

S T E P H E N

# HAWKING



TEORIA WSZYSTKIEGO

*czyli  
krótka  
historia*

**WSZECHŚWIATA**



 editio

Tytuł oryginału: The Theory of Everything: The Origin and Fate of the Universe

Tłumaczenie: Michał Lipa

Projekt okładki: Urszula Banaszewska

ISBN: 978-83-8322-008-6

ISBN oryginału: 1-59777-508-8

Original edition copyright © 2005 Phoenix Books.

First published under the title The Cambridge Lectures: Life Works.

Copyright © Dove Audio, Inc. All rights reserved.

Polish edition copyright © 2009, 2022 by Helion S.A. All rights reserved.

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 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.

Materiały graficzne na okładce zostały wykorzystane za zgodą iStockPhoto Inc.

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<https://editio.pl/user/opinie/teow2v>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: [editio@editio.pl](mailto:editio@editio.pl)

WWW: <https://editio.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Printed in Poland.

- Kup książkę
- Poleć książkę
- Oceń książkę

- Księgarnia internetowa
- Lubię to! » Nasza społeczność

---

# SPIS TREŚCI

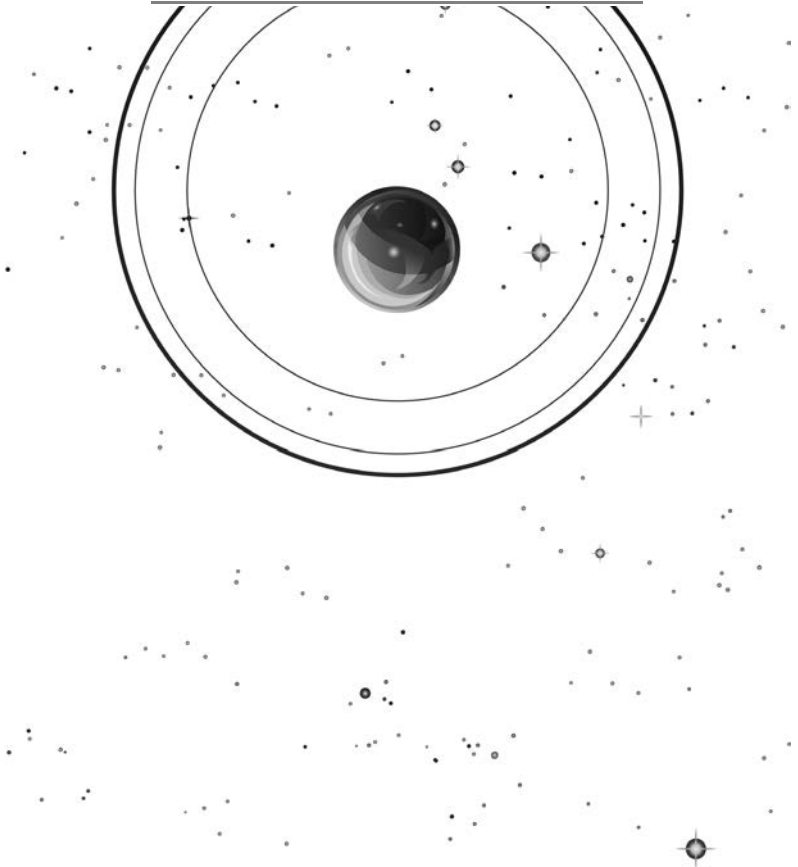
WPROWADZENIE	5
WYKŁAD PIERWSZY	
KONCEPCJE WSZECHŚWIATA	9
WYKŁAD DRUGI	
ROZSZERZAJĄCY SIĘ WSZECHŚWIAT	19
WYKŁAD TRZECI	
CZARNE DZIURY	37
WYKŁAD CZWARTY	
CZARNE DZIURY NIE SĄ TAKIE CZARNE	55
WYKŁAD PIĄTY	
POCZĄTEK I PRZEZNACZENIE WSZECHŚWIATA	71
WYKŁAD SZÓSTY	
KIERUNEK CZASU	91
WYKŁAD SIÓDMY	
TEORIA WSZYSTKIEGO	103



wykład trzeci

# CZARNE DZIURY

---





**T**ermin *czarna dziura* ma bardzo krótką historię. Został wprowadzony w 1969 roku przez amerykańskiego naukowca Johna Wheelera jako obrazowe przedstawienie koncepcji sięgającej co najmniej 200 lat wstecz. Wówczas istniały dwie teorie dotyczące światła. Jedna z nich głosiła, że składa się ono z cząstek, zaś druga, że tworzą je fale. Dziś wiemy, że obydwie teorie były prawidłowe. Z punktu widzenia dualizmu korpuskularno-falowego w mechanice kwantowej światło jest postrzegane zarówno jako strumień cząstek, jak i fala. Teoria falowej natury światła nie wyjaśnia, w jaki sposób zachowuje się ono w polu grawitacyjnym. Jednak gdyby światło składało się z cząstek, powinny one być przyciągane siłą grawitacji tak samo jak kule armatnie, rakiety i planety.

John Michell, profesor z Cambridge, wykorzystał to założenie w pracy opublikowanej w 1783 roku w czasopiśmie „Philosophical Transactions of the Royal Society of London”. Wykazał w niej, że gwiazda o odpowiednio dużej masie i gęstości miałaby tak silne pole grawitacyjne, że światło nie mogłoby się z niego wydostać. Światło wyemitowane z jej powierzchni nie dotarłoby zbyt daleko, ponieważ zostałoby „ściągnięte” z powrotem przez siłę ciężenia. Michell zasugerował, że we wszechświecie może istnieć duża liczba takich gwiazd. Choć nie możemy ich zobaczyć, ponieważ ich światło nie dociera do nas, wciąż możemy obserwować ich oddziaływanie grawitacyjne. Takie obiekty nazywamy dziś czarnymi dziurami, ponieważ tym właśnie są — ciemnymi otchłaniami w przestrzeni kosmicznej.

Kilka lat później z podobnym przypuszczeniem wystąpił niezależnie od Michella francuski naukowiec, markiz de Laplace. Co ciekawe, wyraził je tylko w dwóch pierwszych wydaniach swojej książki *System świata*, a usunął z późniejszych edycji, być może uznawszy, że to zbyt szalona koncepcja. W rzeczywistości traktowanie światła w taki sam sposób jak kul armatnich z punktu widzenia teorii grawitacji Newtona okazuje się nie do końca prawidłowe, ponieważ prędkość światła jest niezmienna. Kula armatnia

wystrzelona pionowo do góry będzie leciała coraz wolniej, aż w końcu zatrzyma się i zacznie spadać. Jednak foton musi lecieć cały czas z taką samą prędkością. Jaki wpływ na światło ma zatem siła ciężenia? Spójna teoria wpływu grawitacji na światło pojawiła się dopiero w 1915 roku, kiedy Einstein przedstawił swoją ogólną teorię względności. Mimo to musiało upłynąć jeszcze sporo czasu, zanim odkryto jej implikacje dla gwiazd o dużej masie.

Aby zrozumieć, w jaki sposób powstaje czarna dziura, musimy najpierw zapoznać się z cyklem życia gwiazd. Gwiazda powstaje wtedy, gdy duża chmura gazu — głównie wodoru — zaczyna się kurczyć pod wpływem własnej grawitacji. Kiedy jej objętość się zmniejsza, atomy gazu zderzają się ze sobą coraz częściej i z coraz większymi prędkościami, a gaz się rozgrzewa. W końcu staje się tak gorący, że kiedy atomy wodoru zderzają się ze sobą, nie odbijają się, lecz łączą się w atomy helu. Energia uwolniona w czasie tej reakcji, przypominającej kontrolowany wybuch bomby wodnorodowej, sprawia, że gwiazda świeci. Przyczynia się również do zwiększenia ciśnienia gazu, które w pewnym momencie zaczyna równoważyć siłę grawitacji, dzięki czemu gwiazda przestaje się kurczyć. Przypomina nieco balon, w którym zachowana jest równowaga między ciśnieniem wypełniającego go powietrza, które stara się powiększyć balon, a naprężeniem gumowej powłoki, które próbuje go zmniejszyć.

Gwiazdy pozostają w takiej równowadze przez długi czas, dopóki energia pochodząca z reakcji nuklearnych równoważy przyciąganie grawitacyjne. W końcu jednak zapasy wodoru i innych paliw jądrowych wyczerpują się. Jak na ironię, im więcej paliwa gwiazda ma na początku, tym szybciej się ono kończy. Dzieje się tak dlatego, że im większa jest masa gwiazdy, tym wyższej temperatury potrzeba do zrównoważenia przyciągania grawitacyjnego, a im wyższa musi być temperatura gwiazdy, tym szybciej spala ona swoje paliwo. Słońce prawdopodobnie ma zapas paliwa wystarczający na około pięć miliardów lat, ale większe gwiazdy



spalają posiadane zasoby nawet w ciągu stu milionów lat, czyli w czasie o wiele krótszym niż wiek wszechświata. Kiedy kończy się paliwo jądrowe gwiazdy, zaczyna się ona ochładzać i kurczyć. To, co może się zdarzyć później, zrozumiano dopiero pod koniec lat 20. XX wieku.

W 1928 roku młody hinduski doktorant Subrahmanyan Chandrasekhar wyruszył do Anglii, aby podjąć na Uniwersytecie Cambridge studia pod kierunkiem brytyjskiego astronoma, sir Arthura Eddingtona — specjalisty od teorii względności. Podobno na początku lat 20. pewien dziennikarz zapytał Eddingtona, czy to prawda, że na świecie są tylko trzy osoby, które rozumieją ogólną teorię względności. Eddington odpowiedział: „Zastanawiam się, kim może być ta trzecia”.

W czasie podróży z Indii Chandrasekhar obliczył, jak duża może być gwiazda zdolna do przeciwstawienia się własnemu przyciąganiu grawitacyjnemu po zużyciu paliwa jądrowego. Rozumował następująco: gdy gwiazda się kurczy, cząstki materii zbliżają się do siebie na bardzo małą odległość. Jednak zgodnie z regułą Pauliego dwie cząstki nie mogą mieć takiego samego położenia i tej samej prędkości. Muszą zatem poruszać się z bardzo różnymi prędkościami. To sprawia, że oddalają się od siebie, a gwiazda się rozszerza. Gwiazda może zatem zachować stałą objętość tylko wtedy, gdy siła przyciągania grawitacyjnego zrównoważy siłę odpychania się cząsteczek, wynikającą z zakazu Pauliego, podobnie jak wcześniej siła grawitacji była równoważona ciśnieniem wynikającym z temperatury gazu.

Chandrasekhar wiedział jednak, że siła odpychania wynikająca z reguły Pauliego jest ograniczona. Teoria względności ogranicza maksymalną różnicę prędkości cząstek materii do prędkości światła. To oznacza, że kiedy gwiazda osiągnie wystarczającą gęstość, siła odpychania stanie się mniejsza niż siła przyciągania grawitacyjnego. Chandrasekhar obliczył, że gwiazda o masie równej około

1,5 masy Słońca nie będzie w stanie przeciwstawić się własnej grawitacji. Masa ta jest dziś określana mianem *granicy Chandrasekhara*.

Odkrycie to miało poważne implikacje dla rozważań dotyczących ostatecznego losu gwiazd o dużej masie. Jeżeli masa gwiazdy jest mniejsza niż graniczna masa Chandrasekhara, gwiazda może przestać się kurczyć i osiągnąć końcową postać białego karła o promieniu kilku tysięcy kilometrów i gęstości setek ton na centymetr sześcienny. Biały karzeł może trwać dzięki sile odpychania między elektronami. W kosmosie znajduje się duża liczba gwiazd tego typu. Jedną z pierwszych, które odkryto, była gwiazda krążąca wokół Syriusza — najjaśniejszej gwiazdy na naszym nocnym niebie.

Zrozumiano również, że istnieje jeszcze jeden możliwy stan końcowy gwiazdy mniejszej niż biały karzeł, lecz mającej masę do dwóch razy większą niż masa Słońca. Takie gwiazdy mogą trwać dzięki sile odpychania między neutronami a protonami, a nie między elektronami. Nazwano je zatem gwiazdami neutronowymi. Ich promień wynosi zaledwie kilkanaście kilometrów, a gęstość jest równa setkom milionów ton na centymetr sześcienny. Kiedy po raz pierwszy dopuszczono możliwość ich istnienia, nie było sposobu, by je zaobserwować w rzeczywistości. Udało się to dopiero po wielu latach.

Gwiazdy o masie przekraczającej granicę Chandrasekhara napotykały poważne problemy, kiedy wyczerpuje się ich paliwo. Niektóre eksplodują lub wyrzucają w przestrzeń taką ilość materii, by zmniejszyć swoją masę do poziomu nieprzekraczającego masy granicznej, ale trudno uwierzyć, że dzieje się tak zawsze, niezależnie od rozmiaru gwiazdy. Skąd gwiazda może wiedzieć, że powinna schudnąć? Nawet gdyby każda z nich potrafiła pozbyć się wystarczającej ilości materii, co by się stało, gdyby biały karzeł lub gwiazda neutronowa przyjęła pewną ilość materii i przekroczyła granicę Chandrasekhara? Czy zapadłaby się, osiągnąwszy nieskończoną gęstość?

Eddington był zaskoczony odkryciem Chandrasekhara i odmówił przyjęcia go do wiadomości. Sądził, że po prostu nie jest możliwe, by gwiazda skurczyła się do rozmiarów punktu. Pogląd ten podzielała zresztą większość naukowców. Sam Einstein napisał pracę, w której stwierdził, że gwiazda nie może mieć zerowej objętości. Wrogość środowiska naukowego, a szczególnie Eddingtona — nauczyciela hinduskiego astronoma i największego autorytetu w sprawach budowy gwiazd — sprawiła, że Chandrasekhar zrezygnował w końcu z dalszych dociekań w tym zakresie i zajął się innymi zagadnieniami astronomii. Kiedy jednak w 1983 roku przyznawano mu Nagrodę Nobla, przynajmniej częściowo była ona uhonorowaniem jego wczesnych prac dotyczących granicznej masy zimnych gwiazd.

Chandrasekhar wykazał, że zakaz Pauliego nie może powstrzymać zapadania się gwiazdy o masie przekraczającej granicę Chandrasekhara. Jednak pytanie dotyczące dalszego losu takiej gwiazdy w teorii względności pozostawało bez odpowiedzi aż do 1939 roku, w którym zagadkę tę rozwikłał młody Amerykanin, Robert Oppenheimer. Uzyskane przez niego wyniki sugerowały jednak, że nie byłoby żadnych obserwowalnych konsekwencji, możliwych do uchwycenia za pomocą współczesnych mu teleskopów. Potem wybuchła druga wojna światowa, a Oppenheimer zaangażował się w prace nad stworzeniem bomby atomowej. Po wojnie problem kolapsu grawitacyjnego popadł w zapomnienie, jako że większość naukowców interesowała się tym, co się dzieje w atomie i w jego jądrze. W latach 60. XX wieku zainteresowanie wielkimi problemami astronomii i kosmologii powróciło na fali obserwacji astronomicznych dokonanych za pomocą nowoczesnych urządzeń. Prace Oppenheimera zostały odkurzone i rozwinięte przez wielu kontynuatorów.

Obraz wyłaniający się z prac Oppenheimera jest następujący: pole grawitacyjne gwiazdy zmienia bieg promieni światła i sprawia, że mają one inne trajektorie niż w pustej czasoprzestrzeni.

Stożki świetlne, które oznaczają trajektorie promieni emitowanych przez ich wierzchołki, są lekko pochylone do środka w pobliżu powierzchni gwiazdy. To zjawisko można zaobserwować podczas zaćmienia Słońca jako zagięcie promieni światła pochodzącego z odległych gwiazd. Kiedy gwiazda się kurczy, jej pole grawitacyjne staje się coraz silniejsze, a ugięcie stożków świetlnych ulega zwiększeniu. To sprawia, że światło ma trudności z wydostaniem się z zasięgu grawitacji gwiazdy i wydaje się odległemu obserwatorowi ciemniejsze i bardziej czerwone niż w rzeczywistości.

Po osiągnięciu przez gwiazdę określonego promienia krytycznego pole grawitacyjne na jej powierzchni staje się tak silne, że kąt ugięcia stożków świetlnych uniemożliwia ucieczkę światła. Zgodnie z teorią względności nic nie może się poruszać szybciej niż światło. Jeżeli zatem nawet światło nie może się wyrwać z pola grawitacyjnego takiej gwiazdy, nic nie może tego zrobić. Wszystko jest zawracane z drogi przez siłę ciężenia. Mamy więc pewien zbiór zdarzeń, pewien region w czasoprzestrzeni, z którego nie można się wydostać. Dziś określamy go mianem czarnej dziury. Jego granica jest zwana horyzontem zdarzeń. Składa się on z trajektorii promieni świetlnych, którym niemal udało się uciec z czarnej dziury.

Aby zrozumieć, jak wygląda zapaść gwiazdy zmieniającej się w czarną dziurę, trzeba pamiętać, że zgodnie z teorią względności nie istnieje czas bezwzględny. Każdy obserwator mierzy czas we własnej skali. Dla obserwatora znajdującego się na powierzchni gwiazdy czas biegnie inaczej niż dla kogoś znajdującego się daleko od niej, ponieważ ten pierwszy znajduje się w jej silnym polu grawitacyjnym. Efekt ten zaobserwowano podczas przeprowadzonego na naszej planecie eksperymentu, w którym dwa zegary umieszczono u podnóża wieży ciśnień i na jej szczycie. Załóżmy, że jakiś nieustraszony astronauta znajdujący się na powierzchni zapadającej się gwiazdy wysyła co sekundę (według jego zegarka) sygnał do statku kosmicznego orbitującego wokół gwiazdy. W pewnym momencie, na przykład dokładnie o godzinie 11:00

jego czasu, promień kurczącej się gwiazdy przekroczy wartość krytyczną, poniżej której pole grawitacyjne stanie się tak silne, że sygnały przestaną docierać do statku kosmicznego.

Jego towarzysze ze statku kosmicznego zauważyliby, że odstępów między poszczególnymi sygnałami są coraz dłuższe. Wydłużenie odstępów byłoby jednak bardzo niewielkie aż do godziny 10:59:59. Od odebrania sygnału wysłanego o godzinie 10:59:58 do odebrania sygnału wysłanego o godzinie 10:59:59 upłynęłoby niewiele więcej czasu niż jedna sekunda. Jednak na sygnał wysłany przez astronautę o godzinie jedenastej załoga statku musiałaby czekać nieskończenie długo. Fale świetlne wyemitowane z powierzchni gwiazdy między godziną 10:59:59 a godziną jedenastą (według zegarka astronauty) byłyby z punktu widzenia załogi statku rozciągnięte w nieskończonym okresie.

Odstępy czasu między kolejnymi sygnałami coraz bardziej by się wydłużały, zaś światło docierające z gwiazdy stawałoby się coraz słabsze i bardziej czerwone. W końcu gwiazda stałaby się tak ciemna, że astronauta przebywający w statku kosmicznym przestaliby ją widzieć. Zostałaby po niej jedynie czarna dziura w przestrzeni kosmicznej. Oczywiście gwiazda nadal oddziaływałaby grawitacyjnie na orbitujący wokół niej pojazd, bowiem nadal byłaby fizycznie obecna w jego otoczeniu. Jej własne pole grawitacyjne spowodowałoby jedynie tak duże przesunięcie jej światła w stronę czerwieni, że nie dałoby się jej dostrzec. Przesunięcie w stronę czerwieni nie miałoby jednak wpływu na samo pole grawitacyjne czarnej dziury, więc statek mógłby nadal krążyć wokół niej.

W pracy, którą napisałem wspólnie z Rogerem Penrose'em w latach 1965–1970, wykazaliśmy, że zgodnie z ogólną teorią względności we wnętrzu czarnej dziury musi istnieć osobliwość o nieskończonej gęstości. To coś podobnego do wielkiego wybuchu u początków czasu, tyle że w tym przypadku jest końcem czasu dla zapadającej się

gwiazdy i astronauty. Wewnątrz osobliwości przestają działać znane nam prawa nauki i nasza zdolność przewidywania przyszłości. Jednak obserwator, który pozostałby na zewnątrz czarnej dziury, nie odczułby wpływu załamania się praw fizyki, ponieważ z jej wnętrza nie docierałoby do niego ani światło, ani żaden inny sygnał.

Ten istotny fakt skłonił Rogera Penrose'a do wysunięcia hipotezy kosmicznego cenzora, którą można by wyrazić następująco: „Bóg brzydzi się nagimi osobliwościami”. Innymi słowy, osobliwości będące wynikiem zapaści grawitacyjnej pojawiają się tylko w miejscach takich jak czarne dziury, gdzie są starannie ukryte przed wzrokiem obserwatorów za horyzontem zdarzeń. Ścisłej mówiąc, chodzi o tak zwaną słabą hipotezę kosmicznej cenzury, zgodnie z którą obserwatorzy znajdujący się poza czarną dziurą są chronieni przed konsekwencjami załamania się przewidywalności w punkcie osobliwym. Jednak to wszystko nie może pomóc nieszczęsnemu astronautce, który wpadł już do czarnej dziury. Czy Bóg nie powinien zadbać także o jego poczucie skromności?

Istnieje kilka rozwiązań równań ogólnej teorii względności, w których dopuszcza się możliwość dostrzeżenia przez astronautę nagiej osobliwości. Mógłby on uniknąć zderzenia z osobliwością i zamiast tego wpaść do tunelu czasoprzestrzennego, z której wypadłby w innym rejonie wszechświata. Byłaby to wspaniała możliwość podróżowania w czasie i przestrzeni, lecz niestety wydaje się, że te rozwiązania mogą być bardzo niestabilne. Najmniejsze zakłócenie, takie jak obecność astronauty, może je zmienić tak bardzo, że astronauta nie zobaczy osobliwości, dopóki się z nią nie zderzy, ponosząc śmierć na miejscu. Innymi słowy, osobliwość zawsze należy do jego przyszłości, a nigdy do przeszłości.

Silna hipoteza kosmicznej cenzury głosi z kolei, że w rozwiązaniu realistycznym osobliwości zawsze znajdują się albo całkowicie w przyszłości, jak osobliwości będące wynikiem kolapsu grawitacyjnego, albo całkowicie w przeszłości, jak wielki wybuch. Należy

mieć nadzieję, że któraś wersja hipotezy kosmicznej cenzury jest prawdziwa, ponieważ w pobliżu nagich osobliwości powinna istnieć możliwość podróży w przeszłość. Choć jest to atrakcyjny temat dla pisarzy science fiction, taka możliwość oznaczałaby, że niczyje życie nie byłoby bezpieczne. Ktoś mógłby bowiem przenieść się w przeszłość i zabić Twojego ojca albo matkę, zanim zostałbyś poczęty.

W czasie grawitacyjnej zapaści gwiazdy, prowadzącej do powstania czarnej dziury, ruchy materii byłyby tłumione przez emisję fal grawitacyjnych. Można by zatem oczekiwać, że czarna dziura dosyć szybko osiągnie stan stacjonarny. Na ogół przyjmowano, że ten ostateczny stan stacjonarny zależy od budowy ciała, które zapadając się, utworzyło czarną dziurę. Sądzono, że czarna dziura może mieć dowolny kształt i rozmiar, a sam kształt nie musi nawet być stały, lecz może zmieniać się w czasie.

Jednak w 1967 roku Werner Israel opublikował w Dublinie pracę, która zrewolucjonizowała badania nad naturą czarnych dziur. Israel wykazał, że każda czarna dziura, która nie wiruje, musi być idealnie kulista, a jej kształt jest uzależniony tylko od jej własnej masy. W rzeczywistości można by ją opisać za pomocą szczególnego rozwiązania równań Einsteina, podanego w 1917 roku przez Karla Schwarzschilda. Na początku wynik Israela był interpretowany przez wiele osób (w tym także przez samego Israela) jako dowód na to, że czarne dziury mogą powstawać tylko w efekcie zapaści grawitacyjnej ciał doskonale kulistych. Ponieważ żadne rzeczywiste ciało nie jest idealnie kuliste, ogólnie rzecz biorąc każdy kolaps grawitacyjny musi prowadzić do powstania nagiej osobliwości. Istniała jednak także inna interpretacja wyników Israela, której gorącymi zwolennikami byli Roger Penrose i John Wheeler. Zgodnie z tą interpretacją czarna dziura powinna się zachowywać jak kropla cieczy. Choć dane ciało nie musi wcale mieć kształtu idealnej kuli, w trakcie zapadania się przyjmuje kształt kulisty dzięki emisji fal grawitacyjnych. Dalsze obliczenia

dowodły prawidłowości tej interpretacji i została ona powszechnie zaakceptowana.

Wynik Izraela dotyczył tylko czarnych dziur utworzonych z nie-obracających się ciał niebieskich. Trzymając się porównania do kropli cieczy, należałoby oczekiwać, że czarna dziura powstała w wyniku zapaści rotującego obiektu nie byłaby idealnie okrągła. W strefie równikowej miałaby wybrzuszenie będące efektem rotacji. Niewielkie wybrzuszenie tego typu można zaobserwować na Słońcu, które obraca się wokół własnej osi w ciągu około 25 ziemskich dni. W 1963 roku Nowozelandczyk Roy Kerr opracował zbiór dotyczących czarnych dziur rozwiązań równań ogólnej teorii względności, bardziej ogólnych niż rozwiązania Schwarzschilda. Czarne dziury Kerra obracają się ze stałą prędkością, a ich rozmiar i kształt zależy tylko od masy i prędkości rotacji. Gdyby prędkość była zerowa, czarna dziura byłaby idealnie okrągła, a rozwiązanie byłoby tożsame z rozwiązaniem Schwarzschilda. Gdyby jednak prędkość rotacji była niezerowa, czarna dziura wybrzuszałaby się w okolicy równika. Można zatem przypuszczać, że obracający się obiekt, który zapada się i tworzy czarną dziurę, skończy w stanie opisanym przez rozwiązanie Kerra.

W 1970 roku mój kolega i współpracownik Brandon Carter wykonał pierwszy krok w kierunku udowodnienia tego przypuszczenia. Wykazał, że jeśli stacjonarna, obracająca się czarna dziura ma oś symetrii, niczym wirujący bąk, jej rozmiar i kształt zależą tylko od masy i prędkości rotacji. Z kolei ja udowodniłem w 1971 roku, że każda stacjonarna czarna dziura ma oś symetrii. W końcu, w 1973 roku, David Robinson z londyńskiego Kings College wykorzystał prace Cartera i moje, aby ostatecznie wykazać, że przypuszczenie to było prawdziwe: tego typu czarna dziura była w istocie rozwiązaniem Kerra.

Po zapaści grawitacyjnej czarna dziura musi zatem ustabilizować się w stanie, w którym może się obracać wokół własnej osi, a nie pulsować. Co więcej, jej rozmiar i kształt zależą tylko od jej masy



i prędkości rotacji, a nie od charakteru ciała, którego zapaść doprowadziła do powstania czarnej dziury. Ten wynik można wyrazić maksymą „czarna dziura nie ma włosów”. Oznacza to, że w trakcie jej formowania bezpowrotnie znika olbrzymia ilość informacji dotyczących ciała, które się zapadło, ponieważ po powstaniu czarnej dziury możemy określić tylko masę i prędkość rotacji tego ciała. Teoretyczne znaczenie tego wniosku zostanie wyjaśnione w następnym wykładzie. Twierdzenie o braku włosów ma ogromne znaczenie praktyczne, ponieważ poważnie ogranicza liczbę możliwych typów czarnych dziur. Można zatem budować szczegółowe modele obiektów, które mogą zawierać czarne dziury, i porównywać przewidywania z rzeczywistymi obserwacjami.

Czarne dziury należą do tych nielicznych przypadków w historii nauki, w których najpierw istniała teoria w formie bardzo szczegółowych modeli matematycznych, a dopiero potem potwierdzono jej prawidłowość na podstawie dokonanych obserwacji rzeczywistości. Był to jeden z głównych argumentów przeciwników czarnych dziur. Pytali oni, jak można wierzyć w istnienie obiektów, których jedynym potwierdzeniem były obliczenia matematyczne oparte na wątpliwej teorii względności.

Niemniej jednak w 1963 roku pracujący w kalifornijskim obserwatorium Mount Palomar astronom Maarten Schmidt dostrzegł błąd, przypominający gwiazdę obiekt, położony w punkcie zbliżonym do źródła fal radiowych o symbolu 3C273 — czyli źródła zarejestrowanego pod numerem 273 w trzecim katalogu źródeł radiowych, opracowanym w Cambridge. Kiedy zmierzył przesunięcie światła tego obiektu w stronę czerwieni, odkrył, że jest ono zbyt duże, by mogło być spowodowane oddziaływaniem pola grawitacyjnego: gdyby było to przesunięcie grawitacyjne, obiekt musiałby być tak masywny i położony tak blisko nas, że zaburzałby kształt orbit planet w Układzie Słonecznym. Przesunięcie w stronę czerwieni musiało więc być efektem rozszerzania się wszechświata, a to z kolei oznaczało, że obiekt jest bardzo oddalony

od Ziemi. Żeby być widocznym z tak dużej odległości, musiał być niezwykle jasny i emitować ogromną ilość energii.

Jedynym znanym człowiekowi mechanizmem, który mógł wytworzyć tak ogromną ilość energii, była grawitacyjna zapaść nie pojedynczej gwiazdy, lecz całego regionu centralnego galaktyki. Od czasu odkrycia Schmidta znaleziono wiele takich quasi-gwiazd (ang. *quasi stellar objects*), czyli kwazarów, charakteryzujących się bardzo dużym przesunięciem światła w stronę czerwieni. Wszystkie one znajdują się jednak bardzo daleko, a ich obserwacja jest zbyt trudna, by mogła dostarczyć rozstrzygających dowodów na istnienie czarnych dziur.

Kolejny dosyć przekonujący dowód przedstawiła w 1967 roku Jocelyn Bell — doktorantka z Cambridge, która odkryła pewne obiekty, emitujące w regularnych odstępach fale radiowe. Na początku Jocelyn i jej promotor, Anthony Hewish, myśleli, że nawiązali kontakt z obcą cywilizacją. Pamiętam nawet, że podczas seminarium, na którym poinformowali o swoim odkryciu, określili pierwsze cztery źródła pulsującego promieniowania symbolami LGM 1–4, gdzie skrót LGM oznaczał małe zielone ludziki (ang. *Little Green Men*).

Później jednak trzeba było się pogodzić ze znacznie mniej romantycznym wnioskiem, że obiekty te — którym nadano nazwę pulsarów — są w istocie obracającymi się wokół własnej osi gwiazdami neutronowymi. Pulsowanie emitowanych przez nie fal radiowych jest wynikiem skomplikowanych interakcji między polem magnetycznym gwiazdy a otaczającą je materią. Była to zła wiadomość dla autorów kosmicznych westernów, ale obudziła nadzieję w sercach niewielkiej garstki osób, które w tamtych czasach wierzyły w istnienie czarnych dziur. Był to bowiem pierwszy przekonujący dowód na istnienie gwiazd neutronowych. Promień takiej gwiazdy wynosi zaledwie kilkanaście kilometrów i jest tylko kilka razy większy niż promień krytyczny, poniżej którego gwiazda staje się

czarną dziurą. Skoro jakaś gwiazda mogła się zapaść do tak małych rozmiarów, inne mogły równie dobrze skurczyć się jeszcze bardziej i przekształcić się w czarne dziury.

Czy można mieć nadzieję, że czarna dziura kiedykolwiek zostanie odkryta, skoro z samej definicji nie emituje ona żadnego światła? Przypomina to trochę szukanie czarnego kota w piwnicy pełnej węgla. Na szczęście istnieje pewien sposób, ponieważ — jak zauważył John Michell w swojej pionierskiej pracy z 1783 roku — czarna dziura wciąż oddziałuje grawitacyjnie na pobliskie obiekty. Astronomowie zaobserwowali wiele układów, w których dwie gwiazdy krążą wokół siebie nawzajem, uwięzione we własnych polach grawitacyjnych. Zaobserwowali również układy, w których widoczna gwiazda orbituje wokół jakiegoś niewidzialnego obiektu.

Nie można oczywiście natychmiast wyciągać z tego wniosku, że ów niewidzialny obiekt jest czarną dziurą. Równie dobrze może być gwiazdą tak słabo świecąca, że aż niedostrzegalną. Niemniej jednak niektóre z tych układów, jak na przykład Łabędź X-1, są równocześnie silnymi źródłami promieniowania rentgenowskiego. Najlepszym wytłumaczeniem tego zjawiska jest mechanizm, w którym promienie rentgenowskie są generowane przez materię wyrzuconą z powierzchni widocznej gwiazdy. Kiedy materia ta opada w kierunku niewidocznego obiektu, zostaje wprawiona w ruch wirowy — podobnie jak woda wypływająca z umywalki — i rozgrzewa się do bardzo wysokiej temperatury, emitując promienie Roentgena. Aby ten mechanizm zadziałał, niewidoczny obiekt musi być bardzo mały — tak mały jak biały karzeł, gwiazda neutronowa albo czarna dziura.

Na podstawie obserwowalnego ruchu widzialnej gwiazdy można określić najmniejszą możliwą masę niewidocznego obiektu. W przypadku Łabędzia X-1 jest ona mniej więcej sześciokrotnością masy Słońca. Jeśli wziąć pod uwagę granicę Chandrasekhara, obiekt ten jest zbyt duży, żeby być białym karłem. Ma również zbyt dużą

masę, żeby być gwiazdą neutronową. Wydaje się zatem, że musi być czarną dziurą.

Istnieją także inne modele wyjaśniające zachowanie układu Łabędzia X-1, które nie przewidują istnienia w nim czarnej dziury, ale wszystkie one są nieco naciągane. Czarna dziura wydaje się jedynym sensownym wytłumaczeniem dokonanych obserwacji. Mimo to założyłem się z Kipem Thornem z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego, że Łabędź X-1 nie zawiera czarnej dziury. Traktuję ten zakład jak swego rodzaju polisę ubezpieczeniową. Włożyłem wiele wysiłku w badania nad czarnymi dziurami i poszedłby on na marne, gdyby się okazało, że czarne dziury jednak nie istnieją. W takim przypadku pocieszeniem byłby dla mnie wygrany zakład, w wyniku którego otrzymałbym czteroletnią prenumeratę magazynu „Private Eye”.

Jeśli okaże się, że czarne dziury istnieją, Kip dostanie ode mnie tylko roczną prenumeratę „Penthouse’a”, ponieważ kiedy zawieraliśmy zakład w 1975 roku, byliśmy w 80% pewni, że Łabędź zawiera jednak czarną dziurę. Powiedziałbym, że w obecnie pewność ta sięga 95%, ale zakład nie został jeszcze rozstrzygnięty.

Istnieją dowody na istnienie czarnych dziur w wielu innych układach w naszej galaktyce oraz na istnienie znacznie większych czarnych dziur w centrach innych galaktyk i kwazarów. Można również rozważyć możliwość istnienia czarnych dziur o masach mniejszych niż masa Słońca. Takie czarne dziury nie byłyby skutkiem zapaści grawitacyjnej gwiazdy, ponieważ ich masy byłyby poniżej granicy Chandrasekhara. Gwiazdy o tak niewielkiej masie byłyby w stanie obronić się przed działaniem własnej grawitacji nawet po wypaleniu całego paliwa jądrowego. Wobec tego czarne dziury o małych masach mogą powstawać tylko w wyniku kompresji materii pod wpływem ogromnego ciśnienia zewnętrznego. Takie warunki mogą zaistnieć w czasie wybuchu bardzo dużej bomby wodorowej. Fizyk John Wheeler obliczył kiedyś, że gdyby

wziąć całą ciężką wodę ze wszystkich oceanów świata, można by zbudować bombę wodorową, która ścieśniłaby materię w swoim środku tak bardzo, że powstałaby czarna dziura. Niestety, po eksplozji takiej bomby nie pozostałby nikt, kto mógłby tę czarną dziurę obserwować.

Bardziej prawdopodobne jest powstawanie małych czarnych dziur w wysokiej temperaturze i ciśnieniu, panujących na wczesnym etapie rozwoju wszechświata. Czarne dziury mogłyby się formować, gdyby młody wszechświat nie był całkowicie gładki i jednorodny, ponieważ w takiej sytuacji pewne obszary o ponadprzeciętnej gęstości mogłyby ulec kompresji właśnie do postaci czarnej dziury. Wiemy, że takie nieregularności musiały istnieć, ponieważ w przeciwnym razie cała materia we wszechświecie byłaby do dzisiaj rozłożona w doskonale równomierny sposób, a nie zgromadzona w gwiazdach i galaktykach.

To, czy nieregularności konieczne do wyjaśnienia istnienia gwiazd i galaktyk doprowadziły także do powstania dużej liczby pierwotnych czarnych dziur, zależy od pewnych szczególnych warunków, panujących w młodym wszechświecie. Gdybyśmy zatem potrafili określić, ile pierwotnych czarnych dziur istnieje w dzisiejszych czasach, dowiedzielibyśmy się wielu rzeczy o pierwszych chwilach istnienia wszechświata. Pierwotne czarne dziury o masie mniejszej niż miliard ton — odpowiadającej masie dużej góry — można by wykryć tylko drogą obserwacji ich grawitacyjnego oddziaływania na obiekty widzialne lub na przebieg ekspansji wszechświata. Niemniej jednak czarne dziury wcale nie są zupełnie czarne, o czym będzie mowa w następnym wykładzie. Żarzą się jak gorące ciało, a im są mniejsze, tym mocniej świecą. Paradoksalnie, mniejsze czarne dziury mogą się więc okazać łatwiejsze do wykrycia niż duże obiekty tego typu.



# 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** 



## Teoria wszystkiego

Nie tak dawno temu w całkiem nieodległej galaktyce naukowcy postanowili zmierzyć się z siłami natury, zarówno tymi, których działanie możemy obserwować w życiu codziennym — elektromagnetyzmem i grawitacją, jak i tymi, których zasięg jest znacznie mniej zauważalny — silnymi i słabymi oddziaływaniami jądrowymi. Celem tej utarczki było udowodnienie, że tak naprawdę wcale nie są to cztery odrębne typy oddziaływań, ale jedna siła, manifestująca się na różne sposoby.

Po co komu te wszystkie teoretyczne wywody? Naukowcy mają nadzieję, że dzięki temu uda się odkryć, czy wszechświat powstał według jakiegoś sensownego projektu, czy jest po prostu dziełem przypadku. Jedni twierdzą, że to porywanie się z motyką na słońce, inni zaś uważają, że spójna i jednolita kwantowa teoria grawitacji, opisująca wszystkie cechy kosmosu i procesy w nim zachodzące, stanowi klucz do zrozumienia wszechświata oraz miejsca, jakie zajmuje w nim człowiek. Dlatego właśnie nazwano ją teorią wszystkiego.

## Teoria wszystkiego według Hawkinga

Czy sformułowanie teorii wszystkiego jest rzeczywiście możliwe? Stephen Hawking przez wiele lat naukowej kariery był przekonany, że to zadanie wykonalne. A jednak nawet wielcy miewają czasem wątpliwości...

Niezwykły naukowiec w serii krótkich i pasjonujących wykładów referuje nam historię wszechświata od samych jego narodzin w chwili Wielkiego Wybuchu. W zajmujący sposób i z poczuciem humoru opowiada o tym, jak człowiek postrzegał kosmos setki, a nawet tysiące lat temu i jak nasza wiedza stopniowo ewoluowała — od Arystotelesa, przez Kopernika i Galileusza, aż po Newtona, Einsteina i Hubble'a. Wyjawia, jak odkryto, że wszechświat wcale nie jest statyczny, lecz nieustannie się rozszerza, a także przewiduje konsekwencje tego procesu. Zdradza najściślej chronione tajemnice czarnych dziur, o których mówi, że badanie ich jest jak szukanie czarnego kota w piwnicy pełnej węgla. To dopiero początek całej zabawy... ale o tym musisz przeczytać już sam.

**STEPHEN HAWKING** — brytyjski astrofizyk, kosmolog i teoretyk — jest bez wątpienia jednym z największych umysłów na świecie, wielkim popularyzatorem nauki i genialnym naukowcem. Choć przez większość swego życia zmaga się ze stwierdzeniem zanikowym bocznym, które wywołało u niego niemal całkowity paraliż, nie przeszkodziło mu to zostać profesorem matematyki na uniwersytecie w Cambridge, członkiem Towarzystwa Królewskiego, Papieskiej Akademii Nauk i laureatem niezliczonej ilości nagród.

*(...) przewyciężył wyniszczającą chorobę, by stać się supergwiazdą światowej fizyki. Pozbawiony możliwości sprawnego mówienia i pisania, sięga wzrokiem poza Wielki Wybuch, podglądając „taniec geometrii”, którego efektem było powstanie wszechświata.*

**Timothy Ferris, „Vanity Fair”**

*(...) potrafi wyjaśniać zawiłości kosmologii w fascynującym stylu, będącym mieszanką klarowności i humoru. To umysł o niespotykanej sile.*

**„The New York Review of Books”**

*(...) bez wątpienia posiada wrodzone cechy dobrego nauczyciela — łagodne poczucie humoru i umiejętność ilustrowania nawet najbardziej skomplikowanych koncepcji analogiami zaczepniętymi z życia codziennego.*

**„The New York Times”**

ebook dostępny na:

**ebookpoint**

ISBN 978-83-8322-008-6



9 788383 220086

ceną: 39,00 zł