

BITWA
O
WIELKI
Jak
NAPRAWDĘ
POWSTAŁ
WSZECHŚWIAT
WYBUCH

NIAYESH AFSHORDI, PHIL HALPER

Tytuł oryginału: Battle of the Big Bang: The New Tales of Our Cosmic Origins

Tłumaczenie: Amata-Jo Papaj

ISBN: 978-83-289-3540-2

© 2025 by Niayesh Afshordi and Phil Halper. All rights reserved.

Polish edition copyright © 2026 by Helion S.A.

Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawca dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

helion.pl/user/opinie/biwiwy

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

e-mail: *helion@helion.pl*

WWW: *helion.pl* (księgarnia internetowa, katalog książek)

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- Lubię to! » Nasza społeczność

SPIS TREŚCI

Przedmowa. Zanim wróciło pierwsze wspomnienie 5

1. Początek. Kosmologia od Talesa do Hawkinga 13

2. Multiwersum i najlepszy darmowy obiad 45

3. Hawking robi zwrot o 180 stopni,
Wszechświat powstaje z niczego 89

4. Teorie strun i zderzające się brany 119

5. Wielkie Odbicie 149

6. Déjà vu i kosmos cykliczny 177

7. Zrodzony z czarnej dziury 211

8. Prędkości światła 241

9. Hologramy i brakujące wymiary 271

10. Czy Wszechświat może stworzyć sam siebie? 299

11. Religia jako nauka, nauka jako religia 321

12. Koniec początku 351

Podziękowania 377

Dodatek 381

Przypisy końcowe 385

Hawking robi zwrot o 180 stopni, Wszechświat powstaje z niczego

W 2012 roku Londyn gościł igrzyska olimpijskie i paraolimpijskie. Phil i jego żona Monica uczestniczyli w ceremonii otwarcia paraolimpiady — olśniewającym spektaklu światła i dźwięku, którego preludeum ukazało niepełnosprawnego weterana i pilota Davida Rawlinsa przelatującego nad stadionem w świecącym samolocie, z którego skrzydeł, niczym rój świetlików, tryskały fajerwerki. Gdy publiczność odliczała „pięć, cztery, trzy, dwa, jeden, zero!”, rozległ się znajomy głos. Widzów igrzysk powitał Stephen Hawking.

Ceremonia zatytułowana „Oświecenie” była hołdem złożonym nauce, z unoszącymi się jabłkami symbolizującymi teorię grawitacji Newtona i przekształceniem stadionu w artystyczną wizję Wielkiego Zderzacza Hadronów. Całe widowisko rozpoczęło się od odtworzenia Wielkiego Wybuchu — płomiennej eksplozji, po której wykonawcy rozproszyli się, obrazując rozszerzanie się Wszechświata. To, czy niezliczone bąbelki wypełniające tamtej nocy niebo miały przedstawiać multiwersum wiecznej inflacji, pozostaje kwestią spekulacji. Hawking nie stronił jednak od promowania własnego modelu narodzin Kosmosu podczas ceremonii. „Warunki brzegowe Wszechświata muszą być czymś wyjątkowym” — powiedział do tłumu — „a co może być bardziej wyjątkowe niż fakt, że nie ma on granic? Nie powinno być też granic dla ludzkich dążeń”.

Dla Phila słuchanie narracji Hawkinga (a nawet jego występ z techno duetem Orbital) było niezapomnianym przeżyciem. Nie przypuszczał

wtedy, że kilka lat później spotka się z fizykiem w bardziej kameralnych okolicznościach — w jego gabinecie w Cambridge. Słowa Hawkinga wydawały się trafne w odniesieniu do paraolimpijczyków; jak zauważyli niektórzy komentatorzy: „W Sydney paraolimpijczyków traktowano jak równych olimpijczykom. W Londynie traktowano ich jak bohaterów”¹. Jednak prawdopodobnie niewielu na widowni rozumiało, co Hawking miał naprawdę na myśli, mówiąc o bezbrzeżnym Wszechświecie.

Dwa lata później, gdy Eddie Redmayne zdobył Oscara za rolę naukowca w filmie *Teoria wszystkiego*, w popkulturze pojawiło się kolejne enigmatyczne nawiązanie do teorii Hawkinga. Jedna ze scen, która dawała pewien wgląd w pracę Hawkinga, rozpoczynała się od tego, jak Jonathan (przyszły kochanek jego pierwszej żony Jane) poruszył temat podczas kolacji:

JONATHAN: Jane mów, że masz piękny dowód, iż Wszechświat ma początek. To prawda?

STEPHEN: To była moja praca doktorska. Mój nowy projekt to obala.

JONATHAN: Obala?

STEPHEN: Tak.

JONATHAN: A więc nie wierzysz już w stworzenie?

STEPHEN: W fizyce nie ma znaczenia, w co się wierzy.

JANE: Stephen zmienił zdanie. Nowa wielka idea jest taka, że Wszechświat nie ma żadnych granic. Żadnych granic, żadnego początku.

JONATHAN: I żadnego Boga? Ach, rozumiem. Myślałem, że dowiodłeś istnienia początku Wszechświata, a więc i potrzeby stwórcy. Mój błąd.

STEPHEN: Nie. Mój.

Zwrot Hawkinga o 180 stopni był kulminacją trwających całe dekady prób zrozumienia początków Wszechświata. Po ustaleniu istnienia osobliwości Wielkiego Wybuchu w trakcie pracy nad doktoratem to jego promotor Dennis Sciama zinterpretował stan nieskończonej gęstości, temperatury i ciśnienia jako dowód załamania się klasycznej teorii

względności. Tym samym to, co Hawking naprawdę udowodnił, to nie tyle fakt, że Wszechświat miał początek, ile konieczność kwantowej aktualizacji teorii Wielkiego Wybuchu. Bo o ile teoria względności zawiera pewne dziwne pojęcia dotyczące natury czasu i przestrzeni, przeciwko którym buntuje się intuicja, to jej osobliwość błędnie w porównaniu z dziwnym światem fizyki cząstek rządzonej regułami mechaniki kwantowej.

Hawking stał się jednym z pionierów dziedziny, którą dziś nazywamy kosmologią kwantową, zbudowanej na ruinach osobliwości, której niegdyś, zanurzony w kosmologii klasycznej, był orędownikiem. Jednak tuż za nim podążał Alex Vilenkin, zwolennik multiwersum, którego poznaliśmy w poprzednim rozdziale. Vilenkin to błyskotliwy fizyk teoretyczny z Ukrainy, który uciekł ze Związku Radzieckiego do Stanów Zjednoczonych w szczycie zimnej wojny. Miał rzucić wyzwanie Hawkingowi w kwestii poprawnego opisu kwantowego Wielkiego Wybuchu.

Zarówno Hawking, jak i Vilenkin twierdzą, że ich modele sugerują powstanie Wszechświata z *niczego* — ale co to stwierdzenie naprawdę oznacza, pozostaje kwestią kontrowersyjną, podobnie jak same propozycje modeli. Może się wydawać, że pojęcie Wszechświata powstającego z niczego jest absurdalne, ale w fizyce kwantowej od absurdów aż się roi. Aby zrozumieć te dwa schematy (znane jako [1] Model Hartle’a-Hawkinga — Wszechświata bez brzegów i [2] tunelowanie z niczego), musimy poznać dziwaczne reguły rządzące światem subatomowym. Po dwóch rozdziałach, w których jedynie musnęliśmy te pojęcia, nadszedł czas, by zanurzyć się głęboko w niezwykle świat kwantów i przekonać się, jak nieuchronnie zmieni on naszą opowieść o Wielkim Wybuchu.

PRZEDZIWNY ŚWIAT KWANTÓW

Jako dwunastolatek czytałem mnóstwo popularnonaukowych książek o astronomii. Wszystkie zawierały jakiś opis świata kwantowego, dualizmu korpuskularno-falowego i zasady nieoznaczoności. Po przeczytaniu tak wielu materiałów byłem przekonany, że rozumiem fizykę kwantową, co też oznajmiłem jednemu z prowadzących, absolwentowi

fizyki, podczas zajęć dla entuzjastów astronomii. Nauczyciel zapytał mnie wtedy, czy wiem, czym jest równanie Schrödingera, a ja zamilkłem. Mechanika kwantowa to egzotyczny aparat matematyczny niezbędny do opisu reguł świata subatomowego, stanowiący podstawę wielu technologii napędzających nasze współczesne społeczeństwo, od komputerów po smartfony, od energii jądrowej po lasery. Myślę, iż większość moich koleżanek i kolegów zgodziłaby się, że to najbardziej fundamentalny zestaw praw istniejących w fizyce. Jednak w swej istocie świat kwantowy jest naprawdę dziwaczną domeną, zupełnie niepodobną do rzeczywistości, którą obserwujemy wokół siebie na co dzień. Mechanika kwantowa opiera się na kilku podstawowych zasadach, których konsekwencje do dziś są przedmiotem sporów między filozofami a fizykami.

Pierwszą z nich jest zasada dyskretności. Podobnie jak starożytni greccy atomiści twierdzili, że świat składa się z obiektów o określonym minimalnym rozmiarze, tak fizyka kwantowa mówi, że energia występuje w niepodzielnych porcjach. Samo słowo „kwant” pochodzi z przypuszczenia Einsteina i Plancka, że światło jest emitowane w dyskretnych „kwantach” energii. Podobnie elektrony krążą wokół jądra atomu na dyskretnych poziomach energetycznych. Mogą być wzbudzone do wyższych energii, ale znowu tylko w dyskretnych jednostkach, jakby winda teleportowała się z jednego piętra na drugie bez konieczności pokonywania przestrzeni pomiędzy.

Następnie mamy osławioną zasadę nieoznaczoności Heisenberga, zgodnie z którą pewnych par wielkości fizycznych nie można zmierzyć z dowolnie wysoką precyzją. Na przykład im więcej wiemy o energii cząstki, tym mniej mamy prawo wiedzieć o tym, kiedy tę energię miała. Energia i czas są w fizyce kwantowej przykładami zmiennych sprzężonych. Inne przykłady to pęd i położenie. Im więcej wiemy o pędzie cząstki, tym mniej będziemy wiedzieć o tym, gdzie może się ona znajdować. Stary dowcip ilustrujący zasadę nieoznaczoności opowiada o fizyku Wernerze Heisenbergu zatrzymanym przez policjanta drogówki, który pyta go, czy wie, z jaką prędkością jechał. „Nie, ale wiem dokładnie, gdzie jestem” — odpowiada Heisenberg. Policjant mówi mu, że jechał 150 kilometrów na godzinę. Heisenberg odpowiada: „Świetnie! Właśnie się zgubiłem!”.

Ta nieoznaczoność nie sugeruje niewystarczającej precyzji naszych instrumentów. To coś głębszego, coś fundamentalnego. Sama natura — zgodnie z równaniami teorii kwantowej — wydaje się z założenia mętna. Ten niezwykły obraz świata stał się wyzwaniem dla regularnych, „zegarowych” praw fizyki, które przez stulecia kształtowały newtonowski obraz rzeczywistości. Heisenberg, jeden z twórców nowej fizyki, powiedział nawet: „Prawo przyczynowości w teorii kwantowej nie obowiązuje”². Niezależnie od tego, czy to stwierdzenie jest prawdziwe, prawdopodobieństwo odgrywa w fizyce kwantowej kluczową rolę. Naukowcy potrafią precyzyjnie określić szanse zajścia zdarzenia w świecie kwantowym, ale nie są w stanie przewidzieć wyniku pojedynczego procesu — tak jakby sama natura nakładała ograniczenia na to, jak wiele możemy wiedzieć o rzeczywistości.

Jedna z konsekwencji zasady nieoznaczoności Heisenberga ma szczególne znaczenie dla Wielkiego Wybuchu. Jeśli spróbujesz bardzo, bardzo dokładnie określić położenie cząstki, będzie ona musiała mieć ogromny pęd, a więc i dużą energię. Tak potężna energia, upakowana w mikroskopijnej przestrzeni, nieuchronnie doprowadzi do powstania czarnej dziury. To spostrzeżenie sugeruje, że w teorii kwantowej uwzględniającej grawitację każda pomiarowa próba określenia położenia może mieć co najwyżej precyzję rzędu 10^{-33} centymetrów — granica ta znana jest jako długość Plancka i czasem opisywana jako najmniejsza długość, która ma jakikolwiek fizyczny sens: obszar, w którym ujawniają się efekty grawitacji kwantowej. Czas, w jakim światło pokonuje długość Plancka, to około 10^{-43} sekund, czyli mniej więcej czas Plancka. To najbardziej, jak można się zbliżyć do osobliwości Wielkiego Wybuchu bez konieczności modyfikowania praw natury.

Zadziwiającą konsekwencją teorii kwantowej, leżącą u podstaw kosmologii inflacyjnej, jest to, że próżnia pustej przestrzeni nigdy nie może być naprawdę pusta, ponieważ taka pustka naruszałaby zasadę nieoznaczoności. Zamiast tego — jak już wcześniej wspomnieliśmy — pary cząstek i antycząstek pojawiają się i znikają w ułamkach sekund, podczas których ich energia jest nieodróżnialna od zera.

Równie dziwaczną cechą mechaniki kwantowej jest superpozycja. Zwykle myślimy o obiektach jako znajdujących się w konkretnych miejscach lub stanach w przestrzeni. Czapkę można założyć daszkiem do

przodu lub do tyłu, ale nie można jej nosić na oba sposoby w tym samym czasie. Zupełnie inaczej jest w świecie kwantowym, gdzie cząstki mogą znajdować się w dwóch (lub więcej) stanach jednocześnie.

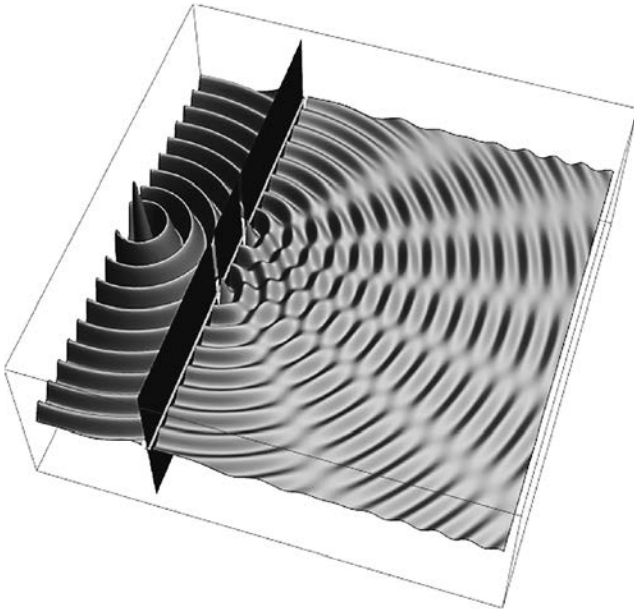
Inną osobliwą cechą nieoznaczoności jest to, że implikuje ona możliwość przenikania cząstek przez bariery, które byłyby niemożliwe do pokonania w świecie fizyki klasycznej. Zjawisko to znane jest jako tunelowanie kwantowe i jest kluczowe dla zrozumienia, jak działają zarówno Słońce, jak i pamięci flash. Nie spodziewamy się, że piłeczka pingpongowa rzucona na ceglana ścianę nagle teleportuje się na drugą stronę, ale w świecie kwantowym coś analogicznego ma prawo się zdarzyć. Jedynym powodem, dla którego nie obserwujemy tej teleportacji w codziennym życiu, jest fakt, że prawdopodobieństwo, iż wszystkie cząstki w piłeczce pingpongowej jednocześnie przetunelują na drugą stronę stałej bariery, jest znikome. Na szczęście dla nas znikome nie oznacza równe zeru! Na przykład protony w jądrze Słońca są naładowane dodatnio i odpychają się wzajemnie; zgodnie z prawami Newtona nigdy się nie spotkają. Niemniej jednak niewielkie prawdopodobieństwo tunelowania kwantowego — pozwalające niektórym z gigantycznej liczby 10^{57} protonów Słońca połączyć się — wytwarza wystarczającą liczbę procesów fuzji jądrowej, aby Słońce mogło świecić. Uważam, że to ważna lekcja dla zrozumienia Wielkiego Wybuchu. Jeśli zastosujemy tylko fizykę klasyczną, odkryjemy, że Słońce nie ma prawa świecić, musimy więc zastosować prawa fizyki kwantowej. Wielki Wybuch prawdopodobnie również wymaga kwantowego zrozumienia.

W 1963 roku Richard Feynman wygłosił swoje słynne wykłady z fizyki. Twierdził, że wynik jednego szczególnie znanego eksperymentu oddaje istotę świata kwantowego — świata niemożliwego do zrozumienia w kategoriach klasycznych. Chodzi o tak zwany eksperyment z dwiema szczelinami, w którym urządzenie wystrzeliwuje cząstki (zazwyczaj elektrony) w kierunku ekranu. Pomiedzy źródłem cząstek a ekranem znajduje się przeszkoda z dwoma podłużnymi otworami. Feynman traktował ten układ jako eksperyment myślowy, niemożliwy do rzeczywistego przeprowadzenia. Jednak teoretycy często nie doceniają pomysłowości eksperymentatorów. Niemiecki fizyk Claus Jönsson przeprowadził ten eksperyment dwa lata wcześniej, jeszcze zanim zajął się nim Feynman³. Wyniki okazały się dokładnie

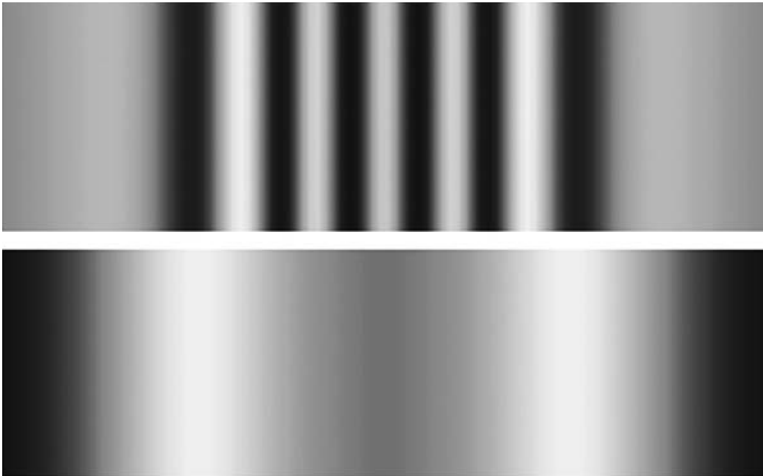
tak dziwaczne, jak Feynman opisywał. Gdy wystrzeliwuje się elektrony w stronę ekranu, można by się spodziewać, że utworzą dwa skupiska — po jednym na ekranie za każdą szczeliną — tak jak ziarenka piasku wysypujące się do wiadra z dwoma otworkami. Ale tak się nie stało. Zamiast tego ekran rozświetlił się kształtami przypominającymi wzory na ciełe zebry: jasne pasma przeplatały się z ciemnymi prążkami, co stanowi jednoznaczną sygnaturę interferencji fal. Stało się tak dlatego, że w przeciwieństwie do klasycznych cząstek, które mają określone lokalizacje i prędkości, każdą cząstkę kwantową opisuje rozmyta funkcja falowa, gdzie cząstka zdolna jest przejść przez obie szczeliny jednocześnie, powodując konstruktywną i destruktywną interferencję. Co jeszcze bardziej zdumiewające — jeśli spróbujemy „oszukać system” i umieścimy przy szczelinach detektor, aby sprawdzić, przez którą z nich przeszedł elektron, wzór interferencyjny zniknie, a rezultat stanie się klasyczny: elektrony skupią się w dwa wyraźne prostokąty za każdą szczeliną. Nic dziwnego, że Niels Bohr, mentor Heisenberga, wypowiedział słynne stwierdzenie, iż ci, których mechanika kwantowa nie szokuje, z całą pewnością jej nie rozumieją.

My, fizycy, wciąż zmagamy się ze zrozumieniem tych dziwnych reguł, dlatego istnieją różne interpretacje fizyki kwantowej. Dwie najbardziej znane to interpretacja kopenhaska i interpretacja wielu światów. Ta pierwsza ma swoje korzenie w rozważaniach Bohra i Heisenberga z lat 20. XX wieku, z okresu narodzin teorii kwantowej. Według niej pozycja elektronu jest częścią rzeczywistości, dopóki ktoś nie postanowi jej zmierzyć. Wynik takiego pomiaru będzie losowy, z prawdopodobieństwami przewidywanymi przez funkcję falową. Sam akt pomiaru tymczasowo redukuje funkcję falową do zmierzonej pozycji, by następnie ponownie stała się ona rozmyta. W tym ujęciu wzór interferencyjny pojawia się, ponieważ elektron jest falą prawdopodobieństwa bez określonego położenia, dopóki nie zostanie zmierzony. Może więc przejść przez obie szczeliny i interferować sam ze sobą. To właśnie akt pomiaru powoduje kolaps funkcji falowej i zmusza cząstkę do pojawienia się w konkretnym miejscu.

W przeciwieństwie do interpretacji kopenhaskiej, opracowana w latach 50. XX wieku przez Hugh Everetta interpretacja wielu światów sugeruje, że funkcja falowa nigdy się nie załamuje. Obserwujemy



Podobnie jak zmarszczki na powierzchni wody, przechodząc przez dwie wąskie szczeliny funkcja falowa elektronów tworzy wzory interferencyjne. Źródło: Niayesh Afshordi



To, co detektor zarejestrowałby dla kwantowych (u góry) i klasycznych (na dole) elektronów przechodzących przez dwie szczeliny z poprzedniego rysunku. Źródło: Niayesh Afshordi

tylko jedną jej gałąź (czyli świat), ale wszystkie inne możliwe sposoby, na które Wszechświat może istnieć, na zawsze odcięte od naszego widoku, są nie mniej realne. Istnieje niezliczona ilość innych światów, które nieustannie oddzielają się od siebie. W tym ujęciu eksperyment z podwójną szczeliną jest wyjaśniony tym, że elektron przechodzi przez różne szczeliny w różnych światach, które znajdują się w stanie superpozycji i mogą na siebie wzajemnie oddziaływać. Te kwantowe światy są zasadniczo uważane za koncepcję bardzo odmienną od multiwersum wiecznej inflacji, chociaż teoretycy tacy jak Leonard Susskind, Raphael Bousso i Yasunori Nomura niedawno zasugerowali, że te dwie idee mogą być w istocie jednym i tym samym⁴.

Mimo różnic zdań większość fizyków kwantowych zgadza się, że świat jest w swojej istocie zbudowany z wyściełających cały Wszechświat pól, a cząstka to po prostu wzbudzenie pola w określonym obszarze przestrzeni. Mogą też istnieć cząstki, które (mówiąc w uproszczeniu) poruszają się wstecz w czasie — nazywamy je antycząstkami (jak na przykład pozyton, złowrogi bliźniak elektronu). Podobnie jak w fizyce kwantowej nie da się dokładnie określić położenia elektronu, może się okazać, że nie jesteśmy w stanie stwierdzić nawet, ile elektronów istnieje, ponieważ elektrony i pozytony nieustannie pojawiają się i znikają w próżni. Kwantowa teoria pola stanowi podstawę niemal całej współczesnej fizyki, ale gdy dodamy do niej grawitację, sprawy się komplikują. Można by próbować zastosować reguły kwantowej teorii pola do einsteinowskiej ogólnej teorii względności, ale szybko się okazuje, że przestaje to mieć sens dla procesów zachodzących w skali długości lub czasu Plancka. Czy jednak mogłoby istnieć jakieś uproszczone rozwiązanie, swego rodzaju kompromis między kwantowością a kosmologią, bez konieczności mierzenia się z problemem grawitacji kwantowej? Znalezienie takiego rozwiązania było zadaniem, jakie postawił przed sobą Hawking w latach 70. Będąc już uznanym autorytetem w dziedzinie kosmologii, postanowił raz jeszcze stanąć na czele rewolucji — ale zanim rzucił wyzwanie teorii Wielkiego Wybuchu, skierował uwagę na obiekty, które od początku go fascynowały: czarne dziury.

WSKAZÓWKA Z OTCHŁANI

Twierdzenia o osobliwościach kosmologicznych wywodzą się z badań Rogera Penrose’a nad czarnymi dziurami, które przeprowadził po powrocie z Princeton, gdzie współpracował z amerykańskim gigantem teorii względności, Johnem Wheelerem. Większość naukowców zna Wheelera głównie z jego słynnego, obszernego podręcznika pod tytułem *Gravitation*, napisanego wspólnie z byłymi studentami Charlesem Misnerem i Kipem Thorne’em, który w 2017 roku otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Często żartowaliśmy, że książka jest tak masywna, iż można wręcz poczuć siłę jej grawitacji. Wheeler jest niemal równie jak z własnych prac znany ze swojej niekończącej się listy genialnych studentów. Jednym z tych studentów, który miał odmienić bieg fizyki na zawsze, był Jacob Bekenstein, syn polskich Żydów, którym udało się uciec przed Holokaustem.

Wheeler poprosił Bekensteina, by zastanowił się, co by się stało, gdyby wlać zawartość filiżanki herbaty do czarnej dziury. Odpowiedź wydawała się oczywista: gdy napój i towarzyszące mu ciasteczka przekroczyłyby punkt bez powrotu, znany jako horyzont zdarzeń, zostałyby pochłonięte przez czarną dziurę i tyle by je widziano. Jednak każdy obiekt we Wszechświecie, włącznie z filiżanką herbaty, ma pewną entropię. Entropia jest, mówiąc w uproszczeniu, miarą nieuporządkowania (liczbą wszystkich możliwości mikroskopowych). Choć może się wydawać, że temperatura jest miarą tego, jak wysoka jest gorączka, fizycy rozumieją temperaturę jako tempo, w jakim wzrost nieuporządkowania (entropii) podnosi energię układu. To rozumienie nazywane jest pierwszą zasadą termodynamiki i sugeruje ścisły związek między entropią a temperaturą. Druga zasada termodynamiki stwierdza, że entropia prawie zawsze rośnie, ponieważ, jak wie każdy rodzic małego dziecka, zawsze jest więcej sposobów na zrobienie bałaganu niż na posprzątanie pokoju.

Wracając jednak z pokoju mojego syna do Kosmosu: Bekenstein zdał sobie sprawę, że gdyby obiekt zniknął z Wszechświata po wpadnięciu do czarnej dziury, jego entropia również by z Wszechświata zniknęła — co byłoby jawnym naruszeniem drugiej zasady termodynamiki. Czarne dziury są znane jako wyjątkowo osobliwe obiekty, ale

pomysł, że mogłyby naprawdę prowadzić do zagłady tak fundamentalnej zasady, nie przekonuje większości moich koleżanek i kolegów. Z perspektywy czasu spostrzeżenie Bekensteina było wyraźnym sygnałem, że na horyzoncie czekało ważne nowe odkrycie.

Bekenstein rozumował, że jeśli obiekt wpadnie do czarnej dziury, czarna dziura urośnie, a wraz z nią zwiększy się powierzchnia jej horyzontu zdarzeń. Opierał się na wcześniejszym odkryciu Hawkinga, które mówiło, że powierzchnia horyzontu zdarzeń może tylko rosnąć. To stwierdzenie brzmi niezwykle podobnie do twierdzenia, że zawsze rośnie entropia. Bekenstein argumentował, że powierzchnia horyzontu zdarzeń i entropia czarnej dziury muszą być tym samym. Entropia wpadającej filiżanki herbaty nie znika, lecz raczej zwiększa entropię czarnej dziury — druga zasada termodynamiki została uratowana. W 1973 roku Hawking, wraz z Brandonem Carterem i Jamesem Bardeenem, opublikował artykuł sugerujący coś przeciwnego⁵. Jeśli czarne dziury mają entropię — rozumowali — to muszą emitować ciepło, ponieważ w termodynamice ciepło jest związane ze zmianami entropii. Jednak z czarnej dziury nic, nawet światło, nie może uciec. Argumentowali więc, że czarne dziury po prostu nie mogą emitować ciepła.

W rzeczywistości to Bekenstein miał rację. Jak na ironię udowodnić to miał sam Hawking. Hawking zdał sobie sprawę, że gdy cząstki i antycząstki pojawiają się i znikają w próżni kwantowej (takie pary nazywane są cząstkami wirtualnymi) w pobliżu krawędzi horyzontu zdarzeń czarnej dziury, jedna może wpadnąć do środka, podczas gdy drugiej udaje się uciec. Cząstki, które uciekają, mogą prowadzić do emisji promieniowania przez czarną dziurę. Obliczenia Hawkinga wykazały, że to promieniowanie jest podobne do promieniowania emitowanego przez gorący pręt o określonej temperaturze. Tak więc czarne dziury rzeczywiście emitują ciepło, jak zaproponował Bekenstein, i tym samym podlegają prawom termodynamiki, tak jak wszystko inne we Wszechświecie. Dziś nazywamy tę emisję promieniowaniem Hawkinga, a wzór używany do obliczania entropii czarnej dziury — wzorem Bekensteina-Hawkinga. Zrozumienie znaczenia tej entropii pozostaje Świętym Graalem dla każdej próby stworzenia teorii grawitacji kwantowej. Na uroczystości z okazji swoich 60. urodzin Hawking stwierdził, że chciałby, aby ten wzór znalazł się na jego nagrobku. Co ciekawe, to wzór na

temperaturę czarnej dziury można znaleźć wyryty na nagrobku Hawkinga w Opatwie Westminsterskim, gdzie spoczywa obok innych gigantów odkryć naukowych, Isaaca Newtona i Charlesa Darwina. Od tych, którzy znali Hawkinga, słyszałem, że do końca nie wiadomo, czy to on zmienił zdanie, czy też ktoś dał plamę⁶.

Gdy Hawking odkrył, że wędrujące czarne dziury emitują promieniowanie, zdał sobie sprawę, iż będą powoli, niemal niezauważalnie się kurczyć, po czym nagle wybuchną i znikną w próżni. Hawking sugerował, że nie chodzi jedynie o kwantową furtkę pozwalającą drobnym cząstkom uciec z czarnej dziury, lecz o proces, który sprawi, że te gigantyczne obiekty ostatecznie przestaną istnieć. Była to myśl prawdziwie rewolucyjna, choć nie od razu przyjęta z entuzjazmem. Moderator pierwszego wystąpienia Hawkinga na ten temat powiedział: „Przykro mi, Stephen, ale to kompletna bzdura”. Nawet radzieccy fizycy Jakow Zeldowicz i Aleksiej Starobinski, na których pracach Hawking się opierał, mieli trudności, by w to uwierzyć⁷. Ale siła logiki Hawkinga okazała się bardziej niezaprzeczalna niż grawitacja obiektów, które opisywał. Wkrótce fizycy dostrzegli przełomową doniosłość jego odkrycia. Nie był to jedynie zaskakujący wynik — po raz pierwszy teoria łączyła mechanikę kwantową z teorią względności w analizie realnego obiektu fizycznego. Rezultaty okazały się głębokie, obalając dotychczasowe przekonania — coś, co do dziś pobrzmiewa w korytarzach wydziałów fizyki. Nadszedł czas to samo uczynić w odniesieniu do Wielkiego Wybuchu.

W latach 70. Hawking, we współpracy z Jamesem Hartle'em, ponownie wyprowadził wzór na entropię czarnej dziury, używając nowej metody zwanej całką po trajektoriach Feynmana, co było rozgrzewką przed ich ostateczną bitwą, jaką było zmierzenie się z Wielkim Wybuchem. Trzydzieści lat wcześniej Feynman (kolejny słynny student Johna Wheelera) zdał sobie sprawę, że aby stworzyć falowy wzór elektronów przechodzących przez dwie szczeliny, mógł modelować je, sumując po wszystkich możliwych ścieżkach prowadzących z punktu A do B. To mnóstwo ścieżek, w rzeczywistości liczba nieskończona. Ale fale mają grzbiety i doliny, a przy obliczaniu funkcji falowej większość tych grzbietów i dolin nawzajem się znosi. Ta anulacja pozwala fizykom uzyskać skończoną odpowiedź nawet z nieskończonej serii liczb. Technika całkowania po trajektoriach (dosłownie suma ścieżek) pozwala fizykom

obliczyć, które czynniki mają dominujący wkład w prawdopodobieństwa kwantowe, a dzięki tej wiedzy mogą dokonywać niezwykle precyzyjnych przewidywań dla eksperymentów, od widm atomów po podziemne wysokoenergetyczne zderzenia cząstek subatomowych w Wielkim Zderzaczu Hadronów.

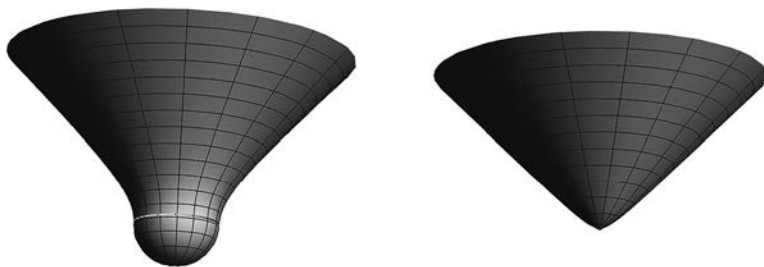
Metody te posługują się obco wyglądającą matematyką, która może wydawać się wręcz fantastyczna, lecz współcześni fizycy stosują ją z pełną swobodą. Weźmy pierwiastek kwadratowy z jedynki: jaka liczba pomnożona przez samą siebie daje 1? Istnieje nie jedna odpowiedź, lecz dwie: zarówno plus 1, jak i minus 1 podniesione do kwadratu dają plus 1. Nie istnieje jednak zwykła liczba, która pomnożona przez samą siebie dawałaby minus 1. Matematykom nie brak jednak inwencji, więc postanowili wymyślić nową liczbę, oznaczoną literą *i* — „urojoną” (ang. *imaginary*) — która podniesiona do kwadratu daje liczbę ujemną. Jako pierwszy tego przedziwnego pojęcia matematycznego użył Heron z Aleksandrii, żyjący w I wieku n.e. przedstawiciel szkoły atomistycznej i wynalazca wszelakich urządzeń (w tym pierwszego automatu sprzedającego). Prace Herona udoskonalił w XVI wieku Rafael Bombelli, który zasugerował, że liczby mogą mieć więcej niż jedną oś, jak wykres mający wysokość i szerokość, a nie tylko jednowymiarową oś liczbową, do której jesteśmy przyzwyczajeni. Ta koncepcja tworzy znacznie większą przestrzeń możliwych liczb — obszar ten nazywamy dziś płaszczyzną zespoloną. Co znamienne, matematycy odkryli, że umożliwia to wykonywanie obliczeń, których nie da się łatwo przeprowadzić, posługując się jedynie liczbami rzeczywistymi. Kartezjusz nie znosił tej idei i nazwał nowe liczby „urojonymi”, chcąc obrazić Bombellego. Jednak obelgi nierzadko stają się z czasem powodem do dumy, a naukowcy i inżynierowie korzystają dziś z liczb urojonych bez cienia wstydu. W mechanice kwantowej są wręcz niezbędne. Kartezjusz zapewne by tego nie pochwalał.

PROPOZYCJA WSZECHŚWIATA BEZ BRZEGÓW

Podejście Feynmana do obliczania kwantowej funkcji falowej za pomocą całek po trajektoriach wymaga starannego i żmudnego sumowania nieskończenie wielu liczb zespolonych. Fizycy stosują matematyczny skrót znany jako rotacja Wicka, gdzie zmienna czasowa opisywana jest przez liczbę urojoną, co ułatwia obliczanie nieskończonych sum. Gdy Hawking i Hartle zastosowali ten trik do czarnej dziury, odkryli coś niezwykłego: osobliwość w jej centrum po prostu zniknęła. Obszar o nieskończonej gęstości przestał istnieć, a zamiast niego pojawił się obszar kwantowy, gdzie nasz codzienny świat z trzema wymiarami przestrzennymi i jednym czasowym przekształca się w miejsce bez wymiaru czasowego, ale za to z czterema wymiarami przestrzeni. Wkrótce Hawking zaproponował, że analogicznie można usunąć osobliwość Wielkiego Wybuchu, co stało się znane jako model Hartle’a-Hawkinga lub propozycja Wszechświata bez brzegów.

W modelu Hartle’a-Hawkinga zamiast punktu osobliwości, w którym zbiegają się wszystkie promienie światła, pojawia się gładka powierzchnia — wyobraź sobie lotkę do badmintonu zamiast stożka. Na tej powierzchni nie da się wskazać żadnego punktu jako początku, ponieważ nie ma tam czasu, istnieje jedynie przestrzeń. Tak jak Ziemia nie urywa się nagle na biegunach, tak samo Wszechświat nie urywa się w chwili Wielkiego Wybuchu. W przeciwieństwie do twierdzeń o osobliwościach prawa fizyki nie załamują się w żadnym nagłym momencie; zgodnie z tą koncepcją mamy raczej do czynienia z łagodnym przejściem od świata czysto kwantowego, w którym czas w istocie nie istnieje. W miarę jak Kosmos rośnie, kwantowa przypadkowość słabnie, zaczynają się kształtować związki przyczynowo-skutkowe, a zegary zaczynają tykać — jednostki czasu przechodzą od urojeń do postaci realnych. Oto przedziwny świat propozycji Wszechświata bez brzegów.

Na konferencji w Watykanie w 1981 roku, gdzie Hawking przedstawił swój model, papież oznajmił uczestnikom, że mają prawo badać Wszechświat po Wielkim Wybuchu, ale nie wcześniej, gdyż to jest domeną



Gładka geometria czasoprzestrzeni przypominająca lotkę do badmintonu w propozycji Wszechświata bez brzegów (po lewej) kontrastuje z geometrią osobliwości Wielkiego Wybuchu z jej ostrym wierzchołkiem (po prawej). Przerwa w geometrii lotki reprezentuje przejście od kwantowej do klasycznej geometrii. Źródło: Niayesh Afshordi

Boga. Hawking się z nim nie zgodził, odpowiadając: „Propozycja Wszechświata bez brzegów to model fizycznych warunków panujących na samym początku. Opisuje, w jaki sposób nasze znajome pojęcia czasu i przestrzeni mogą wyłaniać się z kwantowego stanu Wszechświata. W propozycji Wszechświata bez brzegów te same prawa natury obowiązują na początku co wszędzie później. To eliminuje potrzebę inteligentnego stwórcy. Początkiem Wszechświata zarządzały prawa fizyki”⁸.

W 1983 roku Hawking i Hartle opublikowali swój pierwszy artykuł o kwantowych początkach Kosmosu, zatytułowany *Wave-Function of the Universe* („Funkcja falowa Wszechświata”) ⁹. Fizyków nie dziwi idea funkcji falowej opisującej jedną cząstkę (albo nawet kilka), lecz funkcja falowa całego Wszechświata — to już czyste szaleństwo. Były promotor Hartle’a, laureat Nagrody Nobla Murray Gell-Mann, zapytał: „Skoro znacie funkcję falową Wszechświata, to czemu nie jesteście bogaci?”, sugerując, że można by jej użyć do przewidywania wzrostów i spadków na rynkach. To podejście mogłoby tłumaczyć zapał Phila — byłego tradera — do rozmów z kosmologami kwantowymi, ale ku jego rozczarowaniu Hartle odparł, że zgodnie z propozycją Wszechświata bez brzegów szanse na wzrosty są zapewne pół na pół. Jednak bardziej palącą kwestią nie było to, czy można wykorzystać ten model, by zbić fortunę, ale raczej czy mógłby on pozwolić przewidzieć cechy Wszechświata obserwowane dziś przez astronomów. Zanim Hawking i Hartle mogli rozpocząć taki program badawczy, stanęli w obliczu ostrej

konkurencji ze strony innego kosmologa, który planował wykorzystać teorię kwantową do opisania pochodzenia Wszechświata.

TUNELOWANIE Z NICOŚCI

Alex Vilenkin urodził się w Ukrainie krótko po II wojnie światowej. Konflikt ten był niezwykle niszczycielski — zginęło w nim 7,5 miliona jego rodaków, a 1,5 miliona ukraińskich Żydów zostało zamordowanych przez nazistowskie SS. Gdy nastał pokój, warunki życia były bardzo trudne. Vilenkin wraz z rodziną mieszkał w jednym pokoju, dzieląc mieszkanie i toaletę z czterema innymi rodzinami. Jedyną wannę wykorzystywano do magazynowania wody.

W liceum Vilenkin wraz z przyjacielem rozwijali pasję do fizyki. Wtedy właśnie zakochał się w kosmologii. Ukończył studia jako najlepszy na roku i był gotowy rozpocząć pracę nad doktoratem, gdy brutalnie przeszkodził mu radziecki reżim. „Oznajmiono mi, że moja kandydatura nie została zatwierdzona przez władze w Kijowie” — wspominał. „Dowiedziałem się od osób mających dostęp do informacji, że zostałem wpisany na czarną listę KGB” — wyjaśniał, twierdząc, że był to odwet za odmowę współpracy z agencją jako informator.

Zamiast badać Wszechświat Vilenkin został wcielony do wojskowego batalionu budowlanego — w praktyce jednostki pracy przymusowej, składającej się głównie z zatwardziałych przestępców, którym władze nie ufały na tyle, by dać im do ręki broń. Mimo długich, wyczerpujących dni Vilenkin od czasu do czasu przekradał się do mesy oficerskiej, by popracować nad fizyką. Po odejściu z wojska miał się różnych zajęć: był nocnym stróżem, a potem strażnikiem w zoo w Charkowie.

W latach 70. Vilenkinowi udało się wreszcie wyemigrować do USA, gdzie ukończył studia doktoranckie. Będąc postdokim na Harvardzie, zaprosiłem go kiedyś na kolację po jego wykładzie w Centrum Astrofizyki. Opowiedział mi, że zawsze interesował się kosmologią, a gdy aplikował na studia doktoranckie, postanowił pojechać do Buffalo, by pracować z Rainerem Kurtem „Rayem” Sachsem — wybitnym kosmologiem, który w latach 60. przewidział fluktuacje kosmicznego promieniowania tła (później potwierdzone przez COBE). Okazało się jednak,

że profesor Sachs w Buffalo to zupełnie inna osoba — Mendel Sachs, fizyk materii skondensowanej. Vilenkin musiał więc poczekać z kosmologią, aż sam zostanie profesorem w Bostonie.

To właśnie wtedy dowiedział się o dziś już legendarnym komentarzu wygłoszonym podczas wykładu Sciama — tego samego, który był mentorem zarówno Penrose'a, jak i Hawkinga. Co znamienne, uwaga ta nie padła z ust prowadzącego, lecz z sali, od naukowca o nazwisku Edward Tryon. Vilenkin wspomina tę historię tak: „Kiedy prelegent zrobił przerwę, by zebrać myśli, Tryon po prostu wypalił, że może cały Wszechświat jest fluktuacją kwantową... Wszyscy wybuchnęli śmiechem, bo uznali to za dowcip, ale on mówił całkiem serio”.

Przypomnijmy, że zasada nieoznaczoności Heisenberga zakłada, iż wskutek fluktuacji cząstki pojawiają się i znikają. Jednak im większą masę mają takie wirtualne cząstki, tym krótszy ich żywot — zwykle trwa około miliardowej części trylionowej części sekundy. Wszechświat jest „nieco” większy niż pojedyncza cząstka, więc wydaje się niemożliwe, by mógł pojawić się jako fluktuacja kwantowa, nie znikając zaraz potem. Tryon zwrócił jednak uwagę, że skoro grawitacja ma energię ujemną, to dodatnia energia materii może ją równoważyć, co sugerowałoby, iż całkowita energia netto całego Wszechświata może wynosić zero. Jeśli tak, czas jego istnienia jako fluktuacji próżni byłby nieskończony. Co zdumiewające, spontaniczne powstanie Wszechświata nie naruszałoby żadnego z praw zachowania — prawdziwy darmowy obiad.

Idea równoważenia się dodatniej energii materii i ujemnej energii grawitacji nie była nowa i sięga wczesnych dni teorii kwantowej. Gdy pionier teorii Wielkiego Wybuchu George Gamow po raz pierwszy wspomniał o tym Einsteinowi, ten podobno nagle zatrzymał się na ulicy i o mało nie został potrącony przez auto (przypomnijmy, że mimo sprostowań Emmy Noether pojęcie zachowania energii w ogólnej teorii względności zawsze było zdradliwe). Ale choć ta idea prawie zabiła Einsteina, żaden z tych dwóch gigantów kosmologii nie odważył się na skok, który proponował Tryon.

Problem z modelem Tryona polegał na tym, że choć możliwe było powstanie dużego Wszechświata z fluktuacji, znacznie bardziej prawdopodobne wydawało się powstanie mniejszego. Początkowa

kwantowa porcja energii mogła być mikroskopijnych rozmiarów, ale Vilenkin zrozumiał, że inflacja mogła ją rozdmuchać do rozmiarów ogromnego Wszechświata, jaki obserwujemy dzisiaj. Nadal jednak zastanawiał się, skąd wzięła się początkowa porcja energii inflacyjnej. Jednak nawet subatomowej wielkości skrawek rozszerzającej się przestrzeni nie jest nicością. Vilenkin doznał olśnienia, prawdopodobnie jeszcze głębszego niż Tryon.

W 1982 roku Vilenkin zaproponował, że sama czasoprzestrzeń mogła spontanicznie pojawić się z fluktuacji ze stanu, w którym nie było ani przestrzeni, ani czasu — podobnie jak cząstki wyskakują z próżni¹⁰. Bardziej technicznie rzecz ujmując, zapytał, czy mikroskopijny Wszechświat, z góry skazany na zapadnięcie się pod własną grawitacją, mógłby jednak kwantowo „przetunelować” do załączka, który następnie uległby inflacji i rozrósłby się do rozmiarów naszego Kosmosu. Odpowiedź brzmiała: tak. Zastanowił się więc, jak mały mógłby być promień początkowy takiego załączka, i okazało się, że mógł wynosić dokładnie zero. A zatem Wszechświat narodził się dosłownie z nicości — przestrzeń i czas mogły po prostu wykiełkować jako kwantowa fluktuacja.

Można by zapytać, co właściwie wywołało samo zjawisko tunelowania, co było impulsem, od którego wszystko się zaczęło. Podobnie jak Lemaître wyobrażał sobie narodziny pierwotnego atomu jako rozpad radioaktywny, Vilenkin uważał, że Wszechświat narodził się jako proces kwantowy i jako taki nie wymagał przyczyny; przyczyna i skutek to pojęcia klasyczne, prawdopodobnie nieobecne w świecie kwantowym (więcej na ten temat w rozdziale 10.). To ujęcie pozwala zrozumieć, dlaczego Einstein w ogóle nie brał takiej możliwości pod uwagę. „Bóg nie gra w kości ze Wszechświatem” — powiedział, na co Bohr odrzekł: „Przestań mówić Bogu, co ma robić!”.

Wszechświat spontanicznie wyłaniający się z nicości, bez jakiegokolwiek przyczyny, sprawiał, że nawet model Tyrona wydawał się podejściem konserwatywnym. Można by więc się spodziewać, że pomysł Vilenkina spotka się z podobnymi szyderstwami. Tymczasem w dekadzie, jaka upłynęła od chwili, gdy Tyrona uciszono salwą śmiechu, wiele się zmieniło. Teoria inflacji przekonała fizyków, że rozważanie warunków początkowych Wszechświata nie jest już absurdem. Jak

wspominał Vilenkin w rozmowie z Philem, jego wystąpienie przyjęto zupełnie inaczej: „Po wykładzie podszedł do mnie Lawrence Krauss i powiedział, że to niesłychane — wygłosić taki referat i wyjść z tego cało”.

Pierwszą dyskusję na temat tej idei Vilenkin odbył z Malcolmem Perrym — dawnym doktorantem Hawkinga i jedną z gwiazd filmu Netfliksa *The Edge of All We Know*. Po godzinie spędzonej przy tablicy Perry był tak poruszony, że dziwił się, iż sam na to nie wpadł. „Czy można sobie wyobrazić lepszy komplement ze strony innego fizyka?” — zapytał Vilenkin.

Reakcja nie zawsze była tak pozytywna. W 2012 roku, gdy Krauss opublikował swoją książkę *Wszechświat z niczego*, promującą modele Vilenkina, Hartle’a i Hawkinga, wybuchł konflikt¹¹. David Albert, filozof fizyki, napisał w recenzji dla „New York Timesa”, że Krauss „ma w ręku dobry argument — a przynajmniej tak mu się wydaje — że prawa relatywistycznych kwantowych teorii pola pociągają za sobą niestabilność stanów próżni. I to właśnie, w skrócie, jest odpowiedzią, którą proponuje na pytanie, dlaczego istnieje coś zamiast niczego... Fakt, że niektóre układy pól odpowiadają istnieniu cząstek, a inne nie, nie jest ani trochę bardziej tajemniczy niż to, że niektóre ułożenia moich palców tworzą pięść, a inne nie. A to, że cząstki mogą pojawiać się i znikać w czasie, gdy pola się przekształcają, nie jest ani odrobinę bardziej zagadkowe niż fakt, że pięści mogą się pojawiać i znikać, gdy moje palce zmieniają pozycję. I żaden z tych nagłych »wykwitów« — jeśli przyjrzeć im się z bliska — nie stanowi nawet odległego odpowiednika prawdziwego stworzenia z nicości”¹².

Nie sądzę, żeby krytyka Alberta była słuszna. Nicość geometrii kwantowej to nie to samo co nicość cząstek kwantowych. Te drugie rzeczywiście pojawiają się i znikają z próżni — to prawda. Ale jeśli przestrzeń jest kwantowa i pojawia się, to nie z próżni, lecz ze stanu bez klasycznej przestrzeni czy obiektów materialnych, jakie znamy. To rzeczywiście przypadek Wszechświata z niczego. No, prawie. Nie ma obiektów materialnych, ale są prawa fizyki — a skąd one się wzięły, tego model Vilenkina nie wyjaśnia. Musimy założyć, że w jakiś sposób istniały, nawet gdy jeszcze nie było Wszechświata. Trudno to sobie wyobrazić, jeśli zakładamy, że prawa fizyki są opisem zasad panujących we Wszechświecie. Ale może są czymś więcej? Szczerze mówiąc, nie sądzę, żeby

ktokolwiek mógł z całą pewnością stwierdzić, jaka jest prawdziwa natura praw fizyki. Kiedy Phil przedstawił tę wątpliwość Vilenkinowi, ten odparł: „Wydaje mi się, że prawa mogą istnieć w sposób platoński”.

Wielu greckich filozofów uważało, że istnieje jakaś pierwotna substancja, z której powstał Wszechświat: dla Talesa była to woda, dla Anaksymandra apeiron, dla Anaksymenesa powietrze, a dla teistów Bóg. Radykalna propozycja Vilenkina zakładała, że tą pierwotną substancją nie było nic z powyższych. Były to natomiast prawa fizyki, które — jak twierdził — są wszystkim, czego potrzeba, by powołać wszechświat do istnienia.

Gdy kwantowe stworzenie Wszechświata badano z dwóch różnych stron, rywale szybko zaczęli debatować nad swoimi propozycjami. Vilenkin wspomina: „Rozmawiałem ze Stephenem i wspomniałem coś o mojej funkcji falowej, na co on odparł: »Ty nie masz funkcji falowej«”. Porównując Hawkinga do wyroczni delfickiej — ze względu na jego krótkie, przenikliwe stwierdzenia, nad którymi trzeba się zastanowić, by je zrozumieć — Vilenkin kontynuował: „Od razu zrozumiałem, co miał na myśli. W zasadzie wtedy pracowałem nad funkcją falową tylko dla prostego modelu minisuperprzestrzeni... nie dla ogólnego przypadku... Spędziłem całą noc, redagując swój wykład”.

Model minisuperprzestrzeni to taki, w którym ewolucja Wszechświata opisana jest jedną liczbą — jego promieniem. Vilenkin opisał reakcję Hawkinga po wykładzie: „Myślałem, że teraz zniszczy mnie jakąś krytyką... a on zaprosił mnie na kolację... Jego matka przygotowała posiłek, a my dyskutowaliśmy o tunelach czasoprzestrzennych. To był bardzo miły wieczór”.

Miałem podobne doświadczenie jak Vilenkin, gdy opisywałem Hawkingowi jeden ze swoich modeli. Po dosłownie 15 minutach oczekiwania na jego odpowiedź jego asystent poinformował mnie, że Hawking przypadkowo ją skasował. Czekałem więc kolejne 15 minut, by usłyszeć: „To jest strasznie brzydkie!”. Podobnie jak Vilenkin, nie musiałem się zbytnio wysilać, by zrozumieć, co Hawking miał na myśli.

KOSMOLOGIA KWANTOWA A RZECZYWISTOŚĆ

Jednym z problemów, jakie mam z przyswojeniem koncepcji braku brzegów, jest to, że klasyczny Wszechświat zaczyna się od maksymalnego początkowego rozmiaru i minimalnej gęstości energii. Propozycja tunelowania inicjuje Wszechświat z minimalnym rozmiarem i maksymalną energią, co wydaje się bardziej zgodne z inflacyjnym początkiem. Ale uczciwie mówiąc, Wszechświat nie dba o to, co wydaje mi się intuicyjne. Jeśli dowody wskazują, że zaczął się w takim stanie, to tak musi być. Jednak ponieważ oba modele prowadzą do wiecznej inflacji, wszelkie ślady tych początkowych zdarzeń prawdopodobnie pozostaną zatarte. Vilenkin przyznaje, że nikt nie znalazł sposobu na przetestowanie tego w oparciu o dane, i moim zdaniem to właśnie brak możliwości weryfikacji jest tu prawdziwym problemem. Niemniej oba modele mają coś do powiedzenia na temat samego kształtu Kosmosu.

W tych wczesnych modelach kosmologii kwantowej Wszechświat jest zamknięty, niczym sfera — taka geometria pozwala zrównoważyć jego ujemną i dodatnią energię. Jednak po wystarczająco długiej inflacji Wszechświat musiałby wydawać się płaski — i dlatego trudno mieć nadzieję na potwierdzenie jego zamkniętej natury. Hawking i Hartle zaczęli więc szkolić kilku doktorantów, by rozwinąć propozycję Wszechświata bez brzegów i znaleźć inny sposób na skonfrontowanie jej z rzeczywistością. Jednym z tych studentów był Jonathan Halliwell, którego do zajęcia się fizyką zainspirował program popularnonaukowy. „Wtedy po raz pierwszy zobaczyłem Stephena Hawkinga w telewizji” — mówi Halliwell. „Taki niesamowity człowiek na wózku, trochę jak mędrzec... I ma w głowie całą tę niewiarygodną matematykę”.

Wkrótce Halliwell podszedł do słynącego jako wymagający egzaminu Tripos w Cambridge, który testuje studentów z nauk ścisłych i matematyki; poradził sobie na tyle dobrze, że mógł wybrać dowolnego opiekuna — a co do tego, kogo wybierze, nie miał żadnych wątpliwości. Studenci Hawkinga pomagali mu w codziennych czynnościach, co dawało im więcej okazji do rozmów z nim. Halliwell opisuje go jako charyzmatycznego: „Był niesamowicie zabawny, zuchwały, bezpośredni i bezkompromisowy. [...] Mówił: »Przyjrzyj się tym szacunkom«.

Wracalem dwa tygodnie później i mówiłem: »O, to naprawdę interesujące«. A on na to: »Już w nie nie wierzę«. I tak bez końca. [...] Część obliczeń była po prostu błędna, część niezbyt dobra, ale wiele z nich było dowodem na jego wielki geniusz”.

Aby propozycja Wszechświata bez brzegów miała szansę stać się modelem realistycznym, musiała odtworzyć warunki, które według kosmologów panowały we wczesnym Wszechświecie. Początkowo Hawking i Hartle wykazali, że propozycja może działać w wyobrażonej minisuperprzestrzeni wspomnianej wcześniej przez Vilenkina, jednak potem Halliwell został poproszony o złagodzenie upraszczających założeń. Odkrył, że ten ogólny przypadek rzeczywiście tworzy warunki, które kosmologowie wyobrażali sobie jako początek inflacji, ze wszystkimi polami w ich kwantowych stanach podstawowych lub najniższej energii. Gdyby to się potwierdziło, wniosek Halliwella byłby wielkim triumfem modelu i kolejnym imponującym osiągnięciem propozycji Wszechświata bez brzegów. W standardowej fizyce często dzielimy nasze modelowanie na ustalanie warunków początkowych systemu i określanie rządzącej nim dynamiki. Wyobraźmy sobie pozycję zestawu bil na stole bilardowym na początku gry. To są warunki początkowe. Dynamika to prawa ruchu opisujące, co się dzieje, gdy w bile uderza się kijem. W propozycji Wszechświata bez brzegów warunki początkowe i dynamika są zjednoczone w jednym równaniu. Nic dziwnego, że ludzie nazywają Hawkinga geniuszem. Ale nie wszystko się tu zgadzało. Model przewidywał zbyt małą inflację, a żeby w ogóle zadziałał, badacze musieli zastosować dość, powiedzmy, innowacyjne podejście do teorii prawdopodobieństwa, gdzie zamiast po prostu obliczać, co przewiduje teoria, oblicza się, co przewiduje teoria, zakładając, że istnieje (przypomnijmy zasadę antropiczną z rozdziału 2.). To podejście z pewnością daje do myślenia, a wielu innych uważa je za poważną wadę propozycji, podobną do problemu miary, który, jak widzieliśmy w poprzednim rozdziale, prześladowuje kosmologię inflacyjną.

WSZECHŚWIAT BEZ BRZEGÓW W NOWEJ ODSŁONIE

W funkcji falowej tunelowania Vilenkina Wszechświat ma jednoznaczny początek. Jednak w modelu Hartle’a-Hawkinga sprawa nie wygląda tak prosto. W swojej napisanej wspólnie z Leonardem Mlodinowem książce pod tytułem *Wielki projekt* Hawking stwierdził: „Ponieważ istnieje prawo takie jak grawitacja, Wszechświat może i będzie tworzył się z niczego. Spontaniczne stworzenie jest powodem, dla którego istnieje coś zamiast niczego, dla którego istnieje Wszechświat, dla którego istniejemy my”. Jednak gdy Phil zapytał Jamesa Hartle’a, czy podziela ten pogląd, współpracownik Hawkinga odpowiedział: „Co rozumiesz przez *nic*? W mechanice kwantowej zawsze jest coś”. Jeśli dwóch autorów modelu nie zgadza się co do interpretacji *nicości*, to z pewnością i my powinniśmy zachować ostrożność. Czy mamy naprawdę do czynienia z Wszechświatem z niczego, czy nie? Według mojej wiedzy większość fizyków uważa, że geometria czasoprzestrzeni ma fundamentalnie kwantową naturę. Niektórych stanów tej geometrii nie da się opisać w sposób klasyczny, ponieważ nie przypominają niczego z naszego codziennego doświadczenia. Gdyby klasyczny Wszechświat wyłonił się z tej dziwacznej krainy, można by nazwać go Wszechświatem z niczego lub z czegoś. Ostatecznie nie ma znaczenia, jak go nazwiemy. Chcielibyśmy jednak wiedzieć, czy Wszechświat miał początek, a odpowiedź na to pytanie może zależeć od tego, jak myślimy o tych dziwnych liczbach urojonych, o których mówiliśmy wcześniej w tym rozdziale.

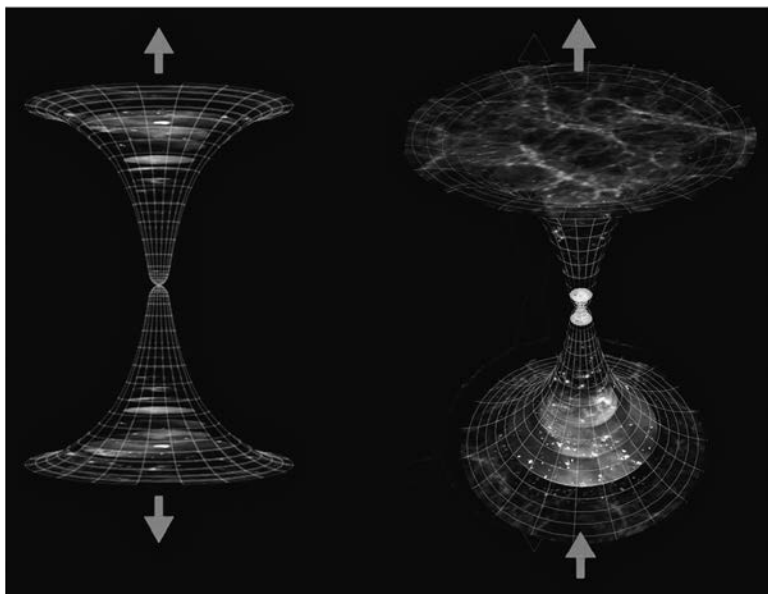
Podobnie jak wprowadzenie liczb urojonych doprowadziło do przestrzeni liczbowej z dwiema osiami, tak wprowadzenie czasu urojonego można postrzegać jako nadanie Wszechświatowi dwóch wymiarów czasu — jednego urojonego i jednego rzeczywistego. Niewielu ludzi zdaje sobie sprawę, że Wszechświat bez brzegu ma początek wyłącznie w czasie urojonym.

Ale czym jest czas urojony? Jak każdy, fizycy lubią skróty, a w mechanice kwantowej czas urojony jest jednym z tych skrótów, których używamy do opisywania skomplikowanych procesów. Przykładowo: przypomnijmy, że protony mogą przenikać przez nieprzenikalne bariery dzięki tunelowaniu kwantowemu, co sprawia, iż Słońce świeci. Można

to postrzegać jako wykorzystywanie skrótów w czasie urojonym. Podczas gdy klasyczny opis zdarzeń działa w czasie rzeczywistym, do kwantowego przetunelowania z jednego wydarzenia w czasie rzeczywistym do innego można użyć czasu urojonego. Hartle i Hawking użyli czasu urojonego w swojej początkowej pracy, aby uniknąć osobiowości wewnątrz czarnej dziury, i zastosowali ten sam trik, aby uniknąć jej w propozycji Wszechświata bez brzegów.

Jednak opowieść Hartle’a i Hawkinga, przedstawiona w czasie rzeczywistym, opisuje Wszechświat przechodzący przez fazę kurczenia, a następnie odbicia prowadzącego do ekspansji. W efekcie Aron Wall, były współpracownik Hartle’a, napisał, że ci, którzy twierdzą, iż w propozycji Wszechświat ma początek, kłamią. W swoim wpisie na blogu dodał: „No dobrze, może nie kłamią, tylko upraszczają. Jestem pewien, że ich intencje są czyste jak łąza, co nie zmienia wyobrażenia ich czytelników. [...] W modelu Hartle’a-Hawkinga tak naprawdę nie ma początku!”¹³. Skonfrontowany, inny bliski współpracownik Hawkinga, Thomas Hertog, odpowiedział, że choć model pokazuje odbicie na osi czasu rzeczywistego, to strzałka czasu wskazuje przeciwny kierunek — oddalając się od odbicia, ponieważ w środku znajduje się punkt o minimalnej entropii, wynikający ze stanu podstawowego narzuconego przez model. Ci, którzy by się znajdowali w kurczącej się gałęzi Wszechświata, widzieliby odbicie w swojej przeszłości, tak jak my; czas w obu gałęziach płynie naprzód, zachowuje się jak pojedynkujący się szermierze, którzy oddalają się od siebie, każdy przekonany, że maszeruje naprzód, z dala od własnego Wielkiego Wybuchu. Julian Barbour, który uprawia fizykę i filozofię ze swojego domu na angielskiej wsi, nazywa takie modele Wszechświatem Janusa — od rzymskiego boga przejść, przedstawianego z dwiema twarzami: jedną zwróconą ku przeszłości, drugą ku przyszłości¹⁴.

Osobiście uważam, że te opisy w czasie rzeczywistym są nieco mylące i odbiegają od tego, co mówi mechanika kwantowa. Wyobraźmy sobie na przykład film przedstawiający niestabilne jądro rozpadające się na dwa mniejsze jądra (jak to się dzieje podczas detonacji bomby atomowej). Teraz odtwórzmy ten film wstecz grupie fizyków. Zobaczyliby oni dwa naładowane dodatnio jądra zbliżające się do siebie i naturalnie oczekiwaliby, że spowodowane odpychaniem elektrycznym,



Dwie wizje Wszechświata, ze strzałkami przedstawiającymi kierunek upływu czasu. We Wszechświecie Janusa (po lewej) strzałka czasu odwraca się, a obserwatorzy po obu stronach widzą swoją czasoprzestrzeń jako rozszerzającą się. W scenariuszu Wielkiego Odbicia (po prawej) strzałka czasu zawsze biegnie w tym samym kierunku, więc obserwatorzy w dolnej połowie widzą swój Wszechświat jako kurczący się. Źródło: Phil Halper i Nick Franco, 1185 Films

odbijają się od siebie. Ty jednak wiesz lepiej — te dwa jądra tak naprawdę nie istniały na początku filmu. Istnieje proste klasyczne wyjaśnienie odbicia, ale kwantowy obraz Wszechświata może być bardziej złożony i dopuszczać zarówno odbicie, jak i powstanie z niczego. Nie widzieliśmy początku filmu Wielkiego Wybuchu, więc choć scenariusz odbicia wydaje się prawdopodobny (i omówimy go w dalszej części książki), równie możliwy jest scenariusz stworzenia się z niczego (czyli z czegoś, co nie przypomina niczego, co znamy).

Prawdziwą piętą achillesową kosmologii kwantowej jest jednak pytanie, czy obraz idealnie jednorodnego, rozszerzającego się (lub kurczącego się) balonu wiernie oddaje złożoność naszego Kosmosu u jego zarania. Na ten temat mają coś do powiedzenia moi koledzy z Perimeter Institute, Neil Turok i Jean-Luc Lehnars.

ROZSADZANIE KWANTOWEGO WSZECHŚWIATA

W propozycji Wszechświata bez brzegów, aby ustalić jego najbardziej prawdopodobną historię, trzeba zsumować wszystkie możliwe historie, podobnie jak interferujące fale — niektóre wzmacniają się nawzajem, a inne znoszą. Niekończący się strumień konstruktywnej i destruktywnej interferencji jest matematycznie równoważny bytowi, który w nieskończoność oscyluje. Nic dziwnego, że fizycy mają trudności z obliczeniami w takim reżimie. Jednak używając techniki matematycznej zwanej teorią Picarda-Lefschetza, Turok i Lehnery wynaleźli swego rodzaju słownik, dzięki któremu można przetłumaczyć te oscylacje na przestrzeń, gdzie wszystko jest skończone i można znaleźć precyzyjne rozwiązania.

Lehnery i Turok, wraz z doktorantem Jobem Feldbrugge, zdali sobie sprawę, że to podejście można wykorzystać do analizy przewidywań kosmologii kwantowych dotyczących ewolucji Wszechświata. Odkryli, że Wszechświat nie ewoluowałby ze swojego bezczasowego początku w nasz gładki, jednorodny Kosmos, lecz początkowe zaburzenia rozewrywałyby go na strzępy¹⁵. Co gorsza, stwierdzili, że ich wyniki mają zastosowanie również do propozycji Vilenkina.

Przez ostatnie dwie dekady Turok opowiadał się za poglądem, że Wszechświat jest nieskończony w obu kierunkach czasu, i wygrał zakład z Hawkingiem (przeciwko inflacji), iż sonda Planck nie znajdzie pierwotnych fal grawitacyjnych (i nie znalazła). Jeśli założenia tego nowego podejścia byłyby słuszne, mogłyby to być dowód na brak początku, a Turok po raz kolejny wyrzywałby słynnemu byłemu koledze z Cambridge zwycięstwo z rąk.

Jednak zwolennicy propozycji Wszechświata bez brzegów nie byli pod wrażeniem tego najnowszego wyzwania. Celem kosmologii kwantowej jest traktowanie Wszechświata w sposób kwantowy i znalezienie funkcji falowej dla całej czasoprzestrzeni. Tymczasem Halliwell narzekał, że oni nigdy nie obliczyli funkcji falowej — zamiast niej wyliczyli coś, co nosi nazwę funkcji Greena, narzędzie służące do porównywania dwóch różnych funkcji falowych i opisywania, jak Wszechświat ewoluuje. Ponieważ — jak mówi Halliwell — funkcja Greena wygląda

jak funkcja falowa, potraktowali ją tak, jakby nią była — i Wszechświat rozerwał się na strzępy.

„Szczerze mówiąc, było to niezwykle frustrujące — powiedział Halliwell — ponieważ połączyli oni szereg wątpliwych stwierdzeń i doszli do wniosku, że propozycja Wszechświata bez brzegów nie przewiduje wszystkiego, co chcieliśmy przewidzieć. Przedstawiali tę pracę tak, jakby znaleźli w modelu ogromną wadę. Więc ja i Jim Hartle zaczęliśmy pisać artykuły, aby obalić te argumenty, ale w końcu po prostu nie mogliśmy się z nimi [Turokiem i współpracownikami] w niczym zgodzić”.

Innymi słowy, nie mogli się zgodzić co do podstawowej definicji propozycji Wszechświata bez brzegów. Cytując byłego prezydenta USA Billa Clintona: „To zależy, jak rozumieć słowo »jest«”. Takie zamieszanie jest poniekąd nieuniknione, ponieważ propozycja Wszechświata bez brzegów nie została opisana precyzyjnie — to raczej szkic pewnej idei niż w pełni rozwinięta teoria. Istnieją jednak powody, by traktować ją poważnie. Nawet Lehnery przyznaje, że ma wiele atrakcyjnych cech — zwłaszcza warunek, by Wszechświat wyłonił się ze stanu podstawowego mechaniki kwantowej, czyli punktu o minimalnej entropii, który, jak sądzą kosmologowie, mógł poprzedzać inflację. Jednak nawet ten mocny argument pozostaje daleki od uczynienia z niej rygorystycznie sformułowanego modelu kosmologicznego.

Gdy uczestnicy próbują ustalić precyzyjne definicje, debaty kosmologiczne czasami się zaostwiają. W rozmowie z Philem Halliwell nazwał Turoka „superinteligentnym” i „absolutnie czarującym”. Mimo to opisał go jako „podżegacza”, który uwielbia kwestionować ortodoksyjne idee. Halliwell dodał, że debata była „czymś pomiędzy rozprawą sądową a siłowaniem się na rękę. Muszę przyznać, że czasami było to ogromnie przyjemne, ale nie dało się też uniknąć napadów frustracji”.

Niezgoda co do definicji propozycji Wszechświata bez brzegów skutkowałą napisaniem przez Hartle’a i Hertoga manifestu, w którym wyjaśnili, co ich zdaniem powinna ona oznaczać. Utrzymywali mianowicie, że Wszechświat powinien wyłonić się ze stanu, w którym czas nie istnieje¹⁶. Ale kosmolog nie da się po prostu zmusić do zaakceptowania tej definicji. Weźmy Lehnery, który opisał Turoka jako doskonałego współpracownika, mającego „sto pomysłów dziennie”.

Wspominając tę współpracę w rozmowie z Philem, powiedział: „Pokazaliśmy, że nie jest tak łatwo stworzyć precyzyjną definicję, która faktycznie działa”.

Według krytyków definicja, której należy użyć, prowadzi do dziwnych, szalonych zakłóceń. Jak ujął to Lehnerts: „Myślałem, że to będzie sposób na uczynienie jej znacznie bardziej precyzyjną, znacznie bardziej solidną, a potem ku mojemu zaskoczeniu to nie zadziałało i byłem dość zszokowany”.

Jak na ironię, Hartle i Hawking twierdzili, że propozycja tunelowania Vilenkina również prowadzi do niestabilnej próżni. Vilenkin jednak, współpracując ze swoim postdokim Masakim Yamadą, dowodził niedawno, że wcale nie musi tak być¹⁷. To konkretne twierdzenie Vilenkina jest, przynajmniej teraz, akceptowane przez zwolenników propozycji Wszechświata bez brzegów. Zastanawiałem się, czy inni również dadzą się przekonać, że obie propozycje mogą prowadzić do gładkiego Wszechświata. Ku mojemu ogromnemu zaskoczeniu Lehnerts ogłosił w 2019 roku, że wspólnie ze swoją doktorantką Alice Di Tucci znaleźli sposób, który może zadziałać¹⁸.

Przypomnijmy, że w mechanice kwantowej istnieje fundamentalna relacja nieoznaczoności między położeniem elektronu a jego pędem. Jeśli przeniesiemy to pojęcie na grunt kosmologii, położenie byłoby analogiczne do rozmiaru Wszechświata, a pęd — do jego tempa ekspansji. Warto pamiętać, że taka nieoznaczoność nie dotyczy wyłącznie naszej wiedzy, lecz stanowi cechę samej rzeczywistości. Jeśli więc Wszechświat zaczynałby od zera pod względem rozmiaru, miałby nieograniczoną nieoznaczoność tempa ekspansji. Ale dlaczego nie odwrócić tej perspektywy: ustalić tempo ekspansji, a maksymalnie „rozmyć” początkowy rozmiar Wszechświata? Taki warunek prowadzi do odmiennego sformułowania propozycji Wszechświata bez brzegów, które jednak zachowuje jej zasadnicze konsekwencje: najbardziej prawdopodobnym rozmiarem początkowego Wszechświata okazuje się ponownie zero.

Czy ta nowa propozycja zdoła wyeliminować niestabilności pierwotnej wersji, dopiero się okaże. Takie dyskusje i przepychanki to naturalny element uprawiania nauki — bawimy się ideami i sprawdzamy, dokąd nas zaprowadzą. Zarówno propozycja tunelowania

z niczego, jak i koncepcja braku brzegów stanowią imponujące, pionierskie próby stworzenia kosmologii kwantowej. Sama myśl, że Wszechświat mógł wyłonić się z niczego, robi wrażenie. Trzeba jednak uczciwie przyznać, że na razie nie wiemy, czy to w ogóle możliwe. Jedną z największych obaw budzi trudność weryfikacji tych modeli za pomocą eksperymentów — na dziś taka perspektywa wydaje się poza naszym zasięgiem. Jednak w miarę jak zwolennicy i krytycy będą je analizować i dopracowywać, może uda się znaleźć sposób na przeprowadzenie takich testów. Mimo to istnieje obawa jeszcze głębsza.

Omawiane w tym rozdziale modele uważa się za półklasyczne. Innymi słowy, łączą elementy mechaniki kwantowej z grawitacją Einsteina w niełatwym sojuszu. Jak już wspomniałem, te dwie fundamentalne teorie Wszechświata pozostają ze sobą w niezgodzie. Na ogół nie stanowi to jednak problemu: fizycy stosują mechanikę kwantową do opisu świata subatomowego, a ogólną teorię względności do badania największych kosmicznych struktur. Jednak w momencie gdy cały obserwowalny Wszechświat jest mniejszy niż atom, obie perspektywy stają się równie ważne. Taki scenariusz — jak wcześniej zauważyliśmy — wymaga zupełnie nowej teorii, która połączy oba paradygmaty w jeden: teorię grawitacji kwantowej. Na początku lat 80., kiedy sformułowano propozycję Wszechświata bez brzegów i funkcję tunelowania, żaden z głównych kandydatów, takich jak teoria strun (rozdział 4.) czy pętlowa grawitacja kwantowa (rozdział 5.), nie był jeszcze opracowany. I choć nie wiemy, czy tamte propozycje są trafne, naukowcy zbudowali już modele Wielkiego Wybuchu korzystające z intuicji, które płyną z tych teorii. Jak się zaraz przekonamy, w wielu takich scenariuszach Wszechświat nie wyłania się z punktu zerowej wielkości, lecz z czegoś znacznie bardziej dziwnego.

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

- 
1. ZAREJESTRUJ SIĘ
 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion 

Doskonała
Steven Poole,
Wall Street Journal

**Książka, która poszerzy
horyzonty czytelników**
Publishers Weekly

**Imponująco szeroka
i otwarta perspektywa**
Roger Penrose,
laureat Nagrody Nobla

Nowe idee na temat początku czasu, przestrzeni i materii

Wszechświat naprawdę narodził się w jednym, gwałtownym momencie 13,8 miliarda lat temu — przynajmniej tak mówi teoria Wielkiego Wybuchu. A co, jeśli ta historia nie jest taka prosta, jak się wydaje? Jeżeli to dopiero początek... nowych pytań?

Astrofizyk Niayesh Afshordi i popularyzator nauki Phil Halper zabiorą Cię w sam środek współczesnej kosmologii, w której nic nie jest przesądzone. Autorzy przedstawiają najśmielsze próby przekroczenia klasycznego scenariusza Wielkiego Wybuchu: wszechświaty odbijające się i cykliczne, pętle czasu, narodziny kosmosu w czarnych dziurach, a nawet holograficzne wizje rzeczywistości.

To nie jest zwykły przegląd teorii. W książce znajdziesz wywiady z najwybitniejszymi fizykami naszych czasów — w tym ze Stephenem Hawkingiem, z Rogerem Penrose'em i Alanem Guthem. Dzięki nim poznasz nie tylko same hipotezy, które jeszcze niedawno brzmiały jak fantastyka, lecz także tworzących je ludzi: ich emocje, wątpliwości, spory i pasję.

BITWA O WIELKI WYBUCH to fascynująca opowieść o tym, jak naukowcy próbują odpowiedzieć na najważniejsze pytania: czy Wszechświat miał początek, czy będzie trwał wiecznie, czy jest jedyny, czy przeciwnie — jest jednym z wielu. To książka, która pokazuje, że poznawanie kosmosu może być prawdziwą przygodą — pełną odwagi, pytań i zachwytu nad tajemnicami wszechrzeczy.

Niayesh Afshordi — wybitny kosmolog z Perimeter Institute for Theoretical Physics w Kanadzie. Jest specjalistą w dziedzinie grawitacji kwantowej i wczesnego Wszechświata.

Phil Halper — popularyzator nauki, twórca kanału na YouTube **Before the Big Bang**. Przeprowadził wywiady z czołowymi astrofizykami świata.

Helion 

ISBN 978-83-289-3540-2



9 788328 935402

cena: 69,00 zł