

ROZDZIAŁ CZWARTY

ODKRYCIE XX WIEKU (cz. 1)

24 kwietnia 1992 r. gazety na całym świecie poinformowały o przełomie dokonanym przez pewien amerykański zespół badawczy. Odkrycie to przez pięć kolejnych dni trafiało na pierwszą stronę gazety *The London Times*. Amerykańskie sieci telewizyjne poświęciły tej historii aż czterdzieści minut w wiadomościach w czasie największej oglądalności.

Reakcje naukowców

O co było tyle hałasu? Zespół astrofizyków poinformował o najnowszych odkryciach satelity Cosmic Background Explorer (COBE) – które były oszałamiającym potwierdzeniem stworzenia w postaci gorącego Wielkiego Wybuchu.

Uczeni oceniali to wydarzenie w samych superlatywach. Carlos Frenk z brytyjskiego Durham University, wykrzyknął: „[To] najbardziej ekscytująca rzecz, jaka wydarzyła się w moim życiu jako kosmologa”.¹ Profesor matematyki z Uniwersytetu Cambridge, Stephen Hawking, znany z powściągliwości, tym razem powiedział: „Jest to odkrycie stulecia, jeśli nie wszechczasów”.² Michael Turner, astrofizyk z University of Chicago i Fermilabu, nazwał to odkrycie „niewiarygodnie ważnym... Nie można przecenić jego znaczenia. Znalezione Świętego Graala kosmologii”.³

¹ Nigel Hawkes, „Hunt On for Dark Secret of Universe”, *London Times* 25 (April 1992), s. 1.

² *Ibid.*

³ The Associated Press, „U.S. Scientists Find a «Holy Grail»: Ripples at Edge of the

Metafora Turnera była echem znanego tematu. George Smoot, astronom z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley i kierownik projektu satelity COBE, oświadczył: „Odkryliśmy fakt świadczący o narodzinach wszechświata.”⁴ I dodał: „Jest to jak patrzenie na Boga”.⁵

Mnożyły się wypowiedzi o teistycznym charakterze. Według historyka nauki, Frederica B. Burnhama, społeczność uczonych była gotowa uznać ideę, że Bóg stworzył wszechświat, za „dzisiaj bardziej godną szacunku hipotezę niż kiedykolwiek w ciągu ostatnich stu lat”.⁶ Ted Koppel w „Nightline” stacji ABC rozpoczął wywiad z pewnym astronomem i fizykiem od zacytowania dwóch pierwszych wersetów Księgi Rodzaju. Fizyk ten natychmiast dodał werset trzeci, jako również istotny dla tego odkrycia.

Astronomów, którzy nie wyciągają teistycznych lub deistycznych wniosków, można coraz rzadziej spotkać i zgadzają się oni, że obecna fala jest niezgodna z ich przekonaniem. Geoffrey Burbidge z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego skarży się, że jego koledzy-astronomowie spieszą się, by wstąpić do „Pierwszego Kościoła Chrystusa Wielkiego Wybuchu”.⁷

Dowody Wielkiego Wybuchu

Całe to podekscytowanie zostało wywołane odkryciami satelity COBE, które pomogły rozwiązać uporczywą tajemnicę modelu Wielkiego Wybuchu dotyczącą pochodzenia i rozwoju Wszechświata. Odkrycia te potwierdziły model Big Bangu (w rzeczywistości zestaw modeli) i pozwoliły go dopracować.

Zasadniczo model gorącego Wielkiego Wybuchu mówi, że cały fizycz-

Universe”, *International Herald Tribune* (London), (24 April 1992), s. 1.

⁴ The Associated Press, „U.S. Scientists...”, s. 1.

⁵ Thomas H. Maugh II, „Relics of «Big Bang» Seen for First Time”, *Los Angeles Times* 24 April 1992, A1, A30.

⁶ David Briggs, „Science, Religion, Are Discovering Commonality in Big Bang Theory”, *Los Angeles Times* 2 May 1992, B6–B7.

⁷ Stephen Strauss, „An Innocent’s Guide to the Big Bang Theory: Fingerprint in Space Left by the Universe as a Baby Still Has Doubters Hurling Stones”, *The Globe and Mail* (Toronto), 25 April 1992, s. 1.

ny wszechświat – cała masa i energia, a nawet cztery wymiary przestrzeni i czasu – nagle pojawił się ze stanu nieskończonej lub bliskiej nieskończoności gęstości, temperatury i ciśnienia. Wszechświat rozszerzył się z objętości znacznie mniejszej niż kropka na końcu tego zdania. I nadal się rozszerza.

Przed kwietniem 1992 roku astrofizycy wiedzieli bardzo dużo o tym, jak powstał wszechświat. Brakowało tylko jednego małego, ale ważnego elementu. To tak, jakby wiedzieli, jak jakaś maszyna została złożona w całość i jak działała, z wyjątkiem jednej części. Wiedzieli, jak ta część powinna wyglądać i wiedzieli mniej więcej, gdzie jej szukać. Satelita COBE (patrz rysunek 4.1) został zaprojektowany specjalnie po to, aby znaleźć tę brakującą część, a konkretnie – wyjaśnienie, w jaki sposób galaktyki powstają po Wielkim Wybuchu.

Właściwie cały ten mechanizm i wiele jego podstawowych elementów przewidzieli fizycy pracujący w pierwszej połowie XX wieku. Richard Tolman w 1922 r. uznał, że skoro wszechświat się rozszerza, to musi się on ochładzać z wyjątkowo wysokiej temperatury początkowej.⁸ Prawa termodynamiki mówią, że każdy rozszerzający się system musi jednocześnie stygnąć. George Gamow w 1946 r. odkrył, że tylko gwałtowne ochłodzenie kosmosu z niemal nieskończonej temperatury może wyjaśnić, w jaki sposób połączyły się protony i neutrony, tworząc wszechświat, który dziś składa się z około 72% wodoru, 25% helu i 3% cięższych pierwiastków.⁹

Kosmiczny piekarnik

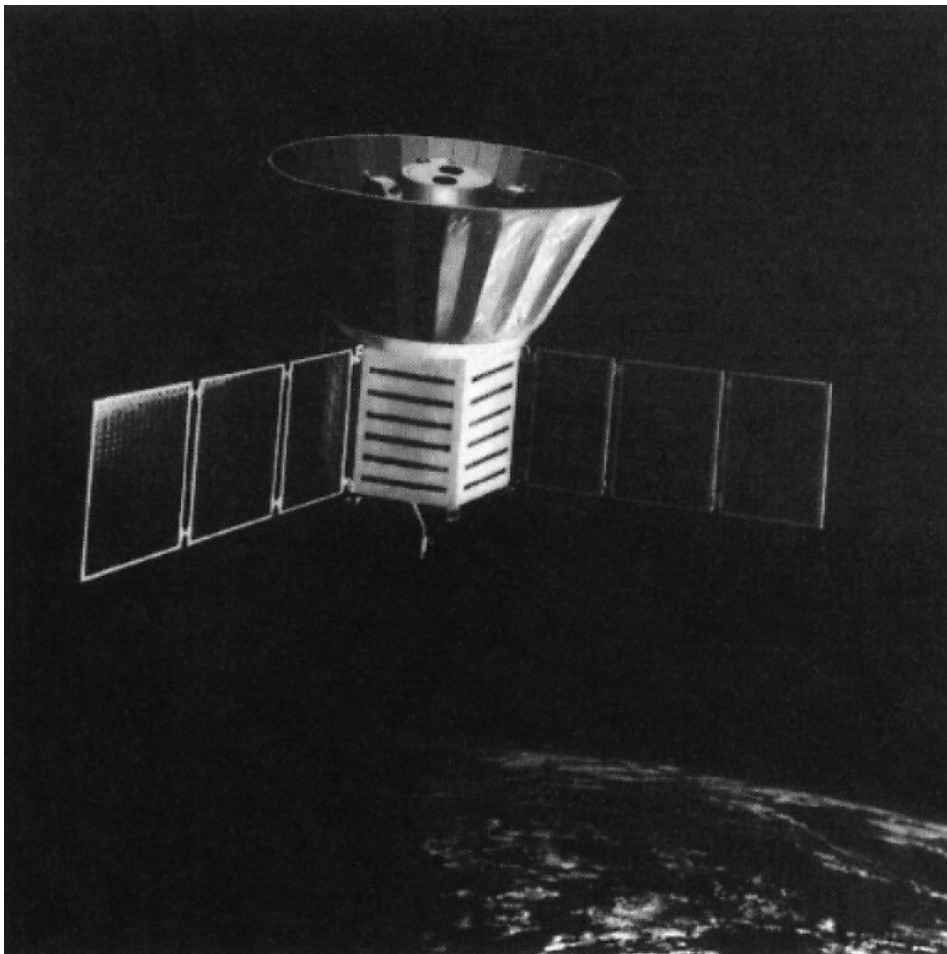
Astronomowie wiedzieli na podstawie dedukcji przeprowadzonych przez Tolmana i Gamowa, że początek i dalszy rozwój wszechświata przypominał rozgrzany piekarnik w kuchni. Gdy drzwiczki piekarnika są otwarte, ucieka z niego ciepło, które znajdowało się w środku. W miarę jak ciepło wydostaje się z piekarnika, zachodzi tzw. dyssypacja, rozpraszanie się ciepła. Energia promienista, która wcześniej była ograniczona do niewielkiej objętości,

⁸ Richard C. Tolman, „Thermodynamic Treatment of the Possible Formation of Helium from Hydrogen”, *Journal of the American Chemical Society* 1922, vol. 44, s. 1902–1908.

⁹ George Gamow, „Expanding Universe and the Origin of the Elements”, *Physical Review* 1946, vol. 70, s. 572–573.

teraz rozchodzi się po znacznie większej objętości kuchni. W ten sposób wewnątrz piekarnika w końcu ochładza się do temperatury pomieszczenia, które jest teraz tylko trochę cieplejsze, niż było wcześniej.

Znając najwyższą temperaturę wewnątrz piekarnika, jego objętość i objętość pomieszczenia, w którym rozprasza się ciepło piekarnika, można określić, jak bardzo nagrzeje się to pomieszczenie.



Rysunek 4.1: Satelita Cosmic Background Explorer (COBE)

– dzięki uprzejmości Jet Propulsion Laboratory, NASA.

Gdyby ktoś używał otwierania drzwiczek piekarnika do suszenia wilgotnych ręczników, należałoby kontrolować temperaturę piekarnika, a także szybkość, z jaką piekarnik rozprasza ciepło w pomieszczeniu. Gdyby piekarnik był zbyt gorący lub to rozpraszanie było zbyt wolne, ręczniki by się przypaliły. Ale gdyby piekarnik był zbyt chłodny lub rozpraszanie ciepła zbyt szybkie (na przykład gdyby pokój był za duży lub ręczniki znajdowały się za daleko), ręczniki pozostaną mokre.

Podobnie gdyby wszechświat rozszerzał się zbyt wolno, połączyłoby się zbyt wiele nukleonów (protonów i neutronów), tworząc cięższe pierwiastki. Spowodowałyby to zbyt małą liczbę lżejszych pierwiastków niezbędnych dla procesów biochemicznych. Z drugiej strony, gdyby ekspansja była szybsza, zbyt wiele nukleonów łączyłoby się w lżejsze pierwiastki. To by skutkowało zbyt małą ilością cięższych pierwiastków niezbędnych dla tych procesów.

Wykorzystując analogię z piekarnikiem, uczeni zespołu badawczego Gamowa w 1948 r. obliczyli, jakie temperatury były konieczne, by uzyskać obecnie obserwowaną obfitość pierwiastków. Doszli do wniosku, że w całym wszechświecie powinna występować słaba poświata mierząca tylko około 5 stopni Celsjusza powyżej zera absolutnego (czyli powyżej -273° Celsjusza lub -460° Fahrenheita).¹⁰

W tamtym czasie tak niska temperatura znajdowała się zdecydowanie poza możliwościami pomiarów teleskopowych i detektorów. Ale w 1964 roku Arno Penzias i Robert Wilson skonstruowali instrument, który z powodzeniem zmierzył na radiowych długościach fal tzw. promieniowanie tła (tj. ciepło) wynoszące około 3° Celsjusza powyżej zera bezwzględnego.¹¹ Po tym pierwszym odkryciu kosmiczne promieniowanie tła było mierzone ze znacznie większą dokładnością i na znacznie większej liczbie długości fal.¹² Jednak na

¹⁰ Ralph A. Alpher and Robert C. Herman, „Evolution of the Universe”, *Nature* 1948, vol. 162, s. 774–775.

¹¹ Arno A. Penzias and Robert W. Wilson, „A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s”, *Astrophysical Journal* 1965, vol. 142, s. 419–421; Robert H. Dicke *et al.*, „Cosmic Black-Body Radiation”, *Astrophysical Journal* 1965, vol. 142, s. 414–419.

¹² George F. Smoot, „Comments and Summary on the Cosmic Background Radiation”, w: G.O. Abell and G. Chincarini (eds.), **Early Evolution of the Universe and Its Present Structure**, *Proceedings of the International Astronomical Union Symposium* No. 104, Reidel

większości długości fal kosmiczne promieniowanie tła nie było wykrywane, ponieważ jest zablokowane przez ziemską atmosferę. Tylko teleskop działający w kosmosie mógł je obserwować wystarczająco dobrze.

Pierwsze odkrycie COBE

Pierwsze wyniki COBE, ogłoszone w styczniu 1990 roku,¹³ wykazały, że Wszechświat można traktować jako idealny promiennik, rozpraszający praktycznie całą dostępną energię (patrz rys. 4.2). Dane pokazały, że temperatura promieniowania tła jest bardzo niska i gładka. Nie wykryto w temperaturze tego promieniowania żadnych nieregularności większych niż jedna część na 10 000.

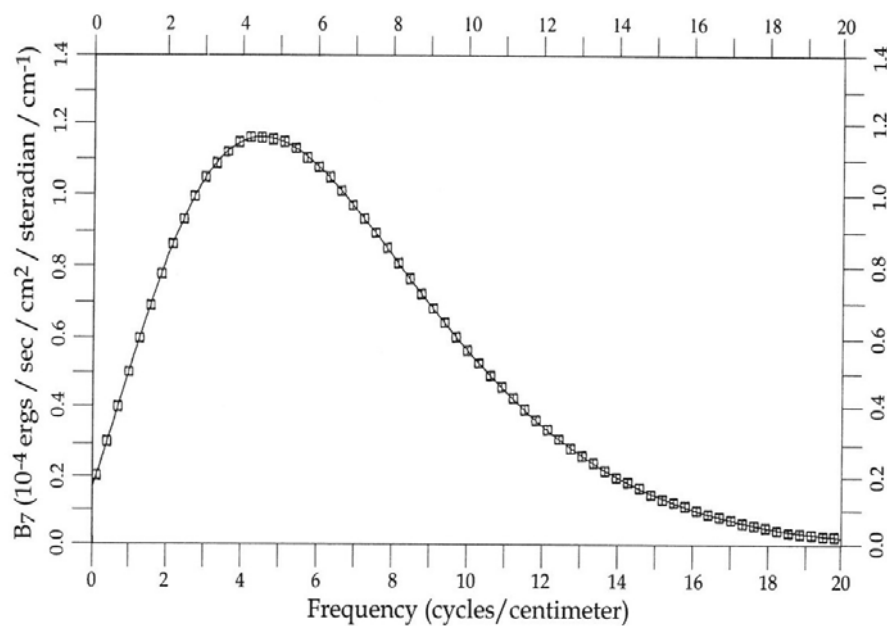
Ta niezwykle niska i gładka temperatura kosmicznego promieniowania tła przekonała astronomów, że wszechświat musiał mieć niezwykle gorący początek około 15 do 20 miliardów lat temu. Odkrycie to zasadniczo wykluczyło wiele alternatywnych modeli początku wszechświata, takich jak model stanu stacjonarnego (patrz rozdział 7). W jaki sposób naukowcy byli w stanie wywnioskować z tych odkryć COBE, że wszechświat miał gorący i stosunkowo niedawny początek? Pewne wskazówki uzyskamy powracając do naszej analogii z piekarnikiem kuchennym.

Załóżmy, że piekarnik otoczyliśmy tysiącami termometrów, przy czym każdy został umieszczony w dokładnie tej samej odległości od piekarnika. Załóżmy również, że jakiś czas po nagraniu, wyłączeniu piekarnika i otwarciu jego drzwi każdy termometr wskazywał dokładnie tę samą temperaturę. Jedy-
nym możliwym wnioskiem, jaki moglibyśmy wyciągnąć w tej sytuacji, byłoby to, że przepływ ciepła z komory piekarnika do pomieszczenia całkowicie zdominował normalny, zaburzający temperaturę przepływ powietrza w pomieszczeniu. Taka dominacja sugeruje, że pierwotna temperatura w komorze piekarnika musiała być znacznie wyższa niż temperatura w pomieszczeniu. Po-

Publishing, Dordrecht, Holland; Boston, MA 1983, s. 153–158.

¹³ Craig J. Hogan, „Experimental Triumph”, *Nature* 1990, vol. 344, s. 107–108; J. C. Mather *et al.*, „A Preliminary Measurement of the Cosmic Microwave Background Spectrum by the Cosmic Background Explorer (COBE) Satellite”, *Astrophysical Journal Letters* 1990, vol. 354, s. L37–L40.

nadto gdyby wszystkie te tysiące termometrów wskazywały na bardzo niską temperaturę, doszlibyśmy do wniosku, że od otwarcia drzwiczek piekarnika minęło sporo czasu.



Rysunek 4.2: Pierwsze pomiary COBE widma kosmicznego promieniowania tła na północnym biegunie galaktycznym nieba.

Zmierzona temperatura promieniowania tła wyniosła $2,735^{\circ}\text{C}$ powyżej zera absolutnego. Odchylenia między wynikami COBE a krzywej widma idealnego promiennika wynosiły mniej niż 1% w całym zakresie obserwowanych częstotliwości.

—Dzięki uprzejmości Johna Mathera, Centrum Lotów Kosmicznych Goddarda, NASA.

Fantastyczna eksplozja

Pomiary temperatury z COBE dostarczają przekonujących danych na gorące pochodzenie kosmosu przed kilkoma miliardami lat. Astronomowie ma-

ją bardzo dobry powód, by zwykle traktować pozytywnie wniosek o tym gorącym początkowym Wielkim Wybuchu.

Chłodna i jednorodna temperatura kosmicznego promieniowania tła oraz to, że jego widmo niemal pokrywa się z widmem idealnego promiennika, dowodzą, że wszechświat uległ ogromnej degradacji energii, typowej dla dużej eksplozji. Degradację energii mierzy się wielkością zwaną entropią. Entropia opisuje stopień, w jakim energia w układzie zamkniętym rozprasza się lub promieniuje (jako ciepło), a tym samym nie nadaje się już do wykonania pracy. Entropia właściwa jest miarą dla konkretnego układu wielkości entropii przypadającej na jeden proton.

Płonąca świeca jest dobrym przykładem systemu generującego dużą entropię, czyli takiego który wydajnie wypromieniowuje energię. Jej specyficzna entropia wynosi około dwu. Tylko bardzo gorące eksplozje mają znacznie wyższą entropię właściwą. Specyficzna entropia wszechświata wynosi około jednego miliarda – jest ogromna i poza wszelkim porównaniem. Nawet wybuchy supernowych, najbardziej entropijnych (i promieniujących) zdarzeń zachodzących obecnie we wszechświecie, mają entropię właściwą sto razy mniejszą.

Tylko gorący Wielki Wybuch może wyjaśnić tak ogromną entropię właściwą wszechświata. (Pozwolę sobie szybko dodać tym, którzy zmartwili się, że wszechświat jest tak „niewydajnym” mechanizmem, że tylko wszechświat z ogromną entropią właściwą może wytworzyć zaobserwowane ilości pierwiastków niezbędnych do życia.¹⁴ Można również wykazać, że gdyby entropia była trochę większa lub trochę mniejsza, gwiazdy i planety nigdy nie pojawiłyby się w historii wszechświata.¹⁵)

Drugie odkrycie COBE

Gładkość kosmicznego promieniowania tła pomogła potwierdzić początek Wszechświata w postaci gorącego Wielkiego Wybuchu. Stanowiła ona jed-

¹⁴ Hugh Ross, *The Fingerprint of God*, 2nd ed. rev., Promise Publishing, Orange, CA 1991, s. 87–88.

¹⁵ *Ibid.*, s. 124.

nak pewien problem dla tego etapu rozwoju, który według szacunków uczonych nastąpił mniej więcej od pół miliarda do miliarda lat po stworzeniu. Astronomowie wiedzieli, że promieniowanie tła nie może być idealnie gładkie. Przynajmniej pewien poziom niejednorodności w kosmicznym promieniowaniu tła jest niezbędny, by wyjaśnić powstawanie gromad gwiazd, galaktyk i gromad galaktyk. Cały szereg wiarygodnych teorii na temat tego, jak mogą powstawać galaktyki, wymagał wahań temperatury mniej więcej dziesięć razy mniejszych niż te, które COBE wykrył w 1990 roku. Na szczęście wyniki ogłoszone 24 kwietnia 1992 roku były od dziesięciu do stu razy dokładniejsze niż pomiary z 1990 roku.

Te nowe udoskonalone pomiary COBE wykazały istnienie nieregularności w promieniowaniu tła dochodzące do około jednej części na 100 000,¹⁶ czyli dokładnie takie, jakie astrofizycy spodziewali się odkryć.¹⁷ Ta brakująca część mechanizmu znajdowała się dokładnie tam, gdzie podejrzewali. Co więcej, pomiary te rozwiązały kilka intrygujących zagadek o samym początkowym Wszechświecie – z czego się składał i jak funkcjonował. Uczni mogli zawęzić teorie powstawania galaktyk do tych, które obejmują zarówno zwykłą materię, jak i niesamowity składnik zwany materią egzotyczną. Więcej na ten temat w rozdziale 5 pt. „Odkrycia XXI wieku”.

Potwierdzenia

Żeby niczego nie opuścić, muszę poinformować, że te niezwykle istotne wyniki COBE (patrz rys. 4.3) spotkały się początkowo z krytyką ze strony kilku astronomów, w tym Geoffreya Burbidge'a.¹⁸ Ale ich sceptycyzm inni astrono-

¹⁶ George F. Smoot *et al.*, „Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps”, *Astrophysical Journal Letters* 1992, vol. 396, L1–L6; C.L. Bennett *et al.*, „Preliminary Separation of Galactic and Cosmic Microwave Emission for the COBE Differential Microwave Radiometers”, *Astrophysical Journal Letters* 1992, vol. 396, L7–L12.

¹⁷ E.L. Wright *et al.*, „Interpretation of the Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropy Detected by the COBE Differential Microwave Radiometer”, *Astrophysical Journal Letters* 1992, vol. 396, L13–L18.

¹⁸ Komentarze Geoffreya Burbidge'a w radiowym talk show „Live from LA” prowadzonym przez Phila Reida w radiostacji KKLA w Los Angeles, CA. Program ten został wyemitowany 11 maja 1992 roku i można było w nim usłyszeć komentarze doktorów G. De Amiciego,

mowie uznali za nieuzasadniony, ponieważ wspomniane nieregularności temperatury pojawiły się przy trzech różnych długościach obserwowanych fal.

W ciągu kilku miesięcy zaczęły gromadzić się potwierdzające dane empiryczne. Przeprowadzono eksperyment przy pomocy balonu, wykonując pomiary przy czterech różnych długościach fal, krótszych niż te trzy zmierzone przez COBE. Wykazał on, że fluktuacje temperatury idealnie pokrywają się z tymi, jakie istnieją na mapach COBE. Edward Cheng, kierujący tym eksperymentem, tak podsumował jego wyniki: „Gdy mamy do czynienia z dwoma zupełnie różnymi układami, jest bardzo mało prawdopodobne, aby przypadkowy szum powodował powstawanie tych samych skupień w tych samych miejscach na niebie”.¹⁹

Dwanaście miesięcy później dwa radiometry działające na Teneryfie (Wyspy Kanaryjskie, Hiszpania) wykryły faktyczną strukturę kosmicznego promieniowania tła. Podczas gdy pomiary COBE i balonowe były wystarczająco czułe, aby ustalić, że fluktuacje kosmicznego promieniowania tła rzeczywiście istniały, to jednak nie były w stanie określić z potrzebną dokładnością lokalizację i wielkości poszczególnych cech. Tę dokładność osiągnięto dzięki całkowicie niezależnym radiometrom pracującym na trzech różnych długościach fal, dłuższych niż długości fal obserwowane przez COBE i instrumenty w eksperymencie balonowym. Skala kątowna (wielkość kąta na niebie, na którym dokonywano pomiary) wynosiła $5,5^\circ$. Wykryto struktury fluktuacji o średnicy dochodzącej do dziesięciu stopni, a amplituda tych struktur była całkowicie zgodna z wcześniejszymi danymi statystycznymi uzyskanymi przez COBE i eksperyment balonowy.²⁰

Kilka tygodni po opublikowaniu wyników z Teneryfy wykryto w skali kątowej około 1° fluktuacje promieniowania tła kosmicznego. Te pomiary są

Geoffreya Burbidge’a, Russella Humphreysa i Hugh Rossa na temat odkrycia niejednorodności Wielkiego Wybuchu.

¹⁹ Ron Cowen, „Balloon Survey Backs COBE Cosmos Map”, *Science News* 1992, vol. 142, s. 420.

²⁰ S. Hancock *et al.*, „Direct Observation of Structure in the Cosmic Background Radiation”, *Nature* 1994, vol. 367, s. 333–338.

również zgodne z odkryciami COBE i eksperymentu balonowego.²¹

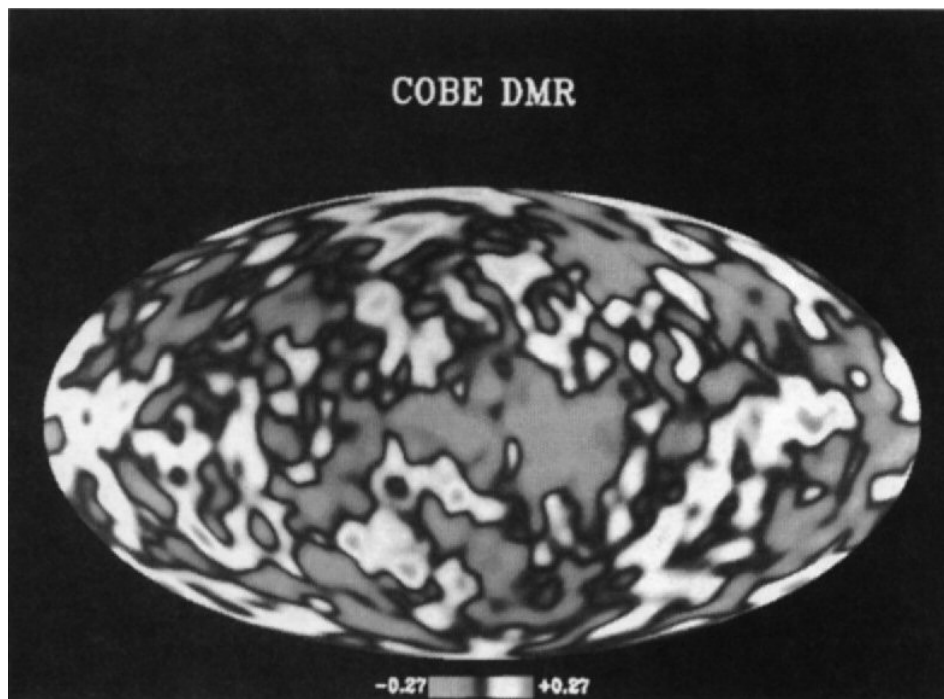
Od tego czasu kilkanaście różnych nowych obserwacji potwierdziło fluktuacje kosmicznego promieniowania tła.²² W rzeczywistości najnowsze obserwacje są tak wysokiej jakości, że rzucają światło również na inne parametry stworzenia, takie jak wartości kosmicznej gęstości masy, stałej kosmologicznej oraz ilości różnych form materii egzotycznej (patrz kolejne dwa

²¹ A.C. Clapp *et al.*, „Measurements of Anisotropy in the Cosmic Microwave Background Radiation at Degree Angular Scales Near the Stars Sigma Herculis and Iota Draconis”, *Astrophysical Journal Letters* 1994, vol. 433, L57–L60.

²² C.L. Bennett *et al.*, „Four-Year COBE Cosmic Microwave Background Observations: Maps and Basic Results”, *Astrophysical Journal Letters* 1996, vol. 464, L1–L4; C.M. Gutiérrez *et al.*, „New Cosmological Structures on Medium Angular Scales Detected with the Tenerife Experiments”, *Astrophysical Journal Letters* 1997, vol. 480, L83–L86; E.S. Cheng *et al.*, „Detection of Cosmic Microwave Background Anisotropy by the Third Flight of the Medium-Scale Anisotropy Measurement”, *Astrophysical Journal Letters* 1997, vol. 488, L59–L62; B. Femenia *et al.*, „The Instituto de Astrofísica de Canarias-Bartol Cosmic Microwave Background Anisotropy Experiment: Results of the 1994 Campaign”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 498, s. 117–136; Angelica de Oliveira-Costa *et al.*, „Mapping the Cosmic Microwave Background Anisotropy: Combined Analysis of QMAP Flights”, *Astrophysical Journal Letters* 1998, vol. 509, L77–L80; C.B. Netterfield *et al.*, „A Measurement of the Angular Power Spectrum of the Anisotropy in the Cosmic Microwave Background”, *Astrophysical Journal* 1997, vol. 474, s. 47–66; S.R. Platt, „Anisotropy in the Microwave Sky at 90 GHz: Results from Python III”, *Astrophysical Journal Letters* 1997, vol. 475, L1–L4; K. Coble *et al.*, „Anisotropy in the Cosmic Microwave Background at Degree Angular Scales: Python V Results”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 519, L5–L8; Bharat Ratra *et al.*, „Using White Dish CMB Anisotropy Data to Probe Open and Flat- Λ CDM Cosmogonies”, *Astrophysical Journal* 505 (1998): 8–11; Joanne C. Baker *et al.*, „Detection of Cosmic Microwave Background Structure in a Second Field with the Cosmic Anisotropy Telescope”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1999, vol. 308, s. 1173–1178; Bharat Ratra *et al.*, „ARGO CMB Anisotropy Measurement Constraints on Open and Flat- Λ Cold Dark Matter Cosmogonies”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 510, s. 11–19; Martin White, John E. Carlstrom, Mark Dragovan, and William L. Holzapfel, „Interferometric Observation of Cosmic Microwave Background Anisotropies”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 514, s. 12–24; Bharat Ratra *et al.*, „Cosmic Microwave Background Anisotropy Constraints on Open and Flat- Λ Cold Dark Matter Cosmogonies from UCSB South Pole, ARGO, MAX. White Dish, and SuZIE Data”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 549–564; E. Torbet *et al.*, „A Measurement of the Angular Power Spectrum of the Microwave Background Made from the High Chilean Andes”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 521, L79–L82; A.D. Miller *et al.*, „A Measurement of the Angular Power Spectrum of the Cosmic Microwave Background from $l = 100$ to 400”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 524, L1–L4; E.M. Leitch *et al.*, „A Measurement of Anisotropy in the Cosmic Microwave Background on 7'–22' Scales”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 532, s. 37–56.

rozdziały).

Niezależne potwierdzenie pochodzi z różnych niedawnych odkryć materii egzotycznej (patrz podtytuł „Odkrycia XXI wieku” w rozdziale 5). Należy pamiętać, że formowanie się galaktyk nie rzuca już żadnych wątpliwości na scenariusz Wielkiego Wybuchu.

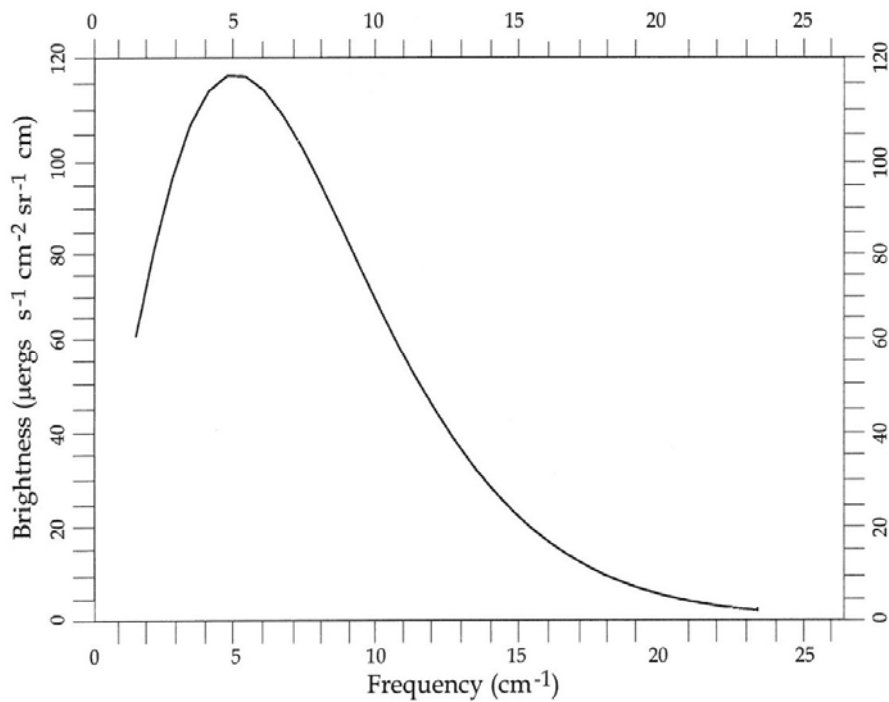


Rysunek 4.3: Mapa mikrofalowa całego nieba sporządzona na podstawie rocznych danych zebranych przez DMR (Differential Microwave Radiometers) COBE

Galaktyka Drogi Mlecznej leży poziomo na środku mapy. Dane ze wszystkich trzech długości fal DMR zostały wykorzystane do modelowania i usuwania emisji z naszej galaktyki. Mapa ta ujawniła po raz pierwszy fluktuacje temperatury w kosmicznym promieniowaniu tła. Amplitudy wahań odpowiadają wyjaśnieniom narodzin i wzrostu galaktyk przy użyciu dużych ilości materii egzotycznej.

— Zdjęcie dzięki uprzejmości Jet Propulsion Laboratory, NASA.

Trzecie odkrycie COBE



Rysunek 4.4: Najnowsze wyniki satelitarne COBE widma kosmicznego promieniowania tła.

Odchylenia między pomiarami COBE a krzywą reprezentującą widmo idealnego promiennika wynoszą w całym zakresie obserwowanych częstotliwości mniej niż 0,03%. Jest to jak dotąd najsilniejszy bezpośredni dowód, że stworzenie miało charakter gorącego Wielkiego Wybuchu.

–Dzięki uprzejmości Johna Mathera, Goddarda, NASA.

Zmierzone odchylenia między wynikami COBE z 1990 r. a widmem idealnego promiennika wynosiły w całym zakresie obserwowanych częstotliwości mniej niż 1% (patrz rysunek 4.2). Dane opublikowane przez zespół badawczy COBE (patrz rysunek 4.4) na spotkaniu Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego w styczniu 1993 r. zmniejszyły to odchylenie do mniej niż

0,03%. Nowe dane dostarczają również najdokładniejszego do tej pory pomiaru temperatury promieniowania kosmicznego tła: 2,726° Kelvina (czyli 2,726°C powyżej zera bezwzględnego). Dokładność tego pomiaru wynosi 0,01°K²³ i jest on całkowicie zgodny z nowszymi niezależnymi pomiarami.²⁴

Te nowe wyniki nie tylko dowodzą, że wszechświat rozpoczął swoje istnienie od gorącego Wielkiego Wybuchu. Mówią nam także, jakiego rodzaju był to gorący Wielki Wybuch. Wyniki z 1990 r. pozostawiały miejsce na możliwość, że Wielki Wybuch mógł być ciągiem jednego po drugim „małych” wybuchów. Nowe wyniki wykluczają taką możliwość. Wszechświat musiał pojawić się w wyniku pojedynczego zdarzenia, które samo odpowiada za co najmniej 99,97% energii promieniowania we wszechświecie.

Biorąc pod uwagę pojedynczy Wielki Wybuch, odpowiadający za tak dużą część promieniowania we wszechświecie, astronomowie wnioskują, że to wahania temperatury w kosmicznym promieniowaniu tła, a nie zakłócenia wynikające z jakichś mniejszych zdarzeń, musiały przekształcić gładki pierwotny kosmos w dzisiejszy wszechświat gromad galaktyk.

Obserwacje stygnięcia wszechświata

Astronomowie mają teraz tak duże teleskopy optyczne, że mogą bezpośrednio obserwować, jak Wszechświat ochładza się w miarę upływu czasu. Znaczy to, że mogą wykazać w bezpośrednich obserwacjach, że w przeszłości wszechświat był gorętszy niż obecnie. Porównując rzeczywiste przeszłe temperatury Wszechświata z temperaturami przewidywanymi przez koncepcję gorącego Wielkiego Wybuchu astronomowie mogą przedstawić prosty i przekonujący dowód, że kosmiczne stworzenie miało miejsce.

Pozwolę sobie wyjaśnić, że temperatura 2,726°K kosmicznego promie-

²³ Ron Cowen, „COBE: A Match Made in Heaven”, *Science News* 1993, vol. 143, s. 43; J.C. Mather *et al.*, „Measurement of the Cosmic Microwave Background Spectrum by the COBE FIRAS Instrument”, *Astrophysical Journal* 1994, vol. 420, s. 439–444.

²⁴ Katherine C. Roth, David M. Meyer, and Isabel Hawkins, „Interstellar Cyanogen and the Temperature of the Cosmic Microwave Background Radiation”, *Astrophysical Journal* 1993, vol. 413, L67-L71.

niowania tła dotyczy bliskich obszarów kosmosu. Ponieważ promieniowanie z dużych odległości dociera do nas dużo później, temperatury na takich odległościach ujawniają, jak ciepły był kosmos we wcześniejszych okresach czasu. Jeśli model gorącego Wielkiego Wybuchu jest poprawny, obserwacje dużych odległości powinny dać znacznie wyższe temperatury kosmicznego promieniowania tła. Z tego powodu astronomowie od dawna pragnęli zmierzyć kosmiczne promieniowanie tła w dużych odległościach.

Pragnienie to spełniło się we wrześniu 1994 roku. Dopiero co otwarty Teleskop Kecka, największy na świecie instrument optyczny, umożliwił astronomom zmierzenie linii widmowych węgla w dwóch obłokach gazu tak odległych, że ich promieniowanie reprezentuje epokę, w której Wszechświat miał mniej więcej jedną czwartą swojego obecnego wieku. Uczni byli w stanie wybrać linie, które zapewniają dokładny pomiar temperatury kosmicznego promieniowania tła. Według modelu gorącego Wielkiego Wybuchu promieniowanie tła dla Wszechświata w tej wczesnej epoce powinno wynosić $7,58^{\circ}\text{K}$. Obserwacje Teleskopu Kecka wykazały $7,4 \pm 0,8^{\circ}\text{K}$.²⁵ Według słów Davida Meyera, astrofizyka z Northwestern University, pomiary te są „uderzająco zgodne z teorią Wielkiego Wybuchu”.²⁶

W grudniu 1996 roku ten sam zespół astronomów wykonał drugi pomiar przy użyciu tej samej techniki na jeszcze bardziej odległym obłoku gazu.²⁷ Zmierzona temperatura wynosiła nieco powyżej 8°K . Model gorącego Wielkiego Wybuchu przewidywał temperaturę $8,105^{\circ}\text{K}$. Niedawno inny zespół zmierzył obłok gazu, którego odległość pokazuje nam wszechświat w około jednej szóstej jego obecnego wieku. Wykryta temperatura promieniowania tła niewiele poniżej 10°K była zgodna z przewidywaniami koncepcji gorącego Wielkiego Wybuchu.²⁸ Po raz kolejny wszystkie pomiary były wyraźnie zgod-

²⁵ Antoinette Songaila *et al.*, „Measurement of the Microwave Background Temperature at Redshift 1.776”, *Nature* 1994, vol. 371, s. 43-45.

²⁶ David M. Meyer, „A Distant Space Thermometer”, *Nature* 1994, vol. 371, s. 13.

²⁷ K.C. Roth, A. Songaila, L.L. Cowie, and J. Bechtold, „C I Fine-Structure Excitation by the CMBR at $z = 1.973$ ”, *American Astronomical Society Meeting*, December 1996, vol. 189, #122.17.

²⁸ R. Srianand, P. Petitjean, and C. Leadoux, „The Cosmic Microwave Background Radiation Temperature at a Redshift of 2.34”, *Nature* 2000, vol. 408, s. 931–935.

ne z teorią Wielkiego Wybuchu.

Album ze zdjęciami Wielkiego Wybuchu

Najłatwiejsze do zdobycia dane empiryczne popierające koncepcję Wielkiego Wybuchu pochodzą ze zdjęć. Za pomocą różnych urządzeń do przetwarzania obrazu można faktycznie cieszyć się serią czegoś w rodzaju poklatkowych zdjęć Wielkiego Wybuchu. Obrazy ukazują wszechświat w różnych fazach jego „dorastania”, podobnie jak aparat poklatkowy rejestruje otwieranie się kwiatu lub jak album ze zdjęciami dokumentuje rozwój człowieka od urodzenia.

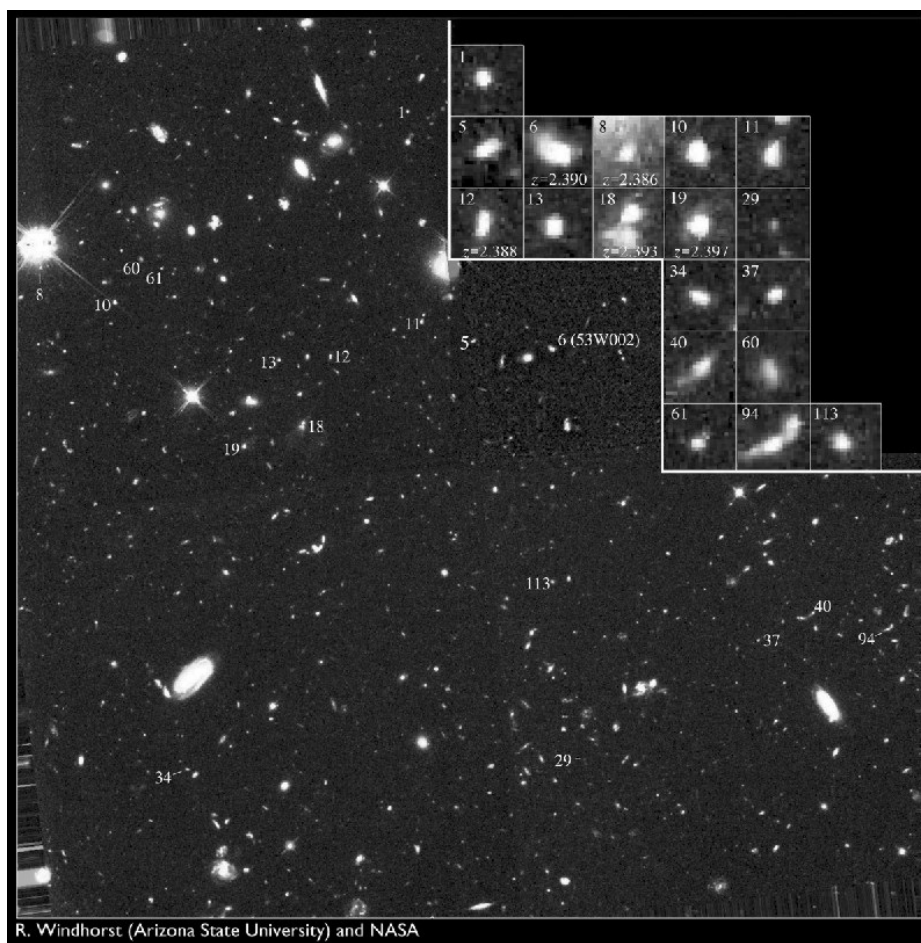
Taki album jest możliwy dzięki temu, że w trakcie podróży światła (czyli promieniowania) upływa pewien okres czasu. Gdy obserwujemy jakąś odległą galaktykę, na przykład odległą o około 5 miliardów lat świetlnych, to jest tak, jak byśmy widzieli tę galaktykę 5 miliard lat temu, kiedy światło docierające obecnie do teleskopu na Ziemi rozpoczynało swoją podróż w kosmosie. Astronomowie spoglądając w daleką przestrzeń kosmiczną mogą jedynie uchwycić momenty z przeszłości, a nie teraźniejszość.

Dzięki Kosmicznym Teleskopom Kecka i Hubble'a astronomowie mają teraz fotograficzną historię wszechświata, która obejmuje prawie 14 miliardów lat. Rozpoczyna się ona, gdy wszechświat miał zaledwie około pół miliarda lat i stopniowo przechodził do „średniego wieku”, w którym wszechświat się obecnie znajduje. Sekwencja obrazów na Rys. 4.5 przedstawia najciekawsze momenty z tego kosmicznego albumu fotograficznego. Zdjęcie (A) pokazuje wszechświat w wieku niemowlęcym, przed powstaniem galaktyk. Obrazy w (B) przedstawiają etap „malucha”, kiedy nowo powstałe galaktyki są tak ciasno upakowane, że odrywają sobie nawzajem spiralne ramiona; potem widzimy młodzieńczy wszechświat, w którym w większości galaktyk nadal powstają nowe gwiazdy i częste są kolizje galaktyk; oraz wejście wszechświata w wiek średni, w czasie którego prawie wszystkie galaktyki przestały tworzyć nowe gwiazdy, a zderzenia galaktyk są rzadkie (C).

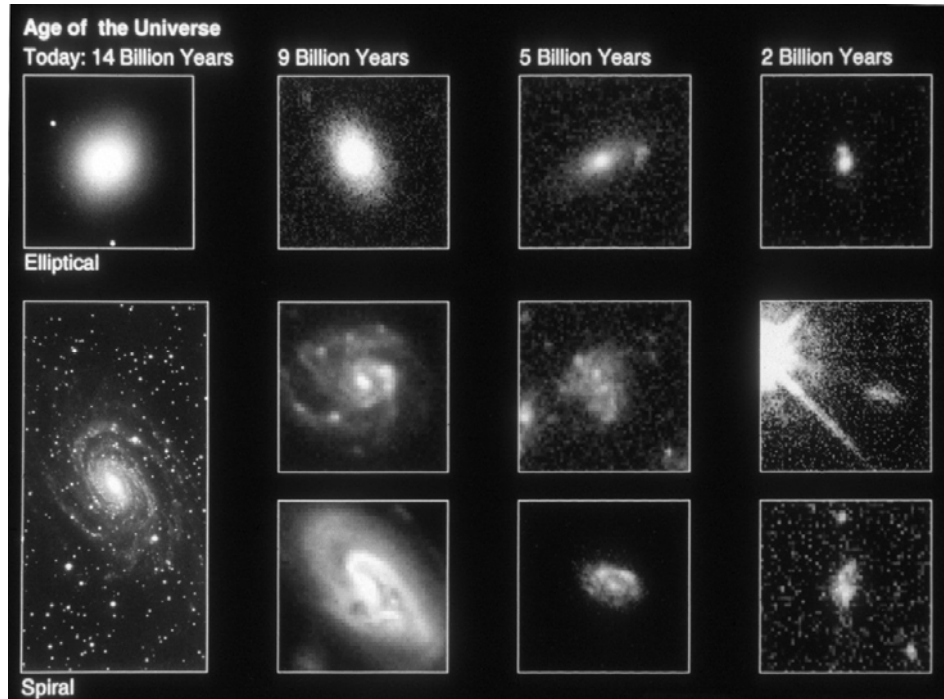
Na szczególną uwagę zasługuje Rys. 4.3. Pokazuje on ten moment w historii kosmosu, kiedy światło po raz pierwszy oddzieliło się od ciemności, zanim zaistniały jakiegokolwiek gwiazdy lub galaktyki. Pokazuje nam wszechświat

w wieku zaledwie 300 000 lat, czyli zaledwie 0,002% obecnego wieku.

A



B



– dzięki uprzejmości R. Windhorsta (Arizona State University) i NASA (lewy górny panel); STScI/NASA (prawy górny panel); i STScI/NASA (dolny panel)

C



Rys. 4.5: Album fotograficzny Historia Wszechświata

(A) Osiemnaście niewyraźnych grup gwiazd pokazanych powyżej znajduje się w trakcie łączenia się w protogalaktykę. Cofamy się około 12 miliardów lat.

(B) Te zdjęcia z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a pokazują galaktyki eliptyczne i spiralne w stadiach mniej więcej równoważnych niemowlęctwu, dzieciństwu, młodości i średniemu wiekowi (czyli jego obecnemu stadium rozwojowemu).

(C) Gdy dwie galaktyki Czulkę zderzają się, odrywają od siebie materię. Takie zderzenia były powszechne w przeszłości, ale są mniej powszechne teraz, gdy wszechświat bardziej się rozszerzył.

Te obrazy świadczą o tym, że wszechświat nie jest statyczny. Rozszerzył się z niewielkiej objętości i zmieniał się rosnąc zgodnie z przewidywalnym schematem, schematem wyznaczonym przez teorię Wielkiego Wybuchu. Obraz wciąż wart jest tysiąca słów, a może i więcej.²⁹

Stworzenie dziesięciowymiarowe

W latach 1980-tych i na początku lat 1990-tych fizycy teoretyczni uznawali, że wymiary długości, szerokości, wysokości i czasu po prostu nie wystarczają dla wszystkich symetrii wymaganych przez teorię grawitację i mechanikę kwantową. W 1996 roku zespół kierowany przez Andrew Stromingera odkrył, że dopiero w dziesięciu wymiarach czasoprzestrzeni (dziewięć wymiarów przestrzeni i jeden wymiar czasu) teoria grawitacji i mechanika kwantowa mogą zgodnie funkcjonować w każdej epoce historii Kosmosu. To teoretyczne wyliczenie zostało następnie poparte kilkoma potwierdzeniami obserwacyjnymi.

Obraz stworzenia, który wyłania się z tego nowego rezultatu, wygląda

²⁹ W 1998 roku organizacja Reasons To Believe wyprodukowała jednogodzinny telewizyjny film dokumentalny pt. Journey Toward Creation [Podróż ku stworzenia], który przedstawił przy pomocy zdjęć astronomicznych, klipów video i animacji komputerowej podróż z planety Ziemia do najbardziej odległych obiektów wszechświata, nawet do samego stworzenia. Płytkę DVD jest dostępna na stronie www.reasons.org.

następująco:

1. W momencie stworzenia w jednej chwili i transcendentnie pojawia się dziesięć wymiarów czasoprzestrzeni. Umiejscowione są one w nieskończenie małej objętości.
2. Wszystkie dziewięć wymiarów przestrzeni gwałtownie się rozszerzają.
3. Po 10^{-43} sekundy (czyli jednej dziesiątej części milionowej z bilionowej z bilionowej z bilionowej części sekundy) po stworzeniu sześć z tych dziewięciu wymiarów przestrzeni przestaje się rozszerzać.
4. Ale wymiary przestrzenne długości, szerokości i wysokości nadal szybko się rozszerzają.

Obecnie sześć małych wymiarów przestrzennych jest bardzo ciasno zwiniętych wokół trzech dużych wymiarów przestrzennych. Wyjątkiem są wnętrza czarnych dziur, poza nimi te niewielkie wymiary przestrzenne nie odgrywają dziś żadnej roli w dynamice wszechświata. Więcej szczegółów na temat odkrycia, że stworzenie miało charakter dziesięciowymiarowy, a nie czterowymiarowy, oraz na temat znaczenia tego odkrycia dla wiary chrześcijańskiej można znaleźć w mojej książce **Beyond the Cosmos**.³⁰

Stabilność gwiazd i orbit dowodzi Wielkiego Wybuchu

Chyba najbardziej konkretnym faktem wspierającym koncepcję Wielkiego Wybuchu jest to, że stabilne orbity i stabilne gwiazdy są możliwe tylko we wszechświecie powstałym wskutek Wielkiego Wybuchu. Życie fizyczne byłoby niemożliwe, gdyby planety nie miały stabilnych orbit, a gwiazdy stabilnie nie paliły się i nie krążyły stabilnie wokół jąder galaktyk.³¹

Taka stabilność wymaga grawitacji, ale nie jakiegokolwiek siły grawitacji, lecz grawitacji działającej zgodnie z prawem odwrotności kwadratu odle-

³⁰ Hugh Ross, **Beyond the Cosmos**, 2nd ed., NavPress, Colorado Springs, CO 1999.

³¹ Hugh Ross and Guillermo Gonzalez, „You Must Be Here”, *Facts for Faith* 2000, vol. 1, no. 1, s. 36–41.

głości. Grawitacja działająca na tym poziomie wymaga trzech dużych, szybko rozszerzających się wymiarów przestrzeni – czyli wymaga wszechświata powstałego wskutek Wielkiego Wybuchu.

W dwóch wymiarach przestrzeni grawitacja podlegałaby innemu prawu (obiekty posiadające masę przyciągałyby się proporcjonalnie do odwrotności dzielącej je odległości). W czterowymiarowej przestrzeni grawitacja podlegałaby jeszcze innemu prawu (ciała przyciągałyby się proporcjonalnie do odwrotności sześcienu dzielącej je odległości). Tak odmienne prawa powodowałyby na przykład, że planety albo zostałyby wyrzucone z rejonów bliskich gwiazd, albo byłyby przez nią pochłonięte.

Z kolei stabilność pod wpływem grawitacji wymaga, aby trzy dynamiczne wymiary przestrzeni były duże (czyli by się znacznie rozwinęły od ich stanu ich pierwotnego ciasnego zwinienia).³² W przeciwnym razie galaktyki znajdowałyby się tak blisko siebie, że siałyby spustoszenie na orbitach gwiazd, a same gwiazdy znajdowałyby się tak blisko siebie, że z kolei siałyby spustoszenie na orbitach planet. Kiedy galaktyki są zbyt blisko siebie, zderzenia galaktyk i ich bliskie spotkania katastrofalnie zaburzają orbity gwiazd. Podobnie, gdy gwiazdy są zbyt blisko siebie, ich wzajemne przyciąganie grawitacyjne katastrofalnie zakłóca orbity krążących wokół nich planet.

Trzy wymiary przestrzeni musiały się rozszerzać w określonym tempie. Wszechświat, który rozszerzałby się zbyt wolno, wytwarzałby tylko gwiazdy neutronowe i czarne dziury. Wszechświat, który rozszerzałby się zbyt szybko, nie wytworzyłby żadnych gwiazd, a tym samym planet i oczywiście stabilnych orbit.

Mamy prosty fakt: ludzie obserwują, że galaktyki, gwiazdy i planety istnieją oraz że charakteryzuje je taka stabilność, która umożliwia ludziom istnienie i obserwowanie gwiazd i galaktyk. Sam ten fakt przemawia już za Wielkim Wybuchem. W rzeczywistości przemawia za określonym podzbiorem modeli Wielkiego Wybuchu.

³² Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, Bantam Books, New York 1988, s. 163–165.

Coraz więcej faktów

Te dwudziestowieczne dane empiryczne przemawiające na rzecz stworzenia poprzez Wielki Wybuch same w sobie są wystarczająco imponujące. Początek XXI wieku przyniósł jeszcze bardziej spektakularne dane popierające i tak już cieszącą się przytłaczającym poparciem biblijną doktrynę o stworzeniu kosmosu. Dane te są tematem następnego rozdziału.

