

Czy jest coś bardziej tajemniczego i intrygującego niż czarne dziury?  
Cox i Forshaw zabierają nas w podróż poza granice wyobraźni

DR TOMASZ ROŻEK, NAUKA. TO LUBIĘ

# CZARNE



# DZIURY

KLUCZ DO ZROZUMIENIA

WSZECHŚWIATA

Brian COX | Jeff FORSHAW

Wydawnictwo  
Naukowe  
**Helion**

Tytuł oryginału: *Black Holes: The Key to Understanding the Universe*

Tłumaczenie z języka angielskiego: Tomasz Lanczewski  
Adiustacja i korekta: Artur Figarski  
Projekt składu i skład: Artur Figarski  
Zdjęcie na okładce: istockphoto.com

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek 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.

Redaktor prowadzący: Jacek Włodarczyk Book Marketing Research Sp. z o.o.

Helion S.A.  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice  
tel. 32 230 98 63  
e-mail: redakcja@helion.pl  
www: <https://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!  
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres  
<https://helion.pl/user/opinie/czadzi>  
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Wydanie I, 2024

ISBN 978-83-289-0237-4

First published by HarperCollins Publishers Ltd under the title *Black Holes*  
Text © Brian Cox and Jeff Forshaw 2022  
Images © HarperCollinsPublishers 2022 unless otherwise indicated in Picture Credits  
Illustrations by Martin Brown and Jack Jewell  
Translation © Helion S.A. 2023  
Brian Cox and Jeff Forshaw assert their moral right to be identified as the authors of this work.

Polish edition copyright © 2024 by Helion S.A.

Printed in Poland.

## SPIS TREŚCI

1. Krótka historia czarnych dziur . . . . .	7
2. Połączenie przestrzeni i czasu . . . . .	33
3. Sprowadzenie nieskończoności do skończonego miejsca .62	
4. Zakrzywienie czasoprzestrzeni . . . . .	96
5. Podróż do wnętrza czarnej dziury . . . . .	123
6. Białe dziury i tunele czasoprzestrzenne . . . . .	141
7. Kraina czarów Kerra . . . . .	164
8. Prawdziwe czarne dziury powstające z zapadających się gwiazd . . . . .	185
9. Termodynamika czarnej dziury . . . . .	201
10. Promieniowanie Hawkinga . . . . .	229
11. Spaghettizacja i wyparowanie . . . . .	241
12. Dźwięk jednej klaszczącej dłoni . . . . .	254
13. Świat jako hologram . . . . .	275
14. Wyspy w strumieniu . . . . .	292
15. Kod doskonały . . . . .	309
Podziękowania . . . . .	321
Przypisy . . . . .	323
Źródła ilustracji . . . . .	329
Indeks . . . . .	331

Kup książkę

Poleć książkę

## POŁĄCZENIE PRZESTRZENI I CZASU

*Termin „odległość” sam w sobie nie pasuje do podręcznika ogólnej teorii względności. Termin „czas” sam w sobie nie pasuje do podręcznika ogólnej teorii względności.*

Edwin F. Taylor, John Archibald Wheeler  
i Edmund Bertschinger<sup>12</sup>

Czarne dziury są idealne do nauki fizyki, ponieważ zrozumienie ich wymaga znajomości prawie wszystkich jej gałęzi. Don Page rozpoczyna swój obszerny „skrótowy przegląd zjawiska promieniowania Hawkinga” od zdania: „Czarne dziury są prawdopodobnie najdoskonalszymi obiektami termicznymi we Wszechświecie, a jednak ich właściwości cieplne nie są w pełni poznane”<sup>13</sup>. Termodynamika jest jednym z fundamentów fizyki, zajmuje się znanymi pojęciami, takimi jak temperatura i energia, oraz mniej znaną koncepcją, czyli entropią. Dlatego będziemy musieli nieco poduczyć się termodynamiki. Przełomowa praca Stephena Hawkinga *Particle Creation by Black Holes* (Tworzenie cząstek przez czarne dziury) rozpoczyna się następującymi słowami: „W klasycznej teorii czarne dziury mogą tylko absorbować cząstki, ale nie mogą ich emitować. Wykazano jednak, że zjawiska mechaniki kwantowej

Kup książkę

Poleć książkę

powodują, iż czarne dziury tworzą i emitują cząstki tak, jakby były gorącymi ciałami (...)”<sup>14</sup>. Zatem będziemy musieli też poznać trochę mechaniki kwantowej. I oczywiście musimy też uwzględnić ogólną teorię względności Einsteina, w której, jak piszą Misner, Thorne i Wheeler w swoim monumentalnym (jakościowo i objętościowo) podręczniku *Gravitation* (Grawitacja), „czytelnik zostaje przeniesiony do krainy czarnych dziur i napotyka roje granic statycznych, ergosfer i horyzontów – za parawanem których kryją się ziejące, dzikie osobliwości”<sup>15</sup>. Tę właśnie krainę zbadamy najpierw.

W szkole uczymy się, że grawitacja to podstawowe oddziaływanie między przedmiotami codziennego użytku; nie możemy podskoczyć zbyt wysoko z powierzchni Ziemi, ponieważ istnieje siła, która ściąga nas z powrotem na ziemię. W 1687 roku Isaac Newton sformalizował ten pomysł i opublikował go w swoim dziele *Matematyczne zasady filozofii naturalnej*. Teoria Newtona sprawdza się w większości sytuacji, pozwalając nam obliczyć trajektorie statku kosmicznego podróżującego na Księżyc albo i dalej, i na pierwszy rzut oka nie ma nic do powiedzenia na temat przestrzeni i czasu. Formułując tę teorię, Newton przyjął jednak dwie właściwości przestrzeni i czasu. Założył, że czas jest uniwersalny: jeśli każdy we Wszechświecie posługuje się idealnym zegarem i wszystkie zegary zostały zsynchronizowane w pewnym momencie w przeszłości, wszystkie one będą wskazywać ten sam czas w przyszłości. Newton ujął to bardziej poetycko: „Absolutny, prawdziwy i matematyczny czas sam z siebie i ze swojej własnej natury płynie równo i bez związku z czymkolwiek zewnętrznym...”. Zakładał on również, że przestrzeń jest absolutna: to wielka arena, na której toczy się nasze życie. „Absolutna przestrzeń w swojej własnej istocie, bez związku z czymkolwiek

zewnętrznym, pozostaje zawsze podobna i nieporuszona (...). Ruch absolutny to przemieszczenie ciała z jednego absolutnego miejsca do innego”. Te założenia brzmią całkiem zdroworozsądkowo – do tego stopnia, że świadectwem geniuszu Newtona jest to, iż w ogóle wspominał, że je wprowadził. Jego geniusz ujawnia się natomiast w pełnej krasie, gdy odkrywamy, że jego staranność była prorocza, ponieważ oba te założenia są błędne. Wszechświat nie jest skonstruowany w ten sposób, a wraz z upadkiem podstaw tej teorii rozpada się też sama teoria. Ogólna teoria względności Einsteina jest jej zamiennikiem, opisującym Wszechświat, w którym odległości w przestrzeni i tempo upływu czasu zależą od położenia obserwatora względem gwiazd, planet i czarnych dziur, a nawet od jego drogi do sklepu i z powrotem.

Jest faktem eksperymentalnym, że upływ czasu różni się w zależności od miejsca i zależy od tego, jak szybko ciała poruszają się względem siebie. W cudownie prostym eksperymencie przeprowadzonym w 1971 roku Joseph C. Hafele i Richard E. Keating kupili bilety lotnicze na przelot dookoła świata i wzięli ze sobą w podróż cztery bardzo precyzyjne zegary atomowe. Jak to ujęli w starannie dobranych słowach: „W nauce istotne fakty eksperymentalne zastępują argumenty teoretyczne. Próbując rzucić nieco empirycznego światła na kwestię, czy zegary makroskopowe mierzą czas zgodnie ze standardową interpretacją teorii względności Einsteina, zabraliśmy ze sobą cztery atomowe zegary cezowe podczas komercyjnych lotów odrzutowcami dookoła świata, najpierw na wschód, a potem na zachód. Następnie porównaliśmy czas zmierzony podczas każdej podróży z odpowiednim czasem zarejestrowanym przez referencyjną atomową skalę czasu w Obserwatorium Marynarki Wojennej Stanów

Kup książkę

Poleć książkę

Zjednoczonych. Zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi zegary w locie późniły (starzały się wolniej) podczas podróży na wschód i spieszyły (starzały się szybciej) podczas podróży na zachód<sup>16</sup>. Zegary podążające w kierunku wschodnim straciły 59 nanosekund, a zegary lecące na zachód zyskały 273 nanosekundy\*. Są to niewielkie różnice czasowe podczas tak długiej podróży, ale nie są zerowe i, co najważniejsze, obserwacje eksperymentalne zgadzają się z obliczeniami matematycznymi wykorzystującymi teorię Einsteina. Artykuł Hafelego-Keatinga kończy się w podobnie zwięzły sposób: „W każdym razie wydaje się, że nie ma podstaw do dalszych dyskusji na temat tego, czy zegary będą wskazywać ten sam czas po odbyciu podróży w obie strony, ponieważ stwierdzamy, że tak nie jest”. I oto mamy niezwykłą i wysoce nieoczekiwaną cechę naszego Wszechświata, który ma opisywać teoria względności: czas nie jest tym, czym się wydaje.

Przestrzeń też nie jest tym, czym się wydaje: kolejnym ciosem dla zdrowego rozsądku jest to, że odległość między dwoma punktami w przestrzeni nie jest czymś, z czym wszyscy się zgadzają. Rozstawmy palce przed sobą. Kto odważyłby się powiedzieć, że odległość między opuszkami palców zależy od punktu widzenia? Einstein. Jest to również dobrze zweryfikowany fakt doświadczalny. Wielki Zderzacz Hadronów w CERN-ie to najpotężniejszy na świecie akcelerator cząstek. Zadaniem tej gigantycznej maszyny jest sprawienie, by protony poruszały się w jej podziemnym tunelu z prędkością 99,999999 procent prędkości światła, zanim zostaną ze sobą zderzone. Celem jest zbadanie struktury materii i sił Natury, które leżą u podstaw naszego świata. Obwód LHC wynosi 27 kilometrów z punktu

\* Nanosekunda to miliardowa część sekundy.

widzenia osoby stojącej na ziemi w Genewie i podziwiającej to wielkie osiągnięcie inżynieryjne. Tymczasem z punktu widzenia protonów krążących wokół pierścienia jego obwód wynosi cztery metry.

Einstein w 1905 roku nie miał pojęcia o zegarach atomowych, pasażerskich samolotach odrzutowych ani Wielkim Zderzaczem Hadronów i nie przeprowadzono jeszcze wówczas żadnych eksperymentów, które podważyłyby Newtonowskie rozumienie absolutnej przestrzeni i uniwersalnego czasu. Dlaczego więc Einstein postanowił stworzyć nowy obraz? Dlatego, że odkrył zasadniczą sprzeczność między siedemnastowieczną teorią grawitacji Newtona a dziewiętnastowieczną teorią elektryczności i magnetyzmu Jamesa Clerka Maxwella.

Ta sprzeczność dotyczy sposobu, w jaki prędkość światła pojawia się w teorii Maxwella. Owa teoria, opierająca się na obserwacjach eksperymentalnych przeprowadzonych przez Michaela Faradaya, André-Marie Ampère'a i innych dziewiętnastowiecznych fizyków, stwierdza, że światło jest falą elektromagnetyczną, która przemieszcza się w próżni pustej przestrzeni ze stałą prędkością 299 792 458 metrów na sekundę. Zgodnie z tą teorią prędkość wiązki światła ma dokładnie tę samą wartość, bez względu na to, w jaki sposób osoba, która ją mierzy, porusza się względem źródła światła. To bardzo dziwne przewidywanie i nie przypomina sposobu, w jaki zachowuje się większość innych rzeczy w Naturze.

W momencie pisania tego tekstu najszybszy rzut piłką w międzynarodowych rozgrywkach krykieta wykonał Shoab Akhtar dla Pakistanu w meczu przeciwko Anglii w Kapsztadzie w 2003 roku. Nick Knight, który otwierał dla Anglii, wykonał podręcznikowe uderzenie defensywne na pozycję square leg,

Kup książkę

Poleć książkę

zapisując over dziewiczy na konto Akhtara. Piłka przeleciała przez bramkę z prędkością 100,2 mili na godzinę\*. Gdyby zamiast tego Akhtar rzucił piłką z myśliwca Grumman F14 Tomcat lecącego z prędkością 600 mil na godzinę bezpośrednio w kierunku Knighta, piłka dotarłaby do odbijającego z prędkością  $600 + 100,2 = 700,2$  mili na godzinę, a on mógłby nie skierować jej na pozycję square leg. Nie dotyczy to jednak światła. Gdyby zamiast piłki do krykieta z samolotu F14 Tomcat została wysłana wiązka laserowa w kierunku Knighta, światło nadal docierałoby do niego z prędkością światła (a nie z prędkością światła + 600 mil na godzinę).

Istnieją dwa możliwe rozwiązania tej osobliwej cechy równań Maxwella. Pierwszym i oczywistym byłoby zmodyfikowanie równań Maxwella tak, aby światło zachowywało się jak piłka do krykieta. Ostatecznie jest to pytanie eksperymentalne; pytanie o to, co tak naprawdę dzieje się w Naturze. Niezliczone obserwacje różnych zjawisk fizycznych przez ponad sto lat mówią nam, że równania Maxwella są poprawne i dlatego światło zawsze porusza się z tą samą prędkością.

Drugim, mniej oczywistym rozwiązaniem jest zmiana sposobu, w jaki obserwatorzy podróżujący z różnymi prędkościami względem siebie traktują odległości i różnice w czasie, tak aby wszyscy zawsze mierzyli taką samą prędkość światła. Einstein wybrał tę właśnie drogę, odrzucając w ten sposób Newtonowskie pojęcia absolutnej przestrzeni i czasu, i ten wybór doprowadził go do teorii względności.

\* Przy omawianiu krykieta będziemy posługiwać się brytyjskim systemem miar.

## Teoria względności Einsteina

Teoria Einsteina jest modelem, czyli matematycznymi ramami, które pozwalają nam przewidywać zachowanie obiektów w świecie przyrody. Model ten jest z natury geometryczny, co powoduje, że nadaje się do tworzenia intuicyjnych wizualizacji, które wymagają bardzo niewielu równań – dobra rzecz dla takiej książki jak ta. Uważamy, że najlepszym podejściem do wyjaśnienia teorii względności jest opisanie tego geometrycznego obrazu, a nie próba historycznego przedstawienia jej ewolucji. Uzasadniamy to tym, że ten model działa i jest to chyba jedyne potrzebne uzasadnienie. Einstein mógł po prostu stworzyć swoją teorię z niczego, bez żadnego odniesienia do teorii Maxwella lub eksperymentów, i byłaby ona równie poprawna, ponieważ jest to dobry model w tym sensie, że jego przewidywania przeszły wszystkie dotychczasowe testy eksperymentalne.

Gdyby Einstein mógł wziąć z powietrza jedną ideę, która doprowadziłaby go bezpośrednio do jego teorii, w tym wyjaśnienia zjawisk z eksperymentu Hafelega i Keatinga, oraz do najsłynniejszego równania w całej fizyce,  $E = mc^2$ , byłoby to pojęcie znane jako „interwał czasoprzestrzenny”. Ta koncepcja jest cudownie prosta.

Wróćmy do meczu Pakistanu przeciwko Anglii w Kapsztadzie i rekordowego rzutu Shoaiba Akhtara do Nicka Knighta. Na razie uprościmy sprawę, eliminując grawitację – uwzględnimy ją ponownie na końcu tego rozdziału. Oznacza to, że kiedy piłka opuści rękę Akhtara, przeleci do Knighta po idealnej linii prostej ze stałą prędkością – 100,2 mili na

Kup książkę

Poleć książkę



godzinę względem podłoża\*. Wyobraźmy sobie dalej, że piłka do krykieta ma w środku zegar. W chwili, gdy piłka opuszcza rękę Akhtara, emituje błysk światła i rejestruje czas na swoim wewnętrznym zegarze. W momencie, gdy piłka dotrze do kija Knighta, emituje kolejny błysk światła i rejestruje czas przybycia na tym samym zegarze. Odstęp czasu między błyskami mierzony na zegarze piłki krykietowej nazwiemy  $\Delta\tau$  – wymawiamy to jako „delta tau”.

Na stanowisku komentatorskim Dariusz Szpakowski (Szpaku), relacjonując mecz dla telewizji, zauważa nadejście dwóch błysków światła z piłki i oblicza odstęp czasu między emisją błysków ze swojego punktu widzenia:  $\Delta t_{\text{Szpaku}}$ \*\* . Mierzy również odległość między miejscem, w którym piłka opuszcza rękę Akhtara, a miejscem, w którym piłka uderza w kij Knighta:  $\Delta x_{\text{Szpaku}}$ .

W swoim myśliwcu Grumman F14 Tomcat lecącym nad bramką w linii prostej między słupkami z prędkością 600 mil na godzinę pilot Tom również widzi dwa błyski światła i oblicza odstęp czasu między emisją błysków ze swojego punktu widzenia:  $\Delta t_{\text{Tom}}$ . Podobnie jak Szpaku, mierzy też odległość między miejscem, w którym piłka opuszcza rękę Akhtara, a miejscem, w którym piłka uderza w kij Knighta:  $\Delta x_{\text{Tom}}$ .

Wynik Hafelego i Keatinga mówi nam, że różnice w czasie między emisją błysków mierzoną przez Szpaku, Toma

\* Mówiąc bardziej specjalistycznym językiem, zakładamy, że boisko do krykieta jest inercjalnym układem odniesienia. Możemy sobie wyobrazić, że oderwało się od Ziemi i unosi się swobodnie w przestrzeni międzygwiazdnej. Pomijamy również opór powietrza.

\*\* Będzie musiał wprowadzić poprawkę na czas potrzebny na przebycie światła od piłki do oczu, aby ustalić, kiedy faktycznie błysk został wyemitowany.

i piłkę do krykieta będą różne. Podobnie odległość, jaką przebyła piłka od miotacza do pałkarza, również będzie inna. Dla tych, którzy nigdy wcześniej nie zetknęli się z koncepcjami Einsteina, te różnice mogą być ogromnym szokiem. Są sprzeczne z intuicją, ponieważ oznaczają, że odległości i odstępy czasu nie są czymś, na co wszyscy mogą się zgodzić. Jednak dochodzimy tutaj do niezwykle i ważnego wyniku. Jeśli Szpaku obliczy wielkość  $(\Delta t_{\text{Szpaku}})^2 - (\Delta x_{\text{Szpaku}})^2$ , i Tom obliczy wielkość  $(\Delta t_{\text{Tom}})^2 - (\Delta x_{\text{Tom}})^2$ , to obaj otrzymają ten sam wynik i będzie on równy kwadratowi odstępu czasu mierzonego za pomocą zegara piłki do krykieta,  $(\Delta\tau)^2$ :

$$(\Delta\tau)^2 = (\Delta t_{\text{Szpaku}})^2 - (\Delta x_{\text{Szpaku}})^2 = (\Delta t_{\text{Tom}})^2 - (\Delta x_{\text{Tom}})^2.$$

Wielkość  $(\Delta\tau)^2$  nazywana jest interwałem czasoprzestrzennym między dwoma zdarzeniami: zdarzenie 1 to piłka opuszczająca rękę miotacza, a zdarzenie 2 to uderzenie piłki w kij. Możemy jednak zapytać: „Co to znaczy odjąć odległość w przestrzeni podniesioną do kwadratu od różnicy czasu podniesionej do kwadratu?”. Odpowiedź brzmi, że musimy określić odległość między dwoma zdarzeniami jako czas potrzebny światłu na podróż między tymi zdarzeniami, co oznacza, że powinniśmy obliczyć odległość w sekundach świetlnych. Interwał czasoprzestrzenny (lub w skrócie „interwał”) jest istotny, ponieważ stanowi wielkość, co do której wszyscy się zgadzają, bez względu na ich punkt widzenia. W fizyce taką wielkość nazywamy niezmiennikiem. Ponieważ Natura nie dba o nasz punkt widzenia\*, powinniśmy starać się ją opisać jedynie w kategoriach wielkości niezmienniczych. Znalezienie jakiegoś niezmiennika

\* Jest to ogromnym wstrząsem dla niektórych osób.

Kup książkę

Poleć książkę

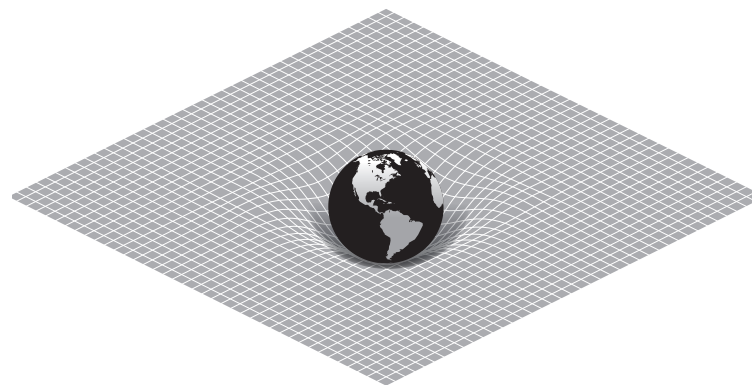
## Od szczególnej do ogólnej teorii względności

Główną ideą ogólnej teorii względności jest postulat, że czasoprzestrzeń ma geometrię, która może zostać zniekształcona. Jak zobaczymy, prowadzi to do zmiany wzoru opisującego odstęp między zdarzeniami. Materia i energia deformują czasoprzestrzeń w swoim sąsiedztwie, a Albert Einstein opracował równania, które pozwalają nam obliczyć to zakrzywienie. Pokazano to schematycznie na rysunku 2.5. Obiekty, takie jak Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, poruszające się blisko Ziemi, będą podróżować przez obszar zakrzywionej czasoprzestrzeni, a gdybyśmy byli entuzjastami fizyki newtonowskiej, zinterpretowalibyśmy ich ruch jako wywołany siłą odchylającą je od linii prostej i utrzymującą je na orbicie. Ale w obrazie Einsteina nie ma siły: grawitację należy rozumieć wyłącznie jako geometrię.

Całkowicie zrozumiałą pierwszą reakcją na ostatni akapit jest pytanie, o czym my tu, u licha, mówimy. Jak mamy rozumieć zniekształcenie przestrzeni i czasu? W jaki sposób należy wyobrażać sobie zakrzywioną czasoprzestrzeń? Do tej pory rysowaliśmy wykresy takie jak na rysunku 2.1, na których czas podążał w górę, a jeden lub dwa kierunki w przestrzeni rozciągały się poziomo. Lecz nasz świat taki nie jest. Żyjemy w trzech wymiarach przestrzennych: do przodu i do tyłu, w lewo i w prawo, w górę i w dół. Dodanie czwartego wymiaru – czasu – jest bardzo trudne do zobrazowania.

Aby ułatwić sobie zrozumienie idei czasoprzestrzeni, cofnijmy się o krok i wyobraźmy sobie dwuwymiarowy świat zwany Flatlandią, zamieszkaną przez płaskie stworzenia\*.

\* Inspirujemy się tu powieścią Edwina Abbotta z 1884 roku *Flatlandia czyli Kraina Płaszczyzn: Powieść o wielu wymiarach*. I być może też utworem *Flat Beat* Mr Oizo z udziałem Płaskiego Erica.



Rysunek 2.5. Schematyczny obraz zniekształcenia czasoprzestrzeni w pobliżu Ziemi.

Mieszkańcy Flatlandii mogą wędrować do przodu i do tyłu oraz w lewo i w prawo, ale nigdy w górę ani w dół. Ich płaskie oczy widzą tylko płaskie obiekty na płaskiej powierzchni, a ich płaskie mózgi mogą zrozumieć tylko płaskie rzeczy. Wyobraźmy sobie reakcję, z jaką spotkałby się znany flatlandzki fizyk, Albert Płaszczak, gdyby ośmielił się powiedzieć, że tak naprawdę przestrzeń jest trójwymiarowa. „Istnieje inny wymiar, inny kierunek, którego nie możemy wskazać” – ogłasza, a za pomocą swojej matematyki bez trudu opisałby ten trójwymiarowy świat.

Założmy, że Albert Płaszczak ma rację, a mieszkańcy Flatlandii tak naprawdę żyją na powierzchni dużego, zabałaganionego stołu w gabinecie, jak pokazano na rysunku 2.6. Trzeci wymiar jest realny; to kierunek w górę od powierzchni stołu, ale płaszczaki go nie widzą. Ich badania nie ujawniły jeszcze, że przestrzeń kończy się na krawędzi stołu, ale odkryli już, że istnieją nieprzeniknione miejsca, do których nie mogą się dostać. Muszą obejść filiżankę kawy, lampkę czy książki, i zastanawiają się, dlaczego zakazane obszary są

Kup książkę

Poleć książkę

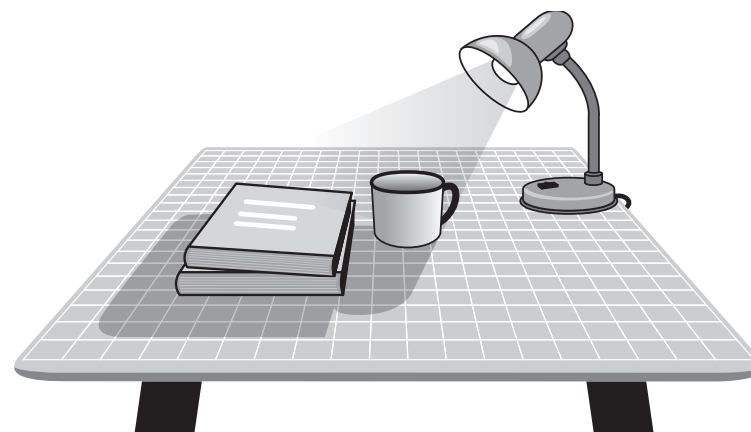


czasami okrągłe, czasami prostokątne, a czasami mają inny, mniej regularny kształt. Co więcej, Flatlandia jest pokryta jasnymi i ciemnymi regionami, które przesuwały się i zmieniały kształt i wielkość.

W jaki sposób Albert Płaszczak doszedł do wniosku, że na świecie istnieje dodatkowy wymiar, opierając się wyłącznie na obserwacjach dokonanych na płaskim blacie? „To wszystko ma związek z owymi zmieniającymi się jasnymi i ciemnymi regionami” – wyjaśnia. „Wiem, czym one są. To cienie”.

Albert użył matematyki, aby dowiedzieć się, że cienie są dwuwymiarowymi rzutami przedmiotów istniejących w trzech wymiarach (filiżanki do kawy i książki), i wywnioskował trójwymiarowe kształty rzucających je przedmiotów. Pomaga tu fakt, że cienie od czasu do czasu zmieniają kształt, co Albert poprawnie interpretuje jako wyżej wymiarowe źródło zmieniające jasność. Z naszego trójwymiarowego punktu widzenia od razu zauważamy, że jest to spowodowane tym, że ktoś przestawił lampę na stole.

Być może dostrzegacie już analogię. Interwał – wielkość, która nie zmienia się dla różnych punktów widzenia – istnieje w czterech wymiarach czasoprzestrzeni. Odległości w przestrzeni i różnice w czasie to tylko cienie; zmieniają się, gdy przyjmujemy różne punkty widzenia w trójwymiarowym świecie naszego codziennego doświadczenia. Nie możemy wyobrazić sobie czegoś, co przebywa w czterech wymiarach, tak jak Albert Płaszczak nie mógł wyobrazić sobie filiżanki kawy, lampy czy książki. Ale to nie powstrzymało go przed oderwaniem wzroku od dwuwymiarowego świata codziennych doświadczeń i podziwianiem prawdziwej rzeczywistości trójwymiarowej przestrzeni i niezmiennych obiektów znajdujących się na blacie stołu.



Rysunek 2.6. Flatlandia.

Podążając nieco dalej w analogii do Flatlandii, możemy również zyskać wgląd w to, jak ogólna teoria względności wpisuje się w ten obraz. Mieszkańcy Flatlandii mogą zakładać, że blat, na którym żyją, jest płaski. Gdyby tak było, linie równoległe w Krainie Płaszczaków nigdy by się ze sobą nie spotkały, a kąty wewnętrzne trójkątów sumowałyby się do 180 stopni. Taką płaską geometrię nazywamy „euklidesową”.

Jeśli jednak powierzchnia biurka jest nieco wypaczona, płaszczaki odkryją niewielkie odchylenia od geometrii Euklidesa. Używając precyzyjnych urządzeń pomiarowych, ku swemu ogromnemu zdumieniu odkryją trójkąty, których kąty nie sumują się do 180 stopni, oraz linie równoległe, które zbiegają się lub rozchodzą. Właśnie w tym sensie mówimy o zakrzywieniu lub ugięciu przestrzeni w teorii grawitacji Einsteina i dokładnie to staramy się zilustrować na rysunku 2.5.

Przykład Flatlandii pomaga nam wyobrazić sobie świat obdarzony większą liczbą wymiarów niż ten, którego bezpośrednio doświadczamy, i ułatwia nam wizualizację zakrzywienia

Kup książkę

Poleć książkę

przestrzeni. Dodając jeden wymiar, możemy dostrzec szerszy obraz dwuwymiarowej przestrzeni (blat) zanurzonej w przestrzeni trójwymiarowej (pokój). Nie możemy wyjść poza siebie, aby ujrzeć szerszy obraz czterowymiarowej czasoprzestrzeni, ponieważ nasza wyobraźnia ogranicza się do rozważań w trzech lub mniej wymiarach. W tym sensie bardzo przypominamy płaszczaków skazanych na obserwację świata w zbyt małej liczbie wymiarów.

Niełatwo jest przyzwycząć się do idei przestrzeni wyżej-wymiarowych, ale być może poprawi wam to nieco humor, jeśli przyznamy, że zawodowi fizycy wcale nie są lepsi w obrazowaniu czterowymiarowej czasoprzestrzeni niż amatorzy. Jeśli chodzi o czasoprzestrzeń, wszyscy jesteśmy Albertami Płaszczakami wpatrującymi się w cienie. Na szczęście nie trzeba próbować wizualizować czasoprzestrzeni w całym jej czterowymiarowym ogromie. Często możemy pominąć kilka wymiarów w naszym obrazie mentalnym i nie stracić żadnego ważnego aspektu rozważań. Widzieliśmy to już na diagramach czasoprzestrzennych, których użyliśmy do zbadania podstaw szczególnej teorii względności, gdzie (poza rysunkiem 2.1) przedstawiliśmy tylko jeden wymiar przestrzenny i wymiar czasowy. Nie zrozumielibyśmy niczego więcej, gdybyśmy próbowali narysować dwuwymiarową przestrzeń, chociaż mogłoby to sprawić, że nasze diagramy wyglądałyby ładniej. Gdybyśmy spróbowali zilustrować wszystkie trzy wymiary przestrzeni razem z wymiarem czasu, napotkalibyśmy problemy.

Podczas badania czarnych dziur rzadko będziemy musieli brać pod uwagę więcej niż jeden wymiar przestrzenny, ponieważ skupimy się na odległości od czarnej dziury. Najbardziej interesuje nas, w jaki sposób zakrzywienie geometrii wpływa na związki przyczynowo-skutkowe, a to oznacza analizę

stożków świetlnych. Fizycy mieli sto lat na to, by wymyślić praktyczne sposoby wizualizacji tego rodzaju zagadnień, a najczęściej stosowany nosi imię sir Rogera Penrose'a. W następujących dwóch rozdziałach wprowadzimy „diagramy Penrose'a”. Uzbrojeni w te piękne mapy czasoprzestrzeni będziemy gotowi do podróży za horyzont.

Kup książkę

Poleć książkę

**Brian Cox CBE FRS** – profesor fizyki cząstek na Uniwersytecie w Manchesterze, a także Królewskiego Towarzystwa ds. Zaangażowania Społecznego w Naukę. Pracował przy Wielkim Zderzaczu Hadronów w CERN w Genewie, akceleratorach HERA w DESY w Hamburgu i Tevatron w Fermilabie w Chicago. Autor i prezenter seriali telewizyjnych BBC (między innymi „Cuda Układu Słonecznego”, „Cuda wszechświata”, „Cuda życia”, „Człowiek i wszechświat”, „Siły natury”, „Planety”, „Wszechświat”), współprowadzący serię audycji radiowych i podcast The Infinite Monkey Cage. Autor wielu bestsellerowych książek popularnonaukowych (cztery ukazały się w Polsce). Wykładał wstępny kurs teorii względności i mechaniki kwantowej na Uniwersytecie w Manchesterze.

**Jeff Forshaw** – fizyk teoretyczny i profesor fizyki cząstek na Uniwersytecie w Manchesterze. Razem z Brianem Coxem napisał trzy bestsellerowe książki popularnonaukowe. Jest autorem ponad stu prac naukowych, a także prelegentem na międzynarodowych festiwalach nauki i wydarzeniach dla dzieci i dorosłych. W 1999 roku otrzymał od brytyjskiego Instytutu Fizyki Medal Jamesa Clerka Maxwella za wybitny wkład w fizykę teoretyczną, w 2013 roku odebrał Medal Kelvina za zaangażowanie w pracę mającą na celu pomóc społeczeństwu zrozumieć złożone teorie z dziedziny fizyki.

Kup książkę

Poleć książkę

Oceń książkę



Księgarnia internetowa



Lubię to!  
Nasza społeczność

# 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**

Czy wiesz, co się kryje w centrum naszej Galaktyki? Czy zastanawiasz się czasem, jak powstają czarne dziury i co one oznaczają dla naszego zrozumienia wszechrzeczy? Czy chcesz poznać tajemnice tych niesamowitych obiektów, które wykraczają poza granice wyobraźni? Jeśli tak, to bestseller **Czarne dziury. Klucz do zrozumienia Wszechświata** jest właśnie dla Ciebie.

Znany naukowiec i popularyzator nauki **Brian Cox** wraz z fizykiem **Jeffem Forshawem** zabiorą Cię w fascynującą podróż do świata czarnych dziur. Ta książka to nie tylko pasjonująca opowieść naukowa, ale także inspirująca wizja kosmosu, w której przestrzeń i czas wylaniają się z sieci bitów kwantowych, a czarne dziury mogą być kluczem do zrozumienia natury rzeczywistości.

## PRZYGOTUJ SIĘ NA NIESAMOWITĄ PRZYGODĘ, KTÓRA ZMIENI TWÓJ SPOSÓB PATRZENIA NA WSZECHŚWIAT.

Czy można sobie wyobrazić bardziej spektakularny sposób na śmierć niż wpadnięcie do czarnej dziury? Coś, co do niej wpadnie, już przecież nigdy jej nie opuści. Niknie. Tak przez lata przynajmniej myśleliśmy. Okazuje się, że wcale tak nie jest. Nauka odkrywa przed nami nowe oblicze chyba najbardziej sekretne obszaru czasoprzestrzeni – czarnych dziur. Autorzy pokazują nam świat, którego jesteśmy częścią, ale o którym większość z nas w takim ujęciu nie miała błędnego pojęcia.

**DR MACIEJ KAWECKI**, autor kanału **This Is IT**, prezes Instytutu Lema

Postawmy sprawę jasno: czarne dziury to nie jest prosty temat. Jego zgłębienie wymaga dobrego przewodnika, a Brian Cox i Jeff Forshaw robią to kosmicznie dobrze i nie idą przy tym na skróty. Sięgnięcie po tę książkę to jak zbliżanie się do czarnej dziury – może Was całkowicie wciągnąć. Robicie to na własną odpowiedzialność, ale, o rety, co to będzie za podróż!

### KAROL WÓJCICKI, Z głową w gwiazdach

Mimo ryzyka spaghettizacji i splonięcia na ogniowej ścianie horyzontu autorzy raz po raz wrzucają czytelnika w czarne dziury. Choć z pozycji kanapy wydaje się to całkiem bezpieczne, przed wzięciem tej lektury do ręki czytelnik powinien zaakceptować ryzyko tego, że niektóre paradoksy czarnych dziur zmienią jego postrzeganie świata. Pozwolą w nieskończonościach i osobliwościach odnaleźć ukryte piękno i harmonię. Czasem dadzą niezwykłą odpowiedź, częściej nauczą zadawać głębokie pytania.

**DAMIAN JABŁĘKA**, Planetarium Śląskie, **Dotknij nieba**

Wydawnictwo  
Naukowe  
**Helion**



cenę 59,00 zł

KSIĄŻKĘ POLECAJĄ:

**POLITYKA**

**Nauka**  
to lubię

**This is IT**

**PLANETARIUM**  
Śląski Park Nauki

**pułsard**

**ZAPYTAJ  
FIZYKA**

**KWANTOWO**