiązką elektronów polega jednak na tym, że musi być ono wykonywane w próżni. Wymaganie to jest dosyć niewygodne, ponieważ może oznaczać konieczność zbudowania komory próżniowej wielkości całego pokoju.

Doktor Herschcovitch skonstruował okno plazmowe, by rozwiązać ten problem. Okno plazmowe o wysokości 90 i głębokości nieprzekraczającej 30 centymetrów ogrzewa gaz do 6650°C, tworząc plazmę uwięzioną przez pola elektryczne i magnetyczne. Jak w przypadku każdego gazu, cząstki te wywierają ciśnienie, co zapobiega przedostawaniu się powietrza do komory próżniowej, oddzielając tym samym powietrze od próżni. (Jeżeli gazem wykorzystanym w oknie plazmowym jest argon, żarzy się on na niebiesko, tak samo jak pola siłowe w *Star Trek*).

Okno plazmowe ma wiele zastosowań w podróżach kosmicznych i w przemyśle. Bardzo często procesy przemysłowe wymagają środowiska próżniowego przy wytwarzaniu mikroskopijnych układów scalonych i ich trawieniu na suchu zjonizowanym gazem, ale praca w próżni może być kosztowna. Używając natomiast okna plazmowego, można łatwo, za naciśnięciem guzika, i w tani sposób utrzymać środowisko próżniowe.

A czy okno plazmowe można również wykorzystać jako nieprzenikalną tarczę? Czy wytrzyma ono ostrzał artyleryjski? Można sobie wyobrazić, że w przyszłości powstaną okna próżniowe o znacznie większej mocy i temperaturze, wystarczającej do zniszczenia albo odparowania nadlatujących pocisków. Jednak do wytworzenia bardziej realistycznego pola siłowego, takiego jakie spotykamy w fantastyce naukowej, konieczne byłoby zastosowanie kilku rozwiązań technicznych ustawionych w warstwach, jedno za drugim. Żadna z warstw nie byłaby wystarczająco silna, żeby samodzielnie zatrzymać pocisk artyleryjski, ale ich kombinacja mogłaby wystarczyć.

Zewnętrzna warstwę mogłoby stanowić okno plazmowe o wysokiej mocy, rozgrzane do temperatury wystarczającej do odparowania metali. Drugą warstwą mogłaby być zasłona z wysokoenergetycznych wiązek laserowych. Zasłona ta, zbudowana z tysiąca przecinających się wiązek laserowych, tworzyłaby sieć rozgrzewającą przechodzące przez nią obiekty, praktycznie doprowadzając do ich wyparowania. Lasery omówimy dokładniej w następnym rozdziale.

Dalej, za tą laserową zasłoną, można sobie wyobrazić siatkę z węglowych nanorurek - zbudowanych z pojedynczych atomów węgla mikroskopijnych rurek o grubości jednego atomu i wytrzymałości wielokrotnie przewyższającej wytrzymałość stali. Chociaż aktualny rekord świata długości węglowych nanorurek wynosi zaledwie 15 milimetrów, można przewidzieć, że kiedyś będziemy potrafili wytwarzać takie nanorurki o dowolnej długości. Przyjmując, że z nanorurek węglowych można będzie utkać siatkę, uzyskamy ekran o olbrzymiej sile, zdolny do zatrzymania większości obiektów. Ekran taki, choć niewidzialny, ponieważ każda węglowa nanorurka ma rozmiary atomowe, byłby mocniejszy od ekranu skonstruowanego z każdego innego zwykłego materiału.

Zatem można sobie wyobrazić, że zestawiając obok siebie okno plazmowe, laserową zasłonę i ekran z nanorurek węglowych, uzyskamy niewidzialną ścianę, której praktycznie nie można będzie pokonać przy użyciu większości dostępnych środków.

A jednak nawet taka wielowarstwowa tarcza nie będzie miała wszystkich właściwości opisywanego w fantastyce naukowej pola siłowego, ponieważ będzie przezroczysta, a zatem nie będzie mogła zatrzymać wiązek laserowej. W czasie walk z wykorzystaniem dział laserowych, taka wielowarstwowa tarcza byłaby bezużyteczna.

Aby zatrzymać wiązkę laserową, tarcza taka musiałaby również mieć jakieś zaawansowane własności fotochromatyczne. Fotochromia to proces wykorzystywany w okularach przeciwsłonecznych, które ciemnieją pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Wykorzystuje się w nim cząsteczki, które mogą być przynajmniej w dwóch stanach. W normalnym stanie taka cząsteczka jest przezroczysta. Gdy jednak zostanie wystawiona na działanie promieni ultrafioletowych, natychmiast przekształca się do drugiej postaci, która jest nieprzezroczysta.

Możliwe, że kiedyś będziemy potrafili wykorzystać nanotechnologię do wytwarzania substancji tak wytrzymałych jak węglowe nanorurki, jednocześnie zmieniających swoje własności optyczne pod wpływem promieni laserowych. W ten sposób taka tarcza mogłaby chronić zarówno przed wiązkami laserowymi, jak i przed wiązkami cząstek i ogniem artyleryjskim. Obecnie nie istnieje jednak fotochromia zdolna zatrzymać wiązkę laserową.

Lewitacja magnetyczna

W fantastyce naukowej pola siłowe służą jeszcze do innych zastosowań, oprócz ochrony przed ostrzałem z broni laserowej, a mianowicie są wykorzystywane jako platforma pozwalająca pokonać grawitację. W filmie *Powrót do przyszłości* Michael J. Fox jeździ na poduszkowej desce, która przypomina zwykłą deskorolkę, z tą tylko różnicą, że unosi się ona nad ulicą. Zgodnie ze znanymi obecnie prawami fizyki, istnienie takiego antygravitacyjnego urządzenia jest niemożliwe (o czym przekonamy się w rozdziale 10). Ale poduszkowe deski i samochody wykorzystujące własności magnetyzmu kiedyś mogą stać się rzeczywistością, umożliwiając lewitację nawet bardzo dużych obiektów. W przyszłości, jeżeli nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej staną się rzeczywistością, prawdopodobnie możliwe będzie unoszenie przedmiotów z wykorzystaniem magnetycznych pól sił.

Jeżeli umieścimy obok siebie dwa magnesy sztabkowe zwrócone do siebie biegunami północnymi, będą się one od siebie odpychały. (Jeżeli odwrócimy jeden magnes tak, że jego południowy biegun zbliży się do bieguna północnego drugiego magnesu, obie sztabki będą się wzajemnie przyciągały). Tę samą zasadę, że północne bieguny wzajemnie się odpychają, można wykorzystać do podnoszenia olbrzymich ciężarów. Już teraz w kilku krajach buduje się nowoczesne lewitujące pociągi magnetyczne (zwane również pociągami maglev od *magnetic levitation* - lewitacja magnetyczna), które wykorzystując zwykle magnesy, unoszą się nieznacznie nad torami. Ponieważ dzięki temu nie występuje żadne tarcie, unosząc się na powietrznej poduszce, mogą one osiągać zawrotne prędkości.

W 1984 roku w Wielkiej Brytanii oddano do użytku pierwszą na świecie komercyjną automatyczną linię maglev, obsługującą w Birmingham trasę między lotniskiem międzynarodowym a stacją kolejową. Linie kolejowe maglev powstały również w Niemczech, Japonii i Korei, chociaż większość z nich nie została zaprojektowana do osiągania dużych szybkości. Pierwsze komercyjne pociągi maglev poruszające się z dużymi prędkościami obsługują trasę pokazowego odcinka linii kolejowej wybudowanego w Shanghaju - rozpędzają się one do 431 kilometrów na godzinę. Japoński pociąg maglev poruszający się po trasie wybudowanej na obszarze prefektury Yamanashi osiągnął prędkość 581 kilometrów na godzinę, większą od tych osiąganych przez zwykłe pociągi poruszające się na kołach.

Jednak koleje maglev są niezwykle kosztowne. Jednym ze sposobów na zwiększenie ich opłacalności byłoby wykorzystanie nadprzewodników, w których w temperaturach bliskich zera bezwzględne opór elektryczny zanika całkowicie. Nadprzewodnictwo odkrył w 1911 roku Heike Onnes. Gdy pewne substancje ochłodzi się do temperatury poniżej 20 K, całkowicie zanika w nich opór elektryczny. Zwykle, gdy ochładzamy jakiś metal, jego rezystancja stopniowo maleje. (Dzieje się tak, ponieważ przepływ prądu elektrycznego w przewodzie napotyka opór przypadkowych drgań jego atomów. W wyniku obniżenia temperatury drgania te maleją i przepływ prądu odbywa się przy mniejszym oporze). Jednak ku swojemu wielkiemu zdziwieniu Onnes odkrył, że po osiągnięciu pewnej krytycznej temperatury, rezystancja określonych materiałów spada nagle do zera.

Fizycy natychmiast dostrzegli doniosłość tego odkrycia. Linie przesyłowe powodują utratę znacznej części energii elektrycznej w czasie jej transportu na duże odległości. Gdyby udało się wyeliminować wszelki opór elektryczny, energię elektryczną można by przysyłać niemal bez strat. Gdyby w zbudowanej z takiego przewodu pętli zaczął krążyć prąd elektryczny, mógłby ją obiegać przez miliony lat, bez strat energii. Co więcej, wykorzystując takie prądy elektryczne o odpowiednio dużym natężeniu, można by niewielkim wysiłkiem zbudować potężne magnesy, a te z kolei umożliwiłyby podnoszenie bez większego trudu olbrzymich ciężarów.

Pomimo wszystkich tych cudownych właściwości, na drodze do wykorzystania nadprzewodnictwa stoją olbrzymie koszty, jakie wiążą się z utrzymywaniem dużych magnesów w kadziach ze schłodzoną do ekstremalnie niskich temperatur ciecżą. Aby utrzymywać temperaturę

takiej cieczy na odpowiednio niskim poziomie, potrzebne są całe zakłady chłodnicze, co powoduje, że koszty eksploatacji nadprzewodzących magnesów stają się zaporowe.

Być może jednak fizykom uda się pewnego dnia odkryć świętego Graala fizyki ciała stałego: nadprzewodnik działający w temperaturze pokojowej. Wytworzenie w laboratorium nadprzewodnika działającego w temperaturze pokojowej zainicjowałoby drugą rewolucję przemysłową. Potężne pola magnetyczne umożliwiające podnoszenie samochodów i pociągów byłyby tak tanie, że pojazdy poduszkowe mogłyby stać się ekonomicznie opłacalne. Dzięki takim nadprzewodnikom fantastyczne pojazdy latające oglądane w *Powrocie do przyszłości*, *Raporcie mniejszości* i *Gwiezdnym wojnach* stałyby się częścią rzeczywistości.

W zasadzie moglibyśmy nosić pasy wykonane z nadprzewodzących magnesów, dzięki którym bez trudu unosilibyśmy się w powietrzu. Mając na sobie taki pas, można by latać niczym Superman. Nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej są tak niezwykle, że pojawiają się w wielu powieściach fantastycznonaukowych (na przykład w napisanej w 1970 roku przez Larry'ego Nivena serii *Pierścień*).

Przez całe dziesięciolecia fizycy bezskutecznie starali się odkryć nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej. Była to żmudna praca polegająca na sprawdzaniu metodą prób i błędów jednego materiału po drugim. W 1986 roku sensacją w świecie fizyki wywołało odkrycie nowej grupy substancji, nazwanych nadprzewodnikami wysokotemperaturowymi, które stają się nadprzewodnikami już w temperaturze około 90 stopni powyżej zera absolutnego.

Wydawało się, że wszelkie przeszkody udało się pokonać. Co miesiąc fizycy pobijali kolejne rekordy świata w dziedzinie nadprzewodnictwa. Przez chwilę można było odnieść wrażenie, że nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej opuszczą karty książek fantastycznonaukowych i staną się częścią naszej codzienności. Jednak po kilku latach niezwykle intensywnego rozwoju, badania nad wysokotemperaturowymi nadprzewodnikami zaczęły tracić tempo.

Obecnie rekord świata w dziedzinie nadprzewodników wysokotemperaturowych należy do substancji noszącej nazwę tlenku rtęci talu baru wapnia i miedzi, który staje się nadprzewodnikiem w temperaturze 138 K (-135°C). Ta względnie wysoka temperatura daleka jest jeszcze od temperatury pokojowej. Jednak fakt osiągnięcia rekordu 138 K jest ważny. Azot zamienia się w ciecz w 77 K, a ciekły azot kosztuje mniej więcej tyle samo co mleko. Zatem chłodzenie ciekłym azotem wysokotemperaturowych nadprzewodników byłoby dosyć tanie. (Oczywiście nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej nie wymagałyby w ogóle żadnego chłodzenia).

W zakłopotanie wprawia fakt, że obecnie nie mamy żadnej teorii wyjaśniającej własności takich wysokotemperaturowych nadprzewodników. Na fizyka, który zdoła wyjaśnić, jak działają takie nadprzewodniki, z pewnością czeka Nagroda Nobla. (Wysokotemperaturowe nadprzewodniki zbudowane są z atomów ułożonych w różne warstwy. Wielu fizyków przypuszcza, że ten podział na warstwy wewnątrz materiału ceramicznego umożliwia elektronom swobodne przemieszczanie

się w ramach każdej z nich, powodując powstanie efektu nadprzewodnictwa. Jak jednak dokładnie do tego dochodzi, wciąż pozostaje tajemnicą).

Ponieważ nie posiadamy tej wiedzy, fizycy są zmuszeni do poszukiwania nowych wysokotemperaturowych nadprzewodników metodą prób i błędów. Oznacza to, że taki wspaniały nadprzewodnik działający w temperaturze pokojowej równie dobrze może zostać odkryty jutro, co w przyszłym roku albo nawet nigdy. Nikt nie wie, kiedy ani czy w ogóle taka substancja zostanie wynaleziona.

Jeżeli jednak działające w temperaturze pokojowej nadprzewodniki zostaną odkryte, dojdzie do lawinowego wprost ich wykorzystania w zastosowaniach praktycznych. Całkiem powszechne mogą stać się pola magnetyczne miliony razy silniejsze od ziemskiego (którego indukcja wynosi 0,5 gausa).

Jedną ze znanych własności nadprzewodnictwa jest efekt Meissnera. Magnes umieszczony nad nadprzewodnikiem lewituje, jak gdyby był utrzymywany w powietrzu przez jakąś niewidzialną siłę. (Przyczyną powstawania efektu Meissnera jest to, że magnes wytwarza wewnątrz nadprzewodnika swoje lustrzane odbicie, tak że w efekcie oba te magnesy - prawdziwy i jego lustrzane odbicie - wzajemnie się odpychają. Inaczej można wyjaśnić to zjawisko, uwzględniając fakt, że pole magnetyczne nie może przeniknąć do wnętrza nadprzewodnika. Jest ono z niego całkowicie wypychane. Jeżeli więc nad nadprzewodnikiem umieścimy magnes, jego linie sił zostaną wypchnięte przez nadprzewodnik i to właśnie one będą odpychały magnes ku górze, powodując jego lewitację).

Można sobie wyobrazić, że dzięki wykorzystaniu efektu Meissnera autostrady przyszłości będą zbudowane z takiego szczególnego materiału ceramicznego. Wtedy wystarczy, że umieścimy w kieszeniach lub oponach parę magnesów, żeby w magiczny sposób przepłynąć w powietrzu do miejsca docelowego, bez żadnego tarcia i strat energii.

Efekt Meissnera występuje tylko w przypadku substancji magnetycznych, takich jak metale. Można jednak również wykorzystać nadprzewodzące magnesy do wywołania lewitacji substancji niemagnetycznych, zwanych paramagnetykami i diamagnetykami. Substancje te same nie mają właściwości magnetycznych, uzyskują je dopiero w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Paramagnetyki są przyciągane przez zewnętrzny magnes, natomiast diamagnetyki są przez taki magnes odpychane.

Woda na przykład jest diamagnetykiem. Ponieważ wszystkie istoty żywe składają się z wody, mogą one lewitować pod wpływem potężnego pola magnetycznego. Uczni wywołali lewitację niewielkich zwierząt, takich jak żaby, w polu magnetycznym o indukcji 15 tesli (30 tysięcy razy większej od pola magnetycznego Ziemi). Jeżeli jednak będziemy dysponowali nadprzewodnikami działającymi w temperaturze pokojowej, wykorzystanie własności diamagnetycznych dużych obiektów do wywołania ich lewitacji nie powinno stwarzać większych problemów.

Podsumowując: pola siłowe w postaci opisywanej najczęściej w fantastyce naukowej nie przystają do opisu czterech sił Wszechświata. Mimo to uzyskanie niektórych własności pól

siłowych może okazać się wykonalne dzięki wykorzystaniu wielowarstwowych tarcz, składających się z okien plazmowych, zasłon laserowych, węglowych nanorurek i substancji fotochromatycznych. Jednak zanim taka tarcza powstanie, będą jeszcze musiały upłynąć dziesiątki lat, a może nawet całe stulecie. A jeżeli zostaną odkryte nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej, będziemy być może potrafili zastosować potężne pola magnetyczne do wywoływania lewitacji samochodów i pociągów, które będą szybowwały w powietrzu, jak na filmach fantastycznonaukowych.

Uwzględniając te rozważania, zaliczyłbym pola siłowe do niemożliwości typu I - to znaczy do grupy rzeczy niemożliwych do osiągnięcia, jeśli się weźmie pod uwagę nasz obecny poziom techniczny, ale możliwych do zrealizowania, w zmodyfikowanej postaci, za jakieś sto lat.

Rozdział 2

NIEWIDZIALNOŚĆ

Nie można dowierzać oczom, gdy wyobraźnia jest nieostra.
- Mark Twain

W filmie *Star Trek IV: Powrót na Ziemię* załoga statku "Enterprise" przechwytuje klingoński okręt wojenny. W odróżnieniu od statków Gwiazdnej Floty Federacji, statek Imperium Klingońskiego ma na swoim pokładzie tajemnicze "urządzenie maskujące", które powoduje, że jest niewidzialny dla radarów, dzięki czemu klingońskie statki mogą zakradać się w pobliże okrętów Federacji i zupełnie bezkarnie przygotowywać zasadzki. To urządzenie maskujące daje przewagę Imperium Klingońskiemu nad Federacją Planet.

Czy urządzenie takie może rzeczywiście istnieć? Niewidzialność od dawna należy do cudów obecnych w fantastyce naukowej i literaturze fantasy, od kart *Niewidzialnego człowieka* po magiczną pelerynę-niewidkę z książek o Harrym Potterze czy pierścień z *Władcy pierścieni*. A jednak przez blisko sto lat fizycy odrzucali możliwość stworzenia płaszczy dających niewidzialność, stwierdzając stanowczo, że są one niemożliwe: stanowią pogwałcenie praw optyki i nie są zgodne z żadną ze znanych własności materii.

Teraz jednak niemożliwe stało się możliwe. Nowe odkrycia w dziedzinie metamateriałów zmuszają nas do zdecydowanego uaktualnienia podręczników optyki. Działające prototypy takich materiałów udało się już wytworzyć w laboratorium, co wzbudziło olbrzymie zainteresowanie mediów, przemysłu i armii perspektywą osiągnięcia niewidzialności.

Niewidzialność na przestrzeni wieków

Niewidzialność jest chyba jednym z najstarszych pojęć obecnych w starożytnej mitologii. Od zarania dziejów ludzie spędzający samotnie posępną noc bali się niewidzialnych duchów zmarłych, czających się w ciemnościach. Grecki heros Perseusz zabił złą Meduzę uzbrojony w hełm czyniący go niewidzialnym.

Dowódcy armii od zawsze marzyli o urządzeniu maskującym zapewniającym niewidzialność. Stając się niewidzialnym, można łatwo przedrzeć się za linię wroga i pokonać go dzięki zaskoczeniu. Przestępcy chętnie wykorzystaliby tę cechę, by dokonywać spektakularnych kradzieży.

Niewidzialność odgrywa kluczową rolę w platońskiej teorii etyki i moralności³. W swoim filozoficznym arcydziele, dialogu *Państwo*, Platon relacjonuje mit o pierścieniu Gygesa. Biedny, ale

³ Platon pisał: "Nie znalazłby się chyba żaden człowiek taki kryształowy, żeby wy trwał w sprawiedliwości i nie śmiałby wyciągać ręki po cudze ani go tykać, chociażby mu wolno było, i z rynku bez obawy brać, co by tylko chciał, i do domów wchodzić, i obcować z kim by mu się podobało, i zabijać, i z więzów uwalniać, kogo by tylko zechciał. I inne rzeczy robiłby pomiędzy ludźmi będąc do bogów podobnym [...]. Kto by dostał w ręce taką wolność, a nie chciałby nigdy żadnej krzywdy wyrządzać i nie tykałby tego, co cudze, wydawałby się

uczciwy pasterz Gyges z Lidii wchodzi do ukrytej jaskini i odkrywa grób, w którym odnajduje szczątki jakiegoś człowieka ze złotym pierścieniem na palcu. Gyges przekonuje się, że złoty pierścień ma magiczną moc, która czyni go niewidzialnym. W krótkim czasie biedny pasterz ulega mocy, jaką daje pierścień. Wszedłszy ukradkiem do pałacu króla, Gyges wykorzystuje swoją moc, uwodzi królową, z jej pomocą morduje jej męża i staje się kolejnym królem Lidii.

Platon wysnuwa z tej opowieści morał, iż nikt nie potrafi oprzeć się pokusie bezkarnego rabowania i mordowania. Wszyscy ludzie są podatni na zepsucie. Moralność jest społeczną normą narzuconą nam z zewnątrz. Człowiek może na zewnątrz sprawiać wrażenie moralnego, żeby zachować reputację osoby nieskazitelnej i uczciwej, ale jeżeli tylko posiada umiejętność stawiania się niewidzialnym, nie będzie mógł się oprzeć jej mocy. (Niektórzy uważają, że ta moralizatorska opowieść zainspirowała J.R.R. Tolkiena do napisania trylogii *Władca pierścieni*, w której pierścień czyniący swego właściciela niewidzialnym jest również źródłem zła).

Niewidzialność jest również często wykorzystywanym wątkiem w fantastyce naukowej. W publikowanej w latach trzydziestych XX wieku serii komiksów *Flash Gordon*, bohater, stając się niewidzialny, ucieka przed plutonem egzekucyjnym okrutnego cesarza Minga. W książkach i filmach o Harrym Potterze, Harry zakłada niezwykłą pelerynę, dzięki której może niezauważony poruszać się po zamku Hogwart.

H.G. Wells nadaje temu mitowi konkretną postać w swojej klasycznej powieści *Niewidzialny człowiek*, w której pewien student medycyny przypadkiem odkrywa własności czwartego wymiaru i staje się niewidzialny. Niestety wykorzystuje swoją fantastyczną moc do uzyskania osobistych korzyści - inicjuje falę drobnych przestępstw, które doprowadzą do jego śmierci w trakcie rozpaczliwej ucieczki przed policją.

Równania Maxwella i tajemnica światła

Fizycy zdołali dobrze zrozumieć prawa optyki dopiero dzięki pracom szkockiego fizyka Jamesa Clerka Maxwella, jednego z gigantów dziewiętnastowiecznej fizyki. Maxwell pod pewnym względem był przeciwieństwem Michaela Faradaya. Podczas gdy Faraday miał niezwykły instynkt doświadczalny, ale pozbawiony był jakiegokolwiek formalnego wykształcenia, żyjący w tym samym czasie Maxwell był mistrzem zaawansowanej matematyki. Wyróżniał się wśród studentów fizyki matematycznej w Cambridge, gdzie dwieście lat wcześniej swoje prace prowadził Isaac Newton.

Newton wymyślił rachunek różniczkowy, który za pomocą równań opisuje, jak ciała gładko ulegają nieskończone małym zmianom w przestrzeni i czasie. Zarówno ruch fal oceanu, jak i cieczy, gazów i kul armatnich można bez wyjątku wyrazić w języku równań różniczkowych. Maxwell postawił przed sobą jasny cel - wyrazić rewolucyjne odkrycia Faradaya i jego pola sił za pomocą dokładnych równań różniczkowych.

Maxwell wyszedł od odkrycia Faradaya, że pola elektryczne można zamienić w pola magnetyczne i odwrotnie. Wziął przedstawione przez Faradaya opisy pól sił i zapisał je ponownie

w precyzyjnym języku rachunku różniczkowego, uzyskując jedne z najważniejszych równań współczesnej nauki. Jest to zestaw czterech groźnie wyglądających równań różniczkowych. Każdy fizyk i inżynier na świecie musi nad nimi ślęczeć, opanowując w czasie studiów wiedzę o elektromagnetyzmie.

Następnie Maxwell zadał sobie niezwykle ważne pytanie: skoro pola magnetyczne mogą się zmienić w elektryczne i odwrotnie, co się stanie, gdy będą się one bezustannie przekształcać w siebie nawzajem, w nigdy niekończącym się tańcu? Maxwell odkrył, że takie pola elektromagnetyczne wytworzą falę, analogiczną do fali na oceanie. Obliczył prędkość takiej fali i ku swojemu zdumieniu zobaczył, że jest ona równa prędkości światła! Po stwierdzeniu tego faktu w 1864 roku napisał prorocze słowa: "Prędkość ta jest tak bliska prędkości światła, że wydaje się, iż mamy poważne podstawy do wysunięcia wniosku, że samo światło [...] jest zaburzeniem elektromagnetycznym".

Było to chyba jedno z największych odkryć w historii ludzkości. Po raz pierwszy udało się ostatecznie wyjaśnić tajemnicę światła. Maxwell nagle uświadomił sobie, że wszystko, blask wschodzącego słońca, pożogę jego zachodu, wspaniałe kolory tęczy i firmament pełen gwiazd, można opisać za pomocą fal, których równania właśnie zanotował na kartce papieru. Dzisiaj wiemy, że całe widmo elektromagnetyczne - fale radaru i przekaz telewizyjny, światło podczerwone i widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie, mikrofales i promienie gamma - są niczym innym, jak falami Maxwella, które z kolei drgają w polach sił Faradaya.

Odnosząc się do wagi równań Maxwella, Einstein napisał, że są one "najgłębszym i najwocześniejszym odkryciem, jakiego fizyka doświadczyła od czasów Newtona". (Niestety, Maxwell, jeden z największych fizyków XIX wieku, zmarł przedwcześnie, w wieku czterdziestu ośmiu lat, na raka żołądka, prawdopodobnie na tę samą chorobę, która wcześniej spowodowała śmierć jego matki, w tym samym wieku. Gdyby żył dłużej, być może odkryłby, że jego równania dopuszczają możliwość zniekształcenia czasoprzestrzeni, co doprowadziłoby go wprost do teorii względności Einsteina. Zdziwiająca jest świadomość, że gdyby Maxwell żył dłużej, teoria względności mogłaby zostać sformułowana w czasach amerykańskiej wojny secesyjnej).

Maxwellowska teoria światła i teoria atomowa dają proste wyjaśnienie optyki i niewidzialności. W ciele stałym atomy są ciasno upakowane, natomiast w cieczy i gazach cząsteczki są od siebie znacznie bardziej oddalone. Większość ciał stałych jest nieprzezroczysta, ponieważ promienie światła nie mogą przejść przez tworzącą je gęstą sieć atomów, która zachowuje się niczym mur z cegieł. Wiele cieczy i gazów natomiast jest przezroczystych, dlatego że światło może łatwiej przejść przez duże odstępy między ich atomami, znajdującymi się w odległościach większych od długości fali światła widzialnego. Przezroczyste są na przykład woda, alkohol, amoniak, aceton, nadtlenek wodoru, benzyna i tak dalej, podobnie jak gazy, takie jak tlen, wodór, azot, dwutlenek węgla, metan i inne.

Istnieje kilka ważnych wyjątków od tej reguły. Wiele kryształów to ciała stałe, a mimo to są

przezroczyste. Wynika to stąd, że atomy kryształu są ułożone w regularną sieć i tworzą równe rzędy leżące w jednakowej odległości od siebie. Dlatego istnieje wiele ścieżek, którymi może podążać światło, przechodząc przez sieć krystaliczną. Zatem, chociaż atomy kryształu są tak samo ściśle upakowane jak w każdym ciele stałym, światło potrafi jednak znaleźć drogę umożliwiającą przedostanie się na drugą stronę.

W pewnych okolicznościach ciało stałe może stać się przezroczyste, nawet gdy atomy ułożone są w sposób przypadkowy. Można to osiągnąć poprzez podgrzanie pewnych materiałów do wysokiej temperatury, a następnie szybkie ich ochłodzenie. Szkło na przykład, dzięki przypadkowemu ułożeniu swoich atomów, jest ciałem stałym przejawiającym wiele właściwości cieczy. Również niektóre cukierki mogą stać się przezroczyste po zastosowaniu tej metody.

Bez wątpienia niewidzialność jest własnością mającą swoje źródło na poziomie atomowym, o czym można się przekonać, analizując równania Maxwella, a zatem uzyskanie jej z wykorzystaniem zwykłych środków byłoby niezwykle trudne, jeśli w ogóle możliwe. Aby uczynić Harry'ego Pottera niewidzialnym, należałoby zmienić go w ciecz, zagotować, żeby wytworzyć parę, następnie skryzalizować, ponownie podgrzać i ochłodzić - jest to zadanie dość trudne do wykonania, nawet dla czarodzieja.

Technicy wojskowi, nie mogąc zbudować niewidzialnych samolotów, a chcąc uzyskać najlepszy możliwy efekt, stworzyli technologię *stealth*, dzięki której samoloty są niewidzialne dla radarów. Technologia ta wykorzystuje kilka sprytnych sztuczek zaprojektowanych w oparciu o równania Maxwella. Stosujący technologię *stealth* myśliwiec jest całkowicie widzialny dla ludzkiego oka, ale jego obraz na ekranie radaru wroga ma jedynie rozmiar dużego ptaka. (Technologia *stealth* jest w rzeczywistości zbitką różnych sztuczek. Zmieniając materiały, z których samolot jest wykonany, zmniejszając zawartość stali poprzez wykorzystanie tworzyw sztucznych i żywic, modyfikując kształt kadłuba, zmieniając umiejscowienie rur wydechowych i tak dalej, można spowodować, że wysyłane przez radar fale odbiją się od samolotu, rozpraszają się we wszystkich kierunkach i nigdy nie dotrą z powrotem na ekran wrogiego radaru. Nawet używając technologii *stealth*, myśliwiec nie staje się całkowicie niewidzialny; zamiast tego odbija on tylko i rozprasza emitowane przez radar fale).

Metamateriały i niewidzialność

Najbardziej chyba obiecującą nowością związaną z byciem niewidzialnym jest niezwykle nowy materiał nazywany metamateriałem, dzięki któremu kiedyś być może będziemy umieli sprawić, by przedmioty rzeczywiście stawały się niewidzialne. Ciekawostką jest fakt, że kiedyś uważano, iż wytworzenie metamateriałów jest niemożliwe, ponieważ są one sprzeczne z prawami optyki. Jednak w 2006 roku badaczom z Uniwersytetu Duke'a w Durham w stanie Karolina Północna i z Imperial College w Londynie udało się zaprzeczyć tej powszechnej opinii i przy użyciu metamateriałów spowodować, że obiekty stały się niewidzialne w promieniowaniu mikrofalowym. Chociaż wciąż pozostało jeszcze wiele trudności do pokonania, po raz pierwszy w historii znamy zarys metody zamiany zwykłych obiektów w niewidzialne. (Badania te były finansowane przez

należącą do Pentagonu agencję DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency, Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych Obrony).

Nathan Myhrvold, były główny dyrektor ds. rozwiązań technicznych w Microsoftzie, twierdzi, że rewolucyjny potencjał metamateriałów "całkowicie zmieni nasz sposób rozumienia optyki i wpłynie na niemal każdy aspekt elektroniki [...] Niektóre z tych metamateriałów pozwalają na osiągnięcie rzeczy, które jeszcze kilkadziesiąt lat temu byłyby uznawane za cuda"⁴.

Czym są te metamateriały? To substancje o niespotykanych w przyrodzie własnościach optycznych. Tworzy się je przez umieszczanie w wybranych substancjach niewielkich implantów powodujących, że fale elektromagnetyczne

zachowują się w niecodzienny sposób. Uчени z Uniwersytetu Duke'a umieścili niewielkie obwody elektryczne wewnątrz miedzianych pasów ułożonych w płaskie koncentryczne kręgi (przypominające nieco zwoje kuchenki elektrycznej). W efekcie uzyskali skomplikowaną mieszankę ceramiki, teflonu, włókien kompozytowych i części metalowych. Dzięki umieszczonym w miedzi niewielkim implantom możliwe było zakrzywienie i odpowiednie kształtowanie promieni mikrofalowych. Wyobraźmy sobie rzekę obmywającą duży głaz. Ponieważ woda szybko zakrzywia się wokół kamienia, daremnie szukalibyśmy w dole nurtu rzeki śladów tego głazu. Podobnie metamateriały potrafią nieustannie zmieniać i zakrzywiać bieg promieniowania mikrofalowego, tak że na przykład opływa ono wykonany z metamateriału walec, w wyniku czego wszystko, co znajduje się w jego wnętrzu pozostaje dla promieniowania mikrofalowego w zasadzie niewidzialne. Jeżeli uda się jeszcze pozbyć odbić i cieni, taki metamateriał pozwoli na uczynienie obiektu całkowicie niewidzialnym dla tej postaci promieniowania.

Uczonym udało się zademonstrować tę zasadę za pomocą urządzenia zbudowanego z dziesięciu pierścieni wykonanych z włókien optycznych, pokrytych miedzianymi elementami. Miedziany pierścień umieszczony wewnątrz tego urządzenia stał się prawie niewidzialny w promieniowaniu mikrofalowym -rzucał jedynie niewielki cień.

Podstawa działania metamateriałów opiera się na ich zdolności do zmiany wielkości zwanej współczynnikiem załamania. Załamanie światła jest zjawiskiem polegającym na zakrzywianiu jego toru przy przechodzeniu przez przezroczyste ośrodki. Jeżeli włożymy dłoń do wody lub popatrzymy przez soczewki okularów, zauważymy, że woda i szkło zniekształcają i zakrzywiają bieg promieni zwykłego światła.

Powodem, dla którego światło zakrzywia się w wodzie czy szkłe jest fakt, że spowalnia ono nieco po wejściu do gęstego, przezroczystego ośrodka. Prędkość światła w doskonałej próżni pozostaje niezmienna, ale przemieszczając się w szkłe lub w wodzie, światło musi przejść przez biliony atomów i dlatego zwalnia. (Stosunek prędkości światła do zmniejszonej prędkości światła w danym ośrodku nosi nazwę współczynnika załamania. Ponieważ światło zawsze zwalnia w szkłe, jego współczynnik załamania jest zawsze większy od 1,0). Na przykład współczynnik załamania wynosi 1,00 dla próżni, 1,0003 dla powietrza, 1,5 dla szkła i 2,4 dla diamentu. Zwykle im gęstszy

⁴ N. Myhrvold, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 69.

dany ośrodek, tym większe zakrzywienie światła i tym większy współczynnik załamania.

Znanym wszystkim przykładem występowania zjawiska załamania światła jest fatamorgana. Jeżeli jadąc samochodem w upalny dzień, spojrzemy prosto przed siebie, w kierunku horyzontu, zauważymy, że droga przed nami drży, tworząc iluzję połyskującej w słońcu tafli jeziora. Na pustyni można czasami zobaczyć na horyzoncie kontury odległych miast i gór. Dzieje się tak, ponieważ rozgrzane powietrze unoszące się znad asfaltu lub piasku pustyni ma mniejszą gęstość niż zwykłe powietrze, a zatem ma również mniejszy współczynnik załamania niż pozostałe, chłodniejsze powietrze i w ten sposób światło docierające od odległych obiektów może odbijać się od asfaltu i trafiać do naszych oczu, wywołując złudzenie, że widzimy odległe objekty.

Zwykle współczynnik załamania ma stałą wartość. Wiązka skupionego światła zakrzywia się przy wejściu do szkła, a następnie porusza się znowu po linii prostej. Przyjmijmy jednak na chwilę, że potrafimy dowolnie modyfikować współczynnik załamania tak, że może się on zmieniać w sposób ciągły w każdym punkcie szkła. Światło wchodzące w taki nowy materiał mogłoby się zakrzywiać i wyginać w różnych kierunkach, kreśląc wewnątrz tej substancji ścieżkę wijącą się niczym wąż.

Gdybyśmy potrafili wpłynąć na współczynnik załamania wewnątrz metamateriału w taki sposób, by światło obiegało dane ciało dookoła, przedmiot taki stałby się niewidzialny. Aby to osiągnąć, taki metamateriał musiałby mieć *ujemny* współczynnik załamania, co zgodnie ze wszystkimi podręcznikami optyki jest niemożliwe. (Możliwość istnienia metamateriałów po raz pierwszy teoretycznie rozważał radziecki fizyk Wiktor Wiesiełago w 1967 roku i wykazał, że musiałby mieć one dziwne własności optyczne, takie jak ujemny współczynnik załamania i odwrotny efekt Dopplera. Metamateriały są tak niezwykle i nedorzeczne, że kiedyś uważano, iż ich wytworzenie nie jest w ogóle możliwe. W ostatnich latach metamateriały zostały jednak stworzone w laboratoriach, co zmusiło niechętnych im fizyków do zrewidowania podręczników optyki).

Dziennikarze ciągle niepokoją uczonych zajmujących się metamateriałami i dopytują, kiedy pojawią się w handlu ubrania zapewniające niewidzialność. Odpowiedź brzmi: nieprędko.

David Smith z Uniwersytetu Duke'a mówi: "Reporterzy ciągle wydzwanniają i domagają się, żeby im podać jakąś datę. Liczbę miesięcy, lat. Są tak natarczywi, że w końcu, dla świętego spokoju, mówimy: «no, może za piętnaście lat». I wtedy pojawiają się sensacyjne nagłówki. Już za piętnaście lat będziemy mogli kupić pelerynę-niewidkę Harry'ego Pottera". Dlatego teraz odmawia już podawania jakichkolwiek konkretnych terminów⁵. Fani *Harry'ego Pottera* i *Star Treka* będą musieli poczekać. Chociaż wytworzenie peleryny zapewniającej prawdziwą niewidzialność jest możliwe w ramach praw fizyki, z czym zgodzi się większość fizyków, musimy jeszcze pokonać spore przeszkody techniczne i technologiczne, zanim takie rozwiązania będą miały zastosowanie do światła widzialnego, a nie jedynie do promieniowania mikrofalowego.

Mówiąc ogólnie, struktury umieszczane wewnątrz metamateriału muszą być mniejsze od długości fali promieniowania. Promieniowanie mikrofalowe ma na przykład długość fali około 3

⁵ J. Glausiusz, "Discover Magazine", listopad 2006.

centymetrów, żeby więc metamateriał mógł zakrzywiać tor takich promieni, należy w jego wnętrzu umieścić niewielkie implanty o rozmiarze nieprzekraczającym 3 milimetrów. Żeby jednak obiekt stał się niewidzialny w świetle zielonym, o długości fali 500 nanometrów (nm), użyte w metamateriale struktury mogą mieć najwyżej długość około 50 nanometrów - a to jest już skala atomowa, wymagająca zastosowania nanotechnologii. (Jeden nanometr to jedna miliardowa metra. Na długości jednego nanometra można zmieścić około pięciu atomów). To chyba najważniejszy problem, jaki musimy pokonać, aby mogły powstać ubrania naprawdę zapewniające niewidzialność. Konieczne będzie modyfikowanie pojedynczych atomów wewnątrz metamateriału w taki sposób, aby światło wyginało się niczym wąż.

Metamateriały dla światła widzialnego

Wyścig trwa.

Od momentu, gdy ogłoszono publicznie, że metamateriały udało się wytworzyć w laboratorium, prace w tej dziedzinie uległy przyspieszeniu i co kilka miesięcy mamy do czynienia z jakimś nowym odkryciem, z kolejnym niezwykłym przełomem. Cel jest jasny: wykorzystując nanotechnologię, należy stworzyć metamateriał potrafiący zakrzywiać światło widzialne, a nie jedynie promieniowanie mikrofalowe. Zaproponowano kilka podejść, a wszystkie wyglądają całkiem obiecująco.

Jeden z pomysłów polega na użyciu istniejących rozwiązań technicznych, to znaczy na stworzeniu nowych metamateriałów w oparciu o technologie zapożyczone z przemysłu półprzewodnikowego. Motorem rewolucji komputerowej była technika zwana fotolitografią, umożliwiająca miniaturyzację układów scalonych. Technologia ta pozwala umieszczać setki milionów niewielkich tranzystorów na płycie krzemowej o rozmiarze kciuka.

Moc obliczeniowa komputerów może się podwajać co półtora roku (zgodnie z prawem Moore'a) dlatego właśnie, że uczeni, posługując się promieniowaniem ultrafioletowym, potrafią "wyrzeć" w kawałku krzemu coraz mniejsze elementy. Technika ta jest bardzo podobna do sposobu, w jaki za pomocą wzornika wytwarza się kolorowe koszulki z nadrukiem. (Specjaliści od układów scalonych zaczynają od cienkiej płytki, którą pokrywają niezwykle cienką warstwą różnych substancji. Następnie na płytkę nakłada się plastikową maskę, która pełni rolę wzornika. Zawiera ona złożone kształty przewodów, tranzystorów i innych elementów układu, stanowiące podstawowy szkielet tworzonego obwodu. Płytkę następnie poddaje się działaniu promieniowania ultrafioletowego o bardzo małej długości fali, które odbija obraz wzornika na światłoczułej warstwie pokrywającej płytkę. Później płytkę poddaje się działaniu specjalnych gazów i kwasów, w wyniku czego złożony obwód nakreślony na masce zostaje wyrzeźbiony w płytce w miejscach, w których została ona wystawiona na działanie światła ultrafioletowego. W ten sposób powstaje płytka krzemowa zawierająca setki milionów mikroskopijnych rowków wytyczających kształty tranzystorów). Obecnie najmniejsze elementy, jakie potrafimy wytwarzać przy wykorzystaniu tej techniki, mają rozmiar około 30 nanometrów (czyli około 150 atomów).

Do przełomowego osiągnięcia w pracach nad uzyskaniem niewidzialności doszło, gdy pewna

grupa uczonych posłużyła się tą technologią obróbki płytki krzemowej do stworzenia pierwszego metamateriału, działającego w widzialnym zakresie widma fal elektromagnetycznych. Na początku 2007 roku uczeni z Niemiec i z Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych po raz pierwszy w historii wytworzyli metamateriał działający w czerwonym świetle. To, co "niemożliwe", udało się osiągnąć w niezwykle krótkim czasie.

Fizykowi Costasowi Soukoulisowi z rządowego Ames Laboratory w stanie Iowa, przy współpracy Stefana Lindena, Martina Wegenera i Gunnara Dollinga z uniwersytetu w Karlsruhe w Niemczech, udało się uzyskać metamateriał charakteryzujący się współczynnikiem załamania $-0,6$ dla światła czerwonego o długości fali 780 nanometrów. (Poprzedni rekord świata w dziedzinie zakrzywania promieniowania przez metamateriały wynosił 1400 nanometrów, co lokowało je poza zakresem światła widzialnego, w paśmie podczerwieni).

Uczeni ci zastosowali taflę szklaną, którą pokryli warstwą srebra, fluorkiem magnezu i kolejną powłoką srebra, tworząc warstwę fluorku o grubości zaledwie 100 nanometrów wciśniętą między powłoki srebra. Następnie, posługując się opisaną techniką obróbki, wytrawili w tych powłokach mnóstwo mikroskopowych otworów, tworząc wzór przypominający sieć do połowu ryb. (Otwory miały szerokość zaledwie 100 nanometrów, były więc zdecydowanie mniejsze od długości fali światła czerwonego). Następnie przez tak skonstruowany materiał przepuścili promień światła czerwonego i zmierzili współczynnik załamania, którego wartość wyniosła $-0,6$.

Twórcy tego materiału przewidują wiele możliwości jego zastosowania. Metamateriały "mogą kiedyś umożliwić stworzenie specjalnych płaskich supersoczewek działających w widzialnym zakresie widma fal elektromagnetycznych - mówi dr Soukoulis. - Miałyby one znacznie większą rozdzielczość niż soczewki wytwarzane tradycyjnymi sposobami, dzięki czemu możliwe stałoby się zobaczenie szczegółów mniejszych od długości fali światła"⁶. Bezpośrednią korzyścią użycia takich supersoczewek byłaby możliwość fotografowania z niespotykaną ostrością obiektów mikroskopowych, takich jak wnętrze żywej ludzkiej komórki, czy diagnozowania chorób dziecka jeszcze w łonie matki. Najlepszym zastosowaniem byłoby wykonywanie fotografii składników cząsteczki DNA bez konieczności uciekania się do kłopotliwej rentgenografii strukturalnej.

Jak dotąd uczonym udało się jedynie uzyskać ujemny współczynnik załamania dla światła czerwonego. Kolejnym krokiem będzie zastosowanie tej technologii do stworzenia metamateriału pozwalającego na zakrzywienie czerwonego światła wokół jakiegoś obiektu, co uczyniłoby go niewidzialnym w tym zakresie widma.

Dalszy rozwój tej dziedziny może wiązać się z kryształami fotonicznymi. Celem rozwoju technik opartych na kryształach fotonicznych jest stworzenie układu scalonego, który do przetwarzania informacji będzie wykorzystywał światło, a nie prąd elektryczny. Oznacza to konieczność posłużenia się nanotechnologią do skonstruowania na płytce niewielkich elementów charakteryzujących się różnymi współczynnikami załamania światła. Tranzystory wykorzystujące

⁶ *Metamaterials found to work for visible light*, Eurekalert, www.eurekalert.org/pubreleases/2007-01/dlmft010407.php, 2007. Także: "New Scientist Magazine", 18 grudnia 2006.

światło mają kilka przewag nad tradycyjnymi, działającymi w oparciu o prąd elektryczny. Na przykład kryształy fotoniczne mają dużo mniejsze straty ciepłe. (W zaawansowanych krzemowych układach scalonych ilość wytwarzanego ciepła wystarczyłaby do usmażenia jajka. Dlatego, aby nie uległy zniszczeniu, wymagają one nieustannego chłodzenia, a utrzymywanie ich w odpowiedniej temperaturze jest bardzo kosztowne). Nie powinno dziwić, że badania nad kryształami fotonicznymi mają też zastosowanie w metamateriałach, przecież obie technologie zajmują się modyfikacją współczynnika załamania światła w strukturach o rozmiarach nanometrów.

Niewidzialność dzięki plazmonice

W połowie 2007 roku inna grupa uczonych powiadomiła o stworzeniu metamateriału zakrzywiającego światło widzialne, działającego w oparciu o zupełnie inną technikę, którą nazwano plazmoniką. Fizycy Henri Lezec, Jennifer Dionne i Harry Atwater z California Institute of Technology (Cal Tech) ogłosili, że wytworzyli metamateriał o ujemnym współczynniku załamania światła w trudniejszym, niebieskozielonym obszarze widma światła widzialnego.

Celem plazmoniki jest "ściśnięcie" światła tak, by umożliwić działanie elementów układów obliczeniowych o rozmiarach nanometrów, szczególnie na powierzchni metali. Metale przewodzą prąd elektryczny, ponieważ elektrony ich atomów są dosyć luźno związane z jądrami i mogą poruszać się swobodnie po powierzchni sieci atomów metalu. Prąd w przewodach elektrycznych w naszych domach jest dowodem na swobodny przepływ po powierzchni metalu takich luźno związanych elektronów. Jednak w pewnych warunkach, gdy w powierzchnię metalu uderza promień światła, elektrony mogą zacząć drgać z częstotliwością taką samą, jaką miało uderzające w metal światło. W efekcie elektrony poruszają się ruchem falowym, drgając tak samo, jak uderzający w metal promień światła (fizycy nazywają takie drgania plazmonami). Istotne w tym wszystkim jest to, że takie plazmony można "ściśnąć", tak aby miały znacznie mniejszą długość fali, ale przy zachowaniu częstotliwości zgodnej z częstotliwością światła padającego na metal (czyli zachowując tyle samo informacji). W zasadzie można by później wtłoczyć takie ściśnięte fale w nanoprzewody. Tak samo jak w przypadku kryształów fotonicznych, ostatecznym celem plazmoniki jest zbudowanie układów komputerowych potrafiących wykonywać obliczenia za pomocą światła, a nie elektryczności.

Wspomniana grupa uczonych z Cal Tech skonstruowała metamateriał składający się z dwóch warstw srebra rozdzielonych krzemowo-azotowym izolatorem (o grubości zaledwie 50 nanometrów), pełniącym rolę falowodu ustalającego kierunek rozchodzenia się fal plazmonicznych. W metamateriale wykonane są dwie szczeliny, przez które wchodzi i wychodzi wiązka promieni laserowych. Analizując kąty zakrzywienia światła laserowego przechodzącego przez takie urządzenie, można się przekonać, że światło zostaje w nim zakrzywione dzięki ujemnemu współczynnikowi załamania.

Przyszłość metamateriałów

W przyszłości prace nad metamateriałami nabiorą jeszcze większego tempa, chociażby z tego

prostego powodu, że już teraz istnieje olbrzymie zainteresowanie stworzeniem tranzystorów wykorzystujących światło zamiast elektryczności. Badania nad uzyskaniem niewidzialności będą mogły zatem za darmo wykorzystać wyniki prac w dziedzinie kryształów fotonicznych i plazmoniki, których głównym celem będzie stworzenie układu zastępującego krzemowy układ scalony. Już obecnie wydaje się setki milionów dolarów na wynalezienie technologii, która zastąpi elektronikę opartą na krzemie, a badania nad metamateriałami z pewnością skorzystają na wynikach tych prac naukowych.

Biorąc pod uwagę fakt, że co kilka miesięcy dochodzi w tej dziedzinie do jakiegoś przełomu, nie powinno nas dziwić, że niektórzy fizycy przewidują iż być może już za kilkadziesiąt lat pojawi się przydatna w praktycznych zastosowaniach osłona zapewniająca niewidzialność. Uczeni są na przykład przekonani, że za kilka lat uda im się stworzyć metamateriały potrafiące uczynić obiekt całkowicie niewidzialnym w jednej częstotliwości światła widzialnego, przynajmniej w dwóch wymiarach. Osiągnięcie tego będzie wymagało ułożenia niewielkich nanoimplantów nie w regularną sieć, ale w skomplikowane wzory, tak aby światło ulegało ciągłemu zakrzywieniu wokół ukrywanego obiektu.

Następnie uczeni będą musieli stworzyć metamateriały potrafiące zakrzywiać światło w trzech wymiarach, a nie jedynie na płaskich, dwuwymiarowych powierzchniach. Fotolitografię doskonalili się w celu stworzenia płaskich płytek krzemowych, lecz wykonanie trójwymiarowego metamateriału będzie wymagało skomplikowanego ułożenia takich płytek i zespolenia ich ze sobą.

Później trzeba będzie poradzić sobie z problemem stworzenia metamateriałów potrafiących zakrzywić wiele częstotliwości fal światła, a nie tylko jedną. Będzie to zapewne najtrudniejsze zadanie, ponieważ wszystkie wytworzone dotychczas implanty zakrzywiają tylko jedną, określoną częstotliwość fal. Być może uczeni będą musieli wytworzyć materiały zbudowane z warstw, z których każda będzie zakrzywiać tylko jedną określoną częstotliwość. Sposób rozwiązania tego problemu nie jest jeszcze jasny.

Niemniej jednak, gdy już w końcu powstanie osłona zapewniająca niewidzialność, może się ona okazać nieporęcznym urządzeniem. Peleryna Harry'ego Pottera uszyta była z cienkiej, giętkiej tkaniny, która powodowała, że każdy, kto się nią okrył, stawał się niewidzialny. Aby to jednak było możliwe, współczynnik załamania światła wewnątrz takiej tkaniny musiałby się bezustannie zmieniać w skomplikowany sposób, dostosowując się do jej ułożenia, co jest bardzo niepraktyczne. Jest więcej niż prawdopodobne, że prawdziwa peleryna-niewidka będzie miała postać sztywnego walca z metamateriału, przynajmniej na początku. Dzięki temu współczynnik załamania światła takiego cylindra mógłby być stały. (Bardziej zaawansowane wersje mogłyby w końcu wykorzystywać giętkie metamateriały, które nawet po wykrzywieniu zapewniałyby odpowiedni tor biegu promieni światła w ich wnętrzu. Dzięki temu osoby znajdujące się w środku takiego urządzenia miałyby pewną swobodę ruchu).

Niektórzy wskazują na pewną wadę takiej osłony zapewniającej niewidzialność: ukryta w niej osoba nie będzie mogła wyglądać na zewnątrz bez ryzyka, że zostanie dostrzeżona. Wyobraźmy

sobie Harry'ego Pottera, całkowicie niewidzialnego, z wyjątkiem oczu, które wydają się unosić w powietrzu. Jeżeli w osłonie zrobimy otwory, przez które można by patrzeć, będą one bez wątpienia wyraźnie widoczne z zewnątrz. Aby Harry Potter mógł być całkowicie niewidzialny, musiałby siedzieć w swojej pelerynie, nie widząc, co się wokół niego dzieje. (Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu mogłoby być umieszczenie na wysokości oczu dwóch niewielkich szklanych płytek. Płytki te działałyby jako rozszczepiacze wiązki, rozdzielając padające na nie światło i przepuszczając niewielką jego ilość w kierunku oczu. Wtedy większość padającego na nie światła obiegałaby osłonę wokół, czyniąc ukrytą w niej osobę niewidzialną, a jedynie niewielka ilość światła byłaby kierowana do oczu).

Mimo że wspomniane problemy wyglądają zniechęcająco, uczeni i inżynierowie zachowują optymizm i mają nadzieję, że w najbliższych dziesięcioleciach uda się stworzyć jakiś rodzaj osłony zapewniającej niewidzialność.

Niewidzialność i nanotechnologia

Jak już wspomnieliśmy, kluczem do niewidzialności może być nanotechnologia, czyli umiejętność posługiwania się strukturami o rozmiarach atomowych, o średnicy około jednej miliardowej metra.

Narodziny nanotechnologii wiążą się ze słynnym wykładem wygłoszonym w 1959 roku przez laureata Nagrody Nobla Richarda Feynmana pod ironicznym w zamierzeniu tytułem *There's Plenty of Room at the Bottom* (U podstaw jest wiele miejsca). W wykładzie tym Feynman zastanawiał się, jak w zgodzie ze znanymi prawami fizyki mogłyby wyglądać najmniejsze maszyny. Doszedł do wniosku, że można budować coraz mniejsze urządzenia, aż do osiągnięcia rozmiarów atomowych, a wtedy do skonstruowania innych urządzeń można by wykorzystać atomy. Atomowe maszyny proste, takie jak bloki, dźwignie i koła, w żadnym wypadku nie kłóć się z prawami fizyki, podsumował, chociaż wykonanie ich byłoby niezwykle trudne.

Nanotechnologia przez całe lata trwała w letargu, ponieważ operowanie pojedynczymi atomami przekraczało dostępne wówczas możliwości techniczne. Fizycy dokonali jednak przełomu w 1981 roku wraz z wynalezieniem skaningowego mikroskopu tunelowego, za którego skonstruowanie uczeni Gerd Binnig i Heinrich Rohrer, pracujący w laboratorium IBM w Zurychu, otrzymali Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Nagle okazało się, że fizycy mogą robić zadziwiające "zdjęcia" pojedynczych atomów, ułożonych jak w podręczniku do chemii - uzyskanie takich obrazów krytycy teorii atomowej uważali kiedyś za nierealne. Możliwe stało się teraz robienie wspaniałych fotografii atomów w sieci krystalicznej lub w metalu. Gołym okiem można było podziwiać cząsteczki opisywane przez uczonych we wzorach chemicznych, przekonać się o złożoności ułożenia ich atomów. Co więcej, dzięki skaningowemu mikroskopowi tunelowemu możliwe stało się manipulowanie atomami. Z poszczególnych atomów ułożono nawet napis "IBM", co wywołało poruszenie w świecie nauki. Posługując się atomami, uczeni nie musieli już działać na ślepo, ale mogli na własne oczy oglądać wyniki pracy.

Zasada działania skaningowego mikroskopu tunelowego jest zwodniczo prosta. Niczym igła gramofonu na płycie, nad analizowanym materiałem przesuwa się powoli ostra sonda. (Jej wierzchołek jest tak ostry, że stanowi go jedynie pojedynczy atom). Na sondzie umieszcza się niewielki ładunek elektryczny, w wyniku czego następuje przepływ prądu z sondy, poprzez badany materiał, do powierzchni znajdującej się niżej. Gdy sonda przesuwa się nad pojedynczym atomem, ilość przepływającego przez nią prądu zmienia się, a wszystkie takie zmiany zostają zarejestrowane. Podczas przesuwania się nad atomem natężenie prądu w igle rośnie i maleje, oddając jego kształt z niezwykłą dokładnością. Gdy przesunie się sondę nad próbką wiele razy, można wykreślić diagram przedstawiający zmiany w przepływie prądu i uzyskać piękny obraz pojedynczych atomów tworzących sieć.

(Działanie skaningowego mikroskopu tunelowego jest możliwe dzięki pewnemu dziwnemu prawu fizyki kwantowej. W normalnych warunkach elektrony nie mają wystarczająco dużo energii, żeby przejść z sondy, przez badaną substancję, do znajdującej się pod nią powierzchni. Zgodnie jednak z zasadą nieoznaczoności, istnieje niewielkie prawdopodobieństwo, że elektrony tworzące prąd przetunelują, czyli przeskoczą przez barierę, nie bacząc na to, że zabrania tego teoria newtonowska. Dlatego prąd przepływający przez sondę jest czuły na niewielkie efekty kwantowe w badanym materiale. Efektami wynikającymi z teorii kwantowej zajmiemy się bardziej szczegółowo w dalszej części książki).

Sonda ma odpowiednią czułość umożliwiającą również jej wykorzystanie do przestawiania pojedynczych atomów i tworzenia z nich prostych "maszyn". Technika ta jest obecnie tak zaawansowana, że można na ekranie komputera wyświetlić obraz grupy atomów, a następnie poprzez zwykłe manipulowanie kursorem dowolnie zmieniać ich ułożenie. Można bez żadnych ograniczeń przestawiać wiele atomów, zupełnie jak gdybyśmy bawili się klockami lego. Oprócz układania liter alfabetu z poszczególnych atomów, można również tworzyć atomowe zabawki, takie jak liczydło zbudowane z pojedynczych atomów. Atomy układa się na powierzchni, pozostawiając między nimi pionowe szczeliny. W tych szczelinach można umieszczać fulereny (zbudowane z atomów węgla cząsteczki o kształcie przypominającym pustą w środku piłkę). Takie węglowe piłki można następnie przesuwać w szczelinach do góry i na dół, uzyskując w ten sposób atomowe liczydło.

Możliwe jest również rzeźbienie atomowych urządzeń za pomocą wiązki elektronów. Na przykład uczeni z Uniwersytetu Cornella stworzyli wyrzeźbioną w kryształ krzemu najmniejszą gitarę świata, dwadzieścia razy mniejszą od ludzkiego włosa. Ma ona sześć strun, o grubości stu atomów każda, które można szarpać, posługując się mikroskopem sił atomowych. (Na tej gitarze rzeczywiście można wykonywać muzykę, jednak wydobywające się z niej częstotliwości są daleko ponad zakresem dźwięków odbieranych przez ludzkie ucho).

Obecnie większość z tych nanotechnologicznych urządzeń to jedynie zabawki. Musimy jeszcze trochę poczekać, zanim powstaną bardziej skomplikowane maszyny, z przekładniami i łożyskami kulkowymi. Wielu inżynierów jest jednak przekonanych, że czasy, gdy będziemy potrafili

wytwarzać prawdziwe urządzenia atomowe, nie są już odległe. (Urządzenia atomowe można spotkać w przyrodzie. Komórki mogą swobodnie pływać w wodzie dzięki temu, że potrafią poruszać małą włoskami. Jeżeli jednak zbadamy połączenie między komórką i włoskiem, przekonamy się, iż znajduje się tam atomowe urządzenie pozwalające na poruszanie włoskiem we wszystkich kierunkach. Zatem jednym z kluczy do rozwoju nanotechnologii jest naśladowanie przyrody, która już miliardy lat temu opanowała sztukę tworzenia atomowych urządzeń).

Hologramy i niewidzialność

Innym sposobem na zapewnienie częściowej niewidzialności jest filmowanie tego, co dzieje się za daną osobą i wyświetlanie takiego obrazu tła bezpośrednio na ubraniach lub na umieszczonym przed ukrywaną osobą ekranie. Gdy na taką osobę patrzy się z przodu, odnosi się wrażenie, że stała się przezroczysta, że światło w jakiś sposób przechodzi przez jej ciało na wylot.

Naoki Kawakami z laboratorium profesora Tachiego na Uniwersytecie Tokijskim bardzo intensywnie pracuje nad metodą, którą nazywa optycznym kamuflażem. "Dzięki niej piloci będą mogli spoglądać przez podłogę kokpitu na znajdujący się pod nimi pas do lądowania, a kierowcy, parkując, będą mogli obserwować, co się dzieje za samochodem, patrząc wprost przez tylny zderzak" - mówi Naoki Kawakami. Opisywana peleryna pokryta jest małymi odbijającymi światło kulkami, zachowującymi się niczym ekran kinowy. Kamera wideo filmuje wszystko, co dzieje się za peleryną. Pochodzący z niej obraz zostaje przesiany do projektora, który wyświetla uzyskane w ten sposób zdjęcia z przodu peleryny tak, że odnosi się wrażenie, iż światło przechodzi na wylot przez ubraną w nią osobę.

W laboratorium powstały już prototypy peleryny zapewniającej optyczny kamuflaż. Jeżeli spojrzymy wprost na osobę ubraną w taki działający na zasadzie ekranu płaszczyzny, odniesiemy wrażenie, że zniknęła, ponieważ zobaczymy jedynie obraz tego, co się znajduje za nią. Jeżeli jednak przesuniemy odrobinę głowę, zauważymy, że obraz na płaszczyźnie się nie zmienia, dzięki czemu przekonamy się, iż nie jest on prawdziwy. W celu uzyskania bardziej realistycznego kamuflażu optycznego konieczne byłoby stworzenie iluzji obrazu trójwymiarowego, a do tego trzeba by się posłużyć hologramami.

Hologram to trójwymiarowy obraz uzyskany za pomocą laserów (jak trójwymiarowa postać księżniczki Lei w *Gwiezdnych wojnach*). Można by uczynić kogoś niewidzialnym, gdyby udało się sfilmować specjalną kamerą holograficzną wszystko, co dzieje się za ukrywaną osobą, a następnie wyświetlić tak uzyskany obraz na umieszczonym przed nią specjalnym ekranie holograficznym. Ktoś stojący przed taką osobą widziałby jedynie holograficzny ekran zawierający trójwymiarowy obraz tego, co dzieje się za nią, oczywiście bez tej osoby. Wyglądałoby to tak, jak gdyby ta osoba zniknęła. W miejscu, w którym stoi, pojawiłby się doskonały trójwymiarowy obraz tła. Nawet gdybyśmy poruszyli głowę, nie moglibyśmy stwierdzić, że to, co widzimy, jest złudzeniem.

Wykonywanie takich trójwymiarowych obrazów jest możliwe dzięki temu, że światło lasera jest spójne, to znaczy wszystkie jego fale drgają w doskonałym unisono. W celu zrobienia hologramu spójną wiązkę światła lasera dzieli się na dwie części. Połowa wiązki pada bezpośrednio na kliszę

fotograficzną. Druga połowa oświetla fotografowany obiekt, odbija się od niego i pada na tę samą kliszę. Na kliszy dochodzi wtedy do interferencji światła obu wiązek, w wyniku czego powstaje wzór interferencyjny zawierający informację o tym, jaką postać miała nasza fala światła w trzech wymiarach. Klisza po wywołaniu nie wygląda zbyt interesująco, widać na niej jedynie gmatwaninę linii przypominającą pajęczynę. Jeżeli jednak na taką kliszę skierujemy wiązkę światła lasera, pojawi się nagle, niczym za sprawą magii, trójwymiarowa kopia sfotografowanego obiektu.

Jednak z wykorzystaniem hologramów do zapewnienia niewidzialności wiążą się olbrzymie problemy. Jednym z wyzwań jest skonstruowanie kamery holograficznej umożliwiającej wykonanie przynajmniej trzydziestu zdjęć na sekundę. Innym problemem jest przechowywanie i przetwarzanie całej tej informacji. I w końcu trzeba będzie wyświetlić ten obraz na ekranie w taki sposób, żeby wyglądał realistycznie.

Niewidzialność za sprawą czwartego wymiaru

Powinniśmy jeszcze wspomnieć, że dużo bardziej wyszukany sposób uzyskania niewidzialności opisał H.G. Wells w *Niewidzialnym człowieku* - sposób ten wiąże się z wykorzystaniem mocy czwartego wymiaru. (W dalszej części książki zastanowimy się głębiej nad możliwością istnienia wyższych wymiarów). Może udałoby się nam opuścić nasz trójwymiarowy Wszechświat i unosząc się nad nim, obserwować go z czwartego wymiaru? Niczym trójwymiarowy motyl unoszący się nad dwuwymiarową kartką papieru, byłibyśmy całkowicie niewidzialni dla ludzi żyjących w rozpościerającym się pod nami Wszechświecie. Pomysł ten ma jedną wadę - jeszcze nikomu nie udało się udowodnić, że wyższe wymiary istnieją. Co więcej, hipotetyczna podróż do wyższego wymiaru wymagałaby energii znacznie przewyższającej możliwości naszej obecnej techniki. Jako praktyczny sposób uzyskania niewidzialności, metoda ta bez wątpienia przekracza naszą obecną wiedzę i możliwości.

Biorąc pod uwagę olbrzymie postępy, jakie poczyniliśmy na drodze do uzyskania niewidzialności, możemy ją bez wątpienia zaklasyfikować jako niemożliwość typu I. Za kilkadziesiąt lat, w najgorszym przypadku do końca tego stulecia, jakiś sposób uzyskiwania niewidzialności może stać się częścią naszej codzienności.

Rozdział 3

FAZERY I GWIAZDY ŚMIERCI

Radio nie ma przyszłości. Cięższe od powietrza maszyny latające są niemożliwe. Promienie rentgenowskie okażą się oszustwem.

- fizyk lord Kelvin, 1899

Taka bomba [atomowa] nigdy nie wybuchnie. Mówię to jako ekspert w dziedzinie materiałów wybuchowych.

- admirał William Leahy

4-3-2-1, ognia!

Gwiazda Śmierci to olbrzymia broń o rozmiarze całego księżyca. Gwiazda Śmierci, strzelająca z bliskiej odległości w bezbronną planetę Alderaan, rodzinną planetę księżniczki Lei, powoduje, że planeta zapala się, wybuchu, a gigantyczna eksplozja rozrzuca jej szczątki po całym układzie planetarnym. Rozdzierający krzyk miliarda istnień wywołuje zakłócenie w polu Mocy, odczuwalne w całej galaktyce.

Czy taka broń jak Gwiazda Śmierci z *Gwiezdnych wojen* jest jednak rzeczywiście możliwa? Czy mogłaby ona skupić wiązkę baterii dział laserowych i spowodować wyparowanie całej planety? A co ze słynnymi mieczami świetlnymi, które dźrzyli w dłoniach Luke Skywalker i Darth Vader, potrafiącymi przeciąć wzmocnioną stal, chociaż są jedynie wiązkami światła? Czy broń wykorzystująca wiązki promieni, jak fazery w *Star Trek*, może rzeczywiście w przyszłości stanowić część wyposażenia policjantów i żołnierzy?

Widzowie oglądający *Gwiezdne wojny* byli oszołomieni oryginalnymi, zadziwiającymi efektami specjalnymi, ale w opinii niektórych recenzentów były one całkowicie nietrafione - krytykowali je twierdząc, że choć dostarczają dobrej rozrywki, są z gruntu niemożliwe. Strzelające promieniami działa o rozmiarach księżyca, które rozbija w pył całą planetę, czy miecze wykonane z zestalonego światła to dziwaczne pomysły, nawet w przypadku galaktyki znajdującej się daleko, daleko stąd - powtarzali. George Lucas, mistrz efektów specjalnych, dał się chyba tym razem za bardzo ponieść fantazji.

Choć może trudno w to uwierzyć, faktem jest, że nie ma żadnego fizycznego ograniczenia na ilość czystej energii, jaką można wtłoczyć w wiązkę światła. Nie istnieje żadne prawo fizyki, które nie zezwalałoby na skonstruowanie Gwiazdy Śmierci czy świetlnych mieczy. W rzeczywistości w przyrodzie istnieją wiązki promieniowania gamma zdolne zniszczyć całą planetę. Niewiarygodnie silny rozbłysk znajdującego się w odległej przestrzeni kosmicznej burstera⁷ promieniowania gamma wywołuje eksplozję, którą można porównać jedynie do samego Wielkiego Wybuchu. Planeta, która niesprzyjającym zrzędzeniem losu znalazłaby się w sąsiedztwie takiego burstera promieniowania gamma, bez wątpienia usmażyłaby się lub została rozerwana na strzępy.

⁷ Burster [wym. *berster*] - pochodzi od angielskiego czasownika *to burst* - "rozbłyskać"; w języku polskim najczęściej używa się angielskiego określenia w oryginalnej pisowni (jak w niniejszej książce) lub w wersji spolszczonej: berster; spotyka się również polski odpowiednik: błyskacz (przyp. tłum.).

Broń laserowa na przestrzeni dziejów

Marzenie o wykorzystaniu wiązek energii wcale nie jest nowe - ma swoje korzenie w starożytnej tradycji i mitologii. Grecki bóg Zeus słynął z tego, że raził śmiertelników piorunami. Nordycki bóg Thor miał magiczny młot Mjollnir, ciskający gromami i błyskawicami, a hinduski bóg Indra strzelał wiązkami energii z magicznej włóczni.

Idea wykorzystania promieni jako praktycznej broni narodziła się prawdopodobnie wraz z pracami wielkiego greckiego matematyka Archimedesesa, największego chyba uczonego starożytności, który już dwa tysiące lat temu, na długo przed Newtonem i Leibnizem, odkrył prostą odmianę rachunku różniczkowego. W jednej z bitew w czasie drugiej wojny punickiej w 214 roku p.n.e. Archimedes pomagał bronić Syrakuz przed wojskami rzymskiego generała Marka Klaudiusza Marcellusa. Według legendy skonstruował wtedy olbrzymią baterię reflektorów słonecznych, za pomocą których podpalał okręty wroga, ogniskując promienie słoneczne na ich żaglach. (Ciągłe trwa dyskusja, nawet wśród dzisiejszych uczonych, czy była to praktycznie działająca broń wykorzystująca wiązki promieni; wiele grup uczonych z różnymi skutkami próbowało powtórzyć ten wyczyn).

Działa wykorzystujące promieniowanie wkroczyły na scenę fantastyki naukowej w 1889 roku wraz z klasyczną powieścią H.G. Wellsa *Wojna światów*, w której obcy z Marsa niszczą całe miasta, strzelając wiązkami energii cieplnej z dział zamontowanych na trójnogich machinach. W czasie II wojny światowej naziści, zawsze chętni, by użyć do podboju świata najnowszych zdobyczy techniki, eksperymentowali z różnymi rodzajami dział wykorzystujących promieniowanie, nawet z bronią dźwiękową, w której zastosowano zwierciadła paraboliczne do skupiania fal dźwiękowych w wiązki o dużym natężeniu⁸.

Broń wykorzystująca zogniskowane wiązki promieni świetlnych pojawiła się w naszej zbiorowej wyobraźni wraz z filmem *Goldfinger*, jedną z opowieści o przygodach Jamesa Bonda, pierwszym hollywoodzkim obrazem, w którym pojawił się laser. (W jednej ze scen legendarny brytyjski szpieg był przywiązany do metalowego stołu, a potężna wiązka promieni laserowych, topiąc stół powoli przesuwająca się w górę i wydawało się, że za chwilę przetnie agenta 007 na pół)⁹.

Fizycy z początku naśmiewali się z pomysłu opisanych w powieści Wellsa dział wykorzystujących promieniowanie, ponieważ stały one w sprzeczności z prawami optyki. Zgodnie z równaniami Maxwella, światło, które widzimy wokół siebie, szybko się rozprasza i jest niespójne (to znaczy, jest mieszanką fal o różnych częstotliwościach i fazach). Kiedyś sądzono, że nie jest możliwe uzyskanie spójnych, zogniskowanych, jednorodnych wiązek promieni światła, takich jak te

⁸ Hitlerowcy wysłali również zespół badawczy do Indii w celu zbadania pewnych starożytnych opowieści z hinduskiej mitologii (podobnie jak w scenariuszu *Poszukiwaczy zaginionej Arki*). Interesowała ich treść Mahabharaty, w której znaleźć można opis dziwnych, potężnych broni, z latającymi statkami włącznie.

⁹ Tego typu filmy przyczyniły się do rozpowszechnienia kilku błędnych wyobrażeń, jeśli chodzi o lasery. W rzeczywistości wiązki laserowe są niewidzialne, można je zobaczyć jedynie wtedy, gdy zostaną rozproszone przez cząsteczki powietrza. Zatem, gdy w filmie *Mission Impossible* Tom Cruise musiał lawirować w labiryncie wiązek laserowych, powinny one być niewidzialne, nie czerwone. Podobnie jest z pokazywanymi w wielu filmach starciami z wykorzystaniem broni laserowej, w trakcie których widać, jak rozbłyśki laserowe

wytwarzane przez dzisiejsze lasery.

Rewolucja kwantowa

Wszystko to uległo zmianie wraz z pojawieniem się teorii kwantowej. Na początku XX wieku stało się jasne, że chociaż prawa Newtona i Maxwella doskonale sobie radzą z wyjaśnianiem ruchu planet i zachowania światła, nie mogą wytłumaczyć całej grupy innych zjawisk. Absolutnie nie potrafiły wyjaśnić, dlaczego substancje przewodzą prąd elektryczny, dlaczego metale topią się w określonych temperaturach, dlaczego gazy po ogrzaniu emitują światło, dlaczego pewne substancje stają się w niskich temperaturach nadprzewodnikami - wszystkie te kwestie wymagały zrozumienia wewnętrznej dynamiki atomów. Był już najwyższy czas na rewolucję. Bliskie było obalenie panującej od dwustu pięćdziesięciu lat fizyki newtonowskiej i ogłoszenie bolesnych narodzin nowej fizyki.

W roku 1900 w Niemczech Max Planck wysunął postulat, że energia nie jest ciągła, jak uważał Newton, ale występuje w niewielkich, oddzielnych paczkach, zwanych kwantami. Następnie w 1905 roku Einstein stwierdził, że światło również składa się z takich małych paczek (kwantów), później nazwanych fotonami. Posługując się tą potężną, choć prostą ideą, Einsteinowi udało się wyjaśnić efekt fotoelektryczny, czyli wytłumaczyć, dlaczego oświetlone metale emitują elektrony. Dzisiaj wykorzystanie efektu fotoelektrycznego i pojęcia fotonów umożliwia działanie telewizorów, laserów, fotoogniw i wielu innych nowoczesnych urządzeń elektronicznych. (Wysunięta przez Einsteina teoria fotonu była tak rewolucyjna, że nawet Max Planck, zwykle wielki zwolennik Einsteina, nie mógł z początku w nią uwierzyć. Pisząc o Einsteinie, Planck powiedział: "To, że czasami się myli [...] jak na przykład w przypadku jego hipotezy kwantów światła, naprawdę nie powinno być wykorzystywane przeciwko niemu"¹⁰).

Później, w 1913 roku, duński fizyk Niels Bohr przedstawił całkowicie nowy obraz atomu, przypominający miniaturowy Układ Słoneczny. W przeciwieństwie jednak do Układu Słonecznego istniejącego w przestrzeni kosmicznej, elektrony mogą poruszać się wokół jądra atomowego jedynie po określonych orbitach, inaczej powłokach. Gdy elektrony przeskakują z jednej powłoki na drugą o niższej energii, emitują foton promieniowania. Gdy natomiast elektron absorbuje foton, skacze na wyższą powłokę o większej energii.

Wraz z pojawieniem się mechaniki kwantowej i rewolucyjnych prac Erwina Schrödingera, Wernera Heisenberga i wielu innych, w 1925 roku ukształtowała się niemal pełna teoria atomu. Zgodnie z teorią kwantową elektron jest cząstką, ale ma również związaną z nim falę, dzięki czemu przejawia własności zarówno cząstki, jak i fali. Fala zachowuje się zgodnie z równaniem zwanym równaniem falowym Schrödingera, które pozwala wyznaczyć własności atomów, włącznie ze wszystkimi przeskokami postulowanymi przez Bohra.

Przed 1925 rokiem atomy wciąż jeszcze były uważane za tajemnicze obiekty, które zdaniem

mkną na drugi koniec pokoju - jest to niemożliwe, ponieważ światło lasera porusza się z prędkością światła, czyli 300 000 kilometrów na sekundę.

wielu, na przykład filozofa Ernsta Macha, prawdopodobnie w ogóle nie istnieją. Po 1925 roku możliwe stało się zajrzenie głęboko w dynamikę atomu i przewidywanie jego własności. Choć to zadziwiające, oznaczało to, że gdybyśmy dysponowali wystarczająco potężnym komputerem, z praw teorii kwantowej moglibyśmy wyprowadzić własności pierwiastków chemicznych. Tak samo jak fizycy newtonowscy mogliby wyznaczyć ruch wszystkich ciał niebieskich Wszechświata, gdyby tylko mieli odpowiednio duże urządzenie obliczeniowe, podobnie fizycy kwantowi uważali, że mogą w zasadzie wyznaczyć wszystkie własności pierwiastków chemicznych Wszechświata. Gdybyśmy mieli dostęp do wystarczająco potężnego komputera, moglibyśmy również obliczyć funkcję falową całej istoty ludzkiej.

Masery i lasery

W 1953 roku profesor Charles Townes z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley wraz z kolegami wytworzył pierwszą w historii spójną wiązkę promieniowania w zakresie mikrofal. Urządzenie do jego wytwarzania nazwano maserem (od określenia: *microwave amplification through stimulated emission of radiation* - wzmacnianie mikrofal za pomocą wymuszonej emisji promieniowania). Profesor Townes, Nikołaj Basow i Aleksander Prochorow otrzymają w końcu za swoje prace Nagrodę Nobla w 1964 roku. Wyniki ich prac szybko zastosowano również do światła widzialnego, co doprowadziło do narodzin lasera. (Fazer natomiast jest fikcyjnym urządzeniem spopularyzowanym przez serial *Star Trek*).

Budowę lasera trzeba zacząć od przygotowania specjalnego ośrodka czynnego, z którego będą emitowane promienie lasera - może to być specjalny gaz, kryształ lub dioda. Następnie należy wpompować do tego ośrodka energię z zewnątrz, wykorzystując elektryczność, fale radiowe, światło lub reakcję chemiczną. Taki nagły dopływ energii wzbudza atomy ośrodka, ich elektrony absorbują dostarczoną energię i przeskakują na zewnętrzne powłoki elektronowe.

W takim wzbudzonym stanie ośrodek czynny jest niestabilny. Jeżeli wówczas przepuścimy przez niego promień światła, fotony uderzające w atomy spowodują ich gwałtowny powrót na niższy poziom energetyczny, czemu towarzyszy uwolnienie jeszcze większej liczby fotonów. To z kolei zmusi kolejne elektrony do emisji fotonów, prowadząc w końcu do reakcji łańcuchowej, w której obniżające swój poziom energetyczny atomy uwalniają nagle do wiązki biliony bilionów fotonów. Kluczowe w tym wszystkim jest to, że w przypadku niektórych substancji, gdy dochodzi do powstania takiej lawiny fotonów, wszystkie one drgają zgodnie jednym rytmem, czyli są spójne.

(Wyobraźmy sobie klocki domina ułożone w jednej linii. Znajdują się one w najniższym stanie energetycznym, gdy leżą płasko na stole. Klocki domina w wysokoenergetycznym, wzbudzonym stanie stoją pionowo - można je wtedy przyrównać do wzbudzonych atomów. Jeżeli popchniemy jeden klocek, spowodujemy nagle uwolnienie całej energii, jak w przypadku wiązki laserowej).

Do akcji laserowej może dochodzić tylko w niektórych substancjach, to znaczy jedynie w przypadku szczególnych materiałów fotony emitowane przez wzbudzone atomy są spójne z

¹⁰ I. Asimov, J.A. Shulman (red.), *Isaac Asimov's Book of Science and Nature Quotations*, Weidenfeld and

fotonami, które uderzając wcześniej w atom, zainicjowały cały proces. W wyniku takiej spójności w tym zalewie fotonów, wszystkie one drgają jednakowo, tworząc wiązkę laserową cienką jak ołówek. (W przeciwieństwie do tego, co zwykle się uważać, wiązka laserowa nie będzie zawsze tak samo cienka. Jeżeli wystrzelimy wiązkę laserową na przykład w kierunku Księżyca, będzie się ona stopniowo rozszerzać, aż w końcu utworzy na jego powierzchni plamę o średnicy kilku kilometrów).

Prosty laser gazowy składa się z rury wypełnionej helem lub neonem. Gdy przez taką rurę przepuszcza się prąd elektryczny, atomy gazu zwiększają swoją energię. Następnie, kiedy cała ta energia zostaje nagle jednocześnie uwolniona, powstaje wiązka spójnego światła. Wiązkę wzmacnia się za pomocą dwóch lusterek umieszczonych na obu przeciwległych końcach tak, że promienie odbijają się od nich, krążąc tam i z powrotem. Jedno z lusterek jest całkowicie nieprzepuszczalne, drugie natomiast umożliwia za każdym razem wydostanie się na zewnątrz niewielkiej ilości światła i w efekcie z tego końca rury wystrzeliwuje wiązka laserowa.

Obecnie lasery można znaleźć praktycznie wszędzie, od czytników kodów kreskowych w kasie sklepu na rogu, po włókna optyczne przesyłające dane przez Internet, drukarki laserowe, odtwarzacze płyt CD i nowoczesne komputery. Korzysta się z nich również w chirurgii oka, podczas usuwania tatuaży, a nawet w salonach kosmetycznych. W 2004 roku sprzedano na całym świecie lasery za sumę ponad 5,4 miliarda dolarów.

Rodzaje laserów

Niemal każdego dnia konstruuje się nowe lasery dzięki odkryciom nowych substancji, w których zachodzi akcja laserowa, i nowych sposobów włączania energii do ośrodka.

Rodzi się pytanie, czy którakolwiek z tych technik jest odpowiednia do zbudowania działa laserowego lub miecza świetlnego? Czy możliwe jest skonstruowanie lasera tak silnego, że mógłby zasilac Gwiazdę Śmierci? Obecnie istnieje zadziwiająca różnorodność laserów, różniących się wykorzystywanym materiałem tworzącym ośrodek czynny i rodzajem energii pompowanej do tego ośrodka (na przykład elektryczność, wiązki światła o dużym natężeniu, a nawet wybuchy chemiczne). Zaliczają się do nich:

- *Lasery gazowe.* W tej grupie znajdują się bardzo popularne lasery helowo-neonowe wytwarzające znaną wszystkim czerwoną wiązkę. Zasilane są falami radiowymi lub elektrycznością. Lasery helowo-neonowe są dosyć słabe, lecz gazowe lasery na dwutlenku węgla można już wykorzystać w przemyśle ciężkim do wysadzania, cięcia i spawania - mogą one wytwarzać całkowicie niewidzialne wiązki o potężnej mocy.

- *Lasery chemiczne.* Te potężne lasery zasilane są za pomocą reakcji chemicznych, takich jak płonący strumień etylenu lub trójfluorku azotu (NF_3). Takie lasery mają moc nadającą się do zastosowań militarnych. W jednostkach powietrznych i lądowych armia amerykańska wykorzystuje lasery chemiczne wytwarzające moc milionów watów. Używa się ich do zestrzeliwania w locie

pocisków krótkiego zasięgu.

- *Lasery ekscymerowe.* Są to lasery również zasilane za pomocą reakcji chemicznych, w których często wykorzystuje się gazy szlachetne (na przykład argon, krypton czy ksenon) i fluor lub chlor. Wytwarzają światło ultrafioletowe i można je stosować w przemyśle elektronicznym do wypalania w płytce półprzewodnikowej miniaturowych tranzystorów, albo w wymagających precyzji operacjach oczu wykonywanych metodą LASIK.

- *Lasery na ciele stałym.* W pierwszym skonstruowanym laserze ośrodek stanowił kryształ rubinu, czyli korund z domieszką chromu. Akcja laserowa może zachodzić w wielu rodzajach kryształów z domieszkami itru, holmu, tulu i innych substancji chemicznych. Mogą one wytwarzać trwające niezwykle krótko rozbłyski wysokoenergetycznego światła laserowego.

- *Lasery półprzewodnikowe.* Powszechnie stosowane w przemyśle półprzewodnikowym diody mogą wytwarzać wiązki o dużym natężeniu, które wykorzystuje się do cięcia i spawania. Można się również z takimi laserami zetknąć w kasach sklepowych, gdzie są używane do odczytywania kodów kreskowych na towarach.

- *Lasery barwnikowe.* W laserach tych w roli ośrodka wykorzystuje się barwniki organiczne. Są one niezwykle przydatne do wytwarzania ultrakrótkich błysków światła, trwających często zaledwie jedną bilionową sekundy.

Lasery i broń strzelająca wiązkami energii?

Jeśli weźmie się pod uwagę różnorodność wykorzystywanych komercyjnie laserów i moc takich urządzeń używanych w wojsku, rodzi się pytanie, dlaczego na polach bitew nie są jeszcze stosowane karabiny laserowe? Przecież broń strzelająca wiązkami energii różnego rodzaju jest nieodzownym elementem uzbrojenia niemal w każdym filmie fantastycznonaukowym. Dlaczego nie pracuje się nad jej stworzeniem?

Prostą odpowiedzią jest brak odpowiedniego mobilnego zasilania. Taka broń wymagałaby miniaturowego urządzenia zasilającego o mocy potężnej elektrowni, a jednocześnie tak małego, żeby mogło zmieścić się w dłoni. Obecnie jedynym sposobem na uzyskanie dostępu do mocy dużej elektrowni jest jej budowa. Najmniejszym dostępnym urządzeniem wojskowym, zawierającym olbrzymie ilości energii jest miniaturowa bomba wodorowa, która jednak zapewne zniszczyłaby nie tylko cel, ale i posługującą się nią osobę.

Jest jeszcze drugi, dodatkowy problem - stabilność materiału, w którym zachodzi akcja laserowa. Teoretycznie nie ma żadnego ograniczenia na ilość energii, jaką można zgromadzić w laserze. Problem jednak w tym, że materiał laserujący w broni o rozmiarze karabinu nie byłby stabilny. Lasery zbudowane na przykład na bazie kryształu przegrzeją się i pękną, jeżeli wpompuje się w nie za dużo energii. Zatem w celu stworzenia niezwykle silnego lasera, umożliwiającego całkowite zniszczenie obiektu lub unieszkodliwienie wroga, konieczne byłoby posłużenie się energią wybuchu. W takim wypadku stabilność materiału laserującego nie byłaby już ograniczeniem, ponieważ taki laser byłby urządzeniem jednorazowego użytku.

Z powodu problemów z konstrukcją przenośnego urządzenia zasilającego i stabilnego materiału laserującego, obecna technika nie umożliwi stworzenia laserowego pistoletu lub karabinu. Zbudowanie karabinów laserowych byłoby możliwe jedynie pod warunkiem, że będą one podłączone kablem do źródła zasilania. Albo gdyby, wykorzystując nanotechnologię, udało nam się stworzyć miniaturowe baterie przechowujące lub wytwarzające energię wystarczającą do wyprodukowania silnych impulsów potrzebnych w takim przenośnym dziale laserowym. Jak się przekonaliśmy, obecnie nanotechnologia jest jeszcze słabo rozwinięta. Uczonym udało się stworzyć na poziomie atomowym urządzenia, które choć całkiem pomysłowe, są bezużyteczne, takie jak atomowe liczydło czy atomowa gitara. Można jednak przypuszczać, że pod koniec tego stulecia lub w wieku następnym dzięki nanotechnologii będziemy dysponowali miniaturowymi bateriami umożliwiającymi przechowywanie tak olbrzymich ilości energii.

Budowa mieczy świetlnych napotyka podobne problemy. Gdy w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia na ekrany kin weszły *Gwiezdne wojny* i miecze świetlne stały się najmodniejszą zabawką, wielu krytyków wskazywało na to, że takiego urządzenia nigdy nie będzie można skonstruować. Po pierwsze, zestalenie światła nie jest możliwe. Ono zawsze porusza się z prędkością światła; nie można go zmienić w ciało stałe. Po drugie, promienie świetlne nie urywają się nagle po przebyciu kilkudziesięciu centymetrów, tak jak miecze świetlne wykorzystywane w filmie. Promienie światła nigdy się nie zatrzymują; prawdziwy miecz świetlny sięgałby wysoko w niebo.

W rzeczywistości istnieje sposób na skonstruowanie czegoś przypominającego miecz świetlny - w tym celu należy posłużyć się plazmą, czyli zjonizowanym gazem. Plazmę można rozgrzać do tego stopnia, że będzie się żarzyć w ciemności i przecinać stal. Plazmowy miecz świetlny składałby się z cienkiego, pustego w środku pręta wysuwającego się z rękojeści niczym wędka teleskopowa. Do wnętrza takiego pręta uwalniałoby się gorącą plazmę, która wydostawałaby się na zewnątrz niego przez umieszczone regularnie na całej jego długości niewielkie otwory. Wypływająca z rękojeści plazma, przemieszczając się wzdłuż pręta i wydostając się przez otwory na zewnątrz, utworzyłaby długą, żarzącą się rurę niezwykle gorącego gazu, pozwalającą stopić nawet stal. Urządzenie takie nazywa się również czasem palnikiem plazmowym.

Możliwe jest więc stworzenie urządzenia o dużej energii, przypominającego miecz świetlny. Jednak tak jak w przypadku karabinów laserowych, konieczne byłoby skonstruowanie przenośnych urządzeń zasilających o dużej mocy. Albo musielibyśmy zastosować długie kable łączące miecz świetlny z urządzeniem zasilającym, albo trzeba by posłużyć się nanotechnologią do zbudowania niewielkiego zasilacza dostarczającego olbrzymich ilości energii.

Zatem, chociaż karabiny laserowe i miecze świetlne można w pewnej postaci skonstruować już dzisiaj, niewielka broń przenośna tego rodzaju, jaką spotykamy w fantastyce naukowej, przekracza nasze obecne możliwości techniczne. Jednak pod koniec tego stulecia albo w następnym wieku postępy w wytwarzaniu nowych materiałów i rozwój nanotechnologii mogą pozwolić na budowę pistoletów laserowych, co oznacza, że zaliczymy je do niemożliwości typu I.

Energia dla Gwiazdy Śmierci

Aby stworzyć działo laserowe, potrafiące zniszczyć całą planetę i siać postrach w galaktyce, takie jak pokazana w *Gwiezdnych wojnach* Gwiazda Śmierci, konieczne byłoby skonstruowanie najpotężniejszego, jaki sobie można wyobrazić, lasera. Obecnie niektóre z najmocniejszych laserów zbudowanych na Ziemi wykorzystuje się do wytworzenia temperatur spotykanych jedynie we wnętrzu gwiazd. Ich użycie w reaktorach termojądrowych może pewnego dnia pozwolić nam ujarzmić na Ziemi moc gwiazd.

Budując reaktory wykorzystujące reakcję syntezy jądrowej, usiłujemy naśladować zjawiska zachodzące w przestrzeni kosmicznej w chwili narodzin gwiazdy. Gwiazda na początku jest olbrzymią kulą wodoru. W wyniku działania grawitacji gaz jest ściskany, co powoduje wzrost jego temperatury, aż w końcu osiąga ona astronomiczne wartości. Na przykład głęboko we wnętrzu jądra gwiazdy temperatura może osiągać wartość od 50 do 100 milionów stopni Celsjusza, co wystarcza, by jądra wodoru zaczęły na siebie wpadać, tworząc jądro helu i uwalniając pewną ilość energii. Źródłem energii gwiazdy jest właśnie synteza wodoru w hel, w wyniku której niewielka ilość masy zostaje zamieniona w energię, zgodnie ze słynnym równaniem Einsteina $E = mc^2$.

Uczni na dwa sposoby próbują obecnie ujarzmić reakcję syntezy jądrowej na Ziemi. Obydwa jednak w realizacji okazały się trudniejsze, niż się spodziewano.

Uwięzienie inercyjne jako warunek syntezy

Pierwsza metoda nazywana jest inercyjnym uwięzieniem. Wykorzystuje ona najpotężniejsze na Ziemi lasery do wytworzenia w laboratorium kawałka Słońca. Laser bazujący na ciele stałym skonstruowany na szkłe neodymowym doskonale nadaje się do wytworzenia niebotycznej temperatury spotykanej jedynie w jądrach gwiazd. Zbudowane z takich laserów układy mają rozmiar dużej fabryki i składają się z baterii dział wystrzeliwujących serie równoległych wiązek laserowych wzdłuż długiego tunelu. Takie wysokoenergetyczne wiązki laserowe trafiają następnie w grupę niewielkich lusterek ułożonych starannie na sferze; lustra skupiają wiązki laserowe precyzyjnie i jednorodnie na niewielkiej, bogatej w wodór kulce (wykonanej z substancji takiej jak deuterok litu, aktywny składnik bomby wodorowej). Kulka ta ma zwykle rozmiar główki od szpilki i waży zaledwie 10 miligramów.

Błysk światła lasera rozpala kulkę, powodując wyparowanie jej powierzchni i ściśnięcie pozostałej części. Gdy kulka się zapada, powstaje fala uderzeniowa, która dociera do jej środka i powoduje wzrost temperatury do milionów stopni, co wystarcza do przeprowadzenia syntezy jąder wodoru w hel. Powstająca temperatura i ciśnienie są tak wysokie, że zostaje spełnione kryterium Lawsons, to samo kryterium, które musi być spełnione w bombach wodorowych i jądrach gwiazd. (Kryterium Lawsons ustala określony przedział temperatury, gęstości i czasu uwięzienia, który musi zostać osiągnięty, żeby mogła zostać zainicjowana reakcja syntezy jądrowej w bombie wodorowej, gwieżdzie czy w reaktorze termojądrowym).

W procesie uwięzienia inercyjnego uwalniają się olbrzymie ilości energii i neutronów. (Deuterek litu może osiągnąć temperaturę 100 milionów stopni Celsjusza i gęstość dwudziestokrotnie

większą niż ołów). Wyemitowany z wnętrza kulki rozbłysk neutronów uderza w ułożoną w formie sfery warstwę materiału otaczającego komorę i rozgrzewa go do wysokiej temperatury. Rozgrzana otoczka powoduje następnie zagotowanie wody, a uzyskaną w ten sposób parę wykorzystuje się do napędzania turbiny wytwarzającej elektryczność.

Wyzwaniem jest jednak konieczność skupienia i równomiernego rozłożenia tak potężnej mocy na niewielkiej kulce. Pierwszej poważnej próby wywołania laserem reakcji syntezy jądrowej dokonano przy użyciu lasera Shiva, który był układem generującym dwadzieścia wiązek laserowych, zbudowanym i uruchomionym w 1978 roku w Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) w Kalifornii. (Shiva to zapisane po angielsku imię hinduskiego boga Siwy, przedstawianego jako mężczyzna z kilkoma ramionami, co może się kojarzyć z wyglądem tego układu laserowego). Działanie układu laserowego Shiva nie było satysfakcjonujące, ale wystarczyło do potwierdzenia, że zainicjowanie reakcji syntezy jądrowej za pomocą lasera jest technicznie możliwe. Shiva został później zastąpiony przez laser Nova o dziesięciokrotnie większej energii. Jednak również za pomocą tego lasera nie udało się uzyskać odpowiedniego zapłonu kulek materiału bogatego w wodór. Niemniej, przetań on szlak obecnym badaniom, które planuje się zrealizować z wykorzystaniem urządzenia zwanego National Ignition Facility (NIF), którego budowę rozpoczęto w 1997 roku w LLNL.

Planuje się, że NIF rozpocznie działanie w 2009 roku. Jest to urządzenie o monstrualnych rozmiarach, na które składa się bateria 192 wiązek laserowych o olbrzymiej sumarycznej energii wyjściowej, wynoszącej 700 bilionów watów (co jest równoważne skoncentrowaniu w jednym impulsie energii o mocy 700 tysięcy dużych elektrowni jądrowych). NIF jest najbardziej zaawansowanym układem laserowym, jaki kiedykolwiek powstał, zaprojektowanym w celu wywołania pełnego zapłonu bogatych w wodór kulek. (Krytycy wskazują również na jego oczywiste zastosowanie militarne - można go wykorzystać do symulowania wybuchu bomby wodorowej i w ten sposób być może umożliwić stworzenie nowej broni jądrowej - czystej bomby termojądrowej, która do zainicjowania reakcji syntezy nie będzie wymagała uranowej czy plutonowej bomby atomowej).

Lecz nawet NIF - urządzenie do wywoływania syntezy jądrowej za pomocą laserów - zawierające najpotężniejsze na Ziemi lasery, nie może się równać z niszczycielską siłą Gwiazdy Śmierci z *Gwiezdnych wojen*. Aby zbudować takie urządzenia, musimy się rozejrzeć za innymi źródłami energii.

Uwięzienie magnetyczne jako warunek syntezy

Druga metoda, którą uczeni mogliby się posłużyć do zasilenia Gwiazdy Śmierci, zwana jest uwięzieniem magnetycznym - jest to proces, w którym gorąca plazma gazu wodorowego zostaje uwięziona w polu magnetycznym. Metoda ta może się nawet stać podstawą działania prototypu pierwszych komercyjnych reaktorów termojądrowych. Obecnie najbardziej zaawansowanym urządzeniem termojądrowym tego typu jest International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER - międzynarodowy eksperymentalny reaktor termojądrowy). W 2006 roku grupa krajów

(między innymi Unia Europejska, Stany Zjednoczone, Chiny, Japonia, Korea, Rosja i Indie) postanowiła wybudować ITER w Cadarache w południowej Francji. Zgodnie z planami, ITER ma ogrzać gaz wodorowy do temperatury 100 milionów stopni Celsjusza. Może się on stać pierwszym w historii reaktorem termojądrowym, który wytworzy więcej energii niż do niego dostarczono. Ma wytwarzać 500 megawatów mocy przez 500 sekund (aktualny rekord wynosi 16 megawatów przez 1 sekundę). ITER powinien wytworzyć pierwszą plazmę do 2016 roku, a pełną gotowość operacyjną ma osiągnąć w roku 2022. Przedsięwzięcie to kosztuje 12 miliardów dolarów, co czyni je trzecim najdroższym przedsięwzięciem naukowym w historii (po "Projekcie Manhattan" i Międzynarodowej Stacji Kosmicznej).

ITER ma kształt wielkiego torusa, którego powierzchnię oplatają olbrzymie zwoje drutu. W jego wnętrzu krąży gazowy wodór. Zwoje ochładza się do temperatury, w której stają się nadprzewodzące, a wtedy wpompowuje się w nie olbrzymią ilość energii elektrycznej, co powoduje wytworzenie pola magnetycznego pozwalającego utrzymać plazmę wewnątrz torusa. Równocześnie z włączaniem prądu elektrycznego do torusa ogrzewa się gaz do temperatury porównywalnej z temperaturą wnętrza gwiazd.

Uczeni wiążą z projektem ITER tak wielkie nadzieje dlatego, że być może za jego pomocą powstanie tanie źródło energii. Paliwem dla reaktora termojądrowego jest zwykła woda morska, bogata w wodór. Przynajmniej na papierze, synteza jądrowa może dostarczyć nam niewyczerpanego, taniego źródła energii.

Dlaczego więc nie dysponujemy jeszcze reaktorami termojądrowymi? Dlaczego potrzebowaliśmy tak dużo czasu, by poczynić jakieś postępy po szczegółowym rozpracowaniu procesu syntezy jądrowej w latach pięćdziesiątych XX wieku? Ponieważ jednorodne ściśnięcie wodoru okazało się diabelnie trudnym problemem. W gwiazdach grawitacja ściska gazowy wodór w doskonałą kulę tak, że ogrzewa się on równo i czysto.

W wywoływanej za pomocą laserów w NIF syntezie jądrowej koncentryczne wiązki laserowe rozpalające powierzchnię kulki materiału bogatego w wodór muszą być doskonale jednakowe, a uzyskanie takiej jednorodności jest niezwykle trudne. W urządzeniach wykorzystujących uwięzienie magnetyczne posługujemy się polami magnetycznymi, które mają dwa bieguny: północny i południowy - a to oznacza, że równe ściśnięcie gazu w kulę jest niezmiernie skomplikowane. Najlepsze, co możemy zrobić, to wytworzyć pole magnetyczne w kształcie torusa. Lecz ściskanie gazu jest jak ściskanie balonu. Za każdym razem, gdy zgnieciemy jeden koniec balonu, wyrzusi się on w jakimś innym miejscu. Równomierne ściskanie balonu, jednakowo we wszystkich kierunkach, jest trudnym wyzwaniem. Gorący gaz zwykle w końcu wycieka z magnetycznej butelki, styka się ze ścianami reaktora i powoduje zatrzymanie procesu syntezy jądrowej. Dlatego właśnie tak trudno było ścisnąć gazowy wodór przez czas dłuższy niż jedna sekunda.

W przeciwieństwie do używanych obecnie w elektrowniach jądrowych reaktorów wykorzystujących reakcję rozszczepienia, reaktory termojądrowe nie będą wytwarzały olbrzymiej

ilości odpadów radioaktywnych. (Każda tradycyjna elektrownia jądrowa produkuje co roku 30 ton niezmiernie niebezpiecznych odpadów radioaktywnych. Na odpady radioaktywne powstające w wyniku działania reaktorów termojądrowych będzie się składała jedynie napromieniowana stal, która pozostanie po reaktorze, gdy ten zostanie kiedyś wyłączony).

Synteza jądrowa nie rozwiąże całkowicie problemów energetycznych Ziemi w najbliższej przyszłości; Pierre-Gilles de Gennes, francuski fizyk i laureat Nagrody Nobla, stwierdził: "Mówimy, że zamkniemy Słońce w metalowym pudełku. To piękna idea. Problem w tym, że nie wiemy, jak zbudować takie pudełko". Badacze mają jednak nadzieję, że jeśli wszystko się powiedzie, za czterdzieści lat ITER może przetrzeć szlak dla przemysłowego wytwarzania energii z syntezy jądrowej, dzięki której do naszych mieszkań popłynie prąd elektryczny. W przyszłości reaktory termojądrowe mogą zmniejszyć nasze problemy energetyczne, w bezpieczny sposób uwalniając na Ziemi moc Słońca.

Nawet jednak reaktory wykorzystujące uwięzienie magnetyczne nie wytworzą energii wystarczającej do zasilenia broni takiej jak Gwiazda Śmierci. W tym celu potrzebny będzie całkowicie nowy sposób.

Jądrowe lasery rentgenowskie

Jest jeszcze jedna możliwość skonstruowania działa laserowego przypominającego Gwiazdę Śmierci z użyciem znanej nam obecnie techniki - jest nią zastosowanie bomby wodorowej. Bateria laserów, emitujących promieniowanie rentgenowskie, wykorzystująca i ogniskująca moc broni jądrowej, mogłaby teoretycznie wytworzyć dość energii, by stać się podstawą urządzenia mogącego zmienić w popiół całą planetę.

Siła jądrowa uwalnia przy takiej samej ilości materii około 100 milionów razy więcej energii niż reakcja chemiczna. Bryłka wzbogaconego uranu, nie większa od piłki baseballowej, wystarczy do tego, by zmienić całe miasto w ognistą kulę - mimo że zaledwie 1 procent jej masy zostanie przekształcony w energię. Jak wspomnieliśmy, istnieje wiele sposobów pompowania energii do wiązki laserowej. Bez wątplenia najpotężniejszym z nich jest wykorzystanie siły uwolnionej w wyniku wybuchu bomby jądrowej.

Lasery emitujące promieniowanie rentgenowskie mają olbrzymią wartość dla nauki i wojska. Dzięki bardzo małej długości wysyłanej przez nie fali, można je wykorzystać do mierzenia odległości w skalach atomowych i badania struktury atomowej skomplikowanych cząsteczek, co niezwykle trudno osiągnąć przy użyciu zwykłych metod. Możliwość "zobaczenia" atomów w ruchu i ich ułożenia w ramach cząsteczki otwiera przed nami nowe możliwości badania reakcji chemicznych.

Ponieważ bomba wodorowa emituje olbrzymią ilość energii w zakresie promieniowania rentgenowskiego, lasery wysyłające takie promieniowanie można zasilać za pomocą broni jądrowej. Osobą najbardziej kojarzoną z laserami emitującymi promieniowanie rentgenowskie jest fizyk Edward Teller, ojciec bomby wodorowej.

Jest to oczywiście ten sam Teller, który w latach pięćdziesiątych XX wieku, zeznając przed

Kongresem, stwierdził, że Robertowi Oppenheimerowi, stojącemu na czele "Projektu Manhattan", nie można z powodów politycznych ufać ani zezwolić na dalszą pracę przy budowie bomby wodorowej. Zeznania Tellera doprowadziły do tego, że Oppenheimer popadł w niełaskę i pozbawiono go możliwości pracy w projektach objętych tajemnicą; wielu wybitnych fizyków nigdy tego Tellerowi nie wybaczyło.

(Moje osobiste kontakty z Tellerem rozpoczęły się, gdy byłem jeszcze w szkole średniej. Przeprowadziłem wtedy serię eksperymentów dotyczących natury antymaterii, dzięki którym zdobyłem główną nagrodę na zorganizowanym w San Francisco festiwalu nauki i mogłem wziąć udział w Narodowym Świątku Nauki w Albuquerque w stanie Nowy Meksyk. Wystąpiłem wtedy w lokalnej stacji telewizyjnej razem z Tellerem, który bardzo się interesował młodymi zdolnymi fizykami. Ostatecznie zdobyłem przyznawane przez Tellera stypendium Fundacji imienia Hertza (Hertz Engineering Scholarship), dzięki któremu mogłem opłacić studia na Harvardzie. Poznałem również dosyć dobrze jego rodzinę, ponieważ kilka razy w roku odwiedzałem go w jego domu w Berkeley).

Zasadniczo laser rentgenowski Tellera jest niewielką bombą jądrową otoczoną miedzianymi prętami. Wybuch bomby wyzwala sferyczną falę uderzeniową silnego promieniowania rentgenowskiego. Te wysokoenergetyczne promienie przechodzą następnie przez miedziane pręty, które spełniają rolę materiału laserującego i skupiają moc promieni rentgenowskich w potężne wiązki. Wytworzone w taki sposób wiązki promieniowania rentgenowskiego można by następnie skierować na głowice jądrowe wroga. Oczywiście takim urządzeniem można by się posłużyć tylko raz, ponieważ wybuch jądrowy spowoduje samounicestwienie lasera rentgenowskiego.

Pierwsze próby z zasilanym jądrowo laserem rentgenowskim przeprowadzono w 1983 roku w podziemnym szybie. Nadano im kryptonim "Cabra". W wyniku zdetonowania bomby wodorowej powstało niespójne promieniowanie rentgenowskie, które następnie skupiono w spójną wiązkę laserową. Początkowo ogłoszono, że próba zakończyła się sukcesem i w 1983 roku zainspirowała ona nawet prezydenta Ronalda Reagana do ogłoszenia w trakcie jego historycznego przemówienia pomysłu zbudowania tarczy obronnej w ramach programu "Gwiezdných Wojen". W ten sposób uruchomiono trwające do dziś działania, których koszt wyniósł wiele miliardów dolarów, a których celem jest zbudowanie sieci urządzeń, takich jak zasilany jądrowo laser rentgenowski, pozwalających zestrzelić wroga międzykontynentalne pociski balistyczne. (Późniejsze dochodzenie wykazało, że detektor, którym przeprowadzano pomiary w trakcie eksperymentu "Cabra", został zniszczony; oznaczało to, że nie można ufać podawanym przez niego wartościom).

Czy takie kontrowersyjne urządzenie rzeczywiście umożliwi obecnie zestrzelenie pocisków międzykontynentalnych? Być może. Jednak wróg mógłby się posłużyć różnymi prostymi, niedrogimi sposobami zneutralizowania takiej broni (na przykład w celu oszukania radaru mógłby wystrzelić miliony tanich atrap lub wprawić głowice jądrowe w ruch wirowy, powodując rozproszenie promieni rentgenowskich; albo pokryć pociski substancją chemiczną chroniącą przed

takim promieniowaniem). Mógłby też po prostu produkować pociski na skalę masową, dzięki czemu w końcu przebiłby się przez tarczę ochronną programu "Gwiezdných Wojen".

Zatem zasilany jądrowo laser rentgenowski nie jest urządzeniem nadającym się do wykorzystania jako system obrony przed pociskami balistycznymi. Ale czy możliwe byłoby stworzenie Gwiazdy Śmierci, którą można by zniszczyć nadlatującą asteroidę lub unicestwić całą planetę?

Fizyka Gwiazdy Śmierci

Czy można skonstruować broń umożliwiającą zniszczenie całej planety, tak jak w *Gwiezdných wojnach*? Teoretycznie odpowiedź brzmi: tak. Jest kilka sposobów zbudowania takiej broni.

Przede wszystkim nie istnieje żadne fizyczne ograniczenie na ilość energii, którą można uwolnić w wyniku wybuchu bomby wodorowej. Działa to w następujący sposób. (Szczegółowe informacje dotyczące bomby wodorowej wciąż są utajnione i objęte przez amerykański rząd klauzulą ściśle tajne, ale ogólne zasady jej działania są powszechnie znane). Bomba wodorowa jest w rzeczywistości zbudowana z kilkufazowego ładunku. Poprzez odpowiednie powiązanie ze sobą poszczególnych faz można w zasadzie wyprodukować bombę o dowolnie dużej sile rażenia.

Pierwszą fazę stanowi standardowy ładunek jądrowy wykorzystujący reakcję rozszczepienia uranu-239 do wytworzenia rozbłysku promieniowania rentgenowskiego, podobnie jak było to w bombie zrzuconej na Hiroszimę. Na ułamek sekundy przed momentem, w którym wybuch atomowy wszystko zniszczy, rozszerzająca się sfera promieniowania rentgenowskiego wyprzedza falę uderzeniową (w końcu porusza się z prędkością światła) i zostaje ponownie zogniskowana na pojemniku z deuterkiem litu - substancją czynną bomby wodorowej. (Dokładne wyjaśnienie, jak udaje się do tego doprowadzić, w dalszym ciągu jest objęte tajemnicą). Uderzające w deuterki litu promieniowanie rentgenowskie powoduje jego zapadnięcie się i rozgrzanie do milionów stopni, doprowadzając w ten sposób do drugiego wybuchu, znacznie potężniejszego niż poprzedni. Wybuch promieniowania rentgenowskiego z takiej bomby wodorowej można również ponownie zogniskować na drugim ładunku deuterku litu, doprowadzając do trzeciej eksplozji. W ten sposób można by upakować obok siebie wiele ładunków deuterku litu i skonstruować bombę termojądrową o niewyobrażalnej sile rażenia. Największą bombą wodorową, jaką kiedykolwiek w rzeczywistości zbudowano, była dwufazowa bomba termojądrowa zdetonowana przez Związek Radziecki w 1961 roku - uwolniła ona energię równoważną 50 milionom ton trotylu, chociaż teoretycznie można było uzyskać wybuch o sile ponad 100 milionów ton (czyli około pięciu tysięcy razy większej od wybuchu bomby, która zniszczyła Hiroszimę).

Jednak zniszczenie całej planety wymagałoby użycia czegoś znacznie potężniejszego. Aby tego dokonać, Gwiazda Śmierci musiałaby wyemitować w przestrzeń kosmiczną tysiące takich rentgenowskich wiązek laserowych i do tego wszystkie musiałyby zostać wystrzelone jednocześnie. (Dla porównania, w apogeum zimnej wojny Stany Zjednoczone i Związek Radziecki miały po około 30 tysięcy bomb jądrowych). Całkowita energia tak olbrzymiej liczby laserów rentgenowskich wystarczyłaby już do zwęglenia powierzchni planety. Zatem Imperium Galaktyczne

przyszłości, odległej o setki tysięcy lat, bez wątpienia będzie mogło taką broń skonstruować.

Bardzo zaawansowana cywilizacja ma również drugą możliwość: może stworzyć Gwiazdę Śmierci, używając energii bursterów promieniowania gamma. Taka broń mogłaby uwolnić impuls promieniowania porównywalny jedynie z Wielkim Wybuchem. Burstery promieniowania gamma występują w sposób naturalny w kosmosie, można więc sobie wyobrazić, że zaawansowanej cywilizacji uda się wykorzystać ich olbrzymią moc. Gdyby udało się sterować ruchem obrotowym gwiazdy na długo przed tym, zanim dojdzie do jej kolapsu i wybuchu hipernowej, można by wycelować burster promieniowania gamma w dowolny punkt przestrzeni kosmicznej.

Burstery promieniowania gamma

Burstery promieniowania gamma zaobserwowano po raz pierwszy w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia, gdy armia amerykańska wystrzeliła satelitę Vela do wykrywania rozbłysków jądrowych (świadczących o tajnej detonacji bomby jądrowej). Zamiast jednak wykrywać wybuchy jądrowe, satelita Vela zaobserwował olbrzymie rozbłyski promieniowania w kosmosie. Początkowo odkrycie to wywołało panikę w Pentagonie: czy Sowieci testują w przestrzeni kosmicznej nowy rodzaj broni jądrowej? Później ustalono, że rozbłyski te dobiegają jednorodnie ze wszystkich kierunków nieba, co oznacza, że pochodzą spoza Drogi Mlecznej. Lecz jeśli ich źródło znajduje się poza Galaktyką, muszą one uwalniać astronomiczne ilości energii, wystarczające do rozświetlenia całego widzialnego Wszechświata.

Gdy w 1990 roku rozpadł się Związek Radziecki, Pentagon zdjął nagle klauzulę tajności z olbrzymiej ilości danych astronomicznych, wprost zalewając nimi uczonych. Astronomowie uświadomili sobie wtedy, że mają przed sobą nowe, tajemnicze zjawisko, które spowoduje, że podręczniki trzeba będzie pisać od początku.

Ponieważ burstery promieniowania gamma są aktywne jedynie od kilku sekund do kilku minut, a potem znikają, aby je zaobserwować i przeanalizować potrzebny jest skomplikowany układ czujników. Obserwacje prowadzi się w ten sposób, że najpierw satelity wykrywają początkowy rozbłysk promieniowania i przesyłają na Ziemię dokładne współrzędne burstera. Odebrane informacje przekazuje się następnie do teleskopów optycznych lub radioteleskopów, które nakierowują się dokładnie na położenie burstera promieniowania gamma.

Chociaż wiele szczegółów wciąż wymaga wyjaśnienia, jedna z teorii na temat pochodzenia błysków promieniowania gamma głosi, że są to gwiazdy hipernowe o olbrzymiej sile, pozostawiające po sobie masywne czarne dziury. Wydaje się, że burstery promieniowania gamma są gigantycznymi czarnymi dziurami w trakcie formowania się.

Czarne dziury emitują dwa dżety promieniowania, jeden z bieguna północnego, drugi z południowego, niczym wirujący bąk. Sądzymy, że obserwowane promieniowanie odległego burstera gamma pochodzi z jednego z takich dżetów, skierowanego akurat w stronę Ziemi. Gdyby dżety burstera były wycelowane w kierunku Ziemi, a one same znajdowały się w sąsiedztwie naszej Galaktyki (kilkaset lat świetlnych od Ziemi), ich moc wystarczyłaby do zniszczenia wszelkiego życia na naszej planecie.

Najpierw burster promieniowania gamma wysłałby impuls promieniowania rentgenowskiego, które wytworzyłoby falę elektromagnetyczną, powodującą zniszczenie wszystkich urządzeń elektronicznych na Ziemi. Emitowane przez potężne wiązki promieniowania gamma i rentgenowskiego uszkodziłyby atmosferę naszej planety i zniszczyły ochronną warstwę ozonową. Następnie dżet burstera spowodowałby wzrost temperatury na powierzchni Ziemi, wywołując potężne pożogi, które ogarnęłyby całą planetę. Burster promieniowania gamma być może nie spowodowałby rozerwania całej planety, jak w *Gwiezdnych wojnach*, ale bez wątpienia zniszczyłby wszelkie życie, pozostawiając po sobie spaloną, jałową planetę.

Można sobie wyobrazić, że cywilizacja wyprzedzająca nas technologicznie o setki tysięcy, a może miliony lat, potrafiłaby wycelować taką czarną dziurę w dowolnie obranym kierunku. Można by to osiągnąć przez zmianę toru ruchu planet i gwiazd neutronowych, i precyzyjne skierowanie ich w stronę umierającej gwiazdy na krótko przed jej kolapsem. Takie odchylenie mogłoby wystarczyć do zmiany osi obrotu gwiazdy i wycelowania jej w określonym kierunku. Taka umierająca gwiazda byłaby największym działem laserowym, jakie sobie można wyobrazić.

Podsumowując: wykorzystanie potężnych laserów do stworzenia ręcznej broni laserowej i mieczy świetlnych można uznać za niemożliwość typu I - coś możliwego do osiągnięcia w bliskiej przyszłości, może w ciągu stulecia. Lecz największe wyzwanie, jakim jest wycelowanie wirującej gwiazdy przed jej przekształceniem się w czarną dziurę i stworzenie z niej w ten sposób Gwiazdy Śmierci, należy zaliczyć do niemożliwości typu II - do grupy pomysłów, które bez wątpienia nie są sprzeczne z prawami fizyki (takie burstery promieniowania gamma rzeczywiście istnieją), ale ich zrealizowanie może stać się możliwe dopiero za tysiące albo miliony lat.

Rozdział 4

TELEPORTACJA

To cudownie, że natrafiliśmy na paradoks. W końcu pojawiła się nadzieja, że dokonamy jakichś postępów.

- Niels Bohr

Nie mogę zmienić praw fizyki, Kapitanie!

- Scotty, główny mechanik w serialu Star Trek

Teleportacja, czyli umiejętność natychmiastowego przeniesienia osoby lub obiektu z jednego miejsca w inne, jest techniką, która mogłaby zmienić bieg rozwoju cywilizacji i losy narodów. Mogłaby zrewolucjonizować zasady prowadzenia wojen: armie mogłyby teleportować oddziały wojska za linię wroga albo po prostu teleportować i pojmać dowódców wrogiej armii. Nasze obecne środki transportu - od samochodów i statków po samoloty i linie kolejowe oraz wszystkie związane z nimi rozbudowane gałęzie przemysłu stałyby się bezużyteczne; po prostu teleportowalibyśmy się do pracy i w ten sam sposób przesyłalibyśmy towary do sklepów. Wakacje przestałyby się już kojarzyć z męczącą podróżą, ponieważ w mgnieniu oka przenosilibyśmy się do wybranego przez nas miejsca. Teleportacja zmieniłaby wszystko.

Najwcześniejsze wzmianki o teleportacji można odnaleźć w tekstach religijnych takich jak Biblia, w których duchy przenoszą ludzi w odległe miejsca¹¹. Następujący fragment Dziejów Apostolskich z Nowego Testamentu wydaje się sugerować, że Filip został teleportowany z Gazy do Azotu: "A kiedy wyszli z wody, Duch Pański porwał Filipa i dworzaniek już nigdy go nie widział. Jechał zaś z radością swoją drogą. A Filip znalazł się w Azocie i głosił Ewangelię od miasta do miasta, aż dotarł do Cezarei" (Dz 8, 39-40)¹².

Teleportacja jest również stałym elementem repertuaru sztuczek i iluzji każdego magika: na przykład wyciąganie królika z kapelusza, kart z rękawa i monet zza uszu widzów. W jednej z najambitniejszych sztuczek magicznych ostatnich lat sprzed oczu zdumionej publiczności zniknął cały słoń. W tym pokazie olbrzymiego słońca, ważącego wiele ton, wprowadzono do klatki, Potem, za dotknięciem różdżki magika, słoń nagle zniknął, co wywołało zadziwienie zgromadzonej publiczności. (Oczywiście słoń nie zniknął. W sztuczce posłużono się lustrami. Za każdym prętem klatki umieszczono długie, cienkie pionowe paski lustra. Każdy z nich można było obracać wokół pręta, jak drzwi na zawiasach. Na początku przedstawienia wszystkie pionowe paski luster były

¹¹ Najlepiej udokumentowany przypadek teleportacji wydarzył się 24 października 1593 roku, gdy Gil Perez, strażnik pałacowy armii filipińskiej, pilnujący bezpieczeństwa gubernatora Manili, pojawił się nagle na Plaza Mayor w mieście Meksyk. Oszolomiony i zdeorientowany Perez został aresztowany przez meksykańskie władze, które sądziły, że jest on w zмовie z szatanem. Gdy postawiono go przed Trybunałem Najświętszej Inkwizycji, potrafił jedynie powiedzieć na swoją obronę, że przeniósł się z Manili do Meksyku "w czasie krótszym niż pianie koguta". (Chociaż historyczne świadectwa tego wydarzenia mogą się wydawać niesamowite, historyk Mike Dash zwraca uwagę na fakt, że najwcześniejsze zapiski dotyczące zniknięcia Pereza sporządzono sto lat po tym fakcie i dlatego nie można im w pełni ufać).

schowane za prętami klatki, nie można ich było zobaczyć i słoń był widoczny. Lecz gdy lustra obrócono o 45 stopni w kierunku widowni, słoń zniknął, a publiczność wpatrywała się w odbicie obrazu boku klatki).

Teleportacja i fantastyka naukowa

Teleportacja po raz pierwszy pojawiła się w fantastyce naukowej w opowiadaniu Page'a Mitchella *The Man Without a Body* (Człowiek bez ciała) wydanym w 1877 roku. W opowieści tej pewnemu uczonemu udało się rozłożyć na atomy kota i przesłać je drutem telegraficznym. Niestety, gdy uczone próbował teleportować samego siebie, padło zasilanie. Jedyne jego głowa zdążyła się poprawnie przemieścić.

Teleportacja fascynowała sir Arthura Conan Doyle'a, najbardziej znanego z opowieści o Sherlocku Holmesie. Po latach pisania kryminałów i opowiadań miał już dość serii o Sherlocku Holmesie i w końcu pozbył się swojego detektywa, każąc mu wykonać śmiertelny skok razem z profesorem Moriartym w otchłań wodospadu. Jednak sprzeciw czytelników był tak gwałtowny, że Doyle poczuł się zmuszony wskrzesić detektywa. Skoro Sherlocka Holmesa nie udało mu się pozbyć, Doyle postanowił stworzyć całkiem nową serię, z profesorem Challengerem w roli głównej, który był odpowiednikiem Holmesa. Obydwaj mieli szybki umysł i bystre oko do rozwiązywania zagadek. Jednak podczas gdy Holmes do rozwikłania skomplikowanych spraw wykorzystywał zimną logikę i dedukcję, profesor Challenger badał mroczny świat duchowości i zjawisk paranormalnych, z teleportacją włącznie. W opowiadaniu *Groźna maszyna* z 1927 roku profesor spotyka dżentelmena, który wynalazł maszynę pozwalającą na rozłożenie człowieka na atomy i poskładanie go ponownie w całość w innym miejscu. Profesora Challengeera przeraża jednak to, że według samego wynalazcy urządzenie to w nieodpowiednich rękach, za naciśnięciem guzika, mogłoby spowodować zniknięcie całych miast z milionami zamieszkujących je ludzi. Wtedy profesor, wykorzystując maszynę, rozkłada wynalazcę na atomy i opuszcza laboratorium, nie składając go ponownie w całość¹³.

W trochę bliższych nam czasach teleportację odkryło Hollywood. W filmie pod tytułem *Mucha* z 1958 roku widzowie na własne oczy mogli zobaczyć, co może się wydarzyć w przypadku problemów w trakcie teleportacji. W czasie udanej teleportacji z jednego końca pokoju na drugi atomy teleportowanego uczonego mieszają się z atomami muchy, która przypadkowo znalazła się

¹² *Biblia Tysiąclecia*, wydanie W, Wydawnictwo Pallottinum, Poznań 2003.

¹³ Wczesne dzieła Doyle'a cechuje metodyczny, logiczny sposób myślenia, typowy dla kogoś zajmującego się medycyną, którego przykładem może być wspaniała dedukcja Sherlocka Holmesa. Dlaczego więc Doyle zdecydował się na całkowite porzucenie zimnej, racjonalnej logiki Holmesa na rzecz nieuporządkowanych, wstrząsających przygód profesora Challengeera, zgłębiającego zakazane światy mistycyzmu, okultyzmu i granic nauki?

Pisarz bardzo się zmienił, ponieważ w czasie I wojny światowej nagle i nieoczekiwanie stracił kilku bliskich krewnych, wśród nich swojego ukochanego syna Kingsleya, brata, dwóch szwagrów i dwóch bratanków. Śmierć bliskich osób odcisnęła na jego psychice głębokie emocjonalne piętno. Zrozpaczony po ich stracie, Doyle uległ trwającej już do końca życia fascynacji światem okultyzmu, wierząc być może, że dzięki spirytualizmowi uda mu się porozumieć ze zmarłymi. Nagle przeniósł się ze świata racjonalnej medycyny sądowej w świat mistycyzmu i zaczął wygłaszać na całym świecie słynne wykłady o niewyjaśnionych zjawiskach parapsychologicznych.

w komorze teleportacyjnej. W efekcie uczony zmienia się w dziwnie zmutowanego potwora - pół człowieka, pół muchę. (Nowszą wersję tego filmu nakręcono w 1986 roku; w głównej roli wystąpił wówczas Jeff Goldblum). Teleportacja stała się istotnym elementem kultury masowej za sprawą serialu *Star Trek*. Gene Roddenberry, twórca *Star Treka*, zdecydował się na wprowadzenie do filmu teleportacji, ponieważ budżet studia Paramount nie pozwalał na realizację kosztownych efektów specjalnych koniecznych do pokazania startów i lądowań rakiet na odległych planetach. Znacznie tańszym rozwiązaniem było przesłanie całej załogi "Enterprise" na miejsce przeznaczenia wiązką teleportacyjną.

Z czasem uczeni zgłosili wiele zastrzeżeń do pokazanej w filmie teleportacji. Aby kogoś teleportować, musimy znać dokładne położenie każdego atomu jego ciała, co jest pogwałceniem zasady nieoznaczoności Heisenberga (zgodnie z którą nie można dokładnie znać jednocześnie położenia i prędkości cząstki). Producenci serialu *Star Trek*, ulegając krytykom, wprowadzili do komory teleportacyjnej "kompensatory Heisenberga", jak gdyby można było obejść prawa fizyki kwantowej przez dodanie do transportera nowego gadżetu. Jak się jednak niedawno okazało, decyzja o konieczności wprowadzenia kompensatorów mogła być przedwczesna. Być może pierwsi krytycy filmu i uczeni byli w błędzie.

Teleportacja a teoria kwantowa

W świetle teorii newtonowskiej teleportacja jest całkowicie niemożliwa. Prawa Newtona opierają się na idei, że materia zbudowana jest z niewielkich, twardych kul bilardowych. Ciała nie poruszają się, dopóki nie zostaną popchnięte; ciała nie znikają nagle w jednym miejscu, by pojawić się w innym.

Jednak w teorii kwantowej tak właśnie zachowują się cząstki. Prawa Newtona, które panowały niepodzielnie przez 250 lat, obalono w 1925 roku, gdy Werner Heisenberg i Erwin Schrödinger wraz z kolegami opracowali teorię kwantową. Badając zadziwiające własności atomów, fizycy ci odkryli, że elektrony zachowują się jak fale i w trakcie swojego pozornie chaotycznego ruchu wewnątrz atomu dokonują kwantowych skoków.

Człowiekiem najbardziej kojarzonym z falami kwantowymi jest wiedeński fizyk Erwin Schrödinger, który zapisał słynne równanie falowe, obecnie noszące jego imię - jedno z najważniejszych równań w całej fizyce i chemii, Na uniwersytetach niejednokrotnie całe kursy poświęcone są rozwiązywaniu jego słynnych równań, a ściany bibliotek fizycznych zapełniają książki traktujące o ich daleko idących konsekwencjach. W zasadzie całą chemię można by sprowadzić do rozwiązań tych równań.

W 1905 roku Einstein wykazał, że fale światła mogą mieć własności cząstek; to znaczy, że można je opisać jako pakiety energii zwane fotonami. Jednak w latach dwudziestych dla Schrödingera coraz bardziej było jasne, że prawdziwe jest również odwrotne stwierdzenie: iż cząstki, takie jak elektrony, mogą zachowywać się jak fale. Ideę tę po raz pierwszy przedstawił francuski fizyk Louis de Broglie, za co otrzymał Nagrodę Nobla. (Zjawisko to demonstrujemy studentom na naszym uniwersytecie. Z katody lampy kineskopowej, podobnej do tej, jakiej używa

się w telewizorach, wystrzelujemy wiązkę elektronów. Elektrony przechodzą następnie przez niewielki otwór, więc można by się spodziewać, że w miejscu, w którym uderzają w ekran, zobaczymy niewielką kropkę. Zamiast tego widzimy jednak koncentryczne, podobne do fal kręgi, jakich można by oczekiwać, gdyby przez otwór przechodziła fala, a nie cząstka punktowa).

Pewnego dnia Schrödinger wygłaszał wykład poświęcony temu dziwnemu zjawisku. Obecny na sali fizyk Peter Debye rzucił mu wyzwanie, pytając: skoro elektrony można opisać za pomocą fal, jak wygląda równanie ich fali?

Od czasu, gdy Newton stworzył rachunek różniczkowy i całkowy, fizycy zwykli opisywać fale za pomocą równań różniczkowych, więc Schrödinger zrozumiał uwagę Debye'a jako pytanie o równanie różniczkowe fal elektronu. W tym samym miesiącu uczony wyjechał na wakacje, a gdy wrócił z wypoczynku, miał już to równanie. Zatem tak samo jak wcześniej Maxwell podchwycił przedstawioną przez Faradaya ideę pola sił i wyprowadził z nich równania światła, tak Schrödinger przyjął korpuskularno-falowy opis de Broglie'a i wyprowadził równania elektronu.

(Historycy nauki musieli zadać sobie trochę trudu, by ustalić, co dokładnie robił Schrödinger w chwili, gdy sformułował swoje słynne równanie, które na zawsze zmieniło krajobraz współczesnej fizyki i chemii. Okazuje się, że uczony był zwolennikiem wolnej miłości i na wakacjach często towarzyszyły mu kochanki i żona. Prowadził nawet szczegółowy dziennik, w którym opisywał swoje liczne podboje, opatrując każde spotkanie notatkami zapisanymi w skomplikowanym kodzie. Historycy uważają obecnie, że w czasie weekendu, gdy dokonał odkrycia, był w willi Herwig w Alpach razem z jedną z przyjaciółek).

Gdy Schrödinger zaczął rozwiązywać swoje równanie dla atomu wodoru, z dużym zdziwieniem stwierdził, że uzyskane poziomy energetyczne wodoru zgadzają się dokładnie z wartościami pracowicie skatalogowanymi dotychczas przez fizyków. Uświadomił sobie wtedy, że stary, nakreślony przez Nielsa Bohra obraz atomu, z elektronami krążącymi wokół jądra (którego używa się jeszcze dzisiaj w książkach i reklamach jako symbolu współczesnej nauki), jest błędny. Te orbity należałoby zastąpić falami otaczającymi jądro.

Praca Schrödingera odbiła się głośnym echem w społeczności fizyków. Nagle fizycy mogli zajrzeć do samego wnętrza atomu, szczegółowo zbadać fale tworzące jego powłoki elektronowe i wyprowadzić dokładne przewidywania poziomów energetycznych, które doskonale zgadzały się z danymi.

Wciąż jednak pozostawało niedające spokoju pytanie, które nadal dręczy fizyków. Skoro elektron opisuje się jako falę, to co faluje? Odpowiedzi na to pytanie udzielił Max Born, stwierdzając, że chodzi w rzeczywistości o fale prawdopodobieństwa. Fale te określają jedynie szanse na znalezienie konkretnego elektronu w danym miejscu i czasie. Innymi słowy, *elektron jest cząstką, ale prawdopodobieństwo znalezienia tej cząstki opisuje fala Schrödingera*. Im większa fala, tym większe szanse na znalezienie cząstki w danym miejscu.

Odkrycia te spowodowały, że nagle przypadek i prawdopodobieństwo znalazły się w samym sercu fizyki, która wcześniej podawała dokładne przewidywania i szczegółowe tory ruchu ciał, od

planet po komety i kule armatnie.

Tę nieokreśloność sformalizował w końcu Heisenberg, przedstawiając zasadę nieoznaczoności, to znaczy ideę, że nie można znać jednocześnie zarówno dokładnej prędkości, jak i położenia elektronu¹⁴. Nie można też znać jego dokładnej energii zmierzonej w danym okresie. Na poziomie kwantowym wszystkie podstawowe prawa zdrowego rozsądku zostają pogwałcone: elektrony mogą zniknąć i pojawiać się w innym miejscu; mogą też być w wielu miejscach jednocześnie.

(Co ciekawe, Einstein, ojciec chrzestny teorii kwantowej, który przyczynił się do wybuchu rewolucji naukowej w 1905 roku, a także Schrödinger, któremu zawdzięczamy funkcję falową, byli przerażeni pojawieniem się przypadkowości w podstawach fizyki. Einstein pisał: "Mechanice kwantowej należy się duży szacunek. Jednak jakiś wewnętrzny głos mówi mi, że nie jest to prawdziwe złoto. Teoria ta wiele nam daje, ale prawie wcale nie zbliża nas do poznania sekretu Staruszka. Przynajmniej jeżeli o mnie chodzi, jestem przekonany, że On nie gra w kości"¹⁵).

Teoria Heisenberga była rewolucyjna i kontrowersyjna - ale działała. To jedno posunięcie pozwoliło fizykom na wyjaśnienie mnóstwa zadziwiających zjawisk, z prawami chemii włącznie. Aby uświadomić moim doktorantom, jak dziwna jest teoria kwantowa, czasami proszę ich, żeby wyliczyli prawdopodobieństwo tego, że atomy ich ciał nagle znikną i pojawią się ponownie po drugiej stronie grubego muru. Zgodnie z fizyką newtonowską taka teleportacja jest niemożliwa, jednak mechanika kwantowa dopuszcza zajście takiego zdarzenia. Zgodnie jednak z uzyskanym wynikiem, na takie wydarzenie trzeba by czekać przez czas dłuższy od wieku Wszechświata. (Gdybyśmy za pomocą komputera wykreślili kształt fali Schrödingera naszego ciała, odkrylibyśmy, że odzwierciedla ona wszystkie jego cechy, tyle tylko, że wykres byłby trochę rozmyty, a niektóre nasze fale rozchodziłyby się we wszystkich kierunkach. Niektóre z nich sięgałyby nawet odległych gwiazd. Istnieje więc znikome prawdopodobieństwo, że pewnego dnia obudzimy się na innej planecie).

Fakt, że elektrony mogą pozornie znajdować się jednocześnie w wielu miejscach, jest podstawą całej chemii. Wiemy, że elektrony krążą wokół jądra atomowego, przypominając miniaturowy Układ Słoneczny. Jednak atomy i układy planetarne są zupełnie odmienne; jeżeli w kosmosie dojdzie do zderzenia dwóch układów planetarnych, ulegną one zniszczeniu, a ich planety zostaną wyrzucone daleko w przestrzeń kosmiczną. Natomiast gdy zderzają się ze sobą dwa atomy, tworzą często całkowicie stabilne cząsteczki, dzieląc się między sobą wspólnymi elektronami. Na lekcjach chemii nauczyciele zwykle przedstawiają taką konfigurację w formie łączącego oba atomy

¹⁴ A dokładniej, zasada nieoznaczoności Heisenberga stwierdza, że nieoznaczoność położenia cząstki pomnożona przez nieoznaczoność jej pędu musi być większa lub równa stałej Plancka podzielonej przez 2Ω ; albo że iloczyn nieoznaczoności energii cząstki i jej czasu musi również być większy lub równy stałej Plancka podzielonej przez 2Ω . Jeżeli przyjmiemy, że stała Plancka jest równa zero, równania te zredukują się do zwykłej teorii Newtonowskiej, w której wszystkie nieoznaczoności są równe zero. Fakt, że nie można znać jednocześnie położenia, pędu, energii i czasu elektronu zainspirował Tryggviego Emilssona do ogłoszenia następującego dowcipu: "Historycy doszli do wniosku, że gdy Heisenberg odkrył zasadę nieoznaczoności, musiał snuć rozważania na temat swojego życia intymnego: gdy miał czas, nie miał energii, a gdy pojawił się pęd, nie mógł ustalić położenia" (cyt. za J. Barrow, *Between Inner Space and Outer Space*, Oxford University Press, Oksford 1999).

¹⁵ Cyt. za: M. Kaku, *Einstein's Cosmos*, Atlas Books, New York 2004.

“rozsmarowanego elektronu” przypominającego piłkę do rugby.

Nauczyciele na lekcjach chemii rzadko jednak mówią uczniom, że w rzeczywistości elektron wcale nie jest “rozsmarowany” między dwoma atomami. Ta “piłka do rugby” przedstawia w rzeczywistości prawdopodobieństwo, że elektron znajduje się w tym samym czasie w wielu miejscach wewnątrz tego obszaru. Innymi słowy, cała chemia, opisująca między innymi cząsteczki tworzące nasze ciała, opiera się na idei, że elektrony mogą być w wielu miejscach jednocześnie i cząsteczki naszych ciał nie rozpadają się właśnie dzięki temu, że atomy dzielą się między sobą elektronami. *Bez praw teorii kwantowej cząsteczki i atomy naszych ciał natychmiast by się rozpadły.*

Douglas Adams wykorzystał tę dziwną i głęboką własność mechaniki kwantowej (polegającą na tym, że istnieje skończone prawdopodobieństwo zajścia nawet najdziwniejszych zdarzeń) w swojej przezabawnej powieści *Autostopem przez Galaktykę*. Potrzebny był mu wygodny sposób podróżowania po Galaktyce, więc wymyślił napęd nieskończonego nieprawdopodobieństwa, który “jest wspaniałą nową metodą pokonywania w ułamku sekundy kolosalnych odległości międzygwiazdnych bez mozolnego przesiadywania w hiperprzestrzeni”¹⁶. Jego urządzenie pozwala dowolnie zmieniać szanse zajścia każdego zdarzenia kwantowego tak, że nawet wysoce nieprawdopodobne zdarzenia stają się częścią codzienności. Jeżeli więc chcemy polecieć do najbliższego układu planetarnego, wystarczy że zmienimy po prostu prawdopodobieństwo tego, że zmaterializujemy się w pobliżu tej gwiazdy i voila! Teleportujemy się tam w mgnieniu oka.

W rzeczywistości skoków kwantowych, do których tak często dochodzi wewnątrz atomów, nie można łatwo uogólnić na większe obiekty, takie jak ludzie, składające się z wielu bilionów atomów. I chociaż elektrony naszych ciał tańczą i skaczą w swojej fantastycznej podróży wokół jąder atomowych, to jednak jest ich tak wiele, że ich ruch się uśrednia. To dlatego, mówiąc ogólnie, na naszym poziomie ciała wydają się twarde i trwałe.

Zatem mimo że teleportacja jest dozwolona na poziomie atomowym, na doświadczenie tych dziwnych efektów w skali makroskopowej musielibyśmy czekać przez czas dłuższy od dotychczasowego wieku Wszechświata. A czy można wykorzystać prawa mechaniki kwantowej do skonstruowania urządzenia umożliwiającego teleportację czegoś na życzenie, niczym w opowieściach fantastycznonaukowych? To dziwne, ale odpowiedź brzmi: tak, do pewnego stopnia.

Doświadczenie EPR

Klucz do kwantowej teleportacji stanowi słynny artykuł z 1935 roku napisany przez Alberta Einsteina i jego kolegów, Borisa Podolsky'ego i Nathana Rosena. Zakrawa na ironię, że autorzy artykułu zaproponowali przeprowadzenie doświadczenia EPR (nazywanego tak od pierwszych liter ich nazwisk), aby raz na zawsze pozbyć się prawdopodobieństw z fizyki. (Rozpaczając nad niezaprzeczalnymi sukcesami doświadczalnymi teorii kwantowej, Einstein napisał: “im więcej

¹⁶ D. Adams, *Autostopem przez Galaktykę*, przeł. R. Wieczorek, Zysk i S-ka, Poznań 1994, s. 93.

sukcesów odnosi teoria kwantowa, tym głupiej wygląda"¹⁷).

Jeżeli dwa elektrony na początku drgają w taki sam sposób (czyli są w stanie określanym jako koherentny), zachowują taką synchronizację, nawet jeżeli rozdzieli je olbrzymia odległość. Mimo że te dwa elektrony mogą być oddalone od siebie o całe lata świetlne, w dalszym ciągu, niczym pępowina, będzie je łączyła niewidzialna fala Schrödingera. Jeżeli coś się przydarzy jednemu z elektronów, ta sama informacja natychmiast zostanie przesłana do drugiego z nich. Idea ta, zwana splątaniem kwantowym, zakłada, że drgające koherentnie cząstki łączy jakiś głęboki związek.

Weźmy dwa koherentne elektrony, drgające w taki sam sposób. Następnie pozwólmy im oddalić się w przeciwnych kierunkach. Każdy elektron przypomina wirujący bąk. Moment pędu każdego elektronu, nazywany spinem, może być skierowany albo do góry, albo w dół. Przyjmijmy, że całkowity spin układu wynosi zero tak, że gdy spin jednego elektronu będzie skierowany do góry, automatycznie będziemy wiedzieli, iż spin drugiego elektronu musi być skierowany w dół. Zgodnie z teorią kwantową, przed wykonaniem pomiaru spin elektronu nie jest skierowany ani do góry, ani w dół, ale istnieje w stanie zawieszenia, w którym ustawiony jest jednocześnie do góry i do dołu.

(W chwili przeprowadzenia pomiaru funkcja falowa ulega redukcji i cząstka przyjmuje określony stan).

Zmierzmy teraz spin jednego z tych elektronów. Powiedzmy, że jest on skierowany w górę. Od razu będziemy wiedzieli, że spin drugiego elektronu skierowany jest w dół. Nawet jeżeli elektrony te dzieli wiele lat świetlnych, od razu w chwili przeprowadzenia pomiaru spinu pierwszego elektronu poznamy spin jego partnera. Tak naprawdę *dowiadamy się tego z prędkością większą od prędkości światła!* Ponieważ te dwa elektrony są splątane, to znaczy ich funkcje falowe drgają jednakowo, łączy je, niczym pępowina, niewidzialna nić. Cokolwiek przydarzy się jednemu z nich, automatycznie wpływa na drugi. (W pewnym sensie oznacza to, że wszystko, co nam się przytrafia, automatycznie wpływa na bieg rzeczy w odległych zakątkach Wszechświata, ponieważ na początku czasu nasze funkcje falowe były ze sobą prawdopodobnie splątane. Można powiedzieć, że istnieje obejmująca również nas sieć splątań, łącząca odległe obszary Wszechświata). Einstein ironicznie nazywał to "prerażającym działaniem na odległość" i, powołując się na to zjawisko, dowodził, że teoria kwantowa jest błędna, dlatego że nic nie może się poruszać szybciej od światła.

W pierwotnym zamyśle Einstein zaprojektował doświadczenie EPR, aby obwieścić śmierć teorii kwantowej. W latach osiemdziesiątych XX wieku Alan Aspect wraz z kolegami przeprowadził ten eksperyment we Francji z wykorzystaniem dwóch detektorów oddalonych od siebie o 13 metrów. Uczeń zmierzył spiny fotonów emitowanych przez atomy wapnia i uzyskane wyniki okazały się doskonale zgodne z teorią kwantową. Najwyraźniej Bóg jednak gra w kości z Wszechświatem.

Czy informacja rzeczywiście rozchodzi się szybciej od światła? Czy Einstein mylił się, twierdząc, że prędkość światła jest górną granicą prędkości w całym Wszechświecie? Niezupełnie. Informacja naprawdę poruszała się szybciej od światła, ale była ona przypadkowa, a zatem bezużyteczna. Za

¹⁷ Cyt. za: I. Asimov, J.A. Shulman, *op. cit.*

pomocą doświadczenia EPR nie można przesłać prawdziwej wiadomości, na przykład alfabetem Morse'a, nawet jeśli informacja będzie podróżowała szybciej od światła.

Wiedza o tym, że spin elektronu po drugiej stronie Wszechświata jest skierowany w dół, jest bezużyteczna. Posługując się tą metodą, nie można przesłać dzisiejszych notowań giełdy. Przyjmijmy, że jeden z naszych znajomych zawsze nosi skarpetki w różnych kolorach, jedną czerwoną, a drugą zieloną, w przypadkowej kolejności. Powiedzmy, że przyjrzelśmy się jednej nodze i zauważyliśmy na niej czerwoną skarpetę. Wtedy będziemy widzieli, szybciej od światła, że druga skarpetka jest zielona. Informacja rzeczywiście została przesłana szybciej od światła, ale jest ona bezużyteczna. W ten sposób nie da się przesłać żadnego sygnału zawierającego nieprzypadkową informację.

Przez lata doświadczenie EPR wykorzystywano jako dowód na całkowite zwycięstwo teorii kwantowej nad jej krytykami, ale była to pusta radość, bez żadnych praktycznych konsekwencji. Aż do niedawna.

Teleportacja kwantowa

Wszystko się zmieniło w 1993 roku, gdy uczeni z IBM, pracujący pod kierunkiem Charlesa Bennetta, wykazali, że teleportowanie obiektów z wykorzystaniem doświadczenia EPR jest fizycznie możliwe, przynajmniej na poziomie atomowym. (Mówiąc dokładniej, wykazali oni, że można teleportować całą informację zawartą w cząstce). Od tego czasu fizykom udało się teleportować fotony, a nawet całe atomy cezu. Za kilkadziesiąt lat uczonym uda się być może przeprowadzić teleportację pierwszej cząsteczki DNA i wirusa¹⁸.

¹⁸ Przyjmijmy na chwilę, że możliwa jest teleportacja obiektów makroskopowych, a nawet ludzi. W takiej sytuacji, gdy przeprowadza się teleportację ciała jakiejś osoby, pojawiają się delikatne filozoficzne i teologiczne pytania na temat istnienia duszy. Jeżeli zostaniemy teleportowani do innego miejsca, czy nasza dusza przeniesie się razem z nami?

Próby zmierzenia się z niektórymi z tych etycznych pytań można znaleźć w książce Jamesa Patricka Kelly'ego *Think Like a Dinosaur* (Myśl jak dinozaur). W tej opowieści pewna kobieta zostaje teleportowana na inną planetę, jednak w trakcie transmisji pojawiają się problemy. Oryginalne ciało, które powinno zostać zniszczone, pozostaje w stanie nienaruszonym i może w pełni wszystko odczuwać. Nagle pojawiają się dwie kopie bohaterki. Oczywiście, gdy kopia zostaje poproszona o wejście do urządzenia teleportacyjnego celem samozniszczenia, odmawia. Prowadzi to do kryzysu, ponieważ dla chłodno myślących obcych, od których ludzie otrzymali kiedyś tę technologię, jest to całkowicie pragmatyczna kwestia doprowadzenia do zrównoważenia równań, podczas gdy kierujący się uczuciami ludzie w większym stopniu współczują bohaterce.

Najczęściej teleportacja w literaturze jest postrzegana jako dar niebios. Jednak w opowiadaniu *Jaunting* Steven King zastanawia się, co by się stało, gdyby z teleportacją wiązały się niebezpieczne efekty uboczne. W przyszłości teleportacja staje się częścią codzienności i jest powszechnie nazywana jauntingiem (*jaunt* - wycieczka). Tuż przed teleportacją na Marsa ojciec opowiada dzieciom interesującą historię jauntingu. Wyjaśnia, że został odkryty przez uczonego, który teleportował myszy i okazało się, że teleportację przeżywały jedynie te z nich, które były pod narkozą. Myszy, które w czasie teleportacji były w pełni świadome, umierały w męczarniach. Dlatego ludziom przed teleportacją standardowo podaje się narkozę. Jedynym człowiekiem, którego teleportowano bez uśpienia, był pewien skazaniec. Obiecano mu ułaskawienie, jeżeli zgodzi się na wzięcie udziału w tym eksperymencie. Jednak po teleportacji doznał potężnego ataku serca, a przed śmiercią zdążył jeszcze tylko powiedzieć: "Tam jest wieczność". Niestety, syn bohatera, słysząc tę fascynującą opowieść, postanawia wstrzymać oddech, żeby w ten sposób nie zasnąć pod narkozą. Dochodzi do tragedii. Po teleportacji całkowicie traci zmysły. Jego włosy stają się zupełnie siwe, a białka oczu żółknie od starości. Ogarnięty szaleństwem usiłuje wydrapać sobie oczy. Tajemnica zostaje wyjaśniona. Materia ulega natychmiastowej teleportacji, ale dla umysłu taka podróż trwa całą wieczność, czas wydaje się nieskończony i człowiek w takiej sytuacji odchodzi od zmysłów.

Teleportacja kwantowa wykorzystuje niektóre z zadziwiających własności doświadczenia EPR. Fizycy rozpoczynają takie eksperymenty z teleportacją od dwóch atomów, *A* i *C*. Powiedzmy, że chcemy przesłać informację z atomu *A* do *C*. Wprowadzamy najpierw trzeci atom, *B*, który od początku jest splątany z *C*, a więc *B* i *C* są koherentne. Następnie atom *A* spotyka się z *B*. *A* skanuje *B* tak, że zawartość informacyjna atomu *A* zostaje przeniesiona do *B*. W wyniku tego *A* i *B* stają się splątane. Ale ponieważ na początku atomy *B* i *C* były ze sobą splątane, informacja z atomu *A* zostaje przeniesiona do *C*. W efekcie atom *A* został teleportowany w atom *C*, to znaczy zawartość informacyjna *A* jest teraz taka sama jak *C*.

Zauważmy, że informacja zawarta w atomie *A* zostaje zniszczona (nie mamy więc po teleportacji dwóch takich samych kopii). To znaczy, że hipotetycznie każdy, kto poddałby się teleportacji, zginąłby w trakcie tego procesu. Natomiast zawartość informacyjna jego ciała pojawiłaby się w innym miejscu. Zauważmy również, że atom *A* nie przemieścił się do miejsca, w którym znajdował się atom *C*. Przeciwnie, to informacja zawarta w *A* (na przykład, jego spin i polaryzacja) zostały przeniesione do *C*. (Nie znaczy to, że atom *A* został rozłożony na części i przesłany w mgnieniu oka w inne miejsce. Oznacza to, że zawartość informacyjna atomu *A* została przesłana do innego atomu *C*).

Od czasu opublikowania informacji o tym osiągnięciu rozpoczęło się ostre współzawodnictwo między różnymi grupami uczonych, próbującymi wyprzedzić konkurentów. Do pierwszego w historii pokazu kwantowej teleportacji z użyciem fotonów światła ultrafioletowego doszło w 1997 roku na uniwersytecie w Innsbrucku. Już w następnym roku badacze z Cal Tech wykonali kolejne, dokładniejsze doświadczenie z teleportacją fotonów.

W 2004 roku fizycy z Uniwersytetu Wiedeńskiego, wykorzystując kabel światłowodowy, przeprowadzili teleportację cząstki światła pod Dunajem, na odległość 600 metrów, ustanawiając tym samym nowy rekord. (Sam kabel miał długość 800 metrów i został rozpięty pod przechodzącym pod Dunajem systemem kanalizacyjnym. Nadajnik stał po jednej stronie rzeki, a odbiornik po drugiej).

Jednym z zarzutów wysuwanych pod adresem tych doświadczeń jest uwaga, że przeprowadza się je na fotonach. Trudno nazwać to wyczynem na miarę fantastyki naukowej. Znaczącym osiągnięciem był więc eksperyment przeprowadzony w 2004 roku, w którym pokazano teleportację nie fotonów, ale atomów, co przybliżyło nas o kolejny krok do bardziej realistycznych urządzeń teleportacyjnych. Fizykom z National Institute of Standards and Technology w Waszyngtonie udało się splątać kwantowo trzy atomy berylu i przenieść własności jednego atomu na inny. Osiągnięcie to było tak ważne, że znalazło się nawet na okładce magazynu "Nature". Innej grupie uczonych udało się również przeprowadzić teleportację atomów wapnia.

W 2006 roku oznajmiono o kolejnym spektakularnym osiągnięciu, po raz pierwszy w historii związanym z obiektem makroskopowym. Fizykom z Instytutu Nielsa Bohra w Kopenhadze i Instytutu Maksa Plancka w Niemczech udało się splątać kwantowo wiązkę światła z gazem atomów cezu - w tym procesie wykorzystano wiele bilionów atomów. Uчени następnie zakodowali

informację w impulsach światła laserowego i pomyślnie przenieśli ją do atomów cezu znajdujących się w odległości około pół metra. "Po raz pierwszy w historii - mówi Eugene Polzik, jeden z badaczy - udało się przeprowadzić teleportację kwantową pomiędzy światłem - nośnikiem informacji - i atomami"¹⁹.

Teleportacja bez splątania

Badania nad teleportacją nabierają coraz szybszego tempa. W 2007 roku byliśmy świadkami jeszcze jednego przełomu. Fizycy przedstawili metodę teleportacji niewymagającą splątania. Przypomnijmy, że splątanie jest najtrudniejszym do spełnienia warunkiem kwantowej teleportacji. Rozwiązanie tego problemu mogłoby ukazać nowe horyzonty.

"Mowa o wiązce około 5000 cząstek, która znika w jednym miejscu i pojawia się gdzieś indziej - stwierdza fizyk Aston Bradley z Australian Research Council Centre of Excellence for Quantum Atom Optics (Centrum Doskonalenia w Kwantowej Optyce Atomowej przy Australijskiej Radzie Naukowej) w Brisbane w Australii, który brał udział w pionierskich pracach nad nową metodą teleportacji²⁰. - Uważamy, że nasz sposób jest bliższy duchowi oryginalnej idei fantastyki naukowej".

W podejściu stosowanym przez niego i jego kolegów wykorzystuje się wiązkę atomów rubidu, przekształca całą jej informację w wiązkę światła, którą przesyła się kablem światłowodowym i następnie w odległym miejscu odtwarza pierwotną wiązkę atomów. Jeżeli uda się potwierdzić stosowalność takiej metody, pozwoli ona na wyeliminowanie największej przeszkody i umożliwi wypracowanie całkowicie nowych sposobów teleportacji coraz większych obiektów.

Aby odróżnić tę nową metodę od teleportacji kwantowej, dr Bradley nazwał ją teleportacją klasyczną. (To trochę mylące, ponieważ również ta metoda jest mocno związana z teorią kwantową, nie wykorzystuje jednak splątania).

Kluczem do tego nowatorskiego rodzaju teleportacji jest nowy stan materii zwany kondensatem Bosego-Einsteina, w skrócie BEC (*Bose Einstein condensate*), będący jedną z najzimniejszych substancji w całym Wszechświecie. W przyrodzie najniższa temperatura występuje w przestrzeni kosmicznej i wynosi 3 K. (Temperatura taka utrzymuje się na skutek resztkowego ciepła pozostałego z Wielkiego Wybuchu, które wciąż wypełnia Wszechświat). BEC ma temperaturę od *jednej milionowej do jednej miliardowej* stopnia powyżej zera bezwzględnego - taką temperaturę można spotkać jedynie w laboratorium.

Gdy ochładza się pewne postaci materii do temperatury bliskiej zera bezwzględnego, ich atomy osiągają najniższy stan energetyczny, tak że wszystkie zaczynają drgać jednakowo i stają się koherentne. Funkcje falowe wszystkich takich atomów nakładają się na siebie i w efekcie BEC w pewnym sensie przypomina olbrzymi superatom, którego wszystkie pojedyncze atomy drgają w identyczny sposób. Ten dziwny stan materii przewidzieli już w 1925 roku Einstein i Satyendra Nath Bose, ale musiało upłynąć siedemdziesiąt lat, zanim w 1995 roku udało się w końcu uzyskać BEC

¹⁹ C. Suplee, *Top 100 Science Stories of 2006*, "Discover Magazine", grudzień 2006, s.35.

w laboratorium MIT (Massachusetts Institute of Technology) i na Uniwersytecie Kolorado.

Oto jak działa urządzenie teleportacyjne wymyślone przez Bradleya i jego kolegów. Wszystko rozpoczyna się od pewnej liczby niezwykle zimnych atomów rubidu, tworzących kondensat Bosego-Einsteina. Uczni kierują w stronę tego kondensatu wiązkę materii (także składającą się z atomów rubidu). Atomy wchodzące w skład wiązki będą dążyły do osiągnięcia najniższej energii, zatem pozbywają się jej nadmiaru poprzez emisję impulsu światła. Światło to przesyła się następnie światłowodem. Należy zauważyć, że ta wiązka światła zawiera całą informację kwantową potrzebną do opisanie pierwotnej wiązki materii (na przykład położenia i prędkości wszystkich jej atomów). W końcu tak przesłana wiązka światła uderza w inny kondensat Bosego-Einsteina, który przekształca ją w pierwotną wiązkę materii.

Ten nowy sposób teleportacji jest niezwykle obiecujący, ponieważ nie wymaga wcześniejszego splątania atomów. Metoda ta ma jednak również wady. Całkowicie zależy od własności kondensatu Bosego-Einsteina, który bardzo trudno wytworzyć w laboratorium. Co więcej, własności BEC są dosyć osobliwe, ponieważ kondensaty zachowują się tak, jak gdyby były jednym gigantycznym atomem. W zasadzie, w kondensacie Bosego-Einsteina zadziwiające efekty kwantowe, widoczne jedynie na poziomie atomowym, można obserwować gołym okiem. Kiedyś uważano, że to niemożliwe.

Bezpośrednim praktycznym zastosowaniem kondensatów Bosego-Einsteina jest skonstruowanie laserów atomowych. Zasada działania laserów opiera się oczywiście na wytworzeniu spójnej wiązki jednakowo drgających fotonów. BEC jest jednak zbiorem jednakowo drgających atomów, zatem możliwe jest wytworzenie całkowicie spójnych wiązek atomów BEC. Innymi słowy, BEC może stać się odpowiednikiem lasera, laserem atomowym, zbudowanym z atomów BEC. Lasery są wykorzystywane komercyjnie, a lasery atomowe mogłyby mieć równie różnorodne zastosowania praktyczne. Ponieważ jednak BEC istnieje jedynie w temperaturze niewiele wyższej od zera bezwzględnego, dziedzina ta będzie zapewne rozwijała się powoli, choć w stałym tempie.

Biorąc pod uwagę poczynione przez nas postępy, kiedy będziemy mogli teleportować samych siebie? Fizycy mają nadzieję, że w najbliższych latach uda im się teleportować złożone cząsteczki. Później, za kilkadziesiąt lat, uda się być może teleportować cząsteczkę DNA lub nawet wirusa. W zasadzie nic nie stoi na przeszkodzie, by teleportować człowieka, jak w filmach fantastycznonaukowych, jednak problemy techniczne, jakie należy pokonać, aby było to możliwe, są olbrzymie. Jedynie w najlepszych laboratoriach fizycznych na świecie można uzyskać koherencję pomiędzy małymi fotonami i pojedynczymi atomami. Uzyskanie koherencji kwantowej obiektów makroskopowych, takich jak ludzie, jeszcze przez długi czas nie będzie wchodziło w grę. Zapewne będzie musiało upłynąć wiele stuleci, a może i więcej czasu, zanim rzeczy znane z codziennego życia będzie można teleportować -jeżeli w ogóle będzie to możliwe.

²⁰ Z. Merali, "New Scientist Magazine", 13 czerwca 2007.

Komputery kwantowe

W ostatecznym rozrachunku los kwantowej teleportacji jest ściśle związany z rozwojem komputerów kwantowych. W obu przypadkach wykorzystuje się tę samą fizykę kwantową i takie same techniki, obie te dziedziny bardzo silnie więc na siebie oddziałują. Komputery kwantowe mogą pewnego dnia zastąpić stojące obecnie na naszych biurkach komputery cyfrowe. Być może nawet przyszłość gospodarki światowej będzie kiedyś zależeć od takich komputerów, istnieje więc olbrzymie zainteresowanie tą techniką. Któregoś dnia Dolina Krzemowa może się zamienić w Pas Rdzy, ponieważ tradycyjna technika zostanie wyparta przez nowe technologie oparte na obliczeniach kwantowych.

Zwyczajne komputery liczą w systemie dwójkowym zer i jedynek, zwanych bitami. Komputery kwantowe są zdecydowanie potężniejsze. Przeprowadzają obliczenia na kubitach, które mogą przyjmować wartości pomiędzy 0 i 1. Wyobraźmy sobie atom umieszczony w polu magnetycznym. Obraca się on niczym bąk, więc jego oś obrotu może być skierowana albo w górę, albo w dół. Zdrowy rozsądek podpowiada nam, że spin atomu może być skierowany albo do góry, albo na dół, ale nigdy nie w obydwu kierunkach jednocześnie. Lecz w dziwnym świecie kwantowym atom opisuje się jako sumę dwóch stanów, sumę atomu o spinie skierowanym w górę i atomu o spinie skierowanym w dół. W niesamowitym świecie kwantów każdy obiekt opisuje się jako sumę wszystkich możliwych stanów. (Jeżeli w taki kwantowy sposób opiszemy duże obiekty, takie jak koty, będziemy musieli dodać funkcję falową żywego kota do funkcji falowej kota martwego, zatem kot nie będzie ani żywy, ani martwy; więcej powiemy na ten temat w rozdziale 13).

Wyobraźmy sobie teraz szereg atomów ze spinami skierowanymi w taki sam sposób, ustawionych w polu magnetycznym. Jeżeli na taki rząd atomów padnie wiązka laserowa, światło odbije się od nich, powodując odwrócenie spinu niektórych z nich. Jeżeli zmierzmy różnicę pomiędzy wejściową i wyjściową wiązką laserową, będzie to równoznaczne z przeprowadzeniem skomplikowanych kwantowych obliczeń uwzględniających zmianę spinu wielu atomów.

Komputery kwantowe wciąż nie wyszły jeszcze z wieku niemowlęcego. Światowym rekordem w obliczeniach kwantowych jest $5 \times 5 = 15$, co raczej nie jest osiągnięciem pozwalającym na przejście roli dzisiejszych superkomputerów. Kwantowa teleportacja i kwantowe komputery mają tę samą fatalną słabość: wymagają utrzymania koherencji dużego zbioru atomów. Gdyby udało się rozwiązać ten problem, byłby to olbrzymi przełom w obydwu dziedzinach.

CIA i inne organizacje wywiadowcze są niezwykle zainteresowane komputerami kwantowymi. Wiele tajnych szyfrów na świecie opiera się na kluczu, który jest bardzo dużą liczbą całkowitą, i umiejętności podzielenia go na liczby pierwsze. Jeżeli klucz jest iloczynem dwóch liczb, z których każda ma długość stu cyfr, cyfrowy komputer może potrzebować ponad stu lat, żeby znaleźć te dwa składniki bez żadnej dodatkowej informacji. Szyfr opierający się na takim kluczu jest w zasadzie obecnie niemożliwy do złamania.

W 1994 roku Peter Shor z Bell Labs (Laboratorium Bella) wykazał jednak, że rozkładanie dużych liczb na czynniki może być igraszką dla komputera kwantowego. Odkrycie to natychmiast

wzbudziło zainteresowanie organizacji wywiadowczych. Komputer kwantowy mógłby w zasadzie złamać wszystkie szyfry świata, wywołując kompletny chaos w technikach zabezpieczeń stosowanych w dzisiejszych systemach komputerowych. Kraj, który jako pierwszy skonstruuje taki komputer, będzie mógł zdobyć najlepiej strzeżone tajemnice innych krajów i organizacji.

Niektórzy uczeni przypuszczają, że w przyszłości również gospodarka światowa może zależeć od komputerów kwantowych. Oczekuje się, że po roku 2020 cyfrowe komputery oparte na krzemie osiągną kres swoich możliwości, jeśli chodzi o zwiększanie mocy obliczeniowej. Jeżeli technika ma się dalej rozwijać, potrzebny będzie nowy typ komputerów dysponujących większą mocą. Inni naukowcy badają możliwości odtworzenia w komputerze kwantowym mocy ludzkiego umysłu.

Stawka jest więc bardzo wysoka. Jeżeli uda się nam rozwiązać problem koherencji, nie tylko sprostamy wyzwaniu opracowania techniki teleportacji, ale także być może dzięki komputerom kwantowym uzyskamy możliwość rozwoju wszelkiego rodzaju rozwiązań technicznych w sposób, który trudno sobie obecnie wyobrazić. Przełom ten jest tak ważny, że powrócimy do tej dyskusji w dalszych rozdziałach.

Jak już wspomnieliśmy, w laboratorium niezwykle trudno jest utrzymać stan koherencji. Najmniejsze drganie może zaburzyć koherencję dwóch atomów i zniszczyć obliczenia. Obecnie mamy duże problemy z utrzymaniem koherencji zaledwie garstki atomów. Atomy początkowo zgodne w fazie ulegają dekoherencji w ciągu nanosekund, a w najlepszym przypadku sekund. Teleportację trzeba przeprowadzić bardzo szybko, zanim rozpocznie się proces dekoherencji atomów, co wprowadza dodatkowe ograniczenia na obliczenia kwantowe i teleportację.

Mimo tych przeciwności, David Deutsch z Uniwersytetu Oksfordzkiego wierzy, że problemy te uda się przezwyciężyć: "Przy odrobinie szczęścia i z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć fizyki teoretycznej, skonstruowanie [komputera kwantowego] może zająć znacznie mniej niż 50 lat [...]. Będzie to całkowicie nowy sposób wykorzystania sił natury"²¹.

Aby zbudować przydatny do czegoś komputer kwantowy, potrzebowalibyśmy setek, a nawet milionów jednakowo drgających atomów - takie wymaganie całkowicie przekracza nasze obecne możliwości. Teleportowanie kapitana Kirka byłoby kolosalnie trudne. Musielibyśmy doprowadzić do splątania kwantowego z bliźniaczą kopią kapitana. Nawet przy użyciu nanotechnologii i zaawansowanych komputerów trudno sobie wyobrazić, jak można by to osiągnąć.

Zatem teleportacja istnieje na poziomie atomowym i być może za kilkadziesiąt lat uda nam się w końcu teleportować złożone cząsteczki, a może nawet związki organiczne. Jednak na teleportację obiektów makroskopowych będziemy musieli poczekać jeszcze kolejnych kilkadziesiąt lat, kilka stuleci albo i dłużej, jeżeli jest ona w ogóle możliwa. Tak więc teleportację złożonych cząsteczek, może nawet wirusa lub żywej komórki, zaliczmy do niemożliwości typu I, które powinny okazać się możliwe jeszcze w tym stuleciu. Jednak opracowanie techniki teleportacji człowieka, chociaż nie jest to sprzeczne z prawami fizyki, może zabrać wiele kolejnych stuleci, przy założeniu, że w ogóle jest możliwe. Ten rodzaj teleportacji zakwalifikowałbym więc do

²¹ D. Deutsch, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 69.

niemożliwości typu II.

Rozdział 5

TELEPATIA

Jeżeli nic cię dzisiaj nie zdziwiło, nie był to specjalnie udany dzień.

- John Wheeler

Jedynie ci, którzy nie obawiają się zmierzyć z absurdem, osiągną coś niemożliwego.

- M.C. Escher

Powieść A.E. van Vogta *Slan* trafnie opisuje olbrzymi potencjał i nasze najczarniejsze obawy związane z mocą telepatii.

Jommy Cross, bohater książki, jest slanem, przedstawicielem wymierającej rasy superinteligentnych telepatów.

Jego rodzice zostali brutalnie zamordowani przez rozwścieczony tłum ludzi, którzy boją się telepatów i pogardzają nimi z powodu olbrzymiej mocy, jaką władają ci, którzy mogą poznać ich osobiste, najintymniejsze myśli. Ludzie tropią slanów bezlitośnie, niczym zwierzęta. Dzięki charakterystycznym wiciom wyrastającym na głowach, łatwo ich zauważyć. W kolejnych rozdziałach książki Jommy próbuje nawiązać kontakt z innymi slanami, którym być może udało się odlecieć w przestrzeń kosmiczną i uciec przed polowaniem na czarownice rozpętanym przez ludzi dążących do całkowitej eksterminacji ich gatunku.

Kiedyś czytanie myśli było uważane za tak ważną umiejętność, że często była ona przypisywana bogom. Jedną z najbardziej podstawowych mocy każdego boga jest właśnie zdolność czytania myśli i odpowiadania w ten sposób na nasze najskrytsze modlitwy. Prawdziwy telepata, który bez żadnych ograniczeń mógłby poznawać myśli, bez trudu stałby się najbogatszym, najpotężniejszym człowiekiem na Ziemi, mógłby bowiem czytać myśli bankierów z Wall Street lub szantażować swoich rywali. Stanowiłby zagrożenie dla bezpieczeństwa rządów. Bez trudu wykradałby najpilniej strzeżone tajemnice państwowe. Tak jak slani, siałby postrach i być może stałby się celem polowań.

Olbrzymia moc prawdziwej telepatii została wyraźnie pokazana w klasycznej serii *Fundacja* Isaaca Asimova, często uznawanej za jeden z największych cykli epickich całej fantastyki naukowej. Rządzącemu od tysięcy lat Imperium Galaktycznemu grozi upadek i popadnięcie w ruinę. Tajne stowarzyszenie uczonych, nazywane Drugą Fundacją, poprzez wykorzystanie skomplikowanych równań dochodzi do wniosku, że Imperium w końcu się rozpadnie i pogrąży cywilizację na trzydzieści tysięcy lat w rozkładzie. Uczeni w oparciu o swoje równania przygotowują skomplikowany plan skrócenia tego okresu rozpadu cywilizacji do zaledwie kilku tysięcy lat. Wtedy jednak dochodzi do nieszczęścia. Rozbudowane równania nie pozwoliły uczonym przewidzieć jednego jedynego zdarzenia, narodzin mutantu zwanego Mułem, który ma zdolność sprawowania władzy nad umysłami na olbrzymie odległości i tym samym może przejąć kontrolę nad Imperium Galaktycznym. Jeżeli tego telepaty nie uda się powstrzymać, Galaktyka będzie skazana na trzydzieści tysięcy lat chaosu i anarchii.

Chociaż w fantastyce naukowej pełno jest niezwykłych opowieści o telepatach, rzeczywistość jest znacznie bardziej przyziemna. Ponieważ myśli są osobiste i niewidzialne, przez całe stulecia szarlatani i oszuści wykorzystywali ludzką naiwność i łatwowierność. Najprostsza sztuczka salonowa wykorzystywana przez magików i jasnowidzów polega na wykorzystaniu podstawionego współnika wmieszanego w publiczność, którego myśli "czyta" osoba na scenie.

Kariery kilku magików i jasnowidzów rozwinęły się dzięki słynnej "sztuczce z kapeluszem", polegającej na tym, że ludzie piszą osobiste wiadomości na skrawkach papieru, które wrzucają do kapelusza. Następnie magik mówi zgromadzonej publiczności, co napisano na każdym pasku papieru, budząc powszechne zadziwienie. Istnieje niezwykle proste wyjaśnienie tej sprytniej sztuczki (zajrzyj do przypisu)²².

W jednym z najsłynniejszych przypadków telepatii nie brał udziału podstawiony współnik, ale zwierzę - Mądry Hans, cudowny koń, który zadziwił publiczność w Europie pod koniec XIX wieku. Mądry Hans potrafił przed zdumioną publicznością przeprowadzać skomplikowane obliczenia matematyczne. Jeżeli na przykład poproszono go, żeby podzielił 48 przez 6, koń uderzał kopytem 8 razy. Mądry Hans potrafił dzielić, mnożyć, dodawać ułamki, literować a nawet rozróżniać wysokość dźwięków. Zwolennicy Mądrego Hansa twierdzili, że albo jest on mądrzejszy od wielu ludzi, albo potrafi telepatycznie czytać ludzkie myśli.

Mądry Hans nie był jednak efektem jakiejś sprytniej sztuczki. O cudownych zdolnościach konia do wykonywania działań arytmetycznych przekonany był nawet jego trener. W 1904 roku poproszono wybitnego psychologa, profesora C. Strumpfa, o zbadanie tego przypadku i nie dostrzegł on żadnego wyraźnego dowodu oszustwa czy potajemnego sygnalizowania koniowi odpowiedzi, co tylko zwiększyło fascynację publiczności Mądrym Hansem. Jednak trzy lata później uczeń Strumpfa, psycholog Oskar Pfungst, przeprowadził bardziej skrupulatne badania i w końcu odkrył sekret Mądrego Hansa. Koń jedynie obserwował subtelne zmiany wyrazu twarzy swojego trenera. Uderzał kopytami tak długo, dopóki wyraz twarzy trenera nie uległ nieznacznej zmianie i wtedy przestawał stukać. Mądry Hans nie potrafił czytać ludzkich myśli ani liczyć; był po prostu uważnym obserwatorem ludzkich twarzy.

Historia odnotowuje również inne zwierzęta obdarzone "zdolnościami telepatycznymi". Już w

²² Niezwykły pokaz telepatii możemy przeprowadzić w czasie przyjęcia. Poprośmy wszystkich uczestników, aby na kawałku papieru zapisali dowolne słowo, złożyli te kartki i umieścili je w kapeluszu. W czasie pokazu naszych zdolności telepatycznych będziemy wyjmować po kolei kartki z kapelusza i jeszcze przed ich rozwinięciem odczytywać głośno zapisane na nich słowa. Widzowie będą zdumieni. Na własne oczy zobaczą dowód na istnienie telepatii. Niektórzy magicy naprawdę zdobyli dzięki tej sztuczce sławę i pieniądze.

(Sekret tego niezwykłego pokazu czytania w myślach jest następujący. Należy wyciągnąć pierwszą kartkę papieru, przeczytać ją bez wypowiadania zapisanego na niej słowa, a głośno oznajmić, że z powodu zamglenia "parapsychofizycznego eteru" mamy trudność z odczytaniem tego napisu. Następnie wyciągamy drugą kartkę papieru, ale na razie jeszcze jej nie rozwijamy. Teraz wypowiadamy głośno słowo, które przeczytaliśmy na pierwszym skrawku papieru. Osoba, która napisała to pierwsze słowo będzie zadziwiona, sądząc, że udało nam się przeczytać napis na drugim, zwiniętym kawałku papieru. Teraz rozwiniemy drugą karteczkę i przeczytajmy po cichu słowo zapisane na niej. Wyciągnijmy trzecią złożoną kartkę i wypowiedzmy głośno słowo odczytane przed chwilą na drugim kawałku papieru, i tak dalej. Za każdym razem, gdy wypowiadamy głośno słowo zapisane na karteczce, odczytujemy napis z poprzedniego kawałka papieru).

1591 roku koń o imieniu Marocco zdobył sławę w Anglii, a swojemu właścicielowi przyniósł fortunę, wybierając osoby spośród publiczności, wskazując litery alfabetu i podając sumaryczną liczbę oczek dwóch kości do gry. Wzbudził w Anglii taką sensację, że Shakespeare unieśmiertnił go w sztuce *Stracone zachody miłości* jako "tańczącego konia".

Również hazardziści potrafią w pewnym ograniczonym zakresie czytać myśli innych ludzi. Gdy człowiek widzi coś przyjemnego, źrenice jego oczu zwykle się rozszerzają. Gdy widzi coś niemiłego (lub gdy przeprowadza obliczenia matematyczne), jego źrenice się kurczą. Hazardziści potrafią odczytywać emocje swoich przeciwników zachowujących twarz pokerzysty, obserwując, czy źrenice ich oczu rozszerzają się, czy kurczą. Z tego właśnie powodu gracze często wkładają ciemne okulary - żeby zasłonić swoje źrenice. Można również skierować na źrenicę oka wiązkę laserową i badając jej odbicie, ustalić dokładnie, gdzie dana osoba patrzy. Dzięki analizie ruchu odbitego światła lasera można stwierdzić, w jaki sposób człowiek omiata wzrokiem obraz. Łącząc ze sobą te dwa podejścia, da się określić reakcję emocjonalną człowieka patrzącego na jakiś obraz, zupełnie bez jego zgody²³.

Badania parapsychologiczne

Pierwsze badania naukowe telepatii i innych zjawisk paranormalnych przeprowadziło Towarzystwo Badań Parapsychologicznych (Society for Psychical Research), założone w Londynie w roku 1882²⁴. (W tym samym roku EW. Myers, członek Towarzystwa, ukuł określenie telepatia mentalna). Na jego czele stały największe osobistości XIX wieku. Działania Towarzystwa, które wciąż istnieje, doprowadziły do zdemaskowania wielu oszustów, jednak często dochodzi w nim do rozdzwieniu między spirytualistami, którzy uparcie wierzą w zjawiska paranormalne, a uczonymi, którzy chcą przeprowadzać bardziej poważne badania naukowe.

Jeden z badaczy związanych z Towarzystwem, dr Joseph Banks Rhine, rozpoczął w 1927 roku pierwsze systematyczne i dokładne badania zjawisk parapsychicznych w Stanach Zjednoczonych, zakładając Instytut Rhine'a (obecnie Rhine Research Center - Centrum Badawcze Rhine'a) na Uniwersytecie Duke'a w Karolinie Północnej²⁵. Przez całe dziesięciolecie razem ze swoją żoną

²³ Stan psychiczny osoby można ogólnie odczytać, śledząc ścieżkę, jaką podąża jej wzrok w czasie oglądania fotografii. Jeżeli na jej gałkę oczną skierujemy odpowiednio cienką wiązkę światła, będziemy mogli obserwować na ścianie obraz wiązki odbitej. Analizując ścieżkę odbitego promienia światła, można dokładnie odtworzyć ruch oka w trakcie oglądania zdjęcia. (Gdy na przykład oglądamy na zdjęciu czyjaś twarz, nasz wzrok najczęściej przesuwa się szybko tam i z powrotem między oczami sfotografowanej osoby, a następnie podąża w kierunku ust i *ponownie* w stronę oczu, zanim w końcu obejmie całe zdjęcie). Obserwując osobę oglądającą zdjęcie, można zmierzyć rozmiar jej źrenic i stwierdzić w ten sposób, czy oglądaniu konkretnego fragmentu zdjęcia towarzyszą myśli przyjemne czy nie. W ten sposób można odczytać stan psychiczny badanej osoby. (Morderca, na przykład, doświadczy silnych emocji w czasie oglądania na zdjęciu miejsca zbrodni, w którym dokładnie znajdowało się ciało ofiary. Tylko morderca i policja je znają).

²⁴ Do Towarzystwa Badań Parapsychologicznych należeli: lord Rayleigh (laureat Nagrody Nobla), sir William Crookes (wynalazca używanej do dziś w elektronice lampy Crookesa), Charles Richet (laureat Nagrody Nobla), amerykański psycholog William James i premier Arthur Balfour. Wśród jego zwolenników znalazły się takie sławy jak: Mark Twain, Arthur Conan Doyle, Alfred Tennyson, Lewis Carroll i Carl Jung.

²⁵ Sir Rhine początkowo chciał zostać pastorem, ale później, w czasie studiów na Uniwersytecie Chicagowskim, zajął się botaniką. Po wysłuchaniu w 1922 roku wykładu Arthura Conan Doyle'a, który jeździł

Louisą przeprowadzał jedne z pierwszych w Stanach Zjednoczonych naukowe doświadczenia dotyczące różnorodnych zjawisk parapsychologicznych, ich wyniki publikował w artykułach recenzowanych przez innych uczonych. To właśnie Rhine w jednej ze swoich książek wprowadził określenie postrzeganie pozazmysłowe, w skrócie ESP (*extrasensory perception*).

Laboratorium Rhine'a określiło standardy badań zjawisk paranormalnych. Teden z jego pracowników, dr Karl Zener, opracował zestaw kart z pięcioma symbolami, obecnie znany jako karty Zenera, wykorzystywanych do badania telepatii. Ogromna większość wyników wykazywała, że nie wykryto absolutnie żadnych dowodów na istnienie telepatii. Jednak wyniki niewielkiej liczby eksperymentów zdawały się wskazywać na słabe, ale wyraźne, korelacje danych, których nie można wyjaśnić, powołując się na czysty przypadek. Problem w tym, że inni badacze często nie mogli powtórzyć tych doświadczeń.

Chociaż Rhine starał się wyrobić sobie opinię rzetelnego badacza, jego reputacja ucierpiała nieco w wyniku spotkania z pewną kłaczą zwaną Lady Wonder. Koń ten potrafił dokonywać niezwykłych wyczynów telepatycznych, takich jak przewracanie klocków z literami alfabetu i układanie w ten sposób słów, które miały na myśli osoby wybrane spośród publiczności. Najwyraźniej Rhine nie słyszał o efekcie Mądrego Hansa. W 1927 roku przeprowadził dokładne badania Lady Wonder i stwierdził: "Pozostaje zatem jedynie wyjaśnienie telepatyczne - wywieranie mentalnego wpływu za pomocą nieznanego procesu. Nie udało się odkryć niczego, co nie zgadzałoby się z takim wnioskiem, a żadna inna wysunięta hipoteza nie zdołała się utrzymać w świetle uzyskanych wyników"²⁶. Później Milbourne Christopher odkrył prawdziwe źródło telepatycznej mocy Lady Wonder: nieznaczne ruchy biczem wykonywane przez jej właściciela. Te niewielkie ruchy bicza podpowiadały Lady Wonder, kiedy należy przerwać uderzanie kopytem. (Nawet jednak po ujawnieniu prawdziwego źródła mocy Lady Wonder, Rhine ciągle wierzył, że ta kłacz rzeczywiście miała zdolności telepatyczne, tylko w jakiś sposób utraciła swoją moc, co spowodowało, że jej właściciel musiał uciec się do sztuczek).

Reputacja Rhine'a legła jednak ostatecznie w gruzach, gdy przechodził na emeryturę. Poszukiwał dla siebie następcy o nieposzlakowanej opinii, który zapewniłby dalsze działanie Instytutu. Jednym z obiecujących kandydatów był doktor Walter Levy, którego Rhine zatrudnił w 1973 roku. Doktor Levy był w swojej dziedzinie wschodzącą gwiazdą. Przedstawił sensacyjne wyniki badań, z których miało wynikać, że myszy potrafią telepatycznie wpływać na generator liczb losowych w komputerze. Jednak podejrzliwi pracownicy laboratorium odkryli, że Levy w tajemnicy zakradał się nocą do laboratorium i zmieniał wyniki badań. Złapano go na gorącym uczynku, w

wtedy po całym kraju z odczytami na temat komunikowania się ze zmarłymi, Rhine'a zafascynowały zjawiska parapsychologiczne. Później przeczytał książkę *The Survival of Man* (Przetrwanie człowieka) sir Olivera Lodge'a na temat rzekomego porozumiewania się ze zmarłymi w czasie seansów spirytystycznych, która jeszcze bardziej podsycała jego zainteresowanie. Był jednak niezadowolony z ówczesnego stanu spirytualizmu - reputacja tej dziedziny była często mocno nadszarpywana przez doniesienia o oszustach i hochsztaplerach. Przeprowadzone przez Rhine'a badania doprowadziły nawet do zdemaskowania pewnego medium, niejaki Margery Crandon, i ujawnienia jej oszustw, co spowodowało, że odwróciło się od niego wielu spirytualistów, między innymi Arthur Conan Doyle.

chwili gdy manipulował przy danych. Dalsze badania wykazały, że myszy nie mają absolutnie żadnych zdolności telepatycznych i doktor Levy musiał w niesławie opuścić Instytut²⁷.

Telepatia i "Gwiezdne Wrota"

Sprawy przyjęły fatalny obrót dla zainteresowania zjawiskami paranormalnymi w okresie apogeum zimnej wojny, gdy przeprowadzano wiele tajnych eksperymentów dotyczących telepatii, sprawowania kontroli nad umysłem i zdalnego widzenia. (Zdalne widzenie polega na "widzeniu" odległych miejsc za pomocą samego umysłu, dzięki czytaniu w umysłach innych ludzi). Pod kryptonimem "Gwiezdne Wrota" kryła się cała seria sponsorowanych przez CIA tajnych badań (takich jak "Smuga Słońca", "Płomień Grilla" i "Pas Środkowy"). Wszystko zaczęło się około roku 1970, gdy CIA doszła do wniosku, że Związek Radziecki wydaje nawet 60 milionów rubli na badania psychotroniczne. Obawiano się, że Rosjanie mogą wykorzystać postrzeganie pozazmysłowe do ustalania położenia amerykańskich okrętów podwodnych i instalacji wojskowych, do wykrywania szpiegów i odczytywania tajnych dokumentów.

CIA przekazała pierwsze środki na badania w roku 1972, a na ich czele stanęli Russell Targ i Harold Puthoff ze Stanford Research Institute (SRI) w Menlo Park. Na początku ich celem było wykształcenie kadry mediów, które potrafiłyby wziąć udział w wojnie parapsychologicznej. W ciągu ponad dwudziestu lat Stany Zjednoczone wydały na "Gwiezdne Wrota" 20 milionów dolarów, a na liście płac widniały nazwiska ponad czterdziestu pracowników, dwudziestu trzech osób obdarzonych zdolnością zdalnego widzenia i trzech mediów.

Dysponując rocznym budżetem pół miliona dolarów, CIA do 1995 roku wykonała setki projektów wywiadowczych, w trakcie których przeprowadzono tysiące sesji zdalnego widzenia. W szczególności media proszono o:

- zlokalizowanie pułkownika Kaddafiego przed bombardowaniem Libii w 1986 roku,
- odnalezienie zapasów plutonu w Korei Północnej w 1994 roku,
- odnalezienie zakładników porwanych przez Czerwone Brygady we Włoszech w 1981 roku,
- zlokalizowanie radzieckiego bombowca Tu-95, który rozbił się nad Afryką.

W 1995 roku CIA poprosiła American Institute for Research (AIR) o ocenę tych programów. AIR zarekomendował ich zakończenie. "Nie istnieją żadne udokumentowane dowody, że miały one jakąkolwiek wartość dla wywiadu" - napisał David Gošlin z AIR.

Zwolennicy programu "Gwiezdne Wrota" chwalili się, że w czasie jego wieloletniej realizacji uzyskali wyniki na poziomie "ośmiu martini" (wnioski tak spektakularne, że aby dojść do siebie, trzeba było wypić osiem martini). Krytycy utrzymywali jednak, że większość sesji zdalnego widzenia dostarczyła jedynie bezwartościowych, nieistotnych informacji, marnując w ten sposób pieniądze podatników, a kilka trafień, które się zdarzyły, było tak mglistych i ogólnikowych, że można by je było zastosować do wielu sytuacji. Przygotowany przez AIR raport stwierdzał, że w

²⁶ J. Randi, *An Encyclopedia of Claims, Frauds, and Hoaxes of Occult and Super-natural*, St. Martin's Press, New York 1995, s. 51.

²⁷ J. Randi, *op.cit.*, s. 143.

największym sukcesie programu "Gwiazdne Wrota" wzięły udział osoby zajmujące się zdalnym widzeniem, które już wcześniej posiadały pewną wiedzę na temat badanej operacji, a zatem na tej podstawie mogły wysuwać sensownie brzmiące przypuszczenia.

Ostatecznie CIA przyznała, że program "Gwiazdne Wrota" w ani jednym przypadku nie dostarczył informacji, która pomogłaby w prowadzeniu działań wywiadowczych i w efekcie program został zarzucony. (Pojawiły się pogłoski, że CIA korzystała z pomocy osób obdarzonych zdolnością zdalnego widzenia do ustalenia miejsca pobytu Saddama Husajna w czasie wojny w Zatoce Perskiej, ale wszystkie te wysiłki zakończyły się niepowodzeniem).

Skanowanie mózgu

W tym samym okresie uczeni zaczęli rozumieć niektóre z mechanizmów fizycznych leżących u podstaw działania mózgu. W XIX wieku podejrzewano, że wewnątrz mózgu przesyłane są sygnały elektryczne. W 1875 roku Richard Caton odkrył, że umieszczone na powierzchni głowy elektrody pozwalają na wykrycie słabych sygnałów elektrycznych wysyłanych przez mózg. Ostatecznie odkrycie to doprowadziło do skonstruowania elektroencefalografu (EEG).

W zasadzie mózg jest przekaźnikiem, w którym myśli przesyłane są pod postacią słabych sygnałów elektrycznych i fal elektromagnetycznych. Jednak próby wykorzystania tych sygnałów do odczytania myśli natrafiają na problemy.

Po pierwsze, sygnały te są niezwykle słabe, rzędu miliwatów. Po drugie, są one nieczytelne, w większości nieodróżnialne od przypadkowego szumu. Na podstawie tego szmeru można ustalić jedynie ogólne informacje na temat naszych myśli. Po trzecie, nasz mózg nie potrafi za pomocą tych sygnałów odbierać podobnych wiadomości z innych mózgów; to znaczy, nie mamy odpowiedniej anteny. I w końcu, nawet gdybyśmy mogli odbierać te słabe sygnały, nie potrafilibyśmy ich odkodować. Nie wydaje się, aby telepatia za pośrednictwem fal radiowych była możliwa przy wykorzystaniu zwykłej newtonowskiej i maxwellowskiej fizyki.

Niektórzy sądzą, że telepatia odbywa się być może za pośrednictwem piątej siły, nazywanej siłą psi. Ale nawet zwolennicy parapsychologii przyznają, że nie mają konkretnych, powtarzalnych dowodów na istnienie takiej siły.

Pozostaje jednak otwarte pytanie: co z telepatią wykorzystującą teorię kwantową?

W ostatnim dziesięcioleciu skonstruowano nowe przyrządy kwantowe, które po raz pierwszy w historii umożliwiają nam obserwowanie mózgu w czasie myślenia. Na czoło tej kwantowej rewolucji wysunęły się możliwości skanowania mózgu za pomocą PET (*positron-emission tomography*, pozytonowej tomografii emisyjnej) i MRI (*magnetic resonance imaging*, obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego). W celu przeprowadzenia badania PET, do krwi pacjenta wprowadza się radioaktywny cukier. Cukier ten gromadzi się w tych częściach mózgu, które są aktywowane w wymagającym energii procesie myślenia. Wprowadzony do organizmu radioaktywny cukier emituje pozytony (antyelektrony), które łatwo można wykryć za pomocą przyrządów. W ten sposób, kreśląc wzór tworzony przez antymaterię w żywym mózgu, można uzyskać wzorce myśli, wydzielając dokładnie konkretne części mózgu biorące udział w danej aktywności.

Urządzenia do MRI działają w taki sam sposób, są jednak znacznie dokładniejsze. Głowę pacjenta umieszcza się wewnątrz silnego pola magnetycznego w kształcie torusa. Pole magnetyczne wymusza ustawienie jąder atomów mózgu równoległe do linii pola. Następnie w kierunku pacjenta zostaje wysłany impuls radiowy powodujący drgania uporządkowanych wcześniej jąder atomowych. Gdy jądra zmieniają swoje ustawienie, emitują możliwe do wykrycia słabe radiowe echo, sygnalizując w ten sposób obecność określonej substancji. Na przykład, aktywność mózgu wiąże się ze zużyciem tlenu, dlatego urządzenie do rezonansu magnetycznego może zaobserwować proces myślenia, wykrywając obecność krwi o dużej zawartości tlenu. Im większe stężenie zawierającej tlen krwi, tym większa aktywność mentalna tej części mózgu. (Obecnie urządzenia do funkcjonalnego magnetycznego rezonansu jądrowego [functional MRI, fMRI] pozwalają zarejestrować w czasie ułamków sekundy obraz niewielkich obszarów mózgu, o średnicy zaledwie milimetra, co oznacza, że nadają się idealnie do śledzenia procesu myślowego żywego mózgu).

Wykrywacze kłamstw w oparciu o MRI

Istnieje możliwość, że dzięki urządzeniom do MRI uczonym uda się kiedyś rozpoznać ogólne kształty myśli w żywym mózgu. Najprostszym sprawdzianem czytania myśli byłoby określenie, czy ktoś kłamie, czy nie.

Według legendy, pierwszy na świecie wykrywacz kłamstw skonstruował wieki temu pewien hinduski kapłan. Umieszczał podejrzanego razem z "magicznym osłem" w zamkniętym pokoju, polecając mu pociągnąć magicznego osła za ogon. Jeżeli osioł przemówi, będzie to oznaczało, że podejrzany kłamie. Jeżeli osioł zachowa milczenie, podejrzany mówi prawdę. (Potajemnie jednak kapłan smarował wcześniej ogon osła sadzą).

Po wyprowadzeniu podejrzanego z pokoju, ten zwykle twierdził, że jest niewinny, ponieważ osioł nie przemówił, gdy go pociągnął za ogon. Wtedy kapłan sprawdzał ręce podejrzanego. Jeżeli były czyste, oznaczało, że kłamie. (Czasami groźba użycia wykrywacza kłamstw jest skuteczniejsza od samego urządzenia).

Pierwszego współczesnego "magicznego osła" skonstruowano w 1913 roku, gdy psycholog William Marston ogłosił wyniki badań ciśnienia krwi ludzi, które okazało się podwyższone, gdy kłamali. (Obserwacja dotycząca ciśnienia krwi znana była już w starożytności - osoba przeprowadzająca przesłuchanie w trakcie zadawania pytań trzymała podejrzanego za rękę). Pomysł ten szybko znalazł swoich zwolenników i wkrótce nawet Departament Obrony stworzył własny Instytut Wariografu (Polygraph Institute).

Z upływem lat stało się jednak jasne, że socjopaci niemający żadnych wyrzutów sumienia z powodu popełnionych czynów mogą oszukać wykrywacz kłamstw. Najstynniejszym przypadkiem tego typu była sprawa podwójnego agenta CIA, Aldricha Amesa, który przyjął od Związku Radzieckiego duże sumy pieniędzy za wydanie wielu agentów amerykańskich na pewną śmierć i przekazanie tajemnic amerykańskiej marynarki wojennej. Przez całe dziesięciolecie Ames bez problemów przechodził w CIA liczne badania na wykrywaczach kłamstw. Podobnie radził sobie

seryjny morderca Gary Ridgway, osławiony Morderca znad Green River, który zamordował pięćdziesiąt kobiet.

W 2003 roku amerykańska Narodowa Akademia Nauk opublikowała druzgocący raport na temat wiarygodności wykrywaczy kłamstw, wymieniając wszystkie sposoby ich oszukiwania i sytuacje mogące prowadzić do uznania niewinnych osób za kłamców.

Ale skoro detektory kłamstw mierzą jedynie poziom zdenerwowania, może należałoby badać sam mózg? Idea badania aktywności mózgu w celu odkrycia kłamstw narodziła się dwadzieścia lat temu, gdy Peter Rosenfeld z Northwestern University zauważył, że zapisy EEG kłamiących w danym momencie osób mają odmienny wzór fal P300 niż osób mówiących prawdę. (Fale P300 często ulegają wzbudzeniu, gdy mózg natrafia na coś nowego lub niezwykłego).

Na pomysł wykorzystania MRI w wykrywaniu kłamstw wpadł Daniel Langleben z Uniwersytetu Stanowego Pensylwanii. W 1999 natrafił na artykuł zawierający informację, że dzieci cierpiące na zaburzenia uwagi nie potrafią kłamać, wiedział jednak z własnego doświadczenia, że to nieprawda; takie dzieci nie mają żadnych problemów z mówieniem kłamstw. "One po prostu mówią, co im przyjdzie do głowy, bez zastanowienia" - zauważa Langleben. Doszedł do wniosku, że gdy mózg ma skłamać, najpierw musi się powstrzymać od powiedzenia prawdy, a dopiero później stworzyć fałszywą odpowiedź. "Gdy świadomie kłamiemy, musimy przechowywać w naszym umyśle również prawdę. Sensowne jest więc założenie, że powinno to się wiązać z większą aktywnością mózgu" - mówi Langleben. Innymi słowy, kłamanie to ciężka praca.

Dzięki eksperymentom z udziałem studentów, których proszono, by kłamali, Langleben wkrótce odkrył, że rozmijanie się z prawdą powoduje wzrost aktywności mózgu w kilku obszarach, między innymi w płacie czołowym (gdzie koncentrują się bardziej skomplikowane procesy myślowe), płacie skroniowym i w układzie limbicznym (w którym przetwarzane są emocje). W szczególności zauważył niezwykle aktywność w przedniej części zakrętu obręczy (obszar ten prawdopodobnie uczestniczy w rozwiązywaniu konfliktów i hamowaniu reakcji)²⁸.

Utrzymuje, że w badaniach przeprowadzanych w trakcie kontrolowanych doświadczeń mających na celu stwierdzenie, czy badana osoba kłamie, czy nie (na przykład proszono studentów, żeby nie mówili prawdy, opisując kartę do gry, którą właśnie mieli przed oczami), udało mu się osiągnąć mniej więcej stały odsetek trafnych przewidywań, na poziomie 99 procent.

Zainteresowanie tą techniką jest tak duże, że powstały dwie firmy oferujące komercyjnie tego typu usługi. W 2007 roku jedna z nich, No Lie MRI, podjęła się pierwszego zlecenia - chodziło o mężczyznę, który pozwał do sądu firmę ubezpieczeniową, ponieważ ta twierdziła, że sam z rozmysłem podpalił swój sklep. (Badanie fMRI potwierdziło, że mężczyzna ten nie był podpalaczem).

Zwolennicy techniki Langlebena twierdzą, że jest to znacznie wiarygodniejsze rozwiązanie niż staromodny wykrywacz kłamstw, ponieważ ludzie nie potrafią sprawować kontroli nad obrazem mózgu. Można się do pewnego stopnia nauczyć panować nad tętnem i poceniem, natomiast nie

²⁸ "San Francisco Chronicle", 26 listopada 2001.

jest możliwe wpływanie na obraz mózgu powstający w czasie jego skanowania. Zwolennicy wskazują, że w epoce rosnącej świadomości zagrożenia terroryzmem to rozwiązanie techniczne może uratować mnóstwo istnień ludzkich, pomagając w wykryciu ataków terrorystycznych na Stany Zjednoczone.

Chociaż krytycy nie zaprzeczają, że technika ta najwyraźniej odnosi pewne sukcesy w wykrywaniu kłamstw, wskazują równocześnie, że fMRI w istocie nie wykrywa kłamstw, lecz jedynie wzrost aktywności mózgu osoby, która w danym momencie kłamie. Urządzenie to dałoby fałszywe wyniki na przykład w przypadku osoby mówiącej prawdę, jednocześnie jednak czymś bardzo przerażonej. Badanie fMRI wykryłoby jedynie strach pacjenta, co uznano by za wskazanie, że kłamie. "Istnieje olbrzymia potrzeba opracowania metody na oddzielanie prawdy od oszustwa, a jeżeli nauka ma jakieś zastrzeżenia, tym gorzej dla niej" - ostrzega neurobiolog Steven Hyman z Uniwersytetu Harvarda.

Niektórzy również zwracają uwagę, że prawdziwy wykrywacz kłamstw, jak prawdziwy telepata, mógłby zaburzyć zwykłe relacje międzyludzkie, ponieważ pewien poziom kłamstwa jest "społecznym smarem", pozwalającym, by tryby społeczeństwa sprawnie się obracały. Nasza reputacja mogłaby legnąć w gruzach, gdyby na przykład wykazano, że wszystkie komplementy, które kierowaliśmy pod adresem szefów, przełożonych, małżonków, kochanek i kolegów, były wierutnym kłamstwem. Prawdziwy detektor kłamstw mógłby również ujawnić wszystkie nasze rodzinne sekrety, ukryte uczucia, tłumione pragnienia i tajemne plany. Dziennikarz naukowy David Jones powiedział kiedyś, że prawdziwy wykrywacz kłamstw jest "jak bomba atomowa - najlepiej zachować go jako swego rodzaju broń ostateczną. Gdyby zaczęto go powszechnie stosować w sądach, życie w społeczeństwie stałoby się praktycznie niemożliwe"²⁹.

²⁹ Jeżeli w przyszłości jakaś ograniczona postać telepatii stanie się codziennością, będziemy musieli się zmierzyć również z pewnymi kwestiami prawnymi i moralnymi. W wielu stanach USA nagrywanie czyjejś rozmowy telefonicznej bez pozwolenia rozmówcy jest nielegalne, zatem w przyszłości nielegalna może być też rejestracja obrazu myśli osoby bez jej zgody. Obrońcy praw jednostki mogą również protestować przeciwko odczytywaniu obrazu czyichś myśli bez zgody badanej osoby, bez względu na sytuację. Biorąc pod uwagę to, jak delikatną kwestią są ludzkie myśli, być może nigdy nie zostanie prawnie dozwolone wykorzystanie obrazu myśli jako dowodu w sądzie. W filmie *Raport mniejszości*, w którym główną rolę zagrał Tom Cruise, pojawił się problem etyczny sprowadzający się do pytania, czy można aresztować kogoś za zbrodnię, której ta osoba jeszcze nie popełniła. W przyszłości może się pojawić konieczność rozstrzygnięcia kwestii, czy chęć popełnienia jakiegoś przestępstwa, której dowodem byłby wzór myśli, jest wystarczającym powodem do postawienia danej osoby w stan oskarżenia. Jeżeli ktoś wygłasza pod czyimś adresem groźby, czy będzie to tak samo poważne wykroczenie, jak w przypadku, gdy takie groźby byłyby wyrażone w myślach?

Pojawi się również problem rządów i służb specjalnych, które nie dbając o przestrzeganie jakichkolwiek praw, będą siłą poddawały ludzi procedurze skanowania mózgu. Czy będzie to działanie zgodne z prawem? Czy dozwolone będzie odczytywanie myśli terrorysty w celu poznania jego planów? Czy dopuszczalne będzie wprowadzenie do czyjegoś mózgu fałszywych wspomnień w celu oszukania tej osoby? W filmie *Pamięć absolutna*, w którym główną rolę zagrał Arnold Schwarzenegger, cały czas pojawiają się pytania o to, czy wspomnienia są prawdziwe, czy też zostały wprowadzone z zewnątrz, wpływając nawet na ludzką osobowość.

Kwestie te najprawdopodobniej pozostaną pytaniami czysto hipotetycznymi jeszcze przez najbliższe dziesięciolecia, ale wraz z postępowaniem technicznym nieuchronnie nadejdzie chwila, kiedy te moralne, prawne i społeczne problemy staną się realne. Na szczęście mamy jeszcze mnóstwo czasu, żeby je rozwiązać.

Uniwersalny tłumacz

Niektórzy zasadnie krytykują skanowanie mózgu, ponieważ mimo tych wszystkich spektakularnych jego zdjęć w trakcie myślenia, jest to metoda po prostu za mało finezyjna, by nadawała się do mierzenia pojedynczych, oddzielnych myśli. Prawdopodobnie miliony neuronów wysyłają sygnały, gdy wykonujemy najprostszą czynność umysłową, a fMRI rejestruje tę aktywność jedynie w postaci plamy na ekranie. Pewien psycholog porównał obrazy uzyskane przez skanowanie mózgu do próby zrozumienia w czasie zaciętego meczu futbolowego, co mówi siedząca obok nas osoba. Głos mówiącej do nas osoby ginie w krzyku dobywającym się z gardeł tysięcy kibiców. Na przykład najmniejszy fragment mózgu, który można wiarygodnie zbadać za pomocą fMRI, nazywany jest voxelami. Jednak każdemu voxelowi odpowiada kilka milionów neuronów, czułość urządzeń fMRI nie jest więc wystarczająca do śledzenia pojedynczych myśli.

W fantastyce naukowej pojawia się czasem uniwersalny tłumacz, urządzenie potrafiące czytać myśli jednej osoby i przesyłać je bezpośrednio do umysłu innego człowieka. W niektórych powieściach fantastycznonaukowych kosmici, mający zdolności telepatyczne, umieszczają myśli w naszych umysłach, mimo że nie rozumieją naszego języka. W filmie *Futureworld* z 1976 roku sny pewnej kobiety są wyświetlane w czasie rzeczywistym na ekranie telewizora. W obrazie *Zakochany bez pamięci* z 2004 roku z Jimem Carreym w roli głównej, lekarze ustalają położenie bolesnych wspomnień, by je następnie usunąć.

"Tego rodzaju marzenia ma każdy, kto zajmuje się tą dziedziną - twierdzi John Haynes z Instytutu Maksa Plancka w Lipsku. - Ale jestem przekonany, że aby zbudować takie urządzenie, będziemy musieli rejestrować aktywność pojedynczych neuronów"³⁰.

Ponieważ wykrycie sygnału pojedynczego neuronu obecnie nie wchodzi w rachubę, niektórzy psychologowie próbują zrobić to, co możliwe: zmniejszyć poziom szumu i wyodrębnić wzorce fMRI tworzone przez pojedyncze obiekty. Na przykład może się udać ustalenie wzorców fMRI wywoływanych przez poszczególne słowa i zbudowanie w ten sposób słownika myśli.

Marcelowi A. Justowi z Carnegie-Mellon University udało się określić wzorce fMRI wywoływane przez niewielki, wybrany zbiór przedmiotów (jak narzędzia stolarskie). "Mamy 12 kategorii i z dokładnością 80-90 procent potrafimy określić, o której z nich myśli badana osoba" - twierdzi.

Jego kolega, informatyk Tom Mitchell, wykorzystuje techniki komputerowe, takie jak sieci neuronowe, do rozpoznawania skomplikowanych wzorców mózgu rejestrowanych przez fMRI w czasie przeprowadzania określonych doświadczeń. "Bardzo chciałbym przeprowadzić taki eksperyment, w wyniku którego odkrylibyśmy słowa wywołujące najbardziej wyraźną aktywność mózgu" - mówi.

Lecz nawet jeśli uda nam się utworzyć słownik myśli, wciąż jeszcze będziemy musieli przebyć długą drogę, żeby stworzyć uniwersalnego tłumacza. W przeciwieństwie do uniwersalnego tłumacza, który przesyła myśli bezpośrednio z jednego umysłu do drugiego, oparty na fMRI tłumacz myśli będzie wymagał przeprowadzenia wielu uciążliwych kroków: najpierw konieczne

³⁰ D. Fox, "New Scientist Magazine", 4 maja 2006.

będzie rozpoznanie określonych wzorców fMRI, przetłumaczenie ich na słowa w odpowiednim języku, a następnie wymówienie tych słów do osoby, dla której wykonywane jest tłumaczenie. Pod tym względem urządzenie takie nie miałoby nic wspólnego z łączeniem umysłów opisywanym w *Star Trek* (choćby byłyby bardzo użyteczne dla osób, które przeszły udar mózgu).

Ręczne skanery MRI

Kolejną znaczącą przeszkodą na drodze do stworzenia praktycznej telepatii jest sam rozmiar urządzeń fMRI. Te olbrzymie maszyny kosztują kilka milionów dolarów, zajmują cały pokój i ważą kilka ton. Sercem urządzenia fMRI

jest wielki magnes w kształcie torusa o średnicy kilku metrów, wytwarzający potężne pole magnetyczne osiągające indukcję rzędu kilku tesli. (Pole to jest tak silne, że odnotowano przypadki poważnego zranienia pracowników ekip instalacyjnych w wyniku uderzenia młotkiem i innymi narzędziami, które nagle zaczęły latać w powietrzu, gdy ktoś przypadkowo włączył zasilanie).

Niedawno fizycy Igor Savukov i Michael Romalis z Uniwersytetu Princeton zaproponowali nową technikę, która może w końcu doprowadzić do powstania ręcznych urządzeń MRI i przy okazji być może nawet stukrotnie obniżyć ich cenę. Uczeń ci twierdzą, że olbrzymie magnesy można zastąpić superczułymi magnetometrami atomowymi, za pomocą których można wykryć niewielkie pola magnetyczne.

Najpierw Savukov i Romalis stworzyli czujnik magnetyczny, wykorzystując do tego gorące opary potasu w gazowym helu. Następnie posługując się światłem laserowym, ustawili jednakowo spiny elektronów potasu. Potem w słabym polu magnetycznym umieścili próbkę wody (symulującą ludzkie ciało), by w końcu przepuścić przez nią impuls radiowy wywołujący drgania cząsteczek wody. Powstałe w wyniku tych drgań echo wywołało również drgania atomów potasu, co można było wykryć za pomocą drugiego lasera. Uzyskali niezwykle istotny wynik: nawet słabe pole magnetyczne powoduje powstanie echa, które można rejestrować specjalnymi czujnikami. Udało im się nie tylko zastąpić gigantyczne pole magnetyczne standardowego urządzenia MRI polem znacznie słabszym, ale zdołali również uzyskać obraz w czasie rzeczywistym (podczas gdy urządzenie MRI może potrzebować nawet dwudziestu minut, by przygotować pojedynczy obraz).

Kiedyś, snując swoją wizję Savukov i Romalis, zrobienie zdjęcia MRI może być tak samo proste jak fotografowanie aparatem cyfrowym. (Istnieją jednak pewne przeszkody. Jedną z nich jest to, że pacjent i samo urządzenie muszą być ekranowani przed przypadkowymi polami magnetycznymi z zewnątrz).

Jeżeli ręczne urządzenia MRI rzeczywiście powstaną, będą mogły być podłączane do niewielkich komputerów, które z kolei będą wyposażone w oprogramowanie potrafiące rozpoznawać pewne kluczowe zwroty, słowa lub zdania. Takie urządzenia nigdy nie będą tak zaawansowane, jak urządzenia telepatyczne opisywane w fantastyce naukowej, mogą jednak być im bliskie³¹.

³¹ Science Daily, www.sciencedaily.com, 9 kwietnia 2005.

Mózg jako sieć neuronowa

Czy to jednak możliwe, żeby jakieś futurystyczne urządzenie MRI potrafiło czytać myśli, słowo po słowie, obraz za obrazem, niczym prawdziwy telepata? Nie jest to zbyt jasne. Niektórzy twierdzą, że urządzenia MRI pozwolą jedynie na obrazowanie niewyraźnych kształtów naszych myśli, ponieważ mózg w żadnym wypadku nie jest komputerem. W komputerze cyfrowym obliczenia są przeprowadzane w określonym miejscu, zgodnie z bardzo sztywnym zbiorem zasad. Komputer taki działa zgodnie z prawami maszyny Turinga, urządzenia wyposażonego w centralną jednostkę obliczeniową (CPU), wejścia i wyjścia. Procesor (na przykład układ scalony Pentium) realizuje określony zestaw operacji na danych wejściowych, wytwarzając w ten sposób dane wyjściowe - "myślenie" odbywa się więc w określonym miejscu, w CPU.

Nasz mózg nie jest jednak cyfrowym komputerem. W mózgu nie ma procesora Pentium, żadnego CPU, systemu operacyjnego Windows ani podprogramów. Jeżeli z komputerowego procesora usuniemy tylko jeden tranzystor, prawdopodobnie przestanie on działać. Znamy jednak udokumentowane przypadki, w których wobec braku połowy mózgu, rolę brakującej części przejęła pozostała połowa.

Ludzki mózg w rzeczywistości bardziej przypomina samouczące się urządzenie, sieć neuronową, która ciągle zmienia swoją budowę w wyniku uczenia się nowych zadań. Badania MRI potwierdziły, że myślenie nie jest zlokalizowane w jednym miejscu mózgu, jak w maszynie Turinga, ale jest to proces obejmujący większą jego część, co jest typową cechą sieci neuronowych. Uzyskane dzięki MRI obrazy pokazują, że myślenie bardzo przypomina grę w ping-ponga, ponieważ różne obszary mózgu na obrazie po kolei się rozjaśniają, zgodnie z rytmem, w jakim aktywność elektryczna obiega mózg.

Ponieważ myśli są tak rozmyte i rozproszone w wielu częściach mózgu, być może uczeni będą mogli jedynie stworzyć słownik myśli, to znaczy ustalić relację jeden do jednego między pewnymi myślami a określonymi wzorami obrazów EEG lub MRI. Austriacki inżynier biomedyk Gert Pfurtscheller na przykład nauczył komputer rozpoznawać określone wzorce pracy mózgu i myśli, skupiając uwagę na falach μ występujących w zapisach EEG. Wydaje się, że fale μ związane są z intencją wywołania pewnych ruchów mięśni. Instruuje on swoich pacjentów, aby podnieśli palec, uśmiechnęli się lub zmarszczyli brwi, a komputer rejestruje, jakie fale μ są wtedy aktywowane. Za każdym razem, gdy pacjent przeprowadza operację myślową, komputer skrzętnie zapisuje wzorzec fal μ . To trudny i uciążliwy proces, ponieważ trzeba ostrożnie odfiltrowywać fałszywe fale, ale w końcu Pfurtschellerowi udało się znaleźć uderzającą zależność między prostymi ruchami a określonymi wzorcami pracy mózgu³².

Za jakiś czas prace te, w połączeniu z wynikami MRI, mogą doprowadzić do utworzenia obszernego słownika myśli. Analizując pewne wzorce w zapisach

EEG i MRI, być może uda się za pomocą komputera ustalić, o czym myśli pacjent, przynajmniej

w ogólnych zarysach. Takie czytanie myśli będzie wymagało ustalenia relacji jeden do jednego między określonymi falami μ i zapisami MRI a określonymi myślami. Wątpliwe jednak, żeby taki słownik umożliwił kiedykolwiek odczytywanie w naszych myślach określonych słów.

Przesyłanie myśli

Jeśli kiedyś stanie się możliwe odczytywanie ogólnych zarysów czyichś myśli, to czy będziemy również potrafili wykonać odwrotną czynność, to znaczy przesłać nasze myśli do głowy innej osoby? Wydaje się, że tak, ale pod pewnymi warunkami. Przesyłając fale radiowe bezpośrednio do ludzkiego mózgu, można wzbudzić określone obszary, odpowiedzialne zgodnie z naszą wiedzą za poszczególne funkcje.

Ta gałąź badań została zainicjowana w latach pięćdziesiątych XX wieku. Kanadyjski neurochirurg Wilder Penfield odkrył wtedy, przeprowadzając zabiegi chirurgiczne na mózgach pacjentów cierpiących na padaczkę, że jeżeli pobudza się elektrodami pewne obszary płata skroniowego, ludzie zaczynają słyszeć głosy i widzieć podobne do duchów zjawy. Psychologowie wcześniej już wiedzieli, że zmiany w mózgu wywołujące padaczkę powodują również występowanie u pacjentów poczucia działania sił nadprzyrodzonych, przeświadczenia, że demony i anioły sprawują władzę nad zachodzącymi wokół nich zdarzeniami. (Niektórzy psychologowie wysuwali nawet hipotezę, że pobudzenie tych obszarów może prowadzić do quasi-mistycznych przeżyć, stanowiących fundament wielu religii. Pojawiły się również przypuszczenia, że być może Joanna d'Arc, która samodzielnie poprowadziła francuskie wojska w zwycięskiej bitwie z Brytyjczykami, cierpiała z powodu takiego uszkodzenia mózgu spowodowanego ciosem w głowę).

Kierując się tymi hipotezami, neurobiolog Michael Persinger z Sudbury w Ontario skonstruował specjalnie okablowany hełm, zaprojektowany w ten sposób, aby przesyłać do mózgu fale radiowe mające wywołać określone myśli i odczucia, takie jak przeżycia religijne. Neurobiolodzy wiedzą, że pewnego rodzaju urazy lewego płata skroniowego mogą wywołać dezorientację lewej półkuli mózgowej, w wyniku której aktywność w prawej półkuli mózgu będzie interpretować jako działalność innego "ja". Takie uszkodzenie może wywołać wrażenie, że w pomieszczeniu przebywa jakiś duch, ponieważ mózgi nie ma świadomości, że ta obecność jest w rzeczywistości inną częścią jego samego. W zależności od wierzeń pacjenta, może on odczuwać to "drugie ja" jako demona, anioła, istotę pozaziemską, a nawet Boga.

W przyszłości być może będziemy potrafili przesyłać sygnały elektromagnetyczne do dobrze określonych części mózgu, o których będziemy wiedzieli, że kontrolują dane funkcje. Kierując takie sygnały do ciała migdałowatego, będziemy może mogli wywołać pewne odczucia. Pobudzając inne obszary mózgu, wywołamy określone obrazy i myśli. Jednak badania w tej dziedzinie są jeszcze na bardzo wczesnym etapie.

³² J. Cavelos, *The Science of Star Wars: An Astrophysicist's Independent Examination of Space Travel, Aliens, Planets, and Robots as Portrayed in the Star Wars Films and Books*, St. Martin's Press, New York 2000, s. 184.

Sporządzanie mapy mózgu

Niektórzy uczeni opowiadają się za uruchomieniem "projektu mapy neuronowej", na wzór Human Genome Project (projektu poznania ludzkiego genomu), dzięki któremu sporządzono mapę wszystkich genów człowieka. Projekt mapy neuronowej polegałby na zlokalizowaniu każdego pojedynczego neuronu ludzkiego mózgu i zaznaczeniu go na trójwymiarowej mapie pokazującej wszystkie połączenia neuronowe. Byłoby to monumentalne przedsięwzięcie, zważywszy że mózg zawiera ponad 100 miliardów neuronów, a każdy pojedynczy neuron jest połączony z tysiącem innych. Gdyby taki projekt został zrealizowany, można sobie wyobrazić, że stałoby się możliwe sporządzenie mapy pokazującej, jak określone myśli pobudzają konkretne ścieżki neuronowe. Informacja ta, w połączeniu ze słownikiem myśli uzyskanym dzięki zapisom MRI i fal EEG, umożliwiłaby prawdopodobnie rozszyfrowanie struktury neuronowej niektórych myśli, czyli określenie, które konkretne neurony są aktywowane w odpowiedzi na poszczególne słowa lub obrazy mentalne. W ten sposób zostałby jednoznacznie określony związek między konkretnymi myślami, ich obrazami MRI a odpowiednimi neuronami, które są aktywowane w celu wytworzenia tej myśli w mózgu.

Pierwszym małym krokiem w tym kierunku było ogłoszenie w 2006 roku przez badaczy z Allen Institute for Brain Science (instytutu powołanego przez współzałożyciela Microsoftu, Paula Allena), że udało im się stworzyć trójwymiarową mapę ekspresji genów w mózgu myszy, zawierającą szczegółowe informacje na temat ekspresji 21 tysięcy genów na poziomie komórkowym. Uczeni ci mają nadzieję na stworzenie podobnego atlasu ludzkiego mózgu. "Ukończony przez Allen Institute projekt stanowi duży krok naprzód na drodze do poznania jednego z wielkich niezbadanych obszarów medycyny - mózgu", mówi Marc Tessier-Lavigne, przewodniczący instytutu. Stworzony atlas będzie niezastąpionym źródłem wiedzy dla każdego, kto zajmie się analizą powiązań neuronowych w ludzkim mózgu, chociaż wiele mu jeszcze brakuje do mapy, jaka powstałaby w wyniku realizacji prawdziwego projektu mapy neuronowej.

Podsumowując, można stwierdzić, że naturalna telepatia, z jaką spotykamy się w powieściach fantazy i fantastycznonaukowych, jest obecnie niemożliwa. Obrazy MRI i zapisy fal EEG można wykorzystać do odczytania jedynie najprostszycy myśli, ponieważ rozchodzą się one w skomplikowany sposób w całym mózgu. Jak jednak te techniki mogą się rozwinać w następnych dziesięcioleciach i stuleciach? Możliwości naukowe badania procesu myślowego na pewno zwiększą się wykładniczo. Wraz ze wzrostem czułości MRI i innych urządzeń badawczych uczeni będą mogli z większą dokładnością ustalać, w jaki sposób mózg kolejno przetwarza myśli i uczucia. Dysponując większą mocą obliczeniową, będziemy zapewne mogli przeanalizować ten zalew danych z większą dokładnością. W słowniku myśli uda się być może skatalogować dużą liczbę wzorców myślowych. Różne wzorce i obrazy MRI będą w słowniku odpowiadały różnym myślom lub uczuciom. Chociaż uzyskanie całkowicie jednoznacznej zależności między wzorcami MRI a myślami pewnie nigdy nie będzie możliwe, słownik mógłby poprawnie określać ogólne myśli na pewne tematy. Wzorce myślowe MRI można by z kolei powiązać z mapą neuronową

pokazującą, które dokładnie neurony są wzbudzone w procesie powstawania określonej myśli w mózgu.

Jednak, ponieważ mózg nie jest komputerem, ale siecią neuronową, gdzie myśli rozchodzą się na całym obszarze, w końcu natrafiamy na poważną przeszkodę: sam mózg. Zatem, mimo że nauka coraz lepiej będzie poznawała mózg w trakcie myślenia, co umożliwi odszyfrowanie niektórych procesów myślowych, nigdy nie będzie możliwe czytanie myśli z pełną precyzją obiecywaną w fantastyce naukowej. Uwzględniając te fakty, zaklasyfikowałbym zdolność odczytywania ogólnych odczuć i wzorców myślowych jako niemożliwość typu I. Umiejętność precyzyjniejszego odczytywania zasad działania mózgu umieściłbym w grupie niemożliwości typu II.

Być może jednak istnieje bardziej bezpośredni sposób wykorzystania olbrzymiej mocy mózgu. Zamiast używać fal radiowych, które są słabe i szybko się rozpraszają, może udałoby się połączenie bezpośrednio do neuronów mózgu? Jeżeli tak, mogłoby to pozwolić na wyzwolenie jeszcze większej mocy: psychokinezy.

Rozdział 6

PSYCHOKINEZA

Nowa prawda naukowa nie zwycięża dlatego, że udaje się przekonać do niej jej przeciwników i spowodować, żeby doznali oświecenia, ale raczej dlatego, że ci przeciwnicy w końcu wymierają i do głosu dochodzi nowe pokolenie, które jest już z nią obeznane.

- Max Planck

Przywilejem głupca jest wypowiedanie prawd, których nikt inny nie głosi.

- Neil Gaiman

Pewnego dnia bogowie spotykają się w niebiosach i narzekają na mizerny stan ludzkości. Mają już dość naszej pychy, głupoty i bezsensownych wybryków. Jeden z bogów lituje się jednak nad ludźmi i postanawia przeprowadzić doświadczenie polegające na obdarzeniu jakiegoś zupełnie zwyczajnego człowieka nieograniczoną mocą. Jak zachowa się człowiek, gdy stanie się bogiem - zastanawiają się.

Tym nieciekawym, przeciętnym człowiekiem jest George Fotheringay, sprzedawca konfekcji męskiej, który nagle odkrywa w sobie boską moc. Potrafi spowodować, że świece unoszą się w powietrzu, woda zmienia kolor, a wspaniałe posiłki pojawiają się znikąd; potrafi nawet wyczarowywać diamenty. Na początku wykorzystuje swoją moc do zabawy i spełniania dobrych uczynków. W końcu jednak opanowuje go pycha i żądza władzy - staje się wszechwładnym tyranem, posiadaczem pałaców i niewyobrażalnych bogactw. Zuchwale rozkazuje Ziemi, by przestała się obracać. Nagle wybucha straszliwy chaos, potężne wichury wyrzucają wszystko w powietrze z prędkością 1600 kilometrów na godzinę, czyli z prędkością ruchu obrotowego Ziemi. Cała ludzkość zostaje wyrzucona w przestrzeń kosmiczną. Zrozpaczony wypowiada swoje ostatnie życzenie: chce, żeby wszystko powróciło do poprzedniego stanu.

Tak wygląda fabuła filmu z 1936 roku *The Man Who Could Work Miracles* (Człowiek, który czynił cuda), opartego na opowiadaniu H.G. Wellsa z 1911 roku. (Późniejszą jego adaptacją był film *Bruce Wszchemogący* z Jimem Carreym w roli głównej). Spośród wszystkich zdolności przypisywanych postrzeganiu pozazmysłowemu, psychokineza - czyli przewaga umysłu nad materią, inaczej zdolność do przesuwania obiektów siłą myśli - jest bez wątpienia najpotężniejsza, w zasadzie równa boskiej mocy. Teza postawiona przez Wellsa w jego opowiadaniu brzmi: boskie moce wymagają również boskiego osądu i mądrości.

Psychokineza często pojawia się w literaturze, a w sposób szczególny w sztuce Shakespeare'a *Burza*, w której czarnoksiężnik Prospero, jego córka Miranda i magiczny duch Ariel przebywają na wygnaniu na bezludnej wyspie, dokąd zostali zesłani w wyniku kłótni z bratem Prospera. Gdy Prospero dowiaduje się, że jego zdradziecki brat będzie przepływał w pobliżu okrętem, żądny zemsty wykorzystuje swoją psychokinetyczną moc i wywołuje potężny sztorm, co doprowadza do rozbicia się okrętu na wyspie Prospera. Następnie Prospero używa swoich niezwykłych umiejętności, by wpłynąć na los nieszczęsnych rozbitków, między innymi Ferdynanda, niewinnego

młodzieńca, którego Prospero za pomocą swoich sztuczek rozkocha w Mirandzie.

(Rosyjski pisarz Vladimir Nabokov zauważył, że *Burza* niezwykle przypomina opowieść fantastycznonaukową. I rzeczywiście, jakieś 350 lat po jej napisaniu, w 1956 roku, *Burzę* wyreżyserowano jako klasyczny film fantastycznonaukowy *Zakazana planeta*, w którym Prospero staje się posępnym uczonym Morbiusem, duch - robotem Robbym, Miranda - piękną córką Morbiusa Altairą, a wyspa - planetą Altair-4. Gene Roddenberry, twórca *Star Trek*, przyznaje, że *Zakazana planeta* była jednym z dzieł, które zainspirowały go do stworzenia słynnego serialu telewizyjnego).

W bliższych nam czasach psychokineza jest w powieści Stephena Kinga *Carrie* z 1974 roku podstawowym elementem intrygi, dzięki której nieznan, klepiący biedę pisarz stał się najsłynniejszym na świecie autorem horrorów. *Carrie* jest chorobliwie nieśmiałą, budzącą litość uczennicą liceum, odrzuconą przez rówieśników i prześladowaną przez niezrównoważoną psychicznie matkę. Jediną pociechą jest dla niej dar psychokinezy, najwyraźniej dziedziczony w rodzinie. W scenie finałowej prześladowcy oszukują *Carrie*, że zostanie królową balu, by później oblać jej nową suknię świńską krwią. W akcie ostatecznej zemsty *Carrie* siłą myśli zamyka wszystkie drzwi, razi prądem swoich prześladowców, wywołuje pożar szkoły i wyzwala samobójczą pożogę, która pochłania większą część miasta, w tym także ją samą.

Wątek niezrównoważonej osoby obdarzonej mocą psychokinezy był również podstawą pamiętnego odcinka *Star Trek* zatytułowanego *Chanie X*, opowiadającego o pewnym młodzieńcu z odległej kolonii kosmicznej, mającym skłonności przestępcze. Zamiast wykorzystywać swoją moc psychokinezy w dobrym celu, posługuje się nią, aby sprawować kontrolę nad innymi i nagiąć ich wolę do własnych zachcianek. Jeżeli uda mu się przejąć kontrolę nad "Enterprise" i dotrzeć do Ziemi, może doprowadzić do zniszczenia całej planety.

Psychokineza jest również siłą Mocy, którą w *Gwiezdnych wojnach* posługuje się mityczna organizacja wojowników zwanych Rycerzami Jedi.

Psychokineza a świat rzeczywisty

Do najsłynniejszego chyba starcia związanego z psychokineza doszło w 1973 roku w telewizyjnym talk-show prowadzonym przez Johnny'ego Carsona. W tej potężnej konfrontacji wzięli udział: Uri Geller - obdarzony rzekomo zdolnościami nadprzyrodzonymi izraelski showman utrzymujący, że potrafi siłą umysłu zginać łyżki - oraz Zdumiewający Randi (Amazing Randi) - zawodowy magik, którego drugą pasją stało się demaskowanie szarlatanów twierdzących, że mają nadprzyrodzone moce. (Ciekawe, że wszyscy trzej zaczęli w podobny sposób: jako magicy uczący się zręcznych sztuczek, by zadziwiać niedowiarków).

Przed występem Gellera Carson rozmawiał z Randim³³, który poradził mu, by przygotował

³³ Zdumiewający Randi był oburzony tym, że profesjonalni magicy, którzy dobrze opanowali umiejętność wykorzystywania ludzkiej łatwości, twierdzą, iż są obdarzeni zdolnościami parapsychicznymi i w ten sposób oszukują niczego niepodważającą publiczność. Dlatego zajął się tropieniem i ujawnianiem takich oszustów. Szczególną przyjemność sprawiało mu odtwarzanie wszelkich sztuczek wykonywanych przez różne media. Zdumiewający Randi kontynuuje więc tradycję Wielkiego Houdiniego, magika, który również

własny zapas łyżek i aby ktoś dokładnie je obejrzał przed przedstawieniem. W trakcie programu Carson zaskoczył Gellera, prosząc go, żeby zgiął nie swoje łyżki, ale łyżki przygotowane przez Carsona. Zakłopotany Geller kilka razy próbował je zgiąć, ale bez sukcesu. (Później w programie pojawił się Randi i bez problemów wykonał sztuczkę ze zginaniem łyżek, mówiąc jednak dobitnie, że to czysta sztuczka iluzjonistyczna, a nie efekt posłużenia się zdolnościami nadprzyrodzonymi).

Zdumiewający Randi wyznaczył nagrodę miliona dolarów dla każdego, kto dowiedzie swoich mocy nadprzyrodzonych. Jak dotąd żadnemu medium nie udało się sprostać temu wyzwaniu.

Psychokineza a nauka

Problem z naukowym badaniem psychokinezy polega na tym, że uczeni łatwo dają się oszukać szarlatanom twierdzącym, iż są obdarzeni zdolnościami parapsychologicznymi. Uczeni w toku kształcenia muszą wytworzyć w sobie wiarę w to, co widzą w laboratorium. Magicy chępiący się zdolnościami nadprzyrodzonymi szkolą się natomiast w oszukiwaniu ludzi przez wprowadzanie w błąd naszego zmysłu wzroku. W efekcie uczeni są kiepskimi obserwatorami zjawisk parapsychologicznych. Na przykład w 1982 roku zaproszono parapsychologów do zbadania dwóch chłopców, którzy mieli być obdarzeni nadprzyrodzonymi mocami: Michaela Edwardsa i Steve'a Shawa. Chłopcy ci utrzymywali, że potrafią zginać przedmioty z metalu, wytwarzać siłą umysłu obrazy na kliszy fotograficznej, przesuwac rzeczy za pomocą telekinezy i czytać myśli. Parapsycholog Michael Thalbourne był pod tak dużym ich wrażeniem, że stworzył dla nich specjalne określenie "psychokineci". Parapsychologowie w McDonnell Laboratory for Psychical Research w St. Louis w stanie Missouri byli oszołomieni umiejętnościami chłopców. Uwierzyli, że zdobyli prawdziwy dowód na posiadanie przez nich zdolności parapsychologicznych i zaczęli nawet przygotowywać do prasy naukowej artykuł na ich temat. Następnego roku chłopcy oświadczyli, że są oszustami i że źródłem ich "mocy" są zwykłe sztuczki magiczne, a nie siły nadprzyrodzone. (Jeden z nich, Steve Shaw, został później znanym magikiem, często pojawiał się w telewizji ogólnokrajowej, kiedyś był nawet przez całe dni pogrzebany żywcem).

W Instytucie Rhine'a na Uniwersytecie Duke'a przeprowadzano w kontrolowanych warunkach skomplikowane doświadczenia z psychokineza, ale ich rezultaty bywały różne. Jedną z pionierek tych badań, profesor Gertrudę Schmeidler była moją koleżanką na City University w Nowym Jorku. Schmeidler, jako była redaktor czasopisma "Parapsychology Magazine" i była przewodniczącą Towarzystwa Parapsychologicznego, fascynowało postrzeganie pozazmysłowe i przeprowadziła na uczelni wiele badań z udziałem swoich studentów. Aby zwerbować kolejne obiekty do swoich eksperymentów, pojawiała się na przyjęciach koktajlowych, na których słynne media wykonywały dla gości pokazy zdolności parapsychologicznych. Jednak zwierzyła mi się kiedyś, że mimo przebadania setek studentów i kilkudziesięciu mediów, oraz osób ze zdolnościami parapsychologicznymi, nie udało jej się znaleźć ani jednej osoby, która potrafiłaby dokonać tych

zajmował się dodatkowo ujawnianiem oszustów i szarlatanów wykorzystujących swoje magiczne umiejętności do oszukiwania innych dla własnych korzyści. Randi chwali się, że swoimi sztuczkami potrafi

psychokinetycznych cudów na żądanie, w kontrolowanych warunkach.

Kiedyś Schmeidler rozmieściła w całym pokoju niewielkie termistory potrafiące mierzyć zmiany temperatury z dokładnością do ułamka stopnia. Jednemu z mediów udało się, po straszliwym wysiłku umysłowym, podnieść temperaturę jednego z nich o jedną dziesiątą stopnia. Schmeidler była dumna, że udało jej się przeprowadzić to doświadczenie w ściśle określonych warunkach. Trudno jednak porównywać ten wynik ze swobodnym przesuwaniem siłą myśli dużych przedmiotów.

Jedno z najbardziej rygorystycznych, ale zarazem kontrowersyjnych badań psychokinezy przeprowadzono w ramach programu Princeton Engineering Anomalies Research (PEAR, Program Badań Anomalii w Zastosowaniach Technicznych), powołanego do życia przez Roberta G. Jahna w 1979 roku, gdy pełnił funkcję dziekana w School of Engineering and Applied Science. Inżynierowie z PEAR badali, czy ludzki umysł za pomocą samych myśli może wpływać na wyniki zdarzeń losowych. Wiemy na przykład, że podczas rzutu monetą istnieje pięćdziesięcioprocentowe prawdopodobieństwo otrzymania orła lub reszki. Uczni z PEAR twierdzili jednak, że ludzkie myśli mogą wpływać na wyniki takich przypadkowych zdarzeń. W ciągu dwudziestu ośmiu lat, do zamknięcia programu w 2007 roku, inżynierowie z PEAR przeprowadzili tysiące eksperymentów obejmujących 1,7 miliona prób i 340 milionów rzutów monetą. Wyniki zdawały się potwierdzać, że efekty psychokinetyczne rzeczywiście istnieją - były one jednak dosyć małe, na ogół nie przekraczały kilku części na dziesięć tysięcy. Ale nawet z tymi mizernymi wynikami dyskutowali inni uczeni, twierdząc, że badacze nie uniknęli w swoich danych nieznaczących, ukrytych nieścisłości.

(W 1988 roku armia amerykańska poprosiła Narodową Radę Badań o zweryfikowanie doniesień o istnieniu zjawisk paranormalnych. Armia chciała ocenić możliwość wykorzystania w wojsku wszystkiego, co może mieć zastosowania militarne, z parapsychologią włącznie. W przygotowanym przez Radę raporcie rozpatrywano utworzenie hipotetycznego "Pierwszego ziemskiego batalionu", w skład którego wchodziłoby mnisi wojownicy będący mistrzami prawie wszystkich rozważanych przez komitet technik, między innymi postrzegania pozazmysłowego, opuszczania ciała na życzenie, lewitacji, uzdrawiania parapsychologicznego i przenikania przez ściany³⁴. Badając wyniki programu PEAR, Narodowa Rada Badań odkryła, że połowa wszystkich prób zakończonych sukcesem została przedstawiona przez jedną i tę samą osobę. Niektórzy krytycy uważają, że była to osoba, która przeprowadzała doświadczenia lub pisała oprogramowanie dla PEAR. "Dla mnie to problematyczna sytuacja, jeżeli osoba kierująca laboratorium jest jedynym jego pracownikiem osiągającym jakieś wyniki" - komentuje dr Ray Hayman z University of Oregon. Raport zakończono wnioskiem, że "na podstawie badań prowadzonych w okresie ponad 130 lat nie znaleziono żadnego naukowego dowodu na istnienie

wyprowadzić w pole nawet uczonych. "Mogę wejść do dowolnego laboratorium i oszukać każdą grupę uczonych" - twierdzi J. Cavelos, *op. cit.*, s. 220.

³⁴ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 240.

zjawisk parapsychicznych³⁵).

Problem z badaniem psychokinezy, przyznają to nawet jej zwolennicy, polega na tym, że nie zgadza się ona zbyt znanymi prawami fizyki. Grawitacja, najsłabsza siła Wszechświata, potrafi jedynie przyciągać i nie można się nią posłużyć do wywołania lewitacji lub odpychania przedmiotów. Siła elektromagnetyczna działa zgodnie z równaniami Maxwella i nie dopuszcza możliwości przesuwania na drugi koniec pokoju elektrycznie obojętnych przedmiotów. Siły jądrowe działają jedynie w małych skalach, takich jak odległości między cząstkami w jądrze atomowym.

Kolejnym problemem związanym z psychokinezą jest źródło energii. Ludzkie ciało może wytworzyć zaledwie około jednej piątej konia mechanicznego, a więc gdy Yoda w *Gwiezdnych wojnach* siłą swojego umysłu wywołuje lewitację całego statku kosmicznego, albo gdy Cyklopi strzelają z oczu wiązkami laserowymi, wyczyny te stanowią pogwałcenie zasady zachowania energii - mała istota, taka jak Yoda, nie może zgromadzić energii potrzebnej do uniesienia statku kosmicznego. Bez względu na to, jak byśmy się skoncentrowali, nie zdołamy zgromadzić energii wystarczającej do dokonania wyczynów i cudów przypisywanych telekinezie. Jeżeli weźmie się pod uwagę te wszystkie problemy, czy możliwe jest pogodzenie psychokinezy z prawami fizyki?

Psychokineza a mózg

Jeżeli psychokinezę trudno pogodzić ze znanymi siłami Wszechświata, to czy można myśleć o jakimś wykorzystaniu jej w przyszłości? Pewną sugestię na ten temat zawierał odcinek *Star Trek* zatytułowany *Któż oplotkuje bogów?*, w którym załoga "Enterprise" spotyka rasę istot przypominających greckich bogów, potrafiących dokonywać fantastycznych wyczynów jedynie poprzez myśl o nich. Na początku wydaje się, że załoga rzeczywiście ma do czynienia z bogami Olimpu. W końcu jednak członkowie załogi uświadamiają sobie, że nie są to bogowie, ale zwyczajne istoty potrafiące za pomocą myśli sterować centralnym źródłem mocy, które realizuje ich życzenia i dokonuje wszystkich tych cudów. Po zniszczeniu tego źródła energii, załozde "Enterprise" udaje się uwolnić spod wpływu tej mocy.

Podobnie całkowicie zgodna z prawami fizyki jest sytuacja, w której człowiek przyszłości w wyniku odpowiedniego szkolenia nabywa zdolność sterowania elektronicznymi sensorami za pomocą myśli, uzyskując niemal boską moc. Wzmocniona radiowo lub komputerowo psychokineza jest rzeczywistą możliwością. Można by na przykład wykorzystać EEG jako prymitywne urządzenie psychokinetyczne. Ludziom, którzy obserwują własny wykres EEG na ekranie, udaje się w końcu nauczyć, jak z grubsza, ale świadomie, modyfikować oglądany kształt fali mózgowej - jest to proces nazywany biologicznym sprzężeniem zwrotnym.

Ponieważ nie istnieje szczegółowy plan mózgu, z którego wynikałoby, który neuron odpowiada za jaki mięsień, pacjent musi aktywnie uczestniczyć w uczeniu się, jak za pomocą komputera sprawować kontrolę nad tymi nowymi prawidłowościami.

Ludzie mogliby więc na życzenie wytwarzać na ekranie określone rodzaje fal. Obraz z ekranu

³⁵ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 240.

mógłby zostać przesłany do komputera z oprogramowaniem rozpoznającym te specyficzne wzory fal i wykonującym w odpowiedzi na nie określone polecenia, takie jak na przykład włączenie czegoś lub uruchomienie silnika. Innymi słowy, człowiek mógłby za pomocą samego myślenia wytworzyć na ekranie EEG określony wzór fal i uruchomić komputer lub silnik.

W ten sposób całkowicie sparaliżowana osoba mogłaby sterować swoim wózkiem, posługując się jedynie siłą swoich myśli. Albo, gdyby nauczyła się wytwarzać na ekranie około trzydziestu rozpoznawalnych wzorów odpowiadających literom alfabetu, mogłaby za pomocą samych myśli pisać. Oczywiście byłby to wciąż bardzo niedoskonały sposób przesyłania myśli. Wycwiczenie ludzi tak, by z wykorzystaniem biologicznego sprzężenia zwrotnego potrafili kształtować swoje fale mózgowie, wymaga bardzo długiego czasu.

Pisanie za pomocą myśli stało się bliższe rzeczywistości dzięki pracy Nielsa Birbaumera z uniwersytetu w Tybindze w Niemczech. Wykorzystał on biologiczne sprzężenie zwrotne, by pomóc ludziom częściowo sparaliżowanym w wyniku uszkodzenia układu nerwowego. Trenując ich w modelowaniu kształtu fal mózgowych, udało mu się nauczyć tych pacjentów wypisywać proste zdania na ekranie komputera³⁶.

Małpom wszczepiano elektrony do mózgu i uczono je za pomocą biologicznego sprzężenia zwrotnego sprawowania kontroli nad niektórymi myślami. Małpy te potrafiły później, posługując się jedynie czystą myślą, sterować przez Internet ramieniem robota³⁷.

Serię dokładniejszych doświadczeń przeprowadzono na Uniwersytecie Emory'ego w Atlancie, gdzie bezpośrednio w mózgu sparaliżowanego pacjenta, ofiary udaru, umieszczono szklany koralik. Do koralika przymocowano przewód, który z kolei podłączono do komputera klasy PC. Myśląc o czymś konkretnym, pacjent mógł przesyłać przewodem sygnały i przesuwac kursor na ekranie komputera. Po treningu z wykorzystaniem biologicznego sprzężenia zwrotnego sparaliżowany pacjent nauczył się świadomie sterować kursorem. W zasadzie kursorem można by w ten sposób zapisywać myśli, uruchamiać urządzenia, kierować wirtualnymi samochodami, grać w gry komputerowe i tak dalej.

John Donoghue, neurobiolog z Uniwersytetu Browna, dokonał największego chyba przełomu na drodze do stworzenia interfejsu mózg-maszyna. Skonstruował mianowicie urządzenie zwane BrainGate, umożliwiające sparaliżowanym osobom wykonywanie mnóstwa czynności fizycznych za pomocą siły samych myśli. Donoghue przetestował swoje urządzenie na czterech pacjentach. Dwóch z nich było po urazie kręgosłupa, trzeci po udarze, a czwarty został sparaliżowany w wyniku stwardnienia zanikowego bocznego (nazywanego również chorobą Lou Gehriga; to ta sama choroba, na którą cierpi Stephen Hawking).

Jeden z pacjentów Johna Donoghue, dwudziestopięcioletni Mathew Nagle, tetraplegik nieodwracalnie sparaliżowany od szyi w dół, potrzebował zaledwie jednego dnia, by w pełni opanować te nowe komputerowe umiejętności. Potrafi teraz zmieniać kanały w telewizorze,

³⁶ P. Ross, *Powiem ci, co myślisz*, "Świat Nauki", październik 2003, s. 56.

³⁷ M. Nicolelis, J. Chapin, *Roboty sterowane umysłem*, "Świat Nauki", grudzień 2002, s. 26.

ustawiać głośność, otwierać i zamykać sztuczną rękę, narysować kształt przypominający okrąg, poruszać kursorem komputera, grać w gry wideo, a nawet czytać e-maile. Wywołał w świecie naukowym niemałą sensację medialną, gdy w lecie 2006 roku pojawił się na okładce magazynu "Nature".

Sercem urządzenia BrainGate jest niewielki układ scalony o szerokości zaledwie 4 milimetrów, zawierający sto małych elektrod. Układ ten umieszcza się bezpośrednio na powierzchni mózgu, w miejscu odpowiedzialnym za koordynację aktywności ruchowej. Sięga on do połowy głębokości kory mózgowej, której grubość wynosi około 2 milimetrów. Przewody ze złota przenoszą sygnały z układu scalonego do wzmacniacza wielkości pudełka cygar. Wzmocnione sygnały przesyła się do komputera o rozmiarach zmywarki do naczyń. Specjalne oprogramowanie analizuje docierające sygnały, wyszukuje w nich określone wzorce wytwarzane przez mózg i tłumaczy je na ruchy mechaniczne.

We wcześniejszych doświadczeniach z pacjentami czytającymi własne fale EEG, proces wykorzystania biologicznego sprzężenia zwrotnego był powolny i uciążliwy. Jednak dzięki temu, że komputer pomaga pacjentowi w zidentyfikowaniu określonych wzorców myśli, czas nauki ulega znacznemu skróceniu. Podczas pierwszej sesji treningowej Nagle'owi polecono wyobrazić sobie, że porusza ramieniem i ręką, w lewo i w prawo, zgina nadgarstek, a następnie otwiera i zaciska dłoń. Donoghue był zachwycony, gdy mógł zobaczyć, jak wzbudzają się różne neurony, gdy pacjent wyobrażał sobie, że porusza ramieniem i palcami. "To było dla mnie niewiarygodne, ponieważ mogłem obserwować, jak komórki mózgu zmieniają swoją aktywność. Wtedy zrozumiałem, że to się może udać, że ta technika może się sprawdzić"³⁸ - wspomina.

(Donoghue miał osobiste powody, by zaangażować się w prace nad tą niecodzienną postacią interfejsu mózg-maszyna. Jako dziecko był skazany na wózek inwalidzki - cierpiał na bolesną chorobę zwyrodnieniową, zna więc z pierwszej ręki uczucie beznadziejności spowodowane utratą możliwości swobodnego poruszania się).

Donoghue snuje ambitne plany rozpowszechnienia BrainGate tak, by stał się przyrządem powszechnie stosowanym w medycynie. Dzięki postępom techniki komputerowej jego urządzenie, obecnie o rozmiarach zmywarki do naczyń, może w końcu stać się przenośne, być może nawet będzie je można nosić na ubraniu. Jeżeli powstanie bezprzewodowa wersja układu scalonego, można będzie się również pozbyć nieporęcznych przewodów, a pacjent z wszczepionym układem będzie potrafił bezproblemowo komunikować się z otaczającym światem.

Aktywowanie w ten sposób innych obszarów mózgu jest jedynie kwestią czasu. Uczeni sporządzili już mapę powierzchni górnej części mózgu. (Gdybyśmy narysowali rękę, nogi, głowę i plecy w skali odpowiedniej do obszaru, jaki odpowiadające im neurony zajmują w naszym mózgu, uzyskalibyśmy rysunek nazywany homunkulusem, czyli małym człowiekiem. Zapisany w mózgu obraz naszych części ciała tworzy zniekształcony wizerunek człowieka, z wydłużonymi palcami, pociągłą twarzą i długim językiem, ze skurczonym tułowiem i plecami).

³⁸ K. Dunn, "Discover Magazine", grudzień 2006, s. 39.

Moglibyśmy zatem umieścić na powierzchni mózgu, w różnych jego miejscach, krzemowe układy scalone umożliwiające aktywowanie poszczególnych organów i kończyn siłą samej myśli. Wykorzystując tę metodę, można naśladować każdą czynność fizyczną, jaką potrafi wykonać ludzkie ciało. Można sobie wyobrazić, że w przyszłości sparaliżowane osoby będą mieszkały w specjalnie zaprojektowanym psychokinetycznym domu, w którym będą mogli, za pomocą myśli, sterować klimatyzacją, telewizorem i innymi urządzeniami elektrycznymi.

W dalszej przyszłości ciało sparaliżowanej osoby będzie mogło być umieszczone w specjalnym "egzoszkielecie", dzięki czemu będzie ona miała całkowitą swobodę ruchu. Taki egzoszkielet mógłby w zasadzie obdarzyć swego posiadacza zdolnościami przekraczającymi możliwości zwykłych ludzi, dając początek bionicznym istotom sterującym za pomocą myśli olbrzymią siłą mechanicznych superkończyn.

Zatem sterowanie komputerem za pomocą myśli nie jest już czymś niemożliwym. Ale czy to oznacza, że kiedyś będziemy samą myślą potrafili przesuwac przedmioty, unosić je i manipulować nimi w powietrzu?

Jedną z możliwości byłoby pokrycie ścian pomieszczenia nadprzewodnikami działającymi w temperaturze pokojowej, oczywiście przy założeniu, że kiedyś uda się skonstruować takie urządzenia. Gdybyśmy wtedy umieścili wewnątrz sprzętów domowych niewielkie elektromagnesy, moglibyśmy spowodować ich lewitację dzięki efektowi Meissnera, jak przekonaliśmy się w rozdziale 1. Gdyby te elektromagnesy były sterowane przez komputer, który z kolei byłby podłączony do naszego mózgu, moglibyśmy siłą woli unosić przedmioty. Myśląc na określone tematy, moglibyśmy aktywować komputer, który w odpowiedzi włączyłby określone elektromagnesy, wywołując ich lewitację. Osobie oglądającej to z zewnątrz wydawałoby się, że jest świadkiem działania magicznych zdolności przesuwania i unoszenia przedmiotów siłą woli.

Nanoboty

A gdybyśmy zapragnęli nie tylko przesuwac przedmioty, ale również zmieniać je, przekształcać jedne w drugie, jak za sprawą magii? Magicy dokonują tego dzięki zwinnym dłoniom. Ale czy takie zdolności zgadzają się z prawami fizyki?

Jak wspominaliśmy wcześniej, jednym z celów nanotechnologii jest zbudowanie z atomów niewielkich maszyn spełniających rolę dźwigni, przekładni, łożysk kulkowych i bloków. Wielu fizyków marzy, że dzięki takim nanomaszynom można będzie zmieniać ułożenie cząsteczek przedmiotu, atom za atomem, aż utworzy on inny obiekt. Taka jest zasada działania spotykanego w fantastyce naukowej replikatora, umożliwiającego wytwarzanie na życzenie dowolnych obiektów. Replikator mógłby w zasadzie zlikwidować ubóstwo i zmienić naturę społeczeństwa. Jeżeli będzie można na życzenie wytwarzać dowolne obiekty, to wszelkie pojęcia dostępności dóbr, wartości i hierarchii ludzkiego społeczeństwa ulegną całkowitemu wywróceniu.

(W jednym z moich ulubionych odcinków serialu *Star Trek: Następne pokolenie* replikator odgrywa ważną rolę. Załoga natrafia na dryfującą w przestrzeni kosmicznej starożytną kapsułę z XX wieku zawierającą zamrożone ciała ludzi, którzy cierpieli na nieuleczalne choroby. Osoby te

zostają szybko rozmrożone i wyleczone dzięki postępowi medycyny. Pewien biznesmen uświadamia sobie, że po upływie tak wielu stuleci wartość jego inwestycji musi być ogromna. Od razu zaczyna dopytywać członków załogi "Enterprise" o swoje inwestycje i pieniądze. Załoga jest zakłopotana. Pieniądze? Inwestycje? W przyszłości nie ma pieniędzy - wyjaśniają. Jeśli czegoś chcesz, po prostu o to poproś).

Chociaż replikator może się wydawać czymś zdumiewającym, przyroda wytworzyła już takie urządzenie. Dowód poprawności zasady już istnieje. Natura z surowców, takich jak mięso i warzywa, potrafi w dziewięć miesięcy stworzyć istotę ludzką. Cud życia nie jest niczym innym, jak wielką nanofabryką potrafiącą przekształcać na poziomie atomowym jedną postać materii (na przykład żywność) w żywą tkankę (dziecko).

Aby skonstruować nanofabrykę, potrzebne są trzy składniki: materiały stanowiące budulec, narzędzia potrafiące ciąć i łączyć te materiały, oraz plan precyzujący, jak należy użyć tych narzędzi i materiałów. W przyrodzie budulcem są tysiące aminokwasów i białek, z których składa się ciało i krew. Tnącymi i łączącymi narzędziami - odpowiednikami młotków i pił - niezbędnymi do nadania białkom nowej postaci żywej tkanki są rybosomy. Ich rolą jest cięcie i ponowne łączenie białek w określonych miejscach i tworzenie z nich w ten sposób nowych białek. Plan natomiast jest określony przez cząsteczkę DNA, w której w postaci określonej sekwencji kwasów nukleinowych zakodowana jest tajemnica życia. Te trzy składniki są z kolei zawarte w komórce, która ma wspaniałą zdolność tworzenia własnych kopii, to znaczy samopowielania. Jest to możliwe dzięki temu, że DNA ma kształt podwójnej helisy. Gdy zbliża się czas replikacji, cząsteczka DNA rozwija się i dzieli na dwie oddzielne nitki. Każda z nich tworzy następnie swoją kopię wychwytyjąc odpowiednie cząsteczki organiczne i odbudowując z nich brakującą część.

Jak na razie podejmowane przez fizyków próby naśladowania tych mechanizmów przyrody zakończyły się jedynie umiarkowanymi sukcesami. Uчени wierzą, że kluczem do osiągnięcia pełnego sukcesu jest stworzenie stad samopowielających się nanobotów - programowalnych urządzeń atomowych potrafiących zmieniać układ atomów wewnątrz danego obiektu.

W zasadzie gdybyśmy mieli biliony nanobotów, mogłyby one, skupiając się na jednym obiekcie, tak długo rozdzielać i łączyć jego atomy, aż zmieniłby się on w coś zupełnie innego. Ponieważ potrafiłyby się same powielać, do zainicjowania takiego procesu wystarczyłaby jedynie ich garstka. Można by je również programować, dzięki czemu działałyby zgodnie z ustalonym planem.

Zanim uda się stworzyć flotę nanobotów, trzeba wcześniej uporać się z pewnymi poważnymi przeszkodami. Po pierwsze, skonstruowanie samopowielających się robotów jest niezwykle trudne, nawet w skali makroskopowej. (Ponadto stworzenie prostych narzędzi atomowych, takich jak łożyska kulkowe i przekładnie zębate, przekracza nasze obecne możliwości techniczne). Nawet gdyby komuś dano komputer i górę elektronicznych części zamiennych, bardzo trudno byłoby mu zbudować urządzenie, które potrafiłoby stworzyć własną kopię. Jeżeli więc samopowielające urządzenie tak trudno zbudować nawet na stole laboratoryjnym, jego skonstruowanie w skali atomowej musi być jeszcze bardziej skomplikowane.

Po drugie, nie jest jasne, w jaki sposób można by z zewnątrz programować taką armię nanobotów. Pojawiły się sugestie, że może należałoby aktywować każdego nanobota za pomocą sygnału radiowego. Być może w kierunku nanobotów można by skierować wiązkę laserową zawierającą odpowiednie instrukcje. To by jednak oznaczało, że trzeba by wysłać oddzielny zbiór instrukcji do każdego z nich, a mogłyby ich być całe biliony.

Po trzecie, nie mamy pojęcia, w jaki sposób nanoboty miałyby rozdzielać, przemieszczać i ponownie łączyć ze sobą atomy w odpowiednim porządku. Pamiętajmy, że przyroda na rozwiązanie tego problemu potrzebowała 3,5 miliarda lat, więc znalezienie odpowiedniego rozwiązania w ciągu kilkudziesięciu lat może się okazać dosyć trudne.

Jednym z fizyków, którzy poważnie traktują ideę replikatora, jest Neil Gershenfeld z MIT, nazywający go osobistą fabryką. Prowadzi on nawet na uczelni kurs zatytułowany *Jak stworzyć (prawie) wszystko*, jeden z najbardziej obleganych przez studentów. Gershenfeld, kierownik Centrum Bitów i Atomów (Center for Bits and Atoms), poważnie się zastanawiał nad fizyką leżącą u podstaw osobistych fabryk, których stworzenie będzie według niego "następnym wielkim przełomem". Napisał nawet książkę *FAB: The Coming Revolution on Your Desktop - From Personal Computers to Personal Fabrication* (FAB: Kolejna rewolucja na Twoim biurku - od komputerów osobistych do osobistych fabryk); opisuje w niej szczegółowo swoje przemyślenia na ten temat. Jego zdaniem, celem jest "stworzenie jednego urządzenia, które będzie potrafiło zbudować dowolne inne urządzenie". Do propagowania swoich pomysłów, Gershenfeld stworzył już sieć laboratoriów na całym globie, głównie w krajach Trzeciego Świata, gdzie osobiste fabryki miałyby największe znaczenie.

Uczony wyobraża sobie, że należy zacząć od fabryki ogólnego zastosowania, wystarczająco małej, aby mogła zmieścić się na biurku. Fabryka ta, dzięki wykorzystaniu najnowszych osiągnięć techniki laserowej i miniaturyzacji, potrafiłaby ciąć, łączyć i kształtować dowolne przedmioty, które można wizualizować na ekranie komputera. Ubody z Trzeciego Świata mogliby na przykład poprosić o pewne narzędzia i urządzenia potrzebne w ich gospodarstwach. Taką informację należałoby wprowadzić do komputera, który sięgnąłby do przepastnej internetowej biblioteki planów i danych technicznych. Odpowiednie oprogramowanie dopasowałoby istniejące plany do potrzeb poszczególnych ludzi, przetworzyło tę informację i przesłało z powrotem e-mailem. Wtedy osobista fabryka wprawiałaby w ruch swoje lasery i miniaturowe urządzenia tnące, by na miejscu, na blacie biurka, wytworzyć wymagany obiekt.

Taka osobista fabryka ogólnego zastosowania jest jedynie pierwszym krokiem. Gershenfeld chce, aby jego idee zostały ostatecznie zastosowane na poziomie molekularnym, tak by dało się wytworzyć dosłownie każdy przedmiot, jaki tylko można sobie wyobrazić. Postępy w tej dziedzinie są jednak powolne z powodu trudności w manipulowaniu pojedynczymi atomami.

Jednym z pionierów tej dziedziny jest Aristides Requicha z Uniwersytetu Południowej Kalifornii. Specjalizuje się on w robotyce molekularnej, której celem jest ni mniej, ni więcej tylko stworzenie floty nanorobotów potrafiących dowolnie operować atomami. Requicha pisze, że istnieją dwa

podejścia. Pierwsze to podejście zstępujące, zgodnie z którym inżynierowie posłużą się najnowszymi zdobyczami techniki półprzewodnikowej do stworzenia miniaturowych obwodów mogących spełniać rolę mózgowi nanorobotów. Stosując tę technikę, można by skonstruować niewielkie roboty, których części składowe będą miały wielkość 30 nanometrów - byłoby to możliwe dzięki szybko rozwijającej się technice nanolitografii.

Istnieje również podejście wstępujące, zgodnie z którym inżynierowie będą próbowali zbudować niewielkie roboty, zestawiając ze sobą pojedyncze atomy. Najważniejszym umożliwiającym to narzędziem byłby mikroskop ze skanującą sondą (SPM, Scanning Probe Microscope), wykorzystujący do wykrycia i przesuwania pojedynczych atomów tę samą technikę, co skaningowy mikroskop tunelowy. Uчени potrafią już na przykład całkiem sprawnie przemieszczać atomy ksenonu na platynowej lub niklowej powierzchni. "Jednak nawet najlepsze grupy uczonych wciąż potrzebują około 10 godzin, by złożyć strukturę składającą się z zaledwie 50 atomów"³⁹ - przyznaje Requicha. Ręczne przesuwanie pojedynczych atomów to powolna i uciążliwa praca. Potrzebne jest urządzenie nowego typu, które będzie potrafiło realizować funkcje wyższego poziomu, automatycznie przesuwać w określony sposób setki atomów za jednym zamachem. Niestety, urządzenie takie jeszcze nie istnieje. Nie dziwi więc, że podejście wstępujące jest jeszcze na bardzo wstępnym etapie rozwoju.

Zatem psychokineza, chociaż obecnie niemożliwa, może w przyszłości stać się realna dzięki zgromadzeniu odpowiedniej wiedzy na temat odróżniania poszczególnych myśli w naszym mózgu za pomocą EEG, MRI i innych metod. Być może jeszcze w tym stuleciu będziemy stosować sterowane myślami urządzenia wykorzystujące nadprzewodniki działające w temperaturze pokojowej, by dokonywać wyczynów nieodróżnialnych od magii. A w następnym stuleciu być może nauczymy się zmieniać cząsteczki w obiektach makroskopowych. W związku z tym psychokineza jest niemożliwością typu I.

Zdaniem niektórych uczonych, kluczem do tej techniki jest skonstruowanie nanorobotów charakteryzujących się sztuczną inteligencją. Zanim jednak stworzymy mikroskopowe roboty o rozmiarach molekularnych, musimy się zmierzyć z bardziej podstawowym pytaniem: czy roboty mogą w ogóle istnieć?

³⁹ A.A.G. Requicha, *Nanorobots*, <http://www.lmr.usc.edu/~lmr/publications/nanorobotics>.

Rozdział 7

ROBOTY

W ciągu kolejnych trzydziestu lat nadejdzie taki dzień,
kiedy po cichu, bez żadnego rozgłosu
przestaniemy być najinteligentniejszymi istotami na Ziemi.
-James McAlear

W filmie *Ja, robot*, opartym na opowiadaniach Isaaca Asimova, w 2035 roku dochodzi do uruchomienia najbardziej zaawansowanego systemu komputerowego w historii. System ten, zwany VIKI (Virtual Interactive Kinetic Intelligence, wirtualna interaktywna inteligencja kinetyczna), został specjalnie zaprojektowany do sprawnego zarządzania wielką metropolią. VIKI steruje wszystkim, od sieci metra i sieci elektrycznej po tysiące domowych robotów. Jego główne zadanie jest jednoznaczne: służyć ludzkości.

Jednak pewnego dnia VIKI zadaje kluczowe pytanie: kto jest największym wrogiem ludzkości? Z matematyczną precyzją dochodzi do wniosku, że najgorszym wrogiem ludzkości jest sama ludzkość. Trzeba ją zatem ochronić przed szaleńczym dążeniem do zanieczyszczenia wszystkiego, wzniesienia wojen i zniszczenia planety. Jedynym sposobem, w jaki VIKI może zrealizować swoje główne zadanie, jest przejęcie władzy nad ludzkością i stworzenie łagodnej dyktatury maszyn. Ludzkość trzeba uwięzić, żeby obronić ją przed nią samą.

Film stawia przed nami następujące pytania: czy, biorąc pod uwagę astronomicznie szybki rozwój komputerów, możliwe jest, że maszyny przejmą pewnego dnia władzę nad nami? Czy roboty mogą stać się tak zaawansowane, że będą największym zagrożeniem dla naszego istnienia?

Niektórzy uczeni twierdzą, że nie, ponieważ sama idea sztucznej inteligencji jest niepoważna. Daje się słyszeć zgodny chór krytyków, głoszących, że zbudowanie maszyn potrafiących myśleć jest niemożliwe. Ludzki mózg - argumentują - jest najbardziej skomplikowanym organem stworzonym przez naturę, przynajmniej w tej części Galaktyki, i próby zaprojektowania maszyny, która potrafiłaby naśladować ludzkie myślenie, są z góry skazane na porażkę. Filozof John Searle z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, a nawet znany fizyk Roger Penrose⁴⁰ z Oksfordu uważają, że maszyny są z przyczyn fizycznych niezdolne do ludzkiego myślenia. Colin McGinn z Uniwersytetu Rutgersa twierdzi, że sztuczna inteligencja "przypomina ślimaki usiłujące przeprowadzać psychoanalizę według reguł Freuda. Ich wysiłek byłby daremny, bo brak im

⁴⁰ Roger Penrose uważa, że w mózgu muszą zachodzić efekty kwantowe umożliwiające myślenie. Większość informatyków powiedziałaby, że za pomocą skomplikowanego układu tranzystorów możliwe jest skopiowanie każdego neuronu mózgu; to oznacza, że mózg można sprowadzić do klasycznego urządzenia. Mózg jest niezwykle złożony, ale w gruncie rzeczy składa się z pewnej liczby neuronów, których zachowanie można odtworzyć za pomocą tranzystorów. Profesor Penrose nie zgadza się z takim stwierdzeniem. Uważa, że w komórce istnieją pewne struktury, nazywane mikrotubulami, w których zachodzą efekty kwantowe, a zatem mózgu nigdy nie uda się zredukować do prostego zbioru układów elektronicznych.

kompetencji intelektualnych"⁴¹.

Kwestia "czy maszyny mogą myśleć?" dzieli społeczność naukową od ponad stulecia.

Historia sztucznej inteligencji

Idea mechanicznych istot od dawna fascynuje wynalazców, inżynierów, matematyków i marzycieli. Od Blaszanego Drwala z *Czarnoksiężnika z krainy Oz*, poprzez podobne do dzieci roboty z filmu Spielberga *AZ Sztuczna inteligencja*, po roboty-morderców z *Terminatora*, wyobrażenia maszyn potrafiących działać i myśleć jak ludzie nieodmiennie nas fascynują.

W greckiej mitologii bóg Hefajstos wykuwał ze złota i trójnogich stołów mechaniczne służące, które potrafiły poruszać się o własnych siłach. Już w 400 roku p.n.e. grecki matematyk Archytas z Tarentu pisał o możliwości zbudowania mechanicznego ptaka napędzanego parą wodną.

W pierwszym stuleciu naszej ery Heron z Aleksandrii (któremu przypisuje się projekt pierwszej maszyny napędzanej parą wodną) wymyślił automaty, z których jeden według legendy potrafił mówić. Dziewięćset lat temu Al-Dża-zari zaprojektował i skonstruował automatyczne urządzenia, takie jak zegary wodne, sprzęty kuchenne i instrumenty muzyczne napędzane wodą.

W 1495 roku wielki renesansowy artysta i uczonego włoski Leonardo da Vinci naszkicował schematy mechanicznego rycerza, który potrafił siedzieć, machać ręką oraz poruszać głową i szczęką. Historycy uważają, że był to pierwszy realistyczny projekt humanoidalnej maszyny.

Pierwsze proste, ale działające roboty zbudował w 1738 roku Jacques de Vaucanson. Były to: android potrafiący grać na flecie oraz mechaniczna kaczką.

Słowo "robot" pochodzi z napisanej w 1920 roku przez czeskiego dramaturga Karelá Sapka sztuki *R.U.R.* ("robot" w języku czeskim znaczy "harówka", a po słowacku - "praca"). W sztuce tej fabryka o nazwie Rossum's Universal Robots produkuje armię robotów przeznaczonych do wykonywania prac domowych. (W przeciwieństwie jednak do zwykłych maszyn, roboty te zbudowane są z krwi i kości). W końcu gospodarka światowa staje się od nich zależna. Ponieważ jednak roboty są źle traktowane, w końcu buntują się przeciw ludzkim panom i wszystkich mordują. W swojej zaciekłości roboty zabijają również wszystkich uczonych, którzy potrafią je naprawiać i budować nowe egzemplarze, skazując się tym samym na wyginięcie. W końcu dwa niezwykle roboty odkrywają, że mają zdolność rozmnażania się i mogą stać się Adamem i Ewą robotów.

Roboty są również tematem jednego z najwcześniejszych i najdroższych filmów niemych w historii - *Metropolis*, wyreżyserowanego przez Fritza Langa w 1927 roku w Niemczech. Akcja filmu rozgrywa się w roku 2026. Klasa robotnicza została skazana na pracę pod ziemią w ohydnych, plugawych fabrykach, podczas gdy rządząca elita zabawia się na powierzchni. Piękna kobieta o imieniu Maria zdobywa zaufanie robotników, jednak rządząca elita obawia się, że kiedyś może ona stanąć na czele buntu. Zamawiają więc u złego uczonego robota - kopię Marii. W końcu ich intryga obraca się jednak przeciwko nim, ponieważ robot prowadzi robotników do walki z klasą panującą i doprowadza do upadku systemu społecznego.

⁴¹ "Time", 25 marca 1996, s. 53. Cyt. za: M. Kaku, *Wizje czyli jak nauka zmieni świat w XXI wieku*, przeł. K.

Sztuczna inteligencja, oznaczana również powszechnie skrótem AI (Artificial Intelligence), różni się od omawianych przez nas dotąd technik tym, że wciąż słabo rozumiemy leżące u jej podstaw prawa. Choć fizycy dobrze rozumieją mechanikę newtonowską, maxwellowską teorię światła oraz kwantową teorię atomów i cząsteczek, podstawowe prawa inteligencji wciąż otacza mgła tajemnicy. Newton sztucznej inteligencji zapewne jeszcze się nie narodził.

Matematyków i informatyków to nie zraża. Dla nich chwila, w której z jakiegoś laboratorium wyjdzie myśląca maszyna, jest jedynie kwestią czasu.

Najbardziej wpływową osobą w dziedzinie sztucznej inteligencji, wizjonerem, który położył kamień węgielny pod jej badania, był wielki brytyjski matematyk Alan Turing.

To właśnie Turing stworzył podstawy całej rewolucji komputerowej. Wyobraził sobie urządzenie (zwane odtąd maszyną Turinga) składające się z trzech elementów: taśmy wejściowej, taśmy wyjściowej i centralnego procesora (takiego jak układ scalony Pentium) potrafiącego realizować określony zestaw operacji. Na bazie takiej idei udało mu się sformułować prawa maszyn obliczeniowych i dokładnie ustalić ich ostateczną moc oraz ograniczenia. Wszystkie używane obecnie komputery cyfrowe działają zgodnie z rygorystycznymi prawami ustanowionymi przez Turinga. Architektura całego cyfrowego świata ma olbrzymi dług wdzięczności w stosunku do Turinga.

Turing przyczynił się również do zrozumienia podstaw logiki matematycznej. W 1931 roku wielki wiedeński matematyk Kurt Gödel zaszokował społeczność matematyków, dowodząc, że w arytmetyce istnieją prawdziwe stwierdzenia, których nigdy nie uda się dowieść w oparciu o jej aksjomaty. (Na przykład sformułowana przez Goldbacha w 1742 roku hipoteza [mówiąca, że każdą parzystą liczbę całkowitą większą od dwóch można wyrazić jako sumę dwóch liczb pierwszych] wciąż nie została dowiedziona, mimo upływu dwóch i pół wieku - jej udowodnienie może w ogóle nie być możliwe). Odkrycie Gódel'a rozwiązało wywodzące się jeszcze od starożytnych Greków, a więc towarzyszące matematykom od dwóch tysięcy lat, marzenie o udowodnieniu wszystkich prawdziwych twierdzeń matematycznych. Gödel wykazał, że zawsze pozostaną w matematyce prawdziwe stwierdzenia, których dowiedzenie będzie poza zasięgiem naszych możliwości. Okazało się, że matematyka nie jest zamkniętą i doskonałą strukturą, o jakiej marzyli Grecy - jest niekompletna.

Turing przyłączył się do tej rewolucji, wykazując, że w ogólnym przypadku nie można stwierdzić, czy jego maszyna będzie potrzebowała nieskończenie długiego czasu na przeprowadzenie pewnych obliczeń matematycznych. A jeżeli komputer potrzebuje na obliczenie czegoś nieskończonego czasu, oznacza to, że cokolwiek miał on obliczyć, jest nieobliczalne. W ten sposób Turing dowiódł, że w matematyce istnieją prawdziwe stwierdzenia, które są nieobliczalne, to znaczy na zawsze pozostaną poza zasięgiem możliwości komputerów, nieważne jak potężnych.

W czasie II wojny światowej Turing prowadził pionierskie prace w dziedzinie łamania szyfrów, które prawdopodobnie ocaliły życie tysięcy żołnierzy alianckich i wpłynęły na wynik wojny. Alianci

nie potrafili odczytać tajnych niemieckich wiadomości zaszyfrowanych za pomocą urządzenia zwanego Enigma, poproszono więc Turinga i jego kolegów o zbudowanie urządzenia, które mogłoby złamać ten szyfr. Zaprojektowane przez Turinga urządzenie, nazwane *bombe*⁴², pozwoliło w końcu odnieść sukces. Pod koniec wojny działało już ponad sto takich urządzeń. Dzięki nim alianci mogli odczytywać tajne niemieckie komunikaty i wprowadzić hitlerowców w błąd co do daty i miejsca ostatecznej inwazji. Historycy ciągle sprzeczną się o to, jak istotne były badania Turinga w czasie planowania inwazji w Normandii, która ostatecznie doprowadziła do pokonania Niemców. (Po wojnie prace Turinga zostały objęte przez brytyjski rząd klauzulą tajności; w wyniku tego jego kluczowy wkład nie jest znany opinii publicznej).

Turing nie został jednak uhonorowany jako bohater, który przyczynił się do zmiany biegu II wojny światowej, zamiast tego padł ofiarą nagonki. Pewnego dnia w jego domu doszło do włamania i uczony wezwał policję. Niestety w czasie tej wizyty policjanci znaleźli dowody na jego homoseksualizm i Turinga aresztowano. Wyrokiem sądu został skazany na zastrzyki z hormonów płciowych, co miało katastrofalny efekt - urosły mu piersi i cierpiał psychiczne katusze. W 1954 roku popełnił samobójstwo, zjadając jabłko polane cyjankiem. (Według jednej z plotek, logo firmy Apple, ugryzione z jednej strony jabłko, jest hołdem dla Turinga).

Dzisiaj Turing jest chyba najbardziej znany z testu Turinga. Znużony tymi wszystkimi bezowocnymi, niekończącymi się dyskusjami filozoficznymi na temat tego, czy maszyny mogą myśleć i czy mają duszę, spróbował do debaty nad sztuczną inteligencją wprowadzić porządek i dokładność, obmyślając konkretny test. Umieścimy człowieka i maszynę w dwóch zamkniętych kabinach - zasugerował. Możemy do każdej z nich kierować pytania. Jeżeli nie uda nam się odgadnąć, których odpowiedzi udzieliła maszyna, a których człowiek, będzie to znaczyło, że maszyna przeszła pomyślnie test Turinga.

Uczni napisali proste programy komputerowe, takie jak ELIZA, naśladowujące sposób prowadzenia rozmowy przez człowieka, dzięki czemu udało im się oszukać większość niepodejrzewających niczego osób. (W większości rozmów ludzie wykorzystują zaledwie kilkaset słów i ograniczają się do niewielu tematów). Jak dotąd nie został jednak stworzony program, któremu udałoby się oszukać ludzi próbujących świadomie ustalić, który dialog prowadzony jest z maszyną, a który z człowiekiem. (Sam Turing przypuszczał, zakładając wykładniczy wzrost mocy komputerów, że do roku 2000 zostanie zbudowana maszyna, której w czasie pięciominutowego testu uda się oszukać 30 procent sędziów).

Niewielka grupa filozofów i teologów twierdzi, że stworzenie prawdziwych robotów potrafiących myśleć nie jest możliwe. John Searle, filozof z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, zaproponował przeprowadzenie "testu chińskiego pokoju" w celu udowodnienia, że sztuczna inteligencja nie jest możliwa. W zasadzie Searle twierdzi, że chociaż roboty mogą przejść pewne formy testu Turinga, będzie to możliwe jedynie dlatego, że potrafią na ślepo posługiwać się

⁴² Nazwa była nawiązaniem do bomby kryptologicznej, zaprojektowanego przez polskiego kryptologa Mariana Rejewskiego urządzenia do łamania szyfrów, na którym Turing wzorował swój projekt (przyp. tłum.).

symbolami, zupełnie nie rozumiejąc, co one oznaczają.

Wyobraźmy sobie, że siedzimy w kabinie i nie rozumiemy ani jednego słowa po chińsku. Przypuśćmy również, że mamy książkę pozwalającą szybko tłumaczyć z chińskiego i posługiwać się znakami tego języka, jeżeli ktoś zada nam jakieś pytanie po chińsku, będziemy mogli udzielać wiarygodnych odpowiedzi, posługując się tymi dziwnie wyglądającymi znakami i nie mając pojęcia, co one znaczą.

Sens jego zarzutu sprowadza się do różnicy między syntaktyką a semantyką. Roboty mogą opanować syntaktykę języka (na przykład posiadać umiejętność posługiwania się jego gramatyką, formalną strukturą, i tak dalej), ale nie jego prawdziwą semantykę (na przykład zrozumieć znaczenie słów). Mogą się one posługiwać słowami, nie wiedząc, co one znaczą. (Przypomina to trochę rozmowę telefoniczną z automatyczną sekretarką, w czasie której, aby wybrać poszczególne odpowiedzi, musimy wybierać jeden, dwa i tak dalej. Głos po drugiej stronie nie ma najmniejszych problemów z odebraniem naszych odpowiedzi, całkowicie jednak pozbawiony jest jakiegokolwiek zrozumienia).

Fizyk Roger Penrose z Oksfordu również uważa, że powstanie sztucznej inteligencji jest niemożliwe; istnienie mechanicznych istot potrafiących myśleć i obdarzonych ludzką świadomością jest niemożliwe w świetle praw teorii kwantowej. Ludzki mózg - twierdzi Penrose - tak bardzo przerasta wszystko, cokolwiek moglibyśmy stworzyć w laboratorium, że skonstruowanie przypominających ludzi robotów jest eksperymentem skazanym na porażkę. (Sądzi, że podobnie jak twierdzenie Godła o niezupełności dowodzi niekompletności arytmetyki, tak zasada nieoznaczoności Heisenberga dowiedzie, że maszyny nie są zdolne do myślenia jak ludzie).

Wielu fizyków i inżynierów wierzy jednak, że w prawach fizyki nie ma niczego, co stanowiłoby przeszkodę w stworzeniu prawdziwego robota. Claude'a Shannona, często zwanego ojcem teorii informacji, zapytano kiedyś: "Czy maszyny mogą myśleć?". Jego odpowiedź była krótka: "Oczywiście". Gdy poproszono go, by wyjaśnił to stwierdzenie, odrzekł: "Ja myślę, prawda?". Mówiąc inaczej, było dla niego oczywiste, że maszyny mogą myśleć, ponieważ ludzie są maszynami (choć zbudowanymi z miękkich tkanek, a nie z metalowych elementów).

Ponieważ w filmach często oglądamy roboty, może nam się wydawać, że stworzenie zaawansowanych robotów obdarzonych sztuczną inteligencją jest już bliskie. Rzeczywistość jest zupełnie inna. Gdy widzimy robota zachowującego się jak człowiek, zwykle kryje się za tym jakaś sztuczka, to znaczy gdzieś w ukryciu znajduje się człowiek mówiący przez robota za pomocą mikrofonu, niczym Czarnoksiężnik z *Czarnoksiężnika z krainy Oz*. W rzeczywistości najbardziej zaawansowane roboty, takie jak samobieżne roboty na powierzchni Marsa, mają inteligencję owada. W słynnym Laboratorium Sztucznej Inteligencji (Artificial Intelligence Laboratory) w MIT wykorzystywane w doświadczeniach roboty mają problemy z powtórzeniem zadań, które potrafią wykonać nawet karaluchy, takich jak poruszanie się po pokoju pełnym mebli, odnajdowanie skrytek i rozpoznawanie niebezpieczeństwa. Żaden robot na Ziemi nie zrozumie nawet prostej opowiadki dla dzieci.

W filmie *2001: Odyseja kosmiczna* błędnie założono, że do 2001 roku będziemy mieli już HAL-a, superrobotę potrafiącego polecieć statkiem kosmicznym na Jowisza, rozmawiać z członkami załogi, naprawiać usterki i zachowywać się niemal jak człowiek.

Podejście zstępujące

Przed uczonymi stoją od dziesięcioleci przynajmniej dwa poważne problemy, które przeszkadzają w próbach stworzenia robotów: rozpoznawanie wzorców i zdrowy rozsądek. Roboty mogą widzieć znacznie lepiej od nas, ale nie rozumieją, co widzą. Roboty mogą również znacznie lepiej od nas słyszeć, ale nie potrafią zrozumieć, co usłyszały.

Aby zmierzyć się z tymi bliźniaczymi problemami, badacze próbowali zastosować do sztucznej inteligencji podejście zstępujące (nazywane czasami również szkołą formalistyczną lub GOFAI (*good old-fashioned AI*, stare, dobre AI). Mówiąc ogólnie, ich celem jest umieszczenie na pojedynczym krążku CD wszystkich zasad rozpoznawania wzorców i zdrowego rozsądku. Wierzą, że po umieszczeniu takiej płyty CD w komputerze, uzyska on nagle świadomość i podobną do ludzkiej inteligencję. W latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku poczyniono wielkie postępy w tym kierunku, tworząc roboty, które potrafiły grać w warcaby i szachy, rozwiązywać problemy algebraiczne, podnosić klocki i tak dalej. Osiągnięcia te były tak spektakularne, że przewidywano, iż za kilka lat roboty prześcigną ludzi pod względem inteligencji.

W 1969 roku sensację w mediach wywołał skonstruowany w Stanford Research Institute robot SHAKEY. Był to niewielki komputer PDP umieszczony na kołach, z zamontowaną na górze kamerą. Obraz pokoju rejestrowany przez kamerę był analizowany przez komputer, który rozpoznawał na nim umieszczone w pokoju przedmioty, a następnie próbował poruszać się między nimi. SHAKEY był pierwszym mechanicznym automatem, który potrafił przemieszczać się w prawdziwym świecie, co zainspirowało dziennikarzy do snucia przypuszczeń, kiedy roboty pozostawią ludzi daleko w tyle.

Jednak niedoskonałości takich robotów wkrótce stały się oczywiste. Zastosowanie w sztucznej inteligencji podejścia zstępującego doprowadziło do powstania wielkich, nieporadnych robotów, które potrzebowały całych godzin, żeby przejść na drugą stronę specjalnie przygotowanego pokoju, w którym umieszczono jedynie przedmioty o liniach prostych, to znaczy kwadraty i trójkąty. Gdybyśmy umieścili w pokoju jakiś mebel o nieregularnych kształtach, robot nie potrafiłby go rozpoznać. (Na ironię zakrawa fakt, że muszka owocowa z mózgiem zawierającym jedynie około 250 tysięcy neuronów i ułamkiem mocy obliczeniowej tych robotów bez trudu porusza się w trzech wymiarach, wykonując w powietrzu szaleńcze pętle, podczas gdy te ociężałe roboty gubią się nawet w dwóch wymiarach).

Podejście zstępujące wkrótce natrafiło na mur. Steve Grand, dyrektor Cyberlife Institute, mówi, że takie strategie "miały pięćdziesiąt lat, żeby się wykazać i nie całkiem udało im się dotrzymać obietnic"⁴³.

⁴³ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 90.

W latach sześćdziesiątych uczeni nie zdawali sobie w pełni sprawy z ogromu pracy związanej z programowaniem robotów mających wykonywać nawet najprostsze zadania, na przykład z zaprogramowaniem robota tak, by rozpoznawał przedmioty takie jak klucze, buty i filiżanki. Rodney Brooks z MIT przytacza następujący argument: "Czterdzieści lat temu Laboratorium Sztucznej Inteligencji w MIT poleciło jednemu ze studentów rozwiązanie tego problemu w czasie letniej przerwy w nauce. Nie udało mu się to, ja również nie zdołałem rozwiązać go w przygotowywanej w 1981 roku pracy doktorskiej"⁴⁴. Badacze sztucznej inteligencji wciąż nie zdołali rozwiązać tego problemu.

Gdy na przykład wchodzimy do jakiegoś pokoju, natychmiast rozpoznajemy podłogę, krzesła, meble, stoły, i tak dalej. Jednak gdy robot ogląda pokój, nie widzi nic poza olbrzymim zbiorem linii prostych i krzywizn, które przetwarza na piksele. Komputer potrzebuje niezwykle długiego czasu, żeby z tej plątaniny linii wyciągnąć jakieś wnioski. My w ułamku sekundy rozpoznamy stół, ale komputer widzi jedynie zbiór kół, owali, spiral, linii prostych, krzywizn, rogów i tak dalej. Po przeprowadzeniu niezwykle długotrwałych obliczeń, robotowi być może uda się w końcu ustalić, że przedmiotem tym jest stół. Jeżeli jednak obrócimy obraz, komputer będzie musiał zacząć wszystko od początku. Mówiąc inaczej, roboty widzą, i to lepiej niż ludzie, ale nie rozumieją, co widzą. Wchodząc do pokoju, robot ujrzy jedynie plątaninę linii i krzywizn, a nie krzesła, stoły i lampy.

Gdy wchodzimy do pokoju, nasz mózg podświadomie rozpoznaje obiekty, przeprowadzając biliony bilionów obliczeń - żyjemy w błogiej nieświadomości tej aktywności. Powodem, dla którego nie mamy świadomości wszystkiego, co dzieje się w mózgu, jest ewolucja. Gdybyśmy znaleźli się w lesie sam na sam z szarżującym tygrysem szablatozębnym, świadomość wszystkich obliczeń potrzebnych do rozpoznania niebezpieczeństwa i ucieczki sparaliżowałaby nas. Aby móc przetrwać, musimy jedynie wiedzieć, jak biec. Gdy żyliśmy w dżungli, po prostu nie była nam potrzebna świadomość wszystkich szczegółów związanych z rozpoznawaniem przez nasz mózg ziemi, nieba, drzew, kamieni i tak dalej.

Innymi słowy, sposób działania naszego mózgu można przyrównać do wielkiej góry lodowej. Wiemy jedynie o istnieniu czubka tej góry - świadomego umysłu. Jednak pod powierzchnią, ukryty przed naszym wzrokiem, znajduje się znacznie większy obiekt - umysł nieświadomy, pochłaniający olbrzymie ilości mocy obliczeniowej mózgu w celu zrozumienia prostych otaczających go rzeczy, takich jak ustalenie, gdzie się znajdujemy, z kim rozmawiamy i co znajduje się w pobliżu. Wszystko to dzieje się automatycznie, bez naszego zezwolenia czy wiedzy.

Taki jest właśnie powód tego, że roboty nie potrafią przejść na drugi koniec pokoju, odczytać odręcznego pisma, prowadzić ciężarówek czy samochodów, wynosić śmieci, i tak dalej. Armia amerykańska wydaje setki milionów dolarów na stworzenie mechanicznych żołnierzy i inteligentnych ciężarówek, bez powodzenia.

Uczeni powoli uświadamiają sobie, że gra w szachy czy mnożenie wielkich liczb wymaga jedynie niewielkiego, wąskiego skrawka ludzkiej inteligencji. Gdy w 1997 roku skonstruowany

⁴⁴ R. Brooks, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 60.

przez IBM komputer Deep Blue pokonał szachowego mistrza świata Garriego Kasparowa w trwającym sześć partii meczu, było to zwycięstwo czystej mocy obliczeniowej, lecz doświadczenie to nic nam nie powiedziało na temat inteligencji czy świadomości, chociaż mecz trafił na czołówki wielu gazet. Douglas Hofstadter, informatyk z Indiana University, tak skomentował ten fakt: "Mój Boże, zawsze sądziłem, że szachy wymagają myślenia. Teraz wiem już, że to nieprawda. Nie oznacza to, że Kasparow nie jest wielkim myślicielem. Po prostu grając w szachy, można ominąć myślenie, tak jak można fruwać w powietrzu, nie machając skrzydłami"⁴⁵.

(Rozwój komputerów wpłynie również zdecydowanie na przyszłość rynku pracy. Futuryści często przewidują, że za kilkadziesiąt lat jedynie wysoko wykwalifikowani informatycy i technicy będą mieli pracę. Ale w rzeczywistości ludzie tacy jak pracownicy służby oczyszczania miasta, budowlańcy, strażacy, policjanci i tak dalej, również w przyszłości znajdą zatrudnienie, ponieważ do wykonania ich zadań potrzebna jest umiejętność rozpoznawania wzorców. Każde przestępstwo, śmieć, narzędzie i pożar są inne, a tym samym nie mogą się nimi zajmować roboty. Co ciekawe, pracownicy wykonujący zawody, do których potrzebne jest co najmniej średnie wykształcenie, na przykład księgowi niższego szczebla, maklerzy i kasjerzy, mogą w przyszłości stracić pracę, ponieważ jest ona dosyć powtarzalna i wiąże się z operowaniem liczbami, w czym komputery są bezkonkurencyjne).

Oprócz rozpoznawania wzorców istnieje również drugi wspomniany problem na drodze do skonstruowania robotów, a jest nim brak zdrowego rozsądku. Ludzie wiedzą, że:

- woda jest mokra,
- matki są starsze od swoich córek,
- zwierzęta nie lubią bólu,
- po śmierci już się nie powraca,
- za pomocą sznurka można ciągnąć, ale nie można popychać,
- patykiem można popychać, ale nie można ciągnąć,
- czas nie biegnie do tyłu.

W matematyce nie istnieje jednak żadna sekwencja obliczeń, pozwalająca wyrazić te prawdy. My wiemy to wszystko, ponieważ widzieliśmy zwierzęta, wodę i sznurki, i sami doszliśmy do tych prawd. Dzieci uczą się zdrowego rozsądku, zderzając się boleśnie z rzeczywistością. Intuicyjnych praw biologii i fizyki uczymy się w dotkliwy sposób, wchodząc w interakcję z prawdziwym światem. Roboty jednak tego nie doświadczyły. Wiedzą jedynie to, co zostało w nich z góry zaprogramowane.

(W wyniku tego ludzie będą w przyszłości wykonywali również zawody wymagające zdrowego rozsądku, zmysłu artystycznego, oryginalności, talentu aktorskiego, humoru, umiejętności zabawiania, analizowania i zdolności przywódczych. Te właśnie cechy czynią z nas istoty niepowtarzalne i komputery mają trudności z ich naśladowaniem).

⁴⁵ "Washington Post", 19 lutego 1996, s. Ali. Douglas Hofstadter, wywiad z autorem, 27 maja 1997. Cyt. za: M. Kaku, *Wizje, op. cit.*, s. 97.

W przeszłości matematycy próbowali tworzyć intensywne programy badawcze, które pozwoliłyby raz na zawsze zebrać wszystkie zdroworozsądkowe prawa. Najbardziej ambitną próbą jest CYC (nawiązanie do angielskiego słowa *encyclopedia*, encyklopedia), pomysł Douglasa Lenata, szefa Cycorp. Niczym "Projekt Manhattan", program badawczy, którego koszt wyniósł 2 miliardy dolarów, a wynikiem była bomba atomowa, CYC miał pełnić analogiczną rolę w badaniach sztucznej inteligencji, miał być ostatnim impulsem potrzebnym do jej powstania.

Nic więc dziwnego, że motto Lenata brzmi: "Inteligencja to 10 milionów reguł"⁴⁶. (Lenat wymyślił nowatorski sposób odkrywania nowych praw zdroworozsądkowych; każe swoim pracownikom czytać tabloidy opisujące skandale i pełne plotkarskich doniesień szmatławce. Następnie zadaje systemowi CYC pytanie, czy potrafi wykryć błędy w tabloidach. Jeżeli Lenatowi to się uda, system CYC może rzeczywiście być inteligentniejszy od większości czytelników tabloidów!).

Jednym z celów programu CYC jest osiągnięcie zbilansowania, to znaczy punktu, w którym robot będzie już na tyle dużo rozumiał, że będzie mógł samodzielnie pozyskiwać nowe informacje, czytając po prostu czasopisma i książki z dowolnej biblioteki. Wtedy, niczym pisklę opuszczające gniazdo, CYC będzie mógł rozpostrzeć skrzydła i wzlecieć o własnych siłach.

Jednak od założenia firmy w 1984 roku jej wiarygodność ucierpiała na skutek powszechnego w badaniach sztucznej inteligencji problemu: wysuwania przewidywań, które szybko trafiają na czołówki gazet, ale są szalenie nierealistyczne. Lenat przewidywał, że w ciągu dziesięciu lat, do 1994 roku, system CYC będzie zawierał od 30 do 50 procent uzgodnionej rzeczywistości. Dzisiaj system CYC nie jest nawet bliski osiągnięcia tej wartości. Uczni z Cycorp przekonali się, że aby komputer mógł chociaż w przybliżeniu dysponować zdrowym rozsądkiem czteroletniego dziecka, trzeba zaprogramować miliony milionów linii kodu. Jak dotąd ostatnia wersja programu CYC zawiera jedynie marne 47 tysięcy pojęć i 306 tysięcy faktów. Bez względu na ogłaszane regularnie przez Cycorp optymistyczne komunikaty prasowe, cytowany jest jeden ze współpracowników Lenata, RV Guh, który odszedł z zespołu w 1994 roku, a który miał powiedzieć:

"CYC jest ogólnie postrzegany jako porażka... Wypruwaliśmy sobie żyły, próbując stworzyć błady cień tego, co kiedyś obiecano"⁴⁷.

Innymi słowy, próby zaprogramowania w jednym komputerze wszystkich praw zdroworozsądkowych utknęły w martwym punkcie z tej prostej przyczyny, że jest ich tak wiele. Ludzie uczą się tych praw bez większego wysiłku, ponieważ w trakcie naszego życia raz za razem zderzamy się z otaczającym nas środowiskiem, niepostrzeżenie przyswajając sobie prawa fizyki i biologii - roboty tak nie postępują.

Założyciel Microsoftu, Bill Gates, przyznaje: "Jedną z przyczyn rozżewu między rzeczywistością a oczekiwaniami są trudności w wyposażeniu robotów w zmysły, które pozwolą im orientować się w otoczeniu oraz szybko i trafnie reagować na bodźce. Okazało się, że niezwykle trudno odtworzyć w urządzeniu technicznym zdolności, które dla ludzi są całkiem naturalne, na przykład

⁴⁶ P. Wallich, *Krzemowe dzieci*, "Świat Nauki", luty 1992, s. 92.

⁴⁷ B. Gates, "Skeptic Magazine", t.12, nr 12, 2006, s. 35.

umiejętność określania swojej pozycji w pomieszczeniu w stosunku do innych przedmiotów albo rozpoznawania dźwięków i interpretowania ich jako mowy, bądź też chwytania przedmiotów o różnych rozmiarach, masie, fakturze, konsystencji czy kruchości. Nawet tak prosta sprawa, jak odróżnienie otwartych drzwi od okna, jest dla robota czymś piekielnie trudnym⁴⁸.

Zwolennicy stosowania w badaniach sztucznej inteligencji podejścia zstępującego wskazują jednak, że w laboratoriach kierujących się tym podejściem na całym świecie cały czas dokonuje się postępów, choć nieraz w żółwym tempie. Na przykład, kilka lat temu Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), często wspierająca projekty związane z najnowszą techniką, ustanowiła nagrodę w wysokości dwóch milionów dolarów za skonstruowanie pojazdu, który potrafiłby samodzielnie poruszać się po nierównym terenie pustyni Mojave. W 2004 roku ani jednemu pojazdowi zgłoszonemu do DARPA Grand Challenge nie udało się ukończyć wyścigu. Najlepszy pojazd zdołał przejechać 11,9 kilometra, zanim się zepsuł. Ale w 2005 roku przygotowanemu przez Stanford Racing Team pojazdowi udało się pokonać wyczerpującą trasę liczącą 212,5 kilometra (choć potrzebował na to siedmiu godzin). Również cztery inne pojazdy ukończyły wyścig. (Niektórzy krytycy zauważają, że zasady współzawodnictwa dopuszczały wykorzystanie GPS-u do poruszania się po długich pustych ścieżkach; w rezultacie pojazdy podążały z góry ustaloną trasą, nie napotykając zbyt wielu trudności, więc nigdy nie były zmuszone do rozpoznawania skomplikowanych przeszkód na swojej drodze. W czasie rzeczywistej jazdy, samochody muszą w sposób nieprzewidywalny poruszać się wśród innych samochodów, pieszych, omijać roboty drogowe, korki i tak dalej).

Bill Gates z ostrożnym optymizmem odnosi się do stwierdzenia, że roboty mogą być kolejnym przełomem. Porównuje dzisiejszą robotykę do rozwoju komputerów osobistych, w którego początkach sam wziął udział trzydzieści lat temu. Podobnie jak komputery PC, robotyka może już być gotowa do rozwinięcia skrzydeł. "Nikt nie wie, kiedy, ani czy w ogóle, nastąpi w niej szybki postęp - pisze. - Gdy jednak już do tego dojdzie, świat może zmienić się nie do poznania"⁴⁹.

(Kiedy roboty z podobną do ludzkiej inteligencją staną się powszechnie dostępne, będzie na nie olbrzymi popyt. Choć prawdziwe roboty obecnie nie istnieją, programowane do konkretnych zastosowań roboty są konstruowane i to w dużych ilościach. Międzynarodowa Federacja Robotyki [International Federation of Robotics] szacuje, że w 2004 roku istniało około 2 milionów takich osobistych robotów, a do 2008 roku zostanie zainstalowanych kolejne 7 milionów. Japońskie Stowarzyszenie Robotyki [Japanese Robot Association] przewiduje, że do roku 2025 wartość rynku robotów osobistych, obecnie ocenianego na 5 miliardów dolarów, będzie wzrastała o 50 miliardów dolarów rocznie).

Podejście wstępujące

Z powodu ograniczeń związanych ze stosowaniem w tworzeniu sztucznej inteligencji podejścia zstępującego, próbuje się również stosować podejście wstępujące, to znaczy naśladować ewolucję

⁴⁸ B. Gates, *Robot w każdym domu*, "Świat Nauki", luty 2007, s. 50-51.

i sposób, w jaki dziecko zdobywa wiedzę. Na przykład owady, poruszając się, nie rejestrują obrazu swojego otoczenia i nie przekształcają go później na miliardy miliardów pikseli, by przetwarzać go za pomocą superkomputerów. Mózgi owadów zbudowane są z sieci neuronowych, układów uczących się, które wpadając na przeszkody, powoli przyswajają sobie wiedzę, jak poruszać się we wrogim świecie. Uczni w MIT przekonali się, że poprzez zastosowanie podejścia zstępującego bardzo trudno jest zbudować roboty potrafiące chodzić. Jednak proste, przypominające owady mechaniczne stworzenia, zderzając się z otaczającym je środowiskiem i ucząc się od podstaw, potrafią w ciągu kilku minut opanować sztukę przemieszczania się po podłodze laboratorium.

Rodney Brooks, dyrektor słynnego Laboratorium Sztucznej Inteligencji w MIT, znanego ze swoich wielkich, ociężałych robotów koczujących, zbudowanych metodą zstępującą, stał się heretykiem, od kiedy zajął się ideą niewielkich insektoidalnych robotów, które uczą się chodzić prastarą metodą: potykając się i wpadając na przedmioty. Zamiast posługiwać się skomplikowanymi programami komputerowymi, które matematycznie wyliczają dokładne położenie stóp chodzącego robota, jego insektoidy, koordynując ruch swoich odnóży, posługiwały się metodą prób i błędów z wykorzystaniem niewielkiej mocy obliczeniowej. Dzisiaj wielu potomków insektoidalnych robotów Brooksa zbiera na Marsie dane dla NASA, biega po marsjańskich pustkowiach, posługując się własnym rozumem. Brooks wierzy, że jego insektoidy idealnie się nadają do badania Układu Słonecznego.

Jednym z projektów Brooksa był COG, próba stworzenia mechanicznego robota o inteligencji sześciomiesięcznego dziecka. Z zewnątrz COG wygląda jak plątanina drutów, obwodów i przekładni, w której wyróżnia się jedynie głowa, oczy i ramiona. Żadne prawa inteligencji nie zostały w nim zaprogramowane. Zamiast tego zaprojektowano go tak, by skupiał wzrok na ludzkim trenerze, który będzie próbował nauczyć go prostych umiejętności. (Jedna z badaczek, która zaszła w ciążę, założyła się, kto będzie się szybciej uczył: COG czy jej dziecko w wieku dwóch lat. Dziecko zdecydowanie prześcignęło robota).

Pomimo wszystkich tych sukcesów w naśladowaniu zachowania owadów, roboty wykorzystujące sieci neuronowe zupełnie się nie sprawdziły, gdy programiści próbowali w nich odtworzyć zachowania wyższych organizmów, na przykład ssaków. Najbardziej zaawansowane roboty wykorzystujące sieci neuronowe umieją przejść na drugą stronę pokoju lub pływać w wodzie, ale nie potrafią skakać i polować jak pies w lesie czy biegać po pokoju jak szczur. Duże sieci neuronowe robotów składają się z dziesiątków, a nawet setek neuronów; ludzki mózg ma ich jednak ponad 100 miliardów. *C. elegans*, bardzo prosty robak, którego układ nerwowy udało się biologom dokładnie opisać, ma niewiele ponad trzysta neuronów, co oznacza, że jego układ nerwowy należy chyba do najprostszych w przyrodzie. Pomędzy tymi neuronami jest jednak ponad siedem tysięcy połączeń synaptycznych. Chociaż *C. elegans* jest prostym organizmem, jego układ nerwowy jest tak złożony, że nikomu nie udało się jeszcze zbudować komputerowego modelu jego mózgu. (W 1988 roku pewien ekspert komputerowy przepowiadał, że do chwili

⁴⁹ B. Gates, *Robot w każdym domu*, "Świat Nauki", luty 2007, s. 46.

obecnej powinniśmy już mieć roboty ze 100 milionami sztucznych neuronów. W rzeczywistości, sieć neuronowa o 100 neuronach jest uważana za wyjątkową).

Na ironię zakrawa fakt, że maszyny bez trudu wykonują zadania, które ludzie uważają za trudne, takie jak mnożenie dużych liczb czy granie w szachy, są natomiast zupełnie nieporadne, gdy wymaga się od nich wykonania zadań dla ludzi niezwykle łatwych, na przykład chodzenia po pokoju, rozpoznawania twarzy czy ucięcia sobie pogawędki z przyjacielem. Powodem jest to, że nasze najbardziej zaawansowane komputery są w gruncie rzeczy jedynie maszynami do dodawania. Nasz mózg został natomiast zaprojektowany przez ewolucję tak, by mógł sobie radzić z codziennymi problemami i zapewnić nam przetrwanie, co wymaga całej złożonej architektury procesu myślowego, między innymi zdrowego rozsądku i rozpoznawania wzorców. Do przetrwania w lesie nie był potrzebny rachunek różniczkowy ani biegłość w grze w szachy, ale umiejętność unikania drapieżników, znajdowania osobników płci przeciwnej i dostosowywania się do zmieniających się warunków.

Marvin Minsky z MIT, jeden z twórców sztucznej inteligencji, podsumowuje jej problemy następująco: "Historia sztucznej inteligencji jest w pewnym sensie zabawna, ponieważ pierwsze rzeczywiste osiągnięcia były czymś wspaniałym, na przykład maszyna, która potrafiła przeprowadzać logiczne dowody lub doskonale sobie radziła na kursie rachunku różniczkowego. Wtedy jednak zaczęły się próby budowy maszyn, które umiałyby odpowiadać na pytania dotyczące najprostszyc opowieści dla dzieci, zamieszczanych w podręcznikach do pierwszej klasy szkoły podstawowej. Jak dotąd nie powstało jeszcze urządzenie, które by się charakteryzowało taką umiejętnością"⁵⁰.

Niektórzy wierzą, że w końcu dojdzie do wielkiej syntezy obydwu podejść, zstępującego i wstępującego, dzięki czemu kluczowe kwestie sztucznej inteligencji zostaną rozwiązane i powstaną roboty przypominające ludzi. Dziecko w czasie nauki początkowo polega głównie na podejściu wstępującym i wpada na otaczające je przedmioty, w końcu jednak dostaje wskazówki od swoich rodziców, z książek i od nauczycieli, zdobywając wiedzę w podejściu zstępującym. W życiu dorosłym nieustannie mieszamy ze sobą te dwa podejścia. Kucharz, na przykład, gotuje w oparciu o przepis, ale jednocześnie przez cały czas próbuje przygotowywane danie.

Hans Moravec mówi, że "w pełni inteligentne maszyny powstaną wtedy, kiedy przedstawiciele obu szkół zjednoczą swoje wysiłki"⁵¹, co nastąpi prawdopodobnie w ciągu najbliższych czterdziestu lat.

Uczuciowe roboty?

Jednym z często spotykanych w literaturze i sztuce wątków jest postać mechanicznej istoty pragnącej stać się człowiekiem, dzielić ludzkie uczucia. Istota ta nie jest zadowolona z tego, że zbudowano ją z drutów i chłodnej stali - chce się śmiać, płakać i odczuwać wszystkie emocjonalne

⁵⁰ S. Kruglinski, *The Top 100 Science Stories of 2006*, "Discover Magazine", s. 16.

⁵¹ H. Moravec, *Mind Children*, Harvard University Press, Cambridge 1988, s. 20. Wywiad z autorem, 14 stycznia 1997. Cyt. za M. Kaku, *Wizje*, op. cit., s. 117.

przyjemności istoty ludzkiej.

Pinokio był na przykład drewnianym pajacykiem, który chciał zostać prawdziwym chłopcem. Blaszyński z *Czarnoksiężnika z krainy Oz* chciał mieć serce. Natomiast Data w *Star Trek* jest robotem przewyższającym wszystkich ludzi siłą i inteligencją, a mimo to wciąż pragnie stać się człowiekiem.

Niektórzy sugerują nawet, że uczucia stanowią najwyższą wartość, decydującą o naszym człowieczeństwie. Uważają, że żadna maszyna nie zachwyci się nigdy zachodem słońca ani nie będzie się śmiała z żartu. Słychać również opinie, że maszyny nigdy nie posiadają zdolności odczuwania uczuć, ponieważ stanowią one ukoronowanie rozwoju człowieka.

Jednak uczeni, którzy pracują nad sztuczną inteligencją i usiłują rozłożyć uczucia na części, kreślą inny obraz. Dla nich w żadnym wypadku nie stanowią one sedna bycia człowiekiem, ale są jedynie produktem ubocznym ewolucji. Krótko mówiąc, uczucia są dla nas dobre. Pomagały nam przeżyć w lesie i nawet dzisiaj pomagają lawirować wśród niebezpieczeństw życia.

Na przykład lubienie czegoś ma z punktu widzenia ewolucji bardzo ważne znaczenie, ponieważ większość rzeczy jest dla nas groźna. Wśród milionów przedmiotów, na które natrafiamy każdego dnia, jedynie garstka jest dla nas pożyteczna. Zatem lubienie czegoś oznacza umiejętność rozpoznania jednej z niewielu rzeczy pomagających przetrwać pośród milionów przedmiotów mogących wyrządzić nam krzywdę.

Podobnie zazdrość jest ważnym uczuciem, gdyż sukces w rozmnażaniu jest kluczowy do zapewnienia przetrwania naszych genów i przekazania ich następnemu pokoleniu. (Dlatego właśnie z seksem i miłością wiąże się tyle uczuć o dużym ładunku emocjonalnym).

Wstyd i żal są ważne, ponieważ pozwalają nam zdobyć umiejętności społeczne potrzebne do funkcjonowania we współpracującej ze sobą grupie. Gdybyśmy nigdy nie przeproszali, zostalibyśmy w końcu wyrzuceni z plemienia, co zmniejszyłoby nasze szanse na przetrwanie i przekazanie swoich genów.

Również uczucie osamotnienia pełni zasadniczą rolę. Na pierwszy rzut oka może się ono wydawać niepotrzebne i nadmiarowe. W końcu potrafimy funkcjonować w pojedynkę. Ale tęsknota za towarzystwem także jest istotna dla przetrwania, dlatego że do jego zapewnienia potrzebne są nam zasoby całego plemienia.

Innymi słowy, gdy roboty osiągną bardziej zaawansowany poziom, one również mogą zostać wyposażone w uczucia. Może zostaną zaprogramowane tak, by przywiązywały się do swoich właścicieli lub dozorców, co da im pewność, że nie trafią na złomowisko. Takie uczucia pozwolą im łatwiej odnaleźć się w społeczności, dzięki czemu będą mogły być pomocnymi towarzyszami, a nie rywalami swoich właścicieli.

Ekspert komputerowy Hans Moravec wierzy, że roboty, by mogły zadbać o siebie, będą musiały mieć zaprogramowane takie uczucia jak strach. Na przykład, gdy poziom naładowania akumulatorów robota będzie niski, "pojawi się niepokój, nawet panika i inne sygnały czytelne dla ludzi. Robot może nawet pobiec do sąsiadów i błagać, żeby pozwolili mu podłączyć się na chwilę

do kontaktu: «Bardzo państwa proszę! Ja tak tego potrzebuję, to takie ważne, a tak niewiele kosztuje. My wam to zwrócimy!»⁵².

Również w procesie podejmowania decyzji uczucia odgrywają kluczową rolę. Istnieją osoby, które w wyniku szczególnego rodzaju uszkodzenia mózgu utraciły możliwość doświadczania uczuć. Ich zdolność logicznego myślenia nie zmniejszyła się, nie mogą jedynie wyrażać żadnych emocji. Neurolog dr Antonio Damasio z Wydziału Medycyny na University of Iowa, który badał ludzi z tego typu urazami mózgu, stwierdza, że wydaje się, iż oni “wiedzą, ale nie czują”⁵³.

Doktor Damasio odkrył, że takie osoby często paraliżuje konieczność podjęcia choćby najmniejszej decyzji. Nie mogąc w kwestii wyboru polegać na uczuciach, bez końca rozważają jedną i drugą możliwość, co prowadzi do całkowitej niemocy decyzyjnej. Jeden z pacjentów dr Damasio przez pół godziny usiłował wybrać datę swojej kolejnej wizyty.

Uczni uważają, że uczucia przetwarzane są przez znajdujący się głęboko w mózgu, w samym jego środku, układ limbiczny. Gdy u ludzi dochodzi do utraty komunikacji między korą nową (rządzącą racjonalnym myśleniem) a układem limbicznym, ich zdolność rozumowania pozostaje taka sama, jednak tracą możliwość odczuwania emocji, które pomagałyby im w podejmowaniu decyzji. Czasami mamy przecucie, jakieś przeświadczenie, które przyspiesza podjęcie przez nas decyzji. Ludzie z urazami wpływającymi na komunikację między racjonalną i uczuciową częścią mózgu nie mają tej zdolności.

Gdy na przykład idziemy na zakupy, podświadomie dokonujemy tysięcy ocen dotyczących niemal wszystkiego, co widzimy: “To jest za drogie, za tanie, zbyt kolorowe, zbyt wyzywające lub w sam raz!”. Dla ludzi z takim uszkodzeniem mózgu zakupy mogą się zmienić w koszmar, ponieważ wydaje im się, że wszystko, co widzą, ma taką samą wartość.

Gdy roboty staną się inteligentniejsze i będą potrafiły dokonywać własnych wyborów, również one będą mogły ulec paraliżowi decyzyjnemu. (Kojarzy się to z wierszykiem o osiołku, któremu “w żłobie dano, w jednym owies, w drugim siano”, i który w końcu zdycha z głodu, bo nie może się zdecydować, co zjeść). Aby im pomóc, roboty trzeba będzie prawdopodobnie w przyszłości wyposażać w programy tworzące w ich mózgach uczucia. Wypowiadając się na temat braku uczuć u robotów, dr Rosalind Picard z MIT Media Lab mówi: “Nie czują, co jest najważniejsze. To jedna z największych niedoskonałości. Komputery po prostu tego nie pojmują”⁵⁴.

Rosyjski pisarz Fiodor Dostojewski napisał: “Gdyby na ziemi wszystko było rozsądnie urządzone, to nic by się nie wydarzyło”⁵⁵.

Innymi słowy, roboty przyszłości prawdopodobnie będą musiały mieć uczucia, żeby stawiać przed sobą cele, nadać swojemu “życiu” znaczenie i uporządkować je, w przeciwnym razie będą sparaliżowane nieskończoną liczbą możliwości.

⁵² D. Crevier, *AI*, Basic Books, New York 1993, s. 267. Cyt. za M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 138.

⁵³ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 98.

⁵⁴ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 101.

⁵⁵ F. Dostojewski, *Bracia Karamazow* (księga XI, rozdział IX), PIW, Warszawa 1987, [w: F. Dostojewski, *Dzieła wybrane*, t. 6 cz. 2], s. 319, tłum. A. Wat (przyp. tłum.).

Czy mają świadomość?

Nie ma powszechnej zgody w kwestii tego, czy maszyny mogą mieć świadomość, nie ma nawet porozumienia co do znaczenia słowa świadomość. Nikt jak dotąd nie zaproponował odpowiedniej definicji świadomości.

Marvin Minsky opisuje świadomość jako coś na kształt społeczności umysłów. Chodzi o to, że proces myślowy w naszym mózgu nie zachodzi w jednym miejscu, jest bowiem rozproszony, w każdym momencie współzawodniczą ze sobą różne ośrodki mózgu. Świadomość można postrzegać wtedy jako sekwencję myśli i obrazów pochodzących z tych różnych, mniejszych umysłów, starających się zwrócić na siebie naszą uwagę.

Jeżeli to prawda, to być może świadomości przypisujemy zbyt duże znaczenie, może napisano zbyt wiele artykułów na temat nadmiernie komplikowany przez filozofów i psychologów. Może zdefiniowanie świadomości nie jest takie trudne. Sydney Brenner z Salk Institute w La Jolla mówi: "Przewiduję, że do roku 2020, roku dobrego wzroku⁵⁶, świadomość przestanie być problemem naukowym [...]. Następne pokolenia nie będą mogły się nadziwić ilości naukowych bzdur, o jakich się dzisiaj dyskutuje, to znaczy, jeżeli będą miały dość cierpliwości, by przekopać się przez elektroniczne archiwa zapomnianych czasopism"⁵⁷.

Badania nad sztuczną inteligencją "zazdroszczą fizyce", twierdzi Marvin Minsky. Świętym Graalem fizyki jest odkrycie prostego równania, które zunifikuje w jednej teorii siły fizyczne Wszechświata, tworząc teorię wszystkiego. Badacze sztucznej inteligencji znaleźli się pod zbyt dużym wpływem tej idei i próbowali odkryć jeden paradygmat wyjaśniający świadomość. Lecz taki prosty paradygmat może po prostu nie istnieć, sugeruje Minsky.

Inni, którzy jak ja należą do szkoły "konstrukcjonistów", uważają, że zamiast bez końca spierać się, czy można skonstruować myślące maszyny, powinno się po prostu spróbować je zbudować. Jeżeli chodzi o świadomość: być może istnieje całe *continuum* świadomości, od prymitywnego termostatu monitorującego temperaturę w pokoju, po świadome siebie organizmy, jakimi obecnie jesteśmy. Zwierzęta mogą mieć świadomość, ale nie jest ona na takim samym poziomie, jak u istot ludzkich. Powinniśmy zatem próbować skategoryzować wszystkie te różne rodzaje i poziomy świadomości, a nie roztrząsać filozoficzne pytania o znaczenie świadomości. Roboty mogą przecież w końcu uzyskać krzemową świadomość. Kiedyś ich sposób myślenia i przetwarzania informacji może stać się całkowicie odmienny od naszego. Zaawansowane roboty przyszłości mogą zatrzeć granicę między składnią i semantyką tak, że ich odpowiedzi będą nieodróżnialne od odpowiedzi ludzi. Jeżeli tak się stanie, kwestia, czy rzeczywiście "rozumieją" pytanie, w dużym stopniu straci na znaczeniu. Z praktycznego punktu widzenia, robot, który doskonale opanował składnię, rozumie, co się do niego mówi. Mówiąc inaczej, doskonałe opanowanie składni *jest* zrozumieniem).

⁵⁶ W badaniach wzroku wynik 20/20 oznacza oko zdrowe, o idealnej ostrości widzenia (przyp. tłum.).

⁵⁷ S. Brenner, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 35.

Czy roboty mogą być niebezpieczne?

Dzięki prawu Moore'a, zgodnie z którym moc komputerów podwaja się co półtora roku, można sobie wyobrazić, że za kilkadziesiąt lat będziemy produkować roboty dysponujące inteligencją, powiedzmy, psa lub kota. Jednak do 2020 roku prawo Moore'a może przestać obowiązywać, a epoka krzemu może przejść do historii. Zadziwiający wzrost mocy komputerów w ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat był możliwy dzięki temu, że potrafiliśmy wytwarzać coraz mniejsze krzemowe tranzystory - dziesiątki milionów takich tranzystorów bez trudu zmieściłoby się na powierzchni paznokcia. Mikroskopijne tranzystory można wytrawić na płytkach krzemowych przy użyciu promieniowania ultrafioletowego. Jednak metody tej nie można stosować w nieskończoność. W końcu tranzystory staną się tak małe, że osiągną rozmiar pojedynczych cząsteczek i cały proces się załamie. Po roku 2020 Dolina Krzemowa może się zmienić w Pas Rdzy, a epoka krzemu ostatecznie odejdzie do lamusa.

W znajdujących się w naszych notebookach procesorach Pentium grubość powłoki krzemowej wynosi około dwudziestu atomów. Do roku 2020 procesory Pentium mogą być wytwarzane na warstwie o grubości zaledwie pięciu atomów. W takim przypadku zaczyna obowiązywać zasada nieoznaczoności Heisenberga i nie będziemy mieli już pojęcia, gdzie znajduje się elektron. Elektrony będą wtedy wyciekały z układu scalonego i w komputerze dojdzie do zwarcia. W takiej sytuacji rewolucja komputerowa i prawo Moore'a zabrną w ślepy zaułek ze względu na obowiązywanie prawa mechaniki kwantowej. (Słyszysz się czasami, że epoka cyfrowa to zwycięstwo bitów nad atomami. Jednak w końcu, gdy dotrzemy do granic stosowalności prawa Moore'a, atomy będą mogły się zemścić).

Obecnie fizycy pracują już nad postkrzemową technologią, która zdominuje świat komputerowy po roku 2020, jak dotąd jednak z mieszanymi rezultatami. Jak wspomniałem, rozważa się wiele różnych technologii, które mogłyby ostatecznie zastąpić technologię opartą na krzemie, między innymi: komputery kwantowe, komputery oparte na DNA, komputery optyczne, komputery atomowe i tak dalej. Jednak każdy z tych pomysłów musi pokonać olbrzymie przeszkody, zanim będzie mógł przejąć obowiązki układów krzemowych. Technika operowania pojedynczymi atomami i cząsteczkami wciąż jeszcze jest na wczesnym etapie rozwoju, więc wytwarzanie miliardów tranzystorów o rozmiarach atomowych przekracza nasze obecne możliwości.

Przyjmijmy jednak na chwilę, że fizykom udało się zasypać przepaść dzielącą układy krzemowe od, powiedzmy, komputerów kwantowych. Załóżmy również, że prawo Moore'a w postkrzemowej epoce w dalszym ciągu obowiązuje. W takiej sytuacji sztuczna inteligencja może stać się realną możliwością. Roboty będą mogły opanować ludzką logikę oraz uczucia, i za każdym razem pomyślnie przechodzić test Turinga. Steven Spielberg zajął się tą kwestią w swoim filmie *AI. Sztuczna inteligencja*, w którym przedstawiono pierwszego robota-chłopca potrafiącego przejawiać uczucia, dzięki czemu mógł zostać adoptowany przez ludzką rodzinę.

To rodzi pytanie: czy takie roboty mogłyby być niebezpieczne? Odpowiedź brzmi: to możliwe. Mogłyby stać się niebezpieczne już z chwilą osiągnięcia inteligencji małpy, która jest świadoma

swego istnienia i potrafi realizować własne cele. Osiągnięcie takiego poziomu może nam zabrać jeszcze wiele dziesięcioleci, więc uczeni będą mieli dużo czasu na obserwowanie robotów, zanim staną się one zagrożeniem. Na przykład w ich procesorach można by umieścić specjalny układ scalony uniemożliwiający im wpadanie w szal. Mogłyby również mieć wbudowany mechanizm samozniszczenia lub dezaktywacji, który by je wyłączał w przypadku niebezpieczeństwa.

Arthur C. Clarke napisał: "Może się zdarzyć, iż staniemy się maskotkami dla komputerów, będziemy traktowani jak pokojowe pieski, ale mam nadzieję, że jeśli zajdzie potrzeba, zawsze będziemy mogli wyciągnąć wtyczkę z gniazdka"⁵⁸.

Bardziej przyziemnym zagrożeniem jest uzależnienie od komputerów naszej infrastruktury. Zaopatrzenie w wodę i sieć energetyczną, nie wspominając już o transporcie i sieci komunikacyjnej, będą w przyszłości w coraz większym stopniu skomputeryzowane. Miasta stały się już tak skomplikowane, że jedynie zawile i złożone sieci komputerowe mogą zarządzać i monitorować ich rozległą infrastrukturę. W przyszłości coraz ważniejsze stanie się wyposażenie tej sieci komputerowej w sztuczną inteligencję. Awaria lub rozpad takiej obejmującej wszystko infrastruktury komputerowej mogłyby sparaliżować całe miasto, kraj, a nawet cywilizację.

Czy komputery w końcu prześcigną nas pod względem inteligencji? Z pewnością w prawach fizyki nie ma niczego, co stałoby temu na przeszkodzie. Jeżeli roboty będą sieciami neuronowymi, które potrafią się uczyć i dojdą do poziomu, na którym będą przyswajając wiedzę szybciej i skuteczniej od nas, logiczną konsekwencją będzie to, że w końcu prześcigną nas w myśleniu. Hans Moravec powiedział: "[Świat postbiologiczny] będzie światem, w którym rasa ludzka zostanie zmieciona przez falę zmian kulturowych, wywołanych uzurpatorskimi zapędami własnego potomstwa... Kiedy ten czas nadejdzie, DNA, przegrawszy wyścig ewolucyjny w nowym rodzaju współzawodnictwa, stanie się bezużyteczny"⁵⁹.

Niektórzy wynalazcy, między innymi Ray Kurzweil, przewidują, że czas ten nadejdzie już wkrótce, raczej wcześniej niż później, nawet w ciągu najbliższych dziesięcioleci. Być może stworzymy już naszych ewolucyjnych następców. Niektórzy informatycy wyobrażają sobie moment nazywany osobiwością, w którym roboty zaczną przetwarzać informacje w tempie wykładniczym, tworząc w ramach tego procesu nowe roboty, aż w efekcie ich wspólna zdolność przyswajania informacji będzie się powiększała prawie bez żadnych ograniczeń.

W długofalowych ocenach sytuacji pojawiły się głosy opowiadające się za tym, aby połączyć technologię krzemową z węglową, zamiast czekać, aż wyginiemy⁶⁰. My, ludzie, składamy się głównie z węgla, natomiast roboty budowane są w oparciu o krzem (przynajmniej na razie). Być może rozwiązaniem jest połączenie się z naszymi wytworami. (Jeżeli kiedykolwiek spotkamy istoty

⁵⁸ Cyt. za: M. Kaku, *Wizje*, op. cit., s. 197.

⁵⁹ Cyt. za: M. Kaku, *Wizje*, op. cit., s. 174.

⁶⁰ Zatem może się ostatecznie okazać, że dla przetrwania naszego gatunku kluczowe staną się zbudowane przez nas mechaniczne istoty. Marvin Minsky tak to ujmuje: "My, ludzie, nie stanowimy kresu ewolucji, więc jeżeli potrafimy zbudować urządzenie, które jest tak inteligentne jak człowiek, możemy zapewne zbudować również takie, które będzie jeszcze mądrzejsze. Tworzenie jedynie kopii człowieka nie ma sensu. Pragnie

pozaziemskie, nie powinniśmy się zdziwić, gdy odkryjemy, że są one stworzeniami częściowo organicznymi, a częściowo mechanicznymi, bo dzięki temu mogły stawić czoło rygorystycznym warunkom podróży kosmicznych i rozwijać się we wrogich środowiskach).

W odległej przyszłości roboty, lub podobne do ludzi cyborgi, mogą nawet obdarzyć nas nieśmiertelnością⁶¹. Marvin Minsky dodaje: "A co będzie, jeśli wypali się Słońce lub zniszczymy naszą planetę? Dlaczego nie mielibyśmy stworzyć lepszych fizyków, inżynierów czy matematyków? Może będziemy musieli stać się architektami naszej własnej przyszłości. Jeżeli nie podejmiemy tego wyzwania, nasza kultura może zniknąć".

Hans Moravec wyobraża sobie, że w odległej przyszłości nasza struktura neuronowa zostanie przeniesiona, neuron po neuronie, bezpośrednio do maszyny, dzięki czemu, w pewnym sensie, uzyskamy nieśmiertelność. To szalony pomysł, niewykraczający jednak poza granice fizycznej możliwości. Zatem niektórzy uczeni przypuszczają, że w odległej przyszłości ostatecznym losem ludzkości może być osiągnięcie nieśmiertelności (w postaci zmodyfikowanego DNA lub krzemowych ciał).

Idea stworzenia myślących maszyn przynajmniej tak inteligentnych jak zwierzęta, a być może tak mądrych jak my sami (lub nawet mądrzejszych), może stać się rzeczywistością jeszcze w tym stuleciu, jeżeli tylko uda nam się zapobiec załamaniu się prawa Moore'a i rozwiązać problem z modelowaniem zdrowego rozsądku. Chociaż wciąż odkrywamy nowe podstawowe prawa sztucznej inteligencji, postęp w tej dziedzinie dokonuje się niezwykle szybko i wygląda obiecująco. Biorąc to wszystko pod uwagę, zaliczyłbym roboty i inne myślące maszyny do niemożliwości typu I.

my stworzyć takie urządzenie, które będzie robiło rzeczy, których my nie potrafimy" S. Kruglinski, *The Top 100 Science Stories of 2006*, "Discover Magazine", s. 18.

⁶¹ Oczywiście ludzie zawsze marzyli o nieśmiertelności, już od zamierzchłych czasów, gdy jako jedyni w królestwie zwierząt zaczęli zastanawiać się nad własną śmiertelnością. Woody Allen tak się kiedyś wypowiedział na temat nieśmiertelności: "Nie pragnę osiągnąć nieśmiertelności dzięki moim dziełom. Chcę ją osiągnąć dzięki temu, że nie umrę. Nie chcę żyć w sercach moich rodaków. Wolałbym raczej wieść życie w swoim mieszkaniu". Moravec wierzy, że w odległej przyszłości scalimy się z budowanymi przez nas urządzeniami, osiągając wyższy poziom inteligencji. Będzie to wymagało skopiowania 100 miliardów neuronów naszego mózgu, a każdy z nich ma połączenie być może nawet z kilkoma tysiącami innych neuronów. Można sobie wyobrazić operację chirurgiczną, w trakcie której obok nas na stole operacyjnym leży niedokończony robot. Operację przeprowadza się w ten sposób, że usunięciu każdego pojedynczego neuronu towarzyszy stworzenie jego wiernej krzemowej kopii w ciele robota. W ten sposób każdy neuron w naszym ciele zostaje zastąpiony krzemowym neuronem w robocie, dzięki czemu w czasie całej operacji zachowujemy pełną świadomość. W końcu, cały nasz mózg zostaje w sposób ciągły przeniesiony do wnętrza robota, a my jesteśmy świadkami tego zdarzenia. Pewnego dnia umieramy w naszym niedołączonym, schorowanym ciele. Następnego ranka budzimy się wewnątrz nieśmiertelnego ciała, zachowując nasze wspomnienia i osobowość, nie tracąc świadomości.

Rozdział 8

ISTOTY POZAZIEMSKIE I UFO

Albo jesteśmy sami we Wszechświecie, albo nie. Obie te możliwości są równie przerażające.
- Arthur C. Clarke

Nad Los Angeles zawisł olbrzymi statek kosmiczny rozciągający się na wiele kilometrów. Przesłonił sobą całe niebo i pogrążył miasto w złowroziej ciemności. Na całym świecie pancerne statki w kształcie spodka zajmują pozycje nad wszystkimi większymi miastami. Setki rozradowanych gapiów pragnących powitać w L.A. istoty z innej planety gromadzą się na szczycie drapacza chmur, by być jak najbliżej swoich gwiazdnych gości.

Dopiero po kilku dniach bezszelestnego unoszenia się nad miastem brzuch statku kosmicznego zaczyna się powoli otwierać. Wydobywa się z niego rozpalony błysk światła laserowego, który w mgnieniu oka zmienia drapacz chmur w górę popiołu i wywołuje falę uderzeniową, która przetacza się przez całe miasto, niszcząc wszystko na swej drodze. Miasto w ciągu kilku sekund zmienia się w wypalone gruzowisko.

W filmie *Dzień Niepodległości* obcy stanowią ucieleśnienie naszych najgłębszych lęków. W obrazie *E. T.* natomiast obcy obrazują nasze marzenia i fantazje. Ludzi od dawna fascynuje myśl o obcych istotach zamieszkujących inne światy. Już w 1611 roku w swoim traktacie *Somnium* (Sen) astronom Johannes Kepler, posługując się najlepszą wiedzą naukową swej epoki, snuł rozważania na temat wyprawy na Księżyc, w czasie której mogłoby dojść do spotkania z dziwnymi stworami, roślinami i zwierzętami. Życie w kosmosie to częsty temat konfrontacji między nauką a religią, których skutki bywają tragiczne.

Kilka lat wcześniej, w roku 1600, były dominikanin, filozof Giordano Bruno został spalony na stosie na jednym z rzymskich placów. Aby go upokorzyć, władze kościelne kazały przed spaleniem powiesić go do góry nogami i zedrzeć z niego ubranie. Co powodowało, że nauki Bruna były tak niebezpieczne? Zadał proste pytanie: czy w kosmosie istnieje życie? Tak jak Kopernik wierzył, że Ziemia krąży wokół Słońca, ale w odróżnieniu od niego wierzył również, że w przestrzeni kosmicznej mogą żyć stworzenia podobne do nas. (Dla Kościoła wygodniejsze było spalenie filozofa na stosie niż rozważanie możliwości istnienia w przestrzeni kosmicznej miliardów świętych, papieży, kościołów i Jezusów Chrystusów).

Przez czterysta lat pamięć o Giordanie Brunie prześladowała historyków nauki. Dzisiaj jednak Bruno co kilka tygodni ma okazję do odwetu. Mniej więcej dwa razy na miesiąc odkrywa się nową planetę poza Układem Słonecznym, obiegającą jedną z gwiazd w kosmosie. Udokumentowano już ponad 250 planet krążących wokół innych gwiazd. Przewidywania Bruna na temat istnienia planet pozasłonecznych zostały potwierdzone ponad wszelką wątpliwość. Wciąż jednak pozostaje jedno pytanie. Nawet jeśli nasza Galaktyka, Droga Mleczna, jest pełna planet, na ilu z nich mogłoby

rozwinąć się życie? A jeżeli inteligentne życie istnieje w kosmosie, co na jego temat może powiedzieć nasza nauka?

Oczywiście hipotetyczne spotkania z istotami pozaziemskimi od pokoleń fascynują opinię publiczną, wywołują wypieki na twarzach czytelników i publiczności zgromadzonej w kinach. Do najślynniejszego incydentu doszło 30 października 1938 roku, gdy Orson Welles postanowił spleść amerykańskiej publiczności psikusa na Halloween. Wzorując się na głównym wątku *Wojny światów* H.G. Wellsa, przygotował serie krótkich komunikatów, które nadawano w ogólnokrajowym radiu CBS, przerywając taneczną muzykę. Odgrywano w ten sposób, godzina po godzinie, inwazję Marsjan na Ziemię i wynikający z niej upadek cywilizacji. Miliony Amerykanów wpadły w panikę po usłyszeniu "wiadomości", że maszyny z Marsa wylądowały w Grover's Mili w stanie New Jersey i za pomocą promieni śmierci niszczą miasta, podbijając cały świat. (Później można było przeczytać w gazetach, że w niektórych okolicach ucieczki ludzi doprowadziły do spontanicznych ewakuacji, a naoczni świadkowie zarzekali się, że czuli trujący gaz i widzieli w oddali rozbłyśki światła).

Fascynacja Marsem wzrosła ponownie w latach pięćdziesiątych, gdy astronomowie zauważyli dziwne ślady na jego powierzchni, wyglądające jak gigantyczne *M* o rozmiarze setek kilometrów. Komentatorzy zauważali, że być może *M* ma oznaczać słowo Mars i w ten sposób Marsjanie w pokojowy sposób informują Ziemiaków o swoim istnieniu, niczym kibice układający litery nazwy swojej drużyny na stadionie piłkarskim. (Inni ponuro stwierdzali, że znak *M* jest w rzeczywistości literą *W*, a *W* ma oznaczać słowo wojna. Innymi słowy, Marsjanie wypowiedzieli Ziemi wojnę!). To rozgorączkowanie w mediach ostatecznie ucichło, gdy tajemnicze *M* zniknęło tak nagle, jak się pojawiło. Według wszelkiego prawdopodobieństwa, znak ten był skutkiem burzy pyłowej, która objęła całą planetę z wyjątkiem wierzchołków czterech wielkich wulkanów. Ich szczyty ułożyły się mniej więcej w kształt litery *M* lub *W*.

Naukowe poszukiwania życia

Poważni uczeni badający możliwość istnienia życia pozaziemskiego twierdzą, że zakładając nawet, iż ono istnieje, nie można nic konkretnego na jego temat powiedzieć. Niemniej, opierając się na tym, co wiemy z fizyki, chemii i biologii, możemy poczynić kilka ogólnych uwag na temat natury *obcego życia*.

Po pierwsze, uczeni wierzą, że kluczowym czynnikiem powstania życia we Wszechświecie jest woda w stanie ciekłym. "Podążaj za wodą" - to mantra powtarzana przez astronomów poszukujących w kosmosie dowodów życia. Woda w stanie ciekłym, w odróżnieniu od większości innych cieczy, jest uniwersalnym rozpuszczalnikiem, w którym rozpuszcza się zadziwiająco wiele substancji chemicznych. Stanowi ona idealne środowisko do mieszania się substancji i powstawania coraz bardziej złożonych cząsteczek. Woda jest również prostą cząsteczką, którą można znaleźć w całym Wszechświecie, podczas gdy inne rozpuszczalniki występują dosyć rzadko.

Po drugie, wiemy, że węgiel jest składnikiem, który może być wykorzystany do powstania życia, ponieważ ma cztery wiązania, a więc może łączyć się z czterema innymi atomami i tworzyć

cząsteczki o niewiarygodnej złożoności. Szczególnie łatwo powstają z niego długie łańcuchy węglowe, stanowiące podstawę węglowodorów i chemii organicznej. Inne czterowartościowe pierwiastki nie mają tak bogatej chemii.

Najbardziej spektakularnym przykładem roli węgla było słynne doświadczenie przeprowadzone w 1953 roku przez Stanleya Millera i Harolda Ureya, które wykazało, że spontaniczne powstanie życia może być produktem ubocznym procesów chemicznych opartych na węglu. Uчени przygotowali roztwór amoniaku, metanu i innych trujących substancji chemicznych, które ich zdaniem znajdowały się na Ziemi we wczesnym okresie jej istnienia, umieścili go w kolbie, przepuścili przez niego niewielki prąd elektryczny, a następnie po prostu czekali. Po tygodniu zauważyli, że w kolbie zaczęły się spontanicznie tworzyć aminokwasy. Prąd elektryczny wystarczył do rozbicia wiązań węglowych amoniaku i metanu, oraz przegrupowania atomów w cząsteczki aminokwasów, prekursorów białka. W pewnym sensie życie może się wykształcić spontanicznie. Później aminokwasy odkryto wewnątrz meteorytów, a także w obłokach gazowych w przestrzeni kosmicznej.

Po trzecie, podstawą życia jest samopowielająca się cząsteczka zwana DNA. W chemii samopowielające się cząsteczki występują niezwykle rzadko. Upłynęły setki milionów lat, zanim na Ziemi, prawdopodobnie w głębi oceanu, powstała pierwsza cząsteczka DNA. Można przypuszczać, że gdyby ktoś przez milion lat prowadził w oceanie doświadczenie Millera-Ureya, spontanicznie powstałyby cząsteczki podobne do DNA. Jednym z prawdopodobnych miejsc, w których na początku historii Ziemi mogła się pojawić pierwsza cząsteczka DNA, są wierzchołki podoceanicznych wulkanów, ponieważ aktywność wulkaniczna byłaby dla pierwszych cząsteczek DNA i komórek wygodnym źródłem energii, na długo przed powstaniem fotosyntezy i roślin. Nie wiemy, czy również inne, oprócz DNA, cząsteczki oparte na węglu mogą się same powielać, prawdopodobne jednak jest, że inne samopowielające się cząsteczki we Wszechświecie będą w jakiś sposób ją przypominały.

Zatem życie wymaga prawdopodobnie wody w stanie ciekłym, węglowodorów i jakiejś postaci samopowielającej się cząsteczki, takiej jak DNA. W oparciu o te szerokie kryteria można się pokusić o próbę oszacowania z grubsza częstości występowania inteligentnego życia we Wszechświecie. Frank Drake, astronom z Uniwersytetu Cornella, w 1961 roku jako jeden z pierwszych przeprowadził takie rachunki. Jeżeli jako punkt wyjścia przyjmiemy istnienie 100 miliardów gwiazd w galaktyce Drogi Mlecznej, można oszacować, jaka ich część będzie przypominała nasze Słońce. Następnie można próbować określić, wokół ilu z nich będą krążyły planety.

Mówiąc konkretnie, dzięki równaniu Drake'a poznamy szacunkową liczbę cywilizacji w Galaktyce, mnożąc przez siebie kilka liczb, między innymi:

- tempo rodzenia się nowych gwiazd w Galaktyce,
- wartość mówiącą, jaki ich procent ma planety,
- ile z planet krążących wokół gwiazdy zapewnia warunki odpowiednie dla życia,

- na ilu z nich rzeczywiście powstaje życie,
- na ilu z nich powstaje życie inteligentne,
- ile z tych form inteligentnego życia chce i potrafi nawiązać kontakt, oraz
- średni czas życia cywilizacji.

Przyjmując sensowne oszacowania i mnożąc przez siebie kolejne prawdopodobieństwa, dochodzimy do wniosku, że w samej Drodze Mlecznej może być od 100 do 10 tysięcy planet, na których rozwija się inteligentne życie. Jeżeli te inteligentne formy życia rozproszone są równomiernie w Galaktyce, to możemy oczekiwać, że znajdziemy taką planetę w odległości zaledwie kilkuset lat świetlnych od Ziemi. W 1974 roku Carl Sagan oszacował, że jedynie w galaktyce Drogi Mlecznej może być nawet milion takich cywilizacji.

Te rozważania teoretyczne stały się potem dodatkowym argumentem dla ludzi poszukujących dowodów istnienia cywilizacji pozaziemskich. Uwzględniając optymistyczne oszacowania liczby planet, na których może istnieć inteligentne życie, uczeni zaczęli na poważnie nasłuchiwać sygnałów radiowych, które mogą być emitowane z takich planet, na wzór sygnałów telewizyjnych i radiowych wysyłanych z naszej planety w kosmos od pięćdziesięciu lat.

Nasłuchiwanie obcych

Projekt poszukiwania pozaziemskiej inteligencji (SETI, *Search for Extraterrestrial Intelligence*) zawdzięcza swoje powstanie artykułowi fizyków Giuseppe Cocconiego i Philipa Morrisona z 1959 roku, w którym autorzy sugerują, że najodpowiedniejszym sposobem na podsłuchanie rozmów istot pozaziemskich będzie nasłuchiwanie w zakresie promieniowania mikrofalowego, na częstotliwościach między 1 a 10 gigaherców. (Poniżej 1 gigaherca wszelkie sygnały utonęłyby w promieniowaniu emitowanym przez szybko poruszające się elektrony; powyżej 10 gigaherców dochodziłoby do interferencji między interesującymi nas sygnałami a szumami pochodzącymi od cząsteczek tlenu i wody w naszej atmosferze). Częstotliwość 1,420 gigaherca została wskazana jako najbardziej obiecująca do nasłuchiwania sygnałów z przestrzeni kosmicznej, ponieważ jest to częstotliwość emitowana przez zwykły wodór w stanie gazowym, pierwiastek najobficiej występujący we Wszechświecie. (Czasem na określenie częstotliwości w pobliżu tego zakresu używa się słowa wodopój, które ma oddawać przydatność tego zakresu dla komunikacji pozaziemskiej).

Poszukiwania dowodów na zarejestrowanie inteligentnych sygnałów w pobliżu wodopoju zakończyły się jednak rozczarowaniem. W 1960 roku Frank Drake uruchomił projekt "Ozma" (nazwany tak na cześć Królowej Oz), którego celem było nasłuchiwanie sygnałów za pomocą dwudziestopięciometrowego radioteleskopu w Green Bank w Wirginii Zachodniej. W wyniku "Ozmy" i innych podobnych projektów, w ramach których próbowano przez wiele lat od czasu do czasu przeszukiwać nocne niebo, nie udało się wykryć żadnych sygnałów.

W 1971 roku NASA przedstawiła ambitną propozycję uruchomienia własnych poszukiwań pozaziemskiej inteligencji. Projekt "Cyklop", bo tak miał być nazwany, miał wykorzystywać tysiąc

pięćset radioteleskopów i kosztować dziesięć miliardów dolarów. Nic dziwnego, że badania te nigdy nie zostały rozpoczęte. Znalazły się jednak fundusze na znacznie skromniejsze przedsięwzięcie, wysłanie w przestrzeń kosmiczną starannie zakodowanej wiadomości dla kosmitów. W 1974 roku zakodowaną wiadomość, liczącą 1679 bitów, wysłano z olbrzymiego radioteleskopu Arecibo w Puerto Rico w kierunku odległej o około 25 100 lat świetlnych gromady kulistej M13. W tej krótkiej wiadomości na siatce 73 wierszy i 23 kolumn uczeni umieścili informacje o wyglądzie naszego Układu Słonecznego, zawarli ilustrację istoty ludzkiej i wzory wybranych związków chemicznych. (Z powodu wielkich odległości, odpowiedź z przestrzeni kosmicznej może nadejść najwcześniej za 52 174 lata).

Na amerykańskim Kongresie projekty te nie wywarły większego wrażenia, nawet po odebraniu w 1977 roku tajemniczego sygnału radiowego, nazwanego sygnałem "Wow". Składał się on z nieprzypadkowych, jak się wydaje, ciągów liter i cyfr i sprawiał wrażenie, iż pochodzi od obcej cywilizacji. (Część osób, które widziały sygnał Wow, nie dała się jednak przekonać).

W 1995 roku astronomowie, sfrustrowani brakiem wsparcia finansowego ze strony rządu federalnego, zwrócili się do prywatnych źródeł finansowania i założyli w Mountain View w Kalifornii organizację non profit: Instytut SETI, którego celem było scentralizowanie badań SETI i uruchomienie projektu "Feniks", który miał polegać na zbadaniu tysiąca najbliższych, podobnych do Słońca gwiazd w zakresie widma od 1200 do 3000 megaherców. Dyrektorem instytutu mianowano dr Jill Tarter - Jodie Foster wzorowała się na niej, przygotowując się do roli uczonej w filmie *Kontakt*. (Wykorzystywane w tym projekcie przyrządy były tak czułe, że mogłyby odebrać sygnały wysłane przez stosowany na lotniskach system radarowy znajdujący się w odległości 200 lat świetlnych).

Od 1995 roku Instytut SETI zbadał sygnały pochodzące z ponad tysiąca gwiazd, co kosztowało 5 milionów dolarów rocznie. Nie osiągnięto jednak żadnych wymiernych efektów. Niemniej jednak Seth Shostak, astronom z SETI, nie traci optymizmu i wierzy, że budowany obecnie 400 kilometrów na północny wschód od San Francisco Allen Telescope Array, który będzie się składał z 350 anten, "do roku 2025 wykryje jakiś sygnał"⁶².

Bardziej nowatorskim podejściem jest projekt SETI@home, uruchomiony w 1999 roku przez astronomów z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley. Wpadli oni na pomysł, by zaangażować do badań miliony właścicieli komputerów osobistych, które przez większość czasu stoją bezużytecznie. Osoby uczestniczące w programie pobierają z Internetu pakiet oprogramowania, który pomaga w dekodowaniu wybranych sygnałów radiowych odebranych przez radioteleskop. Obliczenia są przeprowadzane w czasie, gdy na komputerze uczestnika włącza się wygaszacz ekranu, dzięki czemu nie jest to uciążliwe dla właściciela komputera. Jak dotąd akces do projektu zgłosiło aż 5 milionów użytkowników z ponad dwustu krajów, co przy ostrożnych szacunkach oznacza zużycie energii elektrycznej za ponad miliard dolarów. Jest to najambitniejszy jak dotąd zbiorowy projekt komputerowy i może być wzorem dla innych przedsięwzięć wymagających

⁶² J. Stahl, "Discover Magazine", *Top 100 Science Stories of 2006*, grudzień 2006, s.80.

potężnego zaplecza komputerowego do przeprowadzenia obliczeń. Jak dotąd w ramach programu SETI@home nie wykryto żadnego sygnału pochodzącego z inteligentnego źródła.

Ewidentny brak jakichkolwiek postępów w poszukiwaniach pozaziemskiej inteligencji po dziesiątkach lat wytężonej pracy zmusił zwolenników tych badań do zweryfikowania stosowanego podejścia. Jednym oczywistym niedociągnięciem może być skupienie się wyłącznie na sygnałach radiowych w określonych zakresach częstotliwości. Pojawiły się głosy, że obca forma życia mogłaby wysyłać sygnały laserowe, zamiast radiowych. W porównaniu z falami radiowymi, lasery mają kilka zalet - dzięki krótkiej długości fali można upakować w jednej wiązce więcej sygnałów niż w przypadku zakresu radiowego. Ponieważ jednak światło lasera jest bardzo skupione, ukierunkowane, a poza tym zawiera tylko jedną częstotliwość, niezwykle trudno jest dostroić się dokładnie na odpowiednią częstotliwość.

Inną oczywistą wadą może być to, że poszukiwacze pozaziemskiej inteligencji opierają się na wybranych zakresach fal radiowych. Jeżeli w kosmosie istnieje życie, może wykorzystywać mechanizmy kompresji lub dzielić wiadomości na mniejsze pakiety, analogicznie do strategii wykorzystywanych obecnie w Internecie. Gdybyśmy odebrali takie skompresowane wiadomości rozdzielone na wiele częstotliwości, możliwe, że nie udałoby się nam ich odróżnić od przypadkowego szumu.

Jednak nawet biorąc pod uwagę wszystkie te olbrzymie problemy, przed jakimi stoją poszukiwania pozaziemskiej inteligencji, można przyjąć, że jeszcze w tym stuleciu powinno nam się udać wykryć jakiś sygnał pochodzący od pozaziemskiej cywilizacji, zakładając, że cywilizacje takie istnieją. A jeżeli tak się stanie, wydarzenie to będzie kamieniem milowym w historii ludzkości.

Gdzie oni są?

Fakt, że w projekcie SETI jak dotąd nie wykryto żadnych śladów sygnałów wysłanych gdzieś we Wszechświecie przez inteligentne życie, zmusił uczonych do spojrzenia chłodnym okiem na założenia leżące u podstaw równań Franka Drake'a, określających prawdopodobieństwo istnienia inteligentnego życia na innych planetach. Najnowsze odkrycia astronomiczne przemawiają za tym, że szanse na odkrycie inteligentnego życia znacznie odbiegają od wartości wyznaczonej przez Drake'a w latach sześćdziesiątych. Prawdopodobieństwo tego, że we Wszechświecie istnieje inteligentne życie jest jednocześnie i większe, i mniejsze, od jego początkowych oszacowań.

Po pierwsze, nowe odkrycia pozwalają przypuszczać, że życie może się rozwinąć również na inne sposoby, których nie przewidywały równania Drake'a. Wcześniej uczeni uważali, że woda w stanie ciekłym może istnieć tylko w rozciągającej się wokół Słońca "strefie Złotowłosej". (Odległość Ziemi od Słońca jest w sam raz. Nie jest zbyt mała, bo wtedy oceany by się zagotowały, ani zbyt duża, bo wtedy oceany by zamarły, ale w sam raz, by mogło powstać życie).

Astronomowie przeżyli więc duży szok, gdy znaleźli dowody na to, że pod lodową skorupą Europy, zamarznętego księżycy Jowisza, może się znajdować woda w stanie ciekłym. Europa leży daleko poza strefą Złotowłosej, więc wydawałoby się, że nie powinna odpowiadać wymaganiom równania Drake'a. A jednak siły pływowe mogły wystarczyć do roztopienia lodowej

pokrywy Europy i utworzenia stałego, ciekłego oceanu. Gdy Europa krąży wokół Jowisza, olbrzymie pole grawitacyjne planety ścisną księżyc niczym gumową piłkę, co wywołuje tarcie głęboko wewnątrz jego jądra, a to z kolei może spowodować roztopienie lodowej pokrywy. Ponieważ w samym tylko Układzie Słonecznym jest ponad sto księżyców, oznacza to, że w naszym układzie planetarnym może istnieć wiele księżyców poza strefą Żłotowłosej, na których rozwija się życie. (A owych 250 gigantycznych planet, które dotąd odkryliśmy w kosmosie poza Układem Słonecznym, również może mieć zamrożone księżycy pozwalające na rozwój życia).

Co więcej, uczeni uważają, że Wszechświat może być usiany wędrującymi planetami, które nie obiegają już żadnego słońca. Z powodu działania sił pływowych, księżyc krążący wokół takiej wędrującej planety mógłby skrywać pod lodową pokrywą ciekły ocean, a więc mogłoby na nim istnieć życie, jednak wykrycie takich księżyców nie jest możliwe przy użyciu dostępnych przyrządów, których zasada działania polega na rejestracji światła rodzimej gwiazdy, wokół której krąży planeta.

Biorąc pod uwagę fakt, że w każdym układzie planetarnym księżyców jest prawdopodobnie znacznie więcej niż planet oraz to, że w naszej Galaktyce mogą być miliony wędrujących planet, liczba ciał astronomicznych we Wszechświecie zawierających jakąś postać życia może być znacznie większa niż dotąd sądzono.

Z drugiej strony, inni astronomowie doszli do wniosku, że z różnych powodów szanse na istnienie życia na planetach wewnątrz strefy Żłotowłosej są prawdopodobnie znacznie mniejsze od początkowo oszacowanych przez Drake'a.

Po pierwsze, programy komputerowe pokazują, że w układzie planetarnym konieczna jest obecność planety o rozmiarach Jowisza, aby przelatujące w pobliżu komety i meteory zostały odrzucone w przestrzeń kosmiczną. W ten sposób układ planetarny jest stale czyszczony i może w nim powstać życie. Gdyby w Układzie Słonecznym nie było Jowisza, Ziemia byłaby bombardowana meteorami i kometami, i powstanie na niej życia byłoby niemożliwe. Doktor George Wetherill, astronom z Carnegie Institution w Waszyngtonie, szacuje, że gdyby w naszym układzie planetarnym nie było Jowisza lub Saturna, Ziemia zderzałaby się z asteroidami tysiąc razy częściej, a co dziesięć tysięcy lat dochodziłoby do olbrzymich, zagrażających życiu kolizji, takich jak ta, która spowodowała wyginięcie dinozaurów 65 milionów lat temu. "Trudno sobie wyobrazić, w jaki sposób życie mogłoby przetrwać tak intensywny ostrzał"⁶³ - mówi Wetherill.

Po drugie, mamy szczęście, że nasza planeta ma duży księżyc, który pomaga stabilizować jej oś obrotu. Uczeni przeanalizowali efekt działania praw Newtona w okresie milionów lat i wykazali, że bez dużego księżycy oś obrotu Ziemi prawdopodobnie stałaby się niestabilna i planeta mogłaby zacząć fikać koziółki, co uniemożliwiłoby powstanie na niej życia. Francuski astronom dr Jacques Lasker szacuje, że bez Księżyca nachylenie osi obrotu Ziemi mogłoby się wahać między 0 a 54 stopni, co prawdopodobnie doprowadziłoby do powstania ekstremalnych warunków pogodowych

⁶³ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 13.

zagrożających życiu⁶⁴. Zatem obecność dużego księżycy również musi zostać uwzględniona w warunkach, o których mowa w równaniach Drake'a. (Fakt, że Mars ma jedynie dwa niewielkie księżyce, zbyt małe, by mogły stabilizować jego oś obrotu, oznacza, że w odległej przeszłości mógł się on chybotać i że w przyszłości znowu może do tego dochodzić).

Po trzecie, odkryte niedawno dowody geologiczne wskazują na to, że w przeszłości życie na Ziemi wielokrotnie ocierało się o zagładę. Około 2 miliardów lat temu nasza planeta była prawdopodobnie całkowicie skuta lodem; była "śnieżną kulą", z trudem mogącą podtrzymać życie. W innych momentach historii Ziemi erupcje wulkanów i uderzenia meteorów o mało nie zniszczyły całkowicie życia na jej powierzchni. Zatem powstanie i ewolucja życia jest procesem znacznie delikatniejszym niż początkowo sądziliśmy.

Po czwarte, również inteligentne życie znajdowało się w przeszłości na skraju wyginięcia. Opierając się na najnowszych dowodach uzyskanych z badań DNA, można stwierdzić, że około stu tysięcy lat temu na Ziemi żyło zaledwie od kilkuset do kilku tysięcy istot ludzkich. W przeciwieństwie do większości zwierząt, które w ramach danego gatunku dzielą duże genetyczne różnice, ludzie niemal się od siebie nie różnią pod względem genetycznym. W porównaniu z królestwem zwierząt, jesteśmy nawzajem niemal swoimi klonami. Zjawisko to można wyjaśnić jedynie tym, że w naszej historii zdarzyły się wąskie gardła, momenty w których większość ludzkiego gatunku uległa zagładzie. Na przykład olbrzymi wybuch wulkanu mógł spowodować nagłe obniżenie temperatury i zdziesiątkowanie rodzaju ludzkiego.

Istnieją jeszcze inne szczęśliwe przypadki, które musiały zaistnieć, żeby na naszej planecie powstało życie, między innymi:

- *Silne pole magnetyczne*. Jest ono potrzebne do zakrzywiania promieni kosmicznych i promieniowania, które mogłoby zniszczyć życie na Ziemi.
- *Umiarkowana prędkość ruchu obrotowego planety*. Gdyby Ziemia obracała się wokół swojej osi zbyt wolno, jej strona skierowana do Słońca rozpałaby się do czerwoności, a po przeciwnej stronie w tym czasie następowałby długotrwały okres lodowatego zima; gdyby Ziemia obracała się zbyt szybko, powstałyby ekstremalne warunki pogodowe, takie jak porywiste wichury i burze.
- *Odpowiednia odległość od środka Galaktyki*. Gdyby nasza planeta znajdowała się zbyt blisko środka Drogi Mlecznej, byłaby wystawiona na działanie niebezpiecznego promieniowania; gdyby była zbyt daleko od jej środka, mogłaby nie mieć wystarczająco dużo cięższych pierwiastków potrzebnych do utworzenia cząsteczki DNA i białek.

Na podstawie wszystkich tych przesłanek uczeni sądzą obecnie, że życie może istnieć poza strefą Żółtowlasej na księżycach i wędrujących planetach, ale jednocześnie szanse na jego powstanie na planecie takiej jak Ziemia, wspierającej życie wewnątrz strefy Żółtowlasej, są znacznie mniejsze niż kiedyś sądzono. Podsumowując, większość oszacowań równań Drake'a pokazuje, że prawdopodobieństwo znalezienia w Galaktyce jakiejś obcej cywilizacji jest zapewne mniejsze, niż początkowo przyjmowano.

⁶⁴ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 12.

Profesorowie Peter Ward i Donald Brownlee napisali: "Uważamy, że życie występujące pod postacią bakterii i w odpowiadających im innych formach jest we Wszechświecie bardzo rozpowszechnione, być może nawet bardziej niż przewidywali Drake i [Carl] Sagan. Jednak złożone formy życia - zwierzęta i wyżej rozwinięte rośliny - są zapewne dużo rzadsze, niż się na ogół sądzi"⁶⁵. W rzeczywistości Ward i Brownlee nie odrzucają możliwości, że Ziemia może być jedynym miejscem w Galaktyce, gdzie żyją zwierzęta. (Chociaż ta teoria może ostudzić zapał, z jakim poszukuje się inteligentnego życia w naszej Galaktyce, wciąż pozostaje możliwość, że życie kwitnie w innych, odległych galaktykach).

Poszukiwanie planet podobnych do Ziemi

Równanie Drake'a opiera się oczywiście całkowicie na hipotezach. Dlatego właśnie po odkryciu planet poza Układem Słonecznym poszukiwania życia w przestrzeni kosmicznej ruszyły z nową siłą. Wykrywanie planet pozasłonecznych jest jednak utrudnione ze względu na fakt, że nie można ich zobaczyć przez żaden teleskop, gdyż nie świecą własnym światłem. Na ogół są od miliona do miliarda razy ciemniejsze od macierzystej gwiazdy.

By je odnaleźć, astronomowie muszą wykrywać niewielkie zmiany w ruchu macierzystej gwiazdy, opierając się na założeniu, że olbrzymia planeta o rozmiarach Jowisza może zmienić orbitę swojej gwiazdy. (Wyobraźmy sobie psa goniącego swój ogon. W podobny sposób macierzysta gwiazda i jej planeta wielkości Jowisza "gonią się" wzajemnie, obracając się nawzajem wokół siebie. Planety o rozmiarze Jowisza nie można zobaczyć przez teleskop, ponieważ nie świecą, ale macierzystą gwiazdę można obserwować bez problemów i wykryć, że zatacza się tam i z powrotem).

Pierwszą prawdziwą planetę poza Układem Słonecznym odkrył w 1994 roku dr Aleksander Wolszczan z Uniwersytetu Stanowego Pensylwanii, któremu udało się zidentyfikować planety krążące wokół martwej gwiazdy - wirującego pulsara. Ponieważ ich macierzysta gwiazda zapewne wybuchła jako supernowa, można przyjąć, że planety te są martwe, wypalone. Następnego roku dwóch szwajcarskich astronomów z Genewy, Michel Mayor i Didier Queloz, ogłosiło odkrycie znacznie bardziej obiecującej planety o masie zbliżonej do masy Jowisza, krążącej wokół gwiazdy 51 Pegasi. Wkrótce potem nastąpił zalew kolejnych odkryć.

W ciągu ostatnich dziesięciu lat doszło do niesamowitego przyspieszenia w odkrywaniu planet pozasłonecznych. Geolog Bruce Jakosky z Uniwersytetu Kolorado w Boulder stwierdza: "To szczególny czas w historii ludzkości. Jesteśmy pierwszym pokoleniem, które ma realne szanse na odkrycie życia na innej planecie"⁶⁶. Żaden ze znalezionych dotąd układów planetarnych nie przypomina naszego. Można powiedzieć, że różnią się one znacznie od Układu Słonecznego. Kiedyś astronomowie sądzili, że nasz układ planetarny jest typowy we Wszechświecie, że na ogół będziemy mieli do czynienia z kołowymi orbitami i trzema pierścieniami planet otaczającymi

⁶⁵ P.D. Ward, D. Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*, Pantheon Books, New York 1992, s. xiv.

⁶⁶ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 26.

macierzystą gwiazdę: najpierw skalisty pas planet najbliższych gwiazdzie, następnie pas gazowych olbrzymów i w końcu pas komet pełen zamrożonych gór lodowych.

Z dużym zdziwieniem astronomowie odkryli, że żadna z planet pozasłonecznych nie pasuje do tego prostego opisu. Oczekiwano na przykład, że planety o rozmiarze Jowisza będą odkrywane w dużej odległości od macierzystej gwiazdy, lecz okazało się, że wiele z nich krąży po orbitach położonych niezwykle blisko swojej gwiazdy (nawet bliżej niż Merkury) albo po orbitach bardzo eliptycznych. W obu przypadkach istnienie małej, podobnej do Ziemi planety, krążącej po orbicie w strefie Złotowłosej, byłoby niemożliwe.

W przypadku, gdy planeta o rozmiarach Jowisza okrąży swoją macierzystą gwiazdę zbyt blisko, oznacza to, że przemieściła się z dalszej odległości i poruszając się po spirali, stopniowo zbliżyła się do środka układu planetarnego (prawdopodobnie w wyniku tarcia wywołanego obecnością pyłu). W takiej sytuacji planeta-olbrzym musiałaby w końcu przeciąć orbitę tej mniejszej, podobnej do Ziemi, co spowodowałoby wyrzucenie jej w przestrzeń kosmiczną. W przypadku, gdy planeta o rozmiarze Jowisza krąży po bardzo eliptycznej orbicie, musi regularnie przechodzić przez strefę Złotowłosej, co również zakończyłoby się wyrzuceniem podobnej do Ziemi planety w przestrzeń kosmiczną.

Odkrycia te przyniosły rozczarowanie poszukiwaczom planet i astronomom pragnącym odkryć inne planety podobne do Ziemi, jednak analizując chłodno sytuację, należy stwierdzić, że takich właśnie odkryć należało oczekiwać. Nasze instrumenty są tak słabe, że umożliwiają wykrycie jedynie największych, najszybciej poruszających się planet o rozmiarze Jowisza, które mogą wywierać wyraźny wpływ na macierzyste gwiazdy. Nie powinno więc dziwić, że dzisiejsze teleskopy pozwalają na wykrycie jedynie gigantycznych planet pędzących z dużą prędkością w przestrzeni kosmicznej. Jeżeli gdzieś w kosmosie istnieje układ planetarny bliźniaczo podobny do naszego, nasze przyrządy byłyby prawdopodobnie zbyt mało czułe, by go wykryć.

Wszystko to może ulec zmianie wraz z wystrzeleniem Corota, Keplera i satelity Terrestrial Planet Finder - trzech satelitów zaprojektowanych z myślą o wykryciu w kosmosie kilkuset planet podobnych do Ziemi. Satelity Corot i Kepler będą na przykład poszukiwały śladów słabego cienia, jaki powinny rzucać planety podobne do Ziemi, przechodząc przed swoją macierzystą gwiazdą, nieznacznie przyciemniając jej światło. Chociaż takiej planety nie można by zauważyć, satelita powinien móc wykryć spadek jasności jej macierzystej gwiazdy.

Francuski satelita Corot (jego nazwa jest skrótem od francuskiego określenia "konwekcja, rotacja gwiazd i przejścia planet") został umieszczony na orbicie w grudniu 2006 roku i fakt ten jest kamieniem milowym - po raz pierwszy dysponujemy umieszczoną w kosmosie sondą przeznaczoną do wykrywania planet pozasłonecznych. Uczni mają nadzieję, że uda im się znaleźć od dziesięciu do czterdziestu planet podobnych do Ziemi. Jeżeli to osiągną, będą to prawdopodobnie planety skaliste, a nie gazowe olbrzymy, jedynie kilka razy większe od Ziemi. Corot powiększy prawdopodobnie również listę odkrytych dotychczas w kosmosie planet o rozmiarze Jowisza. "W odróżnieniu od tego, co jest możliwe do osiągnięcia obecnie za pomocą

urządzeń naziemnych, Corot będzie mógł wykryć planety pozasłoneczne wszelkich rozmiarów i rodzajów" - twierdzi astronom Claude Catala. Uczeni mają nadzieję, że w sumie satelita zbada nawet 120 tysięcy gwiazd.

Lada dzień Corot może znaleźć w kosmosie dowody na istnienie pierwszej planety podobnej do Ziemi i będzie to punkt zwrotny w historii astronomii. Kiedyś ludzie mogą doznać egzystencjalnego szoku, gdy spoglądając nocą w niebo, uświadomią sobie, że istnieją tam planety, na których może rozwijać się inteligentne życie. Gdy w przyszłości spojrzymy w niebo, być może będziemy się zastanawiać, czy przypadkiem ktoś nie patrzy w tym samym czasie również na nas.

Wystrzelenie satelity Kepler jest obecnie planowane przez NASA na wiosnę 2009 roku. Będzie on tak czuły, że może wykryć nawet setki planet podobnych do Ziemi. Będzie mierzył jasność 100 tysięcy gwiazd i poszukiwał jakiegokolwiek ruchu planety przechodzącej przed tarczą gwiazdy. W czasie planowanych czterech lat eksploatacji, Kepler przeanalizuje i prześledzi tysiące gwiazd położonych w odległości do 1950 lat świetlnych od Ziemi. Uczeni oczekują, że w czasie pierwszego roku jego obecności na orbicie uda się odnaleźć w przybliżeniu:

- 50 planet mniej więcej takich rozmiarów jak Ziemia,
- 185 planet o około 30 procent większych od Ziemi oraz
- 640 planet około 2,2 razy większych od Ziemi.

Terrestrial Planet Finder może mieć jeszcze większe szanse na znalezienie planet podobnych do Ziemi. Po kilku zmianach terminu, aktualnie jego wystrzelenie jest planowane na rok 2014; pozwoli on na przeanalizowanie z dużą dokładnością nawet stu gwiazd położonych w odległości do 45 lat świetlnych. Będzie wyposażony w dwa oddzielne urządzenia do poszukiwania odległych planet. Pierwszym będzie koronograf - specjalny teleskop blokujący światło gwiazdy macierzystej i zmniejszający miliard razy jej jasność. Teleskop ten będzie trzy albo cztery razy większy od Kosmicznego Teleskopu Hubble'a i dziesięć razy dokładniejszy. Drugim urządzeniem będzie interferometr, który wykorzystując zjawisko interferencji fal świetlnych, potrafi zredukować milion razy jasność gwiazdy macierzystej.

Tymczasem Europejska Agencja Kosmiczna planuje wystrzelenie własnego satelity do poszukiwania planet, nazwanego Darwin, który znajdzie się na orbicie najwcześniej w 2015 roku. Zgodnie z planami, ma się on składać z trzech teleskopów kosmicznych o średnicy 3 metrów każdy, poruszających się po orbicie w ustalonej konfiguracji, tak aby mogły działać jak jeden wielki interferometr. Zadaniem tego satelity również będzie poszukiwanie w kosmosie planet podobnych do Ziemi.

Odkrycie w kosmosie setek planet podobnych do Ziemi pozwoli na lepsze ukierunkowanie poszukiwań inteligentnego życia. Zamiast przypadkowo badać pobliskie gwiazdy, astronomowie będą mogli skupić uwagę na niewielkim zbiorze gwiazd, wokół których krąży być może druga Ziemia.

Jak oni wyglądają?

Inni uczeni, posługując się wiedzą z zakresu fizyki, biologii i chemii, próbowali odgadnąć, jak

mogłoby wyglądać życie na innych planetach. Isaac Newton zastanawiał się na przykład, dlaczego wszystkie otaczające nas zwierzęta przejawiają taką samą dwustronną symetrię - dwoje oczu, ramion i dwie nogi umieszczone symetrycznie po obu stronach. Czy to szczęśliwy przypadek, czy działanie Boga?

Dzisiaj biologowie uważają, że w czasie kambryjskiej eksplozji, jakieś pół miliarda lat temu, przyroda eksperymentowała z różnorodnymi kształtami i formami niewielkich, powstających wtedy wielokomórkowych stworzeń. Niektóre miały rdzenie kręgowe o kształcie litery X, Y lub Z. Inne - symetrię promienistą, jak rozgwiazda. Przypadkowo jedno z tych stworzeń miało rdzeń kręgowy w kształcie litery I, dwustronną symetrię i był to przodek większości ziemskich ssaków. W zasadzie więc, humanoidalny kształt z dwustronną symetrią, wykorzystywany przez Hollywood do przedstawiania istot z kosmosu, wcale nie musi obowiązywać w przypadku wszystkich istot inteligentnych.

Niektórzy biologowie uważają, że powodem pojawienia się w czasie kambryjskiej eksplozji takiej obfitości różnorodnych form życia był "wyścig zbrojeń" między drapieżnikiem i ofiarą. Powstanie pierwszych organizmów wielokomórkowych, które potrafiły pożerać inne organizmy, wymusiło przyspieszenie ewolucji zarówno zdobyczy, jak i myśliwego, próbujących się nawzajem prześcignąć. Podobnie jak w trwającym w czasie zimnej wojny wyścigu zbrojeń między dawnym Związkiem Radzieckim a Stanami Zjednoczonymi, każda strona konfliktu robiła wszystko, żeby wyprzedzić przeciwnika.

Badając ewolucję życia na naszej planecie, można się pokusić o następujące hipotezy na temat tego, w jaki sposób na Ziemi doszło do wykształcenia się inteligentnego życia. Uczeni doszli do wniosku, że inteligentne życie prawdopodobnie wymaga:

1. Czegóż na kształt wzroku lub mechanizmu opartego na jakimś zmyśle, pozwalającego badać otoczenie;
2. Czegóż na kształt kciuka, co umożliwiałoby chwytanie przedmiotów - mogłaby to być również macka lub szpon;
3. Jakiegoś systemu porozumiewania się, takiego jak mowa.

Te trzy cechy potrzebne są do tego, byśmy mogli odczuwać i zmieniać nasze otoczenie - obie czynności są charakterystyczne dla inteligencji. Jednak poza tymi trzema cechami panuje całkowita dowolność. W przeciwieństwie do wielu obcych pokazywanych w telewizji, kosmici wcale nie muszą przypominać ludzi. Istoty o wielkich oczach i sylwetce dziecka, które oglądamy w telewizji i w kinie, są w podejrzany sposób podobne do kosmitów pokazywanych w produkowanych w latach pięćdziesiątych filmach klasy B, które głęboko wryły się w naszą podświadomość.

(Niektórzy antropolodzy podają jednak jeszcze czwarty warunek wystąpienia inteligentnego życia, który ma wyjaśnić intrygujący fakt, że ludzie są dużo bardziej inteligentni, niż jest to potrzebne do przetrwania w lesie. Nasze mózgi potrafią opanować zasady podróży kosmicznych, teorię kwantową i zaawansowaną matematykę - umiejętności całkowicie nieprzydatne do polowania i poszukiwania pożywienia w naturalnym środowisku. Skąd taki nadmiar potencjału

intelektualnego? Gdy w przyrodzie spotykamy pary zwierząt, takie jak gepard i antylopa, mające niezwykle umiejętności, znacznie przekraczające cechy wymagane do przetrwania, odkrywamy, że doszło między nimi do jakiegoś wyścigu zbrojeń. Podobnie niektórzy uczeni sądzą, że istnieje czwarty warunek - biologiczny "wyścig zbrojeń", który doprowadził do powstania ludzkiej inteligencji. Być może ten wyścig zbrojeń odbył się między różnymi członkami naszego gatunku).

Pomyślmy o tych wszystkich niezwykle różnorodnych formach życia na Ziemi. Gdyby można było na przykład hodować w odosobnieniu ośmiornice przez kilka milionów lat, można przypuszczać, że one również rozwinęłyby inteligencję. (My oddzieliśmy się od małp 6 milionów lat temu prawdopodobnie dlatego, że nie byliśmy dobrze przystosowani do zachodzących w Afryce zmian środowiska. Natomiast ośmiornica jest bardzo dobrze dostosowana do swojego życia pod kamieniem i dlatego od milionów lat nie podlega ewolucji). Biochemik Clifford Pickover mówi: "gdy spoglądam na wszystkie te dziwaczne skorupiaki, meduzy o miękkich ramionach, groteskowe, hermafrodytyczne robaki i śluzowce, wiem, że Bóg ma poczucie humoru i że jeszcze zobaczymy inne tego przejawy we Wszechświecie".

Hollywood natomiast zapewne się nie myli, gdy przypisuje obcym inteligentnym formom życia cechy drapieżników. Mięsożerni kosmici nie tylko zapewniają większe dochody z dystrybucji filmu, w takim opisie jest również element prawdy. Drapieżniki są zwykle mądrzejsze od swoich ofiar. Muszą być przebiegłe, by zaplanować polowanie, wytropić swoją zdobycz, ukryć się i w końcu ją zaskoczyć. Lisy, psy, tygrysy i lwy mają oczy z przodu głowy, dzięki czemu mogą ocenić odległość, gdy rzucają się na swoją ofiarę. Mając dwoje oczu, mogą wykorzystać trójwymiarowe, stereoskopowe widzenie, by właściwie nakierować się na zdobycz. Z drugiej strony ofiary drapieżników, na przykład jelenie i króliki, muszą po prostu tylko dobrze biegać. Ich oczy usytuowane są po bokach głowy, dzięki czemu mogą wypatrywać drapieżników w obszarze 360 stopni wokół siebie.

Innymi słowy, jest bardzo możliwe, że inteligentna forma życia w kosmosie wyewoluuje z drapieżników mających oczy, lub inne organy zmysłów, z przodu głowy. Mogą wykazywać niektóre z drapieżnych, agresywnych i terytorialnych zachowań, jakie obserwujemy wśród wilków, lwów i ludzi na Ziemi. (Ponieważ jednak takie formy życia będą się opierały prawdopodobnie na całkowicie innym DNA i innych cząsteczkach białek, istoty te nie będą zupełnie zainteresowane pożeraniem nas czy łączeniem się z nami w pary).

Możemy również wykorzystać wiedzę fizyczną, by zastanowić się nad możliwym rozmiarem ich ciał. Jeżeli założymy, że mieszkają na planetach o rozmiarze Ziemi i mają średnią gęstość zbliżoną do gęstości wody, tak jak istoty żywe na Ziemi, wtedy istnienie olbrzymich stworzeń okaże się niemożliwe z powodu *prawa skali*, zgodnie z którym prawa fizyki drastycznie się zmieniają wraz ze wzrostem skali dowolnego ciała.

Potwory i prawo skali

Gdyby King Kong istniał naprawdę, nie mógłby sterroryzować Nowego Jorku. Wręcz przeciwnie, jego nogi złamałyby się przy pierwszej próbie zrobienia kroku. A to dlatego, że jeżeli weźmie się

małą i zwiększy jej rozmiar dziesięciokrotnie, to jej ciężar wzrośnie proporcjonalnie do wzrostu objętości, czyli $10 \times 10 \times 10 = 1000$ razy. Byłby zatem 1000 razy cięższy. Jednak jego siła rosnęła proporcjonalnie do grubości jego kości i mięśni. Pole przekroju kości i mięśni wzrośnie jedynie o kwadrat odległości, to znaczy $10 \times 10 = 100$ razy. Innymi słowy, gdyby King Kong był 10 razy większy, stałby się zaledwie 100 razy silniejszy, ale ważyłby 1000 razy więcej. Zatem w miarę zwiększania rozmiaru mały, jej ciężar rośnie znacznie szybciej niż jej siła. Byłby więc względnie 10 razy słabszy od zwykłej mały. I dlatego właśnie nogi złamałyby mu się pod jego własnym ciężarem.

Pamiętam, jak w szkole podstawowej nauczycielka zachwycała się siłą mrówki, która potrafi podnieść liść wielokrotnie od niej cięższy. Na koniec stwierdziła, że gdyby mrówka była wielkości domu, mogłaby go podnieść. To założenie jest błędne z powodu tego samego prawa, którego działanie wyjaśniliśmy na przykładzie King Konga. Gdyby mrówka była wielkości domu, również jej nogi by się złamały. Jeżeli powiększymy mrówkę 1000 razy, będzie ona 1000 razy słabsza od zwyczajnej mrówki i w związku z tym upadnie pod własnym ciężarem. (Zapewne również by się udusiła. Mrówka oddycha przez otwory umieszczone po bokach ciała. Powierzchnia tych otworów zwiększa się proporcjonalnie do kwadratu promienia, natomiast objętość mrówki rośnie proporcjonalnie do sześciastku promienia. Zatem mrówka 1000 razy większa od zwykłej mrówki będzie miała 1000 razy mniej powietrza, niż jest jej potrzebne, by dostarczyć tlen do mięśni i pozostałych tkanek. Z tego samego zresztą powodu mistrzowie wjeżdżają na łyżwach i w gimnastyce mają zwykle wzrost niższy od przeciętnego, chociaż zachowują te same proporcje ciała, co każdy z nas. Mają oni proporcjonalnie większą siłę mięśni od wyższej osoby).

Wykorzystując prawo skali można też wyznaczyć przybliżony kształt zwierząt na Ziemi i możliwe, że również obcych istot z kosmosu. Ilość ciepła oddawanego przez zwierzę do otoczenia rośnie wraz ze wzrostem pola powierzchni jego ciała. Zatem dziesięciokrotny wzrost jego ciała zwiększa straty ciepła $10 \times 10 = 100$ razy. Natomiast zawartość ciepła w ciele jest proporcjonalna do jego objętości, czyli wzrośnie $10 \times 10 \times 10 = 1000$ razy. Tak więc duże zwierzęta tracą ciepło wolniej od mniejszych. (Z tego też powodu w zimie najpierw marzną nam palce i uszy - mają one bowiem relatywnie największą powierzchnię w stosunku do swojej objętości. Tłumaczy to również, dlaczego mniejszym osobom szybciej robi się zimno. Podobnie można wyjaśnić, dlaczego gazeta pali się bardzo szybko - z powodu względnie dużej powierzchni - oraz dlaczego duże kłody drewna palą się wolno - z powodu względnie małej powierzchni). Wyjaśnia to także, dlaczego żyjące w Arktyce wieloryby są okrągłe - ponieważ kula ma najmniejszy obszar powierzchni na jednostkę masy. I dlaczego owady żyjące w cieplejszym środowisku mogą sobie pozwolić na wydłużone kształty o względnie dużej powierzchni przypadającej na jednostkę masy.

W zrealizowanym w wytwórni Disneya filmie *Kochanie, zmniejszyłem dzieciaki* cała rodzina zostaje zmniejszona do rozmiaru mrówek. Nadchodzi deszcz i widzimy, jak w mikroświecie maleńkie krople deszczu wpadają do kałuży. W rzeczywistości kropla deszczu widziana przez mrówkę wcale nie przypominałaby małej kropli, ale olbrzymią górę lub półkulę wody. W naszym

świecie taka góra wody jest niestabilna i zapadnie się pod własnym ciężarem w wyniku działania grawitacji. Jednak w mikroświecie napięcie powierzchniowe jest względnie duże i dlatego taka góra wody jest zupełnie stabilna.

Podobnie, posługując się prawami fizyki, możemy spróbować oszacować możliwy stosunek powierzchni ciała do jego objętości dla zwierząt żyjących na odległych planetach w kosmosie. W oparciu o te prawa można dojść do wniosku, że kosmici nie będą raczej olbrzymami, często występującymi w fantastyce naukowej, ale bardziej pod względem rozmiaru będą przypominali nas samych.

(Wieloryby mogą osiągać znacznie większe rozmiary dzięki wyporności wody morskiej. To również wyjaśnia, dlaczego wyrzucony na plażę wieloryb umiera - ponieważ zgniata go jego własny ciężar).

Z prawa skali wynika, że w miarę zagłębiania się w mikroświat prawa fizyki ulegają zmianie. Wyjaśnia to, dlaczego teoria kwantowa wydaje się nam tak dziwna, niezgodna z prostymi, zdroworozsądkowymi wyobrażeniami o naszym Wszechświecie. Tak więc prawo skali wyklucza możliwość istnienia znanych z fantastyki naukowej światów wewnątrz innych światów; niemożliwe jest więc, by wewnątrz atomu zawierało cały wszechświat lub by nasza Galaktyka była atomem w znacznie większym wszechświecie. Pomysł taki wykorzystano w filmie *Faceci w czerni*. W końcowej scenie kamera oddala się coraz bardziej od Ziemi, widzimy planety, gwiazdy, galaktyki, aż w końcu cały nasz Wszechświat staje się jedynie piłką w wielkiej pozaziemskiej grze, rozgrywanej przez gigantycznych obcych.

W rzeczywistości zbudowana z gwiazd galaktyka nie przypomina atomu, a znajdujące się na powłokach wewnątrz atomu elektrony zupełnie nie są podobne do planet. Wiemy, że wszystkie planety różnią się znacznie między sobą i mogą krążyć po orbicie w dowolnej odległości od macierzystej gwiazdy. W atomach natomiast, wszystkie subatomowe cząstki danego rodzaju są identyczne. Nie mogą poruszać się w dowolnej odległości od jądra, ale jedynie po określonych orbitach. (Co więcej, w przeciwieństwie do planet, elektrony mogą zachowywać się w dziwny sposób, sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem - na przykład mogą być w dwóch miejscach jednocześnie albo przejawiać własności falowe).

Fizyka zaawansowanych cywilizacji

W oparciu o znajomość fizyki można również w przybliżeniu określić wielkość cywilizacji w kosmosie. Jeżeli prześledzimy powstanie naszej cywilizacji w ciągu ostatnich 100 tysięcy lat od pojawienia się istot ludzkich w Afryce, można ten proces scharakteryzować jako historię stale rosnącego zużycia energii. Rosyjski antropolog Nikołaj Kardaszew doszedł do wniosku, że również w przypadku rozwoju cywilizacji pozaziemskich można wyróżnić poszczególne fazy w oparciu o kryterium zużycia energii. Wykorzystując prawa fizyki, pogrupował możliwe cywilizacje na trzy typy:

Cywilizacje typu I:

pozyskują zasoby energetyczne planety, wykorzystując w pełni całą energię słoneczną docierającą do jej powierzchni. Potrafią być może również robić użytek z energii wulkanów,

wpływać na pogodę, zapobiegać trzęsieniom ziemi i budować miasta na powierzchni oceanów. Pod ich kontrolą znajduje się cała energia planety.

Cywilizacje typu II:

wykorzystują całą energię swojego słońca, dzięki czemu są 10 miliardów razy potężniejsze od cywilizacji typu I. Federacja Planet z serialu *Star Trek* jest właśnie cywilizacją typu II. Cywilizacja taka jest w pewnym sensie nieśmiertelna; nic, co zna nauka, nie może jej zniszczyć: niegroźna jest dla niej epoka lodowcowa, uderzenie meteoru ani nawet wybuch supernowej. (W przypadku, gdy wybuch będzie groził ich macierzystej gwiazdzie, istoty te będą potrafiły przeprowadzić się do innego układu planetarnego albo nawet przenieść w bezpieczne miejsce całą swoją planetę).

Cywilizacje typu III:

potrafią wykorzystać energię całej galaktyki. Są 10 miliardów razy potężniejsze od cywilizacji typu II. Do cywilizacji tego typu należą Borg ze *Star Trek*, Imperium z *Gwiezdnych wojen* oraz cywilizacja galaktyczna z serii książek o Fundacji Isaaca Asimova. Cywilizacje takie skolonizowały miliardy układów planetarnych i potrafią wykorzystać energię czarnej dziury znajdującej się w środku ich galaktyki. Swobodnie poruszają się po całej galaktyce.

Z oszacowań Kardaszewa wynika, że każda cywilizacja rozwijająca się w umiarkowanym tempie kilkuprocentowego wzrostu zużycia energii w ciągu roku szybko przejdzie z jednej kategorii do drugiej, zaledwie w ciągu kilku lub kilkudziesięciu tysięcy lat.

Zgodnie z rozumowaniem opisanym w moich wcześniejszych książkach, nasza cywilizacja zalicza się do typu 0 (do zasilania maszyn używamy martwych roślin, ropy i węgla). Wykorzystujemy zaledwie niewielki ułamek energii słonecznej docierającej do naszej planety. Można już jednak zauważyć początki powstawania na Ziemi cywilizacji typu I. Internet jest zaczątkiem charakterystycznej dla cywilizacji typu I sieci telekomunikacyjnej obejmującej całą planetę. Widać również załączki ekonomii cywilizacji typu I w postaci utworzenia Unii Europejskiej, która z kolei powstała, by móc współzawodniczyć z NAFTA. Już teraz angielski stał się najczęściej nauczanym językiem obcym na Ziemi i w zasadzie jest językiem obowiązującym w nauce, finansach i biznesie. Wyobrażam sobie, że może stać się językiem cywilizacji typu I, którym praktycznie każdy będzie się posługiwał. Miejscowe kultury i zwyczaje w dalszym ciągu będą się rozwijały na Ziemi w całej swojej różnorodności, jednak nad tą mozaiką narodów ukształtuje się planetarna kultura, być może zdominowana przez ludzi młodych i komercjalizm⁶⁷.

Przejście od jednego typu cywilizacji do drugiego w żadnym wypadku nie jest gwarantowane. Najbardziej niebezpieczne przejście może zająć pomiędzy typem 0 a typem I. Cywilizację typu 0 wciąż nękają sekciarstwo, fundamentalizm i rasizm, które charakteryzowały jej powstanie, i nie jest

⁶⁷ Ogólnie rzecz biorąc, chociaż na różnych obszarach Ziemi w dalszym ciągu będą się rozwijały lokalne języki, to i tak wykształci się planetarny język i kultura obejmująca wszystkie kontynenty. Kultura globalna i lokalna będą istniały równocześnie obok siebie. Takie zjawisko już można obserwować wśród elit społeczeństw świata.

Istnieją również siły powstrzymujące ten marsz w kierunku planetarnej kultury. Zaliczają się do nich terroryści, którzy nieświadomie, instynktownie zdają sobie sprawę, że rozwój cywilizacji planetarnej

wcale oczywiste, czy te plemienne i religijne emocje nie przeszkodzą w przejściu cywilizacji do typu I. (Być może jednym z powodów, dla których nie widzimy w Galaktyce cywilizacji typu I, jest fakt, że nigdy nie udaje im się osiągnąć tego poziomu, to znaczy niszczą same siebie. Kiedyś, gdy odwiedzimy inne układy planetarne, być może natrafimy na pozostałości po cywilizacjach, które same się w ten czy inny sposób unicestwiły - na przykład atmosfera stała się radioaktywna lub zbyt gorąca dla życia).

Gdy cywilizacja osiągnie poziom cywilizacji typu III, będzie już miała wystarczającą energię i wiedzę, by swobodnie poruszać się po Galaktyce, a nawet by dotrzeć na Ziemię. Jak w filmie *2001: Odyseja kosmiczna*, cywilizacje takie bez problemów mogą rozsyłać po całej Galaktyce samopowielające się, zrobotyzowane sondy poszukujące inteligentnego życia.

Cywilizacja typu III nie będzie raczej próbowała odwiedzić nas ani podbić, jak w filmie *Dzień Niepodległości*, w którym cywilizacja taka rozprzestrzenia się jak plaga szarańczy, obsiada planety i wysysa całkowicie ich zasoby. W rzeczywistości w przestrzeni kosmicznej znajduje się mnóstwo martwych planet z olbrzymim bogactwem minerałów, które można pozyskiwać bez konieczności użerania się z krnąbrną miejscową populacją. Ich stosunek do nas może przypominać nasz stosunek do mrowiska. Nie czujemy potrzeby, by pochylać się i oferować mrówkom paciorki i świecidełka - po prostu je ignorujemy.

Główne niebezpieczeństwo czyhające na mrówki ze strony ludzi nie polega na tym, że zechcemy je podbić lub zniszczyć. Najczęściej po prostu wylewamy w miejscu mrowiska beton lub asfalt, ponieważ znalazło się ono na drodze do realizacji naszych celów. Pamiętajmy, że pod względem wykorzystania energii, różnica dzieląca cywilizację typu III i naszą cywilizację typu 0 jest bez porównania większa od różnicy dzielącej nas i mrówki.

UFO

Niektórzy ludzie twierdzą, że obcy pod postacią UFO już odwiedzili Ziemię. Uczni, gdy słyszą o UFO, zwykle przewracają oczami i odrzucają taką ewentualność, ponieważ odległości dzielące gwiazdy są olbrzymie. Bez względu jednak na reakcje uczonych, liczba relacji o UFO nie zmniejsza się w ostatnich latach.

Pierwszych obserwacji UFO dokonano już na początku historii ludzkości. Prorok Ezechiel wspomina enigmatycznie w Biblii, że ujrzał na niebie "koła w kołach", co zdaniem niektórych jest opisem UFO. W 1450 roku p.n.e., w czasie panowania w Egipcie faraona Totmesa III, egipscy skrybowie opisali zdarzenie związane z "kręgami ognia" jaśniejszymi od Słońca, o rozmiarze około 5 metrów, które pojawiały się przez kilka dni i w końcu wstąpiły do nieba. W 90 roku p.n.e. rzymski kronikarz Julius Obsequens pisał o "okrągłym obiekcie podobnym do kuli lub okrągłej tarczy, który podążał swoją drogą na niebie". W 1235 roku generał Yoritsume zobaczył wraz ze swoją armią dziwne świetliste kule tańczące na niebie w pobliżu Kioto. W 1561 roku w Niemczech nad Norymbergą zaobserwowano dużą liczbę obiektów, które zdawały się uczestniczyć w powietrznej

bitwie.

W bliższych nam czasach Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych przeprowadziły zakrojone na wielką skalę badania doniesień o UFO. W 1952 roku zainicjowały one projekt "Blue Book" (Niebieska Księga), w ramach którego sprawdzono w sumie 12 618 doniesień. Końcowy raport stwierdzał, że znakomitą większość relacji można wyjaśnić poprzez zjawiska naturalne, zwykłe samoloty lub oszustwa. Jednak w przypadku około 6 procent z nich nie udało się znaleźć wytłumaczenia. W wyniku raportu Condon, stwierdzającego, że takie badania nie przynoszą żadnej korzyści, w 1969 roku "Blue Book" zamknięto. Był to ostatni znany, zakrojony na taką skalę projekt badania UFO prowadzony przez amerykańskie siły powietrzne.

W 2007 roku rząd Francji udostępnił opinii publicznej swoją obszerną kartotekę dotyczącą UFO. Umieszczony w Internecie przez francuskie Narodowe Centrum Badań Kosmicznych raport zawiera 1600 doniesień o obserwacji UFO obejmujących pięćdziesiąt lat, w tym 100 tysięcy stron relacji naocznych świadków, filmy i taśmy magnetofonowe. Rząd francuski stwierdził, że 9 procent tych relacji udało się w pełni wyjaśnić, dalsze 35 procent ma wiarygodne wytłumaczenie, natomiast w pozostałych przypadkach nie udało się niczego ustalić.

Trudno jest oczywiście zweryfikować niezależnie te doniesienia. W rzeczywistości większość relacji o UFO po uważnej analizie można odrzucić, podając jako wyjaśnienie: *Planetę Wenus, która jest najjaśniejszym po Księżycu obiektem na nocnym niebie*. Wenus znajduje się w dużej odległości od Ziemi, więc gdy jedziemy samochodem, wydaje nam się, że za nami podąża (podobnie jak Księżyc), co wywołuje złudzenie, że ktoś nią steruje. Oceniając odległość, między innymi porównujemy poruszające się obiekty z otaczającym je środowiskiem. Ponieważ Księżyc i Wenus są tak daleko, gdy brak czegokolwiek, z czym można by je porównać, ulegamy optycznemu złudzeniu, że za nami podążają.

Gazy z bagien. W czasie inwersji temperatury na obszarach bagiennych nad powierzchnią ziemi unosi się gaz, który może lekko fosforyzować. Mniejsze skupiska gazu niekiedy odrywają się od większych, co może wywoływać złudzenie, że z macierzystego statku wylatują statki zwiadowcze.

Meteory. Jasne smugi światła, przebiegające przez nocne niebo zaledwie w kilka sekund, mogą wywołać złudzenie lotu statku kosmicznego. Czasami rozpadają się na części, a wtedy również może powstać wrażenie, że z macierzystego statku wylatują statki zwiadowcze.

Anomalie atmosferyczne. Istnieje wiele rodzajów burz z piorunami i niecodziennych zjawisk atmosferycznych, które mogą oświetlać niebo w niezwykle sposób, wywołując wrażenie spotkania UFO.

W XX i XXI wieku również następujące zjawiska mogą stać za doniesieniami o UFO:

Echa radaru. Fale radaru mogą odbijać się od gór i powodować powstanie echa, które jest rejestrowane przez odbiorniki radarowe. Takie fale mogą na ekranie radaru nawet kreślić zygzaki i poruszać się z olbrzymimi prędkościami, ponieważ są jedynie echem.

stanowi zagrożenie dla ludzi, którzy woleliby dalej żyć w minionym tysiącleciu.

Balony badawcze i meteorologiczne. W kontrowersyjnym raporcie armia twierdzi, że słynna pogłoska o rozbiciu się statku kosmicznego w 1947 roku w Roswell w stanie Nowy Meksyk została wywołana przez jeden z balonów wypuszczonych w ramach ściśle tajnego projektu "Mogul", którego celem było monitorowanie poziomu skażenia radioaktywnego atmosfery na wypadek wybuchu wojny nuklearnej.

Samolot. Znanymi przyczynami pojawiania się doniesień o UFO są komercyjne i wojskowe samoloty. Jest to szczególnie prawdziwe w przypadku próbnych lotów zaawansowanych technicznie, eksperymentalnych samolotów, takich jak bombowce wyposażone w technologię *stealth*. (Armia amerykańska zresztą sama rozpowszechnia historie o latających spodkach, żeby odwrócić uwagę od ściśle tajnych projektów).

Przygotowane z rozmysłem oszustwa. Niektóre z najsłynniejszych zdjęć rzekomo pokazujących latające spodki to w rzeczywistości oszustwa. Pewien dobrze znany latający spodek z widocznymi oknami i odnóżami do lądowania był w rzeczywistości przerobionym karmidłem dla kurcząt.

Przynajmniej 95 procent doniesień można odrzucić na podstawie jednego z powyższych wyjaśnień. Wciąż jednak pozostaje otwarte pytanie o pozostałe kilka procent niewyjaśnionych przypadków. Za najbardziej wiarygodnymi doniesieniami o UFO przemawiają: (a) wiele relacji niezależnych, wiarygodnych świadków naocznych oraz (b) pochodzące z różnych źródeł dowody, jak choćby relacje naocznych świadków i obserwacje radarowe. Doniesienia takie trudniej odrzucić, ponieważ wymagają sprawdzenia kilku niezależnych informacji. Na przykład w 1986 roku doniesienie o zaobserwowaniu UFO nad Alaską przez samolot japońskich linii lotniczych JAL lot nr 1628 było badane przez amerykańską Federalną Administrację Lotniczą. UFO zobaczyli wtedy pasażerowie samolotu, zostało także wykryte przez radar naziemny. Podobnie w latach 1989-1990 wielokrotnie zaobserwowano na ekranach radarów czarne trójkąty nad Belgią, które zostały również namierzone przez radar NATO i myśliwce przechwytyjące. W 1976 roku zaobserwowano nad Teheranem UFO, które zgodnie z informacjami odnotowanymi przez CIA doprowadziło do awarii wielu układów w odrzutowcach F-4.

Uczonych najbardziej frustruje to, że pośród tysięcy zarejestrowanych doniesień, żadne nie dostarczyło niezbitych fizycznych dowodów, które mogłyby prowadzić do powtarzalnych wyników w laboratorium. Nie udało się zdobyć żadnego DNA obcych, komputerowego układu scalonego kosmitów czy fizycznego dowodu lądowania statku kosmicznego.

Zakładając na moment, że takie UFO mogą być prawdziwymi statkami kosmicznymi, a nie złudzeniami, możemy postawić sobie pytanie, z jakiego rodzaju statkiem kosmicznym mamy do czynienia. Oto niektóre z cech relacjonowanych przez świadków:

Istnieją doniesienia, że poruszają się w powietrzu zygakiem. Zdarza się, że w czasie ich przelotu nie można uruchomić samochodu i powstają przerwy w dostawie prądu. Unoszą się bezgłośnie w powietrzu.

Żadna z powyższych cech nie pasuje do rakiet, które konstruujemy na Ziemi. Na przykład działanie wszystkich znanych rakiet opiera się na wykorzystaniu trzeciej zasady dynamiki Newtona

(każda akcja pociąga za sobą taką samą, lecz skierowaną przeciwnie reakcję); a jednak wydaje się, że opisywane UFO nie mają żadnego układu wydechowego. Dodatkowo przeciążenia powstające w latających spodkach kreślących na niebie zygzaki przewyższałyby stukrotnie ziemskie ciężenie - siła taka wystarczyłaby do rozplaszczenia każdej ziemskiej istoty.

Czy takie cechy UFO można wyjaśnić w oparciu o współczesną naukę? W filmach, na przykład w *Latających talerzach*, zawsze się zakłada, że statki te są pilotowane przez obce istoty. Bardziej jest jednak prawdopodobne, że jeżeli statki takie istnieją, to są one bezzałogowe (lub jeżeli mają załogę, to składa się ona z częściowo organicznych, a częściowo mechanicznych istot). To by wyjaśniało, w jaki sposób statek może wykonywać manewry powodujące powstanie przeciążeń, które zmiażdżyłyby każdą żywą istotę.

Poruszający się bezszelestnie w powietrzu statek, zdolny zakłócić działanie układu zapłonowego samochodu, musiałby być chyba pojazdem napędzanym przez siłę magnetyczną. Problem z napędem magnetycznym polega na tym, że magnesy zawsze mają dwa bieguny: północny i południowy. Gdy umieścimy magnes w polu magnetycznym Ziemi, będzie się on po prostu obracał (jak igła kompasu), a nie unosił w powietrzu jak UFO; gdy południowy biegun magnesu kieruje się w jedną stronę, biegun północny przesuwa się w przeciwną, zatem magnes obraca się, lecz nigdzie się nie przemieszcza.

Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu byłoby wykorzystanie monopoli, to znaczy magnesów mających tylko jeden biegun, albo północny albo południowy. Zazwyczaj, gdy przełamiemy magnes na pół, nie uzyskamy dwóch monopoli. Zamiast tego każda połówka magnesu sama stanie się magnesem z obydwojoma biegunami: północnym i południowym; to znaczy staje się kolejnym dipolem. Zatem, jeżeli będziemy dalej rozbijać magnes, zawsze będziemy otrzymywać pary biegunów: północny i południowy. (Ten proces rozbijania dipola magnetycznego w celu uzyskania mniejszych dipoli magnetycznych można kontynuować aż do poziomu atomowego, na którym same atomy są dipolami).

Problemem dla uczonych jest to, że monopoli nigdy nie udało się wykryć w laboratorium. Fizycy bezskutecznie usiłowali wykonać zdjęcie śladu monopoli poruszającego się w ich urządzeniach laboratoryjnych (z wyjątkiem pojedynczego, wielce kontrowersyjnego zdjęcia wykonanego na Uniwersytecie Stanforda w 1982 roku).

Chociaż monopoli nigdy nie udało się w sposób bezdyskusyjny zaobserwować doświadczalnie, fizycy powszechnie wierzą, że w chwili Wielkiego Wybuchu Wszechświat był ich pełen. Idea ta jest częścią najnowszych kosmologicznych teorii Wielkiego Wybuchu. Ponieważ jednak po Wielkim Wybuchu Wszechświat bardzo szybko się rozszerzał, gęstość monopoli uległa rozrzedzeniu i dlatego nie widzimy ich obecnie w laboratoriach. (W rzeczywistości to właśnie brak w dzisiejszym świecie monopoli był kluczową obserwacją, która naprowadziła fizyków na ideę Wszechświata inflacyjnego. Zatem pojęcie monopoli reliktowych jest dobrze ugruntowane w fizyce).

Można więc sobie wyobrazić, że podróżująca w kosmosie rasa opanowała technikę zdobywania takich pozostałych po Wielkim Wybuchu pierwotnych monopoli poprzez zarzucanie w przestrzeni

kosmicznej olbrzymich magnetycznych sieci. Po zgromadzeniu wystarczającej liczby monopoli, obcy mogą przemierzać przestrzeń kosmiczną, wykorzystując magnetyczne linie pola galaktyki lub planety, bez wytwarzania ciągu. Ponieważ monopole stanowią przedmiot żywego zainteresowania wielu kosmologów, istnienie takich statków z pewnością jest zgodne z obecnym rozumieniem fizyki.

W końcu każda obca cywilizacja zaawansowana na tyle, by wysłać statki kosmiczne w różne zakątki Wszechświata, z pewnością będzie miała opanowaną nanotechnologię. To by oznaczało, że statki kosmiczne nie muszą być bardzo duże; można by wysłać ich miliony w poszukiwaniu nadających się do zamieszkania planet. Niezamieszkane księżyce byłyby chyba najlepsze na bazy dla takich nanostatków. Jeżeli tak, to być może i nasz Księżyc został w przeszłości odwiedzony przez cywilizację typu III, podobnie jak w filmie *2001: Odyseja kosmiczna*, który jest chyba najbardziej realistycznym opisem spotkania z pozaziemską cywilizacją. Jest więcej niż prawdopodobne, że pojazd taki byłby bezzałogowy, zrobotyzowany i umieszczony na powierzchni Księżyca. (Musi upłynąć być może jeszcze jedno stulecie, zanim ziemską technikę pozwoli nam na zbadanie całego Księżyca w poszukiwaniu anomalii w promieniowaniu i umożliwi wykrycie starożytnego dowodu bytności nanostatków na jego powierzchni).

Jeżeli rzeczywiście nasz Księżyc odwiedzili kiedyś obcy lub był on miejscem działania nanotechnologicznej bazy, wyjaśniałoby to, dlaczego UFO nie zawsze musi być bardzo duże. Niektórzy uczeni kpią z UFO, ponieważ nie pasuje ono do żadnego projektu olbrzymiego silnika odrzutowego rozważanego współcześnie przez inżynierów, takiego jak strumieniowe silniki termojądrowe, olbrzymie żagle napędzane laserem czy jądrowe silniki pulsacyjne, które mogą mieć średnicę kilku kilometrów. UFO potrafią być tak małe, jak samolot odrzutowy. Jeżeli jednak po poprzedniej wizycie została założona na Księżycu stała baza, to statki UFO nie muszą być ogromne; mogą uzupełniać paliwo w pobliskiej bazie księżycowej. Zatem relacje o zaobserwowaniu UFO mogą dotyczyć bezzałogowych statków zwiadowczych przylatujących z bazy na Księżycu.

Biorąc pod uwagę szybki rozwój SETI i tempo odkrywania nowych planet pozastłonecznych, do kontaktu z życiem pozaziemskim, przy założeniu, że istnieje ono w pobliżu nas, może dojść jeszcze w tym stuleciu, co oznacza, że takie spotkanie jest niemożliwością typu I. Jeżeli obce cywilizacje rzeczywiście istnieją w przestrzeni kosmicznej, w sposób naturalny nasuwają się kolejne pytania: Czy kiedykolwiek będziemy dysponowali środkami, które umożliwią nam dotarcie do nich? A co z naszą odległą przyszłością, gdy Słońce zacznie się rozszerzać i pochłaniać Ziemię? Czy gwiazdy naprawdę są naszym przeznaczeniem?

Rozdział 9

STATKI KOSMICZNE

Idiotyczny pomysł strzelania w Księżyc jest przykładem tego, do jakich absurdów może doprowadzić uczonych niezdrowa specjalizacja [...] ta koncepcja wydaje się z gruntu niemożliwa.

- A.W. Bickerton, 1926

Według wszelkiego prawdopodobieństwa najlepsza część ludzkości nigdy nie zginie - będzie się przносиła ze słońca na słońce, w miarę jak będą one gasły. Zatem nigdy nie nastąpi koniec życia, intelektu i geniuszu ludzkości. Jej postęp będzie trwał wiecznie.

- Konstantin Ciołkowski, ojciec techniki raketowej

Kiedys, w odległej przyszłości, nadejdzie nasz ostatni dzień na Ziemi. W końcu, za miliardy lat, niebo zapłonie żywym ogniem. Słońce napęcznieje i zmieni się w rozszalałe piekło, wypełniając sobą całe niebo i zasłaniając wszystkie inne ciała niebieskie. Gdy temperatura na Ziemi gwałtownie wzrośnie, oceany zagotują się i wyparują, pozostawiając po sobie wypalony, spieczony krajobraz. W końcu góry zaczną się topić i, zmieniając się w ciecz, utworzą potoki lawy tam, gdzie kiedyś wznosiły się pełne życia miasta.

Zgodnie z prawami fizyki ten ponury scenariusz jest nieuchronny. Ziemia w końcu zginie w ogniu, pochłonięta przez Słońce. Takie jest prawo fizyki.

Kataklyzm ten zdarzy się w ciągu najbliższych pięciu miliardów lat. W takiej kosmicznej skali czasu powstanie i upadek ludzkiej cywilizacji są jedynie krótkimi chwilami. Któregoś dnia będziemy musieli opuścić Ziemię albo na niej umrzeć. Jak więc poradzi sobie ludzkość, nasi potomkowie, gdy warunki na Ziemi staną się trudne do zniesienia?

Matematyk i filozof Bertrand Russell rozpaczał kiedyś, "że ani żarliwość, ani odwaga, ani nawet intensywność myśli lub uczuć nie może zachować życia po śmierci; że cała praca wszystkich stuleci, całe oddanie, cała inspiracja, cała jasność ludzkiego geniuszu skazane są na zagładę wraz ze śmiercią Układu Słonecznego; a cała świątynia osiągnięć Człowieka musi zostać pogrzebana pod szczątkami Wszechświata [...]"⁶⁸.

Dla mnie jest to jeden z najbardziej przejmujących fragmentów napisanych w języku angielskim. Lecz Russell napisał ten tekst w czasach, gdy statki raketowe były uważane za coś niemożliwego. Dzisiaj perspektywa opuszczenia kiedyś Ziemi nie wydaje się już tak nedorzeczna. Carl Sagan powiedział kiedyś, że powinniśmy się stać "gatunkiem dwuplanetarnym". Życie na Ziemi jest czymś tak cennym, stwierdził, że na wypadek katastrofy powinniśmy je zaszcześcić przynajmniej na jednej z innych nadających się do zamieszkania planet. Ziemia porusza się w środku "kosmicznej strzelnicy" asteroid, komet i innych odłamków dryfujących w pobliżu ziemskiej orbity i zderzenie z którymkolwiek z tych ciał może oznaczać naszą zgubę.

⁶⁸ Cyt. za: H. Pagels, *Perfect Symmetry*, Bantam, New York 1985, s. 382.

Nadciągające katastrofy

Poeta Robert Frost zastanawiał się, czy Ziemia zginie w ogniu, czy w lodzie. Opierając się na prawach fizyki, możemy sensownie przewidzieć, jaki będzie koniec świata w przypadku kataklizmu spowodowanego przyczynami naturalnymi.

W skali tysiącleci, jednym z niebezpieczeństw czyhających na ludzkość jest groźba nowej epoki lodowcowej. Ostatnia taka epoka zakończyła się 10 tysięcy lat temu. Gdy za 10 - 20 tysięcy lat zacznie się nowa, większa część Ameryki Północnej może się znaleźć pod czterystumetrową skorupą lodu. Ludzka cywilizacja rozkwitła w czasie ostatniego krótkiego okresu interglacjalnego, gdy Ziemia była niespotykanie ciepła, ale taki stan nie może trwać wiecznie.

W horyzoncie czasowym milionów lat, katastrofalne skutki mogą mieć zderzenia Ziemi z wielkimi meteorami lub kometami. Do ostatniego wielkiego zderzenia tego rodzaju doszło 65 milionów lat temu, gdy ciało o średnicy około 10 kilometrów uderzyło w półwysep Jukatan w dzisiejszym Meksyku, powodując powstanie krateru o średnicy około 300 kilometrów. Wydarzenie to doprowadziło do wyginięcia dinozaurów, które były wówczas dominującą formą życia na Ziemi. W takiej skali czasowej kolejne kosmiczne zderzenie jest prawdopodobne.

Za miliardy lat Słońce zacznie się stopniowo rozszerzać i w końcu pochłonie Ziemię. Szacuje się, że w ciągu najbliższego miliarda lat temperatura Słońca wzrośnie o 10 procent, co spowoduje wypalenie Ziemi. Słońce całkowicie pochłonie naszą planetę za pięć miliardów lat, gdy zmieni się w olbrzymią czerwoną gwiazdę. Ziemia znajdzie się wtedy faktycznie wewnątrz atmosfery Słońca.

Za dziesiątki miliardów lat śmierć spotka zarówno Słońce, jak i galaktykę Drogi Mlecznej. Gdy w końcu nasze Słońce zużyje zapasy paliwa wodorowego i helowego, skurczy się, przekształcając w niewielkiego białego karła i zacznie się powoli ochładzać, aż stanie się górą ciemnego odpadu radioaktywnego, przemierzającą kosmiczną pustkę. Galaktyka Drogi Mlecznej zderzy się natomiast w końcu z sąsiednią galaktyką Andromedy, która jest znacznie od niej większa. Spiralne ramiona Drogi Mlecznej zostaną wtedy oderwane i możliwe, że nasze Słońce zostanie wyrzucone w przestrzeń kosmiczną. Znajdujące się w środkach obu galaktyk czarne dziury rozpoczną taniec śmierci, który zakończy się ich zderzeniem i zespoleniem.

Przyjmując, że ludzkość, by przeżyć, będzie kiedyś musiała uciekać z Układu Słonecznego do pobliskich gwiazd, należy odpowiedzieć sobie na pytanie: jak się tam dostaniemy? Najbliższa gwiazda wielokrotna, Alfa Centauri, jest oddalona o ponad 4 lata świetlne. Tradycyjne, napędzane chemicznie rakiety, konie pociągowe obecnego programu kosmicznego, z trudem rozwijają prędkość 64 000 kilometrów na godzinę. Z taką prędkością dotarcie tylko do najbliższej gwiazdy zajęłoby 70 000 lat.

Analizując bieżący program kosmiczny, można dojść do wniosku, że istnieje olbrzymia przepaść między naszymi żalonymi obecnymi możliwościami a wymaganiami dotyczącymi prawdziwego statku kosmicznego, który umożliwiłby nam rozpoczęcie badania Wszechświata. Od czasu zbadania Księżyca na początku lat siedemdziesiątych, astronauty w ramach załogowego programu kosmicznego przebywali w kosmicznych wahadłowcach i w Międzynarodowej Stacji Kosmicznej na

orbicie znajdującej się jedynie około 480 kilometrów nad Ziemią. Jednak NASA planuje, że do 2010 roku wycofa promy kosmiczne i zacznie wykorzystywać statki kosmiczne Orion, które do roku 2020 pozwolą astronautom w końcu powrócić na Księżyc po pięćdziesięcioletniej przerwie. Planowane jest założenie stałej załogowej bazy księżycowej. Później można będzie wykonywać załogowe loty na Marsa.

Jeżeli kiedykolwiek mamy sięgnąć gwiazd, bez wątpienia musimy wymyślić nowy typ rakiety. Trzeba albo radykalnie zwiększyć moc rakiety, albo wydłużyć czas ich działania. Olbrzymia rakietka chemiczna może osiągnąć ciąg kilku milionów kilogramów, ale działa zaledwie przez kilka minut. Dla kontrastu, inne typy rakiet, na przykład silnik jonowy (opisany w następnym podrozdziale), charakteryzują się słabym ciągiem, ale za to mogą działać w przestrzeni kosmicznej przez całe lata. W świecie rakiet żółw zwycięża z zającem.

Silniki jonowe i plazmowe

W przeciwieństwie do rakiet napędzanych chemicznie, silniki jonowe nie wytwarzają nagłych, silnych wybuchów gorącego gazu, które wprawiają w ruch tradycyjne rakiety. W rzeczywistości ich siłę ciągu często mierzy się w gramach⁶⁹. Na Ziemi, na powierzchni stołu laboratoryjnego są one zbyt słabe, by mogły się poruszyć. Jednak swoje braki w sile ciągu nadrabiają z nawiązką czasem działania, ponieważ w próżni przestrzeni kosmicznej mogą pracować całymi latami.

Typowy silnik jonowy przypomina wnętrze kineskopu telewizyjnego. Gorące włókno ogrzewa się prądem elektrycznym, w wyniku czego powstaje wiązka zjonizowanych atomów, na przykład ksenonu, którą wystrzeliwuje się z tyłu rakiety. Silniki jonowe nie są więc napędzane wybuchami gorącego gazu, lecz słabym, ale za to stałym wypływem jonów.

Skonstruowany w NASA napęd jonowy NSTAR przetestowano w przestrzeni kosmicznej w czasie zakończonej sukcesem misji sondy Deep Space 1, którą wystrzelono w 1998 roku. Silnik jonowy działał w sumie przez 678 dni, co stało się nowym rekordem czasu pracy napędu jonowego. Również Europejska Agencja Kosmiczna przeprowadziła testy silnika jonowego na pokładzie sondy Smart 1. Japońska sonda kosmiczna Hayabusa, która przeleciała w pobliżu asteroidy, była napędzana czterema ksenonowymi silnikami jonowymi. Choć jest niepozorny, silnik jonowy umożliwi przeprowadzanie dalekich misji pomiędzy planetami (jeżeli tylko nie będą pilne). Bardzo możliwe, że silniki jonowe staną się kiedyś podstawą transportu międzyplanetarnego.

Potężniejszą wersją silnika jonowego jest silnik plazmowy, na przykład VASIMIR (*variable specific impulse magnetoplasma rocket*, silnik plazmowy o zmiennym impulsie właściwym), który do poruszania się w przestrzeni kosmicznej wykorzystuje silny odrzut plazmy. Silnik ten został zaprojektowany przez astronautę i inżyniera Franklina Changa-Diaza. Jego zasada działania opiera się na wykorzystaniu fal radiowych i pól magnetycznych, by ogrzać gazowy wodór do temperatury miliona stopni Celsjusza. Taka niezwykle gorąca plazma zostaje następnie wyrzucona z tyłu rakiety, co powoduje powstanie znacznej siły ciągu. Prototypy tego silnika zostały już

⁶⁹ Właśc. gram siła. W SI jednostką siły jest niuton (N) (przyp. red.).

skonstruowane na Ziemi, jednak żaden z nich nie został jeszcze wysłany w kosmos. Niektórzy inżynierowie mają nadzieję, że silnik plazmowy będzie można wykorzystać w czasie misji na Marsa, co znacznie skróci czas podróży, nawet do kilku miesięcy. W niektórych projektach do ogrzewania plazmy w silniku wykorzystuje się energię słoneczną. Inne koncepcje zakładają wykorzystanie zjawiska rozszczepienia jądra atomowego (co rodzi obawy o bezpieczeństwo, ponieważ wiąże się z koniecznością wyniesienia w kosmos dużych ilości materiału radioaktywnego w statkach, które mogą ulec wypadkowi).

Jednak ani silnik jonowy, ani plazmowy (VASIMIR) nie mają wystarczającej mocy, by pozwolić nam dotrzeć do gwiazd. Aby to osiągnąć, potrzebne będą napędy o całkowicie nowej konstrukcji. Jednym z poważnych ograniczeń, jakie trzeba wziąć pod uwagę, gdy projektuje się silnik dla statku kosmicznego, jest olbrzymia ilość paliwa, jaką trzeba zabrać, by odbyć podróż nawet do najbliższej gwiazdy oraz długi czas, jaki musi upłynąć, zanim statek dotrze do celu.

Żagle słoneczne

Jedną z propozycji, która może rozwiązać te problemy, jest wykorzystanie żagli słonecznych. Działają one w oparciu o fakt, że światło słoneczne wywiera bardzo małe, ale stałe ciśnienie, wystarczające do napędzania olbrzymich żagli i przemierzania w ten sposób przestrzeni kosmicznej. Idea żagla słonecznego jest stara, wspominał o niej już wielki astronom Johannes Kepler w swoim traktacie *Somnium* z 1611 roku.

Chociaż podstawy fizyczne działania żagla słonecznego są dosyć proste, prace nad skonstruowaniem żagla, który nadawałby się do wysłania w kosmos, toczą się bardzo nieregularnie. W 2004 roku japońskiej rakiecie udało się umieścić w kosmosie dwa nieduże prototypy żagli słonecznych. W 2005 roku Planetary Society (Stowarzyszenie Planetarne), Cosmos Studios i Rosyjska Akademia Nauk z łodzi podwodnej na Morzu Barentsa wystrzeliły żagiel słoneczny Cosmos 1, jednak rakietę Wołna, na pokładzie której się znajdował, nigdy nie dotarła na orbitę. (Poprzednia próba z suborbitalnym żagle, przeprowadzona w 2001 roku, również się nie powiodła). Natomiast w lutym 2006 roku japońskiej rakiecie M-V udało się umieścić na orbicie piętnastometrowy żagiel słoneczny, który jednak nie rozwinął się całkowicie.

Chociaż postępy w technice żagli słonecznych są niestety bardzo powolne, zwolennicy tego rozwiązania mają już kolejny pomysł, który może pozwoli im dotrzeć do gwiazd: zbudowanie na Księżycu olbrzymiej baterii laserów, które strzelałyby silną wiązką laserową w żagiel słoneczny, dzięki czemu mógłby on dotrzeć do najbliższej gwiazdy. Zbudowanie takiego międzyplanetarnego żagla słonecznego jest skomplikowanym przedsięwzięciem. Sam żagiel musiałby się rozpościerać na odległość setek kilometrów i trzeba by go w całości zbudować w przestrzeni kosmicznej. Konieczne byłoby postawienie na Księżycu tysięcy potężnych laserów, z których każdy musiałby utrzymywać ciągły ogień przez lata, a może i dekady. (Z jednego z oszacowań wynika, że konieczne byłoby użycie laserów o energii wyjściowej tysiąc razy przekraczającej całą energię produkowaną na Ziemi).

Teoretycznie gigantyczny żagiel świetlny może rozpędzić się nawet do prędkości równej

połowie prędkości światła. Taki żagiel słoneczny potrzebowałby zaledwie ośmiu lat, żeby dotrzeć do najbliższych gwiazd. Zaletą takiej techniki napędu jest to, że wykorzystuje ona dostępne już obecnie rozwiązania. Do stworzenia żagli słonecznych nie trzeba odkrywać żadnych nowych praw fizyki. Jednak główne problemy mają charakter ekonomiczny i techniczny. Problemy inżynierskie związane z postawieniem żagla o długości setek kilometrów napędzanego przez tysiące potężnych laserów zamontowanych na Księżycu są tak wielkie, że wymagają użycia rozwiązań technicznych, których wypracowanie może zająć nam jeszcze sto lat. (Jeden z problemów z międzygwiazdowym żaglem słonecznym wiąże się z powrotem. Aby skierować statek z powrotem ku Ziemi, trzeba by było wybudować na odległym księżycu drugą baterię dział laserowych. Być może też statek mógłby szybko zawrócić wokół gwiazdy, wykorzystując ją jak procę, dzięki której mógłby uzyskać prędkość umożliwiającą odbycie drogi powrotnej. Wtedy lasery na Księżycu wykorzystano by do wyhamowania żagla i umożliwienia mu wylądowania na Ziemi).

Termojądrowy silnik strumieniowy

Moim faworytem wśród rozwiązań, które mogą pomóc nam dotrzeć do gwiazd, jest termojądrowy silnik strumieniowy. We Wszechświecie wodoru jest wszędzie pod dostatkiem, więc termojądrowy silnik strumieniowy mógłby w czasie podróży zgarniać wodór z przestrzeni kosmicznej, dzięki czemu mielibyśmy w zasadzie niewyczerpane źródło paliwa raketowego. Pobrany z kosmosu wodór byłby ogrzewany do milionów stopni i w tak wysokiej temperaturze dochodziłoby do reakcji jego syntezy - w ten sposób byłaby wyzwolana energia reakcji termojądrowej.

Termojądrowy silnik strumieniowy zaproponował fizyk Robert W. Bussard w 1960 roku, a później został on rozpropagowany przez Carla Sagana. Bussard wyliczył, że silnik strumieniowy ważący około 1000 ton teoretycznie mógłby utrzymywać stałą siłę ciągu 1 g, to znaczy porównywalną ze stanem na powierzchni Ziemi. Gdyby silnikowi udało się utrzymać przyspieszenie 1 g przez rok, osiągnąłby prędkość równą 77 procent prędkości światła, wystarczającą, by podróże międzygwiazdne stały się realną możliwością.

Łatwo wyliczyć warunki skonstruowania termojądrowego silnika strumieniowego. Po pierwsze, znamy średnią gęstość gazowego wodoru we Wszechświecie. Potrafimy również wyliczyć, ile mniej więcej wodoru trzeba by zużyć do utrzymania przyspieszenia na poziomie 1 g. Obliczenia te z kolei pozwalają ustalić, jak duży musiałby być pobór wodoru, aby zgromadzić go w wystarczającej ilości. Przy kilku sensownych założeniach można wykazać, że konieczne byłoby zgarnianie wodoru z obszaru o średnicy około 160 kilometrów. Chociaż zbudowanie na Ziemi urządzenia do zgarniania gazu z takiego obszaru byłoby zupełnie niemożliwe, jego konstrukcja w przestrzeni kosmicznej dzięki nieważkości sprawiłaby mniej kłopotu.

W zasadzie taki silnik strumieniowy mógłby działać bez przerwy, tak że w końcu dotarłby do odległych układów planetarnych w Galaktyce. Ponieważ według Einsteina czas wewnątrz rakiety zwalnia, pokonywanie astronomicznych odległości mogłoby stać się możliwe bez konieczności wprowadzania załogi w stan spowolnienia procesów życiowych. Podróżując z przyspieszeniem 1 g

przez jedenaście lat, według zegarów znajdujących się na statku, statek kosmiczny dotarłby do gromady gwiazd w Plejadach, położonej w odległości 400 lat świetlnych. W dwadzieścia trzy lata osiągnąłby galaktykę Andromedy, odległą od Ziemi o 2 miliony lat świetlnych. W teorii taki statek kosmiczny mógłby dotrzeć do granic widzialnego Wszechświata jeszcze za życia członków załogi (choć w tym czasie na Ziemi upłynęłyby miliardy lat).

Najistotniejszym niepewnym czynnikiem jest tu reakcja syntezy jądrowej. Reaktor termojądrowy ITER, którego budowę planuje się w południowej Francji, w celu uzyskania energii łączy ze sobą dwie rzadkie postaci wodoru (deuter i tryt). W przestrzeni kosmicznej jednak najbardziej rozpowszechnioną postacią wodoru jest atom składający się z pojedynczego protonu okrążanego przez elektron. Termojądrowy silnik strumieniowy będzie zatem musiał działać w oparciu o reakcję syntezy proton-proton. Choć fizycy badają proces syntezy deuteru i trytu już od dziesięcioleci, synteza proton-proton jest znacznie mniej poznana, trudniejsza do uzyskania i do tego wytwarza znacznie mniejszą moc. Zatem opanowanie trudniejszej reakcji proton-proton będzie technicznym wyzwaniem na najbliższe dziesięciolecia. (Niektórzy inżynierowie dodatkowo wątpią, czy taki silnik strumieniowy zdoła sobie poradzić z oporami, jakie będą powstawały w miarę zbliżania się do prędkości światła).

Dopóki nie zostaną opracowane fizyczne i ekonomiczne podstawy syntezy proton-proton, trudno będzie podać dokładne oszacowania dotyczące możliwości budowy takich silników. Rozwiązanie to jednak znajduje się na liście kandydatów do roli układu napędowego misji, których celem będzie sięgnięcie gwiazd.

Rakieta jądrowo-elektryczna

W 1956 roku amerykańska Komisja Energii Atomowej (AEC, Atomic Energy Commission) zaczęła się poważnie przyglądać rakietom jądrowym w ramach projektu "Rover". W teorii, reaktor jądrowy można by wykorzystać do ogrzewania do ekstremalnych temperatur gazu, na przykład wodoru, który następnie byłby wyrzucany z tyłu rakiety, powodując powstanie siły ciągu.

Z powodu niebezpieczeństwa wybuchu w ziemskiej atmosferze reaktora zawierającego toksyczne paliwo nuklearne, wczesne wersje jądrowych silników raketowych umieszczano poziomo na torach kolejowych, dzięki czemu można było również dokładnie monitorować działanie rakiety. Pierwszym jądrowym silnikiem raketowym testowanym w 1959 roku w ramach projektu "Rover" był Kiwi 1 (trafnie ochrzczone nazwą australijskiego nietola). W latach sześćdziesiątych do AEC przyłączyła się NASA, by wspólnie stworzyć Silnik Jądrowy do Zastosowań Rakietowych (NERVA, Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications), który był pierwszym silnikiem jądrowym testowanym pionowo, a nie horyzontalnie. W 1968 roku przeprowadzono test tej rakiety jądrowej polegający na wystrzeleniu jej pionowo w dół.

Wyniki tych badań były niejednoznaczne. Rakiety okazały się skomplikowane i pojawiały się problemy z ich odpaleniem. Potężne drgania silnika jądrowego często powodowały pęknięcia zbiorników z paliwem, co kończyło się rozerwaniem pojazdu. Stałym problemem była również korozja wywołana spalaniem wodoru w wysokiej temperaturze. Program rakiet jądrowych został w

końcu zamknięty w 1972 roku.

(Z raketami atomowymi wiązał się jeszcze jeden problem: ryzyko powstania niekontrolowanej reakcji jądrowej, jak w małej bombie atomowej. Chociaż wykorzystywane obecnie komercyjnie elektrownie jądrowe działają na rozrzedzonym paliwie jądrowym i nie mogą wybuchnąć jak bomba nad Hiroszimą, rakiety atomowe, w celu uzyskania jak największego ciągu, działały na wysoko wzbogaconym uranie i dlatego mogło w nich dojść do reakcji łańcuchowej, co doprowadziłoby do niewielkiej eksplozji jądrowej. Gdy program rakiet jądrowych miał już zostać zamknięty, uczeni zdecydowali się przeprowadzić jeszcze jedną, ostatnią próbę. Postanowili wysadzić raketę w powietrze, niczym małą bombę atomową. Usunęli pręty regulacyjne [pozwalające utrzymać reakcję jądrową w karbach]. Reaktor przekroczył masę krytyczną i wybuchnął ognistą kulą płomieni. To spektakularne zakończenie programu badań rakiet jądrowych uwieczniono nawet na filmie. Rosjanie nie byli tym zachwyceni. Uważali, że ten wybryk był pogwałceniem traktatu o częściowym zakazie prób jądrowych, który nie zezwalał na odpalanie ładunków jądrowych nad powierzchnią Ziemi).

W następnych latach wojsko od czasu do czasu wracało do tematu rakiet jądrowych. Jeden z tajnych projektów nosił nazwę "rakiet jądrowa Timberwind" i był częścią wojskowego programu "Wojen Gwiezdnych" realizowanego w latach osiemdziesiątych. (Projekt został przerwany, gdy szczegółowe informacje na jego temat zostały opublikowane przez Stowarzyszenie Uczonych Amerykańskich).

W przypadku rakiet termojądrowych szczególny niepokój budzi kwestia bezpieczeństwa. Nawet po pięćdziesięciu latach badań kosmicznych około 1 procenta napędzanych chemicznie rakiet ulega katastrofie. (Dwa wypadki promów kosmicznych Challenger i Columbia, w których tragicznie zginęło czternastu astronautów, jedynie potwierdzają ten odsetek usterek).

Niemniej jednak od kilku lat NASA ponownie bada rakiety jądrowe, po raz pierwszy od czasów programu NERVA z lat sześćdziesiątych. W 2003 roku NASA nadała jednemu z projektów nazwę "Prometeusz", na cześć greckiego boga, który podarował ludzkości ogień. W roku 2005 projektowi przyznano fundusze w wysokości 430 milionów dolarów, ale jego finansowanie zostało rok później znacznie ograniczone, do 100 milionów dolarów. Przyszłość projektu nie jest jasna.

Jądrowe rakiety pulsacyjne

Inną odległą możliwością jest wykorzystanie do napędzania statku baterii miniaturowych bomb jądrowych. W projekcie "Orion" z tyłu rakiety miały być kolejno wyrzucane miniaturowe bomby atomowe, tak aby statek kosmiczny mógł ślizgać się po fali uderzeniowej wytworzonej przez ich wybuchy. Teoretycznie takie rozwiązanie może zapewnić statkowi osiągnięcie prędkości bliskiej prędkości światła. Na pomysł ten po raz pierwszy wpadł w 1947 roku Stanisław Ułam, który brał udział w projektowaniu pierwszej bomby wodorowej. Ideę tę rozwinęli później Ted Taylor (jeden z głównych projektantów głowic jądrowych dla armii amerykańskiej) i fizyk Freeman Dyson z Institute for Advanced Study (Instytutu Badań Zaawansowanych) w Princeton.

Pod koniec lat pięćdziesiątych i w latach sześćdziesiątych przeprowadzono złożone obliczenia

dotyczące konstrukcji takich rakiet międzygwiazdnych. Oszacowano, że taki statek kosmiczny mógłby polecieć na Plutona i wrócić w ciągu jednego roku, rozwijając maksymalną prędkość wynoszącą 10 procent prędkości światła. Nawet jednak przy tej prędkości dotarcie do najbliższej gwiazdy zabrałoby czterdzieści cztery lata. Uczni szacowali, że kosmiczna arka napędzana takim silnikiem raketowym, aby dotrzeć do pobliskich gwiazd, musiałaby podróżować przez całe stulecia, w trakcie których członkowie wielopokoleniowej załogi rodziłiby się i umierali, spędzając całe życie na pokładzie kosmicznego okrętu i dopiero ich potomkowie dotarliby do celu.

W 1959 roku firma General Atomics opublikowała raport zawierający oszacowanie rozmiarów statku kosmicznego rozważanego w projekcie Orion. Największa wersja, nazwana Super Orion, ważyłaby 8 milionów ton, miała średnicę 400 metrów i byłaby napędzana przez ponad tysiąc bomb wodorowych.

Jednym z głównych problemów związanych z tym projektem było jednak ryzyko skażenia w wyniku opadów radioaktywnych w czasie wystrzelenia statku. Dyson oszacował, że opady radioaktywne z każdego wystrzelenia rakiety mogłyby spowodować śmierć na raka dziesięciu osób. W dodatku powstały w czasie takiego startu impuls elektromagnetyczny (EMP, *electromagnetic pulse*) byłby tak potężny, że mógłby doprowadzić do masowych zwarć w znajdujących się w okolicy układach elektrycznych.

Podpisanie w 1963 roku traktatu o częściowym zakazie prób jądrowych było ostatnim akordem tego projektu. W końcu poddał się nawet największy entuzjasta całego przedsięwzięcia, projektant bomb jądrowych Ted Taylor. (Kiedyś zwierzył mi się, że ostatecznie stracił zainteresowanie projektem, gdy uświadomił sobie, że fizyka leżąca u podstaw miniaturowych bomb jądrowych mogłaby zostać wykorzystana również przez terrorystów do konstruowania przenośnych bomb atomowych. Chociaż projekt przerwano, gdy stwierdzono, że jest zbyt niebezpieczny, jego nazwa żyje w postaci statku kosmicznego Orion, który decyzją NASA w 2010 roku ma zastąpić wahadłowce kosmiczne).

Idea rakiet napędzanych wybuchami jądrowymi została w latach 1973-1978 na krótko wskrzeszona przez British Interplanetary Society (Brytyjskie Towarzystwo Międzyplanetarne), które w ramach projektu "Dedal" zamierzało przeprowadzić wstępne badania mające na celu sprawdzenie, czy możliwe jest zbudowanie bezzałogowego pojazdu, który mógłby dotrzeć do Gwiazdy Barnarda, położonej w odległości 5,9 lat świetlnych od Ziemi. (Wybrano Gwiazdę Barnarda, ponieważ sądzono wówczas, że może mieć planetę. Obecnie dysponujemy sporządzoną przez astronomów Jill Tarter i Margaret Turnbull listą 17 129 pobliskich gwiazd mogących mieć odpowiednie dla życia planety. Najbardziej obiecującą kandydatką jest Epsilon Indi A, gwiazda odległa o 11,8 lat świetlnych).

Planowany w projekcie "Dedal" statek raketowy był tak olbrzymi, że trzeba by go było zbudować w przestrzeni kosmicznej. Ważyłby 54 tysiące ton, przy czym prawie cały ten ciężar stanowiłoby paliwo raketowe, a przy ciężarze ładunku 450 ton mógłby osiągnąć 7,1 procent prędkości światła. W przeciwieństwie do projektu "Orion", który zakładał wykorzystanie

miniaturowych bomb jądrowych, w projekcie "Dedal" planowano użycie miniaturowych bomb wodorowych działających na mieszance deuteru i helu-3, zapalanej wiązkami elektronów. Z powodu olbrzymich problemów technicznych związanych z jego realizacją, a także obaw wynikających z jego nuklearnego układu napędowego, projekt "Dedal" również został na czas nieokreślony odłożony na półkę.

Impuls właściwy a sprawność silnika

Inżynierowie mówią czasami o wielkości zwanej impulsem właściwym, która pozwala określić sprawność silników o różnej konstrukcji. Definiuje się ją jako zmianę pędu na jednostkę masy paliwa. Zatem im większą sprawność ma silnik, tym mniej trzeba paliwa, aby wystrzelić raketę w kosmos. Zmiana momentu pędu, czyli popęd siły, jest z kolei iloczynem siły i czasu jej działania. Rakiety napędzane chemicznie, chociaż dysponują bardzo dużą siłą ciągu, działają zaledwie przez kilka minut i dlatego mają bardzo niską wartość impulsu właściwego. Silniki jonowe, ponieważ mogą działać przez całe lata, mogą mieć wysokie wartości impulsu właściwego przy bardzo słabym ciągu.

Impuls właściwy mierzy się w sekundach. Typowa rakietka napędzana chemicznie może mieć impuls właściwy rzędu 400-500 sekund. Impuls właściwy silnika kosmicznego wahadłowca wynosi 453 sekundy. (Najwyższa wartość impulsu właściwego dla rakiety napędzanej chemicznie, jaką kiedykolwiek udało się osiągnąć wynosi 542 sekundy; uzyskano ją, stosując mieszankę paliw składającą się z wodoru, litu i fluoru). Silnik jonowy Smart 1 uzyskał wartość impulsu właściwego równą 1640 sekund. A rakietka jądrowa osiągnęła impuls właściwy na poziomie 850 sekund.

Największą możliwą wartość impulsu właściwego miałyby rakietka potrafiąca osiągnąć prędkość światła. Wartość ta wynosiłaby około 30 milionów. Poniżej przedstawiono tabelę zawierającą wartości impulsu właściwego dla różnych rodzajów napędów raketowych.

TYP SILNIKA RAKIETOWEGO	IMPULS WŁAŚCIWY
Rakietka na paliwo stałe	250
Rakietka na paliwo ciekłe	450
Silnik jonowy	3000
Silnik plazmowy VASIMIR	od 1000 do 30 000
Rakietka z napędem jądrowym	od 800 do 1000
Rakietka z napędem termojądrowym	od 2500 do 200 000
Jądrowa rakietka pulsacyjna	od 10 000 do 1 miliona
Rakietka na antymaterię	od 1 miliona do 10 milionów

(W zasadzie napędzane laserowo żagle i termojądrowe silniki strumieniowe mają nieskończony impuls właściwy, ponieważ w ogóle nie przenoszą żadnego paliwa, mają jednak swoje własne problemy innego rodzaju).

Windy kosmiczne

Poważnym zastrzeżeniem kierowanym pod adresem wielu z wymienionych silników raketowych jest to, że są one tak gigantyczne i ciężkie, iż nigdy nie uda się ich zapewne zbudować na Ziemi. Dlatego właśnie niektórzy uczeni zaproponowali, by budować je w przestrzeni kosmicznej, gdzie nieważkość umożliwi astronautom podnoszenie bez trudu niewyobrażalnie ciężkich obiektów. Krytycy tego pomysłu wysuwają jednak zarzut, że obecnie składanie takich urządzeń w przestrzeni kosmicznej wiązałoby się z trudnymi do wyobrażenia kosztami. Zakończenie budowy Międzynarodowej Stacji Kosmicznej będzie na przykład wymagało wysłania wahadłowców w kosmos ponad sto razy, a koszty tego przedsięwzięcia sięgnęły 100 miliardów dolarów. Jest to najbardziej kosztowny projekt naukowy w historii. Budowa międzygwiazdowego żagla kosmicznego lub termojądrowego silnika strumieniowego pobierającego wodór z przestrzeni kosmicznej wiązałaby się z wielokrotnie wyższymi kosztami.

Jednak, jak mawiał autor książek fantastycznonaukowych Robert Heinlein, jeżeli uda ci się wzbić 160 kilometrów nad powierzchnię Ziemi, będziesz już w połowie drogi do dowolnego miejsca w Układzie Słonecznym. To prawda, ponieważ pierwsze 160 kilometrów ruchu każdego pojazdu wyrzuczonego w kosmos, gdy rakieta wyęży swoją moc, by uciec z pola grawitacyjnego Ziemi, jest bez wątpienia najbardziej kosztownym odcinkiem lotu. Potem statek kosmiczny może praktycznie bez większego wysiłku polecieć do Plutona i dalej.

Jednym ze sposobów na zredukowanie w przyszłości tych kosztów będzie wybudowanie kosmicznej windy. Pomysł ze wspinaniem się do nieba po linie jest stary jak świat, występuje na przykład w baśni *O Jasiu i magicznej fasoli*, ale mógłby w końcu stać się rzeczywistością, gdyby taką linę udało się wysłać daleko w kosmos. Wtedy wywołana obrotowym ruchem Ziemi siła odśrodkowa wystarczałaby do zrównoważenia przyciągania grawitacyjnego i taka lina nigdy by nie spadła. Jak za sprawą magii uniosłaby się pionowo w górę i znikła w obłokach. (Wyobraźmy sobie piłkę zataczającą kręgi na końcu sznurka. Wydaje się, że zaprzecza ona istnieniu grawitacji, ponieważ siła odśrodkowa odpycha ją od środka ruchu obrotowego. Na tej samej zasadzie bardzo długa lina zawisłaby w powietrzu, w wyniku ruchu obrotowego Ziemi). Nic nie byłoby potrzebne do utrzymywania takiej liny w powietrzu, wystarczyłby sam ruch obrotowy Ziemi. Teoretycznie po takiej linie można by się wspiąć i dotrzeć w kosmos. Naszym studentom na City University w Nowym Jorku zadajemy czasem zadanie obliczenia siły naciągu takiej liny. Łatwo można wykazać, że jej naciąg byłby tak duży, że zerwaniu uległby nawet stalowy kabel i dlatego właśnie zbudowanie kosmicznej windy od dawna było uważane za niemożliwe.

Pierwszym uczonym, który na poważnie zajął się badaniem idei kosmicznej windy, był rosyjski wizjoner i uczyony Konstantin Ciolkowski. W 1895 roku, zainspirowany wieżą Eiffla, wyobraził sobie wieżę sięgającą w kosmos, łączącą Ziemię z podniebnym zamkiem w przestrzeni kosmicznej. Budowałoby się ją z dołu do góry, zaczynając na Ziemi, a inżynierowie powoli wydłużaliby tę windę kosmiczną do nieba.

W 1957 roku rosyjski uczyony Jurij Arcutanow zaproponował nowe rozwiązanie polegające na

tym, by windę kosmiczną budować w odwrotny sposób, z góry w dół, zaczynając w przestrzeni kosmicznej. Wyobraził sobie satelitę na geostacjonarnej orbicie znajdującej się 36 tysięcy kilometrów nad powierzchnią Ziemi, na której nie poruszałby się on względem Ziemi. Z takiego satelity można by rozwinąć w kierunku Ziemi kabel, który następnie zostałby przymocowany do jej powierzchni. Jednak taka lina trzymająca satelitę na uwięzi musiałaby wytrzymać napięcie rzędu od 60 do 100 gigapaskali (GPa). Stal pęka przy 2 gigapaskalach, co oznacza, że pomysł ten jest poza naszym zasięgiem.

Idea windy kosmicznej została spopularyzowana dzięki publikacji w 1979 roku powieści Arthura C. Clarke'a *Fontanny Raju*, oraz wydanej w 1982 roku powieści Roberta Heinleina *Piętaszek*. Jednak w obliczu braku dalszych postępów, pomysł powoli odchodził w zapomnienie.

Sytuacja uległa istotnej zmianie, gdy chemicy stworzyli nanorurki węglowe. Dzięki opublikowanej w 1991 roku pracy Sumio Iijimy z Nippon Electric nagle odrodziło się zainteresowanie tą ideą (choć informacje o możliwości skonstruowania węglowych nanorurek pojawiały się już w latach pięćdziesiątych, to fakt ten przeszedł wówczas bez echa). Co ważne, nanorurki są znacznie mocniejsze od kabli stalowych, a przy tym również dużo lżejsze. W rzeczywistości są one nawet bardziej wytrzymałe niż jest to wymagane w konstrukcji windy kosmicznej. Uczeni uważają, że włókno nanorurki węglowej potrafi wytrzymać ciśnienie 120 gigapaskali, więc zapewnia odpowiedni margines bezpieczeństwa. Dzięki temu odkryciu na nowo odżyły próby stworzenia kosmicznej windy.

W 1999 roku w ramach prowadzonych w NASA badań zupełnie poważnie rozważano ideę windy kosmicznej, którą wyobrażono sobie pod postacią wstęgi o szerokości około 1 metra i długości 47 tysięcy kilometrów. Umożliwiłaby ona przetransportowanie na ziemską orbitę ładunku ważącego około 15 ton. Taka winda kosmiczna mogłaby z dnia na dzień wpłynąć na rachunek ekonomiczny podróży kosmicznych. Można by obniżyć koszty nawet 10 tysięcy razy, co byłoby zadziwiającą, rewolucyjną zmianą.

Obecnie wyniesienie na orbitę ziemską pół kilograma materiału kosztuje co najmniej 10 tysięcy dolarów (co w przybliżeniu odpowiada cenie takiej samej ilości złota). Na przykład każda misja kosmicznego wahadłowca może kosztować do 700 milionów dolarów. Kosmiczna winda mogłaby zmniejszyć te koszty nawet do jednego dolara za pół kilograma. Tak radykalne obniżenie kosztów programów kosmicznych mogłoby w sposób rewolucyjny zmienić nasz stosunek do podróży kosmicznych. Za zwykłym naciśnięciem guzika windy można by w zasadzie unieść się w jej wagoniku w przestrzeń kosmiczną za cenę normalnego biletu lotniczego.

Zanim jednak zbudujemy kosmiczną windę, którą uniesiemy się do nieba, będziemy musieli rozwiązać kilka praktycznych problemów. Obecnie czyste włókna nanorurek węglowych wytwarzane w laboratorium nie przekraczają długości 15 milimetrów. Do wybudowania kosmicznej windy konieczne będzie stworzenie kabli z nanorurek węglowych o długości tysięcy kilometrów. Choć z naukowego punktu widzenia to tylko problem techniczny, jest to uporczywa i trudna do pokonania przeszkoda, z którą musimy sobie poradzić, jeżeli chcemy skonstruować taką windę.

Jednak wielu uczonych wierzy, że w ciągu najbliższych kilku dziesięcioleci uda nam się opanować technikę wytwarzania długich kabli z nanorurek węglowych.

Poza tym mikroskopijne zanieczyszczenia w nanorurkach węglowych mogą dodatkowo utrudniać wykonanie tak długiego kabla. Nicola Pugno z politechniki w Turynie szacuje, że jeżeli w nanorurce węglowej tylko jeden atom będzie nieodpowiednio ułożony, jej wytrzymałość może spaść o 30 procent. W sumie, wady w skali atomowej mogą zmniejszyć wytrzymałość kabla z nanorurek nawet o 70 procent, co oznacza, że spadnie ona poniżej minimalnej wytrzymałości potrzebnej do skonstruowania kosmicznej windy.

Aby rozbudzić zainteresowanie przedsiębiorców pomysłem budowy kosmicznej windy, NASA ustanowiła dwie oddzielne nagrody. (Nagrody te są wzorowane na wynoszącej 10 milionów nagrodzie X Ansari, dzięki której udało się wzbudzić zainteresowanie przedsiębiorczych wynalazców stworzeniem komercyjnych rakiet mogących zabrać pasażerów na sam skraj przestrzeni kosmicznej. Nagrodę X zdobył w 2004 roku samolot kosmiczny Spaceship One). Ustanowione przez NASA nagrody noszą nazwy Beam Power Challenge i Tether Challenge. Aby wygrać Beam Power Challenge, współzawodniczące drużyny muszą wysłać w górę po linie (zwisającej z dźwigu) urządzenie mechaniczne ważące przynajmniej 25 kilogramów. Urządzenie to trzeba wysłać na wysokość 50 metrów z prędkością 1 metra na sekundę. Może wydawać się to proste, ale haczyk tkwi w tym, że urządzenie to nie może korzystać z żadnego paliwa, akumulatorów czy kabla dostarczającego energię elektryczną. Zamiast tego, to zrobotyzowane urządzenie musi być zasilane za pomocą ogniw lub zwierciadeł słonecznych, laserów lub mikrofal - czyli ze źródeł energii, które są bardziej dostosowane do wykorzystania w przestrzeni kosmicznej.

Natomiast w ramach współzawodnictwa ubiegający się o nagrodę Tether Challenge muszą przedstawić linkę holowniczą o długości dwóch metrów, która nie może ważyć więcej niż 2 gramy i musi wytrzymać o 50 procent większe obciążenie niż najlepsza linka z poprzedniego roku. Wyzwanie to ma zachęcać do badań nad lekkimi materiałami, które byłyby jednocześnie na tyle silne, aby można je było rozwinąć na odległość 100 000 kilometrów w przestrzeń kosmiczną. Do zdobycia są nagrody o wysokości 150, 40 oraz 10 tysięcy dolarów. (By uświadomić sobie trudności, jakie trzeba pokonać, aby sprostać tym wyzwaniom, wystarczy zauważyć, że w 2005 roku, pierwszym roku współzawodnictwa, nikomu nie udało się zdobyć żadnej nagrody).

Chociaż poprawnie działająca winda kosmiczna mogłaby zrewolucjonizować program badań kosmicznych, z takimi urządzeniami wiąże się również specyficzne dla nich ryzyko. Na przykład trajektoria satelitów orbitujących nisko nad Ziemią nieustannie się zmienia (jest to spowodowane ruchem obrotowym znajdującej się pod nimi Ziemi). Oznacza to, że takie satelity w końcu zderzą się z windą kosmiczną, uderzając w nią z prędkością 29 000 kilometrów na godzinę, co spowodowałoby zerwanie przewodu windy. By zapobiec takiej katastrofie, w przyszłości przy projektowaniu satelitów trzeba będzie uwzględniać niewielkie silniki raketowe, umożliwiające wykonanie manewru ominięcia windy kosmicznej, albo też w takie silniki będzie musiał być wyposażony przewód windy kosmicznej, by można było wykonywać uniki, gdy w pobliżu będzie

przelatywał satelita.

Problemem będą również zderzenia z mikrometeoroidami, bo winda kosmiczna będzie się znajdowała wysoko nad ziemską atmosferą, a to właśnie ona chroni nas zwykle przed meteorami. Ponieważ zderzenia z mikrometeoroidami są nieprzewidywalne, konstrukcja kosmicznej windy będzie musiała uwzględniać dodatkowe osłony, a niewykluczone, że na wypadek awarii trzeba będzie również zduplikować niektóre układy. Problemy mogłyby się pojawić także w wyniku niesprzyjających warunków pogodowych na Ziemi, takich jak huragany, fale pływowe i burze.

Efekt procy

Kolejnym nowatorskim sposobem rozpędzania obiektów do prędkości bliskiej prędkości światła jest wykorzystanie efektu procy. Wysyłając sondy kosmiczne w kierunku planet zewnętrznych, NASA czasami okręca tor ich ruchu wokół pobliskich planet, dzięki czemu zwiększają one swoją prędkość na skutek działania efektu procy. W ten sposób NASA oszczędza na cennym paliwie raketowym. Taką właśnie metodą sonda Yoyager zdołała dotrzeć do Neptuna, który leży blisko granic Układu Słonecznego.

Fizyk z Princeton Freeman Dyson wysunął ideę, że w odległej przyszłości moglibyśmy znaleźć dwie gwiazdy neutronowe obracające się wokół siebie z dużą prędkością. Zbliżając się niezwykle blisko do jednej z tych gwiazd, statek kosmiczny mógłby zakręcić się wokół niej i zostać wyrzucony w przestrzeń kosmiczną z prędkością sięgającą jednej trzeciej prędkości światła. W ten sposób wykorzystalibyśmy grawitację do uzyskania dodatkowego zastrzyku energii umożliwiającego zbliżenie się do prędkości światła. Z teoretycznych obliczeń wynika, że takie rozwiązanie ma szansę zadziałać.

Inni proponowali, aby w celu przyspieszenia do prędkości bliskich prędkości światła przelatywać bardzo blisko Słońca. Metodę taką wykorzystano w filmie *Star Trek IV: Powrót do domu*, gdy załoga "Enterprise" po uprowadzeniu klingońskiego okrętu przelatuje blisko Słońca, aby pokonać barierę światła i cofnąć się w czasie. W filmie *When Worlds Collide* (Gdy zderzają się światy) w obliczu grożącego Ziemi zderzenia z asteroidą uczeni uciekają z jej powierzchni, wykorzystując specjalnie zbudowaną w tym celu gigantyczną kolejkę górską, przypominającą atrakcję wesołego miasteczka. Po torach tej kolejki zjeżdża statek kosmiczny, nabiera olbrzymiej prędkości, na koniec zakręca wokół podstawy kolejki i wylatuje w kosmos.

W rzeczywistości jednak żaden z tych sposobów wykorzystania grawitacji do przyspieszenia lotu w kosmosie nie zadziała. (Zgodnie z zasadą zachowania energii, gdy wagonik kolejki górskiej zjeżdża w dół po torach, a potem siłą rozpędu wjeżdża z powrotem na tę samą wysokość, to po dotarciu na szczyt ma *taką samą* szybkość, jak w chwili startu, nie ma więc mowy o żadnym zwiększeniu energii. Podobnie po okrążeniu stacjonarnego Słońca, statek kosmiczny będzie miał dokładnie taką samą prędkość, jak przed tym manewrem). Powodem, dla którego pomysł Dysona z wykorzystaniem dwóch gwiazd neutronowych może zadziałać, jest fakt, że gwiazdy te bardzo szybko obracają się wokół siebie. Statek kosmiczny, wykorzystując efekt procy, uzyskuje dodatkową energię z ruchu planety lub gwiazdy. Jeżeli są one stacjonarne, nie może być mowy o

żadnym takim efekcie.

Chociaż pomysł Dysona może zadziałać, nie na wiele się przyda współczesnym uczonym, którzy nie mogą się oddalić od Ziemi. Aby przynajmniej zbliżyć się do obracających się gwiazd neutronowych, potrzebny jest statek kosmiczny.

Działem szynowym w niebo

Kolejnym sprytnym pomysłem na wystrzeliwanie obiektów w niebo z fantastycznymi prędkościami jest wykorzystanie dział szynowego, które pojawia się w opowiadaniach fantastycznonaukowych Arthura C. Clarke'a i innych autorów. Poważnie rozważa się również użycie takiego działu jako elementu tarczy raketowej programu "Gwiezdnych Wojen".

W dział szynowym do rozpędzenia pocisku do dużej prędkości nie korzysta się ani z paliwa raketowego, ani z prochu, a jedynie z siły elektromagnetycznej.

W swojej najprostszej postaci, dział szynowe składa się z dwóch równoległych przewodów pełniących rolę szyn oraz umieszczonego między nimi pocisku, tak że całość przypomina kształtem literę U. Już Michael Faraday wiedział, że gdy umieścimy w polu magnetycznym przewód, przez który płynie prąd, będzie na niego działała pewna siła. (Na tym właśnie zjawisku opiera się zasada działania wszystkich silników elektrycznych). Gdy przez przewody i pocisk przepuścimy prąd o natężeniu milionów amperów, wokół szyn wytworzy się potężne pole magnetyczne, które spowoduje rozpędzenie się pocisku po szynach do olbrzymiej prędkości.

Za pomocą dział szynowych udało się wystrzelić metalowe obiekty z olbrzymią prędkością na niezwykle krótkie odległości. Warto zauważyć, że w teorii, nawet proste dział szynowe powinno pozwalać na wystrzeliwanie metalowych pocisków z prędkością 29 000 kilometrów na godzinę, co oznacza, że wyleciałyby one na orbitę okołoziemską. W zasadzie całą flotę raketową NASA można by zastąpić działami szynowymi, które wystrzeliwałyby ładunki na orbitę Ziemi.

Dział szynowe ma wiele zalet w porównaniu z napędzanymi chemicznie raketami i działami. W przypadku strzelby, maksymalna prędkość, do jakiej może rozpędzić pocisk rozszerzający się gaz, jest ograniczona przez prędkość fali uderzeniowej. Wprawdzie Juliusz Verne w swojej klasycznej opowieści *Z Ziemi na Księżyc* wykorzystuje proch do wystrzelenia astronautów na Księżyc, można jednak wyliczyć, że maksymalna prędkość, jaką można uzyskać za pomocą prochu, stanowi jedynie ułamek prędkości potrzebnej do wysłania kogoś na Księżyc. Działa szynowe natomiast nie są ograniczone przez prędkość fali uderzeniowej.

Z działem szynowym wiążą się jednak pewne problemy. Tak szybko rozpędza obiekty, że zwykle ulegają one spłaszczeniu w wyniku zderzenia z powietrzem. Ładunki, które próbowano wystrzelić z lufy dział szynowego, poważnie się odkształcały, ponieważ gdy pocisk uderza w powietrze, efekt jest taki, jak gdyby uderzył w mur. Nawet samo rozpędzanie ładunków po szynach, gdy doznają one olbrzymiego przyspieszenia, wystarcza, by je zdeformować. Szyny trzeba regularnie wymieniać, ponieważ niszczą je wystrzeliwane pociski. Co więcej, powstające w czasie wystrzeliwania przeciążenia doprowadziłyby do zmiżdżenia wszystkich kości ciała każdego astronauty, powodując niechybną śmierć.

Pojawił się również pomysł, by zainstalować działo szynowe na Księżycu. Poza ziemską atmosferą wystrzelwane z działa pociski mogłyby bez problemów mknąć przez próżnię przestrzeni kosmicznej. Jednak nawet olbrzymie przyspieszenia powstające w samym działle szynowym mogłyby zniszczyć ładunek, który chcielibyśmy przesłać. Działła szynowe są w pewnym sensie przeciwieństwem napędzanych laserami żagli, które rozwijają prędkość łagodnie, w długim czasie. Działła szynowe mogą mieć ograniczone zastosowanie, ponieważ upakowują tak dużą ilość energii w tak niewielkiej przestrzeni.

Działła szynowe umożliwiające wystrzeliwanie obiektów do pobliskich gwiazd byłyby dosyć drogie. W jednym z pomysłów sugeruje się zbudowanie w przestrzeni kosmicznej działła szynowego, które rozciągałoby się na odległość dwóch trzecich dystansu dzielącego Ziemię od Słońca. Miałoby ono gromadzić energię słoneczną, a następnie gwałtownie ją zużywać na wystrzał działła, wysyłając dziesięciotonowy ładunek z prędkością równą jednej trzeciej prędkości światła - przy czym ładunek doświadczałby przyspieszenia dochodzącego do 5000 g. Nic więc dziwnego, że jedynie najbardziej wytrzymałe zrobotyzowane ładunki mogłyby przetrwać tak olbrzymie przyspieszenia.

Niebezpieczeństwa podróży kosmicznych

Oczywiście kosmiczne podróże to nie niedzielny piknik. Śmiałkowie, którzy wezmą udział w załogowych lotach na Marsa lub dalszych, muszą się liczyć z olbrzymimi niebezpieczeństwami. Życie na Ziemi od milionów lat rozwija się w szczególnie sprzyjających warunkach: warstwa ozonowa atmosfery chroni Ziemię przed promieniowaniem ultrafioletowym, pole magnetyczne planety chroni ją przed rozbłyskami słonecznymi i promieniami kosmicznymi, a gruba warstwa atmosfery stanowi osłonę przed meteorami, które po wejściu w nią ulegają spaleni. Umiarkowane temperatury i łagodne ciśnienie panujące na Ziemi wydają nam się czymś najzupełniej zwyczajnym. Jednak w rzeczywistości we Wszechświecie trwa nieustanne zamieszanie, któremu towarzyszą strugi śmiertelnego promieniowania i roje zabójczych meteorów, i w przestrzeni kosmicznej musimy temu stawić czoła.

Pierwszym problemem, z jakim trzeba sobie poradzić w trakcie dłuższej podróży kosmicznej, jest nieważkość. Przeprowadzone przez Rosjan długofalowe badania nad nieważkością dowiodły, że w przestrzeni kosmicznej ciało znacznie szybciej, niż można by się spodziewać, traci cenne minerały i substancje chemiczne. Nawet w przypadku przestrzegania rygorystycznego programu ćwiczeń, po roku pobytu na pokładzie stacji kosmicznej kości i mięśnie rosyjskich kosmonautów ulegały takiej atrofii, że po powrocie na Ziemię mieli problemy z tym, by raczkować jak małe dzieci. Atrofia mięśni, zniszczenie układu kostnego, zmniejszona produkcja czerwonych krwinek, obniżona reakcja układu odpornościowego i pogorszenie działania układu krążenia wydają się nieuniknionymi konsekwencjami przebywania przez dłuższy czas w stanie nieważkości w przestrzeni kosmicznej.

Misje na Marsa, które mogą trwać od kilku miesięcy do roku, będą wymagały od astronautów przekroczenia granic wytrzymałości. W przypadku długotrwałych misji do pobliskich gwiazd,

konsekwencje problemów zdrowotnych mogłyby być śmiertelne. Budowane w przyszłości statki kosmiczne będą prawdopodobnie musiały wirować, aby poprzez siłę odśrodkową wytworzyć sztuczną grawitację i umożliwić przeżycie ludzi. Taka modyfikacja znacznie podniesie koszty i złożoność tych statków kosmicznych.

Po drugie, przestrzeń kosmiczną przemierzają mikrometeoryty, poruszające się z prędkością wielu dziesiątek tysięcy kilometrów na godzinę, co może wiązać się z koniecznością wyposażenia statków kosmicznych w dodatkowe osłony. W wyniku starannego badania kadłuba kosmicznego wahadłowca znaleziono ślady kilku niewielkich, ale potencjalnie zabójczych uderzeń małych meteorytów. W przyszłości statki kosmiczne pewnie będą musiały być wyposażone w podwójnie wzmocnioną komorę dla załogi.

Poziomy promieniowania w przestrzeni kosmicznej są znacznie wyższe, niż wcześniej uważano. Na przykład w czasie trwającego jedenaście lat cyklu plam słonecznych rozbłyski słoneczne mogą wyrzucać olbrzymie ilości zabójczej plazmy, która pędzi z dużą prędkością w kierunku Ziemi. W przeszłości zjawisko to zmusiło już astronautów przebywających na stacji kosmicznej do poszukiwania specjalnej osłony przed potencjalnie śmiertelnym ostrzałem cząstek subatomowych. (Nawet w trakcie zwykłego lotu samolotem z Los Angeles do Nowego Jorku jesteśmy wystawieni na mniej więcej jeden milirem promieniowania na godzinę lotu. W czasie trwania całego lotu pochłaniamy dawkę promieniowania niemal taką samą, jak w czasie robienia zdjęcia rentgenowskiego zęba). W przestrzeni kosmicznej, gdzie nie chroni nas już ani atmosfera, ani pole magnetyczne Ziemi, naświetlenie promieniowaniem może stanowić poważny problem.

Stan obniżonej aktywności

Jedna z konstruktywnych uwag pod adresem przedstawionych dotychczas modeli rakiet zasadza się na tym, że nawet gdybyśmy mogli zbudować takie statki, dotarcie nimi do najbliższych gwiazd zajęłoby dziesięciolecia, a może i stulecia. W takich misjach musiałaby wziąć udział wielopokoleniowa załoga, której dopiero potomkowie dotarliby do celu.

Jednym z rozwiązań, zaproponowanych w takich filmach jak *Obcy i Planeta małp*, jest wprowadzenie podróżników kosmicznych w stan obniżonej aktywności procesów życiowych; to znaczy, ostrożne obniżenie temperatury ich ciał do momentu, gdy ich funkcje życiowe ulegną niemal całkowitemu zatrzymaniu. Zwierzęta przechodzące hibernację robią tak każdej zimy. Niektóre gatunki ryb i żab potrafią przetrwać zamrożone w bloku lodu i powrócić do życia, gdy temperatura wzrośnie i lód się roztopi.

Biologowie badający to dziwne zjawisko uważają, że zwierzęta te potrafią wytwarzać naturalny płyn przeciw zamarzaniu, obniżający temperaturę zamarzania wody. U ryb płyn ten składa się z określonych białek, u żab tworzy go glukoza. Dzięki zwiększeniu stężenia tych białek we krwi, ryby mogą przetrwać na Arktyce przy temperaturach około -2°C . Żaby natomiast wykształciły umiejętność utrzymywania wysokiego poziomu glukozy we krwi, dzięki czemu zapobiegają powstawaniu kryształków lodu. Nawet jeżeli ich ciała są z zewnątrz zamrożone na kamień, tkanki w środku nie zostają zamrożone, dzięki czemu organy wewnętrzne mogą w dalszym ciągu

funkcjonować, chociaż w zwolnionym tempie.

Zastosowanie takich zdolności u ssaków nie jest jednak proste. Gdy zamarza ludzka tkanka, wewnątrz komórek zaczynają się tworzyć kryształki lodu, które rosnąc przebijają i niszczą ścianę komórkową. (Słynni ludzie, którzy chcą, aby po śmierci zamrożono ich głowy i ciała w ciekłym azocie, powinni się nad tym dobrze zastanowić).

Niemniej jednak udało się ostatnio poczynić postępy w próbach wprowadzenia w ograniczony stan obniżenia aktywności życiowej ssaków, które w normalnych warunkach nie przechodzą okresu hibernacji, takich jak myszy i psy. W 2005 roku uczonym z uniwersytetu w Pittsburghu udało się przywrócić do życia psy po zabiegu, w trakcie którego z ich ciał wypompowano krew i zastąpiono ją specjalnym zimnym jak lód roztworem. Po trzech godzinach w stanie śmierci klinicznej, psy zostały ożywione, a ich serca zaczęły ponownie bić. (Chociaż większość poddanych eksperymentowi psów odzyskała pełne zdrowie, w kilku przypadkach doszło do uszkodzenia mózgu).

W tym samym roku uczonym udało się na sześć godzin obniżyć temperaturę ciała myszy do 13°C, po umieszczeniu ich w komorze wypełnionej siarkowodorem. Tempo przemiany materii tych myszy spadło dziesięciokrotnie. W 2006 roku lekarze z Massachusetts General Hospital w Bostonie, wykorzystując siarkowodór, wprowadzili organizmy świń i myszy w stan obniżonej aktywności życiowej.

W przyszłości takie zabiegi mogą ratować życie ludziom ciężko rannym w wypadkach lub osobom przechodzącym zawał serca, czyli w sytuacjach, gdy liczy się każda sekunda. Wprowadzenie w stan obniżonej aktywności życiowej pozwoli lekarzom "zatrzymać czas" do momentu, gdy będzie można przeprowadzić leczenie pacjentów. Muszą jednak jeszcze upłynąć całe dziesięciolecia, a może i więcej, zanim takie techniki będzie można zastosować w przypadku ludzi lecących w kosmos - musieliby oni prawdopodobnie przebywać w tym stanie nawet przez stulecia.

Nanostatki

Istnieje kilka innych sposobów, dzięki którym może nam się udać dotrzeć do gwiazd za pomocą bardziej zaawansowanych, hipotetycznych na razie technik z pogranicza fantastyki naukowej. Jedną z obiecujących propozycji jest wykorzystanie bezzałogowych sond opartych na nanotechnologii. W naszych dotychczasowych rozważaniach zakładaliśmy, że statki kosmiczne muszą być olbrzymimi pojazdami, zużywającymi wielkie ilości energii, umożliwiającymi zabranie w drogę do gwiazd dużej ludzkiej załogi, podobnymi do okrętu "Enterprise" ze *Star Trek*.

Jednak bardziej prawdopodobne może być wysłanie w kosmos w pierwszej kolejności miniaturowych sond bezzałogowych poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Jak wspomnieliśmy, w przyszłości dzięki nanotechnologii powinniśmy się nauczyć konstruować maleńkie statki kosmiczne, oparte na urządzeniach o rozmiarach atomów i cząsteczek. Wykorzystując zwykłe napięcie elektryczne dostępne w każdym laboratorium, potrafimy rozpędzać jony do prędkości bliskich prędkości światła dzięki temu, że są tak lekkie. Można by je wysłać w

przestrzeń kosmiczną z taką prędkością bez konieczności użycia olbrzymich napędów raketowych, jedynie za pomocą silnych pól magnetycznych. Oznacza to, że gdyby poddanego jonizacji nanobota umieścić w polu elektrycznym, bez problemu można by go rozpędzić do prędkości bliskiej prędkości światła. Następnie mógłby on już bez trudu kontynuować swoją podróż do gwiazd, ponieważ w przestrzeni kosmicznej nie ma tarcia. W ten sposób za jednym zamachem rozwiążemy wiele z problemów nękających wielkie statki kosmiczne. Bezzałogowe inteligentne statki kosmiczne będące nanobotami mogłyby dotrzeć do pobliskich układów planetarnych za niewielki ułamek kosztów związanych z budową i wystrzeleniem dużego statku przewożącego na swoim pokładzie załogę.

Takie nanostatki można by wykorzystać do podróży do najbliższych gwiazd lub, jak zasugerował Gerald Nordley, inżynier technologii kosmicznych amerykańskich sił powietrznych, do popychania żagla słonecznego, tak by mógł się poruszać w przestrzeni kosmicznej. Nordley twierdzi, że "dysponując rojem statków kosmicznych o rozmiarach główki od szpilki, które lecą w określonej formacji i potrafią się między sobą komunikować, można by w zasadzie popychać je za pomocą zwykłej latarki"⁷⁰.

Jednak również przed nanostatkami stoją wyzwania, którym trzeba sprostać. W przestrzeni kosmicznej tor ich lotu może ulec odchyleniu, jeżeli znajdą się w pobliżu pól elektrycznych i magnetycznych. Aby przeciwdziałać tym siłom, konieczne będzie przyspieszenie nanostatków na Ziemi w bardzo silnym polu elektrycznym, tak by trudniej było zakrzywić tor ich ruchu. Po drugie, niewykluczone, że będziemy musieli wysłać rój milionów takich statków kosmicznych w postaci nanobotów, aby mieć pewność, że chociaż garstka z nich dotrze do miejsca przeznaczenia. Wysyłanie roju statków kosmicznych w celu zbadania najbliższych gwiazd może się wydawać ekstrawagancją, ale statki takie będą tanie i będą mogły być produkowane na masową skalę, całymi miliardami, wystarczy więc, że jedynie niewielki ich ułamek dotrze do celu.

Jak takie nanostatki mogłyby wyglądać? Dan Goldin, były szef NASA, wyobraża sobie flotę statków kosmicznych o rozmiarach puszkii coca-coli. Inni mówią o statkach wielkości igły. Pentagon rozważał natomiast możliwość skonstruowania inteligentnego pyłu, cząsteczek wielkości pyłku kurzu wyposażonych w mikroskopijne czujniki, które można by rozpylić nad polem walki i w czasie rzeczywistym przesyłać za ich pomocą do dowództwa informację o sytuacji. Można sobie wyobrazić, że w przyszłości taki inteligentny pył mógłby zostać wysłany do pobliskich gwiazd.

Obwody nanobotów o rozmiarze pyłku kurzu byłyby wytwarzane przy wykorzystaniu tej samej techniki trawienia układów scalonych, jaką stosuje się w przemyśle półprzewodnikowym, umożliwiającej tworzenie komponentów o mikroskopijnych rozmiarach sięgających 30 nanometrów, czyli około 150 atomów. Takie nanoboty można by wystrzeliwać z Księżyca z działaszynowego lub nawet za pomocą akceleratorów cząstek, które zwykle rozpędzają cząstki subatomowe do prędkości bliskich prędkości światła. Urządzenia te mogłyby być tak tanie do

⁷⁰ P. Gilster, *Centauri Dreams: Imagining and Planning Interstellar Exploration*, Springer Science, New York 2004, s. 242.

wytworzenia, że można by wysłać w przestrzeń kosmiczną całe ich miliony.

Po dotarciu do pobliskiego układu planetarnego nanoboty mogłyby wylądować na jakimś niegościnnym księżycu. Dzięki słabej grawitacji księżycy, nanoboty bez trudu będą mogły lądować na nim i z niego startować. A dzięki temu, że taki księżyc zapewni stabilne środowisko, będzie to idealne miejsce na założenie bazy operacyjnej. Wykorzystując występujące na księżycu minerały, nanoboty mogłyby tam wybudować nanofabrykę i uruchomić potężną stację radiową, za pośrednictwem której mogłyby przesyłać informacje z powrotem na Ziemię. Nanofabryka mogłaby też powstać w celu zbudowania milionów kopii nanobotów, które zbadałyby następnie układ planetarny i wyruszyły do kolejnych bliskich gwiazd, powtarzając cały proces od początku. Ponieważ statki te będą robotami, po przekazaniu drogą radiową zebranych informacji, nie będą musiały wyruszać w drogę powrotną do domu.

Opisane przeze mnie nanoboty są czasami nazywane sondami von Neu-manna, na cześć słynnego matematyka Johna von Neumanna, który opracował podstawy matematyczne samopowielających się maszyn Turinga. W zasadzie takie samopowielające się okręty kosmiczne będące nanobotami mogłyby zbadać całą Galaktykę, a nie tylko najbliższe gwiazdy. W końcu mogłaby powstać kula bilionów takich robotów, rozmnażających się wykładniczo w miarę wzrostu jej promienia, rozszerzająca się z prędkością bliską prędkości światła. Nanoboty tworzące tę rozszerzającą się kulę mogłyby skolonizować całą Galaktykę w ciągu kilkuset tysięcy lat.

Brian Gilchrist, inżynier elektryk z Uniwersytetu Michigan, należy do osób, które bardzo poważnie traktują pomysł budowy nanostatków. Niedawno uzyskał z należącego do NASA Institute for Advanced Concepts grant w wysokości pół miliona dolarów na zbadanie możliwości budowy nanostatków z silnikami nie większymi od bakterii. Wyobraża sobie, że dzięki wykorzystaniu tej samej technologii trawienia układów scalonych, jaką stosuje się w przemyśle półprzewodnikowym, można będzie zbudować flotę kilku milionów nanostatków, które będą same się napędzały poprzez wyrzucanie niewielkich nanocząsteczek o średnicy zaledwie kilkudziesięciu nanometrów. Nanocząsteczki te będą uzyskiwały energię, przechodząc przez pole elektryczne, podobnie jak dzieje się w silniku jonowym. Ponieważ każda nanocząsteczka waży tysiące razy więcej niż jon, takie silniki będą miały relatywnie znacznie większą siłę ciągu od typowych silników jonowych. Dzięki temu silniki nanostatków będą miały takie same zalety, jak silniki jonowe, a przy tym będą dysponowały większym ciągiem. Gilchrist już rozpoczął wytrawianie niektórych części tych nanostatków. Jak dotąd udało mu się upakować 10 tysięcy pojedynczych silników na jednej płytce krzemu o średnicy 1 centymetra. Początkowo miał zamiar przetestować skuteczność nanostatków wysyłając ich flotę w obszar Układu Słonecznego. Ostatecznie jednak te nanostatki mogą być częścią pierwszej floty, która dotrze do gwiazd.

Pomysł Gilchrista jest jedną z kilku futurystycznych wizji rozważanych przez NASA. Po kilkudziesięciu latach bezczynności, NASA niedawno z uwagą zaczęła się przyglądać niektórym poważnym koncepcjom podróży międzygwiazdnych - pomysłom obejmującym różne idee, od wiarygodnych rozwiązań po czystą fantazję. Od początku lat dziewięćdziesiątych NASA organizuje

coroczne Warsztaty Zaawansowanych Badań nad Napędem Kosmicznym (Advanced Space Propulsion Research Workshop), w czasie których takie rozwiązania techniczne są niezwykle uważnie analizowane przez zespoły poważnych uczonych i fizyków. Jeszcze bardziej ambitnym przedsięwzięciem jest program Przełom w Fizyce Napędów (Breakthrough Propulsion Physics), w ramach którego badano tajemniczy świat fizyki kwantowej w kontekście podróży międzygwiazdnych. Chociaż niewypracowano jeszcze jednolitego stanowiska, wiele wysiłku włożono w najbardziej obiecujące rozwiązania: napędzane laserem żagle i różne odmiany rakiet termojądrowych.

Biorąc pod uwagę powolny, ale stały postęp w konstrukcji statków kosmicznych, nie będzie przesadą założenie, że pierwsza bezzałogowa sonda jakiegoś rodzaju może zostać wysłana do najbliższych gwiazd być może jeszcze w tym stuleciu lub na początku przyszłego, co oznacza, że jest to niemożliwość typu I.

Niewykluczone jednak, że najpotężniejsze konstrukcje statków kosmicznych będą wymagały użycia antymaterii. Chociaż brzmi to jak fantastyka naukowa, antymaterię już wytworzono na Ziemi, a w przyszłości być może uda się z jej wykorzystaniem skonstruować najbardziej obiecujący, sprawdzający się w praktyce załogowy statek kosmiczny.

Rozdział 10

ANTYMATERIA

I ANTYWSZECHŚWIATY

Najbardziej ekscytującym zwrotem oznajmującym nowe odkrycia, z jakim można się zetknąć w nauce, jest nie "Eureka!" (Znalazłem!), ale "To zabawne..."

- Isaac Asimov

Jeżeli ktoś nie wierzy w to, co my, mówimy, że to jakiś pomylenie i to załatwia sprawę. To znaczy, w dzisiejszych czasach załatwia sprawę, bo teraz nie możemy go już spalić na stosie.

- Mark Twain

Łatwo rozpoznać pioniera po strzałach sterczących z jego pleców.

- Beverly Rubik

W książce Dana Browna *Anioły i demony*, bestsellerze poprzedzającym *Kod Leonarda da Vinci*, niewielka grupa ekstremistów, Illuminatów, uknuła spisek, którego celem jest wysadzenie w powietrze Watykanu przy użyciu bomby zawierającej antymaterię ukradzioną z CERN-u (Centre Europeen pour la Recherche Nucleaire, Europejski Ośrodek Badań Jądrowych) w pobliżu Genewy. Spiskowcy wiedzą, że w momencie zetknięcia się materii z antymaterią dochodzi do gigantycznego wybuchu, wielokrotnie silniejszego od eksplozji bomby wodorowej. Chociaż bomba na antymaterię jest czystą fikcją, sama antymateria jak najbardziej istnieje w rzeczywistości.

Bomba atomowa, przy całej swojej przerażającej mocy, ma sprawność wynoszącą zaledwie 1 procent. Jedynie niewielki ułamek uranu zostaje zamieniony w energię. Gdyby jednak można było skonstruować bombę na antymaterię, przekształcałaby ona w energię 100 procent swojej masy, co oznacza, że byłaby zdecydowanie bardziej wydajna od bomby jądrowej. (Dokładniej rzecz biorąc, około 50 procent masy w bombie na antymaterię przekształciłoby się w użyteczną energię wybuchu; pozostała jej część rozproszyłaby się pod postacią niewykrywalnych cząstek zwanych neutrinami).

Antymateria od dawna jest tematem niezwykłych rozważań. Chociaż bomba na antymaterię nie istnieje, fizykom za pomocą potężnych rozbijaczy atomów udało się w celach badawczych wytworzyć znikome ilości antymaterii.

Antyatomy i antychemia

Na początku XX wieku fizycy uświadomili sobie, że atom składa się z cząstek elementarnych obdarzonych ładunkiem, że w atomie elektrony (o ujemnym ładunku) krążą wokół małego jądra (o ładunku dodatnim). Jądro z kolei składa się z protonów (przenoszących ładunek dodatni) i neutronów (które są elektrycznie obojętne).

Zatem było dla nich szokiem, gdy w latach trzydziestych zorientowali się, że każda cząstka ma swojego bliźniaka, antycząstkę, taką samą jak cząstka, ale o przeciwnym ładunku. Pierwszą odkrytą antycząstką był antyelektron (zwany pozytonem), który ma dodatni ładunek. Pozyton jest pod każdym względem taki sam, jak elektron, tyle tylko, że jest obdarzony przeciwnym ładunkiem.

Po raz pierwszy odkryto jego istnienie na zrobionym w komorze mgłowej zdjęciu promieni kosmicznych. (W komorze mgłowej dosyć łatwo można zauważyć ślady ruchu pozytonu. W silnym polu magnetycznym torę ruchu pozytonów zakrzywiają się w przeciwnym kierunku niż zwykłych elektronów. Ja sam jeszcze w szkole średniej wykonałem zdjęcia takich śladów antymaterii).

W 1955 roku w akceleratorze cząstek Bevatron na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley wytworzono pierwszy antyproton. Jak można oczekiwać, jest on taki sam jak proton, tyle tylko, że ma ujemny ładunek. Oznacza to, że w zasadzie można by stworzyć antyatomy (składające się z pozytonów krążących wokół antyprotonów). Teoretycznie mogą istnieć antypierwiastki, antychemia, antyludzie, antyplanety, a nawet antywszechświaty.

Obecnie za pomocą gigantycznych akceleratorów cząstek w CERN-ie i w Fermilabie pod Chicago udało się uzyskać znikome ilości antywodoru. (Dokonuje się tego poprzez skierowanie wytworzonej w akceleratorze wiązki wysokoenergetycznych protonów na nieruchomy cel - w wyniku takiego zderzenia powstaje deszcz subatomowych szczątków. Potężne magnesy wyłapują spośród nich antyprotony, które spowalnia się do bardzo małych prędkości i wystawia na działanie antyelektronów, które w sposób naturalny są emitowane przez sód-22. Gdy antyelektrony zaczną krążyć wokół antyprotonów, utworzą antywodór, ponieważ wodór składa się z jednego protonu i jednego elektronu). W doskonałej próżni takie antyatomy mogłyby istnieć wiecznie. Jednak z powodu zanieczyszczeń i zderzeń z otoczeniem antyatomy w końcu wpadają na zwykłe atomy i ulegają anihilacji, uwalniając przy tym energię.

W 1995 roku CERN przeszło do historii, gdy ogłoszono, że udało się tam wytworzyć dziewięć atomów antywodoru. Wkrótce osiągnięcie to powtórzono w Fermilabie, gdzie wytworzono sto takich atomów. W zasadzie nic nie stoi na przeszkodzie, abyśmy mogli wytwarzać również cięższe antypierwiastki. Nic, z wyjątkiem zaporowych kosztów. Wytworzenie nawet kilkudziesięciu gramów antyatomów doprowadziłoby do bankructwa każde państwo. Aktualnie ilość wytwarzanej antymaterii waha się od jednej miliardowej do jednej dziesięciomiliardowej grama na rok. Ilość ta może trzykrotnie wzrosnąć do roku 2020. Rachunek ekonomiczny związany z wytwarzaniem antymaterii wygląda bardzo kiepsko. W 2004 roku wytworzenie kilku bilionowych grama antymaterii kosztowało CERN 20 milionów dolarów. W takim tempie wytworzenie jednego grama antymaterii wymagałoby bezustannej pracy fabryki antymaterii przez 100 miliardów lat i kosztowałoby 100 biliardów dolarów! Oznacza to, że antymateria jest najcenniejszą substancją na świecie.

“Gdybyśmy mogli zgromadzić całą antymaterię, jaką kiedykolwiek wytworzyliśmy w CERN-ie i doprowadzić do jej anihilacji z materią - czytamy w oświadczeniu CERN - wytworzylibyśmy tyle energii, że wystarczyłaby ona do zapalenia na kilka minut jednej żarówki elektrycznej”.

Posługiwanie się antymaterią stwarza nadzwyczajne problemy, ponieważ jakakolwiek jej styczność ze zwykłą materią kończy się wybuchem. Umieszczenie antymaterii w zwykłym pojemniku byłoby samobójstwem. W chwili, gdy antymateria dotknęłaby jego ścianek, natychmiast by wybuchła. W jaki sposób należy więc obchodzić się z antymaterią, skoro jest tak wrażliwa?

Jednym ze sposobów byłoby zjonizowanie antymaterii i przekształcenie jej w gaz jonów, a następnie bezpieczne zamknięcie w magnetycznej butelce. Pole magnetyczne zapobiegałoby zetknięciu się antymaterii ze ściankami komory.

Aby skonstruować silnik na antymaterię, konieczny byłby stały dopływ antymaterii do komory reakcyjnej, w której następowałoby ostrożne zetknięcie ze zwyczajną materią, prowadzące do kontrolowanego wybuchu, podobnego do wybuchów wytwarzanych w rakietach napędzanych chemicznie. Wytworzone w tym wybuchu jony byłyby następnie wyrzucane z tyłu rakiety, tworząc siłę napędową. Z uwagi na sprawność silnika na antymaterię w przekształcaniu materii w energię, teoretycznie jest to jeden z najatrakcyjniejszych typów silników dla statków kosmicznych przyszłości. W serialu *Star Trek* źródłem energii na pokładzie okrętu "Enterprise" jest właśnie antymateria; jego silniki zasilane są dzięki kontrolowanym zderzeniom materii z antymateriaią.

Rakieta na antymaterię

Jednym z głównych zwolenników rakiet na antymaterię jest fizyk Gerald Smith z Uniwersytetu Stanowego Pensylwanii. Wierzy on, że już niedługo jedynie 4 miligramy pozytonów wystarczą, by rakieta na antymaterię mogła dolecieć na Marsa zaledwie w kilka tygodni. Zwraca uwagę na fakt, że energia zawarta w antymaterii jest około miliard razy większa od energii zwykłego paliwa raketowego.

Pierwszym krokiem do wytworzenia tego paliwa byłoby wytworzenie w akceleratorze wiązki antyprotonów, a następnie umieszczenie jej w pułapce Penninga, którą Smith właśnie konstruuje. Ukończona pułapka Penninga będzie ważyła 100 kilogramów (większość jej masy będą stanowiły ciekły azot i hel) i umożliwi przechowanie w polu magnetycznym około biliona antyprotonów. (W bardzo niskiej temperaturze długość fali antyprotonów jest kilkakrotnie większa od długości fali atomów w ścianach pojemnika, więc antyprotony będą się w większości przypadków odbijały od ścian i nie będzie dochodziło do anihilacji). Smith uważa, że jego pułapka powinna pozwolić na przechowanie antyprotonów przez około pięciu dni (zanim w końcu ulegną anihilacji po zetknięciu ze zwyczajnymi atomami) w ilości około jednej miliardowej grama. Ostatecznym celem, jaki stawia sobie Smith, jest zbudowanie pułapki Penninga pozwalającej na przechowywanie nawet mi-krograma antyprotonów.

Chociaż antymateria jest najcenniejszą substancją na Ziemi, jej koszt zdecydowanie spada każdego roku (przy obecnym poziomie cen, gram kosztowałby około 62,5 biliona dolarów). W Fermilabie buduje się nowy, dodatkowy akcelerator cząstek, dzięki któremu ilość wytwarzanej antymaterii powinna wzrosnąć dziesięciokrotnie, z 1,5 do 15 nanogramów rocznie, co również powinno obniżyć jej koszty. Harold Gerrish z NASA wierzy jednak, że dalsze usprawnienia pozwolą obniżyć koszty zdecydowanie, nawet do pięciu tysięcy dolarów za mikrogram. Doktor Steven Howe z Synergistics Technologies w Los Alamos stwierdza: "Naszym celem jest doprowadzenie do tego, by antymateria opuściła oderwany od codzienności świat fantastyki

naukowej i wkroczyła w obszar praktycznych zastosowań w transporcie i medycynie"⁷¹.

Jak dotąd akceleratory cząstek umożliwiające wytworzenie antyprotonów nie są projektowane z zamiarem wykorzystania ich specjalnie w tym celu, są zatem mało wydajne. Takie akceleratory powstają głównie jako urządzenia badawcze, a nie fabryki antimaterii. Dlatego Gerald Smith wyobraża sobie budowę nowego akceleratora zaprojektowanego specjalnie z myślą o wytwarzaniu dużych ilości antimaterii, który pozwoli na obniżenie kosztów.

Jeżeli dzięki technicznym usprawnieniom i masowej produkcji uda się jeszcze bardziej obniżyć koszt wytwarzania antimaterii, zdaniem Smitha

rakiety na antimaterię staną się najważniejszym napędem stosowanym w podróżach międzyplanetarnych, a może i międzygwiazdnych. Dopóki to jednak nie nastąpi, rakiety na antimaterię pozostaną jedynie w sferze teoretycznych projektów.

Antymateria występująca naturalnie

Skoro antimaterię tak trudno wytworzyć na Ziemi, może prościej byłoby poszukać jej w przestrzeni kosmicznej? Niestety, poszukiwania antimaterii we Wszechświecie przyniosły bardzo mizerne rezultaty, co jest dla fizyków sporym zaskoczeniem. Trudno wytłumaczyć fakt, że nasz Wszechświat zbudowany jest głównie z materii, a nie antimaterii. Można by naiwnie zakładać, że na początku świata istniały równe, symetryczne ilości materii i antimaterii. Brak antimaterii stanowi więc zagadkę.

Najbardziej prawdopodobne rozwiązanie zaproponował po raz pierwszy Andriej Sacharow, ten sam, który w latach pięćdziesiątych zaprojektował dla Związku Radzieckiego bombę wodorową. Sacharow założył, że na początku Wszechświata istniała niewielka asymetria w ilości materii i antimaterii powstałej w Wielkim Wybuchu. To niewielkie złamanie symetrii nazywane jest czasami złamaniem symetrii *CP*. Zjawisko to jest obecnie bardzo intensywnie badane. Sacharow wysunął hipotezę, że wszystkie istniejące teraz we Wszechświecie atomy są pozostałością po niemal doskonałej anihilacji materii z antimaterią; Wielki Wybuch wywołał w kosmosie wzajemne unicestwienie się obydwu substancji. Niewielka ilość pozostałej materii utworzyła cały widoczny obecnie Wszechświat. Wszystkie atomy naszego ciała są resztkami pozostałymi po tej gigantycznej kolizji materii z antimaterią.

Teoria ta dopuszcza możliwość, że niewielkie ilości antimaterii występują w sposób naturalny. Jeżeli to prawda, odkrycie takiego źródła zdecydowanie obniżyłoby koszty wytwarzania antimaterii na potrzeby wykorzystania jej w silnikach. W zasadzie pokłady występującej w sposób naturalny antimaterii powinny być łatwe do wykrycia. Gdy elektron spotyka się z antyelektronem, ulegają one anihilacji, w wyniku której powstają promienie gamma o energii 1,02 miliona elektronowoltów lub większej. Zatem poszukując we Wszechświecie promieni gamma o takiej energii, można by wykryć "odcisk palca" antimaterii występującej w sposób naturalny.

Doktor William Purcell z Northwestern University odkrył nawet "fontanny" antimaterii w

⁷¹ NASA, <http://science.nasa.gov>, 12 kwietnia 1999.

galaktyce Drogi Mlecznej, niedaleko jej środka. Wszystko wskazuje na to, że w tym miejscu istnieje strumień antymaterii, który w wyniku zderzeń ze zwyczajnym gazem wodorowym wytwarza to charakterystyczne promieniowanie gamma o energii 1,02 miliona elektronowoltów. Jeżeli ta struga antymaterii powstała w sposób naturalny, może to oznaczać, że we Wszechświecie mogą występować również inne obszary zawierające antymaterię, która nie została zniszczona w Wielkim Wybuchu.

W celu przeprowadzenia bardziej systematycznych poszukiwań antymaterii występującej naturalnie, w 2006 roku umieszczono na orbicie satelitę PAMELA (Payload for Antimatter-Matter Exploration and Light-Nuclei Astrophysics - ładunek [wyrzucony] w celu badania antymaterii i materii, oraz astrofizyki lekkich jąder). Jest to wspólne przedsięwzięcie Rosji, Włoch, Niemiec i Szwecji, w celu odnalezienia skupisk antymaterii. Poprzednie misje, w których poszukiwano antymaterii, prowadzone były z wykorzystaniem osiagających duże wysokości balonów lub kosmicznego wahadłowca, dlatego okres zbierania danych nie przekraczał w tych przypadkach tygodnia. PAMELA natomiast pozostanie na orbicie przynajmniej przez trzy lata. "To najlepszy skonstruowany dotąd detektor i będziemy z niego korzystali przez długi czas" - deklaruje jeden z członków zespołu, Piergiorgio Picozza z uniwersytetu w Rzymie.

Satelita PAMELA został zaprojektowany do wykrywania promieni kosmicznych pochodzących zarówno ze zwyczajnych źródeł, takich jak supernowe, jak i z niezwykłych, takich jak gwiazdy składające się całkowicie z antymaterii. Satelita będzie poszukiwał w szczególności charakterystycznych śladów antyhelu, który może być wytwarzany we wnętrzu antygwiazd. Chociaż większość fizyków uważa, że Wielki Wybuch doprowadził do niemal doskonałego zrównoważenia się materii i antymaterii, zgodnie z poglądem Sacharowa, misja satelity PAMELA opiera się na innym założeniu - że we Wszechświecie istniały całe obszary antymaterii, które nie uległy anihilacji i mają one obecnie postać antygwiazd.

Jeżeli antymateria występuje w przestrzeni kosmicznej w znikomych ilościach, być może udałoby się zbierać choć jej część w celu wykorzystania do napędu statków kosmicznych. Działający w NASA Institute for Advanced Concepts traktuje pomysł pozyskiwania antymaterii z kosmosu na tyle poważnie, że niedawno uruchomił program pilotażowy, którego celem ma być zbadanie takiej możliwości. "W zasadzie trzeba zbudować sieć, podobnie jak w przypadku połowu ryb" - stwierdza Gerald Jackson z Hbar Technologies, jednej z organizacji stojących na czele projektu.

Proponowane urządzenie do zbierania antymaterii składa się z trzech współśrodkowych sfer zbudowanych z drucianej siatki. Zewnętrzna sfera miałaby 16 kilometrów średnicy i byłaby naładowana dodatnio, tak by odpychać wszystkie protony, które również mają ładunek dodatni, a przyciągać antyprotony o ładunku ujemnym. Antyprotony byłyby zbierane przez sferę zewnętrzną, następnie spowalniane w trakcie przechodzenia przez drugą sferę i po dotarciu do wewnętrznej sfery o średnicy 100 metrów ulegałyby ostatecznie zatrzymaniu. Wtedy antyprotony byłyby przechwytywane do butelek magnetycznych i po połączeniu z antyelektronami tworzyłyby

antywodór.

Jackson szacuje, że przeprowadzane w sposób kontrolowany wewnątrz statku kosmicznego reakcje materia-antymateria mogłyby dostarczyć napędu wystarczającego na dotarcie słonecznego żagla do Plutona przy zużyciu zaledwie 30 miligramów antymaterii. Siedemnaście gramów antymaterii, zdaniem Jacksona, wystarczyłoby, aby dolecieć statkiem kosmicznym do Alpha Centauri. Jackson twierdzi, że między orbitą Wenus a orbitą Marsa może się znajdować 80 gramów antymaterii, którą można by pozyskać za pomocą sondy kosmicznej. Biorąc jednak pod uwagę komplikacje techniczne i wysokie koszty związane z wystrzeleniem tak wielkiego poławiacza antymaterii, nie uda się tego zapewne zrealizować przed końcem tego stulecia, a może trzeba będzie poczekać na to jeszcze dłużej.

Niektórzy uczeni zastanawiali się nad możliwością pozyskiwania antymaterii z unoszących się w przestrzeni kosmicznej meteorów. (W jednym z odcinków komiksu *Flash Gordon* zagrożenie stanowił przemierzający przestrzeń kosmiczną meteor z antymaterii, który mógłby doprowadzić do katastrofalnego wybuchu, gdyby wszedł w kontakt z jakąkolwiek planetą).

Jeżeli nie znajdziemy w kosmosie antymaterii występującej naturalnie, będą jeszcze musiały upłynąć całe dziesięciolecia, a może nawet wieki, zanim będziemy mogli wytworzyć na Ziemi znaczące jej ilości. Zakładając jednak, że uda się rozwiązać problemy techniczne związane z jej wytwarzaniem, możliwość, że kiedyś rakiety na antymaterię zabiorą nas do gwiazd, stanie przed nami otworem.

Uwzględniając to, co obecnie wiemy na temat antymaterii oraz biorąc pod uwagę możliwy do przewidzenia rozwój związanej z nią techniki, zaliczyłbym statki rakietowe na antymaterię do niemożliwości typu I.

Odkrywca antymaterii

Czym jest antymateria? To dziwne, że przyroda bez żadnego istotnego powodu podwoiła liczbę cząstek subatomowych we Wszechświecie. Natura jest zwykle dosyć oszczędna, ale teraz, gdy dowiedzieliśmy się o istnieniu antymaterii, wydaje się wyjątkowo powtarzalna i rozrzutna. A skoro istnieje antymateria, czy mogą również istnieć antywszechświaty?

Aby odpowiedzieć na te pytania, trzeba zbadać pochodzenie samej antymaterii. Jej odkrycie nastąpiło w 1928 roku, dzięki pionierskim pracom Paula Diraca, jednego z najbardziej błyskotliwych fizyków XX wieku. Dirac piastował na uniwersytecie w Cambridge profesurę Lucasa, tę samą pozycję, którą wcześniej zajmował Newton, a która obecnie należy do Stephena Hawkinga. Urodzony w 1902 roku Dirac był wysokim, szczupłym mężczyzną, który w okresie, gdy w 1925 roku wybuchła kwantowa rewolucja, miał zaledwie dwadzieścia trzy lata. Chociaż studiował wtedy inżynierię elektryczną, dał się niespodziewanie porwać rosnącej fali zainteresowania, jaką wywołała teoria kwantowa.

Teoria kwantowa opiera się na idei, że cząstki, takie jak elektrony, można opisać nie jako cząstki punktowe, ale jako pewien rodzaj fali, zadanej słynnym równaniem falowym Schrödingera. (Fala przedstawia prawdopodobieństwo znalezienia cząstki w danym miejscu).

Dirac uświadomił sobie jednak, że równanie Schrödingera ma pewną wadę. Opisywało ono jedynie elektrony poruszające się z niewielkimi prędkościami. Przy wyższych prędkościach równanie zawodziło, ponieważ nie zachowywało się zgodnie z prawami obowiązującymi dla ciał poruszających się z dużymi prędkościami, to znaczy zgodnie z prawami teorii względności sformułowanej przez Alberta Einsteina.

Dla młodego Diraca wyzwaniem było takie przekształcenie równania Schrödingera, aby uwzględniało również teorię względności. W 1928 roku Dirac przedstawił radykalnie zmienione równanie Schrödingera, w pełni zgodne z teorią względności Einsteina. Świat fizyki był zdumiony. Dirac odkrył swoje słynne relatywistyczne równanie elektronu wyłącznie w wyniku przeprowadzania operacji matematycznych na obiektach zwanych spinorami. Matematyczna ciekawostka nagle stała się głównym elementem całego Wszechświata. (W przeciwieństwie do wielkich fizyków przed nim, którzy utrzymywali, że wielkie przełomy w fizyce muszą się stanowczo opierać na danych doświadczalnych, Dirac przyjął odmienną strategię. Dla niego czysta teoria matematyczna, jeżeli tylko była wystarczająco piękna, była niezawodną oznaką, że zbliża się znaczący przełom. Napisał: "Ważniejsze jest, żeby równania były piękne niż żeby pasowały do danych doświadczalnych [...]. Wydaje się, że jeżeli pracy przyświeca cel uzyskania piękna w równaniach i jeżeli uczony obdarzony jest dobrze ugruntowaną intuicją, uzyskanie postępu w pracach jest pewne"⁷²).

W trakcie prac nad swoim nowym równaniem dla elektronu Dirac uświadomił sobie, że słynne równanie Einsteina, $E = mc^2$, nie do końca jest poprawne. Choć jest wypisywane na reklamach nad Madison Avenue, na ubrankach dla dzieci, w kreskówkach, a nawet na trykotach superbohaterów, równanie Einsteina tylko częściowo jest poprawne. Prawidłową postacią tego równania jest tak naprawdę: $E = \pm mc^2$. (Ów znak minusa pojawia się dlatego, że z pewnej wielkości należy wyciągnąć pierwiastek kwadratowy. Wyciąganie pierwiastka kwadratowego z dowolnej wielkości zawsze wprowadza taką niejednoznaczność co do znaku wyniku).

Jednak fizycy czują wstręt do ujemnej energii. W fizyce obowiązuje pewnik, że ciała zawsze zmiernają do stanu o najniższej energii (dlatego właśnie woda zawsze stara się osiągnąć najniższy poziom, poziom morza). Ponieważ materia zawsze opada do najniższego stanu energetycznego, perspektywa istnienia ujemnej energii miała potencjalnie katastrofalne skutki. Oznaczała, że wszystkie elektrony osiągną ostatecznie nieskończenie dużą ujemną energię, a to z kolei znaczy, że teoria Diraca byłaby niestabilna. Dirac wymyślił więc pojęcie morza Diraca. Wyobraził sobie, że wszystkie stany o ujemnej energii są już zajęte i dlatego elektron nie może stoczyć się do stanu o ujemnej energii. A więc Wszechświat jest stabilny. Z elektronem znajdującym się w stanie o ujemnej energii mógłby przypadkowo zderzyć się promień gamma, w wyniku czego elektron zostałby wybity do stanu o dodatniej energii. Zobaczylibyśmy wtedy, że promień gamma zmienił się w elektron, a w morzu Diraca powstałaby dziura. Taka dziura zachowywałaby się jak pęcherzyk

⁷² K.C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, Bantam Books, New York 1985, s. 225.

w próżni; to znaczy, miałyby dodatni ładunek i taką samą masę jak elektron. Innymi słowy, dziura ta zachowywałaby się jak antyelektron. Zatem w takim obrazie antimateria stanowi pęcherzyki w morzu Diraca.

Zaledwie kilka lat po przedstawieniu przez Diraca tego zadziwiającego przewidywania, Carl Anderson odkrył antyelektron (za co Dirac otrzymał Nagrodę Nobla w 1933 roku).

Można więc powiedzieć, że antimateria istnieje dlatego, że równanie Diraca ma dwa rodzaje rozwiązań: jedno dla materii i jedno dla antimaterii. (A to z kolei jest konsekwencją szczególnej teorii względności).

Równanie Diraca nie tylko pozwoliło przewidzieć istnienie antimaterii; wynikało z niego również istnienie spinu elektronu. Cząstki subatomowe mogą się obracać wokół własnej osi, na podobieństwo wirującego bąka. To wirowanie, w fizyce określane właśnie angielskim słowem *spin*, ma w przypadku elektronu kluczowe znaczenie dla zrozumienia przepływu elektronów w tranzystorach i półprzewodnikach, stanowiących podstawy współczesnej elektroniki.

Stephen Hawking żałuje, że Dirac nie opatentował swojego równania. Pisze on: "Dirac zarobiłby fortunę, gdyby tylko opatentował swoje równanie. Otrzymywałby część dochodu ze sprzedaży każdego telewizora, walkmana, gry wideo i komputera".

Dzisiaj słynne równanie Diraca można przeczytać wyryte w kamieniu w Opactwie Westminsterskim, niedaleko grobu Isaaca Newtona. Jest to chyba jedyne równanie na świecie, które spotkało tak szczególne wyróżnienie.

Dirac i Newton

Historycy nauki próbując zrozumieć, w jaki sposób Dirac doszedł do swojego rewolucyjnego równania i pojęcia antimaterii, często porównują go z Newtonem. To dziwne, ale Newtona i Diraca wiele łączy. Obaj mieli około dwudziestu lat, gdy prowadzili swoje przełomowe prace na uniwersytecie w Cambridge, obaj byli mistrzami matematyki, a dodatkowo łączyła ich również inna silna cecha charakteru: całkowity brak zdolności do nawiązywania relacji międzyludzkich, graniczący wręcz z patologią. Obaj słynęli z absolutnego braku umiejętności prowadzenia rozmów towarzyskich i wymiany uprzejmości. Chorobliwie nieśmiały Dirac odzywał się tylko wtedy, gdy został o coś wprost zapytany, a i wówczas najczęściej odpowiadał "tak", "nie" albo "nie wiem".

Dirac był również niezwykle skromny i nie znosił rozgłosu. Gdy przyznano mu Nagrodę Nobla, poważnie rozważał nieprzyjęcie jej z powodu zamieszania i kłopotów, jakie się z tym wiązały. Jednak, gdy mu uzmysłowiono, że odrzucenie Nagrody Nobla wywoła jeszcze większy rozgłos, postanowił ją przyjąć.

O dziwnej osobowości Newtona napisano całe tomy, a próby jej wyjaśnienia wahają się od hipotezy zatrucia rtęcią po chorobę umysłową. Niedawno jednak psycholog z Cambridge Simon Baron-Cohen przedstawił nową teorię, która może wyjaśniać niezwykle zachowanie zarówno Newtona, jak i Diraca. Baron-Cohen uważa, że obaj prawdopodobnie cierpieli na zespół Aspergera, przypadłość podobną do autyzmu, niczym geniusz-idiota z filmu *Rain Man*. Osoby cierpiące na zespół Aspergera są małomówne, dziwnie zachowują się w towarzystwie, a czasami

są obdarzone niezwykłym talentem do wykonywania obliczeń, jednak w przeciwieństwie do ludzi cierpiących na autyzm, potrafią funkcjonować w społeczeństwie i mogą wykonywać twórczą pracę. Jeśli teoria ta jest prawdziwa, to być może za cudowne zdolności matematyczne Newton i Dirac zapłacili cenę, jaką było wyobcowanie społeczne.

Antygravitacja i antywszechświaty

Wykorzystując teorię Diraca, możemy teraz odpowiedzieć na wiele pytań: Co jest antymaterialnym odpowiednikiem grawitacji? Czy istnieją antywszechświaty?

Jak powiedzieliśmy, antycząstki mają ładunek przeciwny niż zwykła materia. Ale cząstki niemające wcale ładunku (takie jak foton, cząstka światła, czy grawiton, który jest cząstką grawitacji) mogą być swoimi własnymi antycząstkami. Widzimy więc, że grawitacja jest swoją własną antygravitacją; innymi słowy, grawitacja materii i antymaterii jest tą samą siłą. Dlatego antymateria powinna pod wpływem grawitacji spadać, a nie odlatywać w górę. (Tak powszechnie uważają fizycy, jednak nigdy nie udało się tego dowieść w laboratorium).

Teoria Diraca udziela również odpowiedzi na zasadnicze pytania: Dlaczego natura zezwala na istnienie antymaterii? Czy to oznacza, że istnieją antywszechświaty?

W niektórych opowiadaniach fantastycznonaukowych bohater odkrywa w przestrzeni kosmicznej nową, podobną do Ziemi planetę. Nowa planeta wydaje się bliźniaczką Ziemi pod każdym względem, z tą tylko różnicą, że wszystko zbudowane jest z antymaterii. Na tej planecie mamy swoje antymaterialne sobowtóry, mające swoje antydzieci, mieszkające w antymiastach. Ponieważ prawa antychemii są takie same jak prawa chemii, jedynie z tą różnicą, że odwróceniu ulegają ładunki, ludzie żyjący w takim świecie w ogóle nie będą sobie zdawali sprawy, że są zbudowani z antymaterii. (Fizycy nazywają to wszechświatem z odwróceniem ładunku, w skrócie, z odwróceniem C^{73} , ponieważ w takim antywszechświecie zmieniają znak wszystkie ładunki, natomiast cała reszta pozostaje taka sama).

W innych opowiadaniach fantastycznonaukowych uczeni odkrywają w kosmosie bliźniaczo podobną do Ziemi planetę, która tym tylko się różni, że jest jej lustrzanym odbiciem, w którym prawa i lewa strona uległy zamianie. Serca wszystkich ludzi znajdują się tam po prawej stronie, a większość z nich jest leworęczna. Żyją sobie tam zupełnie nieświadomi tego, że zamieszkują wszechświat będący lustrzanym odbiciem. (Fizycy nazywają taki lustrzany wszechświat wszechświatem z odwróceniem parzystości, w skrócie, z odwróceniem P).

Czy takie wszechświaty antymaterialne i o odwróconej parzystości mogą rzeczywiście istnieć? Fizycy traktują takie pytania bardzo poważnie, ponieważ równania Newtona i Einsteina nie zmieniają się, gdy zamieni się ładunki wszystkich cząstek subatomowych lub gdy odwróci się kierunki prawo-lewo. Zatem wszechświaty z odwróceniem ładunku i z odwróceniem parzystości są w zasadzie możliwe..

Laureat Nagrody Nobla Richard Feynman zadał ciekawe pytanie związane z tymi

⁷³ Od ang. *charge* - ładunek (przyp. tłum).

wszechświatami. Przypuśćmy, że pewnego dnia udaje nam się nawiązać kontakt radiowy z obcymi mieszkańcami na odległej planecie, nie możemy jednak ich zobaczyć. Czy będziemy potrafili drogą radiową wyjaśnić im różnicę między lewą i prawą stroną? Skoro prawa fizyki zezwalają na istnienie wszechświatów z odwróceniem parzystości, to przekazanie tych pojęć powinno być niemożliwe.

Niektóre rzeczy dają się łatwo opisać za pomocą słów - kontynuował Feynman - na przykład kształt naszych ciał czy liczba palców, ramion i nóg. Możemy nawet wyjaśnić obcym prawa chemii i biologii. Lecz każda próba wyjaśnienia im pojęcia "pravo" i "lewo" (albo "zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara" i "przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara") zakończy się porażką. Nigdy nie zdołamy im wytłumaczyć, że nasze serce znajduje się po lewej stronie ciała, objaśnić, w którą stronę obraca się Ziemia ani opisać, jak skręca się cząsteczka DNA.

Było więc nie lada szokiem, gdy C.N. Yang i T.D. Lee, pracujący wówczas na Uniwersytecie Columbia, obalili to popularne twierdzenie. Badając naturę cząstek subatomowych, wykazali oni, że lustrzany wszechświat z odwróceniem parzystości nie może istnieć. Jeden z fizyków, gdy dowiedział się o tym rewolucyjnym wyniku, powiedział: "Bóg musiał się pomylić". Za ten przełomowy wynik, nazwany obaleniem parzystości, Yang i Lee zdobyli w 1957 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

Dla Feynmana wniosek ten oznaczał, że w czasie rozmowy drogą radiową z obcymi można by było uzgodnić szczegóły eksperymentu, który pozwoli na odróżnienie wszechświata lewostronnego od prawostronnego. (Na przykład elektrony emitowane przez radioaktywny kobalt-60 nie obracają się z takim samym prawdopodobieństwem w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara i przeciwnie do niego, ale mają jeden preferowany kierunek wirowania i w ten sposób łamią symetrię parzystości).

Feynman wyobraził sobie wtedy, że w końcu dochodzi do historycznego spotkania między obcymi i ludźmi. Prosimy kosmitów, żeby, gdy się spotkamy, podali prawą rękę byśmy mogli uścisnąć sobie dłonie. Jeżeli obcy rzeczywiście podadzą prawą rękę, będziemy wiedzieli, że udało nam się skutecznie przekazać im pojęcia "pravo-lewo" oraz "zgodnie z ruchem wskazówek zegara" i "przeciwnie do ruchu wskazówek zegara".

Wtedy Feynman zwrócił jednak uwagę na pewną niepokojącą kwestię. Co, jeżeli obcy wyciągną jednak w naszym kierunku lewą rękę? Oznaczałoby to, że popełniliśmy fatalny błąd, że nie udało nam się przekazać im pojęć "pravo" i "lewo". Gorzej nawet - to by znaczyło, że obcy są w rzeczywistości zbudowani z antymaterii, że wszystkie doświadczenia przeprowadzili w odwrotnym kierunku i dlatego pomylili prawo z lewo. A to znaczy, że gdy uściśniemy dłoń ich przedstawiciela - wybuchniemy!

Taki był stan naszej wiedzy do lat sześćdziesiątych. Odróżnienie naszego Wszechświata od wszechświata, w którym wszystko zbudowane jest z antymaterii i ma odwróconą parzystość było niemożliwe. Wszechświat, jaki powstałby po zamianie *zarówno* parzystości jak i ładunku spełniałby prawa fizyki. Parzystość jako samodzielna symetria została obalona, ale ładunek wspólnie z

parzystością wciąż stanowiły dobrą symetrię Wszechświata. Zatem wszechświat o odwróceniu CP wciąż był możliwy.

Wynikało z tego, że gdybyśmy rozmawiali z obcymi przez telefon, nie moglibyśmy z rozmowy wywnioskować, czy mamy do czynienia z normalnym wszechświatem, czy też z takim, w którym odwrócone są zarówno ładunki, jak i parzystość (to znaczy, zamienione są strony prawa z lewą oraz cała materia zamieniona jest na antymaterię).

Wtedy, w 1964 roku, fizycy doznali drugiego szoku: wszechświat o odwróceniu CP nie może istnieć. Jeżeli zbada się własności cząstek subatomowych, będzie można odróżnić stronę prawą od lewej oraz kierunek prawoskrętny od lewoskrętnego, nawet jeżeli będziemy rozmawiać drogą radiową z innym wszechświatem o odwróceniu CP . Za to osiągnięcie James Cronin i Val Fitch otrzymali Nagrodę Nobla w 1980 roku.

(Chociaż wielu fizyków było poruszonych, gdy okazało się, że wszechświat o odwróceniu CP jest niezgodny z prawami fizyki, patrząc na to odkrycie z perspektywy czasu należy powiedzieć, że zgodnie z naszymi wcześniejszymi rozważaniami, było ono pozytywne. Gdyby możliwe było istnienie wszechświata o odwróceniu CP , wtedy w Wielkim Wybuchu uczestniczyłoby dokładnie tyle samo materii co antymaterii, a to oznacza, że doszłoby do stuprocentowej anihilacji i istnienie tworzących nas atomów byłoby niemożliwe! Fakt, że istniejemy jako pozostałość po anihilacji nierównych ilości materii i antymaterii, jest dowodem na pogwałcenie symetrii CP).

Czy są zatem możliwe jakiegokolwiek odwrócone antywszechświaty? Odpowiedź brzmi: tak. Nawet jeżeli wszechświaty o odwróconej parzystości i ładunku nie są możliwe, antywszechświat wciąż może istnieć, ale musiałoby to być bardzo dziwne miejsce. Gdybyśmy odwrócili ładunki, parzystość oraz *kierunek upływu czasu*, to taki wszechświat spełniałby wszystkie prawa fizyki. Wszechświat o odwróceniu CPT ⁷⁴ jest dozwolony.

Odwrócenie czasu jest dziwną symetrią. We wszechświecie o odwróceniu T jajecznicza wyskakuje z talerza, przegrupowuje się na patelni, a następnie wskakuje do jajek, zamykając za sobą szczelnie skorupki. Umarli powstają z grobów, młodnieją, zmieniają się w niemowlęta i wskakują do łona matek.

Zdrowy rozsądek podpowiada nam, że wszechświat o odwróceniu T nie jest możliwy. Jednak matematyczne równania cząstek subatomowych pokazują

coś przeciwnego. Prawa Newtona działają doskonale zarówno do przodu, jak i do tyłu w czasie. Wyobraźmy sobie, że rejestrujemy kamerą partię bilarda. Każde zderzenie bil zachodzi zgodnie z prawami ruchu Newtona; oglądanie takiego filmu odtwarzanego od tyłu pewnie dałoby obraz dziwnej partii, ale całkowicie zgodnej z prawami Newtona.

W teorii kwantowej sprawy bardziej się komplikują. Samo odwrócenie T jest niezgodne z prawami mechaniki kwantowej, jednak wszechświat o pełnym odwróceniu CPT jest dozwolony. Oznacza to, że wszechświat, w którym zamienione są kierunki prawy z lewym, materię zastępuje antymateria, a czas płynie do tyłu, jest w pełni akceptowalnym wszechświatem, zgodnym z

⁷⁴ Symbol T pochodzi od ang. słowa *time* - czas (przyp. tłum.).

prawami fizyki!

(Niestety nie moglibyśmy się skomunikować ze światem, w którym doszło do odwrócenia *CPT*. Ponieważ na planecie obcych czas biegnie do tyłu, wszystko, co im prześlemy drogą radiową, będzie częścią ich przyszłości, zapomnieliby więc wszystko, co im mówimy, jeszcze zanim skończylibyśmy wypowiadać nasze słowa. Zatem, chociaż prawa fizyki dopuszczają istnienie wszechświata o odwróceniu *CPT*, nie możemy nawiązać kontaktu radiowego z żadną istotą, która go zamieszkuje).

Podsumujmy, silniki na antymaterię mogą stać się w przyszłości realną możliwością napędu dla statków kosmicznych, jeżeli tylko uda się wystarczającą ilość antymaterii wytworzyć na Ziemi lub odkryć w przestrzeni kosmicznej. Z powodu pogwałcenia symetrii *CP* istnieje nieznaczne zaburzenie równowagi między materią i antymaterią, a to prawdopodobnie oznacza, że gdzieś wciąż mogą istnieć skupiska antymaterii, którą można by pozyskać.

Jednak z powodu problemów technicznych związanych z silnikami na antymaterię, stworzenie odpowiednich rozwiązań praktycznych może zająć jeszcze całe stulecie lub dłużej, co znaczy, że jest to niemożliwość typu I.

Zajmijmy się jednak innym pytaniem: Czy za tysiące lat stanie się możliwe zbudowanie statków kosmicznych poruszających się szybciej niż światło? Czy w słynnym stwierdzeniu Einsteina, że "nic nie może poruszać się szybciej od światła" są jakieś luki? Odpowiedź, co zaskakujące, brzmi: tak.

Część II

NIEMOŻLIWOŚCI TYPU II

Rozdział 11

SZYBCIEJ OD ŚWIATŁA

Można sobie wyobrazić, że [życie] rozprzestrzeni się w końcu w całej Galaktyce i poza nią. Wcale nie jest więc skazane na pozostanie na zawsze nieistotnym śladowym zanieczyszczeniem Wszechświata, jak to jest obecnie.

Taki obraz jest dla mnie dosyć pociągający.

- sir Marin Rees, astronom królewski

Podróżowanie z prędkością większą od światła jest niemożliwe,

a już na pewno nie jest przyjemne, bo człowiekowi ciągle zwiewa kapelusz z głowy.

- Woody Allen

W *Gwiezdnych wojnach*, gdy "Sokół Millenium" wzbija się w powietrze na pustynnej planecie Tatooine z naszymi bohaterami Lukiem Skywalkerem i Hanem Solo na pokładzie, napotyka orbitującą wokół planety eskadrę groźnych okrętów wojennych Imperium. Okręty otwierają silny ogień z dział laserowych, który coraz głębiej przebija się przez pole siłowe chroniące statek naszych bohaterów. "Sokół Millenium" znalazł się w ogniu przeważającej siły wroga. Ustępując przed miażdżącym ogniem laserowym Han Solo wykrzykuje, że jedyną nadzieją jest wykonanie skoku w hiperprzestrzeń. Silniki hipernapędu uruchamiają się dopiero w ostatnim momencie. Nagle wszystkie gwiazdy wokół zaczynają pędzić w kierunku środka pola widzenia, tworząc zbiegające się, oślepiające strumienie światła. Pojawia się otwór, w który "Sokół Millenium" wlatuje z impetem, osiągając hiperprzestrzeń i wolność.

Fantastyka naukowa? Bez wątplenia. Ale czy oparta na faktach naukowych? Być może. Podróże z prędkością większą od światła zawsze były podstawą fantastyki naukowej, jednak ostatnimi czasy również fizycy zaczęli się poważnie zastanawiać nad taką możliwością.

Według Einsteina prędkość światła jest ostatecznym ograniczeniem prędkości we Wszechświecie. Nawet najpotężniejsze rozbijacze atomów, które potrafią wytwarzać energie spotykane jedynie w środku wybuchających gwiazd lub w samym Wielkim Wybuchu, nie mogą rozpędzić cząstek subatomowych do prędkości większej od prędkości światła. Najwyraźniej prędkość światła pełni we Wszechświecie rolę nieprzejednanego policjanta z drogówki. A jeżeli tak, to zdaje się, że wszelkie nadzieje na dotarcie do odległych galaktyk legły w gruzach.

Może jednak nie...

Einstein nieudacznik

W 1902 roku wcale nie było jasne, że młody fizyk Albert Einstein będzie kiedyś wysławiany jako największy fizyk od czasów Isaaca Newtona. Rok ten był najgorszym okresem w jego życiu. Właśnie został przyjęty na studia doktoranckie, ale wszystkie uczelnie, do których się zwrócił, odrzuciły jego podanie o przyjęcie do pracy w charakterze nauczyciela akademickiego. (Później odkrył, że profesor Heinrich Weber napisał mu niepochlebne listy polecające, być może mszcząc

się w ten sposób za to, że Einstein opuszczał wiele jego zajęć). Ponadto matka Einsteina kategorycznie sprzeciwiała się związkowi syna z Milevą Maric, która spodziewała się dziecka. Ich córka Lieserl urodzi się jako nieślubne dziecko. Młody Albert zupełnie nie sprawdzał się także w różnych pracach dorywczych, jakich się podejmował. Nawet zatrudnienie w charakterze skromnego nauczyciela nagle się skończyło, ponieważ został wyrzucony z pracy. W przygnębiających listach rozważał możliwość zostania komiwojażerem. W liście do rodziny napisał nawet, że może lepiej by było, gdyby nigdy się nie urodził, gdyż jest dla rodziny jedynie ciężarem, bez żadnych perspektyw na powodzenie w życiu. Miał poczucie winy wobec umierającego ojca, przekonanego, iż jego syn jest kompletnym nieudacznikiem.

A jednak później, tego samego roku, szczęście w końcu się do Einsteina uśmiechnęło. Przyjaciół załatwił mu posadę w Szwajcarskim Biurze Patentowym. Siedząc za biurkiem jako skromny urzędnik, Einstein wkrótce zapoczątkuje największą rewolucję we współczesnej nauce. Przeanalizowanie patentów lądujących na jego biurku zwykle nie zabierało mu zbyt wiele czasu, dzięki czemu mógł godzinami zastanawiać się nad problemami fizyki, które od dzieciństwa nie dawały mu spokoju.

Na czym polegała tajemnica jego geniuszu? Być może jedną ze wskazówek, co do źródła jego zdolności była umiejętność myślenia obrazami fizycznymi (na przykład poruszające się pociągi, przyspieszające zegary, naprężone tkaniny), a nie pojęciami teorii matematycznej. Einstein powiedział kiedyś, że jeżeli jakiejś teorii nie można wytłumaczyć dziecku, to prawdopodobnie jest ona bezużyteczna; to znaczy, sedno teorii musi dać się wyrazić za pomocą obrazów fizycznych. Tak wielu fizyków zagubiło się w prowadzącym donikąd gąszczu matematyki. Lecz podobnie jak wcześniej Newton, Einstein miał obsesję na punkcie obrazów fizycznych; na matematykę przyjdzie czas później. Dla Newtona obrazem fizycznym były spadające jabłko i Księżyc. Czy siły, które powodują, że jabłko spada, są takie same jak te, które utrzymują Księżyc na orbicie? Gdy Newton doszedł do wniosku, że odpowiedź brzmi: tak, stworzył architekturę matematyczną Wszechświata, która nagle odkryła największe tajemnice niebios, ruch samych ciał niebieskich.

Einstein i teoria względności

Albert Einstein przedstawił swoją słynną szczególną teorię względności w 1905 roku. W jej centrum znajdował się obraz, zrozumiały nawet dla dziecka. Teoria była ukoronowaniem marzenia, które nie opuszczało go od chwili, gdy w wieku szesnastu lat postawił prorocze pytanie: co się stanie, gdy prześcignie się promień światła? Jako młody człowiek wiedział, że mechanika newtonowska opisuje ruch ciał na Ziemi i niebie, a teoria Maxwella opisuje światło. To były dwa filary fizyki.

Istota geniuszu Einsteina polegała na tym, że uświadomił sobie, iż te dwa filary wzajemnie sobie przeczą. Jeden z nich musi się przewrócić.

Według Newtona, zawsze można prześcignąć promień światła, ponieważ w jego prędkości nie ma nic szczególnego. To oznaczało, że promień światła musi znajdować się w spoczynku z punktu widzenia kogoś, kto mknie obok niego z taką samą prędkością. Młody Einstein zdawał sobie

sprawę, że nikomu nigdy nie udało się zaobserwować całkowicie nieruchomej fali światła, to znaczy czegoś przypominającego zamrożoną falę. Z tego wynika, że teoria Newtona nie podaje sensownych przewidywań.

Einstein znalazł w końcu odpowiedź na swoje pytanie w czasie studiów w Zurychu, gdy uczył się teorii Maxwella. Odkrył coś, czego nawet sam Maxwell nie wiedział: że prędkość światła zawsze pozostaje stała, bez względu na to, jak szybko się poruszamy. Czy pędzimy w jego kierunku, czy od niego uciekamy, ono ciągle porusza się z taką samą prędkością, choć cecha ta kłóci się ze zdrowym rozsądkiem. Einstein znalazł odpowiedź na swoje pytanie z dzieciństwa: nigdy nie można biec obok promienia światła tak samo szybko jak on, ponieważ on zawsze od nas ucieka ze stałą prędkością, bez względu na to, jak szybko byśmy się poruszali.

Jednak mechanika newtonowska była ściśle powiązaniem ze sobą układem: najmniejsza zmiana w jej założeniach mogłaby doprowadzić do tego, że cała teoria rozpruje się niczym tkanina, w której ktoś pociągnął za luźną nitkę. W teorii Newtona upływ czasu jest jednorodny w całym Wszechświecie. Jedna sekunda na Ziemi jest taka sama jak jedna sekunda na Wenus czy Marsie. Podobnie wzorce metra umieszczone na Ziemi mają taką samą długość jak wzorce metra na Plutonie. Jeżeli jednak prędkość światła jest zawsze stała, bez względu na to, jak szybko się poruszamy, konieczne jest gruntowne przebudowanie naszego rozumienia przestrzeni i czasu. W celu zachowania stałej prędkości światła trzeba będzie dopuścić możliwość znacznego zniekształcenia przestrzeni i czasu.

Zdaniem Einsteina, gdybyśmy znajdowali się na pokładzie mknącej szybko rakiety, upływ czasu w jej wnętrzu musiałby zwolnić w porównaniu z kimś pozostającym na Ziemi. Czas płynie w różnym tempie, w zależności od tego, jak szybko się poruszamy. Co więcej, przestrzeń wewnątrz tej rakiety uległaby skurczeniu tak, że wzorzec metra mógłby zmieniać długość w zależności od naszej prędkości. Również masa rakiety uległaby zwiększeniu. Gdybyśmy zajrzeli do środka tej rakiety przez teleskop, zobaczylibyśmy, że zegary chodzą tam wolniej, ludzie poruszają się w zwolnionym tempie i wydają się spłaszczeni.

Gdyby natomiast rakieta poruszała się z prędkością światła, czas musiałby ulec w jej wnętrzu zatrzymaniu, rakieta skurczyłaby się do zerowych rozmiarów, a jej masa stałaby się nieskończona. Ponieważ żadna z tych obserwacji nie jest realna, Einstein stwierdził, że nic nie może przekroczyć bariery światła. (Ciała robią się tym cięższe, im szybciej się poruszają, a to oznacza, że energia ruchu przekształca się w masę. Aby wyznaczyć dokładną ilość energii, która ulega przekształceniu w masę, należy przeprowadzić proste obliczenia i już po kilku linijkach dociera się do słynnego równania $E = mc^2$).

Od czasu, gdy Einstein wyprowadził swój słynny wzór, przeprowadzono dosłownie miliony doświadczeń potwierdzających jego rewolucyjne idee. Na przykład system GPS, dzięki któremu możemy ustalić swoje położenie na Ziemi z dokładnością do kilku metrów, nie mógłby poprawnie działać, gdyby nie uwzględniał poprawek wynikających z teorii względności. (Ponieważ system GPS jest wykorzystywany w armii, nawet generałowie z Pentagonu mają szkolenia z teorii

względności Einsteina). Zegary na pokładach satelitów GPS mknących nad powierzchnią Ziemi naprawdę zmieniają swoje wskazania, tak jak przewidywał Einstein.

Najbardziej przemawiającą do wyobraźni ilustracją tego pojęcia mogą być rozbijacze atomów, w których uczeni rozpędzają cząstki do prędkości bliskich prędkości światła. W gigantycznym akceleratorze w CERN-ie pod Genewą, w Wielkim Zderzaczu Hadronów (Large Hadron Collider, LHC), protony rozpędza się do energii bilionów elektronowoltów i poruszają się one wtedy z prędkościami bardzo bliskimi prędkości światła.

Dla uczonych zajmujących się techniką raketową, bariera prędkości światła nie stanowi jeszcze większego problemu, ponieważ rakietom z trudem udaje się osiągnąć prędkość przekraczającą kilkadziesiąt tysięcy kilometrów na godzinę. Lecz za jakieś sto, dwieście lat, gdy uczeni będą się poważnie zastanawiać nad wysłaniem sond do najbliższych gwiazd (znajdujących się ponad 4 lata świetlne od Ziemi), bariera światła może stopniowo nabrać znaczenia.

Luki w teorii Einsteina

W minionych dziesięcioleciach fizycy próbowali znaleźć jakieś luki w słynnym stwierdzeniu Einsteina. Udało się wykryć pewne luki, jednak większość z nich nie jest zbyt użyteczna. Na przykład, jeżeli omieciemy niebo snopem światła z latarki, to w zasadzie obraz tego promienia może przekroczyć prędkość światła. W kilka sekund obraz światła latarki przemieszcza się z jednego punktu horyzontu do punktu po przeciwnej stronie, pokonując odległość, która może sięgać setek lat świetlnych. Jednak nie ma to znaczenia, ponieważ w ten sposób i tak nie można przesłać żadnej informacji z prędkością większą od prędkości światła. Obraz światła latarki przekroczył prędkość światła, ale nie niesie on ze sobą żadnej energii ani informacji.

Podobnie jest, jeżeli przyjrzymy się nożycom: punkt, w którym zachodzą na siebie ich ostrza porusza się tym szybciej, im dalej znajduje się od miejsca, w którym są one złączone. Jeżeli wyobrazimy sobie nożyce o długości jednego roku świetlnego, to zamykając je, spowodujemy, że punkt ich przecięcia będzie się poruszał szybciej od światła. (I znowu - to nie ma znaczenia, ponieważ punkt przecięcia nie niesie ze sobą żadnej energii ani informacji).

Analogicznie, jak wspomnieliśmy w rozdziale 4, doświadczenie EPR pozwala na przesłanie informacji z prędkością większą od prędkości światła. (Jak pamiętamy, w tym eksperymencie dwa identycznie drgające elektrony zostają wysłane w przeciwnych kierunkach. Ponieważ elektrony te są koherentne, można między nimi przesłać informację z prędkością większą od światła, jednak jest to informacja przypadkowa, a co za tym idzie, bezużyteczna. Nie można więc wykorzystać urządzeń EPR w sondach wysłanych do odległych gwiazd).

Najważniejsza dla fizyków luka powstała jednak za sprawą samego Einsteina, który w 1915 roku stworzył ogólną teorię względności, potężniejszą od teorii szczególnej. Ziarno ogólnej teorii względności zostało zasiane, gdy Einstein zastanawiał się nad dziecięcą karuzelą. Jak wspomnieliśmy, ciała ulegają skurczeniu, gdy ich prędkość zbliża się do prędkości światła. Im szybciej się poruszamy, tym bardziej się kurczymy. Jednak w przypadku obracającego się dookoła własnej osi dysku jego zewnętrzna część, znajdująca się na obwodzie, porusza się szybciej od

środku. (W rzeczywistości sam środek praktycznie stoi w miejscu). Linijka położona na zewnętrznej jego krawędzi musi się więc skurczyć, natomiast linijka umieszczona w środku dysku pozostanie prawie niezmieniona, co oznacza, że powierzchnia karuzeli przestaje być płaska i ulega zakrzywieniu. Dlatego przyspieszenie na karuzeli wywołuje efekt zakrzywienia przestrzeni i czasu.

W ogólnej teorii względności czasoprzestrzeń jest tkanką, którą można rozciągać i ścisnąć. W pewnych okolicznościach tkanka ta może rozciągać się z prędkością większą niż prędkość światła. Weźmy na przykład Wielki Wybuch - moment, gdy 13,7 miliarda lat temu Wszechświat narodził się w kosmicznej eksplozji. Można wyliczyć, że Wszechświat początkowo rozszerzał się z prędkością większą od prędkości światła. (Zdarzenie to nie stanowiło pogwałcenia szczególnej teorii względności, ponieważ rozszerzała się pusta przestrzeń między gwiazdami, a nie same gwiazdy. Rozszerzająca się przestrzeń nie jest nośnikiem żadnej informacji).

Ważne jest to, że szczególna teoria względności obowiązuje jedynie lokalnie, to znaczy, w najbliższym otoczeniu. W naszym bliskim sąsiedztwie (przykładowo w Układzie Słonecznym) szczególna teoria względności zachowuje swoją ważność, jak to potwierdzają sondy kosmiczne. Jednak globalnie (na przykład w skalach kosmologicznych związanych z Wszechświatem) musimy zamiast niej posługiwać się ogólną teorią względności. W ogólnej teorii względności czasoprzestrzeń jest tkanką, która może rozszerzać się szybciej niż światło. Zezwala ona również na istnienie dziur w przestrzeni, przez które można na skróty poruszać się w przestrzeni i czasie.

Jeżeli uwzględnimy te uwarunkowania, być może jedynym sposobem na poruszanie się szybciej niż światło będzie wykorzystanie ogólnej teorii względności. Można to osiągnąć na dwa sposoby.

– *Poprzez rozciąganie przestrzeni.* Gdyby udało nam się rozciągnąć przestrzeń za nami, a skurczyć ją przed nami, mielibyśmy wrażenie, że poruszamy się szybciej od światła. W rzeczywistości w ogóle byśmy się nie poruszali. Ponieważ jednak przestrzeń uległaby zniekształceniu, moglibyśmy dotrzeć do odległych gwiazd w mgnieniu oka.

– *Poprzez rozdieranie przestrzeni.* W 1935 roku Einstein wprowadził pojęcie tunelu czasoprzestrzennego. Wyobraźmy sobie magiczne lustro z *Alicji po drugiej stronie lustra*, cudowne urządzenie łączące wieś pod Oksfordem z Krainą Czarów. Tunel czasoprzestrzenny to urządzenie mogące połączyć dwa wszechświaty. W szkole dowiadujemy się, że najkrótszą drogą między dwoma punktami jest linia prosta. To jednak nie musi być prawda, ponieważ gdybyśmy zwinęli kartkę tak, by te dwa punkty się ze sobą zetknęły, zauważylibyśmy, że najkrótszą drogą między nimi jest tak naprawdę tunel czasoprzestrzenny.

Fizyk Matt Visser z Uniwersytetu Waszyngtońskiego zauważa: "uczeni zajmujący się teorią względności zaczęli się zastanawiać nad tym, co byłoby konieczne, aby urządzenia takie jak napęd czy tunel czasoprzestrzenny mogły wyjść poza domenę fantastyki naukowej"⁷⁵.

Sir Martin Rees, Królewski Astronom Wielkiej Brytanii, twierdzi nawet, że "tunele

czasoprzestrzenne, dodatkowe wymiary i komputery kwantowe są inspiracją dla spekulatywnych scenariuszy, które mogłyby w końcu przekształcić nasz cały Wszechświat w «żyjący kosmos»⁷⁶.

Napęd Alcubierrego i ujemna energia

Najlepszym przykładem rozciągania przestrzeni jest wykorzystujący ogólną teorię względności Einsteina napęd Alcubierrego, zaproponowany w 1994 roku przez fizyka Miguela Alcubierre. Jest on bardzo podobny do układu napędowego, który możemy oglądać w serialu *Star Trek*. Pilot takiego statku kosmicznego siedziałby wewnątrz pęcherzyka (zwanego pęcherzykiem czasoprzestrzennym), w którym wszystko wyglądałoby normalnie, nawet w chwili, gdy statek kosmiczny pokonuje barierę światła. Pilot miałby wręcz wrażenie, że statek znajduje się w spoczynku. Jednak na zewnątrz pęcherzyka czasoprzestrzennego dochodziłoby do ekstremalnych zniekształceń czasoprzestrzeni, ponieważ przestrzeń przed pęcherzykiem ulegałaby skurczeniu. Nie dochodziłoby do żadnej dylatacji czasu, więc we wnętrzu pęcherzyka płynąłby on normalnie.

Alcubierre przyznaje, że serial *Star Trek* mógł odegrać pewną rolę w odkryciu przez niego tego rozwiązania. «Bohaterowie *Star Trek* cały czas mówili o napędzie czasoprzestrzennym, o tym, że zakrzywiają przestrzeń. Mieliśmy już wtedy teorię mówiącą jak przestrzeń może, a jak nie może być odkształcana a jest nią ogólna teoria względności. Pomyślałem sobie, że powinien istnieć jakiś sposób wykorzystania tego aparatu pojęciowego do sprawdzenia, w jaki sposób mógłby działać napęd czasoprzestrzenny»⁷⁷. To chyba pierwszy taki przypadek, że program telewizyjny stał się inspiracją do znalezienia rozwiązania jednego z równań Einsteina.

Alcubierre przypuszcza, że podróż w zaproponowanym przez niego statku kosmicznym przypominałaby wyprawę «Sokołem Millenium» z *Gwiezdnych wojen*. «Sądzę, że załoga widziałaby coś bardzo podobnego do kadrów z tego filmu. Z przodu statku gwiazdy zmieniałyby się w długie linie lub smugi. Z tyłu nic by nie było widać, jedynie czerń, ponieważ światło gwiazd nie mogłoby się poruszać wystarczająco szybko by dogonić statek»⁷⁸.

Kluczem do napędu Alcubierrego jest energia potrzebna do rozpędzenia statku do prędkości nadświatlnych. W normalnych przypadkach fizycy zakładają, że do przemieszczania statku, który zawsze porusza się z prędkością mniejszą od prędkości światła, potrzebna jest dodatnia ilość energii. Aby wyjść poza ramy tej strategii i móc podróżować szybciej od światła, trzeba byłoby zmienić paliwo. Nieskomplikowane obliczenia pokazują, że konieczna byłaby ujemna masa lub ujemna energia, najbardziej chyba egzotyczne byty we Wszechświecie, jeżeli w ogóle istnieją. Tradycyjnie fizycy odrzucali ujemną energię i ujemną masę jako czystą fantazję. Teraz jednak przekonaliśmy się, że są one niezbędne do podróży z prędkością nadświatlną, a w dodatku możliwe nawet, że one rzeczywiście istnieją.

Uczeni poszukiwali materii o ujemnej masie (w skrócie: ujemnej materii) w przyrodzie, ale jak dotąd bezskutecznie. (Antymateria i ujemna materia to dwie całkowicie różne rzeczy. Ta pierwsza

⁷⁵ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 137.

⁷⁶ M. Rees, *Our Final Hour*, Perseus Books, New York 2003, s. 182.

⁷⁷ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 151.

istnieje, ma dodatnią energię i przeciwny ładunek. Istnienie ujemnej materii nie zostało jeszcze udowodnione). Ujemna materia byłaby dosyć szczególna, ponieważ ważyłaby mniej niż nic. Tak naprawdę unosiłaby się w powietrzu. Jeżeli ujemna materia istniała we wczesnym Wszechświecie, odpłynęła daleko w przestrzeń kosmiczną. W przeciwieństwie do meteorów, które roztrzaskują się o planety przyciągane ich grawitacją, ujemna materia uciekałaby od takich planet. Byłaby odpychana przez wielkie ciała niebieskie, takie jak gwiazdy i planety, a nie przyciągana. Jeżeli więc ujemna materia istnieje, możemy spodziewać się ją znaleźć jedynie w odległej przestrzeni kosmicznej, ale z pewnością nie na Ziemi.

Jedną z propozycji poszukiwania ujemnej materii w przestrzeni kosmicznej polega na wykorzystaniu zjawiska zwanego soczewkowaniem grawitacyjnym. Zgodnie z ogólną teorią względności, gdy światło przechodzi w pobliżu gwiazdy lub galaktyki, jego tor ulega zakrzywieniu pod wpływem grawitacji. W 1912 roku (jeszcze przed pełnym opracowaniem ogólnej teorii względności) Einstein przewidział, że galaktyka może działać podobnie jak soczewka w teleskopie. Światło z odległego ciała niebieskiego podczas przejścia wokół pobliskiej galaktyki ulega skupieniu jak przy przejściu przez soczewkę, co powoduje, że gdy dotrze ono w końcu do Ziemi, zaobserwujemy charakterystyczny wzór pierścienia. Zjawisko to nosi obecnie nazwę pierścieni Einsteina. W 1979 roku w kosmosie zaobserwowano pierwsze z takich soczewek grawitacyjnych. Od tego czasu soczewki stały się nieodzownym narzędziem astronomów. (Na przykład, kiedyś sądzono, że wykrycie ciemnej materii w kosmosie nie będzie możliwe. [Ciemna materia jest tajemniczą substancją, która jest niewidoczna, ale ma masę. Otacza galaktyki i jest jej we Wszechświecie prawdopodobnie dziesięć razy więcej niż zwykłej, widocznej materii.] Jednak dzięki temu, że ciemna materia zakrzywia przechodzące przez nią światło w taki sam sposób, w jaki ulega ono zakrzywieniu przy przejściu przez szybę, uczonym z NASA udało się sporządzić mapy jej występowania).

Zatem wykorzystanie soczewek grawitacyjnych do poszukiwania w kosmosie ujemnej materii i tuneli czasoprzestrzennych powinno być możliwe. Powinny one zakrzywiać światło w szczególny sposób, co mogłoby zaobserwować Kosmiczny Teleskop Hubble'a. Jak dotąd nie wykryto soczewek Einsteina świadczących o istnieniu w przestrzeni kosmicznej ujemnej materii czy tuneli czasoprzestrzennych, ale poszukiwania cały czas trwają. Jeżeli któregoś dnia Kosmiczny Teleskop Hubble'a wykryje dzięki soczewkowaniu obecność ujemnej materii lub tunelu czasoprzestrzennego, odkrycie to może doprowadzić do wstrząsu w całej fizyce.

Ujemna energia różni się od ujemnej materii tym, że naprawdę istnieje, choć jedynie w niewielkich ilościach. W 1933 roku Hendrik Casimir przedstawił niezwykle przewidywanie opierające się na prawach mechaniki kwantowej. Twierdził, że dwie nienaładowane elektrycznie równoległe płytki metalowe będą się wzajemnie przyciągały, jak za sprawą magii. W normalnych warunkach równoległe płytki są nieruchome, ponieważ nie mają żadnego wypadkowego ładunku. Jednak próżnia między dwiema równoległymi płytkami nie jest pusta, lecz pełna cząstek

⁷⁸ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 154.

wirtualnych, które bezustannie pojawiają się i znikają.

Na krótką chwilę pojawiają się znikąd pary elektron-antyelektron, po to tylko, aby anihilować i zniknąć ponownie w próżni. To zabawne, że pusta przestrzeń, o której kiedyś sądzono, że nie ma w niej nic, teraz okazuje się aż kipieć od kwantowej aktywności. W normalnej sytuacji niewielkie wybuchy materii i antymaterii mogłyby się wydawać pogwałceniem zasady zachowania energii. Jednak z powodu obowiązywania zasady nieoznaczoności, te niewielkie naruszenia zasad fizyki mają niewiarygodnie krótki czas trwania i po uśrednieniu energia wciąż jest zachowywana.

Casimir odkrył, że obłok cząstek wirtualnych powoduje powstanie w próżni wypadkowego ciśnienia. Przestrzeń między dwiema równoległymi płytkami jest ograniczona i dlatego ciśnienie to jest niskie. Natomiast przestrzeń na zewnątrz płytek jest większa, nieograniczona i dlatego powstanie wypadkowe ciśnienie popychające płytki do siebie.

W normalnej sytuacji, gdy obie płytki znajdują się w spoczynku i są od siebie oddalone, mamy do czynienia z zerowym stanem energetycznym. Jeżeli jednak te płytki zbliżymy do siebie, będziemy mogli pozyskać z nich energię. Zatem, ponieważ płytkom odebrano energię kinetyczną, ich energia jest mniejsza od zera.

Tę ujemną energię rzeczywiście zmierzono w laboratorium w 1948 roku i uzyskane wyniki potwierdziły przewidywania Casimira. Ujemna energia i efekt Casimira to nie jest już fantastyka naukowa, ale fakty. Problem jednak w tym, że efekt Casimira jest dosyć mały; aby wykryć jego energię w laboratorium potrzebne są czułe, najbardziej zaawansowane urządzenia pomiarowe. (Ogólnie, energia Casimira jest wprost proporcjonalna do odwrotności czwartej potęgi odległości dzielącej płytki. Oznacza to, że im bliżej siebie znajdują się płytki, tym większa jest energia Casimira). Efekt Casimira zmierzyl dokładnie w 1996 roku Steven Lamoreaux z Los Alamos National Laboratory i okazało się, że działająca siła przyciągania jest równa 1/30000 ciężaru mrówki.

Od czasu, gdy Alcubierre przedstawił swoją teorię, fizycy odkryli wiele jej dziwnych właściwości. Ludzie znajdujący się wewnątrz takiego statku są przyczynowo odcięci od świata zewnętrznego. Znaczą to, że nie można podróżować szybciej od światła po prostu za naciśnięciem guzika. Nie można się porozumieć ze światem na zewnątrz pęcherzyka. W przestrzeni i czasie musi wcześniej istnieć trasa, jak w przypadku pociągów jeżdżących zgodnie z ustalonym rozkładem. W tym sensie taki statek kosmiczny nie byłby zwykłym pojazdem, który może dowolnie zmieniać kierunek i prędkość. Statek ten bardziej przypominałby wagonik kolejki poruszający się po uformowanej wcześniej fali skompresowanej przestrzeni, unoszony wzdłuż przygotowanego uprzednio korytarza zakrzywionej czasoprzestrzeni. Alcubierre uważa, że "potrzebne będą całe ciągi generatorów egzotycznej materii, które ustawione wzdłuż drogi, niczym urządzenia autostrady, będą w skoordynowany sposób zakrzywiać dla nas przestrzeń"⁷⁹.

Można jednak znaleźć jeszcze dziwniejsze rozwiązania równań Einsteina. Jeżeli mamy określoną ilość masy lub energii, możemy zgodnie z tymi równaniami obliczyć zakrzywienie

⁷⁹ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 154.

czasoprzestrzeni, które taka ilość wywoła (tak samo, jak możemy wyliczyć rodzaj fal, jakie wytworzy wrzucony przez nas do jeziora kamień). Równania te można jednak również zastosować w wersji odwróconej. Można wyjść od niezwyklej czasoprzestrzeni, takiej jaką można oglądać w odcinkach *Strefy mroku*. (W tych wszechświatach można na przykład otworzyć drzwi i znaleźć się nagle na Księżycu. Można okrążyć drzewo i odkryć, że cofnęliśmy się w czasie, a nasze serce jest teraz po prawej stronie). Następnie obliczyć rozkład materii i energii związany z tą konkretną czasoprzestrzenią. (Znaczy to, że jeżeli przyjmiemy jako punkt wyjścia nietypowe ukształtowanie fal na powierzchni jeziora, możemy przeprowadzić rachunki w odwrotną stronę i wyznaczyć układ kamieni potrzebnych do wytworzenia takich fal). W taki właśnie Sposób Alcubierre wyprowadził swoje równania. Wyszedł od czasoprzestrzeni umożliwiającej poruszanie się szybciej od światła, a następnie przeprowadził obliczenia w odwrotną stronę i wyznaczył energię potrzebną do jej uzyskania.

Tunele czasoprzestrzenne i czarne dziury

Drugą możliwością na pokonanie bariery światła, obok rozciągania przestrzeni, jest jej rozdieranie - wykorzystanie tuneli czasoprzestrzennych, przejść łączących dwa wszechświaty. Tunel czasoprzestrzenny po raz pierwszy pojawił się w literaturze za sprawą oksfordzkiego matematyka Charlesa Dodgsona, który pod pseudonimem Lewis Carroll napisał książkę *Po drugiej stronie lustra*. Magiczne lustro Alicji jest tunelem czasoprzestrzennym łączącym wiejskie okolice Oksfordu z Krainą Czarów. Przechodząc na jego drugą stronę, Alicja może w mgnieniu oka przenieść się z jednego wszechświata do drugiego. Matematycy nazywają to przestrzenią wielospójną.

W fizyce pojęcie tuneli czasoprzestrzennych pojawiło się w 1916 roku, rok po ogłoszeniu przez Einsteina wielkiej ogólnej teorii względności. Fizykowi Karlowi Schwarzschildowi, odbywającemu wówczas służbę w armii Jego Cesarskiej Mości, udało się znaleźć dokładne rozwiązanie równania Einsteina dla przypadku pojedynczej punktowej gwiazdy. Pole grawitacyjne takiej gwiazdy daleko od niej jest bardzo podobne do pola grawitacyjnego zwyczajnej gwiazdy - Einstein wykorzystał nawet rozwiązanie Schwarzschilda do obliczenia zakrzywienia światła wokół gwiazdy. Rozwiązanie Schwarzschilda wywarło natychmiast bardzo głęboki wpływ na astronomię i nawet dzisiaj jest wciąż jednym z najbardziej znanych rozwiązań równań Einsteina. Całe pokolenia fizyków wykorzystywały pole grawitacyjne wokół punktowej gwiazdy jako przybliżenie pola wokół prawdziwej gwiazdy o ograniczonej, niezerowej średnicy.

Jeżeli jednak potraktujemy to punktowe rozwiązanie poważnie, zauważymy, że w jego środku czai się przerażający, nieskończenie mały obiekt, który szokuje i zadziwia fizyków już od niemal stu lat - czarna dziura. Rozwiązanie Schwarzschilda wyznaczające grawitację punktowej gwiazdy stało się czymś w rodzaju konia trojańskiego. Z zewnątrz wyglądało niczym dar niebios, wewnątrz jednak kłębiły się wszelkiego rodzaju demony i upiory. Jednak jeżeli akceptujemy ten pierwszy aspekt, trzeba się pogodzić i z drugim. Z rozwiązania Schwarzschilda wynika, że gdy będziemy się zbliżać do takiej punktowej gwiazdy, zaczną się dziać niezwykle rzeczy. Gwiazdę otacza

niewidzialna sfera (zwana horyzontem zdarzeń) stanowiąca granicę, po przekroczeniu której nie ma już powrotu. Wszystko może swobodnie tam wejść, ale nic się już stamtąd nie wydostanie, jak z pułapki na karaluchy. Jeżeli przejdzie się na drugą stronę horyzontu zdarzeń, nigdy się już stamtąd nie powróci. (Aby wydostać się z wnętrza horyzontu zdarzeń, trzeba by się poruszać z prędkością większą od światła, a to niemożliwe).

Gdybyśmy się zbliżali do horyzontu zdarzeń, nasze atomy byłyby rozciągane przez siły pływowe. Grawitacja działająca na nasze stopy byłaby znacznie większa od grawitacji działającej na głowę, uleglibyśmy więc "spaghettyzacji" i rozerwaniu na części. Tak samo atomy naszego ciała uległyby rozciągnięciu i rozerwaniu pod wpływem grawitacji.

Obserwator, który z oddali przyglądałby się, jak zbliżamy się do horyzontu zdarzeń, miałby wrażenie, że nasz czas ulega spowolnieniu. A w momencie, w którym dotarlibyśmy do horyzontu zdarzeń, obserwator stwierdziłby, że nasz czas się zatrzymał!

Co więcej, w chwili przekraczania horyzontu zdarzeń ujrzelibyśmy uwięzione światło, które krąży wokół czarnej dziury od miliardów lat. Mielibyśmy wrażenie, że oglądamy film pokazujący szczegółowo całą historię czarnej dziury, od samego jej początku.

A gdyby w końcu udało nam się przedostać do samej czarnej dziury, po jej drugiej stronie rozciągałby się inny wszechświat. Jest to most Einsteina-Rosena, po raz pierwszy opisany przez Einsteina w 1935 roku; obecnie nazywamy go tunelem czasoprzestrzennym.

Einstein i inni fizycy uważali, że gwiazda nigdy w sposób naturalny nie mogłaby się zmienić w tak przerażający obiekt. W 1939 roku Einstein opublikował nawet artykuł, w którym dowodził, że obracająca się masa gazu i pyłu nigdy nie zagęści się do postaci czarnej dziury. Chociaż więc w środku czarnej dziury czaił się tunel czasoprzestrzenny, Einstein był przekonany, że tak dziwny obiekt nie mógłby nigdy powstać w sposób naturalny. Astrofizyk Arthur Eddington powiedział nawet kiedyś, że powinno istnieć "jakieś prawo przyrody zabraniające gwiazdzie zachowywać się tak absurdalnie". Innymi słowy, czarna dziura rzeczywiście była pełnoprawnym rozwiązaniem równań Einsteina, nie był jednak znany żaden naturalny mechanizm prowadzący do powstania takiego obiektu.

Wszystko się zmieniło wraz z ukazaniem się jeszcze w tym samym roku artykułu J. Roberta Oppenheimera i jego studenta Hartlanda Snydera, w którym wykazali oni, że czarne dziury mogą jednak powstawać w wyniku naturalnych procesów. Uczniowie założyli, że umierająca gwiazda, która zużyła całe swoje paliwo jądrowe, zapada się pod wpływem grawitacji i zostaje zgnieciona pod własnym ciężarem. Gdyby grawitacja zdołała ścisnąć gwiazdę do rozmiaru mniejszego od jej horyzontu zdarzeń, wtedy żaden znany nauce proces nie zdołałby powstrzymać grawitacji przed zgnieceniem jej do rozmiaru cząstki punktowej, do czarnej dziury. (To zjawisko grawitacyjnej implozji być może było dla Oppenheimera inspiracją kilka lat później, gdy konstruował bombę, którą następnie zrzucono na Nagasaki, a której działanie opierało się na implozji kuli plutonu).

Do kolejnego przełomu doszło w roku 1963, gdy matematyk z Nowej Zelandii Roy Kerr przeprowadził analizę najbardziej chyba realistycznego przykładu czarnej dziury. Kurcząca się

obiekty coraz szybciej wirują, podobnie jak łyżwiarze figurowi kręcą szybsze piruety, gdy przyciągają ręce blisko ciała. Dlatego czarne dziury powinny się obracać w fantastycznym tempie.

Kerr odkrył, że wirująca czarna dziura nie zapadnie się do gwiazdy o rozmiarze punktu, jak zakładał Schwarzschild, ale przekształci się w wirujący pierścień. Każdy nieszczęśnik, który uderzyłby w ten pierścień, zginąłby; ale ktoś, komu udało się wpaść do środka, nie straciłby życia, lecz przeleciałby na drugą stronę. Jednak nie dotarłby wcale na drugą stronę pierścienia, ale przeszedłszy przez most Einsteina-Rosena znalazłby się w innym wszechświecie. Można więc powiedzieć, że wirująca czarna dziura jest ramą magicznego lustra Alicji.

Gdyby taka osoba okrążyła wirujący pierścień i przeszła przezeń po raz drugi, wkroczyłaby do jeszcze innego wszechświata. Kolejne przejścia przez wirujący pierścień powodowałyby przedostawanie się podróżnika do kolejnych wszechświatów równoległych, co można by porównać z naciskaniem guzika "następne piętro" w windzie. W zasadzie mogłaby istnieć nieskończona liczba wszechświatów, jeden nad drugim. "Przejdź przez ten magiczny pierścień i - presto! - znajdujesz się w zupełnie innym wszechświecie, gdzie promień oraz masa są ujemne!"⁸⁰ - pisał Kerr.

Tkwi w tym wszystkim jednak pewien istotny haczyk. Czarne dziury są przykładami "jednokierunkowych tuneli czasoprzestrzennych"; to znaczy przejście przez horyzont zdarzeń jest podróżą tylko w jedną stronę. Jeżeli przekroczymy horyzont zdarzeń i przejdziemy przez pierścień Kerra, droga powrotna przez pierścień i na zewnątrz poza horyzont nie będzie już możliwa.

Jednak w 1988 roku Kip Thorne wraz z kolegami z Cal Tech znalazł przykład dwukierunkowego tunelu czasoprzestrzennego, to znaczy takiego, przez który można swobodnie przechodzić tam i z powrotem. W przypadku jednego z rozwiązań, podróż przez tunel czasoprzestrzenny nie powinna nawet być gorsza od rejsu samolotem.

W normalnej sytuacji grawitacja zgniotłaby wlot do tunelu czasoprzestrzennego, zabijając astronautów próbujących przedostać się na drugą stronę. Jest to jeden z powodów, dla których nie można podróżować przez tunele czasoprzestrzenne szybciej od światła. Jednak można sobie wyobrazić, że siła odpychająca towarzysząca ujemnej energii lub ujemnej masie mogłaby spowodować, że wlot tunelu będzie otwarty wystarczająco długo, by astronauta mogli swobodnie przezeń przejść. Wynika stąd, że ujemna masa lub energia są kluczowe zarówno dla napędu Alcubierrego, jak i podróży przez tunele czasoprzestrzenne.

W czasie ostatnich kilku lat znaleziono zadziwiająco wiele rozwiązań równań Einsteina zezwalających na istnienie tuneli czasoprzestrzennych. Ale czy takie tunele rzeczywiście istnieją, czy też są tylko matematycznym wytworem? Z tunelami czasoprzestrzennymi wiąże się kilka poważnych problemów.

Po pierwsze, aby wytworzyć potężne zniekształcenia przestrzeni i czasu konieczne do odbycia podróży przez tunel czasoprzestrzenny, potrzebne byłyby olbrzymie ilości dodatniej i ujemnej

⁸⁰ M. Rees, *Przed początkiem: nasz Wszechświat i inne wszechświaty*, przeł. E. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999, s. 107.

materii, wielkości ogromnej gwiazdy lub czarnej dziury. Matthew Visser, fizyk z Uniwersytetu Waszyngtońskiego, szacuje, że ilość ujemnej energii potrzebnej do otwarcia jednowymiarowego tunelu czasoprzestrzennego jest porównywalna z masą Jowisza, tyle tylko, że musiałaby ona być ujemna. Twierdzi, że “do wykonania tego zadania potrzebna jest mniej więcej minus jedna masa Jowisza. Nawet posługiwanie się dodatnią masą-energią Jowisza jest dosyć przerażające i daleko przewyższa nasze możliwości w dającej się przewidzieć przyszłości”⁸¹.

Kip Thorne z California Institute of Technology przypuszcza, iż “w przyszłości okaże się, że prawa fizyki wprawdzie dopuszczają zgromadzenie w tunelu wielkości człowieka dostatecznej ilości egzotycznej materii, by tunel był stabilny, ale osiągnięcie tego będzie całkowicie niewyobrażalne dla ludzkiej cywilizacji”⁸².

Po drugie, nie mamy pojęcia, jak bardzo stabilne byłyby takie tunele. Wytwarzane przez nie promieniowanie mogłoby zabić każdego, kto do nich wejdzie. Być może też takie tunele nie byłyby w ogóle stabilne i zamykałyby się, gdy tylko ktoś wszedłby do ich wnętrza.

Po trzecie, promienie światła wpadające do czarnej dziury ulegałyby przesunięciu ku błękitowi; to znaczy, w miarę zbliżania się do horyzontu zdarzeń, uzyskiwałyby coraz większą energię. W rzeczywistości na samym horyzoncie zdarzeń światło ma praktycznie nieskończone przesunięcie ku błękitowi, co oznacza, że promieniowanie takiej wpadającej energii mogłoby spowodować śmierć wszystkich, którzy znajdowałiby się w pojeździe kosmicznym.

Omówmy te problemy trochę bardziej szczegółowo. Jednym z nich jest zgromadzenie energii wystarczającej do rozerwania tkanki przestrzeni i czasu. Najprostszym sposobem, by to osiągnąć, jest zgniecenie jakiegoś obiektu do rozmiaru mniejszego od jego horyzontu zdarzeń. W przypadku Słońca oznacza to, że należałoby je zgnieść do średnicy około 3,2 kilometra, po czym zapadłoby się ono, tworząc czarną dziurę. (Grawitacja Słońca jest zbyt słaba, by w sposób naturalny osiągnęło ono średnicę 3,2 kilometra, więc nasze Słońce nigdy nie stanie się czarną dziurą. W zasadzie oznacza to, że wszystko, nawet my sami, może stać się czarną dziurą, jeżeli tylko zostanie odpowiednio mocno ściśnięte. W tym celu trzeba by zmieścić wszystkie cząsteczki naszego ciała w obszarze mniejszym od atomu - taki wyczyn całkowicie przekracza możliwości współczesnej nauki).

Bardziej praktycznym podejściem byłoby zbudowanie baterii dział laserowych, które wystrzeliłyby silną wiązkę w jeden określony punkt. Albo wybudowanie wielkiego zderzacza atomów wytwarzającego dwie wiązki, które zderzyłyby się ze sobą z niespotykaną energią, wystarczającą do stworzenia niewielkiego rozdarcia w tkance czasoprzestrzeni.

Energia Plancka i akceleratory cząstek

Można wyznaczyć ilość energii potrzebnej do wytworzenia niestabilności przestrzeni i czasu: jest ona rzędu energii Plancka, czyli 10^{19} miliardów elektronowoltów. Jest to rzeczywiście

⁸¹ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 145.

⁸² S.W. Hawking, S.K.S. Thorne, I. Novikov, T. Ferris, A. Lightman, *Przyszłość czasoprzestrzeni*, przeł. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Poznań 2002, s. 131.

niewyobrażalnie wielka liczba, biliard razy większa od energii osiągniętej przez najpotężniejsze obecnie urządzenie - znajdujący się niedaleko Genewy Wielki Zderzacz Hadronów (LHC). LHC potrafi rozpędzać protony wewnątrz wielkiego torusa tak długo, aż osiągną energię bilionów elektronowoltów - tak wielkich energii nie było od czasu Wielkiego Wybuchu. Ale nawet to monstrualne urządzenie jest za słabe, by wytworzyć energię porównywalną z energią Plancka.

Kolejnym po LHC akceleratorem, który zostanie wybudowany, będzie Międzynarodowy Zderzacz Liniowy (ILC, International Linear Collider). Zamiast zakrzywiać tor cząstek subatomowych w okrąg, ILC będzie je wystrzeliwał po linii prostej. Poruszającym się po takim torze cząstkom energia będzie dostarczana z zewnątrz tak długo, aż w końcu ich własna energia osiągnie niewyobrażalnie dużą wartość. Wtedy wiązka elektronów zostanie zderzona z antyelektronami, co spowoduje ogromny rozbłysk energii. ILC będzie miał długość od 30 do 40 kilometrów, czyli będzie dziesięć razy dłuższy od liniowego akceleratora w Stanford, największego obecnie akceleratora tego typu. Jeżeli wszystko pójdzie zgodnie z planem, ILC powinien zostać ukończony w przyszłym dziesięcioleciu.

Energia wytwarzana przez ILC będzie wynosiła od 0,5 do 1,0 biliona elektronowoltów - co jest wartością mniejszą od 14 bilionów elektronowoltów uzyskiwanych w LHC, ale takie porównanie jest mylące. (W LHC zderzenia między protonami zachodzą w istocie między tworzącymi je kwarkami. Zatem zderzenia z udziałem kwarków zachodzą z energiami mniejszymi niż 14 bilionów elektronowoltów. Dlatego w ILC będzie dochodziło do zderzeń z energiami większymi niż w LHC). Dodatkowo, ponieważ zgodnie z naszą wiedzą elektrony nie składają się z innych cząstek, dynamika zderzeń między elektronami i antyelektronami jest prostsza i czystsza.

Jednak realnie patrząc, również ILC nie zdoła wytworzyć dziury w czasoprzestrzeni. Żeby tego dokonać, potrzebny byłby akcelerator biliard razy potężniejszy. W przypadku naszej cywilizacji typu 0, wykorzystującej jako paliwo martwe rośliny (na przykład ropę i węgiel), takie rozwiązania techniczne to zupełna mrzonka. Mogą one jednak być osiągalne dla cywilizacji typu III.

Jak pamiętamy, cywilizacja typu III, czerpiąca energię z całej galaktyki, zużywa 10 miliardów razy więcej energii od cywilizacji typu II, która pozyskuje ją tylko z jednej gwiazdy. Z kolei cywilizacja typu II zużywa 10 miliardów razy więcej energii od cywilizacji typu I, której zasoby energetyczne opierają się na energii jednej planety. Za sto lub dwieście lat nasza słabowita cywilizacja typu 0 osiągnie poziom I.

Z tymi przewidywaniami czeka nas jeszcze bardzo długa droga, zanim będziemy potrafili osiągnąć energię Plancka. Wielu fizyków uważa, że w niezwykle małych odległościach - w skali Plancka wynoszącej 10^{33} centymetra, przestrzeń nie jest pusta i gładka, lecz staje się spieniona; pełno w niej małych pęcherzyków, które bezustannie pojawiają się znikąd, zderzają się z innymi pęcherzykami i znikają ponownie w próżni. Te pojawiające się i znikające w próżni pęcherzyki są wirtualnymi wszechświatami, bardzo podobnymi do wirtualnych elektronów i antyelektronów, które również nagle pojawiają się i znikają.

W normalnych warunkach, ta kwantowa piana czasoprzestrzenna jest całkowicie dla nas

niewidoczna. Pęcherzyki te powstają w tak mikroskopijnych skalach, że nie możemy ich zaobserwować. Jednak z fizyki kwantowej wynika, że jeżeli w jednym miejscu skoncentrujemy wystarczająco dużą energię, aż do osiągnięcia energii Plancka, te pęcherzyki mogą się powiększyć. Wtedy zobaczylibyśmy czasoprzestrzeń kipiącą od małych pęcherzyków, a każdy z nich byłby tunelem czasoprzestrzennym do wszechświata potomnego.

W przeszłości wszechświaty potomne były uważane za intelektualną ciekawostkę, dziwną konsekwencję teorii matematycznej. Obecnie jednak fizycy poważnie zastanawiają się, czy nasz Wszechświat nie mógł powstać jako jeden z takich wszechświatów potomnych.

Takie rozważania są czystą spekulacją, lecz prawa fizyki pozwalają na wytworzenie dziury w przestrzeni w wyniku skoncentrowania w jednym punkcie wystarczającej ilości energii, aż ukaże się piana czasoprzestrzeni i wyłonią się tunele czasoprzestrzenne łączące nasz Wszechświat z wszechświatem potomnym.

Wytworzenie dziury w przestrzeni wymagałoby oczywiście dokonania wielkich przełomów w rozwiązaniach technicznych, ale pamiętajmy, że będzie to prawdopodobnie osiągalne dla cywilizacji typu III. Uzyskano na przykład obiecujące rezultaty w pracach nad skonstruowaniem miniaturowego akceleratora plazmowego. Godne uwagi jest to, że ten zderzacz atomów jest tak mały, że można go zmieścić na stole, ale mimo to umożliwia osiągnięcie energii miliardów elektronowoltów. W miniaturowym akceleratorze plazmowym strzela się wiązkami laserowymi w cząstki mające ładunek elektryczny, które następnie wykorzystują energię lasera. Doświadczenia przeprowadzone w Centrum Akceleratora Liniowego (Linear Akcelerator Center) w Stanford, w Rutherford Appleton Laboratory w Anglii oraz w Ecole Polytechnique w Paryżu wykazały, że wykorzystanie wiązek laserowych i plazmy do dostarczania energii umożliwia osiągnięcie olbrzymich przyspieszeń na niewielkich odległościach.

Do jeszcze jednego przełomu doszło w 2007 roku, gdy fizycy i inżynierowie z Centrum Akceleratora Liniowego w Stanford, UCLA (University of California Los Angeles) i USC (University of Southern California, Uniwersytet Południowej Kalifornii) dowiedli, że na odległości zaledwie 1 metra można podwoić energię olbrzymiego akceleratora cząstek. Eksperyment rozpoczęli od wiązki elektronów, które wystrzeliwuje się do wnętrza długiego na 3,2 kilometra akceleratora w Stanford, gdzie uzyskują energię 42 miliardów elektronowoltów. Następnie takie wysokoenergetyczne elektrony przepuszczono przez dopalacz, komorę plazmową o długości zaledwie 88 centymetrów, w wyniku czego elektrony uzyskały dodatkowe 42 miliardy elektronowoltów, podwajając tym samym swoją energię. (Komora plazmowa jest wypełniona litem w stanie gazowym. Przechodzące przez niego elektrony powodują powstanie fali plazmowej, która z kolei skutkuje wytworzeniem się kilowateru. Tak powstały kilowater podąża za wiązką elektronów i popychają do przodu, zwiększając jej prędkość). Dzięki temu osiągnięciu, fizycy poprawili o czynnik trzech tysięcy poprzedni rekord ilości energii przekazywanej w procesie akceleracji wiązki elektronów na jednostkę długości. Dodając takie dopalacze do istniejących akceleratorów, można by w zasadzie podwoić ich energię, niemal za darmo.

Obecny rekord świata dla miniaturowego akceleratora plazmowego wynosi 200 miliardów elektronowoltów na metr. Istnieją jednak liczne problemy z utrzymaniem takiego wyniku na większych odległościach (takie jak na przykład zapewnienie stabilności wiązki w miarę wpompowywania w nią coraz większej energii z lasera). Jeżeli jednak przyjmujemy, że udałoby się utrzymać poziom 200 miliardów elektronowoltów na metr, aby osiągnąć energię Plancka należałoby skonstruować akcelerator o długości 10 lat świetlnych. Całkowicie mieści się to w możliwościach cywilizacji typu III.

Tunele czasoprzestrzenne i rozciągnięta przestrzeń mogą stanowić najbardziej realny sposób na pokonanie bariery prędkości światła. Nie wiemy jednak, czy takie rozwiązania są stabilne; jeżeli tak, aby mogły one zadziałać, wciąż potrzebna byłaby ogromna ilość energii, dodatniej lub ujemnej.

Być może jakaś zaawansowana cywilizacja typu III już dysponuje takimi rozwiązaniami. Jednak będą musiały upłynąć może nawet tysiąclecia, zanim my sami będziemy mogli rozważyć wykorzystanie energii tej skali. Ponieważ wciąż istnieją kontrowersje dotyczące podstawowych praw rządzących tkanką czasoprzestrzeni na poziomie kwantowym, zaliczyłbym to zagadnienie do niemożliwości typu II.

Rozdział 12

PODRÓŻE W CZASIE

Jeżeli podróże w czasie są możliwe, to gdzie się podziewają ci wszyscy turyści z przyszłości?

- Stephen Hawking

"[Podróże w czasie] stoją w sprzeczności ze zdrowym rozsądkiem"

- powiedział Filby. "Z jakim zdrowym rozsądkiem?" - zapytał Podróżnik w Czasie.

- H.G. Wells

W książce *Janus Equation* (Równanie Janusa) pisarz Steven G. Spruill zajął się jednym z najbardziej niepokojących problemów związanych z podróżami w czasie⁸³. W tej opowieści pewien zdolny matematyk, pragnący odkryć tajemnicę podróży w czasie, spotyka niezwykłą, piękną kobietę, w której się zakochuje, chociaż nic nie wie o jej przeszłości. Coraz bardziej chciałby jednak odkryć prawdziwą tożsamość ukochanej. W końcu dowiaduje się, że kiedyś przeszła operację plastyczną, która zmieniła jej wygląd. I że przeszła również operację zmiany płci. Ostatecznie odkrywa, że "ona" jest w rzeczywistości podróżnikiem w czasie, przybyłym z przyszłości, oraz że "ona" jest nim samym, z przyszłości. Oznacza to, że uprawiał miłość sam ze sobą. To powoduje, że zaczynamy się zastanawiać, co by się stało, gdyby mieli dziecko? A gdyby to dziecko cofnęło się w przeszłość, by wyrosnąć na matematyka, którego spotykamy na początku opowieści, czy oznaczałoby to możliwość bycia własną matką, ojcem, synem i córką?

Zmienianie przeszłości

Czas jest jedną z największych tajemnic Wszechświata. Wszyscy wbrew naszej woli unosimy się z nurtem rzeki czasu. Około 400 roku święty Augustyn obszernie pisał o paradoksalnej naturze czasu: "Owe dwie dziedziny czasu - przeszłość i przyszłość - w jakież sposób istnieją, skoro przeszłości już nie ma, a przyszłości jeszcze nie ma? Teraźniejszość zaś, gdyby zawsze była teraźniejszością i nie odchodziła w przeszłość, już nie czasem byłaby, ale wiecznością"⁸⁴. Jeżeli pójdziemy dalej drogą rozumowania świętego Augustyna, przekonamy się, że czas nie może istnieć, ponieważ przeszłości już nie ma, przyszłość nie istnieje a teraźniejszość trwa jedynie chwilę. (Święty Augustyn postawił następnie głębokie teologiczne pytania o wpływ czasu na Boga - kwestie te są istotne nawet dzisiaj. Jeżeli Bóg jest wszechmocny i wszechpotężny - pisał - to czy wiąże Go upływ czasu? Innymi słowy, czy Bóg, tak jak reszta nas, śmiertelników, musi się spieszyć, by nie spóźnić się na spotkanie? Święty Augustyn doszedł ostatecznie do wniosku, że Bóg jest wszechmocny i dlatego nie może go ograniczać czas, a z tego wynika, że musi On istnieć "poza czasem". Chociaż pomysł istnienia poza czasem wydaje się absurdalny, jak się przekonamy, idea ta wielokrotnie powraca we współczesnej fizyce).

Zapewne każdy z nas, tak jak święty Augustyn, rozmyślał kiedyś nad niezwykłą naturą czasu i

⁸³ P. Nahin, *Time Machines*, Springer Verlag, New York 1999, s. 322.

⁸⁴ Święty Augustyn, *Wyznania*, ks. XI, 14, przeł. Z. Kubiak, Wydawnictwo Znak, Kraków 2007, s. 347-348 (przyp. tłum.).

nad tym, jak się on różni od przestrzeni. Skoro możemy poruszać się do przodu i do tyłu w przestrzeni, dlaczego nie możemy przemieszczać się tak samo w czasie? Zastanawiamy się również, jak może wyglądać przyszłość, czasy, gdy już nie będzie nas na świecie. Czas życia ludzi jest skończony, nie opuszcza nas jednak przemożna ciekawość tego, co się wydarzy długo po naszym odejściu.

Chociaż nasze marzenia o podróżowaniu w czasie są prawdopodobnie tak stare jak sama ludzkość, wydaje się, że pierwszą spisaną opowieścią o podróży w czasie jest książka *Memoirs of the Twentieth Century* (Pamiętniki z dwudziestego wieku), napisana w 1733 roku przez Samuela Maddena, opowiadająca historię anioła z 1997 roku, który cofa się 250 lat w przeszłość, aby przekazać brytyjskiemu ambasadorowi dokumenty opisujące świat przyszłości.

Później pojawi się wiele podobnych opowieści. W anonimowym opowiadaniu z 1838 roku *Missing One's Coach: An Anachronism* (Spóźnienie na dyliżans: Anachronizm) pewien mężczyzna czeka na dyliżans i nagle przenosi się tysiąc lat w przeszłość. Spotyka mnicha ze starożytnego klasztoru i próbuje mu wyjaśnić, jak potoczy się historia najbliższego tysiąca lat. Później niespodziewanie, równie tajemniczo zostaje przeniesiony z powrotem do teraźniejszości, tyle tylko że w wyniku tej przygody spóźnia się na dyliżans.

Nawet powieść Karola Dickensa pod tytułem *Opowieść wigilijna* jest swego rodzaju opowieścią o podróży w czasie, ponieważ Ebenezer Scrooge zostaje zabrany w przeszłość i w przyszłość, aby mógł się przekonać, jak wyglądał świat przed chwilą obecną i jak będzie wyglądał po jego śmierci.

Pierwszy opis podróży w czasie w literaturze amerykańskiej pojawił się w powieści Marka Twaina z 1889 roku *Jankes na dworze króla Artura*. Żyjący w XIX wieku Jankes zostaje przetrzucony wstecz w czasie i ląduje na dworze króla Artura w roku 528. Zostaje uwięziony i gdy prowadzą go na stos, na którym ma spłonąć, oznajmia nagle, że posiada moc zgaszenia Słońca, przypomina sobie bowiem, że dokładnie tego dnia ma nastąpić zaćmienie. Gdy dochodzi do zaćmienia, zgromadzeni wpadają w przerażenie i zgadzają się go uwolnić i obdarzyć przywilejami, jeśli tylko zwróci im Słońce.

Jednak pierwszą poważną próbą zmierzenia się w literaturze z tematem podróży w czasie była klasyczna powieść H.G. Wellsa *Wehikuł czasu*, w której główny bohater zostaje wysłany setki tysięcy lat w przyszłość. W tych odległych czasach ludzkość podzieliła się genetycznie na dwie rasy, groźnych Morloków opiekujących się brudnymi podziemnymi maszynami oraz bezużytecznych, zdzieciniałych Ełojów, którzy tańczą na powierzchni w blasku słońca i nie zdają sobie sprawy ze swojego okropnego przeznaczenia (że mają być pożarci przez Morloków).

Od tego momentu podróże w czasie stały się w fantastyce naukowej regularnie wykorzystywanym motywem, od *Star Trek* po *Powrót do przyszłości*. W filmie *Superman I*, gdy Superman dowiaduje się o śmierci Lois Lane, zrozpaczony postanawia cofnąć wskazówki zegara i krąży wokół Ziemi z prędkością większą od prędkości światła, powodując, że czas zaczyna się cofać. Ziemia zwalnia, zatrzymuje się i w końcu obraca się w odwrotnym kierunku, a wtedy wszystkie zegary na Ziemi zaczynają chodzić do tyłu. Wywołane powodzią rozlewiska cofają się,

przerwana tama w cudowny sposób się odbudowuje, a Lois Lane powraca z martwych.

Z punktu widzenia nauki podróżowanie w czasie było niemożliwe we wszechświecie Newtonowskim, w którym czas jest porównywany do strzały. Raz wystrzelony, nigdy nie może zboczyć ze swojej drogi. Jedna sekunda na Ziemi jest jedną sekundą w całym Wszechświecie. Takie pojmowanie czasu zostało obalone przez Einsteina, który dowiódł, że bardziej przypomina on rzekę wijącą się przez Wszechświat, która przyspiesza i zwalnia, gdy okrąża gwiazdy i galaktyki. Zatem jedna sekunda na Ziemi nie jest bezwzględna; czas zmienia się, gdy zmieniamy swoje położenie we Wszechświecie.

Jak wspomnieliśmy, zgodnie ze szczególną teorią względności Einsteina, czas tym bardziej zwalnia wewnątrz rakiety, im szybciej się ona porusza. Pisarze zajmujący się fantastyką naukową sugerują, że jeżeli pokona się barierę prędkości światła, można cofnąć się w czasie. Nie jest to jednak możliwe, ponieważ aby osiągnąć prędkość światła, musielibyśmy mieć nieskończoną masę. Prędkość światła jest ostatecznym ograniczeniem dla wszystkich rakiet. Załoga statku "Enterprise" w filmie *Star Trek N: Powrót na Ziemię* wprowadziła klingoński statek kosmiczny i wykorzystała go, aby okręcić się wokół Słońca, i wylatując jak z procy, przełamać barierę światła. Dzięki temu mogli znaleźć się w San Francisco w latach sześćdziesiątych. Jest to jednak sprzeczne z prawami fizyki.

Niemniej, podróż w czasie do przyszłości jest możliwa, co zostało doświadczalnie potwierdzone miliony razy. Podróż do odległej przyszłości bohatera *Wehikułu czasu* jest w rzeczywistości fizycznie możliwa. Gdyby astronauta leciał z prędkością bliską prędkości światła, dotarcie do najbliższej gwiazdy zabrałoby mu, powiedzmy, jedną minutę. Na Ziemi upłynęłyby w tym czasie cztery lata, ale w jego życiu byłaby to zaledwie minuta, ponieważ wewnątrz jego statku raketowego czas zwolniłby bieg. Zatem przeniósłby się cztery lata w przyszłość względem czasu odczuwanego na Ziemi. (Nasi astronauty odbywają krótką podróż do przyszłości za każdym razem, gdy wylatują w kosmos. Ponieważ nad Ziemią poruszają się z prędkością 29 000 kilometrów na godzinę, ich zegary chodzą nieznacznie wolniej od zegarów na Ziemi. Zatem w czasie rocznej misji w stacji kosmicznej, do chwili wylądowania na Ziemi przemieszczają się o ułamek sekundy w przyszłość. Rekord świata w podróżowaniu w przyszłość należy obecnie do rosyjskiego kosmonauty Siergieja Awdiejewa, który przebywał na orbicie przez 748 dni i tym samym przeniósł się 0,02 sekundy w przyszłość).

Zatem wehikuł czasu umożliwiający podróż w przyszłość jest zgodny ze szczególną teorią względności Einsteina. A co z cofaniem się w czasie?

Gdybyśmy mogli podróżować wstecz w czasie, spisanie historii byłoby niemożliwe. Gdy tylko historycy opisaliby dawne dzieje, ktoś mógłby cofnąć się do przeszłości i zmienić ją. Wehikuły czasu nie tylko pozbawiłyby pracy historyków, ale pozwoliłyby nam również dowolnie zmieniać bieg wypadków. Gdybyśmy na przykład cofnęli się do epoki dinozaurów i przypadkowo rozdeptali ssaka, który, tak się dziwnie składa, był naszym przodkiem, być może niechętny zmiotlibyśmy z powierzchni ziemi całą ludzkość. Historia stałaby się niekończącym się dziwnym odcinkiem Monty Pythona, a turyści z przyszłości trataliby się wzajemnie w pobliżu wydarzeń

historycznych, próbując wywalczyć sobie jak najlepsze miejsce do zrobienia zdjęcia.

Podróże w czasie: pole doświadczalne fizyków

Osoba, która najbardziej chyba wyróżniła się w operowaniu zawiłymi równaniami matematycznymi opisującymi czarne dziury i wehikuły czasu, jest kosmolog Stephen Hawking. W przeciwieństwie do innych badaczy teorii względności, którzy często już w młodym wieku wyróżniają się w dziedzinie fizyki matematycznej, Hawking w młodości nie był wybijającym się studentem. Oczywiście był niezwykle inteligentny, lecz jego nauczyciele często zwracali uwagę na to, że nie potrafi skupić się na nauce i nie wykorzystuje w pełni swoich możliwości. Punktem zwrotnym był rok 1962, gdy po ukończeniu studiów w Oksfordzie zauważył u siebie pierwsze objawy ALS - stwardnienia zanikowego bocznego (ALS, *amyotrophic lateral sclerosis*), zwanego również chorobą Lou Gehriga. Wstrząsnęła nim wiadomość, że cierpi na nieuleczalną chorobę uszkadzającą neurony ruchowe, która pozbawi go sprawności ruchowej, a niewykluczone, że również wkrótce doprowadzi do śmierci. Początkowo ta informacja wprowadziła go w stan całkowitego przygnębienia. Jaki sens ma robienie doktoratu, skoro i tak wkrótce ma umrzeć?

Gdy jednak minął początkowy szok, po raz pierwszy w życiu skupił całą swoją uwagę na konkretnym celu. Uświadomiwszy sobie, że niekoniecznie czeka go długie życie, zaczął zaciekle zmagać się z najtrudniejszymi problemami ogólnej teorii względności. Na początku lat siedemdziesiątych opublikował serię przełomowych artykułów dowodzących, że osobliwości w teorii Einsteina (miejsca, w których grawitacja staje się nieskończona, jak w środku czarnej dziury lub w chwili Wielkiego Wybuchu) są podstawową cechą teorii względności i nie można się ich łatwo pozbyć (jak sądził Einstein). W 1974 roku Hawking dowiódł ponadto, że czarne dziury nie są całkowicie czarne, ale stopniowo emitują promieniowanie, obecnie znane jako promieniowanie Hawkinga, które może przetunelować przez pole grawitacyjne nawet tak potężne, jak w przypadku czarnej dziury. W artykule tym po raz pierwszy na taką skalę zastosowano teorię kwantową w teorii względności i do dzisiaj jest to najbardziej znana jego praca.

Zgodnie z przewidywaniami, ALS powoli doprowadziło u niego do paraliżu rąk, nóg, a nawet strun głosowych, jednak w znacznie wolniejszym tempie, niż początkowo przewidywali lekarze. Dzięki temu mógł doświadczyć wielu zwyczajnych wydarzeń, jakie zachodzą w życiu zdrowych ludzi: został ojcem trójki dzieci (jest już nawet dziadkiem), w 1991 roku rozwiódł się z pierwszą żoną, cztery lata później poślubił byłą żonę inżyniera, który zaprojektował dla niego syntezator mowy, a w 2006 roku wniósł pozew o rozwód ze swoją drugą żoną. W 2007 roku trafił na czołówki gazet, gdy znalazł się na pokładzie odrzutowca, w którym doświadczył stanu nieważkości, spełniając marzenie swojego życia. Jego kolejnym celem jest lot w kosmos.

Obecnie jest już prawie całkowicie sparaliżowany i przykuty do wózka inwalidzkiego porozumiewa się ze światem zewnętrznym jedynie za pomocą ruchu oczami. A jednak pomimo tak druzgocącego kalectwa, wciąż opowiada dowcipy, pisze artykuły, wygłasza wykłady i wdaje się w spory. Jest bardziej produktywny, poruszając jedynie oczami, niż całe zespoły uczonych mających pełną władzę nad swoim ciałem. (Jego kolega na uniwersytecie w Cambridge, sir Martin Rees,

mianowany przez królową brytyjską królewskim astronomem, zwierzył mi się kiedyś, że inwalidztwo Hawkinga uniemożliwia mu przeprowadzanie uciążliwych rachunków, koniecznych, by nie wypaść z gry. Zamiast tego skupia się więc raczej na wymyślaniu nowych, świeżych pomysłów, a nie na wykonywaniu trudnych obliczeń, które mogą zrobić jego studenci).

W 1990 roku Hawking przeczytał artykuły swoich kolegów, w których proponowali różne wersje wehikułu czasu, i od razu nabrał do takich pomysłów sceptycznego nastawienia. Intuicja podpowiadała mu, że podróże w czasie nie są możliwe, skoro nie spotykamy żadnych turystów z przyszłości. Gdyby podróże w czasie były tak powszechne, jak niedzielny piknik w parku, to podróżnicy w czasie bezustannie powinni dreptać za nami z aparatami fotograficznymi, prosząc o wspólne zdjęcie do rodzinnego albumu.

Hawking rzucił również wyzwanie światowi fizyki. Powinno istnieć prawo, stwierdził, uniemożliwiające odbywanie podróży w czasie. Zaproponował przyjęcie "hipotezy o ochronie chronologii", która zakazywałaby podróży w czasie na gruncie praw fizyki, aby "historia pozostała bezpieczna dla historyków".

Wstydliwą rzeczą jest jednak fakt, że bez względu na włożony w poszukiwania wysiłek, fizycy nie potrafili znaleźć żadnego prawa, które nie zezwalałoby na podróże w czasie. Najwyraźniej takie podróże są zgodne ze znanymi prawami fizyki. W obliczu problemów ze znalezieniem prawa uniemożliwiającego podróże w czasie, Hawking niedawno zmienił zdanie. Pojawił się na czołówkach londyńskich gazet, gdy powiedział, że "podróże w czasie mogą być możliwe, ale nie są praktyczne".

Kiedyś uważane za peryferie nauki, podróże w czasie nagle stały się dla fizyków teoretyków placem zabaw. Fizyk Kip Thorne z Cal Tech pisze: "Podróże w czasie były kiedyś wyłącznie domeną autorów fantastyki naukowej. Poważni uczeni wystrzegali się ich jak zarazy - nawet gdy pod pseudonimem pisali taką literaturę lub czytali ją prywatnie. Jak bardzo czasy się zmieniły! Teraz w poważnych czasopismach naukowych można znaleźć naukowe analizy podróży w czasie, napisane przez uznanych fizyków teoretyków [...]. Skąd taka zmiana? Wynika z tego, że fizycy uświadomili sobie, że natura czasu jest zbyt ważną kwestią, by można ją było zostawić jedynie w rękach pisarzy fantastyki naukowej"⁸⁵.

Powodem całego tego zamieszania i wzburzenia jest fakt, że równania Einsteina zezwalają na istnienie wielu rodzajów wehikułu czasu. (Chociaż wciąż nie jest jasne, czy sprostają one wyzwaniom teorii kwantowej). W rzeczywistości w teorii Einsteina często spotyka się zamknięte krzywe czasowe, co jest żargonowym określeniem na trajektorie dopuszczające cofanie się w przeszłość. Gdybyśmy podążali po zamkniętej krzywej czasowej, wyruszylibyśmy w podróż i powrócili przed jej rozpoczęciem.

Pierwszy rodzaj wehikułu czasu związany jest z tunelem czasoprzestrzennym. Istnieje wiele rozwiązań równań Einsteina łączących dwa odległe punkty w przestrzeni. Ponieważ jednak przestrzeń i czas są w teorii Einsteina blisko ze sobą związane, ten sam tunel czasoprzestrzenny

⁸⁵ P. Nahin, *op. cit.*, s. ix.

może również łączyć ze sobą dwa punkty w czasie. Przelatując przez taki tunel, moglibyśmy odbyć podróż w przeszłość (przynajmniej matematycznie). Można sobie wyobrazić, że następnie udajemy się do miejsca, skąd wyruszyliśmy i spotykamy samych siebie. Jak jednak wspomnieliśmy w poprzednim rozdziale, przejście przez tunel czasoprzestrzenny wewnątrz czarnej dziury jest wyprawą w jedną stronę. Fizyk Richard Gott ujął to następująco: "Nie ma, jak sądzę, żadnych wątpliwości co do tego, że człowiek może odbyć podróż wstecz w czasie, kiedy znajdzie się w czarnej dziurze. Pytanie tylko, czy zdołałby się kiedykolwiek z niej wydobyć, żeby się tym pochwalić"⁸⁶.

Inny typ wehikułu czasu związany jest z obracającym się Wszechświatem. W 1949 roku matematyk Kurt Godeł odkrył pierwsze rozwiązanie równań Einsteina związane z podróżami w czasie. Jeżeli Wszechświat się obraca, to w wyniku wystarczająco szybkiego okrążania go można znaleźć się w przeszłości i powrócić, zanim się jeszcze wyruszyło. Podróż dookoła Wszechświata jest więc również wyprawą w przeszłość. Godeł często pytał astronomów odwiedzających Instytut Badań Zaawansowanych, czy odkryli już dowody na to, że Wszechświat się obraca. Był rozczarowany, gdy w odpowiedzi usłyszał, że istnieją niezbite dowody na to, że Wszechświat się rozszerza, ale wypadkowa prędkość obrotu Wszechświata wynosi zapewne zero. (W przeciwnym wypadku podróże w czasie mogłyby być zjawiskiem powszechnym, co doprowadziłoby do załamania się historii, jaką znamy).

Po trzecie, można również obejść dookoła nieskończenie długi wirujący walec i powrócić przed wyruszeniem. (Rozwiązanie to odkrył WJ. van Stockum w 1936 roku, jeszcze przed odkryciem przez Godla jego rozwiązania zezwalającego na podróże w czasie, ale widocznie nie zdawał sobie sprawy, że umożliwia ono przemieszczanie się w czasie). W tym przypadku, majowy taniec wokół wirującego gaiku mógłby zakończyć się w kwietniu. (Problemem w tym rozwiązaniu jest jednak to, że taki walec musi być nieskończenie długi i obracać się tak szybko, że większość materiałów rozpadłaby się na części).

Najnowszy przykład podróży w czasie zaproponował w 1991 roku Richard Gott z Princeton. Jego rozwiązanie wymaga znalezienia ogromnych kosmicznych strun (które mogą istnieć jako pozostałości po Wielkim Wybuchu). Gott za punkt wyjściowy przyjął sytuację, w której dwie wielkie struny kosmiczne są bliskie zderzenia ze sobą. Gdybyśmy szybko przemknęli wokół takich zderzających się strun kosmicznych, przenieśliśmy się wstecz w czasie. Zaletą tego rodzaju wehikułu czasu jest to, że nie są potrzebne nieskończone wirujące walce, obracające się wszechświaty ani czarne dziury. (Problem jednak w tym, że trzeba najpierw znaleźć w przestrzeni kosmicznej te ogromne struny, a następnie doprowadzić do ich zderzenia w ściśle określony sposób. W dodatku cofnięcie się w czasie byłoby możliwe jedynie przez krótką chwilę). Zdaniem Gotta, "zapadająca się pętla struny wystarczająco dużej, by umożliwić jej pojedyncze okrążenie i

⁸⁶ Cyt. za: CA. Pickover, *Czas: najbardziej tajemnicze zjawisko Wszechświata*, przeł. P. Lewiński, Amber, Warszawa 1999, s. 145.

cofnięcie się w czasie o rok, musiałaby mieć ponad połowę masy-energii całej galaktyki⁸⁷.

Jednak najbardziej obiecującym modelem wehikułu czasu jest dwukierunkowy tunel czasoprzestrzenny, o którym wspomnieliśmy w poprzednim rozdziale, otwór w czasoprzestrzeni, przez który można by swobodnie przemieszczać się w czasie tam i z powrotem. W teorii, dwukierunkowe tunele czasoprzestrzenne mogą być nie tylko sposobem na odbywanie podróży z prędkością nadświatlną, ale również podróży w czasie. Kluczem do stworzenia dwukierunkowych tuneli czasoprzestrzennych jest ujemna energia.

Wehikuł czasu wykorzystujący dwukierunkowy tunel czasoprzestrzenny składałby się z dwóch komór. Każda z nich byłaby z kolei skonstruowana z dwóch współśrodkowych sfer, oddalonych od siebie na niewielką odległość. Powodując implozję zewnętrznej sfery, można by doprowadzić do powstania między nimi efektu Casimira, a więc ujemnej energii. Załóżmy, że cywilizacja typu III potrafiłaby rozciągnąć między tymi komorami tunel czasoprzestrzenny (na przykład wyodrębniając go z czasoprzestrzennej piany). Następnie należałoby jedną z komór wysłać w przestrzeń kosmiczną z prędkością bliską prędkości światła. W poruszającej się komorze czas ulegnie spowolnieniu, więc zegary obydwu komór nie będą już ze sobą zsynchronizowane. W tych dwóch komorach połączonych tunelem czasoprzestrzennym czas płynie w różnym tempie.

Jeżeli znajdowalibyśmy się w drugiej komorze, w mgnieniu oka moglibyśmy przejść przez tunel czasoprzestrzenny do pierwszej komory, istniejącej wcześniej w czasie. W ten sposób przenieśliśmy się w przeszłość.

Z takim modelem wiążą się jednak ogromne problemy. Tunel czasoprzestrzenny może być dosyć mały, znacznie mniejszy od atomu. Niewykluczone również, że aby wytworzyć wystarczającą ilość ujemnej energii, owe sfery trzeba by zbliżyć do siebie na odległość mniejszą od odległości Plancka. W końcu, można by się cofnąć w czasie najdalej do chwili, w której uruchomiono urządzenie. Przed tym momentem czas w obydwu komorach płynął bowiem w takim samym tempie.

Paradoksy i zagadki czasowe

Z podróżami w czasie wiążą się różnego rodzaju problemy, zarówno techniczne, jak i społeczne. Larry Dwyer zwraca uwagę na kwestie moralne, prawne i etyczne: "Czy podróżnika w czasie, który pobije siebie samego w młodości (lub odwrotnie), należałoby oskarżyć o napaść? Czy osobę, która dopuszcza się morderstwa, a następnie ucieka w przeszłość w poszukiwaniu azylu, należałoby sądzić w przeszłości za zbrodnię popełnioną w przyszłości? A jeśli ożeni się w przeszłości, czy można go sądzić za bigamię, mimo że jego druga żona urodzi się dopiero za 5000 lat?"⁸⁸.

Ale chyba najbardziej uciążliwe problemy wynikają z paradoksów związanych z podróżami w czasie. Na przykład, co się stanie, jeżeli zabijemy własnych rodziców jeszcze przed naszymi narodzinami? Z punktu widzenia logiki, jest to niemożliwe. Czasami taką sytuację nazywa się

⁸⁷ J.R. Gott, *Time Travel in Einstein's Universe*, Houghton Mifflin Co., Boston 2001, s.110.

paradoksem dziadka.

Istnieją trzy sposoby rozwiązania takich paradoksów. Po pierwsze, być może jest tak, że cofając się w czasie, powtarzamy jedynie minione zdarzenia, wypełniając tym samym przeszłość. W takim przypadku jesteśmy pozbawieni wolnej woli. Jesteśmy zmuszeni do wypełniania przeszłych wydarzeń tak, jak się odbyły. Zatem, jeżeli udamy się w przeszłość, aby przekazać sekret podróży w czasie sobie samemu w młodości, będzie to znaczyło, że tak się właśnie miało zdarzyć. Tajemnica podróży w czasie pochodziła z przyszłości. To przeznaczenie. (Nie tłumaczy to jednak, skąd w ogóle wziął się taki pomysł).

Po drugie, może dlatego, że mamy wolną wolę, możemy zmieniać przeszłość, lecz jedynie w ograniczonym zakresie. Wolna wola nie obejmuje możliwości tworzenia paradoksów czasowych. Za każdym razem, gdy próbujemy zamordować własnych rodziców przed naszymi narodzinami, tajemnicza siła powstrzymuje nas przed pociągnięciem za spust. Takie stanowisko głosi rosyjski fizyk Igor Nowikow. (Powołuje się on na to, że istnieje prawo uniemożliwiające nam chodzenie po suficie, chociaż niewykluczone, że mielibyśmy na to ochotę. Podobnie być może istnieje prawo, które nie dopuszcza, byśmy zabili własnych rodziców przed naszymi narodzinami. Jakieś dziwne prawo nie pozwala nam pociągnąć za spust).

Trzecie wyjaśnienie opiera się na założeniu, że wszechświat rozdwa się na dwa wszechświaty. Na jednej linii czasu ludzie, których zabiliśmy, wyglądają wprawdzie dokładnie tak samo, jak nasi rodzice, są to jednak inne osoby, ponieważ znajdujemy się we wszechświecie równoległym. Możliwość ta wydaje się zgodna z teorią kwantową - temat ten omówimy szerzej w dalszej części książki, gdy będzie mowa o multiwszechświecie.

Druga z przedstawionych możliwości została pokazana w filmie *Terminator 3*, w którym Arnold Schwarzenegger gra rolę robota z przyszłości, w której władzę nad światem przejęły maszyny. Garstką pozostałych przy życiu ludzi, tropionych przez maszyny jak zwierzęta, dowodzi wielki przywódca. Maszyny usiłują zgładzić przywódcę ludzi, jednak im się to nie udaje, więc sfrustrowane wysyłają grupę robotów-zabójców w przeszłość, zanim jeszcze urodził się wielki przywódca, aby zabił jego matkę. Pod koniec filmu, po zaciętych walkach, cywilizacja ludzi zostaje jednak zniszczona, tak jak się to miało stać.

Powrót do przyszłości oparty jest na trzeciej z wymienionych możliwości. Doktor Brown przerabia samochód marki DeLorean na pojazd napędzany plutonem, który w rzeczywistości jest wehikułem czasu umożliwiającym podróż w przeszłość. Michael J. Fox (Marty McFly) wsiada do tego pojazdu, cofa się w czasie i spotyka własną matkę, gdy była nastolatką. Niestety matka zakochuje się w nim, co komplikuje sytuację. Jeżeli kilkunastoletnia matka Marty'ego McFlya odrzuci jego przyszłego ojca, to nigdy się nie pobiorą i grany przez Michaela J. Foksa bohater się nie urodzi.

Problem ten rozjaśnia trochę sam dr Brown. Rysuje na tablicy poziomą linię, która przedstawia linię czasu naszego Wszechświata. Następnie rysuje drugą linię, która odgałęzia się od

⁸⁸ P. Nahin, op. cit., s. 248.

poprzedniej i symbolizuje wszechświat równoległy, powstający w chwili, gdy zmieniamy przeszłość. Zatem, za każdym razem, gdy cofamy się w górę rzeki czasu, rozgałęzia się ona na dwie rzeki i z jednej linii czasu powstają dwie; takie wyjaśnienie nazywa się podejściem wielu światów - omówimy je bardziej szczegółowo w następnym rozdziale.

Oznacza to, że wszystkie paradoksy czasowe można rozwiązać. Jeżeli zabiliśmy własnych rodziców przed naszymi narodzinami, znaczy to po prostu, że zabiliśmy osoby genetycznie takie same, jak nasi rodzice, mające te same wspomnienia i osobowość, lecz nie byli to nasi prawdziwi rodzice.

Idea wielu światów rozwiązuje przynajmniej jeden istotny problem związany z podróżami w czasie. Dla fizyka najistotniejszym zarzutem wobec podróży w czasie (oprócz konieczności odkrycia ujemnej energii) jest to, że coraz silniejsze promieniowanie powinno albo nas uśmiercić w chwili przekraczania progu wehikułu, albo spowodować zawalenie się na nas tunelu czasoprzestrzennego. Efekt wzrostu promieniowania pojawia się dlatego, że każde promieniowanie, które przedostanie się do portalu czasowego, zostanie wysłane w przeszłość, gdzie będzie przemierzało Wszechświat aż do dnia dzisiejszego i wtedy ponownie wpadnie do tunelu czasoprzestrzennego. Ponieważ może ono przekroczyć wlot tunelu nieskończoną liczbę razy, promieniowanie we wnętrzu tunelu może być niewiarygodnie silne - wystarczająco wysokie, by nas zabić. Jednak interpretacja wielu światów rozwiązuje ten problem. Jeżeli promieniowanie przedostaje się do wehikułu czasu i zostaje wysłane w przeszłość, to trafia do nowego wszechświata; nie może więc ponownie wielokrotnie przechodzić przez wehikuł czasu. To oznacza, że istnieje nieskończona liczba wszechświatów, jeden na każdy cykl, a każdy cykl zawiera tylko jeden foton promieniowania, a nie nieskończoną liczbę.

W 1997 roku dyskusja stała się trochę bardziej klarowna, gdy trzem fizykom udało się dowieść, że pomysł Hawkinga, by zabronić podróży w czasie, był od samego początku obarczony błędem. Bernard Kay, Marek Radzikowski i Robert Wald wykazali, że podróże w czasie są zgodne ze wszystkimi znanymi prawami fizyki, z wyjątkiem jednego przypadku. W trakcie podróży w czasie wszystkie potencjalne problemy koncentrują się na horyzoncie zdarzeń (znajdującym się w pobliżu wlotu do tunelu czasoprzestrzennego). Jednak jest to właśnie to miejsce, w którym spodziewamy się, że teoria Einsteina powinna się załamać, a do głosu dojdą efekty kwantowe. Problem polega na tym, że gdy próbujemy obliczyć poziom promieniowania przy wejściu do wehikułu czasu, musimy się posłużyć teorią łączącą ogólną teorię względności Einsteina z kwantową teorią promieniowania. Jednak zawsze, gdy naiwnie próbujemy połączyć ze sobą te dwie teorie, powstaje coś niespójnego: teoria dająca w odpowiedzi ciąg nieskończoności, które są całkowicie pozbawione sensu.

W tym miejscu do akcji wkracza teoria wszystkiego. Wszelkie problemy związane z podróżą przez tunel czasoprzestrzenny, nękające fizyków (na przykład stabilność tunelu czasoprzestrzennego, zabójcze promieniowanie, zamykanie się wlotu tunelu w momencie jego przekroczenia), skupiają się na horyzoncie zdarzeń, właśnie w tym miejscu, w którym teoria

Einsteina traci sens.

Zatem kluczem do zrozumienia podróży w czasie jest zrozumienie fizyki horyzontu zdarzeń, a to potrafi wyjaśnić jedynie teoria wszystkiego. Z tego powodu większość fizyków zgodziłaby się obecnie z tym, że jednym ze sposobów definitywnego rozstrzygnięcia kwestii podróży w czasie jest stworzenie pełnej teorii grawitacji i czasoprzestrzeni.

Teoria wszystkiego powinna łączyć wszystkie cztery siły Wszechświata i pozwolić nam wyliczyć, co by się stało, gdybyśmy weszli do wehikułu czasu. Jedynie teoria wszystkiego mogłaby nam pomóc poprawnie przewidzieć powstające w tunelu czasoprzestrzennym efekty związane z promieniowaniem i ostatecznie wyjaśnić, jak stabilne byłyby te tunele w czasie korzystania z wehikułu czasu. Ale nawet dysponując taką teorią, będziemy raczej musieli poczekać jeszcze całe stulecia, a może i dłużej, aż wehikuły czasu powstaną i będziemy mogli te teorie sprawdzić.

Ponieważ prawa podróży w czasie są tak ściśle powiązane z fizyką tuneli czasoprzestrzennych, wydaje się, że podróże w czasie należą do niemożliwości typu II.

Rozdział 13

WSZECHŚWIATY RÓWNOLEGŁE

– Ale czy pan naprawdę uważa - powiedział Piotr - że mogą być jakieś inne światy, w tym miejscu, tuż koło nas, takie jak ten?

– Nie ma nic bardziej prawdopodobnego - odpowiedział Profesor, zdejmując okulary. Zabrał się do ich czyszczenia, mrucząc do siebie: -Jestem ciekaw, czego oni ich uczą w tych szkołach⁸⁹.

– C.S. Lewis, *Lew, czarownica i stara szafa*

[...] lecz słuchaj; jest śliczny,
piekielnie dobry wszechświat tuż obok; chodź z nami⁹⁰.

- E.E. Cummings

Czy rzeczywiście mogą istnieć alternatywne wszechświaty? Wygląda na to, że stały się one ulubionym motywem scenarzystów w Hollywood, występują na przykład w odcinku *Star Trek* pod tytułem *Po drugiej stronie lustra*. Kapitan Kirk zostaje przypadkowo przeniesiony do dziwnego równoległego wszechświata, w którym Federacja Planet tworzy imperium zła zbudowane na brutalnych podbojach, chciwości i grabieży. W tym wszechświecie Spock nosi groźną brodę, a kapitan Kirk jest przywódcą bandy krwiożerczych piratów, którzy prosperują dzięki temu, że chwytają w niewolę swoich rywali i mordują ich przełożonych.

Wszechświaty alternatywne pozwalają nam przyjrzeć się różnym hipotetycznym światom i związanym z nimi wspaniałym, intrygującym możliwościom. Na przykład w komiksie *Superman* pojawia się kilka alternatywnych wszechświatów, w których Krypton, rodzinna planeta Supermana, nigdy nie wybuchła, albo Superman w końcu ujawnia, że w rzeczywistości jest miłym urzędnikiem Kentem, lub też żeni się z Lois Lane i rodzą im się superdzieci. Lecz czy wszechświaty równoległe są jedynie domeną powtórek starych odcinków *Strefy mroku*, czy też opierają się jednak na jakichś podstawach współczesnej fizyki?

W historii prawie wszystkich ludów starożytnych pojawia się wiara w inne płaszczyzny istnienia, miejsca pobytu bogów i duchów. Kościół propaguje wiarę w niebo, piekło i czyściec. Buddyści mają nirwanę i różne stany świadomości. A hinduiści mają tysiące płaszczyzn istnienia.

Teologowie chrześcijańscy, nie potrafiąc określić, gdzie mogłoby się znajdować niebo, często wysuwali hipotezę, że Bóg żyje w wyższym wymiarze. Co zadziwiające, gdyby wyższe wymiary rzeczywiście istniały, mogłoby się okazać, że wiele z przypisywanych bogom cech jest realnych. Istota z wyższego wymiaru może dowolnie pojawiać się i znikać, albo przechodzić przez ściany - takie moce zwykle przypisywane są bóstwom.

Niedawno idea wszechświatów równoległych stała się jednym z najzarliwiej dyskutowanych

⁸⁹ CS. Lewis, *Opowieści z Narnii: Lew, Czarownica i stara szafa*, przeł. A. Polkowski, Media Rodzina, Poznań 2008, s. 33 (przyp. tłum.).

⁹⁰ e.e. cummings, *Litość to ruchliwe monstrum*, tłum. S. Barańczak; w: *Wybór wierszy*, PIW, Warszawa 1985 (przyp. tłum.).

tematów w fizyce teoretycznej. Istnieje kilka rodzajów takich wszechświatów, co wymaga od nas ponownego zastanowienia się nad tym, co rozumiemy przez pojęcie rzeczywistość. Stawką w tej dyskusji na temat różnych wszechświatów równoległych jest ni mniej, ni więcej, tylko samo znaczenie rzeczywistości.

Istnieją przynajmniej trzy rodzaje wszechświatów równoległych, o których w literaturze naukowej zażarcie się dyskutuje:

- hiperprzestrzeń, czyli wyższe wymiary,
- multiwszechświat,
- kwantowe wszechświaty równoległe.

Hiperprzestrzeń

Wszechświatem równoległym, na temat którego toczy się najdłuższa w historii debata, jest wszechświat wyższych wymiarów. Fakt, że żyjemy w trzech wymiarach (długość, szerokość i wysokość), jest powszechnie znaną prawdą. Jakkolwiek byśmy przemieszczali jakiś obiekt w przestrzeni, wszystkie jego położenia można opisać za pomocą tych trzech współrzędnych. Tak naprawdę, posługując się tymi trzema liczbami, możemy zlokalizować dowolne ciało we Wszechświecie, od czubka własnego nosa po najodleglejsze galaktyki.

Czwarty wymiar przestrzenny wydaje się kłócić ze zdrowym rozsądkiem. Jeżeli na przykład pozwolimy, by pokój wypełnił się dymem, nie zaobserwujemy, że znika on w innym wymiarze. Nigdzie we Wszechświecie nie spotykamy obiektów, które nagle znikają lub odpływają do innego wszechświata. Oznacza to, że wszelkie wyższe wymiary, jeżeli w ogóle istnieją, muszą być mniejsze od atomu.

Trzy wymiary przestrzenne stanowią podstawę geometrii starożytnych Greków. Arystoteles w traktacie *O niebie* pisze tak: "Ta spośród wielkości, która rozciąga się w jednym wymiarze, jest linią; ta, która rozciąga się w dwóch wymiarach jest powierzchnią; ta, która rozciąga się w trzech wymiarach, jest ciałem. Prócz tych nie ma żadnej innej wielkości, bo liczba trzy obejmuje wszystko"⁹¹. W roku 150 n.e. Ptolemeusz z Aleksandrii przedstawił pierwszy dowód na to, że wyższe wymiary "nie mogą istnieć". W rozprawie *O odległości* przeprowadził następujące rozumowanie: Narysujmy trzy linie wzajemnie do siebie prostopadłe (takie jak na przykład linie tworzące róg pokoju). To jasne - twierdził - że czwartej linii prostopadłej do tych trzech nie można już narysować, a zatem czwarty wymiar nie może istnieć. (W rzeczywistości dowiódł w ten sposób jedynie tego, że nasz umysł nie potrafi wyobrazić sobie czwartego wymiaru. Stojące na naszych biurkach komputery bez przerwy przeprowadzają obliczenia w hiperprzestrzeni).

Przez dwa tysiące lat każdy matematyk, który ośmielił się mówić o czwartym wymiarze, narażał się na kpiny. W 1685 roku matematyk John Wallis opowiadał się przeciwko możliwości istnienia czwartego wymiaru, nazywając go "dziwołagiem natury, mniej prawdopodobnym od Chimery i Centaura". W wieku XIX Karl Gauss, "książę matematyków", wypracował znaczną część podstaw

matematycznych czwartego wymiaru, jednak wstrzymywał publikację tych prac, obawiając się ostrego sprzeciwu, jaki mogłyby wywołać. Jednak prywatnie przeprowadzał doświadczenia, których celem było sprawdzenie, czy płaska, trójwymiarowa geometria starożytnych Greków rzeczywiście opisuje Wszechświat. W jednym z doświadczeń wysłał swoich asystentów na wierzchołki trzech gór. Każdy z nich dzierżył w dłoni latarnię, dzięki czemu utworzyli ogromny trójkąt. Gauss zmierzył kąt każdego rogu trójkąta. Ku swojemu rozczarowaniu stwierdził, że wewnętrzne kąty sumują się do 180 stopni. Doszedł do wniosku, że jeżeli są jakieś odchylenia od standardowej geometrii Greków, muszą być tak małe, że nie można ich było wykryć w przeprowadzonym doświadczeniu z latarniami.

Gauss pozostawił sformułowanie podstaw matematycznych wyższych wymiarów swojemu studentowi, Georgowi Bernhardowi Riemannowi (dzieło to zostało kilkadziesiąt lat później niemal w całości włączone do ogólnej teorii względności Einsteina). W słynnym wykładzie wygłoszonym w 1854 roku Riemann jednym pociągnięciem zakończył trwającą dwa tysiące lat hegemonię geometrii starożytnych Greków i ustalił podstawy matematyczne wyższych, zakrzywionych wymiarów, którymi posługujemy się aż do dzisiaj.

Gdy pod koniec XIX wieku niezwykle odkrycie Riemanna zyskało rozgłos w całej Europie, czwarty wymiar stał się popularnym pojęciem wśród artystów, muzyków, pisarzy, filozofów i malarzy. Zdaniem historyka sztuki Lindy Dalrymple Henderson, kubizm Picassa w rzeczywistości powstał po części z inspiracji czwartym wymiarem. (Obrazy Picassa przedstawiające kobiety z oczami skierowanymi do przodu, a nosem w bok, były próbą przedstawienia perspektywy czwartego wymiaru, ponieważ ktoś, kto spoglądałby z czwartego wymiaru, widziałby jednocześnie twarz kobiety, jej nos i tył głowy). Henderson pisze: "Podobnie jak czarna dziura, «czwarty wymiar» ma tajemnicze własności, których nie mogą całkowicie zrozumieć nawet sami uczeni. Jednak po roku 1919 wpływ czwartego wymiaru był o wiele rozleglejszy niż czarnych dziur lub jakiegokolwiek innej współczesnej hipotezy naukowej, z wyjątkiem teorii względności"⁹².

Również inni malarze inspirowali się czwartym wymiarem. Na obrazie Salvadora Dalego *Chństus Hypercubus* postać ukrzyżowanego Chrystusa rozpięta jest przed dziwnym, unoszącym się w powietrzu trójwymiarowym krzyżem, który w rzeczywistości jest tesseractem, rozłożoną formą czterowymiarowego sześcianu. Na słynnym obrazie *Trwałość pamięci* Dali próbował przedstawić czas jako czwarty wymiar, stąd metafora roztopiających się zegarów. Obraz Marcela Duchampa *Akt schodzący po schodach* również był próbą pokazania czasu jako czwartego wymiaru, tym razem poprzez uchwycenie w kolejnych fazach ruchu schodzącej postaci. Czwarty wymiar pojawia się nawet w opowieści Oscara Wilde'a *Upiór rodu Canterville'ów*, gdzie duch, który straszy w nawiedzonym domu żyje w czwartym wymiarze.

W kilku dziełach H.G. Wellsa także występuje czwarty wymiar, między innymi w *Niewidzialnym*

⁹¹ Arystoteles, *O niebie*, w: *Dzieła wszystkie*, tom II, przeł. P. Siwek, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, s. 232 (przyp. tłum.).

⁹² L. Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton University Press, Princeton 1983, s. xix.

człowieku, w opowieści *W czwartym wymiarze* oraz w *Cudownym gościu*. (W tej ostatniej książce, która stała się inspiracją dla licznych filmów hollywoodzkich i powieści fantastycznonaukowych, nasz Wszechświat jakimś sposobem zderza się z wszechświatem równoległym. Biedny anioł z tego drugiego wszechświata zostaje przypadkowo postrzelony przez myśliwego i spada na Ziemię. Przeżaszony chciwością, małostkowością i egoizmem naszego Wszechświata, w końcu popełnia samobójstwo).

Ideę równoległych wszechświatów przedstawił też, z przymrużeniem oka, Robert Heinlein w książce *The Number of the Beast* (Liczba Bestii). Heinlein wyobraził sobie grupę dzielnych śmiałków, którzy pędzą przez wszechświaty równoległe w zaprojektowanym przez szalonego profesora międzywymiarowym samochodzie sportowym.

W telewizyjnym serialu *Sliders: Piąty wymiar* pewien młodzieniec czyta książkę, a ta naprowadza go na pomysł zbudowania wehikułu, który umożliwiałby ślizganie się między wszechświatami równoległymi. (Książka czytana przez tego młodzieńca to napisana przeze mnie wcześniej *Hiperprzestrzeń*).

Jednak w całej historii czwarty wymiar był uważany przez fizyków jedynie za ciekawostkę. Nigdy nie udało się zdobyć żadnego dowodu na istnienie wyższych wymiarów. Sytuacja zaczęła ulegać zmianie w 1919 roku, gdy fizyk Theodor Kaluza napisał niezwykle kontrowersyjny artykuł sugerujący istnienie wyższych wymiarów. Jego punktem wyjścia była ogólna teoria względności Einsteina, ale Kaluza umieścił ją w pięciu wymiarach (jednym wymiarze czasowym i czterech przestrzennych; ponieważ czas jest czwartym wymiarem czasoprzestrzeni, obecnie czwarty wymiar przestrzenny fizycy nazywają piątym wymiarem). W miarę jak piąty wymiar staje się coraz mniejszy, równania w magiczny sposób dzielą się na dwie części. Jedna opisuje standardową teorię względności Einsteina, natomiast drugi fragment staje się teorią światła Maxwella!

To było zadziwiające odkrycie. Może tajemnica światła kryje się w piątym wymiarze! Sam Einstein był wstrząśnięty tym rozwiązaniem, które zdawało się eleganckim połączeniem światła i grawitacji. (Twórca teorii względności był tak zaskoczony propozycją Kaluzy że rozważał ją przez dwa lata, zanim w końcu zgodził się opublikować jego artykuł). Tak pisał do Kaluzy: "Nigdy nie przyszedł mi do głowy pomysł sformułowania [jednolitej teorii] za pomocą pięciowymiarowego cylindra [...]. Na pierwszy rzut oka Pańska koncepcja niezwykle mi się podoba [...]. Formalna jedność Pańskiej teorii jest zdumiewająca!"⁹³.

Przez lata fizycy stawiali sobie pytanie: skoro światło jest falą, to co faluje? Światło może pokonać miliardy lat świetlnych pustej przestrzeni, choć jest ona wypełniona próżnią, pozbawiona wszelkiej materii. Cóż więc takiego faluje w próżni? Dzięki teorii Kaluzy mamy konkretną propozycję rozwiązania tego problemu: światło faluje w piątym wymiarze. Równania Maxwella, opisujące dokładnie własności światła, jawią się nam po prostu jako równania fal przemieszczających się w piątym wymiarze.

⁹³ A. Pais, *Pan Bóg jest wyrafinowany...: nauka i życie Alberta Einsteina*, przeł. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001, s. 332-333.

Wyobraźmy sobie ryby pływające w bardzo płytkiej sadzawce. Mogą nawet nie podejrzewać istnienia trzeciego wymiaru, ponieważ ich oczy skierowane są na boki i mogą pływać jedynie do przodu i do tyłu, w prawo i lewo. Trzeci wymiar może wydawać im się czymś niemożliwym. Ale wyobraźmy sobie, że zaczyna padać. Chociaż ryby nie mogą zobaczyć trzeciego wymiaru, wyraźnie widzą cienie rzucane przez zmarszczki na powierzchni sadzawki wywołane kroplami deszczu. W ten sam sposób teoria Kaluzy wyjaśniła światło jako zaburzenia przemieszczające się w piątym wymiarze.

Kaluza udzielił również odpowiedzi na pytanie: gdzie ten piąty wymiar się znajduje? Ponieważ nie dostrzegamy żadnych dowodów na jego istnienie, musiał się on zwinąć do tak niewielkich rozmiarów, że nie można go zaobserwować. (Wyobraźmy sobie, że bierzemy dwuwymiarową kartkę papieru i zwijamy ją ciasno w rulon. Z daleka rulon wygląda jak jednowymiarowa linia. W ten sposób, poprzez zwinięcie, dwuwymiarowy obiekt można zmienić w jednowymiarowy).

Artykuł Kaluzy początkowo wzbudził sensację. Jednak w następnych latach zaczęły pojawiać się zastrzeżenia do jego teorii. Jaki jest rozmiar tego nowego piątego wymiaru? W jaki sposób się zwinął? Na takie pytania nie można było znaleźć odpowiedzi.

Przez całe dziesięciolecie Einstein z przerwami pracował nad tą teorią. Po jego śmierci w 1955 roku została ona wkrótce zapomniana, stając się jeszcze jednym dziwnym przypisem do ewolucji fizyki.

Teoria strun

Wszystko to uległo zmianie wraz z pojawieniem się zdumiewającej nowej teorii, nazwanej teorią superstrun. Do lat osiemdziesiątych fizycy tonęli w morzu cząstek subatomowych. Za każdym razem, gdy w potężnych akceleratorach rozbijali na części atomy, odkrywali w wyrzucanych szczątkach mnóstwo nowych cząstek. Było to tak frustrujące, że J. Robert Oppenheimer stwierdził, iż Nagrodę Nobla z fizyki należałoby przyznać temu fizykowi, który w danym roku *nie* odkrył żadnej nowej cząstki! (Enrico Fermi, przerażony rozrastaniem się liczby cząstek subatomowych o grecko brzmiących nazwach, powiedział: "Gdybym potrafił spamiętać nazwy wszystkich tych cząstek, zostałbym botanikiem"⁹⁴). Po dziesięcioleciach ciężkiej pracy tę menażerię cząstek udało się uporządkować dzięki stworzeniu Modelu Standardowego. Zbudowanie Modelu Standardowego, kawałek po kawałku, kosztowało miliardy dolarów, pot tysiący inżynierów i fizyków, oraz zaowocowało dwudziestoma Nagrodami Nobla. Jest to naprawdę niezwykła teoria, która, jak się wydaje, zgadza się ze wszystkimi danymi doświadczalnymi z dziedziny fizyki subatomowej.

Jednak Model Standardowy, mimo niezaprzeczonego sukcesu eksperymentalnego, nie był doskonały z powodu jednego poważnego defektu. Jak ujął to Stephen Hawking: "jest brzydki i stworzony *ad hoc*". Zawiera przynajmniej dziewiętnaście parametrów swobodnych (między innymi masy cząstek i siły ich oddziaływań z innymi cząstkami), trzydzieści sześć kwarków i antykwarków, trzy dokładne i nadmiarowe kopie cząstek i rzesze cząstek subatomowych o dziwnie brzmiących

⁹⁴ Cyt. za: N. Calder, *The Key to the Universe*, Penguin, New York 1977, s. 69.

nazwach, takich jak neutrina taonowe, gluony Younga-Millsa, bozony Higgsa, wuony i zetony. A na dodatek Model Standardowy w ogóle nie wspomina o grawitacji. Trudno uwierzyć, że przyroda na swoim najważniejszym, podstawowym poziomie może być tak chaotyczna i zupełnie pozbawiona piękna. Oto teoria, którą może pokochać jedynie jej twórca. Ta jawna brzydota Modelu Standardowego zmusiła fizyków do ponownego przeanalizowania wszystkich założeń na temat przyrody. Gdzieś musiał zostać popełniony jakiś poważny błąd.

Jeżeli przyjrzymy się rozwojowi fizyki w ciągu kilku ostatnich stuleci, dojdziemy do wniosku, że jednym z najważniejszych osiągnięć ubiegłego wieku było zawarcie całej podstawowej fizyki w dwóch wielkich teoriach: teorii kwantowej (reprezentowanej przez Model Standardowy) i ogólnej teorii względności Einsteina (opisującej grawitację). Godne uwagi jest to, że razem stanowią one sumę całej wiedzy fizycznej na poziomie fundamentalnym. Pierwsza teoria opisuje wszystko to, co bardzo małe: subatomowy, kwantowy świat, w którym cząstki wykonują niesamowity taniec, pojawiając się nagle znikąd i równie nagle znikając, a nawet występując w dwóch miejscach naraz. Druga opisuje to, co bardzo duże: świat zjawisk takich jak czarne dziury i Wielki Wybuch, i używa do tego języka gładkich powierzchni, rozciągliwych struktur i zakrzywionych przestrzeni. Teorie te są pod każdym względem swoim przeciwieństwem: posługują się inną matematyką, bazują na odmiennych założeniach i różnych obrazach fizycznych. Sprawia to wrażenie, jak gdyby przyroda miała dwie, zupełnie niemogące porozumieć się ze sobą osobowości. Co więcej, wszelkie próby połączenia tych dwóch teorii nieodmiennie prowadziły do uzyskania bezsensownych odpowiedzi. Przez pół wieku wszyscy fizycy, którzy próbowali na siłę doprowadzić do małżeństwa między teorią kwantową a ogólną teorią względności, przekonywali się, że powstała w ten sposób teoria wybuchu im prosto w twarz, podając w wynikach bezsensowne nieskończoności.

Wszystko *to* uległo zmianie wraz z pojawieniem się teorii superstrun, która postuluje, że elektron i pozostałe cząstki subatomowe są niczym innym, jak różnymi rodzajami drgań struny zachowującej się niczym mała gumka. Gdy się szarpnie taką gumkę, będzie drgała na różne sposoby, a każdy z nich odpowiada innej cząstce subatomowej. W ten sposób teoria superstrun wyjaśnia własności setek cząstek subatomowych, które wykryto dotychczas w akceleratorach cząstek. Również grawitacja daje się zinterpretować jako jedna z najniższych częstości drgań struny.

Teorię strun okrzyknięto teorią wszystkiego, wymarzoną teorią, która wymykała się Einsteinowi przez ostatnie trzydzieści lat jego życia. Einstein chciał uzyskać jedną, wszechobejmującą teorię zawierającą wszystkie prawa fizyki, która pozwoliłaby mu "poznać myśli Boga". Jeżeli teoria strun poprawnie łączy ze sobą grawitację i teorię kwantową, może się okazać największym osiągnięciem nauki od dwóch tysięcy lat, od czasu, gdy Grecy zastanawiali się nad tym, z czego składa się materia.

Niezwykłą cechą teorii superstrun jest to, że opisywane przez nią struny mogą drgać jedynie w określonej liczbie wymiarów czasoprzestrzeni: potrafią wibrować wyłącznie w dziesięciu wymiarach. Gdy próbuje się stworzyć teorię strun dla innej liczby wymiarów, jej opis matematyczny

się załamuje.

Nasz Wszechświat jest oczywiście czterowymiarowy (ma trzy wymiary przestrzenne i jeden czasowy). Oznacza to, że pozostałe sześć wymiarów musiało w jakiś sposób zapaść się albo zwinać, jak piąty wymiar Kaluzy.

Od pewnego czasu fizycy poważnie zaczęli się zastanawiać nad sposobem udowodnienia, czy takie wyższe wymiary istnieją, czy nie. Najprostszym chyba sposobem potwierdzenia istnienia wyższych wymiarów byłoby wykrycie odchyłeń od praw grawitacji Newtona. W szkole uczymy się, że grawitacja Ziemi zmniejsza się w miarę, jak oddalamy się od niej w przestrzeń kosmiczną. Mówiąc dokładniej, grawitacja maleje proporcjonalnie do kwadratu odległości. Jest to jednak prawdą tylko dlatego, że żyjemy w trójwymiarowym świecie. (Wyobraźmy sobie sferę otaczającą Ziemię. Grawitacja Ziemi rozkłada się równomiernie na jej powierzchni, zatem im jest ona większa, tym słabsza jest grawitacja. Ale ponieważ powierzchnia sfery rośnie proporcjonalnie do kwadratu jej promienia, siła grawitacji, rozłożona równomiernie na powierzchni sfery, musi się również zmniejszać wraz z kwadratem promienia).

Gdyby jednak Wszechświat miał cztery wymiary przestrzenne, wtedy grawitacja zmniejszałaby się proporcjonalnie do sześcienu odległości między ciałami. A gdyby Wszechświat miał n wymiarów przestrzennych, grawitacja powinna się zmniejszać proporcjonalnie do $n-1$ potęgi odległości. Słynne prawo odwrotnych kwadratów Newtona sprawdzono z dużą dokładnością na odległościach astronomicznych; dlatego możemy wysyłać sondy, które przelatują przez pierścienie Saturna z zapierającą dech dokładnością. Ale jeszcze do niedawna prawa odwrotnych kwadratów Newtona nie sprawdzono w żadnym laboratorium dla małych odległości.

Pierwsze doświadczenie, którego celem było sprawdzenie prawa odwrotnych kwadratów na małych odległościach, zostało przeprowadzone w 2003 roku na Uniwersytecie Kolorado. Zakończyło się ono wynikiem negatywnym. Najwyraźniej nie ma żadnego wszechświata równoległego, przynajmniej w Kolorado. Jednak ten negatywny rezultat jedynie zaostriżył apetyty innych fizyków, którzy mają nadzieję powtórzyć ten eksperyment, tym razem z jeszcze większą dokładnością.

Co więcej, wybudowany w pobliżu Genewy Wielki Zderzacz Hadronów, który uruchomiono w 2008 roku⁹⁵, zostanie wykorzystany do poszukiwania nowego rodzaju cząstek, zwanych szczątkami lub supercząstkami, będących wyższą częstotliwością drgań superstruny (wszystko, co nas otacza, to jedynie najniższe częstotliwości jej drgań). Jeżeli w LHC zostaną wykryte szczątki, może to oznaczać rewolucję w sposobie postrzegania przez nas Wszechświata. W jego nowym obrazie Model Standardowy stanowiłby po prostu najniższą częstotliwość drgań superstruny.

Kip Thorne twierdzi: "Do roku 2020 fizycy zrozumieją prawa kwantowej grawitacji, które okażą się jakąś odmianą teorii strun".

Poza wyższymi wymiarami, teoria strun przewiduje istnienie również innego wszechświata

⁹⁵ Uruchomienie w 2008 roku nie powiodło się z powodu awarii transformatora. Kolejne ma być przeprowadzone we wrześniu 2009 roku (przyp. red.).

równoległego, a jest nim multiwszechświat.

Multiwszechświat

Jest jeszcze jedno niedające fizykom spokoju pytanie odnośnie do teorii strun: dlaczego musi istnieć pięć różnych jej wersji? Teoria strun mogłaby poprawnie zjednoczyć teorię kwantową z grawitacją, jednak znaleziono aż pięć sposobów osiągnięcia tego celu. Była to dosyć wstydliva sytuacja, ponieważ większość fizyków chciała uzyskać jedną teorię wszystkiego. Einstein, na przykład, chciał wiedzieć, czy "Bóg miał jakiś wybór, gdy tworzył Wszechświat". Uważał, że zunifikowana teoria pola, będąca teorią wszystkiego, powinna być tylko jedna. Dlaczego więc miałyby istnieć pięć teorii strun?

W 1994 roku pojawiła się kolejna sensacja. Edward Witten z Institute for Advanced Study w Princeton i Paul Townsend z uniwersytetu w Cambridge wysunęli hipotezę, że wszystkie pięć teorii strun to w zasadzie jedna teoria - ale jedynie pod warunkiem, że doda się jedenasty wymiar. Z punktu widzenia jedenastu wymiarów, pięć teorii scala się w jedną! Okazało się, że jednak jest tylko jedna teoria, ale z zastrzeżeniem, że wdramy się na wierzchołek jedenastego wymiaru.

W jedenastym wymiarze może istnieć nowy obiekt matematyczny zwany membraną (który można na przykład porównać do powierzchni kuli). Zauważono zadziwiającą rzecz: jeżeli zmniejszy się liczbę wymiarów z jedenastu do dziesięciu, wszystkie pięć teorii strun wyłoni się z pojedynczej membrany. Zatem każda z pięciu teorii strun okazała się jedynie innym sposobem przekształcenia membrany z jedenastu do dziesięciu wymiarów.

(Aby sobie to uzmysłować, załóżmy, że mamy piłkę plażową z naciągniętą wokół jej równika gumką. Następnie wyobraźmy sobie, że naszą piłkę przecinamy nożyczkami w dwóch miejscach, pod i nad naciągniętą na nią gumką tak, że odcinamy całkowicie jej dolną i górną część. Pozostaje nam tylko gumowa opaska - struna. Podobnie, jeżeli zwiniemy jedenasty wymiar, wszystkim, co pozostanie z membrany, będzie jej równik, który jest struną. W rzeczywistości, z punktu widzenia matematyki istnieje pięć sposobów, w jakie można dokonać takiego cięcia, co powoduje, że uzyskujemy pięć różnych teorii strun w dziesięciu wymiarach).

Jedenasty wymiar pozwolił nam uzyskać nowy obraz. Sugerował również, że być może sam Wszechświat jest membraną unoszącą się w jedenastowym wymiarowej czasoprzestrzeni. Co więcej, nie wszystkie te wymiary muszą być małe. Tak naprawdę niektóre z nich mogłyby być nieskończone.

To pociąga za sobą możliwość, że nasz Wszechświat może istnieć w multiwszechświecie innych wszechświatów. Wyobraźmy sobie ogromny zbiór baniek mydlanych, czyli membran. Każda bańka mydlana przedstawia sobą cały wszechświat unoszący się w większym obszarze jedenastowym wymiarowej hiperprzestrzeni. Każda bańka może się łączyć z innymi bańkami, dzielić się, a nawet pojawiać się i znikać. Możliwe, że żyjemy na powierzchni jednej z takich baniek-wszechświatów.

Max Tegmark z MIT wierzy, że za 50 lat "istnienie takich «wszechświatów równoległych» nie będzie wzbudzało większych kontrowersji niż 100 lat temu istnienie innych galaktyk - zwanych

wówczas «wszechświatami wyspowymi»⁹⁶.

Ile wszechświatów przewiduje teoria strun? Jedną z kłopotliwych jej cech jest fakt, że może ich być biliony bilionów, a każdy z nich byłby w pełni zgodny z teorią względności i teorią kwantową. Zgodnie z jednym z oszacowań, wszechświatów takich może być googol (googol to 1 ze 100 zerami).

W normalnych warunkach komunikacja między tymi wszechświatami nie jest możliwa. Atomy naszych ciał są niczym muchy złapane na lep. Możemy się poruszać swobodnie w trzech wymiarach, po powierzchni naszego wszechświata-membrany, ale nie możemy z niego wyskoczyć do hiperprzestrzeni, dlatego że jesteśmy do niego przyklejeni. Natomiast grawitacja, ponieważ jest zakrzywieniem czasoprzestrzeni, może swobodnie wypływać do przestrzeni pomiędzy wszechświatami.

Istnieje nawet pewna teoria, zgodnie z którą ciemna materia, niewidoczna postać materii otaczająca Galaktykę, może być zwyczajną materią unoszącą się we wszechświecie równoległym. Jak w powieści H.G. Wellsa *Niewidzialny człowiek*, gdyby ktoś unosił się tuż nad nami w czwartym wymiarze, byłby dla nas niewidzialny. Wyobraźmy sobie dwie równoległe ułożone kartki papieru i jakąś postać na powierzchni jednej z nich, tuż nad drugą kartką.

Istnieje hipoteza, że w podobny sposób ciemna materia może być zwykłą galaktyką unoszącą się nad nami w innym membranowym wszechświecie. Odczuwalibyśmy grawitację takiej galaktyki, bo grawitacja może przesiąkać między wszechświatami, ale byłaby ona dla nas niewidoczna, ponieważ jej światło nie mogłoby do nas dotrzeć. W ten sposób galaktyka oddziaływałaby grawitacyjnie, pozostając niewidzialną, co pasuje do opisu ciemnej materii. (Inną możliwością jest to, że ciemna materia składa się z wyższej częstości drgań superstruny. Wszystko, co widzimy wokół siebie, na przykład atomy i światło, jest jedynie najniższą częstością drgań superstruny. Ciemna materia mogłaby być kolejnym, wyższym zbiorem drgań).

Oczywiście większość z tych wszechświatów równoległych jest zapewne martwa i składa się jedynie z bezkształtnego gazu oraz cząstek subatomowych, takich jak elektrony i neutrina. W takich wszechświatach proton może nie być stabilny, więc cała materia w znanej nam formie powoli rozpadałaby się i rozpływała. Złożona materia, składająca się z atomów i cząsteczek, zapewne w wielu z tych wszechświatów w ogóle nigdy nie mogłaby powstać.

Inne wszechświaty równoległe, wprost przeciwnie, mogą zawierać formy materii o złożoności przekraczającej nasze wyobrażenia. Zamiast tylko jednego rodzaju atomu, zbudowanego z protonów, neutronów i elektronów, mogą zawierać oszałamiającą różnorodność innych postaci stabilnej materii.

Takie wszechświaty membranowe mogą się również ze sobą zderzać, wywołując kosmiczne fajerwerki. Niektórzy fizycy z Princeton rozważają hipotezę, że być może nasz Wszechświat powstał w wyniku zderzenia przed 13,7 miliarda lat dwóch gigantycznych membran. Uważają, że fale uderzeniowe wywołane tym katastrofalnym zderzeniem doprowadziły do narodzin naszego

⁹⁶ M. Tegmark, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 37.

Wszechświata. Godny uwagi jest fakt, że jeżeli rozważy się doświadczalne konsekwencje tego dziwnego pomysłu, wydają się one zgadzać z wynikami uzyskanymi przez znajdującego się obecnie na orbicie satelitę WMAP. (Idea ta nazywana jest czasem teorią "wielkiego plaśnięcia").

Za teorią multiwszechświata przemawia jeden fakt. Gdy przyglądamy się stałym przyrody, odkrywamy, że są one bardzo precyzyjnie dostrojone do wartości zezwalających na powstanie życia. Gdybyśmy zwiększyli wartość siły jądrowej, gwiazdy wypaliłyby się zbyt szybko, by życie zdążyło się wykształcić. Gdyby wartość siły jądrowej była natomiast mniejsza, gwiazdy w ogóle nigdy by nie zapłonęły i życie również nie mogłoby powstać. Jeżeli zwiększymy wartość siły grawitacji, okaże się, że nasz Wszechświat zbyt szybko ginie w Wielkiej Zapaści. Gdybyśmy zmniejszyli wartość grawitacji, Wszechświat rozszerzałby się zbyt szybko w kierunku stanu nazywanego Wielkim Chłodem. Naprawdę wiele jest takich "przypadków" związanych ze stałymi przyrody, dzięki którym mogło powstać życie. Wszystko wskazuje na to, że nasz Wszechświat przebywa w "strefie Złotowłosej" wielu parametrów, które są tak dostrojone, by mogło zaistnieć życie. Zatem, albo dojdziemy do wniosku, że istnieje jakiegoś rodzaju Bóg, który dobrał nasz Wszechświat w taki sposób, by był w sam raz dla życia, albo przyjmiemy, że istnieją miliardy wszechświatów równoległych, z których wiele jest martwych. Jak powiedział Freeman Dyson: "wydaje się, że Wszechświat wiedział, iż nadchodzimy".

Sir Martin Rees z uniwersytetu w Cambridge napisał, że to precyzyjne dostrojenie jest w rzeczywistości przekonującym dowodem na istnienie multiwszechświata. Istnieje pięć stałych fizycznych (takich jak siły różnych oddziaływań), które są dostrojone do wartości pozwalających na powstanie życia i Rees uważa, że istnieje również nieskończona liczba wszechświatów, w których te stałe przyrody nie sprzyjają życiu.

Jest to tak zwana zasada antropiczna. Jej słaba wersja stwierdza po prostu, że nasz Wszechświat jest tak dostrojony, by mogło powstać życie (ponieważ w końcu jesteśmy tutaj i możemy postawić taką tezę). Silna wersja tej zasady wysuwa hipotezę, że być może nasze istnienie jest produktem ubocznym jakiegoś projektu lub działania celowego. Większość kosmologów zgodziłaby się ze słabą wersją zasady antropicznej, trwa jednak zagorzała dyskusja na temat tego, czy zasada antropiczna jest nową zasadą nauki, która może doprowadzić do nowych odkryć i wyników, czy też po prostu stwierdzeniem rzeczy oczywistej.

Teoria kwantowa

Oprócz wyższych wymiarów i multiwszechświata, istnieje jeszcze jeden rodzaj wszechświata równoległego, który przyprawiał Einsteina o ból głowy, i który w dalszym ciągu prześladowuje fizyków. Jest nim kwantowy multiwszechświat wynikający ze zwykłej teorii kwantowej. Paradoksy fizyki kwantowej wydają się tak trudne do rozwiązania, że laureat Nagrody Nobla Richard Feynman lubił powtarzać, iż tak naprawdę *nikt* nie rozumie teorii kwantowej.

Jak na ironię, chociaż teoria kwantowa odniosła największy sukces spośród wszystkich teorii stworzonych kiedykolwiek przez ludzki umysł (często jej dokładność sięga jednej części na 10 miliardów), opiera się ona na przypadku, szczęściu i prawdopodobieństwach. W przeciwieństwie

do teorii newtonowskiej, która udziela określonych, jednoznacznych odpowiedzi na pytania o ruch ciał, teoria kwantowa może podać jedynie prawdopodobieństwa. Cuda współczesnej techniki, takie jak lasery, Internet, komputery, telewizja, telefony komórkowe, radar, kuchenki mikrofalowe, i tak dalej, wszystkie opierają się na grząskim gruncie prawdopodobieństw.

Najbardziej jaskrawym przykładem tej zagadki jest słynny problem kota Schrödingera (sformułowany przez jednego z twórców teorii kwantowej, który paradoksalnie przedstawił go po to, by rozprawić się z probabilistyczną interpretacją). Schrodinger pomstował na taką interpretację swojej teorii, stwierdzając, że "jeżeli koniecznie trzeba trzymać się tego przeklętego kwantowego przeskakiwania, to żałuję, że w ogóle miałem z tym coś wspólnego"⁹⁷.

Paradoks z kotem Schrödingera wygląda następująco: umieszcza się kota w zamkniętym pudełku. W środku, w kota wycelowany jest rewolwer, którego spust połączony jest z licznikiem Geigera leżącym obok kawałka uranu. Gdy jeden z atomów uranu ulegnie rozpadowi, uruchomi licznik Geigera, powodując wystrzał z rewolweru i zabicie kota. Atom uranu może albo ulec rozpadowi, albo nie. Kot jest albo żywy, albo martwy. Tak podpowiada zdrowy rozsądek.

Jednak w teorii kwantowej nie mamy pewności, czy atom uranu się rozpadł. Dodajemy więc do siebie oba prawdopodobieństwa, sumując funkcję falową atomu, który uległ rozpadowi, z funkcją falową nienaruszonego atomu. Lecz to oznacza, że aby opisać kota, musimy do siebie dodać jego dwa stany. Zatem kot nie jest ani żywy, ani martwy. Zostaje przedstawiony jako suma kota żywego i martwego!

Jak napisał kiedyś Feynman, mechanika kwantowa "opisuje Naturę w sposób absurdalny - i zgadza się znakomicie z doświadczeniem. Mam zatem nadzieję, że zaakceptujecie Naturę taką, jaka jest - absurdalną"⁹⁸.

Dla Einsteina i Schrödingera to było niedorzeczne. Einstein wierzył w obiektywną rzeczywistość, zdrowy rozsądek, Newtonowski obraz świata, w którym obiekty są w określonym stanie, a nie w sumie wielu możliwych stanów. A jednak ta dziwaczna interpretacja stanowi sedno współczesnej cywilizacji. Bez niej współczesna elektronika (a także atomy naszych ciał) przestałaby istnieć. (W naszym zwykłym świecie czasami żartujemy sobie, że nie można być "trochę w ciąży". Jednak w świecie kwantowym sytuacja wygląda jeszcze gorzej. Istniejemy jednocześnie jako suma wszystkich możliwych stanów ciała: niespodziewająca się dziecka, w ciąży, mała dziewczynka, starsza kobieta, podłotek, kobieta sukcesu itd.).

Istnieje kilka sposobów rozwiązania tego paradoksu. Twórcy teorii kwantowej wierzyli w interpretację Szkoły Kopenhaskiej, zgodnie z którą, otwierając pudełko, dokonujemy pomiaru i możemy stwierdzić, czy kot jest żywy, czy martwy. Funkcja falowa ulega redukcji do jednego stanu i władzę przejmuje zdrowy rozsądek. Fale zniknęły i pozostały jedynie cząstki. Oznacza to, że kot osiąga teraz określony stan (albo jest martwy, albo żywy) i nie jest już opisywany funkcją falową.

Istnieje zatem niewidzialna bariera oddzielająca od siebie dziwaczny świat atomów i

⁹⁷ K.C. Cole, op *cit.*, s. 222.

⁹⁸ R. Feynman, *QED: Osobliwa teoria światła i materii*, przeł. H. Białkowska, PIW, Warszawa 1992, s. 15.

makroskopowy świat ludzi. W świecie atomowym wszystko opisywane jest przez fale prawdopodobieństwa, a zgodnie z tym opisem atomy mogą być jednocześnie w wielu miejscach. Im większa jest fala w jakiejś okolicy, tym większe prawdopodobieństwo, że w tym punkcie znajdziemy cząstkę. Jednak w przypadku dużych obiektów funkcje falowe uległy redukcji i obiekty te istnieją w określonym stanie, dlatego górę bierze zdrowy rozsądek.

(Gdy Einsteina odwiedzali goście, zwykł wskazywać Księżyc i pytać: "Czy Księżyc istnieje dlatego, że patrzy na niego mysz?". W pewnym sensie, odpowiedź Szkoły Kopenhaskiej może brzmieć: tak).

Większość podręczników fizyki wyższej trzyma się wiernie pierwotnej interpretacji Szkoły Kopenhaskiej, chociaż wielu aktywnych naukowo fizyków już ją porzuciło. Obecnie dysponujemy nanotechnologią i potrafimy manipulować pojedynczymi atomami, zatem posługując się skaningowym mikroskopem tunelowym, możemy dowolnie sterować pojawiającymi się i znikającymi atomami. Nie ma żadnej niewidzialnej ściany oddzielającej świat mikroskopowy od makroskopowego. Istnieje ciągłość.

Obecnie nie ma powszechnej zgody co do tego, jak należy rozwiązać tę kwestię, a dotyka ona samego sedna współczesnej fizyki. Na konferencjach toczą się gorące spory między zwolennikami różnych teorii. Zgodnie z jednym z mniejszościowych punktów widzenia, Wszechświat może być wypełniony kosmiczną świadomością. Obiekty zaczynają istnieć w chwili dokonywania pomiaru, a pomiary przeprowadzają istoty obdarzone świadomością. Zatem Wszechświat musi przenikać jakaś kosmiczna świadomość, która określa stan, w jakim się znajdujemy. Niektórzy, na przykład laureat Nagrody Nobla Eugene Wigner, uważają, że to dowodzi istnienia Boga lub jakiejś innej kosmicznej świadomości. (Wigner napisał: "Sformułowanie praw [teorii kwantowej] w całkowicie spójny sposób okazało się niemożliwe bez odwołania do świadomości". Zainteresował się nawet Wedantą, nurtem filozofii hinduistycznej, zgodnie z którym Wszechświat przesiąknięty jest wszechobejmującą świadomością).

Innym sposobem postrzegania tego paradoksu jest idea wielu światów, zaproponowana przez Hugh Everetta w 1957 roku, zgodnie z którą Wszechświat po prostu dzieli się na dwie części: w jednej z nich kot jest żywy, a w drugiej martwy. Oznacza to, że za każdym razem, gdy ma miejsce zdarzenie kwantowe, dochodzi do ogromnego rozrastania się, rozgałęziania wszechświatów równoległych. Każdy wszechświat, który może istnieć, istnieje. Im bardziej jest on dziwaczny, tym mniej prawdopodobny, niemniej wszechświaty te istnieją. Istnieje więc wszechświat równoległy, w którym hitlerowcy wygrali II wojnę światową, albo wszechświat, w którym hiszpańska armada nigdy nie została pokonana i wszyscy mówią po hiszpańsku. Innymi słowy, funkcja falowa nigdy nie ulega redukcji. Po prostu dalej podąża swoją drogą i radośnie dzieląc się, tworzy niezliczone wszechświaty⁹⁹.

⁹⁹ Inną atrakcyjną cechą interpretacji wielu światów jest to, że nie wymaga ona żadnych dodatkowych założeń, poza wyjściowym równaniem falowym. W takim obrazie nie musi zachodzić redukcja funkcji falowej ani obserwacja. Funkcja falowa po prostu dzieli się spontanicznie, automatycznie, bez jakiegokolwiek wpływu zewnętrznego lub dodatkowych założeń. W tym sensie teoria wielu światów jest prostsza pojęciowo

Jak ujął to fizyk z MIT Alan Guth: "Jest taki wszechświat, w którym Elvis ciągle żyje, a Al Gore jest prezydentem". Laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek mówi: "Gdy jednak przyjmimy radykalnie konserwatywną interpretację mechaniki kwantowej, będzie nam stale towarzyszyć świadomość istnienia nieskończenie wielu nieco różnych kopii nas samych, przeżywających swoje równoległe życie, oraz tego, że co chwila pojawiają się nowe kopie, każda przejmująca jedną z wielu naszych alternatywnych przyszłości"¹⁰⁰.

Jedną z idei, która zdobywa coraz większą popularność wśród fizyków, jest dekoherencja. Odwołująca się do niej teoria stwierdza, że wszystkie te wszechświaty równoległe są możliwe, lecz nasza funkcja falowa uległa w stosunku do nich dekoherencji (to znaczy, już nie drga zgodnie z nimi) i dlatego nie może już z nimi oddziaływać. Oznacza to, że siedząc w swoim pokoju, współistniejemy jednocześnie z funkcją falową dinozaurów, kosmitów, piratów i jednoroźców, a wszystkie te istoty wierzą święcie, że to ich wszechświat jest tym "rzeczywistym", tyle tylko że nie jesteśmy już do nich dostrojeni.

Według laureata Nagrody Nobla Stevena Weinberga, przypomina to dostrajanie stojącego w pokoju odbiornika radiowego do wybranej stacji radiowej. Wiemy, że pokój zalany jest sygnałami wielu stacji radiowych z całego kraju i świata, lecz nasze radio dostraja się tylko do jednej z nich. Ulega ono dekoherencji względem wszystkich pozostałych stacji. (Podsumowując, Weinberg zauważa, że idea wielu światów byłaby "kiepską ideą, gdyby wszystkie pozostałe idee były lepsze").

Czy istnieje zatem funkcja falowa złej Federacji Planet łupiącej słabsze planety i wycinającej w pień swoich wrogów? Być może, ale jeżeli tak, ulegliśmy dekoherencji względem tego wszechświata.

Wszechświaty kwantowe

Gdy Hugh Everett dyskutował na temat swojej teorii wielu światów z innymi fizykami, spotykał się ze zdziwieniem lub obojętnością. Jeden z fizyków, Bryce DeWitt z University of Texas, odrzucał tę teorię, ponieważ "zupełnie nie ma poczucia, że rozdziela się na dwoje". To jednak, odpowiadał Everett, przypomina sposób, w jaki Galileusz odpowiadał swoim krytykom na zarzut, że nie czują, by Ziemia się poruszała. (W końcu DeWitt przeszedł na stronę Everetta i stał się głównym zwolennikiem tej teorii).

Przez dziesięciolecia teoria wielu światów tkwiła w zapomnieniu. Była po prostu zbyt

od pozostałych teorii, które odwołują się do zewnętrznych obserwatorów, pomiarów, redukcji i tak dalej. To prawda, że zostajemy obciążeni nieskończoną liczbą wszechświatów, ale nadzór nad nimi sprawuje funkcja falowa, bez jakichkolwiek zewnętrznych założeń.

Jednym ze sposobów zrozumienia, dlaczego nasz fizyczny Wszechświat wydaje się tak stabilny i bezpieczny, jest odwołanie się do dekoherencji; stabilność bierze się stąd, że ulegliśmy dekoherencji względem wszystkich wszechświatów równoległych. Ale dekoherencja nie eliminuje tych innych wszechświatów. Jedynie wyjaśnia, dlaczego nasz Wszechświat, będący tylko jednym z nieskończonego zbioru wszechświatów, wydaje się tak stabilny. Dekoherencja opiera się na idei, że choć wszechświaty mogą się rozdzielać na wiele wszechświatów, nasz Wszechświat w wyniku interakcji z otoczeniem oddziela się od pozostałych wszechświatów.

fantastyczna, by mogła być uznana za prawdziwą. John Wheeler, promotor Everetta w Princeton, w końcu doszedł do wniosku, że z tą teorią wiąże się zbyt wiele "nadbagażu". Lecz jednym z powodów, dla którego teoria Everetta stała się nagle ostatnio modna, jest fakt, że fizycy próbują zastosować teorię kwantową do ostatniego przyczółka opierającego się skwantowaniu: do samego Wszechświata. Jeżeli zastosujemy zasadę nieoznaczoności do całego Wszechświata, w sposób naturalny dojdziemy do multiwszechświata.

Pojęcie kwantowej kosmologii z początku wydaje się wewnętrznie sprzeczne: teoria kwantowa odnosi się do nieskończonego małego świata atomu, natomiast kosmologia zajmuje się całym Wszechświatem. Ale zastanówmy się: w chwili Wielkiego Wybuchu, Wszechświat był znacznie mniejszy od elektronu. Każdy fizyk zgodzi się, że elektrony należy skwantować; to znaczy, że opisuje się je za pomocą probabilistycznego równania falowego (równania Diraca) i mogą one istnieć w wielu stanach. Zatem, skoro trzeba skwantować elektrony i skoro Wszechświat był kiedyś mniejszy od elektronu, to również Wszechświat musi istnieć jednocześnie w wielu stanach - taka teoria w sposób naturalny prowadzi do podejścia wielu światów.

Zaproponowana przez Nielsa Bohra interpretacja kopenhaska napotyka jednak problem, jeżeli zastosuje się ją do całego Wszechświata. Interpretacja ta, chociaż wszędzie na świecie uczy się jej na każdym kursie mechaniki kwantowej dla doktorantów, odwołuje się do obserwatora, który dokonuje obserwacji i powoduje redukcję funkcji falowej. Proces obserwacji jest bezwzględnie konieczny do określenia świata makroskopowego. Jak jednak ktoś może być poza Wszechświatem w chwili dokonywania obserwacji całego Wszechświata? Jeżeli funkcja falowa opisuje Wszechświat, to w jaki sposób zewnętrzny obserwator może doprowadzić do jej redukcji? Dla niektórych niemożliwość obserwowania Wszechświata z zewnątrz jest bardzo poważną wadą interpretacji kopenhaskiej.

W podejściu wielu światów rozwiązanie tego problemu jest proste: Wszechświat istnieje po prostu w wielu stanach równoległych, a wszystkie one są określone przez główną funkcję falową, zwaną funkcją falową Wszechświata. W kosmologii kwantowej Wszechświat powstał jako kwantowa fluktuacja próżni, to znaczy jako niewielki pęcherzyk w pianie czasoprzestrzeni. Większość wszechświatów potomnych w pianie czasoprzestrzeni ma swój wielki wybuch, ale zaraz po nim następuje wielka zapaść. Dlatego właśnie nigdy ich nie dostrzegamy, ponieważ są niezwykle małe i istnieją tylko przez chwilę, płasząc się w tańcu, w którym pojawiają się, by zaraz zniknąć w próżni. Oznacza to, że nawet "nic" wprost kipi od pojawiających się i znikających wszechświatów potomnych - dzieje się to jednak w skali, która jest zbyt mała, byśmy mogli wykryć je naszymi przyrządami. Jednak z jakiegoś powodu jeden z pęcherzyków czasoprzestrzennej piany nie skurczył się ponownie w wielkiej zapaści, ale cały czas się rozszerzał. To nasz Wszechświat. Zdaniem Alana Gutha, znaczy to, że cały Wszechświat jest za darmo.

W kosmologii kwantowej fizycy wychodzą od równania analogicznego do równania

¹⁰⁰ F. Wilczek, B. Devine, *W poszukiwaniu harmonii: Wariacje na tematy z fizyki współczesnej*, przeł. E. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2007, s. 142.

Schrödingera, które rządzi funkcją falową elektronów i atomów. Posługują się oni równaniem Hewitta-Wheelera, które operuje na funkcji falowej wszechświata. Zwykle funkcja falowa Schrödingera jest określona w każdym punkcie przestrzeni i czasu, dlatego można obliczyć szanse znalezienia elektronu w określonym miejscu i czasie. Natomiast funkcja falowa

wszechświata jest określona dla wszystkich możliwych wszechświatów. Jeżeli funkcja falowa wszechświata będzie akurat przyjmowała dużą wartość dla pewnego określonego wszechświata, będzie to oznaczało, że jest duże prawdopodobieństwo, iż wszechświat znajdzie się w tym właśnie konkretnym stanie.

Hawking posunął się w zastosowaniu takiego punktu widzenia jeszcze dalej. Nasz Wszechświat - twierdzi - jest szczególnie wśród innych wszechświatów. Funkcja falowa wszechświata przyjmuje dużą wartość dla naszego Wszechświata i jest bliska zero dla większości innych wszechświatów. Tak więc istnieje niewielkie, ale skończone prawdopodobieństwo, że w multiwszechświecie mogą istnieć inne wszechświaty, jednak w przypadku naszego to prawdopodobieństwo jest największe. Hawking próbuje nawet w ten sposób wyprowadzić inflację. W takim podejściu wszechświat, który ulega inflacji, jest po prostu bardziej prawdopodobny od wszechświata, który nie przechodzi takiego procesu, i dlatego nasz Wszechświat miał ten etap w swojej historii.

Mogłoby się wydawać, że teoria, iż nasz Wszechświat powstał z "nicości" czasoprzestrzennej piany, jest całkowicie niesprawdzalna, zgadza się ona jednak z kilkoma prostymi obserwacjami. Po pierwsze, wielu fizyków wskazuje na fakt, że to zadziwiające, iż całkowita suma dodatnich i ujemnych ładunków we Wszechświecie wynosi dokładnie zero, przynajmniej w granicach dokładności eksperymentów. Jest dla nas oczywiste, że w przestrzeni kosmicznej dominującą siłą jest grawitacja, a jednak jest tak jedynie dlatego, że dodatnie i ujemne ładunki dokładnie się znoszą. Gdyby istniała najmniejsza nierównowaga w liczbie ładunków dodatnich i ujemnych na Ziemi, mogłoby to wystarczyć do rozerwania jej na części, ponieważ pokonana zostałaby utrzymująca ją w całości siła grawitacji. Jednym z prostych wyjaśnień, dlaczego istnieje taka równowaga między ładunkami dodatnimi i ujemnymi, jest przyjęcie, że nasz Wszechświat powstał z "niczego", a "nic" ma zerowy ładunek.

Po drugie, moment pędu naszego Wszechświata jest równy zero. Choć przez całe lata Kurt Godel, dodając do siebie momenty pędu różnych galaktyk, starał się wykazać, że Wszechświat się obraca, astronomowie uważają obecnie, że wypadkowy moment pędu Wszechświata wynosi zero. Zjawisko to można by łatwo wyjaśnić, jeżeli przyjmemy, że Wszechświat powstał z "niczego", ponieważ "nic" ma zerowy moment pędu.

Po trzecie, założenie, że nasz Wszechświat powstał z niczego, pomogłoby w wyjaśnieniu, dlaczego całkowita zawartość masy-energii we Wszechświecie jest tak mała, być może nawet zerowa. Jeżeli dodamy do siebie dodatnią energię materii i ujemną energię związaną z grawitacją, dojdziemy do wniosku, że się wzajemnie znoszą. Jeżeli Wszechświat jest zamknięty i skończony, to zgodnie z ogólną teorią względności całkowita ilość zawartej w nim materii-energii powinna wynosić dokładnie zero. Jeżeli nasz Wszechświat jest otwarty i nieskończony, to nie musi tak być,

jednak teoria inflacji zdaje się wskazywać, że całkowita ilość masy-energii w naszym Wszechświecie jest niezwykle mała).

Kontakt między wszechświatami?

To powoduje, że pojawiają się pewne intrygujące pytania: Skoro fizycy nie mogą wykluczyć możliwości istnienia kilku rodzajów wszechświatów równoległych, to czy byłoby możliwe nawiązanie z nimi kontaktu? Odwiedzenie ich? Albo czy to możliwe, że istoty z innych wszechświatów złożyły nam już wizytę?

Nawiązanie kontaktu z innymi wszechświatami kwantowymi, które uległy dekoherencji względem nas, wydaje się wysoce nieprawdopodobne. Powodem, dla którego ulegliśmy dekoherencji względem pozostałych wszechświatów, jest to, że nasze atomy zderzyły się z niezliczoną liczbą innych atomów otaczającego nas środowiska. Za każdym razem, gdy dochodzi do takiego zderzenia, funkcja falowa atomu prawdopodobnie ulega w niewielkim stopniu redukcji; to znaczy, zmniejsza się liczba wszechświatów równoległych. Każde zderzenie zawęża krąg możliwości. Wypadkowy efekt wszystkich tych bilionów atomowych miniredukcji powoduje powstanie wrażenia, że atomy naszego ciała uległy całkowitej redukcji i są w dobrze określonym stanie. "Obiektywna rzeczywistość" Einsteina jest złudzeniem wywołanym przez fakt, że nasze ciało składa się z tak wielu atomów, które wzajemnie na siebie wpadając, za każdym razem ograniczają liczbę możliwych wszechświatów.

Przypomina to patrzenie na nieostry obraz w kamerze. Taka sytuacja odpowiadałaby mikroświatowi, w którym wszystko wydaje się zamazane i nieokreślone. Jednak za każdym razem, gdy w kamerze poprawiamy ostrość, obraz staje się coraz wyraźniejszy. To odpowiada bilionom niewielkich zderzeń sąsiadujących ze sobą atomów, coraz bardziej zmniejszających liczbę możliwych wszechświatów. W ten sposób gładko przechodzimy od rozmytego mikroświata do makroświata.

Zatem prawdopodobieństwo oddziaływania z innym podobnym do naszego wszechświatem kwantowym nie wynosi zero, ale gwałtownie maleje wraz z liczbą atomów budujących nasze ciało. Ponieważ na nasze ciało składają się biliony bilionów atomów, szanse na to, że wejdziemy w kontakt z innym wszechświatem zamieszkanym przez dinozaury lub kosmitów, są znikomo małe. Można wyliczyć, że na takie zdarzenie musielibyśmy czekać znacznie dłużej niż wynosi wiek Wszechświata.

A więc kontaktu z kwantowym wszechświatem równoległym nie można wykluczyć, byłoby to jednak niezwykle rzadkie zdarzenie, ponieważ ulegliśmy dekoherencji względem takich wszechświatów. W kosmologii spotykamy jednak jeszcze inny rodzaj wszechświata równoległego: multiwszechświat składający się ze współistniejących ze sobą wszechświatów, przypominających pianę w kąpielni. Nawiązanie kontaktu z innym wszechświatem w ramach multiwszechświata to już zupełnie inna kwestia. Bez wątplenia byłby to wyczyn trudny do osiągnięcia, ale niewykluczone, że możliwy dla cywilizacji typu III.

Jak już wcześniej zauważyliśmy, energia potrzebna do wytworzenia dziury w przestrzeni albo

do powiększenia czasoprzestrzennej piany jest rzędu energii Plancka, a przy tak wysokich energiach przestają obowiązywać wszystkie znane nam prawa fizyki. W takich warunkach przestrzeń i czas tracą stabilność i to stwarza możliwość opuszczenia naszego Wszechświata (przy założeniu, że inne wszechświaty istnieją oraz że próba opuszczenia naszego nie okaże się dla nas zabójcza).

Nie jest to kwestia czysto akademicka, ponieważ wszystkie inteligentne formy życia we Wszechświecie któregoś dnia będą musiały stawić czoło zbliżającemu się końcowi Wszechświata. W ostatecznym rozrachunku teoria multiwszechświata może się okazać zbawieniem dla wszelkich inteligentnych form życia w naszym Wszechświecie. Najnowsze dane przesłane przez krążącego obecnie po ziemskiej orbicie satelitę WMAP potwierdzają, że Wszechświat rozszerza się w przyspieszonym tempie. Któregoś dnia wszyscy możemy zginąć w wyniku katastrofy, którą fizycy określają mianem Wielkiego Chłodu. Ostatecznie cały Wszechświat pograży się w ciemności; wszystkie gwiazdy we Wszechświecie rozbłyszczą po raz ostatni i zgasną, a przestrzeń kosmiczną będą wypełniały już tylko martwe gwiazdy, gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Nawet atomy naszych ciał mogą zacząć się rozpadać. Temperatura spadnie do poziomu bliskiego zera absolutnego, co spowoduje, że życie nie będzie już mogło istnieć.

W miarę, jak Wszechświat będzie zbliżał się do tego stanu, zaawansowana cywilizacja stojąca w obliczu ostatecznej jego śmierci mogłaby zaryzykować definitywną przeprowadzkę do innego wszechświata. Dla tych istot będzie to wybór między zamrożeniem a porzuceniem naszego świata. Prawa fizyki stanowią wyrok śmierci dla wszelkiego inteligentnego życia, jest w tych prawach jednak klauzula dająca nadzieję uniknięcia wyroku.

Aby osiągnąć bajeczną energię Plancka, cywilizacja taka musiałaby zogniskować w jednym punkcie moc olbrzymich zderzaczy atomów i dział laserowych, wielkich jak Układ Słoneczny lub gromada gwiazd. Możliwe, że taka koncentracja energii wystarczy do otwarcia tunelu czasoprzestrzennego lub przejścia do innego wszechświata. Cywilizacja typu III, wykorzystując kolosalną energię, jaką dysponuje, do otwarcia tunelu czasoprzestrzennego, może opuścić nasz umierający Wszechświat, przenieść się do innego wszechświata i zacząć wszystko od początku.

Wszechświat potomny w laboratorium?

Chociaż niektóre z tych idei mogą się wydawać naciągane, fizycy rozważają je zupełnie poważnie. Na przykład, gdy próbujemy zrozumieć, jak doszło do Wielkiego Wybuchu, musimy przeanalizować warunki, jakie mogły doprowadzić do tej pierwotnej eksplozji. Innymi słowy, musimy postawić pytanie: w jaki sposób można by stworzyć wszechświat potomny w laboratorium? Andriej Linde z Uniwersytetu Stanforda, jeden ze współtwórców idei wszechświata inflacyjnego, mówi, że jeżeli uda nam się wytworzyć wszechświaty potomne w laboratorium, to "nadejdzie moment, w którym będziemy być może musieli na nowo zdefiniować Boga jako istotę bardziej zaawansowaną, a nie jedynie stwórcę Wszechświata".

Pomysł nie jest nowy. Wiele lat temu, gdy fizycy wyznaczali energię potrzebną do zainicjowania Wielkiego Wybuchu, "ludzie natychmiast zaczęli się zastanawiać, co by się stało, gdyby w

laboratorium udało się skoncentrować dużo energii w jednym punkcie - gdyby odpalono jednocześnie wiele dział. Czy jest możliwe zogniskowanie energii wystarczającej do wyzwolenia miniaturowego wielkiego wybuchu? " - pyta Linde.

Gdybyśmy skoncentrowali wystarczającą ilość energii w jednym punkcie, doprowadzilibyśmy jedynie do zapadnięcia się czasoprzestrzeni w czarną dziurę, i nic więcej. Jednak w 1981 roku Alan Guth z MIT wraz z Andriejem Linde przedstawił teorię wszechświata inflacyjnego, która od tego czasu nieustannie cieszy się zainteresowaniem wśród kosmologów. Zgodnie z tą ideą, Wielki Wybuch rozpoczął się od superszybkiej ekspansji, znacznie szybszej niż sądzono wcześniej. (Idea wszechświata inflacyjnego pozwoliła na rozwiązanie wielu uporczywych problemów kosmologii, takich jak pytanie o to, dlaczego Wszechświat jest tak jednorodny. Gdziekolwiek kierujemy wzrok, z jednego miejsca nocnego nieba do punktu po przeciwległej stronie nieboskłonu, wszędzie widzimy jednorodny Wszechświat, mimo że od Wielkiego Wybuchu nie upłynęło jeszcze wystarczająco dużo czasu, by te odległe od siebie obszary mogły nawiązać kontakt. Według teorii wszechświata inflacyjnego, wyjaśnieniem tej zagadki jest to, że niewielki, stosunkowo jednorodny obszar czasoprzestrzeni tak bardzo się rozrósł, że stał się całym obserwowalnym Wszechświatem). Guth założył, że aby zainicjować inflację, na początku czasu musiały istnieć niewielkie pęcherzyki czasoprzestrzeni, z których jeden niesamowicie napęczniał i stał się obecnym Wszechświatem.

Teoria wszechświata inflacyjnego odpowiedziała za jednym zamachem na wiele kosmologicznych pytań. Co więcej, zgadza się ona ze wszystkimi danymi napływającymi z przestrzeni kosmicznej, z satelitów WMAP i COBE. Teoria ta jest w rzeczywistości niekwestionowanym liderem wśród kandydatów na teorię Wielkiego Wybuchu.

A jednak również teoria wszechświata inflacyjnego rodzi wiele kłopotliwych pytań. Dlaczego ten pęcherzyk zaczął się rozszerzać? Co wyłączyło szybką ekspansję i doprowadziło do powstania znanego nam obecnie Wszechświata? Jeżeli inflacja już raz się wydarzyła, czy może do niej dojść ponownie? Jak na ironię, chociaż scenariusz inflacyjny jest najważniejszą teorią w kosmologii, prawie nic nie wiadomo na temat tego, co uruchomiło inflację ani dlaczego się zatrzymała.

Aby rozwiązać te palące kwestie, w 1987 roku Alan Guth i Edward Fahri z MIT zadali sobie kolejne hipotetyczne pytanie: w jaki sposób zaawansowana cywilizacja mogłaby doprowadzić do inflacji swojego wszechświata? Uczeni ci uważali, że jeżeli uda im się rozwiązać tę zagadkę, będą również potrafili odpowiedzieć na głębsze pytanie - dlaczego Wszechświat w ogóle przeszedł fazę inflacji.

Odkryli, że jeżeli zogniskuje się w jednym punkcie wystarczająco dużo energii, niewielkie pęcherzyki czasoprzestrzeni zaczną powstawać spontanicznie. Jeżeli jednak pęcherzyki te byłyby zbyt małe, z powrotem zniknęłyby w czasoprzestrzennej pianie. Jedynie w przypadku odpowiednio dużych rozmiarów mogłyby rozszerzyć się tworząc cały wszechświat.

Z zewnątrz narodziny takiego nowego wszechświata nie wyglądałyby zbyt ciekawie, być może nie byłyby bardziej interesujące od wybuchu bomby jądrowej o mocy 500 kiloton. Odnieśliśmy

wrażenie, że z Wszechświata zniknął niewielki pęcherzyk, pozostawiając po sobie nieduży wybuch jądrowy. Natomiast wewnątrz pęcherzyka mógłby się rozszerzać całkowicie nowy wszechświat. Wyobraźmy sobie bańkę mydlaną, która dzieli się lub wypuszcza mniejszą bańkę, bańkę potomną. Taka bańka potomna mogłaby szybko się rozszerzyć, tworząc zupełnie nową bańkę. Podobnie wewnątrz naszego Wszechświata zobaczylibyśmy olbrzymi wybuch czasoprzestrzeni i powstanie całego nowego wszechświata.

Od 1987 roku zaproponowano wiele teorii, których celem było sprawdzenie, czy doprowadzenie odpowiedniej ilości energii może spowodować, by duży pęcherzyk rozszerzył się i utworzył cały nowy wszechświat. Największą akceptację uzyskała teoria, zgodnie z którą to pewna nowa cząstka, zwana inflatonem, spowodowała destabilizację czasoprzestrzeni i w efekcie wykształcenie się pęcherzyków i ich rozszerzenie.

Najnowsza kontrowersja pojawiła się w 2006 roku, gdy fizycy zaczęli się poważnie przyglądać nowej propozycji utworzenia wszechświata potomnego z wykorzystaniem monopolu. Chociaż monopoli - cząstek mających tylko jeden biegun magnetyczny, północny lub południowy - nigdy nie wykryto, uważa się, że cząstki takie dominowały w pierwotnym, wczesnym Wszechświecie. Mają one tak dużą masę, że wytworzenie ich w laboratorium jest niezwykle trudne, ale właśnie dzięki tej masywności, gdybyśmy wtłoczyli do monopolu jeszcze więcej energii, być może udałoby się zapoczątkować rozszerzanie się wszechświata potomnego i przekształcenie go w prawdziwy wszechświat.

Dlaczego fizycy mieliby zadawać sobie trud stworzenia wszechświata? Linde odpowiada: "Z takiej perspektywy, każdy z nas może stać się bogiem". Istnieje jednak również bardziej praktyczny powód uzasadniający potrzebę stworzenia nowego wszechświata: aby w ostateczności uciec przed ewentualną śmiercią naszego Wszechświata.

Ewolucja wszechświatów?

Niektórzy fizycy rozwijają te pomysły jeszcze dalej i ocierając się o fantastykę naukową, pytają, czy jakaś inteligencja mogła mieć swój udział w zaprojektowaniu naszego Wszechświata.

Zgodnie z przedstawionym przez Gutha i Fahriego scenariuszem, zaawansowana cywilizacja może stworzyć wszechświat potomny, ale stałe fizyczne (na przykład masa elektronu i protonu, oraz siły czterech oddziaływań) pozostałyby w nim takie same. Co by się jednak stało, gdyby zaawansowana cywilizacja potrafiła tworzyć wszechświaty potomne różniące się nieznacznie pod względem wartości stałych przyrody? Wtedy takie wszechświaty potomne mogłyby ewoluować w czasie, ponieważ każde nowe ich pokolenie różniłoby się w nieznacznym stopniu od poprzedniego.

Jeżeli przyjmujemy, że stałe fundamentalne są "DNA" wszechświata, możemy powiedzieć, że nie jest wykluczone, iż inteligentna forma życia będzie potrafiła stworzyć wszechświaty potomne mające nieco inne "DNA". W końcu wszechświaty te wyewoluują, a następnie rozmnożą się te spośród nich, które będą miały najlepsze "DNA", zezwalające na rozkwit inteligentnych form życia. Fizyk Edward Harrison, rozwijając pomysł Lee Smolina, zaproponował zasadę doboru naturalnego wszechświatów. W multiwszechświecie będą dominowały właśnie wszechświaty z najlepszym

"DNA", które umożliwią powstanie zaawansowanych cywilizacji, i te z kolei stworzą jeszcze więcej wszechświatów potomnych. "Przetrwanie osobników najlepiej przystosowanych" oznacza w tym kontekście po prostu przetrwanie wszechświatów, które najbardziej sprzyjają powstaniu zaawansowanych cywilizacji.

Jeżeli taki obraz jest zgodny z prawdą, wyjaśniałoby to, dlaczego fundamentalne stałe we Wszechświecie są tak dobrze dostrojone do powstania życia. To znaczy, że wszechświaty z wartościami stałych przyrody umożliwiającymi powstanie życia należą do grupy najliczniej rozmnażających się wszechświatów w multiwszechświecie.

(Chociaż idea ewolucji wszechświatów jest atrakcyjna ze względu na wyjaśnienie pochodzenia zasady antropicznej, kłopot z nią polega na tym, że jest ona niesprawdzalna i nie można dowieść jej nieprawdziwości. Zanim uda się wyciągnąć jakieś sensowne wnioski z tej idei, będziemy musieli poczekać na ukończenie prac nad teorią wszystkiego).

Obecnie nasz poziom techniczny jest zdecydowanie zbyt prymitywny, abyśmy mogli zdobyć dowody na obecność wszechświatów równoległych. Zatem wszystko to kwalifikuje się jako niemożliwość typu II - coś, co jest obecnie niemożliwe, ale nie kłóci się z prawami fizyki. W skali od tysięcy do milionów lat hipotezy te mogą stać się podstawą nowych rozwiązań technicznych cywilizacji typu III.

Część III

NIEMOŻLIWOŚCI TYPU III

Rozdział 14

PERPETUUM MOBILE

Teorie przechodzą przez cztery stadia akceptacji:

i. to całkowicie bezwartościowa bzdura;

ii. to ciekawe, ale dziwaczne;

iii. to prawda, ale to zupełnie nieistotne;

iv. zawsze tak twierdziłem.

-J.B.S. Haldane, 1965

W klasycznej powieści Isaaca Asimova *Równi bogom*, nieznanemu chemikowi w 2070 roku przypadkowo dokonuje największego odkrycia wszech czasów - konstruuje Pompę Elektronową, która za darmo wytwarza nieograniczoną energię. Wynalazek natychmiast znajduje szerokie zastosowanie. Jego odkrywca zostaje okrzyknięty wielkim uczonym, ponieważ udało mu się zaspokoić nieograniczone zapotrzebowanie cywilizacji na energię. "[Pompa Elektronowa] była dla całego świata jak lampa Alladyna i święty Mikołaj zarazem"¹⁰¹ - napisał Asimov. Założona przez wynalazcę firma wkrótce staje się jedną z najbogatszych korporacji na Ziemi, powodując upadek przemysłu związanego z wytwarzaniem energii jądrowej i wydobywaniem ropy, gazu oraz węgla.

Świat zostaje zalany darmową energią i cała cywilizacja upaja się nowo odkrytą potęgą. Podczas gdy wszyscy świętują owo wielkie osiągnięcie, pewien samotny fizyk nie może pozbyć się uczucia niepokoju. "Skąd się bierze ta darmowa energia?" - zastanawia się. W końcu odkrywa tajemnicę. Darmowa energia ma straszliwą cenę. Wylewa się ona z dziury w przestrzeni łączącej nasz Wszechświat z wszechświatem równoległym, a ten nagły dopływ energii do naszego Wszechświata uruchamia reakcję łańcuchową, w wyniku której dojdzie do zniszczenia gwiazd i galaktyk, Słońce zmieni się w supernową i wybuchnie, pochłaniając Ziemię.

Od zarania udokumentowanej historii, świętym Graalem wynalazców, uczonych, a także szarlatanów i oszustów było legendarne perpetuum mobile - urządzenie działające wiecznie, bez żadnych strat energii. A jeszcze lepiej, gdyby potrafiło wytwarzać *więcej* energii niż samo zużywa, tak jak w przypadku Pompy Elektronowej, która dostarcza darmowej energii w nieograniczonych ilościach.

W nadchodzących latach, w miarę jak w naszym uprzemysłowionym świecie będą się kończyły zasoby taniej ropy, nasili się potrzeba znalezienia nowych obfitych źródeł czystej energii. Szybujące w górę ceny paliwa, zmniejszająca się produkcja, wzrost zanieczyszczenia, zmiany atmosferyczne - wszystko to powoduje, że zainteresowanie energią staje się coraz większe.

Na fali tego zaniepokojenia niektórzy wynalazcy składają obietnice dostarczenia nieograniczonej ilości darmowej energii, proponując sprzedaż swoich wynalazków za setki milionów dolarów. Ustawiają się do nich w kolejce inwestorzy zwabieni sensacyjnymi doniesieniami w mediach zajmujących się rynkiem finansowym, które często nazywają tych

¹⁰¹ I. Asimov, *Równi bogom*, przeł. R. Pawlikowski, Amber, Warszawa 2001, s. 15.

dziwaków następcami Edisona.

Idea perpetuum mobile bardzo się rozpowszechniła w kulturze masowej. W odcinku *Simpsonów* pod tytułem *Koniec Stowarzyszenia Nauczycieli i Rodziców* w czasie strajku nauczycieli Lisa buduje własne perpetuum mobile. Skłania to Homera do stanowczego stwierdzenia: "Lisa, wracaj natychmiast [...] w tym domu przestrzega się praw termodynamiki!".

W grach komputerowych *The Sims*, *Xenosaga* część I i II oraz *Ultima VI: The False Prophet* (*Ultima VI: Falszywy prorok*), a także w serialu animowanym *Invader Zim* (*Najeźdźca Zim*) emitowanym przez amerykański kanał Nickelodeon, urządzenia perpetuum mobile stanowią ważny element fabuły.

Ale skoro energia jest tak cenna, jakie jest prawdopodobieństwo skonstruowania perpetuum mobile? Czy takie urządzenia są rzeczywiście niemożliwe, czy też ich budowa byłaby realna po dokonaniu jakichś korekt w prawach fizyki?

Historia widziana z perspektywy energii

Energia ma kluczowe znaczenie dla cywilizacji. Właściwie całą historię ludzkości można postrzegać przez pryzmat energii. Przez 99,9 procent czasu istnienia rasy ludzkiej tworzyła ona koczownicze społeczeństwa, z trudem utrzymujące się ze zbieractwa i myślistwa. Życie było brutalne i krótkie. Dysponowaliśmy wtedy energią jednej piątej konia mechanicznego - siłą naszych własnych mięśni. Badania kości naszych przodków dowodzą olbrzymiego ich zużycia, spowodowanego przygniatającym ciężarem codziennej walki o przetrwanie. Średnia długość życia nie przekraczała wówczas dwudziestu lat.

Jednak po zakończeniu ostatniej epoki lodowcowej, około dziesięć tysięcy lat temu, odkryliśmy rolnictwo i udomowiliśmy zwierzęta - w rozważanym kontekście szczególnie istotne było udomowienie konia - co pozwoliło nam stopniowo zwiększyć dostępną energię do jednego albo dwóch koni mechanicznych. To wyzwoliło pierwszą wielką rewolucję w historii ludzkości. Za pomocą konia albo wołu jeden człowiek mógł dysponować energią pozwalającą na samodzielne zaoranie całego pola, przebycie dziesiątek kilometrów w ciągu jednego dnia albo przeniesienie setek kilogramów kamieni lub ziarna z jednego miejsca w drugie. Po raz pierwszy w historii ludzkości rodziny dysponowały nadmiarową energią, a wynikiem tego było powstanie pierwszych miast. Nadwyżka energetyczna oznaczała, że społeczeństwo może sobie pozwolić na utrzymanie klasy rzemieślników, architektów, budowniczych oraz skrybów, i dzięki temu mogły rozkwitnąć starożytne cywilizacje. Wkrótce w dżunglach i na pustyniach powstały wielkie piramidy i imperia. Średnia długość życia wydłużyła się do około trzydziestu lat.

Później, mniej więcej trzysta lat temu, zaszła druga wielka rewolucja w dziejach ludzkości. Wraz z pojawieniem się maszyn i silnika parowego energia dostępna jednej osobie zwiększyła się do dziesiątków koni mechanicznych. Wykorzystując siłę lokomotywy parowej, ludzie potrafili teraz przemierzyć całe kontynenty w ciągu kilku dni. Maszyny mogły zaorać całe pole, przewieźć setki pasażerów na odległość tysięcy kilometrów i umożliwiły wybudowanie olbrzymich, niebotycznych miast. Do roku 1900 średnia długość życia w Stanach Zjednoczonych sięgnęła niemal

pięćdziesięciu lat.

Obecnie znajdujemy się w trakcie trzeciej wielkiej rewolucji w historii człowieka - rewolucji informacyjnej. Z powodu eksplozji demograficznej i wilczego apetytu na elektryczność i energię, nasze potrzeby energetyczne rosły w zawrotnym tempie i poziom dostaw energii jest podniesiony do granic możliwości. Energię dostępną dla jednego człowieka mierzy się obecnie w tysiącach koni mechanicznych. Nie jest dla nas niczym niezwykłym, że jeden samochód może wytworzyć moc setek koni mechanicznych. Nic więc dziwnego, że zapotrzebowanie na coraz większą ilość energii rozbudziło zainteresowanie pozyskaniem jeszcze wydajniejszych jej źródeł, z perpetuum mobile włącznie.

Historia perpetuum mobile

Poszukiwanie perpetuum mobile ma długą historię. Pierwszą udokumentowaną próbę zbudowania perpetuum mobile przeprowadzono w VIII wieku w Bawarii. Maszyna ta stała się wzorem dla setek odmian, jakie projektowano przez kolejny tysiąc lat. Głównym elementem tego urządzenia było kilka niewielkich magnesów przyczepionych do koła, niczym w diabelskim młynie. Tak przygotowane koło zamontowano nad znacznie większym magnesem leżącym na podłodze. W zamyśle projektanta magnes przyczepiony do koła w chwili przechodzenia nad nieruchomym magnesem miał być najpierw przez niego przyciągany, a następnie odpychany, co miało napędzać koło i wprawiać je w wieczny ruch.

Inny sprytny projekt został wymyślony w 1150 roku przez hinduskiego filozofa Bhaskarę. Zaproponował on skonstruowanie koła wiecznie obracającego się za sprawą ciężaru umieszczonego na jego obwodzie, który powodując jego niezrównoważenie, wymuszałyby obrót. Ciężar wykonałby pracę, zataczając pełny okrąg, po czym powrócił do punktu wyjścia. Bhaskara twierdził, że dzięki powtarzaniu ciągle tego procesu można wykonać za darmo nieograniczoną pracę.

Oba te projekty perpetuum mobile i wiele ich późniejszych odmian, łączy jedna wspólna cecha: takiego lub innego rodzaju koło, które potrafi zrobić pełny obrót bez pobierania energii z zewnątrz, wykonując w ten sposób możliwą do spożytkowania pracę. (Jednak po uważnym przyjrzeniu się tym sprytnym maszynom, da się zwykle zauważyć, że w rzeczywistości w trakcie każdego obrotu tracą one pewną ilość energii albo nie można ich wykorzystać do wykonania żadnej użytecznej pracy).

W renesansie propozycje budowy perpetuum mobile zaczęły się pojawiać znacznie częściej. W 1635 roku przyznano pierwszy patent na konstrukcję perpetuum mobile. Do 1712 roku Johann Bessler zbadał około trzystu różnych modeli i zaproponował własny projekt. (Według legendy, jego służąca wyjawiała później, że urządzenie to było oszustwem). Nawet wielki malarz i uczonej odrodzenia Leonardo da Vinci zainteresował się perpetuum mobile. Chociaż publicznie potępiał dążenia do budowy takiego urządzenia, porównując je do bezowocnego poszukiwania kamienia filozoficznego, jednak po kryjomu wykonywał w swoim notatniku szkice samonapędzających się, poruszających się wiecznie maszyn, między innymi pompy wirowej i podnośnika kominowego,

napędzanego przez gorące powietrze w kominie, który miał za zadanie obracać umieszczony nad ogniem rożen.

Do roku 1775 zgłoszono tyle projektów, że Królewska Akademia Nauk w Paryżu ogłosiła, iż "nie będzie już przyjmować ani rozważać propozycji związanych z perpetuum mobile".

Arthur Ord-Hume, historyk zajmujący się tematem perpetuum mobile, pisząc o bezgranicznym poświęceniu tych wynalazców, pracujących pomimo ogromnych przeciwności, porównuje ich do starożytnych alchemików. Lecz - zauważa - "nawet alchemik [...] wiedział, kiedy należy uznać się za pokonanego".

Mistyfikacje i oszustwa

Motywacja do budowy perpetuum mobile była tak duża, że oszustwa były na porządku dziennym. W 1813 roku Charles Redheffer pokazał publicznie w Nowym Jorku maszynę wytwarzającą za darmo nieograniczoną energię. Urządzenie to wywołało zdumienie zgromadzonej publiczności. (Jednak gdy Robert Fulton uważnie zbadał tę maszynę, odkrył ukryty pas napędowy, który wprawiał urządzenie w ruch. Pas ten był połączony z korbą, którą potajemnie obracał ukryty na strychu współpracownik).

Również uczeni i inżynierowie dali się porwać fali fascynacji perpetuum mobile. W 1870 roku redaktorzy "Scientific American" dali się oszukać maszynie skonstruowanej przez E.P. Willisa. W czasopiśmie tym ukazał się artykuł o sensacyjnym tytule: *Greatest Discovery Ever Yet Made* (Największe odkrycie wszech czasów). Dopiero później stwierdzono, że skonstruowane przez Willisa perpetuum mobile ma ukryte źródło energii.

W 1872 roku John Ernst Worrell Keely dopuścił się najbardziej sensacyjnego i lukratywnego oszustwa swojej epoki, wyłudzając od inwestorów prawie 5 milionów dolarów, co pod koniec XIX wieku stanowiło bajeczną sumę. Zasada działania jego perpetuum mobile opierała się na rezonansie kamertonów, które, jak twierdził, czerpią energię z eteru. Keely, człowiek bez naukowego wykształcenia, zapraszał do swojego domu majątnych inwestorów i zadziwiał ich swoim Hydro-Pneumatyczno-Pulsacyjno-Próżniowym Silnikiem, który kręcił się ze świstem bez żadnego zewnętrznego źródła zasilania. Przejęci inwestorzy, oszołomieni tą samonapędzającą się maszyną, przybywali tłumnie i napelniali pieniędzmi jego kufry.

Później niektórzy z nich, rozczarowani i wściekli, oskarżyli go o oszustwo, i Keely wyłudował nawet na pewien czas w więzieniu, zmarł jednak jako zamożny człowiek. Po jego śmierci badacze rozgryźli sprytny sekret maszyny. W trakcie rozbioru jego domu odkryto ukryte w ścianach i podłogach piwnicy rurki, które potajemnie doprowadzały do urządzenia sprężone powietrze. Powietrze w rurkach było natomiast sprężane przy wykorzystaniu energii koła zamachowego.

Nawet amerykańska marynarka wojenna i sam prezydent Stanów Zjednoczonych dali się zwieść takim urządzeniom. W 1881 roku John Gamgee wymyślił urządzenie na ciekły amoniak. Parowanie chłodnego amoniaku powodowało nagromadzenie rozszerzającego się gazu, który mógł poruszyć tłok i w ten sposób napędzać inne urządzenia, wykorzystując jedynie ciepło oceanów. Przedstawiciele marynarki byli tak zauroczeni pomysłem czerpania nieograniczonej

energii z oceanu, że zatwierdzili ten wynalazek, a nawet zaprezentowali go prezydentowi Jamesowi Garfieldowi. Problem jednak w tym, że gaz nie ulegał ponownemu skropleniu w ciecz i dlatego pełny cykl nie mógł zostać zrealizowany.

Do Urzędu Patentów i Znaków Towarowych USA (US Patent and Trademark Office) zgłoszono tak wiele propozycji perpetuum mobile, że obecnie urząd odmawia przyznania patentu na takie urządzenia, jeżeli nie zostanie przedstawiony działający model. W rzadkich przypadkach, gdy eksperci patentowi nie mogą doszukać się żadnych uchybień w prototypie, patent zostaje przyznany. Urząd Patentowy stwierdza: "Z wyjątkiem przypadków związanych z perpetuum mobile, Urząd zwykle nie wymaga zaprezentowania modelu urządzenia, w celu wykazania jego działania". (Ta luka pozwala nieuczciwym wynalazcom przekonywać naiwnych inwestorów do sfinansowania ich urządzenia, twierdząc, że Urząd Patentowy oficjalnie uznał ich odkrycie).

Pogoń za skonstruowaniem perpetuum mobile nie była jednak z naukowego punktu widzenia bezowocna. Wręcz przeciwnie, chociaż wynalazcom nigdy nie udało się zbudować urządzenia działającego wiecznie, olbrzymie ilości czasu i energii poświęcone na konstruowanie tych legendarnych maszyn zainspirowały fizyków do przeprowadzenia skrupulatnych badań natury silników cieplnych. (Podobnie bezowocne poszukiwania przez alchemików kamienia filozoficznego, który zmieniałby ołów w złoto, przyczyniły się do odkrycia niektórych podstawowych praw chemii).

Na przykład w latach sześćdziesiątych XVIII wieku John Cox skonstruował zegar zasilany zmianami ciśnienia atmosferycznego, który rzeczywiście może chodzić wiecznie. Zmiany ciśnienia powietrza poruszają barometr, ten z kolei obraca wtedy wskazówki zegara. Zegar taki naprawdę działa i istnieje nawet dzisiaj. Może wiecznie chodzić, ponieważ wykorzystuje dostępną zewnętrzną energię w postaci zmian ciśnienia atmosferycznego.

Urządzenia podobne do perpetuum mobile Coksa naprowadziły w końcu uczonych na trop hipotezy, że maszyny takie mogą działać wiecznie jedynie pod warunkiem, że pobierają energię z otoczenia, to znaczy, że całkowita energia zostaje zachowana. Spostrzeżenie to doprowadziło do sformułowania pierwszego prawa termodynamiki, zgodnie z którym całkowita ilość materii i energii nie może ani powstawać z niczego, ani znikać. Ostatecznie sformułowano trzy prawa termodynamiki. Drugie prawo mówi, że całkowita entropia (nieporządek) zawsze wzrasta. (Mówiąc ogólnie, prawo to oznacza, że ciepło przepływa spontanicznie jedynie z miejsc cieplejszych do zimniejszych). Trzecie prawo głosi, że nie można osiągnąć temperatury zera bezwzględnego.

Gdybyśmy porównali Wszechświat do gry, której celem jest uzyskanie energii, to te trzy prawa można by sformułować ponownie w następujący sposób:

"Niczego nie można uzyskać za darmo" (pierwsze prawo).

"Nie można wyjść na zero" (drugie prawo).

"Nie można nawet zrezygnować z udziału w grze" (trzecie prawo).

(Fizycy zastrzegają jednak, że prawa te niekoniecznie musiały być spełniane przez cały czas. Niemniej jednak, jak dotąd nie wykryto żadnego odchylenia od nich. Każdy, kto chciałby obalić te prawa, musiałby stawić czoło wynikom skrupulatnych doświadczeń przeprowadzanych przez wiele

stuleci. Wkrótce omówimy możliwe odstępstwa od tych praw).

Prawa te, należące do szczytowych osiągnięć dziewiętnastowiecznej nauki, naznaczone są zarówno tragedią, jak i triumfem. Wielki niemiecki fizyk Ludwig Boltzmann, jedna z kluczowych postaci, które przyczyniły się do ich sformułowania, popełnił samobójstwo po części pod wpływem kontrowersji, jakie powstały po ich ogłoszeniu.

Ludwig Boltzmann i entropia

Boltzmann był niskim, szerokim w ramionach mężczyzną o posturze niedźwiedzia, z olbrzymią gęstą brodą. Jego robiący wrażenie, srogi wygląd maskował jednak liczne psychiczne rany, jakie odniósł, broniąc swoich idei. Chociaż w XIX wieku fizyka newtonowska była już mocno ugruntowana, Boltzmann wiedział, że jej praw nigdy rygorystycznie nie zastosowano do kontrowersyjnego pojęcia atomów, wciąż nieakceptowanego przez wielu prominentnych uczonych. (Czasami zapominamy, że jeszcze sto lat temu całe zastępy uczonych upierały się, że atom jest jedynie sprytną metaforą, a nie bytem istniejącym w rzeczywistości. Uczeni ci twierdzili, że atomy są tak niewiarygodnie małe, iż prawdopodobnie w ogóle nie istnieją).

Newton wykazał, że nie duchy ani pragnienia, lecz mechaniczne siły wystarczają do opisanie ruchu wszystkich ciał. Uogólniając to podejście w elegancki sposób, Boltzmann wyprowadził wiele praw opisujących gazy w oparciu o proste założenie: gazy składają się z małych atomów, które niczym kule bilardowe przestrzegają praw sił sformułowanych przez Newtona. Dla Boltzmana komora wypełniona gazem była podobna do pudełka zawierającego biliony maleńkich stalowych kulek, odbijających się od ścian i wzajemnie od siebie, zgodnie z prawami ruchu Newtona. W jednym z największych arcydzieł fizyki Boltzmann (i niezależnie od niego James Clerk Maxwell) wykazał matematycznie, jak to proste założenie może prowadzić do niezwykle nowych praw, otwierając tym samym zupełnie nową gałąź fizyki, nazywaną mechaniką statystyczną.

Nagle wiele własności materii można było wyprowadzić z podstawowych zasad. Ponieważ z zastosowania praw Newtona do atomów wynika, że energia musi być zachowana, jest ona zachowywana w każdym zderzeniu między atomami; to z kolei oznacza, że cała komora zawierająca biliony atomów również musi zachowywać energię. Zasadę zachowania energii można było teraz oprzeć nie tylko na wynikach doświadczeń, ale również wyprowadzić z pierwszych zasad, to znaczy z newtonowskiego ruchu atomów.

Jednak w XIX wieku istnienie atomów wciąż było tematem gorących polemik i ideę tę często wyśmiewali znani uczeni, na przykład filozof Ernst Mach. Wrażliwy i często wpadający w depresję Boltzmann znalazł się w niewygodnej roli piorunochronu, celu brutalnych często ataków antyatomistów. Przeciwnicy teorii atomistycznej uważali, że jeżeli czegoś nie można zmierzyć, to nie istnieje, i dotyczy to również atomów. Upokorzenie Boltzmana było tym większe, że wiele z jego artykułów zostało odrzuconych przez redaktora ważnego niemieckiego czasopisma naukowego, ponieważ upierał się on, iż atomy i cząsteczki są jedynie wygodnym narzędziem teoretycznym, a nie obiektami istniejącymi rzeczywiście w przyrodzie.

Wyczerpany i rozgoryczony tymi osobistymi atakami, w 1906 roku Boltzmann powiesił się, gdy

jego żona wraz z dzieckiem pojechała na plażę. Niestety nie wiedział o tym, że zaledwie rok wcześniej pewien przebojowy młody fizyk o nazwisku Albert Einstein dokonał rzeczy niemożliwej: napisał pierwszy artykuł dowodzący istnienia atomów.

Całkowita entropia zawsze wzrasta

Prace Boltzmann'a i innych fizyków pozwoliły wyjaśnić naturę perpetuum mobile. Podzielono je na dwie kategorie. Do pierwszej grupy należą perpetuum mobile łamiące pierwszą zasadę termodynamiki, to znaczy takie, które wytwarzają więcej energii niż jej zużywają. W każdym przypadku takiego urządzenia fizycy odkrywali, że bazuje ono na ukrytym, zewnętrznym źródle energii i albo jest świadomym oszustwem, albo wynalazca nie zdawał sobie sprawy z istnienia takiego zewnętrznego źródła energii.

Perpetuum mobile drugiego typu są bardziej subtelne. Stosują się do pierwszego prawa termodynamiki - zasady zachowania energii - ale łamią drugie prawo. W teorii, perpetuum mobile drugiego typu nie ma żadnych strat energii, a zatem jego sprawność wynosi 100 procent¹⁰². Jednak drugie prawo mówi, że takie urządzenie nie może istnieć - straty zawsze muszą powstawać - dlatego nieporządek i chaos we Wszechświecie, czyli entropia, zawsze wzrasta. Bez względu na to, jak wysoka byłaby sprawność danej maszyny, zawsze będzie ona wytwarzała jakieś ciepło odpadkowe, podnosząc tym samym entropię Wszechświata.

Fakt, że całkowita entropia zawsze rośnie, odgrywa kluczową rolę w historii ludzkości, a także matki natury. Zgodnie z drugim prawem, znacznie łatwiej jest niszczyć niż budować. Coś, co mogło powstawać przez tysiące lat, na przykład wielkie imperium Azteków w Meksyku, może zostać zniszczone w kilka miesięcy; i tak się właśnie stało, gdy grupa obdartych hiszpańskich konkwistadorów uzbrojona w strzelby i konie rozniosła to państwo w pył.

Za każdym razem, gdy spoglądamy w lustro i widzimy nową zmarszczkę lub siwy włos, jesteśmy świadkami działania drugiego prawa termodynamiki. Biologowie mówią, że proces starzenia się jest wynikiem stopniowego kumulowania się błędów genetycznych w naszych komórkach i genach, w wyniku czego zdolność komórki do poprawnego funkcjonowania powoli ulega pogorszeniu. Starzenie się, rdzewienie, rozkład, gnicie, dezintegracja i rozpad to wszystko są przykłady działania drugiego prawa.

Astronom Arthur Eddington, wypowiadając się na temat głębokiej natury drugiego prawa, powiedział kiedyś: "Prawo, że entropia zawsze wzrasta, moim zdaniem zajmuje najważniejsze

¹⁰² Niektórzy sprzeciwiają się temu stwierdzeniu, mówiąc, że ludzki mózg, będący chyba najbardziej złożonym tworem matki natury w Układzie Słonecznym, stanowi zaprzeczenie drugiego prawa. Mózg człowieka składa się z ponad 100 miliardów neuronów i w promieniu 39 bilionów kilometrów od Ziemi, aż do najbliższej gwiazdy, nie ma nic, co mogłoby się z nim równać pod względem złożoności. W jaki sposób tak wielkie obniżenie entropii można pogodzić z drugim prawem? - pytają. Wydaje się, że sama ewolucja stanowi pogwałcenie drugiego prawa. Odpowiedzią na takie rozumowanie jest to, że spadek entropii wywołany powstaniem bardziej złożonych organizmów, wśród nich ludzi, spowodował wzrost całkowitej entropii w innych obszarach. Spadek entropii związany z ewolucją jest z nawiązką równoważony przez jej wzrost w otaczającym środowisku, na przykład entropię światła słonecznego padającego na Ziemię. Wytworzenie ludzkiego mózgu na drodze ewolucji rzeczywiście powoduje spadek entropii, ale jest on

miejsce wśród praw przyrody [...] jeżeli okaże się, że jakaś teoria jest sprzeczna z drugim prawem termodynamiki, nie ma dla niej żadnej nadziei; nie pozostaje jej nic innego, jak tylko z największym wstydem zapaść się pod ziemię”.

Jednak nawet w dzisiejszych czasach zaradni inżynierowie (i sprytni oszuści) w dalszym ciągu ogłaszają skonstruowanie perpetuum mobile. Niedawno zostałem poproszony przez “Wall Street Journal” o skomentowanie pracy pewnego wynalazcy, któremu udało się nakłonić inwestorów, by utopili miliony dolarów w budowę jego urządzenia. W głównych czasopismach finansowych pojawiły się pełne uniesienia artykuły napisane przez dziennikarzy pozbawionych jakiegokolwiek naukowego wykształcenia, rozpluwających się w zachwytach nad potencjalną szansą zmiany świata, jaką miało stwarzać to urządzenie (i przy okazji przynieść bajeczne zyski). “Geniusz czy wariat?” - trąbiły nagłówki gazet.

Inwestorzy wykładali grube pliki banknotów na konstrukcję urządzenia, sprzecznego z najbardziej podstawowymi prawami fizyki i chemii, których uczy się w każdej szkole. (Dla mnie najbardziej szokujące było nie to, że ktoś próbował wyłudzić pieniądze od naiwniaków - tak się dzieje od początku świata. Najdziwniejsze było to, że oszukanie zamożnych inwestorów przyszło temu wynalazcy z taką łatwością, gdyż nie rozumieli oni najbardziej elementarnej fizyki). Przytoczyłem w “Wall Street Journal” przysłowie: “Głupi wszystko kupi” i słynne powiedzenie P.T. Barnuma: “Każdej minuty rodzi się jakiś frajer”. Być może nie powinno więc dziwić, że zarówno “Financial Times”, jak i “Economist” oraz “Wall Street Journal” opublikowały duże artykuły poświęcone różnym wynalazcom zachwalającym swoje perpetuum mobile.

Trzy prawa i symetrie

Wszystko to prowadzi jednak do głębszych pytań: Dlaczego te “żelazne” prawa termodynamiki w ogóle obowiązują? Tajemnica ta frapowała uczonych od czasu, gdy zostały one po raz pierwszy sformułowane. Gdybyśmy znali odpowiedź na to pytanie, być może udałoby się znaleźć w tych prawach jakieś luki, których istnienie miałyby wstrząsające konsekwencje.

Pewnego dnia w czasie studiów oniemiałem, gdy w końcu poznałem prawdziwe źródło zasady zachowania energii. Jedną z podstawowych zasad fizyki (odkrytą przez matematyczkę Emmy Noether w 1918 roku) jest fakt, że zawsze, gdy układ ma symetrię, wynika z tego jakieś prawo zachowania. Jeżeli prawa Wszechświata nie zmieniają się w czasie, to zadziwiającym wynikiem takiego stanu jest zachowanie energii przez ten układ. (Co więcej, jeżeli prawa fizyki nie zmieniają się w wyniku przemieszczenia się w dowolnym kierunku, to zostaje również zachowany pęd w dowolnym kierunku. A gdy prawa fizyki nie zmieniają się w wyniku obrotu, wtedy zachowany zostaje moment pędu).

To było dla mnie oszałamiające. Uświadomiłem sobie, że kiedy badamy światło gwiazd dobiegające do nas z galaktyk odległych o miliardy lat świetlnych, położonych na skraju obserwowalnego Wszechświata, przekonujemy się, że jego widmo jest dokładnie takie samo, jak

widmo światła obserwowanego na Ziemi. W tym reliktowym świetle, które zostało wyemitowane miliardy lat przed powstaniem Ziemi czy Słońca, dostrzegamy takie same, charakterystyczne "odciski palców" widma wodoru, helu, węgla, neonu i tak dalej, jak te, które rejestrujemy obecnie na Ziemi. Innymi słowy, podstawowe prawa fizyki nie zmieniły się przez miliardy lat i są takie same aż po najdalsze krańce Wszechświata.

Uświadomiłem sobie, że twierdzenie Emmy Noether oznacza co najmniej tyle, że zasada zachowania energii będzie prawdopodobnie obowiązywała przez miliardy lat, jeżeli nie dłużej. Zgodnie z naszą wiedzą, żadne z podstawowych praw fizyki nie zmieniło się w czasie i to powoduje, że energia zostaje zachowana.

Z twierdzenia Emmy Noether wynikają bardzo głębokie konsekwencje dla współczesnej fizyki. Gdy fizycy tworzą jakąś nową teorię, bez względu na to, czy dotyczy ona pochodzenia Wszechświata, oddziaływań między kwarkami i innymi cząstkami subatomowymi czy antymaterii, zawsze zaczynają od symetrii, jakie ma dany układ. Obecnie wiemy, że symetrie stanowią podstawową myśl przewodnią w tworzeniu dowolnej nowej teorii. W przeszłości uważano, że symetrie są produktem ubocznym teorii - miłą, lecz całkowicie bezużyteczną cechą teorii, ładną, ale niezbyt istotną. Obecnie zdajemy sobie sprawę z tego, że symetrie są niezbędną cechą definiującą każdą teorię. Tworząc nowe teorie, my, fizycy, zaczynamy najpierw od symetrii, a dopiero potem wokół niej tworzymy resztę teorii.

(To smutne, ale Emmy Noether, podobnie jak Boltzmann przed nią, musiała zaciekle walczyć o uznanie. Jako kobiecie matematykowi, z powodu płci, odmówiono jej przyznania stałego zatrudnienia w czołowych ośrodkach naukowych. Mentor Emmy Noether, wielki matematyk David Hilbert, był tak sfrustrowany bezowocnymi próbami znalezienia jej stanowiska naukowego, że wykrzyknął: "Czy to jest uniwersytet, czy towarzystwo kąpielowe?").

To rodzi niepokojące pytanie. Jeżeli energia zostaje zachowana, ponieważ prawa fizyki nie zmieniają się w czasie, to czy w rzadkich, niezwyklej okolicznościach ta symetria mogłaby zostać złamana? Wciąż istnieje możliwość, że w skali całego kosmosu zasada zachowania energii może nie być spełniona, jeżeli symetria naszych praw w jakichś egzotycznych, nieoczekiwanych miejscach ulega załamaniu.

Jednym ze sposobów, w jaki mogłoby do tego dojść, jest sytuacja, w której prawa fizyki zmieniają się w czasie lub wraz ze zmianą odległości. (W powieści Asimova *Równi bogom* symetria ta zostaje złamana, ponieważ istnieje dziura w przestrzeni łącząca nasz Wszechświat z wszechświatem równoległym. W pobliżu otworu prawa fizyki ulegają zmianie, co tym samym prowadzi do załamania praw termodynamiki. Zatem zasada zachowania energii mogłaby nie być spełniona, gdyby przestrzeń była dziurawa, to znaczy istniały w niej tunele czasoprzestrzenne).

Inną luką, która jest obecnie przedmiotem ożywionej dyskusji, jest pytanie o to, czy energia może wyłonić się z niczego.

Energia z próżni?

Pojawiło się bardzo atrakcyjne pytanie: Czy możliwe jest uzyskanie energii z niczego? Fizycy dopiero niedawno uświadomili sobie, że "nic" próżni nie jest wcale puste, lecz wprost kipi aktywnością.

Jednym ze zwolenników tej idei był ekscentryczny geniusz XX wieku Nikola Tesla, godny rywal Thomasa Edisona¹⁰³. Był on również jednym z entuzjastów energii punktu zerowego, czyli idei, że próżnia może zawierać nieopisane ilości energii. Jeżeli to prawda, próżnia może się okazać największym darmowym prezentem, dzięki któremu będziemy mogli czerpać nieograniczoną energię dosłownie z niczego. Próżnia nie byłaby w takim przypadku postrzegana jako coś pustego i pozbawionego materii, lecz stałaby się ostatecznym źródłem energii.

Tesla urodził się w niewielkim miasteczku na terenie dzisiejszej Serbii i w 1884 roku bez grosza przy duszy dotarł do Stanów Zjednoczonych. Wkrótce został asystentem Thomasa Edisona, lecz z powodu swojej błyskotliwości stał się też jego rywalem. Ich współzawodnictwo, które historycy ochrztili mianem wojny prądów, doprowadziło do konfrontacji Tesli z Edisonem. Edison wierzył, że może zelektryfikować świat swoim prądem stałym (DC, *direct current*), podczas gdy Tesla, wynalazca prądu zmiennego (AC, *alternating current*) z powodzeniem wykazał, że jego metody są zdecydowanie lepsze od pomysłu Edisona i wiążą się ze znacznie mniejszymi stratami energii w czasie przesyłania jej na dużą odległość. Obecnie cała nasza planeta jest zelektryfikowana w oparciu o patenty Tesli, a nie Edisona.

Tesla opracował ponad siedemset wynalazków i patentów, a wśród nich znajdują się niektóre z najważniejszych osiągnięć w historii elektryczności. Historycy podali przekonujące argumenty przemawiające za tym, że Tesla skonstruował radio przed Guglielmem Marconim (powszechnie uważanym za jego wynalazcę) i pracował nad promieniami nazwanymi później od nazwiska ich oficjalnego odkrywcy Wilhelma Röntgena. (Zarówno Marconi, jak i Röntgen otrzymali później Nagrodę Nobla za swoje odkrycia, których być może dokonał, wiele lat przed nimi, Nikola Tesla).

¹⁰³ Tesla był jednak również postacią tragiczną. Prawdopodobnie w wyniku oszustwa został pozbawiony dochodów z wykorzystania wielu jego patentów i wynalazków, które ukształtowały drogę radiu, telewizji i rewolucji telekomunikacyjnej. (Jednak my, fizycy, zadaliśmy o to, żeby nazwisko Tesli nie zostało zapomniane. Nazwaliśmy jego nazwiskiem jednostkę indukcji magnetycznej. Jedna tesla jest równa 10 000 gausów, czyli oznacza pole w przybliżeniu dwudziestokrotnie silniejsze od pola magnetycznego Ziemi). Dzisiaj postać tego uczonego została w dużej mierze zapomniana, tylko jego najbardziej ekscentryczne stwierdzenia w dalszym ciągu cieszą się popularnością wśród zwolenników teorii konspiracji i niesamowitych opowieści. Tesla wierzył, że uda mu się porozumieć z istotami żyjącymi na Marsie, uzupełnić niedokończoną przez Einsteina zunifikowaną teorię pola, rozłupać Ziemię na pół niczym jabłko i wynaleźć promień śmierci potrafiące zniszczyć dziesięć tysięcy samolotów z odległości 400 kilometrów. (FBI potraktowała zapowiedzi stworzenia promieni śmierci tak poważnie, że po zgonie wynalazcy przejęła znaczną część jego notatek oraz wyposażenia laboratorium. Część zagarniętej wówczas spuścizny po dziś dzień jest przechowywana w tajnych magazynach). Szczyt sławy Tesli przypadł na rok 1931, gdy znalazł się na okładce czasopisma "Time". Regularnie wprawiał opinię publiczną w zdumienie wywołując olbrzymie błyskawice o napięciu milionów woltów. Teslę zgubiła jednak znana wszystkim nieporadność w zarządzaniu finansami i kwestiami prawnymi. Walcząc z armią prawników reprezentujących rodzące się wówczas giganty przemysłu energetycznego, Tesla utracił prawa do swoich najważniejszych patentów. Zaczął również wykazywać oznaki dolegliwości, którą obecnie znamy jako nerwicę natręctw, a która objawiała się u niego obsesją na punkcie cyfry 3. Później popadł w paranoję i resztę życia spędził w skrajnym ubóstwie w hotelu New Yorker, nieustannie obawiając się otrucia przez wrogów i wyprzedzając o krok wierzących. Zmarł w całkowitej nędzy w 1943 roku, w wieku osiemdziesięciu sześciu lat.

Tesla wierzył również, że zdoła pozyskać nieograniczone ilości energii z próżni, twierdzenia tego nie dowiódł jednak niestety w swoich notatkach. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że energia punktu zerowego (czyli energia zawarta w próżni) kłóci się z pierwszą zasadą dynamiki. Choć stoi ona w sprzeczności z mechaniką newtonowską, idea ta niedawno pojawiła się ponownie w innej dziedzinie nauki.

Po przeanalizowaniu danych uzyskanych z krążących obecnie po orbicie satelitów, takich jak WMAP, uczeni doszli do zadziwiającego wniosku, że 73 procent Wszechświata składa się z ciemnej energii, energii czystej próżni. Oznacza to, że największym magazynem energii w całym Wszechświecie jest próżnia między galaktykami. (Ta ciemna energia jest tak olbrzymia, że odpycha od siebie galaktyki i może ostatecznie rozciągnąć Wszechświat w nieskończoność aż do Wielkiego Chłodu).

Ciemna energia występuje w każdym zakątku Wszechświata, nawet w naszym pokoju i wewnątrz naszych ciał. Ilość ciemnej energii w przestrzeni kosmicznej jest prawdziwie astronomiczna i przewyższa sumaryczną energię wszystkich gwiazd i galaktyk razem wziętych. Możemy również wyznaczyć ilość ciemnej energii na Ziemi - po przeprowadzeniu obliczeń okazuje się, że jest ona dosyć mała, zbyt mała, by można ją wykorzystać do napędzania perpetuum mobile. Tesla miał rację, jeśli chodzi o istnienie ciemnej energii, ale mylił się co do jej ilości na Ziemi.

Ale czy na pewno?

Jedną z najbardziej wstydliwych luk we współczesnej fizyce jest to, że nikomu nie udało się wyliczyć teoretycznie ilości ciemnej energii, którą potrafimy zmierzyć za pomocą naszych satelitów. Jeżeli wykorzystamy najnowszą teorię fizyki cząstek elementarnych do wyznaczenia ilości ciemnej energii we Wszechświecie, uzyskamy liczbę różniącą się od wartości poprawnej o czynnik 10^{120} ! Jest to jedynka ze 120 zerami! Stanowi to bez wątpienia największą w historii fizyki niezgodność między teorią a eksperymentem.

Problem w tym, że nikt nie wie, jak wyliczyć "energię niczego". Jest to jedno z najważniejszych pytań w fizyce (bo ostatecznie wartość ta określi los Wszechświata), jednak obecnie nie mamy najmniejszego pojęcia, jak można by ją wyznaczyć. Żadna teoria nie potrafi wyjaśnić ciemnej energii, chociaż dowody eksperymentalne jej istnienia mamy przed oczami.

Zatem próżnia ma energię, tak jak podejrzewał Tesla. Jednak ilość tej energii jest prawdopodobnie zbyt mała, by można ją było wykorzystać jako użyteczne źródło. Istnieją olbrzymie ilości ciemnej energii między galaktykami, lecz na Ziemi znajduje się jej niewiele. Żenujące jest jednak to, że nikt nie wie, jak wyliczyć tę energię, ani skąd się ona wzięła.

Chodzi o to, że zasada zachowania energii ma głębokie, kosmologiczne przyczyny. Każde pogwałcenie tych praw musiałoby oznaczać gruntowną zmianę naszego rozumienia ewolucji Wszechświata. Tajemnica ciemnej energii zmusza fizyków do stawienia czoła tej kwestii.

Ponieważ skonstruowanie prawdziwego perpetuum mobile może wymagać ponownej oceny podstawowych praw fizyki w skali kosmologicznej, zaliczyłbym perpetuum mobile do niemożliwości

typu III; to znaczy, albo są one niemożliwe, albo musimy zasadniczo zmienić nasze rozumienie fundamentalnej fizyki w skali kosmologicznej. Ciemna energia pozostaje jednym z wielkich, niezamkniętych rozdziałów współczesnej fizyki.

Rozdział 15

PREKOGNICJA

Paradoks to prawda, która stanęła na głowie, żeby zwrócić na siebie uwagę. - Nicholas Falletta

Czy istnieje coś takiego, jak prekognicja, czyli widzenie przyszłości? To stare pojęcie jest obecne w każdej religii, począwszy od greckich i rzymskich wyroczni, a na prorokach Starego Testamentu kończąc. Jednak w tych opowieściach dar prorocstwa może również okazać się przekleństwem. W greckiej mitologii znana jest opowieść o Kasandrze, córce króla Troi. Swoją olśniewającą urodą przyciągnęła uwagę boga Słońca, Apolla, który, by zdobyć jej przychylność, obdarzył ją zdolnością widzenia przyszłości. Jednak Kasandra wzgardziła zalotami Apolla. W przypływie gniewu Apollo wypaczył swój dar tak, by Kasandrze nikt nie wierzył, mimo że wciąż mogła widzieć przyszłość. Gdy Kasandra ostrzegała mieszkańców Troi przed zbliżającą się zagładą, nikt jej nie słuchał. Przepowiedziała podłożenie podstępnej pułapki w postaci konia trojańskiego, śmierć Agamemnona, a nawet własną, jednak mieszkańcy Troi nie zwracali uwagi na jej przestrogi i myśląc, że postradała zmysły, zamknęli ją w odosobnieniu.

Piszący w XVI wieku Nostradamus oraz bliższy naszym czasom Edgar Cayce twierdzili, że potrafią zajrzeć za zasłonę czasu. Chociaż wielokrotnie donoszono, że ich przepowiednie się ziściły (na przykład, że przepowiedzieli II wojnę światową, zabójstwo prezydenta Kennedy'ego i upadek komunizmu), niejasne, alegoryczne sformułowania, jakimi w pozostawionych zapisach posługiwało się wielu jasnowidzów, pozwalają na wysnucie wielu wzajemnie sprzecznych interpretacji. Czterowiersze Nostradamusa są tak ogólne, że można w nich zobaczyć niemal wszystko (i ludzie często tak czynili). Jeden z czterowierszy brzmi następująco:

Ze środka świata z hukiem wzbily się wstrząsające ziemią płomienie:
Wokół "Nowego Miasta" ziemia drży
Dwaj wysocy szlachcice stoczą bezowocną wojnę
Źródłana nimfa rozleje nową, czerwoną rzekę.

Niektórzy twierdzili, że ten czterowiersz jest dowodem na to, że Nostradamus przewidział pożar nowojorskich bliźniaczych wież 11 września 2001 roku. Ale w przeszłości ten sam czterowiersz interpretowano na dziesiątki innych sposobów. Obrazy te są tak mgliste, że możliwych jest wiele sposobów ich odczytania.

Prekognicja jest również środkiem wyrazu bardzo lubianym przez autorów sztuk teatralnych traktujących o nieuchronnej śmierci królów i upadkach imperiów. W *Makbecie* Shakespeare'a przepowiednia odgrywa główną rolę w konstrukcji sztuki i ma na celu rozbudzenie ambicji Makbeta, któremu napotkane trzy wiedźmy przepowiadają, że zostanie królem Szkocji. Proroctwo wiedźm podsycy jego mordercze skłonności i Makbet dopuszcza się krwawych i makabrycznych czynów, których celem jest bezwzględne zlikwidowanie wrogów, włącznie z morderstwem niewinnej żony i dzieci jego rywala Makdufa.

Popełniwszy wiele odrażających zbrodni w celu zdobycia korony, Makbet dowiaduje się od wiedźm, że nie może zostać pokonany w walce "Dopóki szturmem pod mur Dunsinanu/Nie dojdzie wrogi Las Birnamski" oraz, że "nikt z tych, których zrodziła kobieta/Nie zrani i nie uśmierci Makbeta"¹⁰⁴. Taka przepowiednia podnosi Makbeta na duchu, bo przecież las nie może się ruszyć, a wszyscy ludzie zostali urodzeni przez kobiety. Wielki Las Birnam jednak zaczyna się przemieszczać, gdy wojska Makdufa w kamuflażu sporządzonym z gałęzi drzew ruszają na Makbeta; okazuje się również, że Makduf przyszedł na świat w wyniku cesarskiego cięcia.

Chociaż przepowiednie z przeszłości pozwalają na tak wiele alternatywnych interpretacji, a więc tym samym nie można ich sprawdzić, jeden ich rodzaj można łatwo zbadać: chodzi o proroctwa dotyczące dokładnej daty końca Ziemi - przepowiednie końca świata. Od czasu, gdy ostatnia księga Biblii - Apokalipsa - przedstawiła z działającymi na wyobraźnię szczegółami ostatnie dni Ziemi, gdy pojawieniu się Antychrysta i powtórnemu nadejściu Chrystusa będą towarzyszyły chaos i zniszczenie, fundamentaliści próbowali przewidzieć dokładną datę końca czasu.

Jedną z najszlachetniejszych spośród wszystkich przepowiedni końca świata było proroctwo wielkiej powodzi, która miała zniszczyć świat 20 lutego 1524 roku, wywołanej koniunkcją wszystkich planet na niebie: Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna. W Europie wybuchła masowa panika. W Anglii dwadzieścia tysięcy zrozpaczonych ludzi opuściło swoje domy. Wokół kościoła św. Bartłomieja wzniesiono fortecę zaopatrzoną w zapasy żywności i wody wystarczające do przetrwania dwóch miesięcy. W Niemczech i we Francji ludzie zaczęli w pośpiechu budować duże arki, które miały się

unosić na wodzie. Hrabia von Iggleheim, przygotowując się na to doniosłe wydarzenie, zbudował nawet olbrzymią, trzypiętrową arkę. Kiedy jednak w końcu nadszedł wyznaczony dzień, spadł tylko lekki deszcz. Nastrój tłumu ze strachu zmienił się nagle w złość. Ludzie, którzy sprzedali cały swój dobytek i wyrócili do góry nogami swoje życie, poczuli się oszukani. Rozwścieczone tłumy wpadły w amok. Hrabiego ukamienowano, a pod stopami oszalałego tłumu zginęły setki ludzi.

Nie tylko chrześcijan pociąga urok przepowiedni. W 1648 roku Sabbataj Cwi, syn zamożnego Żyda ze Smyrny, ogłosił się mesjaszem i przepowiedział, że świat skończy się w 1666 roku. Przystojny, charyzmatyczny i dobrze zaznajomiony z mistycznymi tekstami Kabały, szybko zgromadził wokół siebie grupę żarliwych i wiernych wyznawców, którzy rozgłaszali tę nowinę w całej Europie. Wiosną 1666 roku Żydzi z tak odległych krajów jak Francja, Holandia, Niemcy i Węgry, zaczęli pakować swoje rzeczy i podążać za głosem swojego mesjasza. Jednak później tego samego roku Cwi został aresztowany przez wielkiego wezyra Konstantynopola, zakuty w kajdany i wtrącony do lochu. Stojąc w obliczu wyroku śmierci, Sabbataj Cwi zrzuca żydowskie szaty, zakłada turecki turban i przechodzi na islam. Dziesiątki tysięcy jego wiernych wyznawców w wielkim rozczarowaniu porzuca sektę.

Przepowiednie proroków wzbudzają zainteresowanie nawet dzisiaj i wywierają wpływ na życie

¹⁰⁴ W. Shakespeare, *Makbet*, przeł. S. Barańczak, Wydawnictwo Znak, Kraków 1998, s. 102 (przyp. tłum.).

dziesiątków milionów ludzi na całym świecie. W Stanach Zjednoczonych William Miller ogłosił, że dzień Sądu Ostatecznego nastąpi 3 kwietnia 1843 roku. Gdy wiadomość o jego przepowiedni rozchodziła się po całych Stanach, nocne niebo w 1833 roku rozświetlił przypadkowo widowiskowy deszcz meteorów, jeden z największych, jakie zaobserwowano, co dodatkowo wzmocniło wpływ przepowiedni Millera.

Dziesiątki tysięcy żarliwych wyznawców, nazywanych millerytami, oczekiwały końca świata. Gdy 1843 rok nadszedł i upłynął, a koniec czasu nie nastąpił, ruch millerytów podzielił się na kilka grup. Ponieważ milleryci tworzyli bardzo liczną grupę wyznawców, każdy z odłamów wywiera nawet obecnie znaczący wpływ na religię. W 1863 roku pewna potężna gałąź millerytów zreformowała się wewnętrznie i zmieniła nazwę na Kościół Adwentystów Dnia Siódmego, który liczy obecnie około 14 milionów ochrzczonych wyznawców. Sednem ich wyznania jest wiara w bliskie powtórne nadejście Chrystusa.

Inny odłam millerytów zainteresował się później pracami Charlesa Taze'a Russella, który przesunął datę Sądu Ostatecznego na 1874 rok. Gdy również ten rok nadszedł i minął, Russell w oparciu o analizę Wielkich Piramid w Egipcie uaktualnił swoją przepowiednię i tym razem ustalił datę końca świata na 1914 rok. Grupa ta zmieniła później nazwę na Świadkowie Jehowy i obecnie liczy ponad 6 milionów członków.

Jednak inne grupy wywodzące się z ruchu millerytów w dalszym ciągu podawały nowe daty końca świata, co prowadziło do kolejnych rozłamów, za każdym razem, gdy takie przepowiednie się nie spełniały. Jeden z mniejszych odłamów millerytów nazwał się Gałęzią Dawida; odłączył się on w latach trzydziestych XX wieku od Adwentystów Dnia Siódmego. Grupa ta założyła małą społeczność w Waco w Teksasie, która później uległa wpływowi młodego, charyzmatycznego przywódcy Davida Koresha, głoszącego hipnotyzujące wszystkich kazania o końcu świata. W 1993 roku, w wyniku tragicznego starcia z FBI w osadzie wybuchł pożar, w którym żywcem spłonęło 76 członków grupy, wśród nich 27 dzieci i sam Koresh.

Czy można zobaczyć przyszłość?

Czy za pomocą wnikliwych badań naukowych można dowieść, że niektóre osoby potrafią zobaczyć przyszłość? W rozdziale 12 przekonaliśmy się, że podróże w czasie mogą być w zgodzie z prawami fizyki, ale tylko w przypadku zaawansowanej cywilizacji typu III. A czy jasnowidzenie jest obecnie możliwe na Ziemi?

Skomplikowane testy przeprowadzane w Centrum Badawczym Rhine'a wydają się sugerować, że niektórzy ludzie widzą przyszłość; to znaczy, potrafią odgadnąć karty, zanim zostaną odkryte. Lecz wielokrotne powtórzenia eksperymentów pokazały, że efekt ten jest bardzo mały i często znika, gdy inni próbują powtórzyć wyniki.

W rzeczywistości trudno jest pogodzić prekognicję ze współczesną fizyką, ponieważ łamie ona zasadę przyczynowości, prawo przyczyny i skutku. Skutki pojawiają się po przyczynie, a nie odwrotnie. Wszystkie odkryte dotychczas prawa fizyki mają wbudowaną zasadę przyczynowości. Pogwałcenie tej zasady oznaczałoby poważne załamanie podstaw fizyki. Newtonowska mechanika

mocno opiera się na przyczynowości. Prawa Newtona są tak wszechogarniające, że gdybyśmy znali położenia i prędkości wszystkich cząsteczek we Wszechświecie, moglibyśmy wyliczyć, jak ich atomy będą się poruszały w przyszłości. Zatem przyszłość można wyliczyć. W zasadzie mechanika newtonowska stwierdza, że gdybyśmy dysponowali odpowiednio dużym komputerem, moglibyśmy wyznaczyć wszystkie zdarzenia przyszłości. Według Newtona Wszechświat jest niczym gigantyczny zegar, nakręcony przez Boga na początku czasu, który od tego momentu tyka, zgodnie z Jego prawami. W teorii Newtona nie ma miejsca na prekognicję.

Wstecz w czasie

Jednak gdy omawia się teorię Maxwella sytuacja staje się znacznie bardziej skomplikowana. Kiedy rozwiązujemy Maxwellowskie równania światła, uzyskujemy nie jedno, ale dwa rozwiązania: opóźnioną falę, reprezentującą standardowy ruch światła z jednego punktu do drugiego; ale również falę przedwczesną, w przypadku której promień światła porusza się wstecz w czasie. To przedwczesne rozwiązanie przybywa z przyszłości i dociera w przeszłość!

Przez sto lat, gdy inżynierowie uzyskiwali przedwczesne rozwiązanie cofające się w czasie, po prostu ignorowali je jako matematyczną ciekawostkę. Ponieważ fale opóźnione tak dokładnie przewidują zachowanie się fal radiowych, mikrofal, fal telewizyjnych, promieni radarowych i promieniowania rentgenowskiego, przedwczesne rozwiązania po prostu były pomijane. Fala opóźniona jest tak olśniewająco piękna i odnosi tak wielki sukces, że inżynierowie ignorowali istnienie brzydkiej bliźniaczki. Po co majstrować przy czymś, co doskonale działa?

Jednak dla fizyków przedwczesna fala stanowiła przez ostatnie sto lat dokuczliwy problem. Ponieważ równania Maxwella są jednymi z filarów współczesnego świata, każde wynikające z nich rozwiązanie należy traktować poważnie, nawet jeżeli miałyby to oznaczać zaakceptowanie fal z przyszłości. Wydawało się, że nie można ich zupełnie zignorować. Dlaczego przyroda miałaby dawać tak dziwaczne rozwiązanie na tym najbardziej fundamentalnym poziomie? Czy to jakiś okrutny żart, czy też kryje się za tym coś głębszego?

Przedwczesnymi falami zaczęli się interesować mistycy, wysuwając przypuszczenia, że pojawiają się one w postaci wiadomości z przyszłości. Może, gdyby udało się jakoś wykorzystać te fale, moglibyśmy przesłać wiadomości w przeszłość i ostrzec minione pokolenia o nadchodzących wydarzeniach. Moglibyśmy na przykład wysłać wiadomość do naszych dziadków w 1929 roku z radą, żeby sprzedali wszystkie akcje przed wielkim krachem na giełdzie. Takie przedwczesne fale nie pozwoliłyby nam na osobistą wizytę w przeszłości, jak w przypadku podróży w czasie, ale umożliwiłyby wysłanie w przeszłość listów i wiadomości informujących ludzi o najważniejszych wydarzeniach, do których jeszcze nie doszło.

Przedwczesne fale stanowiły tajemnicę, dopóki ich zbadaniem nie zajął się Richard Feynman, zaintrygowany ideą cofania się w czasie. Po zakończeniu prac przy "Projekcie Manhattan", którego wynikiem była pierwsza bomba atomowa, Feynman wyjechał z Los Alamos i udał się na Uniwersytet Princeton, aby pracować pod kierunkiem Johna Wheelera. Analizując prace Diraca dotyczące elektronu, Feynman odkrył coś bardzo dziwnego. Gdy w równaniu Diraca odwróci się

kierunek upływu czasu, pozostaje ono takie samo, pod warunkiem że również ładunek elektronu zmienimy na przeciwny. Innymi słowy, elektron poruszający się wstecz w czasie okazał się równoważny anty-elektronowi poruszającemu się do przodu w czasie! Zazwyczaj doświadczony fizyk odrzuciłby taką interpretację, nazywając ją zwykłą sztuczką, trikiem matematycznym bez większego znaczenia. Nie wydawało się, żeby cofanie się w czasie miało jakiś sens, a jednak równania Diraca były w tej kwestii jednoznaczne. Innymi słowy, Feynman odkrył powód, dla którego przyroda zezwala na istnienie tych cofających się w czasie rozwiązań: przedstawiają one ruch antymaterii. Gdyby był starszy, pewnie porzuciłby to rozwiązanie. Ale ponieważ był dopiero początkującym doktorantem, postanowił, wiedziony ciekawością, podążać dalej tym tropem.

Zagłębiając się coraz bardziej w tę zagadkę, młody Feynman zauważył coś jeszcze bardziej niezwykłego. W normalnej sytuacji, gdy elektron zderza się z antyelektronem, ulegają anihilacji i wytwarzają promieniowanie gamma. Narysował to na kartce papieru: dwa zderzające się ze sobą obiekty zmieniające się w rozbłysk energii.

Lecz jeżeli odwróci się ładunek antyelektronu, stanie się on zwykłym elektronem poruszającym się wstecz w czasie. W takiej sytuacji można było ponownie nakreślić ten diagram, odwracając w nim strzałkę czasu. Teraz wyglądało to tak, jak gdyby elektron poruszał się w czasie do przodu i nagle zdecydował się zmienić kierunek. Elektron zawracał w czasie i poruszał się do tyłu, uwalniając przy okazji błysk energii. Cały czas chodzi o *ten sam* elektron. Proces anihilacji elektronu z antyelektronem okazał się procesem, w którym elektron postanawia cofnąć się w czasie!

W ten sposób Feynman odkrył prawdziwą tajemnicę antymaterii: *jest ona zwyczajną materią poruszającą się wstecz w czasie*. Ta prosta obserwacja od razu wyjaśniła zagadkę, dlaczego wszystkie cząstki mają swoje antycząstki: jest tak, ponieważ wszystkie cząstki mogą podróżować wstecz w czasie, udając w ten sposób antymaterię. (Interpretacja ta jest równoważna wspomnianemu wcześniej morzu Diraca, jest jednak od niego prostsza, i takie właśnie wyjaśnienie jest obecnie powszechnie przyjmowane).

Załóżmy teraz, że mamy bryłkę antymaterii, która zderza się ze zwyczajną materią, powodując olbrzymią eksplozję. Dochodzi wtedy do anihilacji bilionów elektronów i antyelektronów. Jeżeli jednak odwrócimy kierunek strzałki czasu antyelektronu, zmieniając go w elektron poruszający się wstecz w czasie, okaże się, że to ten sam elektron zawraca biliony razy tam i z powrotem.

Pojawił się jeszcze jeden ciekawy wniosek: w bryłce materii musi być tylko jeden elektron. Ten sam elektron przelatuje ze świstem do przodu i do tyłu, kreśląc w czasie zygzak. Za każdym razem, gdy zawraca w czasie, staje się antymaterią. Lecz po wykonaniu jeszcze jednego nawrotu w czasie, zmienia się w inny elektron.

(Wraz z promotorem swojej pracy, Johnem Wheelerem, Feynman wysunął wtedy hipotezę, że być może cały Wszechświat składa się tylko z jednego elektronu, który pędzi tam i z powrotem w czasie. Wyobraźmy sobie, że z chaosu Wielkiego Wybuchu wyłonił się tylko jeden elektron. Biliony lat później, ten samotny elektron w końcu napotyka kataklizm końca świata, a wtedy zawraca i

zaczyna poruszać się wstecz w czasie, uwalniając przy okazji promieniowanie gamma. Wtedy zaczyna się cofać w kierunku Wielkiego Wybuchu i wykonuje kolejny nawrót. Następnie elektron wielokrotnie jeszcze powtarza tę podróż tam i z powrotem, od Wielkiego Wybuchu do końca świata. Nasz Wszechświat w XXI wieku jest jedynie przekrojem czasowym tej podróży elektronu, w którym obserwujemy biliony elektronów i antyelektronów, czyli widzialny Wszechświat. Choć teoria ta może wydawać się dziwna, mogłaby ona wyjaśnić ciekawy fakt z teorii kwantowej, a mianowicie: dlaczego wszystkie elektrony są takie same. W fizyce nie można oznakować elektronów. Nie ma zielonych elektronów albo elektronów o imieniu Jaś. Elektrony nie mają indywidualności. Nie można ich zaobrączkować, jak robi się to czasem w przypadku dzikich zwierząt. Może powodem jest to, że cały Wszechświat składa się z jednego i tego samego elektronu, który odbija się tam i z powrotem w czasie).

Lecz jeżeli antymateria jest zwykłą materią cofającą się w czasie, to czy można przesłać w przeszłość jakąś wiadomość? Czy można by przesłać dzisiejsze wydanie "Wall Street Journal" sobie samemu w przeszłości, żeby łatwo i szybko zarobić duże pieniądze na giełdzie?

Odpowiedź brzmi: nie.

Jeżeli potraktujemy antymaterię jako jeszcze jedną egzotyczną postać materii i przeprowadzimy z nią eksperyment, nie zaobserwujemy żadnego złamania zasady przyczynowości. Przyczyna i skutek pozostaną takie same. Jeżeli teraz odwrócimy strzałkę czasu antyelektronu, wysyłając go wstecz w czasie, dokonamy jedynie działania matematycznego. Fizyka pozostanie taka sama. Od strony fizycznej nic się nie zmieni. Wszystkie wyniki doświadczenia pozostaną takie same. Zatem opinia, że elektron porusza się do przodu i wstecz w czasie, jest całkowicie uzasadniona. Ale za każdym razem, gdy elektron porusza się wstecz w czasie, wypełnia po prostu przeszłość. Wygląda więc na to, że przedwczesne rozwiązania z przyszłości są rzeczywiście potrzebne do stworzenia spójnej teorii kwantowej, ale w ostatecznym rozrachunku nie łamią one przyczynowości. (W rzeczywistości, bez tych dziwacznych przedwczesnych fal w teorii kwantowej doszłoby do pogwałcenia zasady przyczynowości. Feynman wykazał, że jeżeli zsumuje się wkład od przedwczesnych i opóźnionych fal, wyrazy, które mogły prowadzić do złamania przyczynowości całkowicie się wzajemnie znoszą. Zatem antymateria jest potrzebna do zachowania przyczynowości. Bez antymaterii przyczynowość mogłaby ulec załamaniu).

Feynman tak długo rozwijał ten załączek szalonej idei, aż w końcu rozrósł się on w kompletną teorię kwantową elektronu. Jego dzieło, elektrodynamika kwantowa (QED, *quantum electrodynamics*), zostało zweryfikowane doświadczalnie z dokładnością rzędu jednej miliardowej, co oznacza, że jest jedną z najbardziej dokładnych teorii wszech czasów. Dzięki niej Feynman i jego koledzy Julian Schwinger oraz Sin-Itiro Tomonaga zdobyli Nagrodę Nobla w 1965 roku.

(W przemówieniu wygłoszonym z okazji przyjęcia Nagrody Nobla Feynman powiedział, że w młodości pod wpływem impulsu zakochał się w tych przedwczesnych falach z przyszłości, niczym w pięknej dziewczynie. Dzisiaj ta piękna dziewczyna zmieniła się w dojrzałą kobietę, która wydała na świat wiele dzieci. Jednym z nich jest teoria elektrodynamiki kwantowej).

Tachiony z przyszłości

Oprócz przedwczesnych fal z przyszłości (które wielokrotnie dowiodły swojej przydatności w teorii kwantowej), istnieje jeszcze jedno dziwne pojęcie z dziedziny teorii kwantowej, które wydaje się równie szalone, choć być może nie tak przydatne. Chodzi o ideę tachionów, pojawiającą się regularnie w *Star Trek*. Scenarzyści *Star Trek* powołują się na tachiony za każdym razem, gdy potrzebują jakiejś nowej energii umożliwiającej wykonanie magicznej operacji.

Tachiony żyją w dziwnym świecie, gdzie wszystko porusza się szybciej od światła. Gdy tracą energię, poruszają się szybciej, co kłóci się ze zdrowym rozsądkiem. W rzeczywistości, jeżeli utracą całą energię, będą się poruszały z nieskończoną prędkością. Natomiast kiedy tachiony zyskują energię, zwalniają, aż do osiągnięcia prędkości światła.

Tachiony są tak dziwne, ponieważ mają urojoną masę. (Przez urojoną mam na myśli to, że jest ona pomnożona przez pierwiastek kwadratowy z minus jeden, czyli przez "i"). Jeżeli weźmiemy słynne równania Einsteina i w miejsce "m" podstawimy "im", zdarzy się coś niezwykłego. Nagle cząstki zaczną się poruszać z prędkością większą od prędkości światła.

Wynik ten prowadzi do dziwnych sytuacji. Gdy tachion przelatuje przez materię, traci energię, ponieważ zderza się z atomami. Lecz na skutek utraty energii przyspiesza, co jeszcze bardziej zwiększa liczbę zderzeń z atomami. W wyniku tych kolizji może utracić jeszcze więcej energii, a więc jeszcze gwałtowniej przyspieszy. Prowadzi to do powstania błędnego koła i tachion w sposób naturalny, sam z siebie, osiąga nieskończoną prędkość!

(Tachiony różnią się od antymaterii i materii ujemnej. Antymateria ma dodatnią energię, przemieszcza się z prędkością mniejszą od światła i może zostać wytworzona w akceleratorach cząstek. Pod wpływem grawitacji spada, przynajmniej zgodnie z teorią. Antymateria odpowiada zwyczajnej materii poruszającej się wstecz w czasie. Ujemna materia ma ujemną energię i również porusza się z prędkością mniejszą od światła, ale pod wpływem grawitacji się unosi. Ujemnej materii nigdy nie udało się wykryć w laboratorium. Teoretycznie, jej duże ilości można wykorzystać do napędzania wehikułów czasu. Tachiony poruszają się z prędkością ponadświatłą i mają urojoną masę; nie jest jasne, czy pod wpływem grawitacji opadają, czy też się unoszą. Ich również nie udało się dotąd wykryć w laboratorium).

Chociaż tachiony są tak dziwaczne, fizycy zajmują się nimi zupełnie poważnie, między innymi pracował nad nimi zmarły w 1992 roku fizyk z Uniwersytetu Columbia Gerald Feinberg oraz George Sudarshan z University of Texas w Austin. Problem w tym, że nikomu nie udało się jeszcze zaobserwować tachionu w laboratorium. Kluczowy dowód eksperymentalny na istnienie tachionów musiałby łamać zasadę przyczynowości. Feinberg sugerował nawet, by fizycy badali wiązkę laserową, zanim jeszcze w ogóle rozbłyśnie. Jeżeli tachiony istnieją, być może światło wiązki laserowej można wykryć jeszcze przed włączeniem urządzenia.

W fantastyce naukowej tachiony wykorzystuje się zwykle do przesyłania wiadomości do żyjących w przeszłości jasnowidzów. Jeżeli jednak uważnie przeanalizuje się fizykę tachionów, wcale nie będzie takie oczywiste, czy jest to w ogóle możliwe. Feinberg na przykład uważał, że

emisja tachionu poruszającego się w przód w czasie jest równoważna absorpcji tachionu o ujemnej energii poruszającego się w czasie wstecz (analogicznie do sytuacji z antymaterią), a zatem nie dochodzi do złamania przyczynowości.

Pomijając kwestię fantastyki naukowej, należy stwierdzić, że zgodnie z aktualną wiedzą na temat tachionów, mogły one istnieć w chwili Wielkiego Wybuchu, łamiąc zasadę przyczynowości, ale teraz już nie istnieją. Mogły nawet odegrać kluczową rolę w tym, że "wybuch" Wszechświata w ogóle nastąpił. W tym sensie tachiony są ważnym składnikiem niektórych teorii Wielkiego Wybuchu.

Tachiony mają zadziwiające własności. Gdy doda się je do dowolnej teorii, powodują destabilizację próżni, czyli najniższego stanu energetycznego układu. Jeżeli w jakimś układzie występują tachiony, znajduje się on w fałszywej próżni, w związku z czym układ taki jest niestabilny i ulegnie rozpadowi do prawdziwej próżni.

Wyobraźmy sobie tamę utrzymującą wodę w zalewie. Stan taki obrazuje "fałszywą próżnię". Chociaż tama wydaje się całkowicie stabilna, istnieje niższy stan energetyczny niż ten, który ma woda w zalewie. Jeżeli w tamie pojawi się pęknięcie i woda, przerywając tamę, zacznie się z hukiem wylewać, układ osiągnie stan prawdziwej próżni, ponieważ woda popłynie w kierunku poziomu morza.

Podobnie uważa się, że Wszechświat przed Wielkim Wybuchem trwał w stanie fałszywej próżni, w którym istniały również tachiony. Jednak obecność tachionów oznacza, że nie był to najniższy stan energetyczny, a zatem układ taki był niestabilny. W tkance czasoprzestrzennej pojawiło się niewielkie rozdarcie, stanowiące prawdziwą próżnię. Rozdarcie to powiększało się, aż w końcu uformował się pęcherzyk. Choć na zewnątrz pęcherzyka tachiony wciąż istniały, w jego środku ich nie było. W wyniku rozszerzania się pęcherzyka powstał Wszechświat, jaki znamy, bez tachionów. To jest właśnie Wielki Wybuch.

Jedna z bardzo poważnie traktowanych przez kosmologów teorii zakłada, że pewien tachion, nazywany inflacyjnym, zapoczątkował proces inflacji. Powiedzieliśmy wcześniej, że teoria wszechświata inflacyjnego stwierdza, iż Wszechświat rozpoczął się od niewielkiego pęcherzyka czasoprzestrzeni, który przeszedł okres gwałtownej ekspansji - inflacji. Fizycy uważają, że Wszechświat był na początku w stanie fałszywej próżni, a tachion tworzył pole inflacyjne. Jednak obecność tachionu spowodowała destabilizację próżni i utworzyły się niewielkie pęcherzyki. Wewnątrz jednego z nich pole inflacyjne osiągnęło stan prawdziwej próżni. Pęcherzyk ten zaczął się wtedy gwałtownie rozszerzać, aż stał się naszym Wszechświatem. Wewnątrz pęcherzyka naszego Wszechświata inflacja zniknęła i dlatego nie można jej już wykryć. Zatem tachiony stanowią dziwny stan kwantowy, w którym obiekty mogą poruszać się szybciej od światła, a być może nawet łamać zasadę przyczynowości. Lecz zniknęły już dawno temu i niewykluczone, że spowodowały narodziny naszego Wszechświata.

Wszystko to może wydawać się częścią spekulacji, której w żaden sposób nie można zweryfikować. Jednak teoria fałszywej próżni zostanie już wkrótce po raz pierwszy sprawdzona

doświadczalnie, gdy Wielki Zderzacz Hadronów (LHC) pod Genewą zostanie w pełni uruchomiony. Jednym z najważniejszych celów badawczych stawianych przed LHC jest odkrycie bozonu Higgsa -ostatniej niewykrytej jeszcze cząstki Modelu Standardowego. Stanowi ona końcowy fragment układanki. (Cząstka Higgsa jest tak ważna i nieuchwytna, że laureat Nagrody Nobla Leon Lederman nazwał ją "boską cząstką").

Fizycy uważają, że bozon Higgsa był na początku tachionem. W fałszywej próżni żadna z cząstek subatomowych nie miała jakiegokolwiek masy. Lecz obecność bozonu Higgsa zdestabilizowała próżnię i Wszechświat przeszedł do stanu nowej próżni, w którym bozon Higgsa zmienił się w zwykłą cząstkę. W wyniku przemiany z tachionu w zwyczajną cząstkę, cząstki subatomowe zaczęły uzyskiwać masy, które obecnie mierzymy w laboratoriach. Odkrycie bozonu Higgsa pozwoli więc nie tylko na dodanie do Modelu Standardowego ostatniego brakującego elementu, ale będzie również potwierdzeniem, że kiedyś istniał stan tachionowy, który jednak uległ przemianie w stan, w którym występują zwyczajne cząstki.

Podsumowując, trzeba stwierdzić, że fizyka newtonowska wyklucza istnienie prekognicji. Żelazna zasada przyczyny i skutku nigdy nie jest łamana. W teorii kwantowej możliwe są nowe stany materii, takie jak antymateria, która odpowiada materii poruszającej się wstecz w czasie, lecz zasada przyczynowości również i w tym przypadku zostaje zachowana. Tak naprawdę, w teorii kwantowej antymateria jest istotnym składnikiem pozwalającym na utrzymanie tej zasady. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że tachiony łamią przyczynowość, jednak fizycy uważają, że ich prawdziwą rolą było zainicjowanie Wielkiego Wybuchu i dlatego nie można ich już obecnie zaobserwować.

Wydaje się zatem, że prekognicja jest całkowicie wykluczona, przynajmniej w dającej się przewidzieć przyszłości, co oznacza, że jest to niemożliwość typu III. Gdyby istnienie jasnowidztwa zostało kiedykolwiek potwierdzone w powtarzalnych eksperymentach, wywołałoby potężny wstrząs w podstawach, na których opiera się cała współczesna fizyka.

Epilog

PRZYSZŁOŚĆ RZECZY NIEMOŻLIWYCH

Nie ma nic tak wielkiego ani tak szalonego, aby jedno spośród miliona rozwiniętych technicznie społeczeństw nie poczuło potrzeby realizacji takiego działania, jeżeli jest ono tylko fizycznie możliwe.

- Freeman Dyson

Przeznaczenie nie jest kwestią przypadku - jest kwestią wyboru. Nie jest czymś, na co należy czekać - to coś, co trzeba osiągnąć.

- William Jennings Bryan

Czy istnieją takie prawdy, których nigdy nie zdołamy poznać? Czy są takie dziedziny wiedzy, które pozostaną poza zasięgiem nawet zaawansowanej cywilizacji? Spośród wszystkich przeanalizowanych dotychczas rozwiązań technicznych jedynie perpetuum mobile i prekognicja zaliczają się do niemożliwości typu III. Czy istnieją jakieś inne równie niemożliwe rozwiązania techniczne?

W matematyce teoretycznej istnieje wiele twierdzeń pokazujących, że pewne rzeczy są rzeczywiście niemożliwe. Jednym z prostych przykładów jest fakt, że nie można podzielić kąta na trzy równe części z użyciem jedynie cyrkla i linijki; dowiedziono tego już w 1837 roku.

Nawet w prostych systemach, takich jak arytmetyka, istnieją rzeczy niemożliwe. Jak zauważyliśmy wcześniej, nie da się dowieść wszystkich prawdziwych twierdzeń arytmetycznych, z wykorzystaniem wyłącznie założeń z dziedziny arytmetyki. Arytmetyka jest niekompletna. Zawsze będą jakieś prawdziwe twierdzenia arytmetyczne, których można dowieść jedynie w ramach większego systemu, obejmującego arytmetykę jako jedną z części.

Chociaż pewne rzeczy są niemożliwe w matematyce, w naukach fizycznych stwierdzenie, że coś jest całkowicie niemożliwe, zawsze jest ryzykowne. Wystarczy przypomnieć sobie przemówienie wygłoszone przez późniejszego laureata Nagrody Nobla Alberta A. Michelsona w 1894 roku w czasie otwarcia na Uniwersytecie Chicagowskim Laboratorium Fizycznego imienia Ryersona, w którym stwierdził, że nie jest już możliwe odkrycie jakiegokolwiek nowej fizyki: "Wydaje się, że najważniejsze podstawowe prawa i fakty z dziedziny fizyki zostały już odkryte i są obecnie tak dobrze ugruntowane, że prawdopodobieństwo tego, iż mogłyby kiedyś ulec poważnej zmianie w wyniku jakiegoś nowego odkrycia, jest niezwykle małe... Możliwości dokonania kolejnych odkryć musimy szukać na szóstym miejscu po przecinku".

Michelson wypowiedział tę uwagę w przeddzień dwóch największych przewrotów w historii nauki - rewolucji kwantowej z 1900 roku i rewolucji relatywistycznej z 1905 roku. Chodzi o to, że rzeczy, które są dzisiaj niemożliwe, naruszają znane nam prawa fizyki, ale prawa te, w znanej nam postaci, mogą się zmienić.

W 1825 roku wielki francuski filozof Auguste Comte, pisząc *Cours de Philosophie* (Kurs filozofii), stwierdził, że nie jest możliwe, aby nauka mogła dociec, z czego zbudowane są gwiazdy. W tamtych czasach stwierdzenie takie wydawało się całkowicie uzasadnione, ponieważ o naturze

gwiazd nic wówczas nie było wiadomo. Wydawały się tak odległe, że dotarcie do nich nie będzie możliwe. A jednak zaledwie kilka lat po napisaniu przez Comte'a tego zdania, fizycy ustalili (wykorzystując spektroskopię), że Słońce składa się z wodoru. Obecnie wiemy, że badając linie widma światła wyemitowanego przez gwiazdy miliardy lat temu, można ustalić skład chemiczny większości Wszechświata.

Comte rzucił wyzwanie światu nauki, ogłaszając listę innych "niemożliwości":

– Twierdził, że "ostateczna struktura ciał na zawsze musi pozostać poza obszarem naszej wiedzy". Innymi słowy, poznanie prawdziwej natury materii jest niemożliwe.

– Uważał, że matematyki nigdy nie uda się wykorzystać do zrozumienia biologii i chemii. Niemożliwe jest - twierdził - zredukowanie tych nauk do matematyki.

– Jego zdaniem badanie ciał niebieskich w żaden sposób nie może wpłynąć na życie ludzi.

W XIX wieku przedstawienie takiej listy "niemożliwości" było uzasadnione, ponieważ mało było wówczas wiadomo na temat nauk podstawowych. Prawie nic nie wiedziano na temat tajemnic materii i życia. Obecnie mamy jednak teorię atomu, która otworzyła całkowicie nowy obszar badań naukowych nad strukturą materii. Odkrycie DNA i sformułowanie teorii kwantowej odsłoniły tajemnice życia i chemii. Wiemy również o uderzeniach meteorów z kosmosu, które nie tylko wpłynęły na historię życia na Ziemi, ale nadały mu kształt.

Astronom John Barrow zauważa: "Historycy wciąż rozważają sugestię, że poglądy Comte'a są częściowo odpowiedzialne za przypadający na jego czasy upadek francuskiej nauki"¹⁰⁵.

Matematyk David Hilbert, odrzucając stwierdzenia Comte'a, napisał: "Moim zdaniem prawdziwym powodem, dla którego Comte nie mógł znaleźć żadnego nierozwiązywalnego problemu, jest fakt, że nie istnieje coś takiego, jak nierozwiązywalny problem"¹⁰⁶.

Obecnie jednak niektórzy uczeni wskazują nową listę niemożliwości: nigdy nie dowiemy się, co się wydarzyło przed Wielkim Wybuchem (ani dlaczego do niego w ogóle doszło) i nigdy nie stworzymy teorii wszystkiego.

Fizyk John Wheeler odniósł się do pierwszej z wymienionych "niemożliwości", pisząc: "Dwieście lat temu ktoś zapytany: «Czy zrozumiemy kiedyś, jak powstało życie?», odparłby: «To niedorzeczne! Niemożliwe!». Mam takie same odczucia w związku z tym pytaniem: «Czy zrozumiemy kiedykolwiek, jak powstał Wszechświat?»"¹⁰⁷.

Astronom John Barrow dodaje: "Prędkość światła jest ograniczona, równie ograniczona jest więc nasza wiedza o strukturze Wszechświata. Nie możemy dowiedzieć się, czy jest skończony, czy nieskończony, czy miał początek i czy będzie miał koniec, czy struktura fizyki jest taka sama wszędzie ani czy Wszechświat jest uporządkowanym, czy nieuporządkowanym miejscem [...]. Wszystkie wielkie pytania o naturę Wszechświata - od jego początków do końca - nigdy nie

¹⁰⁵ J.D. Barrow, *Kres możliwości?: granice poznania i poznanie granic*, przeł. H. Turczyn-Zalewska, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005, s. 65.

¹⁰⁶ J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 239.

¹⁰⁷ CA. Pickover, *op. cit.*, s. 206.

doczekają się odpowiedzi"¹⁰⁸.

Barrow ma rację, mówiąc, że nigdy się nie dowiemy z całkowitą pewnością, jaka jest prawdziwa natura Wszechświata, w pełnej jego krasie. Możliwe jest jednak stopniowe wyjaśnianie tych odwiecznych kwestii i dotarcie zupełnie blisko ich sedna. Te "niemożliwości" lepiej chyba postrzegać nie jako bezwzględne granice naszego poznania, ale jako wyzwania stojące przed kolejnymi pokoleniami uczonych. Granice te są bowiem niczym brzeg spieczonego ciasta - istnieją po to, by je przełamać.

Wykrywanie epoki przed Wielkim Wybuchem

Jeżeli chodzi o kwestię Wielkiego Wybuchu, już powstaje nowa generacja detektorów, które mogą pomóc w ustaleniu odpowiedzi na niektóre z tych odwiecznych pytań. Obecnie umieszczone w kosmosie detektory promieniowania mogą mierzyć jedynie promieniowanie mikrofalowe wyemitowane 300 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu, gdy powstały pierwsze atomy. Nie można wykorzystać takich sond do badania chwil wcześniejszych niż 300 tysięcy lat po Wielkim Wybuchu, ponieważ promieniowanie pierwotnej kuli ognia było zbyt gorące i nieuporządkowane, aby mogło dostarczyć jakiegokolwiek użytecznej informacji.

Jeżeli jednak zbadamy inne rodzaje promieniowania, być może uda nam się bardziej zbliżyć do Wielkiego Wybuchu. Na przykład śledzenie neutrin może pozwolić nam na poznanie chwil bliższych początku Wszechświata (neutrino są tak nieuchwytnie, że mogłyby przelecieć przez układ planetarny składający się w całości z litego ołowiu). Promieniowanie neutrinowe być może pozwoli nam się zbliżyć do czasu kilku sekund po Wielkim Wybuchu.

Prawdopodobnie jednak ostateczny sekret Wielkiego Wybuchu poznamy dzięki badaniom fal grawitacyjnych, fal, które przemieszczają się wzdłuż tkanki czasoprzestrzeni. Fizyk Rocky Kolb z Uniwersytetu Chicagowskiego ujmuje to następująco: "Mierząc własności tła neutrinowego, możemy zobaczyć, jak Wszechświat wyglądał sekundę po Wielkim Wybuchu. Natomiast fale grawitacyjne z obszaru inflacji są pozostałościami Wszechświata z okresu 10^{35} sekundy po Wielkim Wybuchu"¹⁰⁹.

Istnienie fal grawitacyjnych przewidział po raz pierwszy Einstein w 1916 roku; kiedyś mogą się stać najważniejszą sondą w astronomii. Z historycznego punktu widzenia zawsze, gdy nauczyliśmy się wykorzystywać nową postać promieniowania, otwierała się przed nami nowa epoka w astronomii. Pierwszą formą promieniowania było światło widzialne, które pozwoliło Galileuszowi na zbadanie Układu Słonecznego. Drugą postacią promieniowania były fale radiowe, dzięki którym mogliśmy zbadać centra galaktyk i odkryć w nich czarne dziury. Detektory fal grawitacyjnych mogą odkryć najbardziej skryte tajemnice stworzenia.

W pewnym sensie fale grawitacyjne muszą istnieć. Aby to zrozumieć, zastanówmy się nad starym jak świat pytaniem: co się stanie, jeżeli nagle zniknie Słońce? Według Newtona, efekty tego zdarzenia odczujemy natychmiast. Ziemia momentalnie zostanie wyrzucona ze swojej orbity i

¹⁰⁸ J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 283.

pograży się w ciemności. Stanie się tak, ponieważ prawo grawitacji Newtona nie uwzględnia prędkości i tym samym działa bezzwłocznie w całym Wszechświecie. Jednak według Einsteina, nic nie może poruszać się szybciej od światła, więc informacja o zniknięciu Słońca dotrze do Ziemi dopiero po upływie ośmiu minut. Innymi słowy, z miejsca, w którym znajdowało się Słońce, zacznie się rozchodzić grawitacyjna sferyczna fala uderzeniowa, która w końcu dotrze do Ziemi. Na zewnątrz tej sfery fal grawitacyjnych wszystko będzie wyglądało tak, jak gdyby Słońce wciąż normalnie świeciło, ponieważ informacja o jego zniknięciu jeszcze tam nie dotarła. Wewnątrz niej natomiast będzie już wiadomo, że Słońce zniknęło, jako że rozszerzająca się grawitacyjna fala uderzeniowa przemieszcza się z prędkością światła.

Innym sposobem na zrozumienie, dlaczego fale grawitacyjne muszą istnieć, jest wyobrażenie sobie olbrzymiego prześcieradła. Według Einsteina czasoprzestrzeń jest jak tkanina, którą można zakrzywiać i rozciągać, niczym pofałdowane prześcieradło. Jeżeli złapiemy brzeg prześcieradła i będziemy nim szybko potrząsać, zobaczymy jak wzdłuż jego powierzchni przemieszczają się z określoną prędkością fale zmarszczek. Podobnie fale grawitacyjne można sobie wyobrazić jako fale przemieszczające się wzdłuż tkanki czasoprzestrzeni.

Badania fal grawitacyjnych należą do najszybciej rozwijających się dziedzin współczesnej fizyki. W 2003 roku uruchomiono pierwsze wielkoskalowe detektory fal grawitacyjnych - nazwane LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory - obserwatorium fal grawitacyjnych wykorzystujące interferometrię laserową). Zbudowano dwa detektory o długości 4 kilometrów każdy, jeden w Hanford w stanie Waszyngton, drugi w Livingston Parish w Luizjanie. Badacze mają nadzieję, że dzięki LIGO, którego budowa kosztowała 365 milionów dolarów, uda im się wykryć promieniowanie zderzających się gwiazd neutronowych i czarnych dziur.

Kolejny duży krok nastąpi w 2015 roku wraz z wystrzeleniem satelitów nowej generacji umożliwiających badanie w kosmosie promieniowania grawitacyjnego pochodzącego z chwili stworzenia świata. Na orbicie okołosłonecznej zostaną umieszczone trzy satelity wchodzące w skład systemu LISA (Laser Interferometer Space Antenna - antena kosmiczna wykorzystująca interferometrię laserową), budowanego wspólnie przez NASA i Europejską Agencję Kosmiczną. Satelity te będą mogły wykryć fale grawitacyjne wyemitowane w chwili wcześniejszej niż jedna bilionowa sekundy po Wielkim Wybuchu. Gdy wciąż krążąca po Wszechświecie fala grawitacyjna Wielkiego Wybuchu przejdzie przez jeden z tych satelitów, spowoduje zakłócenie wiązek laserowych, które będzie można bardzo dokładnie zmierzyć, dzięki czemu uzyskamy "fotografie z wczesnego dzieciństwa Wszechświata", z samej chwili stworzenia.

System LISA będzie się składał z trzech satelitów okrążających Słońce w konfiguracji trójkąta, którego boki wyznaczać będą łączące satelity wiązki laserowe o długości 4,8 miliona kilometrów, co oznacza, że będzie to największe urządzenie kiedykolwiek skonstruowane przez naukowców. Układ ten będzie obiegał Słońce w odległości około 48 milionów kilometrów od Ziemi.

Wchodzące w skład systemu satelity będą emitowały wiązkę laserową o mocy zaledwie 0,5

¹⁰⁹ R. Kolb, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 44.

wata. Każdy z satelitów będzie mógł utworzyć wzór interferencyjny światła powstający w wyniku porównania ze sobą wiązek dobiegających z pozostałych dwóch satelitów. Jeżeli wiązki laserowe zostaną zakłócone przez falę grawitacyjną, wywoła to zmianę wzoru interferencyjnego i satelita będzie mógł wykryć takie zakłócenie. (Fala grawitacyjna nie wywoła drgań satelitów. Spowoduje tylko zniekształcenie przestrzeni między nimi).

Chociaż wykorzystywane wiązki laserowe będą bardzo słabe, pozwolą na uzyskanie zadziwiającej dokładności. Umożliwią wykrycie drgań z dokładnością sięgającą jednej części na miliard bilionów, co odpowiada przesunięciu rzędu jednej setnej rozmiaru atomu. Każda wiązka laserowa umożliwi wykrycie fali grawitacyjnej z odległości 9 miliardów lat świetlnych, co oznacza, że w ich zasięgu znajdzie się większa część obserwowalnego Wszechświata.

Czułość systemu LISA może pozwolić nam przekonać się, który ze scenariuszy opisujących epokę przed Wielkim Wybuchem jest bliższy prawdzie. Jednym z najgorętszych tematów we współczesnej fizyce teoretycznej jest wyznaczenie cech charakteryzujących Wszechświat przed Wielkim Wybuchem. Obecnie teoria inflacji zupełnie dobrze opisuje ewolucję, jaką przeszedł Wszechświat, gdy już doszło do Wielkiego Wybuchu. Nie może ona jednak wyjaśnić, dlaczego do tego wydarzenia w ogóle doszło. Fizycy postanowili więc wyliczyć promieniowanie grawitacyjne wyemitowane przez Wielki Wybuch dla każdego z zaproponowanych modeli epoki przed Wielkim Wybuchem. Każdy z tych modeli podaje inne przewidywania. Na przykład promieniowanie grawitacyjne przewidywane przez teorię Wielkiego Plaśnięcia jest inne niż promieniowanie opisywane przez niektóre teorie inflacyjne, zatem system LISA może pozwolić na odrzucenie kilku z tych teorii. Oczywiście modeli opisujących stan sprzed Wielkiego Wybuchu nie można sprawdzić bezpośrednio, ponieważ stanowią one próbę zrozumienia Wszechświata w epoce, zanim jeszcze powstał sam czas, możemy je jednak sprawdzić w sposób pośredni, ponieważ każdy z nich przewiduje, że w Wielkim Wybuchu powinno powstać inne widmo promieniowania.

Fizyk Kip Thorne pisze: "W latach 2008-2030 zostaną zarejestrowane fale grawitacyjne pochodzące z osobliwości początkowej. Odkrycie to zapoczątkuje okres trwający co najmniej do roku 2050 [...]. Pomiar te pozwolą poznać szczegóły osobliwości początkowej i umożliwią sprawdzenie, czy któraś z wersji teorii strun jest poprawną kwantową teorią grawitacji"¹¹⁰.

Jeżeli za pomocą systemu LISA nie uda się ocenić różnych teorii opisujących epokę sprzed Wielkiego Wybuchu, cel ten osiągnie być może jego następca, Big Bang Observer (BBO, Obserwator Wielkiego Wybuchu). Jego uruchomienie planuje się wstępnie na rok 2025. BBO umożliwi poszukiwanie w całym Wszechświecie układów podwójnych składających się z gwiazd neutronowych i czarnych dziur o masie mniejszej niż tysiąc mas Słońca. Jednak jego głównym celem będzie zbadanie fal grawitacyjnych wyemitowanych w czasie fazy inflacyjnej Wielkiego Wybuchu. W tym sensie BBO jest projektowany specjalnie w celu zweryfikowania przewidywań inflacyjnej teorii Wielkiego Wybuchu.

Budowa BBO będzie do pewnego stopnia przypominała system LISA. BBO będzie się składał z

¹¹⁰ S.W. Hawking, [et al.], *op. cit.*, s. 121-122.

trzech satelitów poruszających się razem po orbicie okołosłonecznej, oddalonych od siebie o 50 000 kilometrów (będą się one znajdowały znacznie bliżej siebie niż satelity systemu LISA). Każdy z satelitów będzie miał możliwość wystrzelenia wiązki laserowej o mocy 300 watów. BBO umożliwi badanie fal grawitacyjnych o częstotliwościach z zakresu między częstotliwościami badanymi przez systemy LIGO i LISA, wypełni więc istotną lukę. (System LISA będzie mógł wykryć fale grawitacyjne o częstotliwościach od 10 do 3000 herców, natomiast LIGO pracuje w zakresie od 10 mikroherców do 10 miliherców. BBO umożliwi wykrycie fal o częstotliwości spomiędzy tych zakresów).

“Do 2040 roku na podstawie tej teorii [kwantowej grawitacji] uzyskamy odpowiedzi na następujące głębokie pytania - pisze Thorne - między innymi [...] Co istniało przed Wielkim Wybuchem, jeśli w ogóle można o tym sensownie mówić? Czy istnieją inne wszechświaty? Jeśli tak, to czy są w jakiś sposób związane lub połączone z naszym? [...] Czy prawa fizyki pozwalają, by rozwinięta cywilizacja stworzyła stabilne tunele nadające się do podróży kosmicznych i wehikuły czasu do podróży w przeszłość?”¹¹¹.

Rzecz w tym, że w ciągu kilkudziesięciu najbliższych lat rozmieszczone w przestrzeni kosmicznej detektory fal grawitacyjnych powinny dostarczyć wystarczająco dużo danych, by można było zweryfikować różne teorie opisujące stan sprzed Wielkiego Wybuchu.

Koniec Wszechświata

Poeta T.S. Eliot postawił pytanie: czy świat skończy się hukiem, czy skomleniem? Natomiast Robert Frost pytał, czy wszyscy zginiemy w ogniu, czy w lodzie. Najnowsze dane wskazują na to, że Wszechświat zginie w Wielkim Chłdzie - temperatury spadną niemal do zera bezwzględnego i wyginą wszelkie inteligentne formy życia. Ale czy możemy mieć tego pewność?

Niektórzy stawiają jeszcze jedno “niemożliwe” pytanie. Skąd możemy wiedzieć, jaki będzie ostateczny los Wszechświata - pytają - skoro wydarzy się to dopiero za biliony bilionów lat? Uczeni zauważają, że ciemna energia, czyli energia próżni, wydaje się coraz szybciej rozsuwać galaktyki, co wskazuje na to, że Wszechświat jest w stanie niepojętego rozszerzania się. Taka ekspansja spowoduje spadek temperatury we Wszechświecie i w końcu doprowadzi do Wielkiego Chłodu. Ale czy możliwe, że to rozszerzanie się jest tylko zjawiskiem chwilowym? Czy może ono w przyszłości ulec odwróceniu?

Na przykład w scenariuszu Wielkiego Plaśnięcia, w którym Wszechświat powstaje w wyniku zderzenia się ze sobą dwóch membran, wydaje się, że mogą one wpadać na siebie wielokrotnie w równych odstępach czasu. Jeżeli tak, to rozszerzanie prowadzące do Wielkiego Chłodu może być jedynie stanem tymczasowym, który ulegnie odwróceniu.

Obecne przyspieszenie ekspansji Wszechświata wywołane jest przez ciemną energię, która prawdopodobnie ma postać stałej kosmologicznej. Zatem kluczowe staje się zrozumienie tej tajemniczej stałej, czyli energii próżni. Czy stała kosmologiczna zmienia się w czasie, czy też jest

¹¹¹ W. Hawking, [et al.], *op. cit.*, s. 129.

naprawdę stała? Teraz nikt nie wie tego na pewno. Dzięki znajdującemu się na orbicie satelicie WMAP wiemy, że stała kosmologiczna zdaje się napędzać obecną ekspansję Wszechświata, ale nie mamy pojęcia, czy tak będzie już zawsze.

W rzeczywistości jest to stary problem, sięgający roku 1916, gdy Einstein po raz pierwszy wprowadził stałą kosmologiczną. Rok po przedstawieniu ogólnej teorii względności badał jej konsekwencje kosmologiczne. Ze zdziwieniem odkrył, że opisywany przez teorię Wszechświat jest dynamiczny: albo się rozszerza, albo kurczy. Jednak wydawało się, że taka idea nie zgadza się z obserwacjami.

Einstein stanął w obliczu paradoksu Bentleya, który nękał już Newtona. W 1692 roku wielbny Richard Bentley napisał do Newtona niewinny list z druzgocącym pytaniem. Skoro newtonowska grawitacja zawsze przyciąga - pytał Bentley - to dlaczego Wszechświat się nie zapada? Jeżeli Wszechświat składa się ze skończonej liczby przyciągających się wzajemnie gwiazd, to powinny one wpaść na siebie, a sam Wszechświat powinien skurczyć się do postaci kuli ognia! Newton był głęboko zaniepokojony tym listem, ponieważ wskazywał on na istotną wadę jego teorii grawitacji: *w każdej takiej teorii grawitacja, będąca siłą przyciągającą, jest z natury niestabilna*. Każdy skończony zbiór gwiazd w sposób nieunikniony musi się zapaść pod wpływem grawitacji.

Newton odpisał, że Wszechświat jest stabilny jedynie wtedy, gdy składa się z nieskończonej liczby gwiazd. Wtedy każda gwiazda jest przyciągana ze wszystkich kierunków i w efekcie wszystkie te siły wzajemnie się równoważą. Było to sprytne rozwiązanie, ale Newton był na tyle mądry, że zdawał sobie sprawę, iż taka stabilność jest pozorna. Jak w przypadku domku z kart, najmniejsze drganie spowoduje, że cały układ się zapadnie. System taki jest metastabilny, to znaczy znajduje się w chwilowym stanie równowagi dopóty, dopóki jakieś najmniejsze nawet zaburzenie nie spowoduje katastrofy. Newton doszedł do wniosku, że rolą Boga jest lekkie popychanie gwiazd od czasu do czasu tak, by Wszechświat się nie zapadł.

Innymi słowy, dla Newtona Wszechświat był niczym gigantyczny zegar, nakręcony przez Boga na początku czasu, który działa zgodnie z odkrytymi przez niego prawami. Od chwili stworzenia tyka automatycznie, bez boskiej interwencji. Jednak według Newtona, Bóg jest potrzebny, aby od czasu do czasu poprawiać ruch gwiazd tak, by Wszechświat nie zapadł się do formy ognistej kuli.

Gdy w 1916 roku Einstein zmierzył się z paradoksem Bentleya, jego równania poprawnie mówiły mu, że Wszechświat jest dynamiczny - albo się rozszerza, albo kurczy - oraz że Wszechświat statyczny jest niestabilny i zapadnie się pod wpływem grawitacji. Jednak ówczesni astronomowie stanowczo utrzymywali, że Wszechświat jest statyczny i niezmienny. Dlatego Einstein ugiął się w obliczu obserwacji i dodał stałą kosmologiczną - siłę antygravitacyjną, która odpycha od siebie gwiazdy, równoważąc działanie grawitacji powodującej zapadanie się Wszechświata. (Ta siła antygravitacji odpowiada energii zawartej w próżni. W takim ujęciu nawet olbrzymia pustka przestrzeni zawiera wielkie ilości niewidocznej energii). Wartość tej stałej należało dobrać bardzo precyzyjnie, tak aby zrównoważyć działanie przyciągającej siły grawitacji.

Później, gdy w 1929 roku Edwin Hubble dowiódł, że Wszechświat jednak się rozszerza, Einstein

powiedział, że stała kosmologiczna była jego "największą pomyłką". Jednak dzisiaj, siedemdziesiąt lat później, wydaje się, że "pomyłka" Einsteina - stała kosmologiczna - może w rzeczywistości być największym źródłem energii we Wszechświecie, stanowiącym nawet 73 procent zawartej w nim materii i energii. (Dla porównania, cięższe pierwiastki, z których zbudowane są nasze ciała stanowią jedynie 0,03 procent masy/energii Wszechświata). Bardzo możliwe, że pomyłka Einsteina będzie miała decydujące znaczenie w kwestii ostatecznego losu Wszechświata.

Skąd się jednak ta stała kosmologiczna wzięła? Dzisiaj nikt tego nie wie. Na początku czasu siła antygravitacyjną była być może na tyle duża, że mogła zapoczątkować rozszerzanie się Wszechświata, doprowadzając do Wielkiego Wybuchu. Potem, z nieznanych powodów, nagle zniknęła. (W tym okresie Wszechświat nadal się rozszerzał, ale w wolniejszym tempie). Następnie, około ośmiu miliardów lat po Wielkim Wybuchu, siła antygravitacyjną pojawia się ponownie, powoduje oddalanie się od siebie galaktyk i ponowną przyspieszoną ekspansję Wszechświata.

Zatem, czy ustalenie ostatecznego losu Wszechświata jest "niemożliwe"? Być może tak nie jest. Większość fizyków jest przekonana, że efekty kwantowe decydują w sposób ostateczny o wielkości stałej kosmologicznej. Uproszczone obliczenia oparte na prymitywnej wersji teorii kwantowej pokazują, że wartość stałej kosmologicznej nie zgadza się z obserwacjami o czynnik 10^{120} . Jest to największa niezgodność w historii nauki.

Fizycy są jednak również zgodni, że ta nieprawidłowość oznacza jedynie, iż potrzebna jest nam teoria kwantowej grawitacji. Ponieważ stała kosmologiczna pojawia się za sprawą poprawek kwantowych, konieczne jest znalezienie teorii wszystkiego - teorii, która pozwoli nam otrzymać nie tylko Model Standardowy, ale również wartość stałej kosmologicznej, która określi ostateczny los Wszechświata.

Zatem teoria wszystkiego jest potrzebna do określenia, jaki będzie ostateczny los Wszechświata. Na ironię zakrawa fakt, że niektórzy fizycy uważają, iż stworzenie teorii wszystkiego jest niemożliwe.

Teoria wszystkiego?

Wspomnieliśmy już o tym, że teoria strun jest najlepszą kandydatką na teorię wszystkiego, chociaż różne obozy uczonych spierają się o to, czy teoria strun zasłużyła na ten tytuł. Z jednej strony, uczeni tacy jak profesor MIT Max Tegmark piszą: "Uważam, że w 2056 roku będziemy mogli sobie kupić koszulkę z wydrukowanymi na niej równaniami opisującymi zunifikowane prawa fizyczne Wszechświata"¹¹². Z drugiej, pojawia się nowa grupa stanowczych krytyków, którzy twierdzą, że tak modna obecnie teoria strun na dobrą sprawę jeszcze niczego nie osiągnęła. Nieważne, ile powstanie na jej temat pełnych uniesienia artykułów i telewizyjnych filmów dokumentalnych - musi ona najpierw przedstawić chociaż jeden sprawdzalny fakt - mówią niektórzy. To nie teoria wszystkiego, tylko teoria niczego - twierdzą krytycy. Spór znacznie się zaognił w 2002 roku, gdy Stephen Hawking przeszedł do drugiego obozu i, powołując się na

¹¹² M. Tegmark, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 37.

twierdzenie o niezupełności, powiedział, że teoria wszystkiego może być nawet niemożliwa z matematycznego punktu widzenia.

Nic dziwnego, że w tym sporze fizyk występuje przeciw fizykowi, ponieważ cel jest niezwykle ambitny, choć trudno osiągalny. Pragnienie scalenia wszystkich praw natury od tysięcy lat kusilo i pociągało zarówno filozofów, jak i fizyków. Sam Sokrates powiedział kiedyś: "Moim zdaniem najważniejszą rzeczą jest poznanie wyjaśnienia wszystkiego, dlaczego coś powstało, dlaczego ginie, dlaczego istnieje".

Pierwszą poważną próbę przedstawienia teorii wszystkiego przeprowadzono około 500 roku p.n.e., gdy greccy pitagorejczycy odkryli matematyczne prawa muzyki. Analizując węzły i drgania na strunie liry, udowodnili, że muzyką rządzi nadspodziewanie prosta matematyka. Wyszunęli wtedy hipotezę, że całą przyrodę można wyjaśnić w oparciu o harmonię struny liry. (W pewnym sensie teoria strun jest powrotem tej pitagorejskiej wizji świata).

W czasach współczesnych niemal wszyscy giganci dwudziestowiecznej fizyki próbowali szczęścia w pracy nad zunifikowaną teorią pola. Jednak

Freeman Dyson ostrzega: "W fizyce wszędzie walają się truchła zunifikowanych teorii".

W 1928 roku w "New York Timesie" pojawił się sensacyjny nagłówek: "Einstein o krok od epokowego odkrycia; nie chce, żeby mu przeszkadzano". Ta wiadomość stała się iskrą, która wzniciła w mediach wrzawę wokół teorii wszystkiego. Wkrótce medialne zamieszanie osiągnęło stan wysokiej gorączki. Nagłówki trąbiły: "Einstein zdziwiony zamieszaniem wokół teorii. Przez tydzień trzyma 100 dziennikarzy na dystans". Tłumy reporterów kłębiły się wokół jego domu w Berlinie, bez przerwy w stanie gotowości, czekając na sposobność uchwycenia przebłysku geniuszu i możliwość wydrukowania sensacyjnego nagłówka. Einstein był zmuszony się ukryć.

Astronom Arthur Eddington napisał do Einsteina: "Być może ubawi Cię wiadomość, że jeden z wielkich domów towarowych w Londynie (Selfridges) umieścił na szybie wystawowej Twój artykuł (sześć stron, przyklejonych jedna obok drugiej), żeby przechodnie mogli go w całości przeczytać. Przed tym oknem stoją wielkie tłumy zaczytanych ludzi". (W 1923 roku Eddington przedstawił własną zunifikowaną teorię pola, nad którą pracował niestrudzenie przez resztę swoich dni, do śmierci w 1944 roku).

W 1946 roku Erwin Schrödinger, jeden z twórców mechaniki kwantowej, zwołał konferencję prasową, żeby zaprezentować swoją zunifikowaną teorię pola. Pojawił się na niej nawet premier Irlandii Eamon De Valera. Gdy dziennikarze zapytali go, co zrobi, jeżeli okaże się, że jego teoria jest niepoprawna, Schrödinger odpowiedział: "Sądzę, że mam rację. Wyszedłbym na straszego głupca, gdybym się pomylił". (Schrödinger doznał upokorzenia, gdy Einstein grzecznie wskazał błędy w jego teorii).

Najostrzejszym krytykiem unifikacji był fizyk Wolfgang Pauli. Strofował Einsteina, mówiąc: "Co Bóg rozdzielił, tego niech człowiek nie waży się łączyć". Bezlitośnie szydził z każdej niedokończonej teorii: "Ona nie jest nawet błędna". Zakrawa więc na ironię, że Pauli, największy pośród cyników, sam złapał tego bakcyła. W latach pięćdziesiątych zaproponował wspólnie z

Wernerem Heisenbergiem własną zunifikowaną teorię pola.

W 1958 roku Pauli przedstawiał zunifikowaną teorię Heisenberga-Pauliego na Uniwersytecie Columbia. Wśród zgromadzonej publiczności znalazł się również Niels Bohr i to, co usłyszał, nie wywarło na nim większego wrażenia. Wstał więc i powiedział głośno: "My tutaj z tyłu jesteśmy przekonani, że pana teoria jest szalona. Nie możemy jednak dojść do porozumienia, czy jest wystarczająco szalona". Krytyka była druzgocąca. Ponieważ wszystkie oczywiste teorie zostały już wypróbowane i odrzucone, prawdziwa zunifikowana teoria pola będzie wymagać całkowitego zerwania z przeszłością. Teoria Heisenberga-Pauliego była po prostu zbyt konwencjonalna, nazbyt zwyczajna, nadmiernie rozsądna, aby mogła być teorią prawdziwą. (W tym samym roku Pauliego poruszyła wypowiedź Heisenberga w jednej z audycji radiowych, w której stwierdził, że w ich teorii brakuje jeszcze tylko kilku szczegółów technicznych. Pauli wysłał swojemu przyjacielowi rysunek pustego prostokąta z podpisem: "Oto dowód, że potrafię malować jak Tycjan. Brakuje jeszcze tylko kilku szczegółów technicznych").

Krytyka teorii strun

Obecnie główną (i jedyną) kandydatką na teorię wszystkiego jest teoria strun¹¹³. Ale znowu pojawia się ostry sprzeciw. Krytycy twierdzą, że aby zdobyć stałą pozycję na jednym z czołowych uniwersytetów, trzeba koniecznie pracować nad teorią strun. Jeżeli ktoś się nią nie zajmuje, będzie bezrobotny. Taka jest aktualna moda i niczego dobrego to fizyce nie przyniesie.

Gdy słyszę takie krytyczne uwagi, tylko się uśmiecham, ponieważ fizyka, jak wszystkie dziedziny ludzkiej działalności, również podlega trendom i modom. Wielkie teorie, szczególnie te z pogranicza naszej aktualnej wiedzy, pojawiają się i odchodzą w zapomnienie, niczym modny w ubiegłym sezonie krój spódniczki. Wiele lat temu sytuacja wyglądała odwrotnie: teoria strun była w przeszłości wyrzutkiem, teorią buntowników, ofiarą zjawiska podążania za modą.

Teoria strun powstała w 1968 roku, gdy dwaj młodzi doktorzy fizyki, Gabriele Veneziano i Mahiko Zuzuki, natknęli się na wzór, który miał opisywać zderzenia cząstek subatomowych. Szybko odkryto, że to cudowne równanie można wyprowadzić z opisu zderzeń drgających strun. Jednak około roku 1974 teoria ta utknęła w martwym punkcie. Pojawiła się nowa modna teoria - chromodynamika kwantowa (QCD), czyli teoria kwarków i silnych oddziaływań - i wszystkie inne teorie zostały odstawione w ką. Uчени całymi grupami porzucali teorię strun i zabierali się do QCD. Wszystkie fundusze, etaty i splendory spływały na fizyków zajmujących się modelem

¹¹³ Powodem tego jest fakt, że gdy do teorii grawitacji Einsteina dodamy poprawki kwantowe, nie stają się one małe, lecz nieskończone. Z biegiem lat fizycy wymyślili wiele sposobów na wyeliminowanie takich nieskończonych wyrazów, jednak wszystkie te metody zawodzą w przypadku kwantowej teorii grawitacji. Natomiast w teorii strun poprawki kwantowe zerują się wzajemnie z kilku powodów. Po pierwsze, teoria strun posiada symetrię, zwaną supersymetrią, która powoduje wzajemne znoszenie się tych rozbiegających się członów. Ponadto, teoria strun ma pewną granicę, którą jest długość struny, pomagająca w opanowaniu wszystkich tych nieskończoności.

Owe problematyczne nieskończoności wywodzą się z teorii klasycznej. Zgodnie z prawem odwrotnych kwadratów Newtona siła między dwiema cząstkami staje się nieskończona, gdy dzieląca je odległość spada do zera. Ta nieskończoność, ewidentna nawet w teorii Newtona, przenosi się do teorii kwantowej. Jednak

kwarków.

Dobrze pamiętam te mroczne czasy. Nad teorią strun pracowali już tylko ryzykanci i najwięksi zapaleńcy. A gdy okazało się, że owe struny mogą drgać jedynie w dziesięciu wymiarach, teoria stała się obiektem drwin. Pracujący w Cal Tech pionier teorii strun John Schwarz wpadał czasami w windzie na Richarda Feynmana. Feynman, znany dowcipniś, pytał wtedy: "John, a w iluż to wymiarach przebywasz dzisiaj?". Żartowaliśmy, że jedynym miejscem, gdzie można spotkać teoretyka strun jest kolejka po zasilek dla bezrobotnych. (Laureat Nagrody Nobla Murray GellMann, twórca modelu kwarków, zwierzył mi się kiedyś, że żał mu było teoretyków strun, i powołał w Cal Tech "program ochrony zagrożonego gatunku teoretyków strun", żeby ludzie tacy jak John nie stracili pracy).

Komentując fakt, że obecnie tylu młodych fizyków garnie się do pracy nad teorią strun, Steven Weinberg napisał: "Teoria strun stanowi obecnie jedyne źródło kandydatów na teorię ostateczną - czy mógłby ktoś oczekiwać, że najzdolniejsi młodzi teoretycy nie będą się nią zajmowali?".

Czy teorii strun nie można sprawdzić?

Jednym z głównych zarzutów wysuwanych pod adresem teorii strun jest opinia, że jest ona nieweryfikowalna. Do sprawdzenia tej teorii potrzebny byłby zderzacz atomów o rozmiarach całej galaktyki, twierdzą krytycy.

Jednak takie uwagi nie uwzględniają faktu, że obecnie większość dowodów naukowych przeprowadza się pośrednio, a nie bezpośrednio. Nikt nigdy nie wylądował na Słońcu, żeby przeprowadzić jego bezpośrednie badania, a mimo to wiemy, że składa się z wodoru, ponieważ przeprowadziliśmy analizę linii spektralnych jego światła.

Albo weźmy czarne dziury. Teoria czarnych dziur sięga 1783 roku, gdy John Michell opublikował pewien artykuł w czasopiśmie "Philosophical Transactions of the Royal Society". Twierdził w nim, że gwiazda może stać się tak masywna, iż "całe światło wyemitowane przez takie ciało powróci do niego pod wpływem jego własnej grawitacji". Teoria ciemnej gwiazdy Michella przeleżała w zapomnieniu kilka stuleci, ponieważ bezpośrednie sprawdzenie jej było niemożliwe. W 1939 roku Einstein napisał nawet artykuł, w którym dowodził, że taka ciemna gwiazda nie może powstać w wyniku procesów naturalnych. Główny zarzut polegał na tym, że ciemne gwiazdy są z natury rzeczy niepoznawalne, ponieważ, z definicji, są niewidzialne. A jednak obecnie, dzięki Kosmicznemu Teleskopowi Hubble'a, dysponujemy wspaniałymi dowodami istnienia czarnych dziur. Jesteśmy teraz przekonani, że całe ich miliardy czają się w środkach galaktyk; wiele z nich wędruje nawet po naszej Galaktyce. Rzecz jednak w tym, że wszystkie dowody ich istnienia są pośrednie; to znaczy informacje na temat czarnych dziur pochodzą z badania wirujących wokół nich dysków akrecyjnych.

Co więcej, w przypadku wielu "niesprawdzalnych" teorii ich weryfikacja okazała się jednak możliwa. Od czasu, gdy Demokryt po raz pierwszy przedstawił teorię atomów, musiały upłynąć

dwa tysiące lat, żeby można było dowieść ich istnienia. Dziewiętnastowieczni fizycy, na przykład Ludwig Boltzmann, byli bezwzględnie prześladowani za to, że wierzyli w tę teorię, a dzisiaj dysponujemy wspaniałymi fotografiami atomów. W 1930 roku Pauli wprowadził pojęcie neutrina - cząstki tak nieuchwytnej, że może przejść przez blok litego ołowiu o rozmiarze całego układu planetarnego i nie ulec przy tym absorpcji. Pauli powiedział: "Popełniłem najokropniejszy grzech; wprowadziłem cząstkę, której nigdy nie uda się zaobserwować". Wykrycie neutrina było "niemożliwe", więc przez kilkadziesiąt lat kwestię jego istnienia traktowano niemal jak fantastykę naukową. A dzisiaj potrafimy wytwarzać wiązki neutrin.

W rzeczywistości istnieje kilka eksperymentów, które, jak mają nadzieję fizycy, umożliwią przeprowadzenie pierwszej pośredniej weryfikacji teorii strun:

– Wielki Zderzacz Hadronów może dysponować mocą wystarczającą do wytworzenia szczątek, inaczej supercząstek, będących wyższymi drganiami przewidywanymi przez teorię superstrun (oraz przez inne supersymetryczne teorie).

– Jak wcześniej wspomnieliśmy, w 2015 roku zostanie wystrzelony w kosmos system LISA - antena kosmiczna działająca w oparciu o interferometrię laserową. System LISA i jego następca, Big Bang Observer, mogą mieć czułość wystarczającą do zweryfikowania kilku teorii opisujących stan sprzed Wielkiego Wybuchu, między innymi niektórych wersji teorii strun.

– W niektórych laboratoriach bada się obecność wyższych wymiarów poprzez poszukiwanie w skali milimetrowej odchyłeń od słynnego prawa odwrotnych kwadratów Newtona. (Jeżeli istnieje czwarty wymiar przestrzenny, to grawitacja powinna maleć proporcjonalnie do sześcienu odległości, a nie do kwadratu). Najnowsza wersja teorii strun (M-teoria) przewiduje istnienie jedenastu wymiarów.

– W wielu laboratoriach trwają próby wykrycia ciemnej materii uwzględniające fakt, że Ziemia porusza się w kosmicznym wietrze takiej materii. Teoria strun podaje konkretne, sprawdzalne przewidywania odnośnie do własności fizycznych ciemnej materii, ponieważ jest ona prawdopodobnie wyższym drganiem struny (na przykład może ją tworzyć fotino).

– Mamy nadzieję, że serie dodatkowych eksperymentów (na przykład dotyczących polaryzacji neutrin na biegunie południowym) pozwolą na wykrycie miniaturowych czarnych dziur i innych dziwnych obiektów w wyniku badania anomalii w promieniach kosmicznych, których energia może z łatwością przewyższać energię LHC. Doświadczenia wykorzystujące promienie kosmiczne i LHC otworzą nowy, fascynujący obszar wykraczający poza Model Standardowy.

– Istnieją ponadto fizycy, którzy mają nadzieję, że Wielki Wybuch był tak silny, iż jakaś mała superstruna została w nim powiększona do astronomicznych rozmiarów. Fizyk Alexander Vilenkin z Uniwersytetu Tuftsa pisze: "Niezwykle fascynująca jest możliwość, że superstruny [...] mogą mieć astronomiczne rozmiary [...]. W takim przypadku moglibyśmy je zaobserwować na niebie i bezpośrednio zweryfikować teorię strun"¹¹⁴. (Prawdopodobieństwo znalezienia ogromnej reliktovej

tych rozbieżności.

¹¹⁴ A. Vilenkin, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 51.

superstruny, która została powiększona w czasie Wielkiego Wybuchu, jest dosyć małe).

Czy fizyka jest niekompletna?

W 1980 roku Stephen Hawking przyczynił się do rozbudzenia zainteresowania teorią wszystkiego, wygłaszając wykład zatytułowany: *Czy koniec fizyki teoretycznej jest bliski?*, w którym powiedział: "Możliwe, że jeszcze za życia niektórych obecnych tu osób będziemy mieli okazję podziwiać teorię wszystkiego". Twierdził, że istnieje pięćdziesięcioprocentowa szansa na to, że teoria ostateczna zostanie odkryta w ciągu następných dwudziestu lat. Jednak gdy nadszedł rok 2000 i w dalszym ciągu nie było powszechnej zgody co do teorii wszystkiego, zmienił zdanie i powiedział, że mamy pięćdziesiąt procent szans na odkrycie jej w ciągu kolejnych dwudziestu lat.

Później, w 2002 roku, Hawking ponownie zmienił zdanie i oświadczył, że twierdzenie Godla o niezupełności może wskazywać na poważną wadę w jego poprzednim rozumowaniu. Napisał: "Niedktórzy mogą czuć się bardzo zawiedzeni, jeżeli nie powstanie teoria ostateczna, sformułowana w postaci skończonej liczby zasad. Ja sam należałem do tej grupy osób, ale zmieniłem zdanie [...]. Twierdzenie Godla zapewnia nas, że matematycy zawsze będą mieli co robić. Uważam, że M-teoria odegra taką samą rolę w fizyce".

Hawking posługuje się starą argumentacją: skoro matematyka jest niezupełna, a językiem fizyki jest właśnie matematyka, zawsze będą istniały jakieś prawdziwe twierdzenia fizyczne znajdujące się poza naszym zasięgiem, a to oznacza, że teoria wszystkiego jest niemożliwa. Ponieważ twierdzenie o niezupełności rozwiało nadzieje na spełnienie marzenia starożytnych Greków o przeprowadzeniu dowodu wszystkich prawdziwych twierdzeń matematycznych, spowoduje ono również, że teoria wszystkiego zawsze będzie poza naszym zasięgiem.

Freeman Dyson wyraził to bardzo trafnie, pisząc: "Godel dowiódł, że świat matematyki teoretycznej jest niewyczerpany; żaden skończony zbiór aksjomatów i zasad wnioskowania nigdy nie zawrze w sobie całej matematyki [...].

Mam nadzieję, że sytuacja wygląda analogicznie w świecie fizycznym. Jeżeli moja wizja przyszłości jest poprawna, to świat fizyki i astronomii również jest niewyczerpany; bez względu na to, jak daleko się w przyszłości posuniemy, zawsze będą zachodziły nowe wydarzenia, będziemy zdobywać nowe informacje, pojawią się nowe światy do zbadania - domena życia, świadomości i pamięci będzie się bezustannie powiększała".

Astrofizyk John Barrow streszcza to rozumowanie następująco: "Nauka opiera się na matematyce; matematyka nie może odkryć wszystkich prawd; zatem nauka nie może odkryć wszystkich prawd"¹¹⁵.

Taka argumentacja, prawdziwa czy nie, jest obarczona potencjalnymi wadami. Zawodowi matematycy najczęściej w czasie swojej pracy ignorują istnienie twierdzenia o niezupełności. Jest tak dlatego, że punktem wyjścia twierdzenia o niezupełności jest analiza stwierdzeń odwołujących się do samych siebie; to znaczy zdań zawierających stwierdzenia na swój temat. Na przykład

¹¹⁵ J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 252.

stwierdzenia podobne do przytoczonych poniżej zdań to paradoksy:

To zdanie jest fałszywe.
Jestem kłamcą.
Tego stwierdzenia nie można udowodnić.

Jeżeli pierwsze wymienione zdanie jest prawdziwe, to znaczy, że jest fałszywe. Jeżeli jest natomiast fałszywe, to znaczy, że jest prawdziwe. Podobnie, jeżeli mówię prawdę, to znaczy, że kłamię; a jeżeli kłamię, to mówię prawdę. W ostatnim przypadku, jeżeli przytoczone stwierdzenie jest prawdziwe, to nie można dowieść jego prawdziwości.

(Drugie zdanie jest słynnym paradoksem kłamcy. Pochodzący z Krety filozof Epimenides zwykł obrazować ten paradoks stwierdzeniem: "Wszyscy Kreteńczycy to kłamcy". Jednak święty Paweł zupełnie nie zrozumiał, o co chodzi i w liście do Tytusa napisał: "Powiedział jeden z nich, ich własny wieszcz: «Kreteńczycy zawsze kłamcy, złe bestie, brzuchy leniwe». Świadcstwo to jest zgodne z prawdą"¹¹⁶).

Twierdzenie o niezupełności konstruuje się w oparciu o stwierdzenia takie jak: "Tego twierdzenia nie można udowodnić w oparciu o aksjomaty arytmetyki" i tworzy skomplikowaną sieć odwołujących się do siebie paradoksów.

Hawking jednak wykorzystuje twierdzenie o niezupełności na poparcie tezy, że teoria wszystkiego nie może istnieć. Mówi, że kluczem do twierdzenia Godla o niezupełności jest fakt, że matematyka odwołuje się sama do siebie i że fizyka cierpi na tę samą przypadłość. Ponieważ nie można oddzielić obserwatora od procesu obserwacji, oznacza to, że fizyka zawsze będzie odwoływać się do siebie samej, bo przecież nie możemy wyjść poza Wszechświat. W ostatecznym rozrachunku obserwator również składa się z atomów i cząsteczek, a zatem musi stanowić integralną część eksperymentu, który przeprowadza.

Istnieje jednak sposób, by odeprzeć zarzuty Hawkinga. Aby uniknąć paradoksów nieodłącznie związanych z twierdzeniem Godla, dzisiejsi zawodowi matematycy po prostu zastrzegają, że ich praca nie obejmuje żadnych odwołujących się do siebie twierdzeń. W ten sposób mogą obejść twierdzenie o niezupełności. Ogromny postęp w matematyce, jaki dokonał się od czasów Godla, został w dużym stopniu osiągnięty dzięki ignorowaniu twierdzenia o niezupełności, to znaczy, przy założeniu, że najnowsze prace nie wykorzystują żadnych twierdzeń odwołujących się do siebie.

W ten sam sposób może zostać skonstruowana teoria wszystkiego, która będzie potrafiła wyjaśnić każde znane doświadczenie, niezależnie od dychotomii obserwator-obszary. Jeżeli taka teoria wszystkiego wyjaśni wszystko, od pochodzenia Wielkiego Wybuchu po obserwowany przez nas widzialny Wszechświat, wtedy kwestia tego, jak opiszemy interakcję między obserwatorem i obserwowanym, stanie się sporem czysto akademickim. Jednym z kryteriów oceny teorii wszystkiego powinno być to, czy wynikające z niej wnioski są całkowicie niezależne od tego, w jaki sposób dokona się podziału między obserwatorem a obserwowanym.

¹¹⁶ Cyt. za: *Biblia Tysiąclecia, op. cit.*, Tt 1,12-13. (przyp. tłum.).

Co więcej, przyroda może być niewyczerpana i nieograniczona, nawet jeżeli opiera się jedynie na garstce zasad. Przyjrzyjmy się grze w szachy. Wyobraźmy sobie, że prosimy jakiegoś kosmitę z innej planety, żeby na podstawie obserwacji przebiegu partii szachów wywnioskował, jakie są reguły tej gry. Po pewnym czasie obcy ustali, w jaki sposób porusza się pionek, goniec i król. Zasady tej gry są skończone i proste. Jednak liczba możliwych partii jest astronomiczna. Analogicznie, prawa przyrody również mogą być skończone i proste, ale ich zastosowania mogą być nieograniczone. Naszym celem jest odkrycie tych praw.

W pewnym sensie, już teraz mamy pełną teorię wielu zjawisk. Nikt nigdy nie zauważył żadnej wady w równaniach Maxwella opisujących światło. Model Standardowy nazywany jest często teorią prawie wszystkiego. Załóżmy na chwilę, że potrafimy wyłączyć grawitację. Wtedy Model Standardowy staje się całkowicie rozsądną teorią wszystkich zjawisk, poza grawitacją. Być może jest to brzydka teoria, ale działa. Nawet mimo istnienia twierdzenia o niezupełności mamy zupełnie sensowną teorię wszystkiego (oprócz grawitacji).

Moim zdaniem to niezwykle, że na jednej kartce papieru można zapisać prawa rządzące wszystkimi znanymi zjawiskami, obejmujące czterdzieści trzy rzędy wielkości, od najdalszych zakątków kosmosu odległych o 10 miliardów lat świetlnych, po mikroświat kwarków i neutrin. Na tej kartce papieru widniałyby tylko dwa równania: teoria grawitacji Einsteina i Model Standardowy. Uważam, że to dowodzi ostatecznej prostoty i harmonii przyrody na poziomie podstawowym. Wszechświat mógłby być przekorny, przypadkowy lub kapryśny. A jednak wydaje się nam jednolity, spójny i piękny.

Laureat Nagrody Nobla Steven Weinberg porównuje poszukiwania teorii wszystkiego do odkrywania bieguna północnego. Przez setki lat marynarze żeglowali, posługując się mapami, na których nie było bieguna północnego. Wszystkie wskazówki kompasów i wytyczone trasy wskazywały na ten brakujący fragment mapy, a jednak nikt nie wybierał się w to miejsce. W ten sam sposób wszystkie nasze dane i teorie wskazują na teorię wszystkiego. Jest to brakujący fragment naszych równań.

Zawsze będzie coś, co pozostanie poza naszym zasięgiem, czego nie będziemy mogli zbadać (na przykład dokładne położenie elektronu lub świat istniejący poza sferą wyznaczoną przez prędkość światła). Jednak wierzę, że prawa podstawowe są poznawalne i skończone. Najbliższe lata mogą się okazać dla fizyki najbardziej fascynujące w całej jej historii, ponieważ będziemy badać Wszechświat za pomocą nowej generacji akceleratorów cząstek, kosmicznych detektorów fal grawitacyjnych i innych zaawansowanych urządzeń technicznych. Nie jesteśmy u kresu, ale na początku nowej fizyki. Cokolwiek jednak znajdziemy, zawsze będą przed nami kolejne nowe horyzonty.

PRZYPISY

¹ T.H. White, *Był sobie raz na zawsze król: Miecz dla króla*, przeł. J. Kozak, Świat Książki, Warszawa 1999, s. 155 (przyp. tłum.).

² Dzieje się tak za sprawą teorii kwantowej. Gdy do jakiejś teorii dodaje się wszystkie możliwe poprawki

kwantowe (w żmudnym procesie zwanym renormalizacją), okazuje się, że zjawiska, które wcześniej w klasycznym ujęciu były niemożliwe, ponownie pojawiają się w obliczeniach. Oznacza to, że jeżeli tylko coś nie jest jednoznacznie zabronione (na przykład przez prawo zachowania), pojawia się w teorii po uwzględnieniu poprawek kwantowych.

³ Platon pisał: "Nie znalazłby się chyba żaden człowiek taki kryształowy, żeby wy trwał w sprawiedliwości i nie śmiałyby wyciągać ręki po cudze ani go tykać, chociażby mu wolno było, i z rynku bez obawy brać, co by tylko chciał, i do domów wchodzić, i obcować z kim by mu się podobało, i zabijać, i z więzów uwalniać, kogo by tylko zechciał. I inne rzeczy robiłby pomiędzy ludźmi będąc do bogów podobnym [...]. Kto by dostał w ręce taką wolność, a nie chciałby nigdy żadnej krzywdy wyrządzać i nie tykałby tego, co cudze, wydawałby się ostatnim nędznikiem każdemu, kto by go wi dzał i ostatnim głupcem". (Platon, *Państwo*, przeł. W. Witwicki, De Agostini Polska, Warszawa 2003, s. 75).

⁴ N. Myhrvold, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 69.

⁵ J. Glausiusz, "Discover Magazine", listopad 2006.

⁶ *Metamaterials found to work for visible light*, Eurekalert, www.eurekalert.org/pubreleases/2007-01/dlmft010407.php, 2007. Także: "New Scientist Magazine", 18 grudnia 2006.

⁷ Burster [wym. *berster*] - pochodzi od angielskiego czasownika *to burst* - "rozbłyskać"; w języku polskim najczęściej używa się angielskiego określenia w oryginalnej pisowni (jak w niniejszej książce) lub w wersji spolszczonej: *berster*; spotyka się również polski odpowiednik: *błyskacz* (przyp. tłum.).

⁸ Hitlerowcy wysłali również zespół badawczy do Indii w celu zbadania pewnych starożytnych opowieści z hinduskiej mitologii (podobnie jak w scenariuszu *Poszukiwaczy zaginionej Arki*). Interesowała ich treść Mahabharaty, w której *znaleźć* można opis dziwnych, potężnych broni, z latającymi statkami włącznie.

⁹ Tego typu filmy przyczyniły się do rozpowszechnienia kilku błędnych wyobrażeń, jeśli chodzi o lasery. W rzeczywistości wiązki laserowe są niewidzialne, można je zobaczyć jedynie wtedy, gdy zostaną rozproszone przez cząsteczki powietrza. Zatem, gdy w filmie *Mission Impossible* Tom Cruise musiał lawirować w labiryncie wiązek laserowych, powinny one być niewidzialne, nie czerwone. Podobnie jest z pokazywanymi w wielu filmach starciami z wykorzystaniem broni laserowej, w trakcie których widać, jak rozbłyski laserowe mkną na drugi koniec pokoju - jest to niemożliwe, ponieważ światło lasera porusza się z prędkością światła, czyli 300 000 kilometrów na sekundę.

¹⁰ I. Asimov, J.A. Shulman (red.), *Isaac Asimov's Book of Science and Nature Quotations*, Weidenfeld and Nicholson, New York 1988, s. 124.

¹¹ Najlepiej udokumentowany przypadek teleportacji wydarzył się 24 października 1593 roku, gdy Gil Perez, strażnik pałacowy armii filipińskiej, pilnujący bezpieczeństwa gubernatora Manili, pojawił się nagle na Plaza Mayor w mieście Meksyk. Oszolomiony i zdezorientowany Perez został aresztowany przez meksykańskie władze, które sądziły, że jest on w zмовie z szatanem. Gdy postawiono go przed Trybunałem Najświętszej Inkwizycji, potrafił jedynie powiedzieć na swoją obronę, że przeniósł się z Manili do Meksyku "w czasie krótszym niż pianie koguta". (Chociaż historyczne świadectwa tego wydarzenia mogą się wydawać niesamowite, historyk Mike Dash zwraca uwagę na fakt, że najwcześniejsze zapiski dotyczące zniknięcia Pereza sporządzono sto lat po tym fakcie i dlatego nie można im w pełni ufać).

¹² *Biblia Tysiąclecia*, wydanie W, Wydawnictwo Pallottinum, Poznań 2003.

¹³ Wczesne dzieła Doyle'a cechuje metodyczny, logiczny sposób myślenia, typowy dla kogoś zajmującego się medycyną, którego przykładem może być wspaniała dedukcja Sherlocka Holmesa. Dlatego więc Doyle zdecydował się na całkowite porzucenie zimnej, racjonalnej logiki Holmesa na rzecz

nieuporządkowanych, wstrząsających przygód profesora Challengera, zgłębiającego zakazane światy mistycyzmu, okultyzmu i granic nauki?

Pisarz bardzo się zmienił, ponieważ w czasie I wojny światowej nagle i nieoczekiwanie stracił kilku bliskich krewnych, wśród nich swojego ukochanego syna Kingsleya, brata, dwóch szwagrów i dwóch bratanków. Śmierć bliskich osób odcisnęła na jego psychice głębokie emocjonalne piętno.

Zrozpaczony po ich stracie, Doyle uległ trwającej już do końca życia fascynacji światem okultyzmu, wierząc być może, że dzięki spirytualizmowi uda mu się porozumieć ze zmarłymi. Nagle przeniósł się ze świata racjonalnej medycyny sądowej w świat mistycyzmu i zaczął wygłaszać na całym świecie słynne wykłady o niewyjaśnionych zjawiskach parapsychologicznych.

¹⁴A dokładniej, zasada nieoznaczoności Heisenberga stwierdza, że nieoznaczoność położenia cząstki pomnożona przez nieoznaczoność jej pędu musi być większa lub równa stałej Plancka podzielonej przez 2Ω ; albo że iloczyn nieoznaczoności energii cząstki i jej czasu musi również być większy lub równy stałej Plancka podzielonej przez 2Ω . Jeżeli przyjmiemy, że stała Plancka jest równa zero, równania te zredukują się do zwykłej teorii Newtonowskiej, w której wszystkie nieoznaczoności są równe zero.

Fakt, że nie można znać jednocześnie położenia, pędu, energii i czasu elektronu zainspirował Tryggwiego Emilssona do wygłoszenia następującego dowcipu: "Historycy doszli do wniosku, że gdy Heisenberg odkrył zasadę nieoznaczoności, musiał snuć rozważania na temat swojego życia intymnego: gdy miał czas, nie miał energii, a gdy pojawił się pęd, nie mógł ustalić położenia" (cyt. za J. Barrow, *Between Inner Space and Outer Space*, Oxford University Press, Oksford 1999).

¹⁵Cyt. za: M. Kaku, *Einstein's Cosmos*, Atlas Books, New York 2004.

¹⁶D. Adams, *Autostopem przez Galaktykę*, przeł. R. Wieczorek, Zysk i S-ka, Poznań 1994, s. 93.

¹⁷Cyt. za: I. Asimov, J.A. Shulman, *op. cit.*

¹⁸Przyjmijmy na chwilę, że możliwa jest teleportacja obiektów makroskopowych, a nawet ludzi. W takiej sytuacji, gdy przeprowadza się teleportację ciała jakiejś osoby, pojawiają się delikatne filozoficzne i teologiczne pytania na temat istnienia duszy. Jeżeli zostaniemy teleportowani do innego miejsca, czy nasza dusza przeniesie się razem z nami?

Próby zmierzenia się z niektórymi z tych etycznych pytań można znaleźć w książce Jamesa Patricka Kelly'ego *Think Like a Dinosaur* (Myśl jak dinozaur). W tej opowieści pewna kobieta zostaje teleportowana na inną planetę, jednak w trakcie transmisji pojawiają się problemy. Oryginalne ciało, które powinno zostać zniszczone, pozostaje w stanie nienaruszonym i może w pełni wszystko odczuwać. Nagle pojawiają się dwie kopie bohaterki. Oczywiście, gdy kopia zostaje poproszona o wejście do urządzenia teleportacyjnego celem samozniszczenia, odmawia. Prowadzi to do kryzysu, ponieważ dla chłodno myślących obcych, od których ludzie otrzymali kiedyś tę technologię, jest to całkowicie pragmatyczna kwestia doprowadzenia do zrównoważenia równań, podczas gdy kierujący się uczuciami ludzie w większym stopniu współczują bohaterce.

Najczęściej teleportacja w literaturze jest postrzegana jako dar niebios. Jednak w opowiadaniu *Jaunting* Steven King zastanawia się, co by się stało, gdyby z teleportacją wiązały się niebezpieczne efekty uboczne. W przyszłości teleportacja staje się częścią codzienności i jest powszechnie nazywana jauntingiem (*jaunt* - wycieczka). Tuż przed teleportacją na Marsa ojciec opowiada dzieciom interesującą historię jauntingu. Wyjaśnia, że został odkryty przez uczonego, który teleportował myszy i okazało się, że teleportację przeżywały jedynie te z nich, które były pod narkozą. Myszy, które w czasie teleportacji były w pełni świadome, umierały w męczarniach. Dlatego ludziom przed teleportacją standardowo podaje się narkozę.

Jedynym człowiekiem, którego teleportowano bez uspienia, był pewien skazaniec. Obiecano mu ułaskawienie, jeżeli zgodzi się na wzięcie udziału w tym eksperymencie. Jednak po teleportacji doznał potężnego ataku serca, a przed śmiercią zdążył jeszcze tylko powiedzieć: "Tam jest wieczność".

Niestety, syn bohatera, słysząc tę fascynującą opowieść, postanawia wstrzymać oddech, żeby w ten sposób nie zasnąć pod narkozą. Dochodzi do tragedii. Po teleportacji całkowicie traci zmysły. Jego włosy stają się zupełnie siwe, a białka oczu żółknie od starości. Ogarnięty szaleństwem usiłuje wydrapać sobie oczy. Tajemnica zostaje wyjaśniona. Materia ulega natychmiastowej teleportacji, ale dla umysłu taka podróż trwa całą wieczność, czas wydaje się nieskończony i człowiek w takiej sytuacji odchodzi od zmysłów.

¹⁹C. Suplee, *Top 100 Science Stories of 2006*, "Discover Magazine", grudzień 2006, s.35.

²⁰Z. Merali, "New Scientist Magazine", 13 czerwca 2007.

²¹D. Deutsch, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 69.

²²Niezwykły pokaz telepatii możemy przeprowadzić w czasie przyjęcia. Poprośmy wszystkich uczestników, aby na kawałku papieru zapisali dowolne słowo, złożyli te kartki i umieścili je w kapeluszu. W czasie pokazu naszych zdolności telepatycznych będziemy wyjmować po kolei kartki z kapelusza i jeszcze przed ich rozwinięciem odczytywać głośno zapisane na nich słowa. Widzowie będą zdumieni. Na własne oczy zobaczą dowód na istnienie telepatii. Niektórzy magicy naprawdę zdobyli dzięki tej sztuczce sławę i pieniądze.

(Sekret tego niezwykłego pokazu czytania w myślach jest następujący. Należy wyciągnąć pierwszą kartkę papieru, przeczytać ją bez wypowiedzania zapisanego na niej słowa, a głośno oznajmić, że z powodu zamglenia "parapsycho logicznego eteru" mamy trudność z odczytaniem tego napisu. Następnie wyciągamy drugą kartkę papieru, ale na razie jeszcze jej nie rozwijamy. Teraz wypowiadamy głośno słowo, które przeczytaliśmy na pierwszym skrawku papieru. Osoba, która napisała to pierwsze słowo będzie zadziwiona, sądząc, że udało nam się przeczytać napis na drugim, zwiniętym kawałku papieru. Teraz rozwińmy drugą karteczkę i przeczytajmy po cichu słowo zapisane na niej. Wyciągnijmy trzecią złożoną kartkę i wypowiedzmy głośno słowo odczytane przed chwilą na drugim kawałku papieru, i tak dalej. Za każdym razem, gdy wypowiadamy głośno słowo zapisane na karteczce, odczytujemy napis z poprzedniego kawałka papieru).

²³Stan psychiczny osoby można ogólnie odczytać, śledząc ścieżkę, jaką podąża jej wzrok w czasie oglądania fotografii. Jeżeli na jej gałkę oczną skierujemy odpowiednio cienką wiązkę światła, będziemy mogli obserwować na ścianie obraz wiązki odbitej. Analizując ścieżkę odbitego promienia światła, można dokładnie odtworzyć ruch oka w trakcie oglądania zdjęcia. (Gdy na przykład oglądamy na zdjęciu czyjąś twarz, nasz wzrok najczęściej przesuwa się szybko tam i z powrotem między oczami sfotografowanej osoby, a następnie podąża w kierunku ust i *ponownie* w stronę oczu, zanim w końcu obejmie całe zdjęcie).

Obserwując osobę oglądającą zdjęcie, można zmierzyć rozmiar jej źrenic i stwierdzić w ten sposób, czy oglądaniu konkretnego fragmentu zdjęcia towarzyszą myśli przyjemne czy nie. W ten sposób można odczytać stan psychiczny badanej osoby. (Morderca, na przykład, doświadczy silnych emocji w czasie oglądania na zdjęciu miejsca zbrodni, w którym dokładnie znajdowało się ciało ofiary. Tylko morderca i policja je znają).

²⁴Do Towarzystwa Badań Parapsycho logicznych należeli: lord Rayleigh (laureat Nagrody Nobla), sir William Crookes (wynalazca używanej do dziś w elektronice lampy

Crookesa), Charles Richet (laureat Nagrody Nobla), amerykański psycholog William James i premier Arthur Balfour. Wśród jego zwolenników znalazły się takie sławy jak: Mark Twain, Arthur Conan Doyle, Alfred

Tennyson, Lewis Carroll i Carl Jung.

²⁵ Sir Rhine początkowo chciał zostać pastorem, ale później, w czasie studiów na Uniwersytecie Chicagowskim, zajął się botaniką. Po wysłuchaniu w 1922 roku wykładu Arthura Conan Doyle'a, który jeździł wtedy po całym kraju z odczytami na temat komunikowania się ze zmarłymi, Rhine'a zafascynowały zjawiska parapsychologiczne. Później przeczytał książkę *The Survival of Man* (Przetrwanie człowieka) sir Olivera Lodge'a na temat rzekomego porozumiewania się ze zmarłymi w czasie seansów spirytystycznych, która jeszcze bardziej podsyłała jego zainteresowanie. Był jednak niezadowolony z ówczesnego stanu spirytualizmu - reputacja tej dziedziny była często mocno nadszarpywana przez doniesienia o oszustach i hochsztaplerach. Przeprowadzone przez Rhine'a badania doprowadziły nawet do zdemaskowania pewnego medium, niejkiej Margery Crandon, i ujawnienia jej oszustw, co spowodowało, że odwróciło się od niego wielu spirytualistów, między innymi Arthur Conan Doyle.

²⁶ J. Randi, *An Encyclopedia of Claims, Frauds, and Hoaxes of Occult and Supernatural*, St. Martin's Press, New York 1995, s. 51.

²⁷ J. Randi, *op.cit.*, s. 143.

²⁸ "San Francisco Chronicle", 26 listopada 2001.

²⁹ Jeżeli w przyszłości jakaś ograniczona postać telepatii stanie się codziennością, będziemy musieli się zmierzyć również z pewnymi kwestiami prawnymi i moralnymi. W wielu stanach USA nagrywanie czyjejś rozmowy telefonicznej bez pozwolenia rozmówcy jest nielegalne, zatem w przyszłości nielegalna może być też rejestracja obrazu myśli osoby bez jej zgody. Obrońcy praw jednostki mogą również protestować przeciwko odczytywaniu obrazu czyichś myśli bez zgody badanej osoby, bez względu na sytuację. Biorąc pod uwagę to, jak delikatną kwestią są ludzkie myśli, być może nigdy nie zostanie prawnie dozwolone wykorzystanie obrazu myśli jako dowodu w sądzie. W filmie *Raport mniejszości*, w którym główną rolę zagrał Tom Cruise, pojawił się problem etyczny sprowadzający się do pytania, czy można aresztować kogoś za zbrodnię, której ta osoba jeszcze nie popełniła. W przyszłości może się pojawić konieczność rozstrzygnięcia kwestii, czy chęć popełnienia jakiegoś przestępstwa, której dowodem byłby wzór myśli, jest wystarczającym powodem do postawienia danej osoby w stan oskarżenia. Jeżeli ktoś wygłasza pod czyimś adresem groźby, czy będzie to tak samo poważne wykroczenie, jak w przypadku, gdy takie groźby byłyby wyrażone w myślach?

Pojawi się również problem rządów i służb specjalnych, które nie dbając o przestrzeganie jakichkolwiek praw, będą siłą poddawały ludzi procedurze skanowania mózgu. Czy będzie to działanie zgodne z prawem? Czy dozwolone będzie odczytywanie myśli terrorysty w celu poznania jego planów? Czy dopuszczalne będzie wprowadzenie do czyjegoś mózgu fałszywych wspomnień w celu oszukania tej osoby? W filmie *Pamięć absolutna*, w którym główną rolę zagrał Arnold Schwarzenegger, cały czas pojawiają się pytania o to, czy wspomnienia są prawdziwe, czy też zostały wprowadzone z zewnątrz, wpływając nawet na ludzką osobowość.

Kwestie te najprawdopodobniej pozostaną pytaniami czysto hipotetycznymi jeszcze przez najbliższe dziesięciolecia, ale wraz z postępem technicznym nieuchronnie nadejdzie chwila, kiedy te moralne, prawne i społeczne problemy staną się realne. Na szczęście mamy jeszcze mnóstwo czasu, żeby je rozwiązać.

³⁰ D. Fox, "New Scientist Magazine", 4 maja 2006.

³¹ Science Daily, www.sciencedaily.com, 9 kwietnia 2005.

³² J. Cavelos, *The Science of Star Wars: An Astrophysicist's Independent Examination of Space Travel, Aliens, Planets, and Robots as Portrayed in the Star Wars Films and Books*, St. Martin's Press, New

York 2000, s. 184.

³³ Zdumiewający Randi był oburzony tym, że profesjonalni magicy, którzy dobrze opanowali umiejętność wykorzystywania ludzkiej łatwości, twierdzą, iż są obdarzeni zdolnościami parapsychoicznymi i w ten sposób oszukują niczego niepodważającą publiczność. Dlatego zajął się tropieniem i ujawnianiem takich oszustów. Szczególną przyjemność sprawiało mu odtwarzanie wszelkich sztuczek wykonywanych przez różne media. Zdumiewający Randi kontynuuje więc tradycję Wielkiego Houdiniego, magika, który również zajmował się dodatkowo ujawnianiem oszustów i szarlatanów wykorzystujących swoje magiczne umiejętności do oszukiwania innych dla własnych korzyści. Randi chwali się, że swoimi sztuczkami potrafi wyprowadzić w pole nawet uczonych. "Mogę wejść do dowolnego laboratorium i oszukać każdą grupę uczonych" - twierdzi J. Cavelos, *op. cit.*, s. 220.

³⁴ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 240.

³⁵ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 240.

³⁶ P. Ross, *Powiem ci, co myślisz*, "Świat Nauki", październik 2003, s. 56.

³⁷ M. Nicoletis, J. Chapin, *Roboty sterowane umysłem*, "Świat Nauki", gru dzień 2002, s. 26.

³⁸ K. Dunn, "Discover Magazine", grudzień 2006, s. 39.

³⁹ A.A.G. Requicha, *Nanorobots*, <http://www.lmr.usc.edu/~lmr/publications/nano-robotics>.

⁴⁰ Roger Penrose uważa, że w mózgu muszą zachodzić efekty kwantowe umożliwiające myślenie. Większość informatyków powiedziała by, że za pomocą skomplikowanego układu tranzystorów możliwe jest skopiowanie każdego neuronu mózgu; to oznacza, że mózg można sprowadzić do klasycznego urządzenia. Mózg jest niezwykle złożony, ale w gruncie rzeczy składa się z pewnej liczby neuronów, których zachowanie można odtworzyć za pomocą tranzystorów. Profesor Penrose nie zgadza się z takim stwierdzeniem. Uważa, że w komórce istnieją pewne struktury, nazywane mikrotubulami, w których zachodzą efekty kwantowe, a zatem mózgu nigdy nie uda się zredukować do prostego zbioru układów elektronicznych.

⁴¹ "Time", 25 marca 1996, s. 53. Cyt. za: M. Kaku, *Wizje czyli jak nauka zmieni świat w XXI wieku*, przeł. K. Pesz, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 142.

⁴² Nazwa była nawiązaniem do bomby kryptologicznej, zaprojektowanej przez polskiego kryptologa Mariana Rejewskiego urządzenia do łamania szyfrów, na którym Turing wzorował swój projekt (przyp. tłum.).

⁴³ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 90.

⁴⁴ R. Brooks, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 60.

⁴⁵ "Washington Post", 19 lutego 1996, s. Ali. Douglas Hofstadter, wywiad z autorem, 27 maja 1997. Cyt. za: M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 97.

⁴⁶ P. Wallich, *Krzemowe dzieci*, "Świat Nauki", luty 1992, s. 92.

⁴⁷ B. Gates, "Skeptic Magazine", t.12, nr 12, 2006, s. 35.

⁴⁸ B. Gates, *Robot w każdym domu*, "Świat Nauki", luty 2007, s. 50-51.

⁴⁹ B. Gates, *Robot w każdym domu*, "Świat Nauki", luty 2007, s. 46.

⁵⁰ S. Kruglinski, *The Top 100 Science Stones of 2006*, "Discover Magazine", s. 16.

⁵¹ H. Moravec, *Mind Children*, Harvard University Press, Cambridge 1988, s. 20. Wywiad z autorem, 14 stycznia 1997. Cyt. za M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 117.

⁵² D. Crevier, *AI*, Basic Books, New York 1993, s. 267. Cyt. za M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 138.

⁵³ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 98.

⁵⁴ J. Cavelos, *op. cit.*, s. 101.

⁵⁵ F. Dostojewski, *Bracia Karamazow* (księga XI, rozdział IX), PIW, Warszawa 1987, [w: F. Dostojewski,

Dzieła wybrane, t. 6 cz. 2], s. 319, tłum. A. Wat (przyp. tłum.).

⁵⁶W badaniach wzroku wynik 20/20 oznacza oko zdrowe, o idealnej ostrości widzenia (przyp. tłum.).

⁵⁷S. Brenner, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 35.

⁵⁸Cyt. za: M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 197.

⁵⁹Cyt. za: M. Kaku, *Wizje*, *op. cit.*, s. 174.

⁶⁰Zatem może się ostatecznie okazać, że dla przetrwania naszego gatunku kluczowe staną się zbudowane przez nas mechaniczne istoty. Marvin Minsky tak to ujmuje: "My, ludzie, nie stanowimy kresu ewolucji, więc jeżeli potrafimy zbudować urządzenie, które jest tak inteligentne jak człowiek, możemy zapewne zbudować również takie, które będzie jeszcze mądrzejsze. Tworzenie jedynie kopii człowieka nie ma sensu. Pragnie my stworzyć takie urządzenie, które będzie robiło rzeczy, których my nie potrafimy" S. Kruglinski, *The Top 100 Science Stories of 2006*, "Discover Magazine", s. 18.

⁶¹ Oczywiście ludzie zawsze marzyli o nieśmiertelności, już od zamierzchłych czasów, gdy jako jedyni w królestwie zwierząt zaczęli zastanawiać się nad własną śmiertelnością. Woody Allen tak się kiedyś wypowiedział na temat nieśmiertelności: "Nie pragnę osiągnąć nieśmiertelności dzięki moim dziełom. Chcę ją osiągnąć dzięki temu, że nie umrę. Nie chcę żyć w sercach moich rodaków. Wolałbym raczej wieść życie w swoim mieszkaniu". Moravec wierzy, że w odległej przyszłości scalimy się z budowanymi przez nas urządzeniami, osiągając wyższy poziom inteligencji. Będzie to wymagało skopiowania 100 miliardów neuronów naszego mózgu, a każdy z nich ma połączenie być może nawet z kilkoma tysiącami innych neuronów. Można sobie wyobrazić operację chirurgiczną, w trakcie której obok nas na stole operacyjnym leży niedokończony robot. Operację przeprowadza się w ten sposób, że usunięciu każdego pojedynczego neuronu towarzyszy stworzenie jego wiernej krzemowej kopii w ciele robota. W ten sposób każdy neuron w naszym ciele zostaje zastąpiony krzemowym neuronem w robocie, dzięki czemu w czasie całej operacji zachowujemy pełną świadomość. W końcu, cały nasz mózg zostaje w sposób ciągły przeniesiony do wnętrza robota, a my jesteśmy świadkami tego zdarzenia. Pewnego dnia umieramy w naszym niedołącznym, schorowanym ciele. Następnego ranka budzimy się wewnątrz nieśmiertelnego ciała, zachowując nasze wspomnienia i osobowość, nie tracąc świadomości.

⁶²J. Stahl, "Discover Magazine", *Top 100 Science Stories of 2006*, grudzień 2006, s.80.

⁶³J. Cavelos, *op. cit.*, s. 13.

⁶⁴J. Cavelos, *op. cit.*, s. 12.

⁶⁵P.D. Ward, D. Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*, Pantheon Books, New York 1992, s. xiv.

⁶⁶J. Cavelos, *op. cit.*, s. 26.

⁶⁷Ogólnie rzecz biorąc, chociaż na różnych obszarach Ziemi w dalszym ciągu będą się rozwijały lokalne języki, to i tak wykształci się planetarny język i kultura obejmująca wszystkie kontynenty. Kultura globalna i lokalna będą istniały równocześnie obok siebie. Takie zjawisko już można obserwować wśród elit społeczeństw świata.

Istnieją również siły powstrzymujące ten marsz w kierunku planetarnej kultury. Zaliczają się do nich terroryści, którzy nieświadomie, instynktownie zdają sobie sprawę, że rozwój cywilizacji planetarnej spowoduje, iż tolerancja i świecki pluralizm staną się podstawą tworzącej się kultury, a taka perspektywa stanowi zagrożenie dla ludzi, którzy woleliby dalej żyć w minionym tysiącleciu.

⁶⁸Cyt. za: H. Pagels, *Perfect Symmetry*, Bantam, New York 1985, s. 382.

⁶⁹Właśc. gram siła. W SI jednostką siły jest niuton (N) (przyp. red.).

- ⁷⁰P. Gilster, *Centauri Dreams: Imagining and Planning Interstellar Exploration*, Springer Science, New York 2004, s. 242.
- ⁷¹ NASA, <http://science.nasa.gov>, 12 kwietnia 1999.
- ⁷²K.C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, Bantam Books, New York 1985, s. 225.
- ⁷³Od ang. *charge* - ładunek (przyp. tłum.).
- ⁷⁴Symbol T pochodzi od ang. słowa *time* - czas (przyp. tłum.).
- ⁷⁵J. Cavelos, *op. cit.*, s. 137.
- ⁷⁶M. Rees, *Our Final Hour*, Perseus Books, New York 2003, s. 182. ⁷⁷J. Cavelos, *op. cit.*, s. 151.
- ⁷⁸J. Cavelos, *op. cit.*, s. 154.
- ⁷⁹J. Cavelos, *op. cit.*, s. 154.
- ⁸⁰M. Rees, *Przed początkiem: nasz Wszechświat i inne wszechświaty*, przeł. E. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999, s. 107.
- ⁸¹J. Cavelos, *op. cit.*, s. 145.
- ⁸²S.W. Hawking, S.K.S. Thorne, I. Novikov, T. Ferris, A. Lightman, *Przyszłość czasoprzestrzeni*, przeł. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Poznań 2002, s. 131.
- ⁸³P. Nahin, *Time Machines*, Springer Verlag, New York 1999, s. 322.
- ⁸⁴Święty Augustyn, *Wyznania*, ks. XI, 14, przeł. Z. Kubiak, Wydawnictwo Znak, Kraków 2007, s. 347-348 (przyp. tłum.).
- ⁸⁵P. Nahin, *op. cit.*, s. ix.
- ⁸⁶Cyt. za: CA. Pickover, *Czas: najbardziej tajemnicze zjawisko Wszechświata*, przeł. P. Lewiński, Amber, Warszawa 1999, s. 145.
- ⁸⁷J.R. Gott, *Time Travel in Einstein's Universe*, Houghton Mifflin Co., Boston 2001, s.110.
- ⁸⁸P. Nahin, *op. cit.*, s. 248.
- ⁸⁹CS. Lewis, *Opowieści z Narnii: Lew, Czarownica i stara szafa*, przeł. A. Polkowski, Media Rodzina, Poznań 2008, s. 33 (przyp. tłum.).
- ⁹⁰e.e. cummings, *Litość to ruchliwe monstrum*, tłum. S. Barańczak; w: *Wybór wierszy*, PIW, Warszawa 1985 (przyp. tłum.).
- ⁹¹Arystoteles, *O niebie*, w: *Dzieła wszystkie*, tom II, przeł. P. Siwek, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, s. 232 (przyp. tłum.).
- ⁹²L. Dalrymple Henderson, *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Princeton University Press, Princeton 1983, s. xix.
- ⁹³A. Pais, *Pan Bóg jest wyrafinowany...: nauka i życie Alberta Einsteina*, przeł. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001, s. 332-333.
- ⁹⁴Cyt. za: N. Calder, *The Key to the Universe*, Penguin, New York 1977, s. 69.
- ⁹⁵Uruchomienie w 2008 roku nie powiodło się z powodu awarii transformatora. Kolejne ma być przeprowadzone we wrześniu 2009 roku (przyp. red.).
- ⁹⁶M. Tegmark, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 37.
- ⁹⁷K.C. Cole, *op. cit.*, s. 222.
- ⁹⁸R. Feynman, *QED: Osobliwa teoria światła i materii*, przeł. H. Białkowska, PIW, Warszawa 1992, s. 15.
- ⁹⁹Inną atrakcyjną cechą interpretacji wielu światów jest to, że nie wymaga ona żadnych dodatkowych założeń, poza wyjściowym równaniem falowym. W takim obrazie nie musi zachodzić redukcja funkcji falowej

ani obserwacja. Funkcja falowa po prostu dzieli się spontanicznie, automatycznie, bez jakiegokolwiek wpływu zewnętrznego lub dodatkowych założeń. W tym sensie teoria wielu światów jest prostsza pojęciowo od pozostałych teorii, które odwołują się do zewnętrznych obserwatorów, pomiarów, redukcji i tak dalej. To prawda, że zostajemy obciążeni nieskończoną liczbą wszechświatów, ale nadzór nad nimi sprawuje funkcja falowa, bez jakichkolwiek zewnętrznych założeń.

Jednym ze sposobów zrozumienia, dlaczego nasz fizyczny Wszechświat wydaje się tak stabilny i bezpieczny, jest odwołanie się do dekoherencji; stabilność bierze się stąd, że ulegliśmy dekoherencji względem wszystkich wszechświatów równoległych. Ale dekoherencja nie eliminuje tych innych wszechświatów. Jedynie wyjaśnia, dlaczego nasz Wszechświat, będący tylko jednym z nieskończonego zbioru wszechświatów, wydaje się tak stabilny. Dekoherencja opiera się na idei, że choć wszechświaty mogą się rozdzielać na wiele wszechświatów, nasz Wszechświat w wyniku interakcji z otoczeniem oddziela się od pozostałych wszechświatów.

¹⁰⁰ F. Wilczek, B. Devine, *W poszukiwaniu harmonii: Wariacje na tematy z fizyki współczesnej*, przeł. E. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2007, s. 142.

¹⁰¹ I. Asimov, *Równi bogom*, przeł. R. Pawlikowski, Amber, Warszawa 2001, s. 15.

¹⁰² Niektórzy sprzeciwiają się temu stwierdzeniu, mówiąc, że ludzki mózg, będący chyba najbardziej złożonym tworem matki natury w Układzie Słonecznym, stanowi zaprzeczenie drugiego prawa. Mózg człowieka składa się z ponad 100 miliardów neuronów i w promieniu 39 bilionów kilometrów od Ziemi, aż do najbliższej gwiazdy, nie ma nic, co mogłoby się z nim równać pod względem złożoności. W jaki sposób tak wielkie obniżenie entropii można pogodzić z drugim prawem? - pytają. Wydaje się, że sama ewolucja stanowi pogwałcenie drugiego prawa. Odpowiedzią na takie rozumowanie jest to, że spadek entropii wywołany powstaniem bardziej złożonych organizmów, wśród nich ludzi, spowodował wzrost całkowitej entropii w innych obszarach. Spadek entropii związany z ewolucją jest z nawiązką równoważony przez jej wzrost w otaczającym środowisku, na przykład entropię światła słonecznego padającego na Ziemię. Wytworzenie ludzkiego mózgu na drodze ewolucji rzeczywiście powoduje spadek entropii, ale jest on równoważony z nadatkiem przez chaos, który powodujemy (np. zanieczyszczenie, ciepło odpadowe, globalne ocieplenie i tak dalej).

¹⁰³ Tesla był jednak również postacią tragiczną. Prawdopodobnie w wyniku oszustwa został pozbawiony dochodów z wykorzystania wielu jego patentów i wynalazków, które utorowały drogę radiu, telewizji i rewolucji telekomunikacyjnej. (Jednak my, fizycy, zadbaliśmy o to, żeby nazwisko Tesli nie zostało zapomniane. Nazwaliśmy jego nazwiskiem jednostkę indukcji magnetycznej. Jedna tesla jest równa 10 000 gausów, czyli oznacza pole w przybliżeniu dwudziestokrotnie silniejsze od pola magnetycznego Ziemi).

Dzisiaj postać tego uczonego została w dużej mierze zapomniana, tylko jego najbardziej ekscentryczne stwierdzenia w dalszym ciągu cieszą się popularnością wśród zwolenników teorii konspiracji i niesamowitych opowieści. Tesla wierzył, że uda mu się porozumieć z istotami żyjącymi na Marsie, uzupełnić niedokończoną przez Einsteina zunifikowaną teorię pola, rozłupać Ziemię na pół niczym jabłko i wynaleźć promienie śmierci potrafiące zniszczyć dziesięć tysięcy samolotów z odległości 400 kilometrów. (FBI potraktowała zapowiedzi stworzenia promieni śmierci tak poważnie, że po zgonie wynalazcy przejęła znaczną część jego notatek oraz wyposażenia laboratorium. Część zagarniętej wówczas spuścizny po dziś dzień jest przechowywana w tajnych magazynach).

Szczyt sławy Tesli przypadł na rok 1931, gdy znalazł się na okładce czasopisma "Time". Regularnie wprawiał opinię publiczną w zdumienie wywołując olbrzymie błyskawice o napięciu milionów woltów. Tesłę

zgubiła jednak znana wszystkim nieporadność w zarządzaniu finansami i kwestiami prawnymi. Walcząc z armią prawników reprezentujących rodzące się wówczas giganty przemysłu energetycznego, Tesla utracił prawa do swoich najważniejszych patentów. Zaczął również wykazywać oznaki dolegliwości, którą obecnie znamy jako nerwicę natręctw, a która objawiała się u niego obsesją na punkcie cyfry 3. Później popadł w paranoję i resztę życia spędził w skrajnym ubóstwie w hotelu New Yorker, nieustannie obawiając się otrucia przez wrogów i wyprzedzając o krok wierzycieli. Zmarł w całkowitej nędzy w 1943 roku, w wieku osiemdziesięciu sześciu lat.

¹⁰⁴W. Shakespeare, *Makbet*, przeł. S. Barańczak, Wydawnictwo Znak, Kraków 1998, s. 102 (przyp. tłum.).

¹⁰⁵J.D. Barrow, *Kres możliwości?: granice poznania i poznanie granic*, przeł. H. Turczyn-Zalewska, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005, s. 65.

¹⁰⁶J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 239.

¹⁰⁷CA. Pickover, *op. cit.*, s. 206.

¹⁰⁸J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 283.

¹⁰⁹R. Kolb, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 44.

¹¹⁰S.W. Hawking, [et al.], *op. cit.*, s. 121-122.

¹¹¹W. Hawking, [et al.], *op. cit.*, s. 129.

¹¹²M. Tegmark, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 37.

¹¹³ Powodem tego jest fakt, że gdy do teorii grawitacji Einsteina dodamy poprawki kwantowe, nie stają się one małe, lecz nieskończone. Z biegiem lat fizycy wymyślili wiele sposobów na wyeliminowanie takich nieskończonych wyrazów, jednak wszystkie te metody zawodzą w przypadku kwantowej teorii grawitacji. Natomiast w teorii strun poprawki kwantowe zerują się wzajemnie z kilku powodów. Po pierwsze, teoria strun posiada symetrię, zwaną supersymetrią, która powoduje wzajemne znoszenie się tych rozbiegających się członów. Ponadto, teoria strun ma pewną granicę, którą jest długość struny, pomagająca w opanowaniu wszystkich tych nieskończoności.

Owe problematyczne nieskończoności wywodzą się z teorii klasycznej. Zgodnie z prawem odwrotnych kwadratów Newtona siła między dwiema cząstkami staje się nieskończona, gdy dzieląca je odległość spada do zera. Ta nieskończoność, ewidentna nawet w teorii Newtona, przenosi się do teorii kwantowej. Jednak teoria strun ma wbudowaną granicę, długość struny, czyli długość Plancka, która pozwala na opanowanie tych rozbieżności.

¹¹⁴A. Vilenkin, "New Scientist Magazine", 18 listopada 2006, s. 51.

¹¹⁵J.D. Barrow, *op. cit.*, s. 252.

¹¹⁶Cyt. za: *Biblia Tysiąclecia*, *op. cit.*, Tt 1,12-13. (przyp. tłum.).

BIBLIOGRAFIA

Literatura w języku polskim

Fred Adams, Greg Laughlin, *Ewolucja Wszechświata*, przeł. E. Machowska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.

Isaac Asimov, *Równi bogom*, przeł. R. Pawlikowski, Amber, Warszawa 2001.

John D. Barrow, *Kres możliwości?: granice poznania i poznanie granic*, przeł. H. Turczyn-Zalewska, Prószyński i S-ka, Warszawa 2005.

John D. Barrow, *Teorie wszystkiego: w poszukiwaniu ostatecznego wyjaśnienia*, przeł. J. Czerniawski, T. Placek, Znak, Kraków 1995.

Alice Calaprice, red., *Einstein w cytatach*, przeł. M. Krośniak, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.

Timothy Ferris, *Cały ten kram*, przeł. M. Kubicki, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 1999.

Brian Greene, *Piękno Wszechświata*, przeł. E.L. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2006.

Stephen W. Hawking, Kip S. Thorne, Igor Novikov, Timothy Ferris, Alan Lightman, *Przyszłość czasoprzestrzeni*, przeł. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Poznań 2002.

John Horgan, *Koniec nauki czyli o granicach wiedzy u schyłku ery naukowej*, przeł. M. Tempczyk, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

Michio Kaku, *Hiperprzestrzeń: wszechświaty równoległe, pętle czasowe i dziesiąty wymiar*, przeł. E.L. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2006.

Michio Kaku, *Wszechświaty równoległe. Stworzenie Wszechświata, wyższe wymiary i przyszłość kosmosu*, przeł. E.L. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 2006.

Michio Kaku, *Wizje czyli jak nauka zmieni świat w XXI wieku*, przeł. K. Pesz, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000.

Abraham Pais, *Pan Bóg jest wyrefinowany...: nauka i życie Alberta Einsteina*, przeł. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa 2001.

Clifford A. Pickover, *Czas: najbardziej tajemnicze zjawisko Wszechświata*, przeł. P. Lewiński, Amber, Warszawa 1999.

Martin Rees, *Przed początkiem: nasz Wszechświat i inne wszechświaty*, przeł. E. Łokas i B. Bieniok, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

Carl Sagan, *Kosmiczne związki: spojrzenie na Ziemię z kosmicznej perspektywy*, przeł. K. Pesz, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000.

Kip S. Thorne, *Czarne dziury i krzywizny czasu: zdumiewające dziedzictwo Einsteina*, przeł. D. Czyżewska, Prószyński i S-ka, Warszawa 2004.

Steven Weinberg, *Sen o teorii ostatecznej*, przeł. P. Amsterdamski, Zysk i S-ka, Poznań 1997.
H.G. Wells, *Wehikuł czasu*, przeł. F. Wermiński, Amber, Warszawa 2002.

Literatura w języku angielskim

Isaac Asimov, Jason A. Shulman, (red.), *Isaac Asimov's Book of Science and Nature Quotations*, Weidenfeld and Nicholson, New York 1988.

John D. Barrow, *Between Inner Space and Outer Space*, Oxford University Press, Oxford 1999.

Jeanne Cavelos, *The Science of Star Wars: An Astrophysicists Independent Examination of Space Travel, Aliens, Planets, and Robots as Portrayed in the Star Wars Films and Books*, St. Martin's Press, New York 2000.

Ronald Clark, *Einstein: The Life and Times*, World Publishing, New York 1971.

K.C. Cole, *Sympathetic Vibrations: Reflections on Physics as a Way of Life*, Bantam Books,

New York 1985.

Robert P. Crease, Charles C. Mann, *Second Creation*, Macmillan, New York 1986.

Ken Croswell, *The Universe at Midnight*, Free Press, New York 2001.

Paul Davies, *How to Build a Time Machine*, Penguin Books, New York 2001.

Freeman Dyson, *Disturbing the Universe*, Harper & Row, New York 1979.

Albrecht Fölsing, *Albert Einstein*, Penguin Books, New York 1997.

Paul Glistler, *Centauri Dreams: Imagining and Planning Interstellar Exploration*, Springer Science, New York 2004.

J. Richard Gott, *Time Travel in Einstein's Universe*, Houghton Mifflin Co., Boston 2001.

Michio Kaku, *Einsteins Cosmos*, Atlas Books, New York 2004.

Michael Lemonick, *The Echo of the Big Bang*, Princeton University Press, Princeton 2005.

Eugene Mallove, Gregory Matloff, *The Starflight Handbook: A Pioneer's Guide to Interstellar Travel*, Wiley and Sons, New York 1989.

Paul Nahin, *Time Machines*, Springer Verlag, New York 1999.

James Randi, *An Encyclopedia of Claims, Frauds, and Hoaxes of Occult and Supernatural*, St. Martin's Press, New York 1995.

Peter D. Ward, Donald Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe*, Pantheon Books, New York 1992.