



Christophe Galfard

Wszechświat w twojej dłoni

WYDANIE POSZERZONE

ZAWIERA PRACĘ *Jak rozumieć $E = mc^2$,*
W KTÓREJ GALFARD ANALIZUJE
NATURĘ CZASU I PRZESTRZENI





Wszechświat w twojej dłoni

WYDANIE POSZERZONE

Christophe Galfard

Wszechświat w twojej dłoni

WYDANIE POSZERZONE

tłumaczenie Sławomir Paruszewski



OTWARTE

Kraków 2023

Wszczęświat w twojej dłoni

Tytuł oryginału: *The Universe in Your Hand. A Journey Through Space,
Time and Beyond*

Copyright © Christophe Galfard 2015, 2016

Copyright © for this edition by Wydawnictwo Otwarte 2023

Copyright © for the translation by Sławomir Paruszewski

Wydawca prowadzący: Olga Orzeł-Wargskog

Redaktor prowadzący: Agnieszka Urbanowska

Konsultacja merytoryczna: dr Tomasz Kazimierczak

Opracowanie typograficzne książki: Daniel Malak

Portret Alberta Einsteina na s. 77: © Ruth Orkin / Hulton Archive / Getty Images

Adiustacja: Lidia Klin / Wydawnictwo JAK

Korekta: Maria Armata / Wydawnictwo JAK,

Bogumiła Ziembła / Wydawnictwo JAK

Łamanie: Andrzej Choczewski / Wydawnictwo JAK

Jak rozumieć $E=mc^2$

Tytuł oryginału: *How to Understand $E=mc^2$*

Copyright © Christophe Galfard 2017

Copyright © for this edition by Wydawnictwo Otwarte 2023

Copyright © for the translation by Sławomir Paruszewski

Wydawca prowadzący: Rafał Czech

Redaktor prowadzący: Anna Małocha, Dagmara Małyśza

Konsultacja merytoryczna: Marek Krośniak

Przyjęcie tłumaczenia: Iwona Dziemidowicz

Opracowanie typograficzne książki: Daniel Malak

Ilustracje w książce: Amber Anderson

Adiustacja, korekta i łamanie: Pracownia 12A

Projekt okładki i ilustracja na okładce: Ignasi Font

Adaptacja okładki na potrzeby polskiego wydania: Monika Drobniak-Słocińska

Fotografia autora: Astrid di Crollanza

ISBN 978-83-8135-272-7


OTWARTE
www.otwarte.eu

Dystrybucja: SIW Znak. Zapraszamy na www.znak.com.pl

SPIS TREŚCI

WSZECHŚWIAT W TWOJEJ DŁONI

Wstęp	11
Część I Kosmos	13
Część II Czym jest przestrzeń pozaziemska	65
Część III Szybko	137
Część IV Dajemy nurka w kwantowy świat	171
Część V Podróż do początku czasu i przestrzeni	229
Część VI Nieoczekiwane zagadki	287
Część VII Krok w nieznanne	363
Epilog	397
Podziękowania	409
Źródła	411

JAK ROZUMIEĆ $E = MC^2$

Przedmowa	415
Część I Światło	417
Część II Teoria poruszających się obiektów	427
Część III Konsekwencje	447
Podsumowanie	459
Bibliografia	462

**WSZECHŚWIAT
W TWOJEJ DŁONI**

Dla Mariusa i Honoré

WSTĘP

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

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

$$E = mc^2$$

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

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

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

CZĘŚĆ I
KOSMOS

BEZGŁOŚNY WYBUCH

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

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

A potem znów zapada cisza.

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

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

Spadająca gwiazda niespiesznie przecina niebo nad twoją głową. Już masz wypowiedzieć życzenie, gdy nagle zdarza się coś niezwykłego. Jak za dotknięciem czarodziejskiej różdżki w mgnieniu oka mija 5 miliardów lat i oto nie jesteś już na plaży – przebywasz zawieszony w kosmicznej pustce. Widzisz, słyszysz i czujesz, lecz nie masz ciała. Jesteś niematerialnym bytem. Czystym umysłem. Nie masz czasu, żeby zastanawiać się nad tym, co zaszło, krzyknąć albo wołać o pomoc, bo znalazłeś się w niesamowitej sytuacji.

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

Stopioną planetę.

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

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

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

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

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

No nie, ta gwiazda nie może poruszać się dalej w takim tempie! Już teraz jest gigantyczna, a stopiona planeta, bombardowana

energiją i niezdolna do oporu, zamienia się w nicość. Gwiazda nawet tego nie zauważa. Wciąż rośnie, jest już sto razy większa niż na początku, a potem nagle wybucha, wyrzucając w przestrzeń kosmiczną całą materię, z której była zbudowana.

Przez twoją bezcielesną formę przechodzi fala uderzeniowa, ale samej gwiazdy już nie ma. Pozostał po niej tylko rozprzeszczynający się we wszystkich kierunkach pył. Z godną bogów prędkością mknie kolorową chmurą w międzygwiazdnej pustce.

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

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

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

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

Desperacko próbując zrozumieć sens tego, co się stało, znów spoglądasz w górę na rozjaśnione gwiazdami niebo. W głębi duszy wiesz, że to wszystko nie było jedynie snem. Choć twój umysł znowu przebywa na plaży, na powrót zjednoczony z ciałem, zdajesz sobie sprawę z tego, że naprawdę przenieś się do odległej przyszłości, aby ujrzeć coś, czego nikt nigdy nie powinien zobaczyć.

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

Tą drogą jest wiedza i nauka.

W taką podróż wyruszyć może tylko człowiek.

Wkrótce ją rozpocznie.

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

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

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

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

dotychczas wyobrażałeś. Twoje ręce, nogi, skóra... Materia...
Czas... Przestrzeń... Splecione pola sił wokół ciebie...

Zasłona, której istnienia nawet nie podejrzewałeś, uniosła się,
odslaniając tajemniczą i nieoczekiwaną rzeczywistość. Pragniesz
wrócić do gwiazd. Coś ci mówi, że za chwilę wyruszysz w nie-
zwykłą podróż – w rejony bardzo odległe od znanego ci świata.

KSIĘŻYC

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

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

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

A gdy już zapoznasz się z całą dostępną nam wiedzą, przemiesz się w nieznaną i zobaczysz, nad czym pracują najwybitniejsi współcześni fizycy teoretyczni, starający się wyjaśnić

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

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

Trzysta lat temu jeden z najsławniejszych i najwybitniejszych naukowców wszech czasów Isaac Newton, brytyjski fizyk i matematyk z Uniwersytetu Cambridge w Anglii, twórca pojęcia grawitacji, również traktował czas w podobny sposób. Dla niego istniał czas ludzki, wyczuwalny i mierzony za pomocą zegarów, oraz czas boski, który nie płynie i jest chwilowy. Z punktu widzenia Newtonowskiego Boga nieskończona linia ludzkiego czasu rozciągająca się od przeszłości w przyszłość jest tylko chwilą, mrugnięciem oka.

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

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

Niebo jest w przeważającej części ciemne.

I są na nim gwiazdy.

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

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

Możliwość, że przyszłość ludzkości znajduje się gdzieś tam daleko, ponad ziemskim niebem, zaczyna ci się wydawać realna i fascynująca. Czy mógłbyś gołym okiem zobaczyć wszystko, co znajduje się we wszechświecie? Przecząco kręcisz głową. Zdajesz sobie sprawę, że Słońce, Księżyc, niektóre planety – takie jak Wenus, Mars czy Jowisz, setki gwiazd¹ i ta niewyraźna smuga białawego pyłu zwana Drogą Mleczną nie stanowią Wszystkiego. Poza zasięgiem naszego wzroku, pomiędzy gwiazdami, skrywają się tajemnice, które wciąż czekają na rozwikłanie... Gdybyś mógł zgłębić je wszystkie, co byś zrobił? Najpierw spenetrowałbyś najbliższe otoczenie Ziemi, potem byś wystartował i poleciał tak daleko, jak to tylko możliwe, a następnie... Od czego w końcu masz umysł?

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

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

Twoja podróż ku wiedzy właśnie się rozpoczęła.

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

Dotarłeś na Księżyc, dotychczas dokonało tego tylko kilkunastu ludzi. Twoje widmowe ciało właśnie spaceruje po jego powierzchni. Ziemia zniknęła za księżycowym horyzontem. Znajdujesz się po tak zwanej ciemnej stronie Księżyca, skąd nigdy nie widać naszej planety. Nie ma tu ani błękitnego nieba, ani wiatru, a nad głową widzisz o wiele więcej gwiazd, niż ujrzałbyś z jakiegokolwiek miejsca na Ziemi. Tutaj jednak nie migocą, bo na Księżycu nie ma atmosfery. Przestrzeń kosmiczna zaczyna się tuż nad jego powierzchnią o rzeźbie niewyglądzonej przez żadne zjawiska meteorologiczne. Kratery są wszędzie. To zamrożone pozostałości po czymś, co uderzało kiedyś w tę jałową glebę.

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

Co tu się stało?!

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

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

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

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

Idziesz dalej, obserwując Ziemię wznoszącą się na księżycowym niebie, i chociaż otoczenie wydaje się ciche i bezpieczne, dobrze wiesz, że to tylko pozorny spokój. Czas płynie tutaj inaczej, a w ciągu eonów, które nadejdą, gwałtowne zdarzenia będą nieuniknione. Świadczą o tym kraterzy znaczące powierzchnię Księżyca. Setki tysięcy głazów – każdy o rozmiarach góry – dryfujących w przestrzeni kosmicznej, musiały przez wieki bombardować satelitę Ziemi. Uderzały także z pewnością w naszą planetę, lecz ziemskie rany się zagoiły, nasz świat istnieje i skrywa swoją przeszłość głęboko pod ulegającą nieustannym przemianom warstwą gleby.

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

Prawie.

Jednak niezupełnie. Teraz ma nas. Ma ciebie.

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

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

Nazwaliśmy ją Słońcem.

Leży w odległości 150 milionów kilometrów od naszego świata.

Stanowi źródło całej naszej energii.

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

SŁOŃCE

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

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

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

gwiazdą? Skąd bierze się jej energia? I dlaczego, u licha, pewnego dnia gwiazda musi umrzeć?

Aby się tego dowiedzieć, udajesz się do miejsca, w którym panują iście mordercze warunki – do środka Słońca, ponad pół miliona kilometrów pod jego powierzchnię. Dla porównania: jądro Ziemi dzieli od powierzchni mniej więcej 6500 kilometrów.

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

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

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

Wskutek tego muszą stapiać się z sobą i tworzyć większe jądra. To tak zwana *reakcja termojądrowa*.

Kiedy te ciężkie jądra opuszczają już palenisko, w którym się narodziły, będą się łączyć z samotnymi, swobodnymi elektronami, wcześniej oderwanymi od atomów wodoru, i stworzą nowe, cięższe atomy: azot, węgiel, tlen, srebro...

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

Spójrzmy na to z jeszcze innej strony: ponieważ nie jesteśmy zbudowani tylko z wodoru i helu, a nasze ciało, Ziemia i wszystko, co nas otacza, zawiera również węgiel, tlen oraz atomy innych

pierwiastków, wnioskujemy, że Słońce jest gwiazdą drugiej, a być może nawet trzeciej generacji. Zanim pozostały po eksplozjach pył stał się Słońcem, Ziemią i nami, wcześniej musiały wybuchnąć jedna albo dwie generacje gwiazd. Ale co wywołało ich śmierć? Dlaczego świetliste życie gwiazd musi być zwieńczone widowiskowym wybuchem – i w rezultacie śmiercią?

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

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

W naszym codziennym życiu nie mogłoby się to zdarzyć, ale w świecie jądrowym dzieje się tak bez przerwy. Na szczęście dla nas masa ta nie ginie bezpowrotnie. Zamienia się w energię, a kurs tej wymiany jest określony wzorem: $E = mc^2$ – słynnym równaniem Einsteina¹.

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

¹ Prawdopodobnie dobrze znasz wzór $E = mc^2$, ale dla pewności przypomnę, że w tym wzorze „E” oznacza energię, „m” – masę, a „c” – prędkość światła. Tak więc z tego równania, jedyne, jakie znajdziesz w tej książce, wynika, że można dosłownie zamienić masę w energię, a energię w masę.

Można by rzec, że to niezły interes. W rzeczywistości to najlepszy kurs wymiany występujący w przyrodzie.

Oczywiście masa tracona podczas pojedynczej reakcji termojądrowej jest raczej niewielka. Ale we wnętrzu Słońca w każdej sekundzie stapia się z sobą tak wiele atomów, że uwalnia się przy tym ogromna ilość energii, która musi znaleźć jakieś ujście. Na wszelkie sposoby ucieka więc z rdzenia gwiazdy w przestrzeń kosmiczną. Koniec końców, energia pochodząca z reakcji termojądrowej równoważy grawitację wciskającą wszystko do rdzenia, dzięki czemu rozmiar naszej gwiazdy pozostaje stały. Gdyby działała tylko grawitacja, a tej reakcji by nie było, Słońce musiałoby się skurczyć.

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

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

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

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

Choć w istocie nie ma to nic wspólnego ze szczęściem.

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

Jak już wiesz, Słońce nie będzie wiecznie w stanie równowagi: pewnego dnia w rdzeniu naszej gwiazdy skończy się atomowe paliwo. Wtedy zabraknie promieniującej z jego wnętrza siły, przeciwstawiającej się grawitacji. Grawitacja weźmie górę i nasza gwiazda wkroczy w ostatni etap życia: Słońce skurczy się i stanie bardziej gęste. Potem nastąpi kolejna reakcja termojądrowa, tym razem z dala od rdzenia, bliżej powierzchni. Ta ponowna reakcja syntezy nie zrównoważy grawitacji, lecz ją przewycięży. Powierzchnia Słońca będzie wypychana na zewnątrz, a ono samo zacznie się powiększać. Widziałeś to zjawisko podczas swojej podróży w przyszłość. Ostatni wybuch energii będzie zapowiedzią końca istnienia gwiazdy, czego też byłeś świadkiem. Wyrzucen on w przestrzeń kosmiczną wszystkie atomy, które Słońce wyprodukowało przez całe swoje życie, i stworzy kolejne – najcięższe, jakie może, takie jak złoto. W końcu atomy te zmieszają się z pozostałościami innych gwiazd ginących w pobliżu i uformują olbrzymie chmury kosmicznego pyłu, który być może w odległej przyszłości stanie się zalążkiem nowych światów.

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