

ROZDZIAŁ PIĄTY

ODKRYCIA XXI WIEKU

W 1998 roku czasopismo *Science* przyznało „odkryciu stałej kosmologicznej” nagrodę „przełomowego odkrycia roku”.¹ Okazuje się, że ogłoszenie to było przedwczesne. Dopiero w kwietniu 2000 roku stało się jasne, że taka stała musi istnieć.

To, że odkrycie stałej kosmologicznej kwalifikuje się jako przełomowe odkrycie roku, jeśli nie dekady lub stulecia, wynika z tego, że Wielki Wybuch jest czymś najdokładniej zaprojektowanym, co jest znane człowiekowi. Mówiąc słowami fizyka Lawrence'a Kraussa, który deklaruje się jako ateista, stała kosmologiczna „dotyczy najbardziej skrajnego problemu dostrajania, jaki zna fizyka”.²

Co to jest stała kosmologiczna?

Kiedy Albert Einstein po raz pierwszy przedstawił swoją ogólną teorię względności, od razu zauważył, że przewiduje ona rozszerzanie się wszechświata od początkowo nieskończenie małej objętości. Było to wyraźnie niezgodne z panującym wówczas modelem kosmologicznym. Według tego modelu wszechświat istnieje nieskończenie długo i przez ten nieskończony czas trwa w stanie statycznym.

Ta idea nieskończenie starego statycznego wszechświata wyrażała kilka

¹ James Glanz, „Breakthrough of the Year: Cosmic Motion Revealed”, *Science* 1998, vol. 282, s. 2156–2157; Floyd E. Bloom, „Breakthroughs 1998”, *Science* 1998, vol. 282, s. 2193.

² Lawrence M. Krauss, „The End of the Age Problem and the Case for a Cosmological Constant Revisited”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 501, s. 461.

filozoficznych przesądów. Jednym z nich było dostarczanie mechanizmom ewolucji przyrodniczej możliwości nieskończonego długiego działania procesów chemicznych, aby przy wyjaśnianiu pojawienia się życia nie trzeba było odwoływać się do Boga.³

Aby ocalić statyczny model wszechświata, Einstein wprowadził *ad hoc* do równań swojej ogólnej teorii względności pewną stałą kosmologiczną, która doskonale znosi efekty grawitacji w całym wszechświecie.⁴ Kiedy astronomowie udowodnili, że wszechświat rzeczywiście rozszerza się od pewnego kosmicznego początku, Einstein odrzucił zaproponowaną przez siebie stałą kosmologiczną, nazywając ją „największym błędem w swojej karierze naukowej”.⁵

Dzisiaj, ponad 60 lat później, astronomowie wydobyli stałą Einsteina z zapomnienia. Jednak znaczenie, jakie jej przypisują, jest zupełnie inne podobnie jak inne jest uzasadnienie jej przywrócenia.

Czym dokładnie jest stała kosmologiczna? Najlepiej można ją opisać jako własność samorozciągania się czasoprzestrzennej struktury wszechświata. Z istnienia tej stałej wynika, że przestrzeń rozszerza się niezależnie od materii i niezależnie od ciepła lub światła. Co więcej, im większa jest objętość czasoprzestrzenna wszechświata, tym więcej zyskuje on tej rozpychającej energii. Właśnie to powiększanie się energii rozciągającej powoduje, że niektórzy publicyści naukowemu traktują stałą kosmologiczną jako czynnik antygravitacji. Wpływ stałej kosmologicznej na czasoprzestrzenną objętość wszechświata sprawia, że dwa masywne ciała wydają się wzajemnie odpychać. Co więcej, im bar-

³ Hugh Ross, **The Fingerprint of God**, 2nd ed., NavPress, Orange, CA 1991, s. 27–29; Immanuel Kant, „Universal Natural History and Theory of the Heavens”, w: Milton K. Munitz (ed.), **Theories of the Universe**, Free Press, Glencoe, IL 1957, s. 242–247.

⁴ Albert Einstein, „Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* 1917, Feb. 8, s. 142–152. Przekład angielski znajduje się w: H.A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski, and H. Weyl, **The Principle of Relativity** (z uwagami A. Sommerfelda i w tłumaczeniu W. Perretta i G.B. Jeffrey), Methuen and Co., London, UK 1923, s. 175–188; Albert Einstein, „Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie”, *Annalen der Physik* 1916, vol. 49, s. 769–822. Angielskie tłumaczenie znajduje się w: **The Principle of Relativity**..., s. 109–164.

⁵ A. Vibert Douglas, „Forty Minutes with Einstein”, *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* 1956, vol. 50, s. 100.

dziej te dwa ciała są od siebie oddalone, tym silniej będą się wydawać wzajemnie odpychać. Rezultat działania stałej kosmologicznej skłonił Stephena Hawkinga do żartu, że stała kosmologiczna jest odpychająca w obu znaczeniach tego słowa.

W przeciwieństwie do niej grawitacja działa jako hamulec kosmicznej ekspansji. Na lekcjach fizyki w szkole średniej dowiedzieliśmy się, że zgodnie z prawem grawitacji dwa ciała obdarzone masą przyciągają się nawzajem i że im bliżej siebie się one znajdują, tym silniej będą się przyciągać. Ponieważ wszechświat zawiera dużo masy, grawitacja przyciąga do siebie ciała obdarzone masą, a tym samym spowalnia kosmiczną ekspansję.

Kiedy wszechświat był młody, a zatem bardziej zwarty, wpływ grawitacji na dynamikę kosmiczną był potężny, a wpływ stałej kosmologicznej – słaby. Jednak gdy wszechświat jest stary, a tym samym bardziej rozległy, efekt stałej kosmologicznej jest silny, podczas gdy rezultat działania grawitacji jest słaby. Tak więc, gdyby na dynamikę kosmiczną wpływała sama grawitacja, astronomowie zaobserwowaliby, że przez całą kosmiczną historię ekspansja wszechświata ciągle zwalnia. Spowolnienie to byłoby coraz mniejsze w miarę starzenia się wszechświata. Jeśli jednak działa zarówno grawitacja, jak i dodatnia stała kosmologiczna, to astronomowie zobaczą przejście kosmicznej ekspansji od spowolnienia do przyspieszenia.

Odkrycie

Do pomiaru ekspansji Kosmosu w przeszłości wybrano supernowe typu Ia (patrz w dalszej części tego rozdziału podrozdział „Supernowe typu Ia”). Supernowe typu Ia są bardzo jasne i dlatego można je zobaczyć z dużych odległości, które odpowiadają chwilom, gdy Wszechświat był miliardy lat młodszy niż obecnie.

Wszystkie supernowe typu Ia mają identyczną jasność. Tak więc astronomowie, porównując blask, czyli światło, które faktycznie dociera do nas od różnych supernowych typu Ia, mogą określić, jak daleko od nas znajduje się każda z nich. Linie widmowe, które astronomowie mierzą w świetle konkretnej supernowej, mówią im, jak szybko ta supernowa oddala się od nas (patrz w dalszej części tego rozdziału podrozdział „Prędkości przesunięcia ku czerwie-

ni”). Tak więc dzięki pomiarom dziesiątek supernowych typu Ia o bardzo różnym widocznym blasku światła astronomowie mogą określić tempo ekspansji wszechświata w szerokim zakresie minionego czasu. (Czas miniony określa, jak długo trwa podróż światła od supernowej do nas.)

Wyniki zespołu badającego supernowe pod kierunkiem Adama Riessa⁶ doprowadziły do przyznania w 1998 roku nagrody roku za przełomowe odkrycie. Jednak ich analiza nie podjęła próby uwzględnienia niejednorodnego, grudkowatego charakteru wszechświata (obserwacji, że materia we wszechświecie skupia się w galaktyki, gwiazdy i ciemną materię różnych postaci). Jak kosmologowie zauważyli sześćdziesiąt lat temu, każde odejście od idealnie jednorodnego wszechświata (gładkiego rozkładu materii) spowoduje nieco szybsze tempo ekspansji.⁷ Zatem zanim ktoś przypisze sobie odkrycie stałej kosmologicznej, będzie musiał oddzielić szybszą ekspansję spowodowaną kosmicznym skupianiem się materii od ekspansji spowodowanej samą stałą kosmologiczną.

Drugi zespół trzydziestu jeden astronomów, współpracujących w ramach projektu zwanego The Supernova Cosmology Project, opublikował wyniki swoich badań w numerze *Astrophysical Journal* z 1 czerwca 1999 roku.⁸ Uwzględniając dane o czterdziestu dwóch supernowych typu Ia byli w stanie ustalić efekt zlepiania się materii na małą skalę. Wykazali, że stała kosmologiczna musi istnieć we wszystkich realistycznych modelach kosmicznego skupiania się materii. Również zakres niepewności w ich pomiarach był znacznie mniejszy niż w poprzedniej próbie. Biorąc pod uwagę, że supernowe typu Ia są wiarygodnymi wskaźnikami odległości, nie ma podstaw, by wątpić w istnienie stałej kosmologicznej.

Zaledwie kilka dni po tym, jak ten drugi zespół opublikował swój ar-

⁶ Adam G. Riess *et al.*, „Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant”, *Astronomical Journal* 1998, vol. 116, s. 1009–1038.

⁷ Richard C. Tolman and Morgan Ward, „On the Behavior of Non-Static Models of the Universe When the Cosmological Term Is Omitted”, *Physical Review* 1932, vol. 39, s. 841–843; John D. Barrow and Joseph Silk, **The Left Hand of Creation: The Origin and Evolution of the Expanding Universe**, Basic Books, New York 1983, s. 32.

⁸ S. Perlmutter *et al.*, „Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 565–586.

tykuł, zakwestionowano wiarygodność supernowych typu Ia jako wskaźników odległości. Trzej astronomowie z University of California w Berkeley i jeden z Mount Stromlo Observatory w Australii zauważyli, że dla dziesięciu pobliskich erupcji supernowych typu Ia czas potrzebny na osiągnięcie największej jasności był około dwa dni dłuższy niż w przypadku supernowej typu Ia znajdującej się w znacznie większej odległości.⁹ W ciągu następných ośmiu miesięcy pięć innych zespołów badawczych zgłosiło podobne zastrzeżenia oraz wątpliwości dotyczące wpływu pyłu międzygalaktycznego i innych różnic otoczenia na odległe supernowe.¹⁰ W połowie 2000 roku obawy te zostały w dużej mierze rozwiane przez astronomów z Lawrence Berkeley National Laboratory i Space Telescope Science Institute, którzy wykazali, że małe rozbieżności między odległymi i bliskimi supernowymi typu Ia nie miały istotnej różnicy w wiarygodności supernowych typu Ia jako wskaźników odległości.¹¹

Obserwacje supernowych typu Ia wykazały, że tempo ekspansji Wszechświata zmniejszało się przez pierwsze 8-9 miliardów lat jego historii i przyspieszało przez ostatnie 6-7 miliardów lat. Najnowsze dane były na tyle dokładne, że dostarczyły również najlepszych dotychczasowych pomiarów wieku Wszechświata (14,5 lub 14,9 miliarda lat w zależności od metody obliczeń)¹² i gęstości masy w Kosmosie (0,28 tego, co byłoby konieczne do powstrzymania

⁹ James Glanz, „Has a Cosmic Standard Candle Flickered?”, *Science* 1999, vol. 285, s. 19.

¹⁰ Adam G. Riess, Alexei V. Filippenko, Weidong Li, and Brian P. Schmidt, „Is There an Indication of Evolution of Type Ia Supernovae from Their Rise Times?”, *Astronomical Journal* 1999, vol. 118, s. 2668–2674; Hideyuki Umeda, Ken’ichi Nomoto, and Chiaki Kobayashi, „The Origin of the Diversity of Type Ia Supernovae and the Environmental Effects”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 522, L43–L47; Anthony Aguirre, „Intergalactic Dust and Observations of Type Ia Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 525, s. 583–593; Tomonori Totani and Chiaki Kobayashi, „Evolution of Dust Extinction and Supernova Cosmology”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 526, L65–L68; Persis S. Drell, Thomas J. Loredo, and Ira Wasserman, „Type Ia Supernovae, Evolution, and the Cosmological Constant”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 530, s. 593–617.

¹¹ Lev R. Yungelson and Mario Livio, „Supernova Rates: A Cosmic History”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 528, s. 108–117; Greg Aldering, Robert Knop, and Peter Nugent, „The Rise Times of High- and Low-Redshift Type Ia Supernovae Are Consistent”, *Astronomical Journal* 2000, vol. 119, s. 2110–2117.

¹² Perlmutter *et al.*, „Measurements ...”, s. 581.

ekspansji wszechświata).¹³

SUPERNOWE TYPU IA

Supernowa to gwiazda w momencie katastrofalnej eksplozji, która ma miejsce w końcowym stadium spalania paliwa gwiazdowego bardzo masywnych gwiazd. W najjaśniejszym momencie wybuchu supernowa świeci mocniej niż galaktyka składająca się ze stu miliardów gwiazd.

Im masywniejsza eksplodująca gwiazda, tym jaśniejsza eksplozja. Dowolna gwiazda nie zmieni się w supernową, jeśli jej masa pod koniec cyklu spalania nie przekroczy 1,4 masy Słońca.

Supernowa typu Ia to wypalona gwiazda (zwana białym karłem), której masa leży tuż poniżej limitu 1,4 masy Słońca. Zyskuje ona dodatkową masę w wyniku akrecji od gwiazdy towarzyszącej (grawitacja białego karła jest wystarczająco silna, aby oderwać masę od jej towarzysza). Kiedy masa tego białego karła osiągnie limit 1,4 masy Słońca, staje się supernową. Ponieważ wszystkie supernowe typu Ia mają tę samą masę, wszystkie wykazują tę samą maksymalną jasność. Dlatego są dobrymi wskaźnikami odległości.

Co ciekawe, w tym samym numerze *Astrophysical Journal*, w którym ukazał się artykuł zespołu The Supernova Cosmology Project, znalazły się też inne artykuły, które niezależnie potwierdziły pomiary grupy SCP dotyczące wieku i gęstości masy Wszechświata.¹⁴ Trzy dodatkowe artykuły w niedawnych numerach czasopism *Astronomical Journal* i *Astrophysical Journal* podają najdokładniejsze, jak dotychczas, pomiary wieku najstarszych gwiazd w

¹³ Perlmutter *et al.*, „Measurements...”, s. 579.

¹⁴ Bharat Ratra *et al.*, „Cosmic Microwave Background Anisotropy Constraints on Open and Flat-Λ Cold Dark Matter Cosmologies with UCSB South Pole, ARGO, MAX, White Dish, and SuZIE Data”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 549–564; Aaron D. Lewis, E. Ellingson, Simon L. Morris, and R.G. Carlberg, „X-Ray Mass Estimates at $z \sim 0.3$ for the Canadian Network for Observational Cosmology Cluster Sample”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 587–608; Joseph J. Mohr, Benjamin Mathiesen, and August E. Evrard, „Properties of the Intracluster Medium in an Ensemble of Nearby Galaxy Clusters”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 627–649.

naszej galaktyce, w gigantycznej galaktyce M87 oraz w galaktyce karłowatej Fornax. Wiek tych struktur wynosi nieco ponad 13 miliardów lat.¹⁵ Tym samym rozwiązany został głośny niegdyś problem, kiedy to (w 1995 roku) pewne pomiary tempa ekspansji kosmicznej wydawały się wskazywać, że Wszechświat jest miliard lat młodszy od najstarszych gwiazd.¹⁶

PRĘDKOŚCI WYZNACZANE NA PODSTAWIE PRZESUNIĘCIA KU CZERWIENI

Linie, które astronomowie widzą w widmie gwiazdy, wskazują długości fal, przy których pewne pierwiastki i związki chemiczne w gwieździe emitują albo absorbują światło. Jeśli gwiazda zbliża się do nas, grzbiety emitowanych fal zbliżają się do siebie i tym samym fale te wydają się mieć mniejszą długość. Jeśli gwiazda oddala się od nas, grzbiety fal są rozciągnięte i fale wydają się posiadać większą długość. Mierząc wielkość przesunięcia linii widmowych gwiazdy w kierunku większych (to znaczy zbliżonych do czerwonych) długości fal, astronomowie mogą określić prędkość, z jaką ta gwiazda oddala się od nas.

Kanadyjski zespół astronomów kierowany przez Richarda Richera przedstawił niedawno dowody na to, że populacja białych karłów w halo naszej galaktyki jest znacznie większa, niż wcześniej przypuszczano.¹⁷ To by sugerowało, że wszechświat nie może być młodszy niż 14,5 miliarda lat.¹⁸ To z kolei oznacza, że musi istnieć kosmologiczna stała o wartości zbliżonej do po-

¹⁵ Raul Jimenez and Paolo Padoan, „The Ages and Distances of Globular Clusters with the Luminosity Function Method: The Case of M5 and M55”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 498, s. 704–709; David S. Graff, Gregory Laughlin, and Katherine Freese, „MACHOs, White Dwarfs, and the Age of the Universe”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 499, s. 7–19; Judith G. Cohen, John P. Blakeslee, and Anton Ryshov, „The Ages and Abundances of a Large Sample of M87 Globular Clusters”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 496, s. 808–826; R. Buopnanno *et al.*, „The Ages of the Globular Clusters in the Fornax Dwarf Galaxy”, *Astrophysical Journal Letters* 1998, vol. 501, L33–L36.

¹⁶ Hugh Ross, „News Report Hypes Cosmic Age Controversy”, *Facts & Faith* 1994, vol. 8, n. 4, s. 1–2.

¹⁷ *The Vancouver Sun*, October 1, 1999, A1.

¹⁸ *The Vancouver Sun*, October 1, 1999, A1.

danej przez The Supernova Cosmology Project.



– Dzięki uprzejmości Boomerang Collaboration

Rysunek 5.1: Niebo nad Górą Erebus?

Gdyby 35-milimetrowa kamera mogła wykryć światło mikrofalowe, byłby to widok z miejsca startu Boomerangu na Antarktydzie. Zacienione w różnym stopniu plamy pokazują wahania temperatury w kosmicznym mikrofalowym promieniowaniu tła, które pochodzi z epoki stworzenia wszechświata (w ilustracji połączono dwa obrazy).

Płaskość kosmosu została potwierdzona

Na konferencji prasowej 25 kwietnia 2000 r. NASA ogłosiła oczekiwane z niecierpliwością wyniki eksperymentu „Boomerang”. Korzystając z balonów wysłanych z Antarktydy na dużą wysokość, gdzie zimne, suche, rzadkie i stabilne powietrze pozwala przeprowadzać bardzo dokładne pomiary, badacze z NASA zebrali wystarczające dane, aby ustalić, że geometria Wszechświata jest niemal płaska. Szczegóły tych badań ukazały się w numerze *Nature* z 27 kwietnia,¹⁹ a na stronie internetowej jednego z badaczy pojawiły się spektakularne grafiki i klipy wideo.²⁰ Konkluzja tego wysoce technicznego, niełatwego do wyjaśnienia odkrycia jest następująca: najkrótsza odległość, jaką wiązka światła może przebyć między dwiema odległymi galaktykami, to linia prosta (lub prawie prosta), a nie linia zakrzywiona. Wszechświat, choć jest czterowymiarowy, jest płaski, jego czterowymiarowy układ nie ma krzywizny.

To odkrycie płaskiego lub prawie płaskiego wszechświata dostarczyło trzech ważnych potwierdzeń biblijnego opisu stworzenia. Po pierwsze, potwierdziło przewidywania astronomów dotyczące kosmicznego promieniowania tła, które wynikają z obecnie najlepszego modelu pochodzenia wszechświata, modelu doskonale zgodnego z biblijną kosmologią. Po drugie, w połączeniu z pomiarami gęstości masy wszechświata, ustaliło wartość stałej kosmologicznej. Z kolei ta wartość silniej niż kiedykolwiek wykazała wysoki stopień zaprojektowania i subtelnego dostrojenia wszechświata, wymaganego w momencie jego powstania. Po trzecie, ujawniło, że my, ludzie, mamy „szczęście”, że istniejemy

¹⁹ P. De Bernardis *et al.*, „A Flat Universe from High-Resolution Maps of the Cosmic Microwave Background Radiation”, *Nature* 2000, vol. 494, s. 955–959.

²⁰ Website Maxa Tegmarka na stronie University of Pennsylvania: www.hep.upenn.edu/max/boompa_frames.html.

w takim momencie historii kosmosu, kiedy można w pełni i jasno poznać cechy wszechświata.

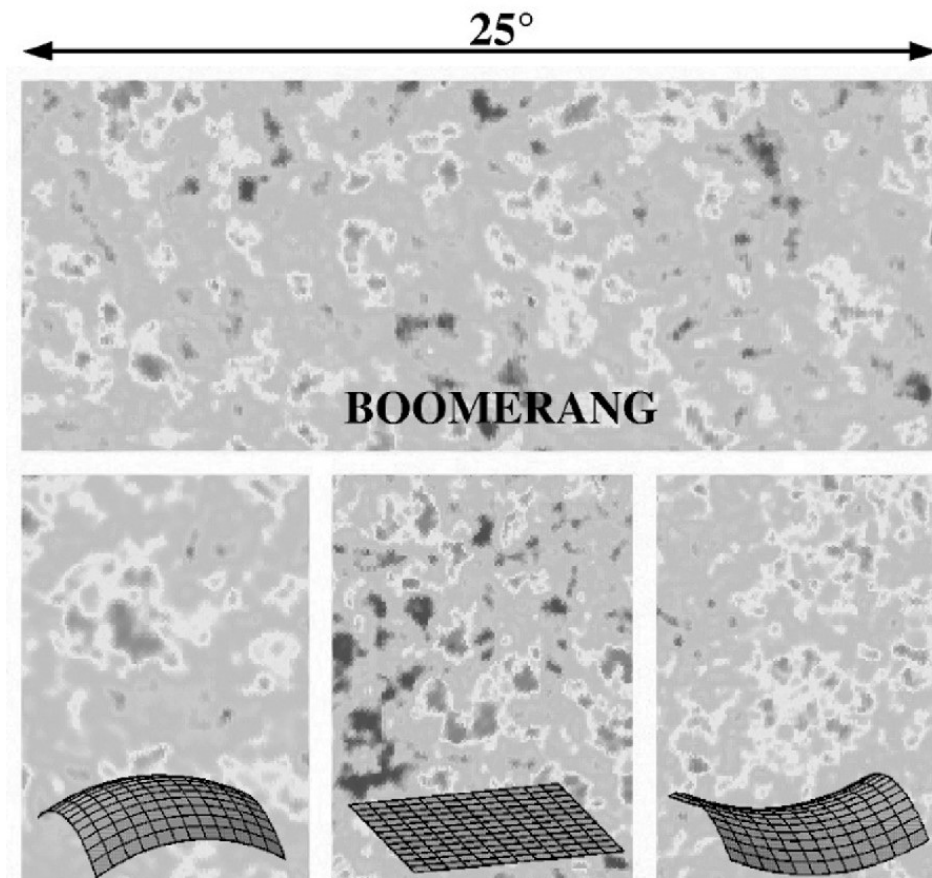
Krótko po tym, jak satelita Cosmic Background Explorer (COBE) ustalił istnienie wahań temperatury w kosmicznym promieniowaniu tła, astrofizycy przewidzieli wzorzec tych fluktuacji, jaki powstałby wskutek transcendentnego stworzenia wszechświata umożliwiające powstanie fizycznego życia. Uczeni wykazali, że amplituda różnic temperatur w kosmicznym promieniowaniu tła będzie miała określony wykres, wykres krzywej dzwonowej, wyznaczony przez badany „kawałek przestrzeni” i zależny od geometrii wszechświata. Oto szkic szczegółów (dla lepszego zrozumienia patrz rys. 5.3):

Teleskop zdolny rozróżniać szczegółowe temperatury w odległości dziesięciu „średnic Księżyca” wykryłby mniej wahań temperatury niż teleskop, który jest w stanie dostrzec szczegóły temperatury w odległości tylko jednej „średnicy Księżyca”. Ale właśnie tam mniej więcej wspomniana krzywa dzwonowa ulega odwróceniu. Jeśli stworzenie było związane z gorącym Wielkim Wybuchem, to należy oczekiwać, że szczyt zmienności temperatury pojawi się przy rozdzielczości jednej, dwóch lub trzech średnic księżyca. Tak więc teleskop zdolny do pomiaru szczegółów w mniejszym segmencie nieba, powiedzmy wielkości jednej dziesiątej średnicy Księżyca, powinien wykrywać mniejsze wahania temperatury niż detektor mierzący wahania temperatury w odległości jednej średnicy Księżyca.

Wiele niezależnych grup badawczych zaobserwowało właśnie ten przewidywany wzorzec.²¹ W szczególności pomiary Boomerangu zostały wykonane w tak wielu różnych rozdzielczościach kątowych i z taką precyzją, że zespół badawczy mógł po raz pierwszy w historii dokładnie określić geometrię

²¹ 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; C.M. Gutiérrez *et al.*, „The Tenerife Cosmic Microwave Background Maps: Observations and First Analysis”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 529, s. 47–55; Bharat Ratra *et al.*, „Cosmic Microwave Background Anisotropy Constraints on Open and Flat-L Cold Dark Matter Cosmogonies From USSB South Pole, ARGO, MAX, White Dish, and SuZIE Data”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 549–564; Graça Rocha *et al.*, „Python I, II, and III Cosmic Microwave Background Anisotropy Measurement Constraints on Open and Flat-L Cold Dark Matter Cosmogonies”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 525, s. 1–9; James Glanz, „Microwave Hump Reveals Flat Universe”, *Science* 1999, vol. 283, s. 21.

wszechświata. Ten przełomowy rezultat wywołał spore poruszenie w mediach.



— Dzięki uprzejmości The Boomerang Collaboration

Rys. 5.2: Prosta geometria

Symulacje kosmologiczne przewidują, że jeśli wszechświat ma płaską geometrię (czyli standardową geometrię stosowaną w szkole średniej), to największe różnice między „gorącymi punktami” i „zimnymi punktami” będzie można zaobserwować, gdy teleskop jest nastrojony na 1 stopień rozdzielczości kątowej (dolny środek). Jeśli natomiast geometria przestrzeni jest zakrzywiona, to największe różnice temperatur pojawią się przy rozdzielczościach kątowych albo

znacznie większych, albo mniejszych niż 1 stopień (na dole po lewej i po prawej). Porównanie z obrazem Boomerangu (na górze rysunku 5.2) wskazuje, że przestrzeń wszechświata jest niemal płaska.

Skąd się bierze to zainteresowanie „płaskością” wszechświata?

Niewielu komentatorów jest w stanie wyjaśnić laikom naukowe znaczenie odkryć Boomerangu – mówią tylko, że są one ważne. Chyba jeszcze mniej jest takich, którzy dostrzegają ich znaczenie teologiczne. Krótko mówiąc, odkrycia te odpowiadają na pytania o to, z czego składa się wszechświat i jak rozwija się on w czasie. A te odpowiedzi z kolei podkreślają trafność biblijnej kosmologii i konieczność przyjęcia istnienia biblijnego Stwórcy.

Badania prowadzone w ciągu ostatniej dekady dostarczyły już stosunkowo dokładnej miary gęstości masy wszechświata. Uwzględnia ona zarówno zwykłą materię (czyli materię, która silnie oddziałuje z promieniowaniem – na przykład protony, neutrony i elektrony) oraz materię egzotyczną (czyli materię, która bardzo słabo oddziałuje z promieniowaniem – na przykład neutrino), ale w sumie gęstość ta jest mniejsza o około 67% – 85% od takiej gęstości masy, która dawałaby Wszechświatowi płaską geometrię.²²

Wyniki Boomerangu pokazały, że całkowita gęstość Wszechświata –

²² S. Perlmutter *et al.*, „Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 565–586; Megan Donahue and G. Mark Voit, „ Ω_m from the Temperature-Redshift Distribution of EMSS Clusters of Galaxies”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 523, L37–L40; David H. Weinberg *et al.*, „Closing in on Ω_M : The Amplitude of Mass Fluctuations from Galaxy Clusters and the Ly α Forest”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 522, s. 563–568; G. Steigman and I. Tkachev, „ Ω_B and Ω_0 from MACHOs and Local Group Dynamics”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 522, s. 793–801; J. Nevalainen, M. Markevitch, and W. Forman, „The Baryonic and Dark Matter Distribution in Abell 401”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 526, s. 1–9; Joseph J. Mohr, Benjamin Mathiesen, and August E. Evrard, „Properties of the Intercluster Medium in an Ensemble of Nearby Galaxy Clusters”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 627–649; J.S. Alcaniz and J.A.S. Lima, „New Limits on Ω_Λ and Ω_M from Old Galaxies at High Redshift”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 521, L87–L90; N.A. Bahcall *et al.*, „The Mass-To-Light Function: Antibias and Ω_m ”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 541, s. 1–9; Kentaro Nagamine, Renyue Cen, and Jeremiah P. Ostriker, „Luminosity Density of Galaxies and Cosmic Star Formation Rate From Λ Cold Dark Matter Hydrodynamical Simulations”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 541, s. 25–36; Stacy S. McGaugh, „Boomerang Data Suggest a Purely Baryonic Universe”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 541, L33–L36.

gęstość masy plus inny rodzaj gęstości zwany gęstością „energii przestrzeni”, znanej również jako stała kosmologiczna – sumuje się do wartości między 88% a 112% tej gęstości, która jest konieczna dla kosmosu o płaskiej geometrii. Kolejny eksperyment z balonem na dużej wysokości przeprowadzony nad Teksasem określił wartość gęstości energii przestrzeni między 85% a 125% tej, którą wymaga kosmiczna płaskość.²³ Na podstawie tych liczb znamy możliwy zakres zmienności wyznaczanej przez idealną płaskość i wiemy, że składnik energii przestrzeni stanowi około 70% do 80% całkowitej zawartości kosmosu.

W ciągu trzech miesięcy uzyskano dodatkowe potwierdzenie. Astronomowie zmierzili prędkości różnych galaktyk w mocno zróżnicowanych odległościach, aby określić, jak bardzo poszczególne prędkości różnią się od prędkości ekspansji wszechświata po Wielkim Wybuchu.²⁴ Jak zauważyli izraelscy astronomowie, Idit Zehavi i Avishai Dekel, większość różnic prędkości można było przypisać jedynie gęstości energii przestrzeni czyli stałej kosmologicznej. Udało im się z grubsza wywnioskować, że składnik gęstości energii przestrzeni kosmicznej jest około cztery do pięciu razy większy niż składnik gęstości masy.

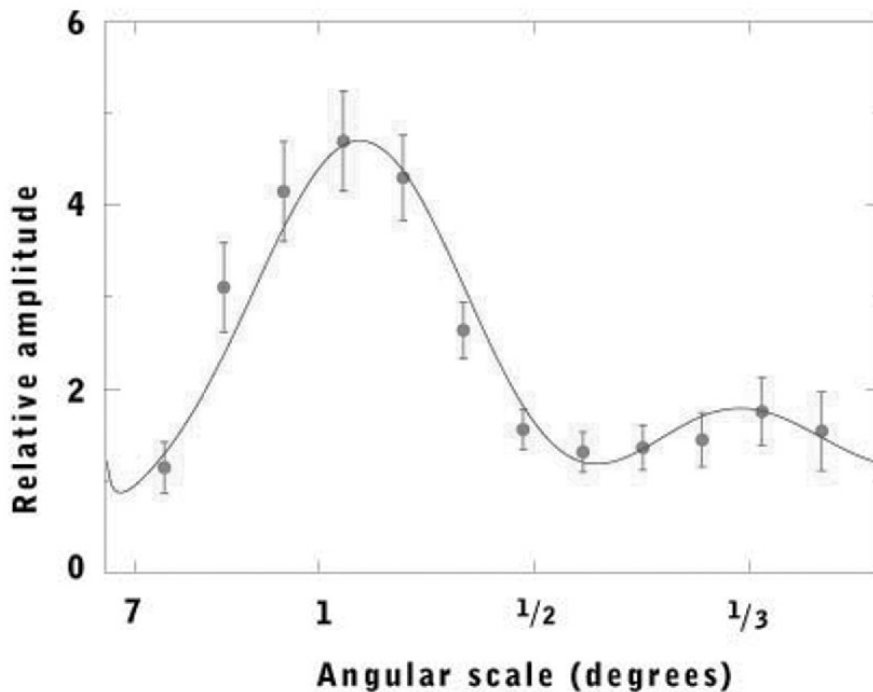
Odkrycia Boomerangu pchnęły te badania naprzód. Dają one tak dokładny pomiar, że usuwają wszelkie uzasadnione wątpliwości dotyczące istnienia gęstości energii przestrzeni. Zapewniają pomiar tak dokładny, że dostarcza on nowych szczegółów dotyczących tego, z czego składa się kosmos. Pokazują, że większość masy wszechświata ma charakter „egzotyczny” i że najprawdopodobniej większość tej egzotycznej materii jest „zimna” (składa się z cząstek poruszających się znacznie wolniej niż prędkość światła). Te nowe szczegóły dają nam jaśniejszy obraz cech charakterystycznych naszego kosmicznego domu, a jednocześnie wzmacniają materiał empiryczny przemawiający na rzecz biblijnego modelu stworzenia.

Ustalenie, że ekspansją wszechświata rządzą dwa czynniki, gęstość ma-

²³ A. Melchiorri *et al.*, „A Measurement of Ω from the North American Test Flight of Boomerang”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 536, L63–L66.

²⁴ Idit Zehavi and Avishai Dekel, „Evidence for a Positive Cosmological Constant from Flows of Galaxies and Distant Supernovae”, *Nature* 1999, vol. 1999, vol. 401, s. 252–254; Adam G. Riess, „Universal Peekaboo”, *Nature* 1999, vol. 401, s/ 219, 221.

sy i gęstość energii przestrzeni, wskazuje na zdumiewający stopień dostrojenia. Aby życie we wszechświecie było możliwe, to znaczy aby powstały gwiazdy i planety niezbędne do życia fizycznego, wartość gęstości masy musi być dostrojona z dokładnością większą niż jedna część na 10^{60} , a wartość gęstości energii przestrzeni większą niż jedna część na 10^{120} . Przypomnijmy raz jeszcze słowa Lawrence'a Kraussa, że jest to „najbardziej skrajny problem dostrojenia znany w fizyce”.²⁵ O tym, jak jest on skrajny, traktuje podrozdział „Ekstremalny projekt”, poniżej.



Rys. 5.3: Dokładnie tak, jak przewidziano

Punkty na tym wykresie pokazują różnice temperatur między „gorącymi miejscami” i „zimnymi miejscami”, które dominują w obrazach Boomerangu. Linia pokazuje krzywą przewidywaną przez model geometrycznie płaskiego, gorą-

²⁵ Lawrence M. Krauss, „The End of the Age Problem...”, s. 461.

cego Wszechświata Wielkiego Wybuchu. Ścisłe dopasowanie między danymi a przewidywaną krzywą potwierdza dokładność modelu.

Patrząc w przyszłość

Jeśli poprawny jest model stworzenia czyli model gorącego Wielkiego Wybuchu, w którym dominującą formą materii jest zimna ciemna materia egzotyczna, to możemy oczekiwać, że przeprowadzane pomiary różnic temperatury w kosmicznym promieniowaniu tła ujawnią nie tylko jeden dobrze zdefiniowany szczyt amplitudy tych różnic, ale kilka takich szczytów. Zaplanowano już dwa eksperymenty. Jeden jest po prostu bardziej zaawansowaną wersją badań Boomerang i powinien dostarczyć wyników już w 2003 roku. Drugim, który obiecuje kolejny przełom w precyzji badań, jest satelita NASA, którego wystrzelenie zaplanowano na 2007 rok, a pierwsze wyniki mają pojawić się już w 2008 roku.

EKSTREMALNY PROJEKT

Patrząc teologicznie gęstość energii kosmicznej pokazuje, że aby życie fizyczne było możliwe w jakimś czasie i miejscu w historii wszechświata, wartość gęstości masy wszechświata musi być precyzyjnie dostrojona z dokładnością do jednej części na 10^{60} , a wartość stałej kosmologicznej musi być dostrojona z dokładnością do jednej części na 10^{120} .²⁶ Aby spojrzeć na to z innej perspektywy, najlepszym znanym mi przykładem konstrukcji inżynierskiej jest teleskop fal grawitacyjnych zdolny do wykonywania pomiarów z dokładnością do jednej części na 10^{23} . Oznacza to, że Stwórca jest co najmniej dziesięć bilionów bilionów bilionów bilionów bilionów bilionów razy bardziej inteligentny, kompetentny, kreatywny i potężny niż ludzie.

Innymi słowy, przed tym odkryciem najgłębszym świadectwem projektu, jaki naukowcy odkryli w kosmosie, była pewna cecha, która musiała być dostrojona z dokładnością do jednej części na 10^{40} . Dzięki temu XXI-wiecznemu odkryciu świadectwo tego, że Bóg stworzył i zaprojektował wszechświat sprzyjający istnieniu życia, a w szczególności ludzi, stało się 10^{80}

²⁶ Lawrence M. Krauss, „The End of the Age Problem...”, s. 461, 465.

razy silniejsze (czyli silniejsze sto milionów bilionów bilionów bilionów bilionów bilionów bilionów razy).

Biorąc pod uwagę, jak spektakularnie badania kosmicznego promieniowania tła potwierdziły model stworzenia wszechświata poprzez gorący Wielki Wybuch, nie mówiąc już o wszystkich innych potwierdzeniach tego modelu (patrz Dodatek „Podsumowanie danych naukowych na rzecz stworzenia poprzez Wielki Wybuch”), astrofizycy z niecierpliwością oczekują sukcesu tych eksperymentów. Pojawiły się już na przykład pewne wskazówki dotyczące drugiego szczytu amplitudy.²⁷ Podekscytowanie uczonych powiększa możliwość, że wkrótce będziemy w stanie bardzo precyzyjnie określić

- wiek wszechświata
- tempo ekspansji wszechświata w różnych epokach od momentu stworzenia
- gęstość masy wszechświata
- gęstość energii przestrzeni wszechświata
- ile istnieje różnych form zwykłej i egzotycznej materii oraz
- czy wszechświat wykazuje właściwość „kwintesencji”.

Taki dokładny z wieloma szczegółami obraz kosmicznego stworzenia ma potężny potencjał promowania chrześcijańskiego światopoglądu w zsekularyzowanym społeczeństwie, a przede wszystkim zachęcania do osobistej wiary w Jezusa Chrystusa. Może też pomóc w rozwiązywaniu sporów dotyczących stworzenia, jakie istnieją wewnątrz wspólnoty chrześcijańskiej. Ale nie musimy czekać na te nowe odkrycia. Ogromny wpływ mogą wywrzeć już posiadane informacje!

W obliczu nowego wyzwania

Kwintesencja to termin, który niektórzy fizycy przypisali hipotetycz-

²⁷ James Glanz, „Microwave Hump Reveals Flat Universe”, *Science* 1999, vol. 283, s. 21; P. deBarnardis *et al.*, „A Flat Universe from High-Resolution Maps of the Cosmic Microwave Background Radiation”, *Nature* 2000, vol. 404, s. 957–958 [955–959]; Wayne He, „Ringing in the New Cosmology”, *Nature* 2000, vol. 404, s. 939–940.

nemu zjawisku, które – jak sugerują – ograniczyłyby konieczność przyjęcia, że miał miejsce ekstremalny projekt nieodłącznie związany z wielkościami kosmicznej gęstości. Niechęć nieteistycznych astronomów do wniosków, jakie wynikają z tych pomiarów, są widoczne w streszczeniach ich najnowszych prac badawczych. Astronomowie Idit Zehavi i Avishai Dekel piszą: „Ten rodzaj wszechświata [...] wymaga pewnego stopnia dostrojenia początkowych warunków, co stoi w wyraźnym konflikcie z «powszechnymi przekonaniem»”.²⁸ Fizyk N. Straumann mówi: „Mamy do czynienia z niepokojącym problemem kosmicznej koincydencji”.²⁹

Mają oni nadzieję, że kwintesencja pozwoli uniknąć tego problemu – ale czy rzeczywiście? *Jeśli* kwintesencja przedstawia zmienność w czasie wyrażenia opisującego ciśnienie we Wszechświecie podzielone przez wartość jego gęstości, *jeśli* starannie dobierze się początkową wartość tego stosunku ciśnienia do gęstości i *jeśli* przypisze się konkretną wartość dla tempa jej zmian, to *być może* znaczna część projektu widoczna w wielkościach kosmicznej gęstości mogłaby zostać usunięta.

Jak do tej pory nie ma żadnych faktów empirycznych świadczących o istnieniu kwintesencji. Wiemy jednak, że wszechświat zawiera materię egzotyczną. Gdyby istniał odpowiedni rodzaj egzotycznych cząstek posiadających masę i gdyby istniały one we właściwej ilości i były odpowiednio rozłożone we wszechświecie, to pożądana kwintesencja stałaby się możliwa.

Większość czytelników orientuje się już teraz, że odwoływanie się do kwintesencji jest po prostu kompromisem dotyczącym projektu. Projekt wyeliminowany z wielkości gęstości kosmicznej zostałby, przynajmniej częściowo, zastąpiony przez nowy projekt ustalający stosunek ciśnienia do gęstości albo projekt polegający na ustaleniu rodzaju, ilości i rozmieszczenia egzotycznych cząstek posiadających masę. Jak stwierdziła pewna grupa astronomów, odkrycie kwintesencji eliminując pewną ilość świadectw projektu mogłoby w rzeczywistości doprowadzić do tego, że niecieiszi mieliby do czynienia z jeszcze

²⁸ Idit Zehavi and Avishai Dekel, „Evidence for a Positive Cosmological Constant...”, s. 252.

²⁹ N. Straumann, „The Mystery of the Cosmic Vacuum Energy Density and the Accelerated Expansion of the Universe”, *European Journal of Physics* (2000), w druku.

większą liczbą świadectw na rzecz projektu.³⁰

Ograniczenia człowieka będą zawsze utrudniać nam ocenę projektu kosmicznego. Badacze albo nie docenią, albo przecenią prawdziwy poziom projektu występującego w dowolnej cesze wszechświata. Czasami widzą go tam, gdzie nie występuje; czasami przeoczą go tam, gdzie jest. Jednak im więcej dowiadujemy się o wszechświecie, tym więcej świadectw projektu odkrywamy (zob. rozdziały 14 „Wszechświat akurat taki, jaki powinien być” i 16 „Ziemia: miejsce dla życia”). Im więcej dowiadujemy się o wszechświecie, tym dokładniejsze są nasze szacunki poziomu projektu widocznego w jego cechach. Siłę argumentacji na rzecz Boga Biblii można ocenić na podstawie wyraźnego trendu. Z biegiem lat, gdy coraz więcej dowiadujemy się o wszechświecie, tym dłuższa – a nie krótsza – staje się lista cech, które odzwierciedlają precyzyjne dostrojenie, a samo subtelne dostrojenie wygląda na jeszcze subtelniejsze.

Dokładny moment w czasie

W niedawnym artykule w *Astrophysical Journal* Lawrence Krauss i Glenn Starkman wspólnie lamentują nad przyszłością astronomii.³¹ Skąd ta ich rozpacz? Wartość gęstości energii przestrzeni mówi nam, że od chwili obecnej wszechświat będzie się rozszerzał coraz szybciej. Ta coraz szybsza ekspansja oznacza, że coraz więcej obiektów we wszechświecie w końcu zniknie z naszego pola widzenia. Obserwowane dzisiaj odległe obiekty będą się od nas oddalać z prędkością przekraczającą prędkość światła. W ten sposób znajdą się poza teoretycznymi granicami jakichkolwiek istniejących *lub możliwych* teleskopów. Astronomowie będą mogli cieszyć się oglądaniem coraz mniejszej liczby obiektów wszechświata.

Kontemplacja tego faktu daje chrześcijanom poczucie obcowania z cudem i nie ma nic wspólnego z rozpaczą. Pokazuje, że Bóg stworzył ludzkość dokładnie w odpowiednim momencie historii i umożliwił nam rozwinięcie nie-

³⁰ S. Perlmutter *et al.*, „Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 584 [565–586].

³¹ Lawrence M. Krauss and Glenn D. Starkman, „Life, the Universe, and Nothing: Life and Death in an Ever-Expanding Universe”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 531, s. 22–30.

zbędnego standardu życia i techniki tak, byśmy mieli optymalny obraz zakresu i wspaniałości Jego stworzenia. Gdybyśmy pojawili się wcześniej w historii kosmicznej, zobaczylibyśmy mniej, ponieważ wiek wszechświata ogranicza zarówno odległość, z jaką możemy widzieć obiekty kosmosu, jak i liczbę i rodzaje obiektów, które powstają we wszechświecie. Gdybyśmy pojawili się później, widzielibyśmy mniej z powodu przyspieszającej ekspansji wszechświata.

Obecnie jest najlepszy czas, by być astronomem. Teraz „niebiosa głoszą [głośniejsze niż kiedykolwiek] chwałę Boga”. (Znajdujemy się również w najlepszym możliwym miejscu. Patrz rozdział 14.) Jesteśmy pełni nadziei, nie rozpaczy. Bóg, Stwórca, napisał, że gdy tylko nastąpi zwycięstwo nad złem, zastąpi ten niezwykły wszechświat jeszcze bardziej wspaniałym wszechświatem, daleko przekraczającym nasze możliwości myślenia lub wyobrażenia.³²

Ilość helu odpowiada przewidywaniu teorii Wielkiego Wybuchu

Podczas gdy odkrycia stałej kosmologicznej (człon gęstości energii przestrzeni) i prawie płaskiej geometrii Wszechświata można z łatwością zaliczyć do największych odkryć kosmicznych początku dwudziestego pierwszego wieku, nie są one wcale jedynymi nowymi faktami świadczącymi, że doszło do stworzenia poprzez Wielki Wybuch. Teoria Wielkiego Wybuchu mówi, że większość helu we wszechświecie powstała bardzo szybko po stworzeniu. Według tej teorii wszechświat był nieskończenie lub prawie nieskończenie gorący w momencie stworzenia. W miarę rozszerzania się kosmos ochładzał się, podobnie jak komora spalania w silniku tłokowym.

Zanim wszechświat osiągnął wiek jednej milisekundy, stał się morzem protonów i neutronów. Jedynym pierwiastkiem istniejącym w tym czasie był prosty wodór, którego atomy stanowiły pojedyncze protony. Przez około dwadzieścia sekund, kiedy wiek wszechświata wynosił trochę mniej niż cztery minuty, osiągnął odpowiednią temperaturę, aby nastąpiła fuzja jądrowa. W tym czasie protony i neutrony łączyły się, tworząc pierwiastki cięższe od zwykłego

³² Apokalipsa 21–22; Hugh Ross, **Beyond the Cosmos**, 2nd edition, NavPress, Colorado Springs, CO1999, s. 217–228.

wodoru.

Teoria mówi, że prawie dokładnie jedna czwarta masy wodoru we Wszechświecie została przekształcona w hel w tym dwudziestosekundowym okresie. Z wyjątkiem niewielkich ilości litu, berylu, boru i deuteru (który jest wodorem z jądrem zbudowanym z protonu i neutronu), wszystkie inne pierwiastki, jakie istnieją we wszechświecie, zostały wraz z niewielką dodatkową ilością helu wyprodukowane znacznie później, w paleniskach jądrowych we wnętrzu gwiazd.

Jednym ze sposobów, w jaki astronomowie mogą przetestować teorię Wielkiego Wybuchu, jest zmierzenie ilości helu w obiektach, które znajdują się tak daleko i tym samym widzimy je w tak odległej epoce, w której dopiero zaczynał się proces spalania gwiazd. Można też badać obiekty, w których miało miejsce tylko niewielkie spalanie gwiazd. Tym samym astronomowie mogą znajdować i wykonywać pomiary na stosunkowo bliskich obiektach, w których proces formowania się gwiazd ustał zbyt szybko, aby znacząco przyczynić się do całkowitej ilości helu we wszechświecie.

W 1994 roku astronomowie po raz pierwszy zmierzili obfitość helu w bardzo odległych międzygalaktycznych obłokach gazu.³³ Pomiary te, potwierdzone dodatkowymi pomiarami,³⁴ ujawniły obecność helu w ilości przewidywanej przez model Wielkiego Wybuchu.

W ostatnim numerze *Astrophysical Journal* z 1999 roku zespół amerykańskich i ukraińskich astronomów opublikował kolejny dowód na to, że doszło do stworzenia poprzez gorący Wielki Wybuch.³⁵ Sześciu badaczy użyło teleskopów Multiple Mirror i Keck, aby sprawdzić ilość helu w dwóch galaktykach znanych z tego, że są najbardziej ubogie w pierwiastki ciężkie (są to niebieskie zwarte galaktyki I Zwicky 18 i SBS 0335-052). Ustalili oni, że hel

³³ P. Jokeosen *et al.*, „Detection of Intergalactic Ionized Helium Absorption in a High-Redshift Quasar”, *Nature* 1994, vol. 370, s. 35–39.

³⁴ Yuri I. Izotov, Trinh X. Thuan, and Valentin A. Lipovetsky, „The Primordial Helium Abundance from a New Sample of Metal-Deficient Blue Compact Galaxies”, *Astrophysical Journal* 1994, vol. 435, s. 647–667.

³⁵ Yuri I. Izotov *et al.*, „Helium Abundance in the Most Metal-Deficient Blue Compact Galaxies: I Zw 18 and SBS 0335-052”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 527, s. 757–777.

stanowił $0,2462 \pm 0,0015$ całkowitej masy tych galaktyk. Po odjęciu niewielkiej ilości helu wyprodukowanego przez gwiazdy w obu galaktykach uzyskali ilość pierwotnego helu wynoszącą $0,2452 \pm 0,0015$, co jest zgodne z odkryciami w odległych, dawno istniejących obiektach. Ta wartość jest tak bliska przewidywaniom teorii Wielkiego Wybuchu, że zespół wnioskował, iż „mocno wspiera ona standardową teorię nukleosyntezy związanej z Wielkim Wybuchu”.³⁶

W ciągu kilku miesięcy po tej publikacji kanadyjscy astronomowie doprecyzowali dane zespołu amerykańsko-ukraińskiego.³⁷ Ich korekta (polegająca na usunięciu danych dotyczących istniejących w galaktykach mgławic pobudzanych przez gorącą gwiazdę) dała ilość pierwotnego helu o 1,5% wyższą i 20% dokładniejszą niż wcześniejszy zestaw. Nowa wartość (0,2489) jest tak bardzo zbliżona do teoretycznie oczekiwanej wartości, że jest nie do odróżnienia.³⁸

Dodatkową premią było to, że dane, które doprowadziły do obliczenia ilości pierwotnego helu, pozwoliły określić liczbę „rodzajów” lekkich neutrin (czyli neutrin o małej masie) = $3,00 \pm 0,15$.³⁹ Liczba ta wspiera jeszcze inne nowe świadectwo stworzenia poprzez Wielki Wybuch opisane w dalszej części tego rozdziału (patrz podtytuł „Masa neutрино” w rozdziale 5).

Ilość deuteru i litu

Teoria Wielkiego Wybuchu mówi, że cała obecna ilość deuteru (ciężkiego wodoru) i litu została wytworzona podczas pierwszych czterech minut stworzenia. Jednak nie cały utworzony wówczas deuter i lit istnieje nadal, gdyż proces spalania gwiazd pochłania te pierwiastki, zamiast wytwarzać ich więcej.

³⁶ Yuri I. Izotov *et al.*, „Helium Abundance ...”, s. 776.

³⁷ D.R. Ballantyne, G.J. Ferland, and P.G. Martin, „The Primordial Helium Abundance: Toward Understanding and Removing the Cosmic Scatter in the dY/dZ Relation”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 536, s. 773–777.

³⁸ D.R. Ballantyne, G.J. Ferland, and P.G. Martin, „The Primordial Helium Abundance...”, s. 777.

³⁹ Yuri I. Izotov *et al.*, „Helium Abundance ...”, s. 776.

Starając się zmierzyć ilość deuteru i litu oraz porównać tę ilość z ilością przewidywaną przez model Wielkiego Wybuchu, astronomowie ponownie skupili się na bardzo odległych układach, ale również na bliższych, w których miało miejsce niewielkie spalanie gwiazd.

Przy znacznej pomocy teleskopów Kecka⁴⁰ i zdjęcia „Głębokiego pola Hubble'a” („obrazu” złożonego z nakładanych na siebie warstw zdjęć Kosmicznego Teleskopu Hubble'a tej samej części nieba)⁴¹ siedem różnych zespołów dokonało pomiarów.⁴² Jak uznali, obfitość deuteru i litu „wyjątkowo dobrze” pasuje do przewidywań Wielkiego Wybuchu.⁴³

Gęstość protonów i neutronów

Teoria Wielkiego Wybuchu nie przewiduje powstawania gwiazd i planet niezbędnych do życia oraz pierwiastków niezbędnych do życia, jeśli gęstość barionów (protonów i neutronów) w kosmosie nie osiągnie określonej wartości. Wartość ta wynosi około 4% lub 5% maksymalnej gęstości masy, jaka nadal pozwala wszechświatowi na nieskończoną ekspansję, czyli tej gęstości, którą astronomowie nazywają gęstością krytyczną. Dlatego oczywistym testem prawdziwości teorii Wielkiego Wybuchu byłoby sprawdzenie, czy gęstość barionów

⁴⁰ Scott Burles, David Kirkman, and David Tytler, „Deuterium Toward Quasar Q0014+813”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 519, s. 18–21; David Kirkman *et al.*, „QSO 0130-4021: A Third QSO Showing a Low Deuterium-To-Hydrogen Abundance Ratio”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 529, s. 655–660; Sergei A. Levshakov, Wilhelm H. Keigel, and Fumio Takahara, „The D/H Ratio at $z = 3.57$ Toward Q1937-1009”, *Astrophysical Journal Letters* 1998, vol. 499, L1–L4.

⁴¹ E. Casuso and J.E. Beckman, „Deuterium, Lithium, and the Hubble Deep Field”, *Astronomical Journal* 1999, vol. 118, s. 1907–1911.

⁴² Sylvie Vauclair and Corinne Charbonnel, „Element Segregation in Low-Metallicity Stars and the Primordial Lithium Abundance”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 502, s. 372–377; D.A. Lubowich *et al.*, „Deuterium in the Galactic Centre as a Result of Recent Infall of Low-Metallicity Gas”, *Nature* 2000, vol. 405, s. 1025–1027; Takeru Ken Suzuki, Yuzuru Yoshii, and Timothy C. Beers, „Primordial Lithium Abundance as a Stringent Constraint on the Baryonic Content of the Universe”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 540, s. 99–103; E. Vanioni-Flam, A. Coc, and M. Cassé, „Big Bang Nucleosynthesis Updates with the NACRE Compilation”, *Astronomy & Astrophysics* 2000, vol. 360, s. 15–23.

⁴³ E. Casuso and J.E. Beckman, „Deuterium...”, s. 1907.

jest zbliżona do wspomnianych 4–5% gęstości krytycznej.

Do niedawna jedynym wiarygodnym sposobem uzyskania pomiaru gęstości barionów we wszechświecie było określenie ilości pierwotnego helu, deuteru czy litu. Najlepsze wyniki uzyskało siedem zespołów wymienionych w powyższych dwóch podrozdziałach. Ustaliły one, że kosmiczna gęstość barionowa jest równa od 0,04 do 0,05 gęstości krytycznej.

W ciągu ostatniego roku [czyli w 2000 – przyp. tłum.] astronomowie opracowali trzy nowe i niezależne metody pomiaru kosmicznej gęstości barionów. Najbardziej spektakularna i dokładna z tych trzech nowych metod pochodzi z map Boomerangu, na których zaznaczono wahania temperatury w kosmicznym promieniowaniu tła. Przy pomocy północnoamerykańskiego lotu testowego balonu Boomerang zmierzono kosmiczną gęstość barionową na poziomie 0,05 gęstości krytycznej.⁴⁴ Pozostałe dwie metody dały średnią wartość około 0,03.⁴⁵ Te niezależne potwierdzenia kosmicznej gęstości barionowej wydedukowane z ilości pierwotnego helu, deuteru i litu dostarczają dodatkowego świadectwa na to, że miało miejsce stworzenie poprzez Wielki Wybuch.

Prędkość ekspansji kosmosu jest zgodna z przewidywaniami teorii Wielkiego Wybuchu

Oczywistym sposobem stestowania teorii Wielkiego Wybuchu jest stwierdzenie, czy wszechświat rzeczywiście rozszerza się z nieskończenie małej objętości i zmierzenie tempa jego ekspansji od początku do chwili obecnej. Choć to zadanie może wydawać się w zasadzie proste, w praktyce tak nie jest. Pomiary o odpowiedniej precyzji są niezwykle trudne do wykonania. Dopiero w ciągu ostatnich kilku lat można było wykonać pomiary tak dokładne

⁴⁴ A. Melchiorri *et al.*, „A Measurement of from the NorthAmerican Test Flight of Boomerang”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 536, L63–L66.

⁴⁵ Aaron D. Lewis, E. Ellingson, Simon L. Morris, and R. G. Carlberg, „X-Ray Mass Estimates at $z \sim 0.3$ for the Canadian Network for Observational Cosmology Cluster Sample”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 587–608; Bo Qin and Xiang-Ping Wu, „Baryon Distribution in Galaxy Clusters as a Result of Sedimentation of Helium Nuclei”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 529, L1–L4; M. Fukugita, C. J. Hogan, and P.J.E. Peebles, „The Cosmic Baryon Budget”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 503, s. 518–530.

(lub niemal tak dokładne), jak było z innymi świadectwami Wielkiego Wybuchu.

Obecnie opracowano i stosuje się pięć metod (niektóre niezależne od siebie, inne do pewnego stopnia zależne) pomiaru kosmicznego tempa ekspansji (patrz tabela 5.1). Średnia z tych pięciu metod daje prędkość 64 kilometrów na sekundę na megaparsek (megaparsek = odległość, którą światło przebywa w ciągu 3,26 miliona lat). Jeśli w tym tempie cofniemy rozszerzanie się wszechświata, otrzymamy, że wszechświat ma około 14,6 miliarda lat.

Nowo odkryta gęstość energii przestrzeni dodaje kolejne pół miliarda lat, co sugeruje, że wszechświat ma około 15,1 miliarda lat. Ta liczba jest potwierdzeniem modelu, ponieważ jest zgodna z innymi wskaźnikami wieku, w tym z kosmicznym promieniowaniem tła, ilością różnych pierwiastków radiometrycznych ⁴⁶ oraz ze zmierzonym wiekiem najstarszych gwiazd (patrz Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Najnowsze pomiary tempa ekspansji kosmicznej

Astronomowie opracowali i udoskonalili pięć narzędzi pomiarowych służących do określania tempa ekspansji wszechświata, czyli tego, co nazywają „Stałą Hubble'a”. Megaparsek to odległość, jaką światło pokonuje w ciągu 3,26 miliona lat.

Metoda

soczewkowania grawitacyjnego

Wartość stałej Hubble'a

66 km/sek/megaparsek ⁴⁷

⁴⁶ Hugh Ross, **The Fingerprint of God**, 2nd ed., NavPress, Orange, CA 1991, s. 89–90.

⁴⁷ D.B. Haarsma, J.N. Hewitt, J. Lehar, and B.F. Burke, „The Radio Wavelength Time Delay of Gravitational Lens 0957+561”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 510, s. 64–70; Kyu-Hyun Chae, „New Modeling of the Lensing Galaxy and Cluster of Q0957+561: Implications for the Global Value of the Hubble Constant”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 524, s. 582–590; C.D. Fassnacht *et al.*, „A Determination of H_0 with the Class Gravitational Lens B1608+656. I. Time Delay Measurements with the VLA”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 527, s. 498–512; L.V.E. Koopmans and C.D. Fassnacht, „A Determination of H_0 with the Class Gravitational Lens B1608+656. II. Mass Models and the Hubble Constant from Lensing”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 527, s. 513–524; Liliya L.R. Williams and Prasenjit Saha, „Pixelated Lenses and H_0 from Time-Delay Quasars”, *Astronomical Journal* 2000, vol. 119, s. 439–450.

Tully–Fishera	61 km/sek/megaparsek ⁴⁸
wyznaczania odległości galaktyk na podstawie	
cefeid	62 km/sek/megaparsek ⁴⁹
supernowych typu Ia	61 km/sek/megaparsek ⁵⁰
geometrycznego pomiaru odległości	69 km/sek/megaparsek ⁵¹

⁴⁸ Masaru Watanabe, Takashi Ichikawa, and Sadanori Okamura, „An Unbiased Estimate of the Global Hubble Constant in the Region of Pisces-Perseus”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 503, s. 503–553; Shoko Sakai *et al.*, „The Hubble Space Telescope Key Project on the Extragalactic Distance Scale. XXIV. The Calibration of Tully-Fisher Relations and the Value of the Hubble Constant”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 529, s. 698–722; G. Theureau, „Kinematics of the Local Universe. VI. B-Band Tully-Fisher Relations and Mean Surface Brightness”, *Astronomy and Astrophysics* 1998, vol. 331, s. 1–10; Gustav A. Tammann, w: K. Sato (ed.), **International Astronomical Union Symposium No. 183, Cosmological Parameters and the Evolution of the Universe**, Kluwer, Dordrecht, Netherlands 1999, s. 31.

⁴⁹ Allan Sandage, „Bias Properties of Extragalactic Distance Indicators. VIII. H_0 from Distance-Limited Luminosity Class and Morphological Type-Specific Luminosity Functions for Sb, Sbc, and Sc Galaxies Calibrated Using Cepheids”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 527, s. 479–487; Jeremy R. Mould *et al.*, „The Hubble Space Telescope Key Project on the Extragalactic Distance Scale. XXVIII. Combining the Constraints on the Hubble Constant”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 529, s. 786–794; Brad K. Gibson, Philip R. Maloney, and Shoko Sakai, „Has Blending Compromised Cepheid-Based Determinations of the Extragalactic Distance Scale?”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 530, L5–L8; Allan Sandage, R.A. Bell, and Michael J. Tripicco, „On the Sensitivity of the Cepheid Period-Luminosity Relation to Variations in Metallicity”, *Astrophysical Journal* 1999, col. 522, s. 250–275; G. Petural *et al.*, „Hubble Constant from SOSIE Galaxies and HIPPARCOS Geometrical Calibration”, *Astronomy and Astrophysics* 1998, vol. 339, s. 671–677.

⁵⁰ S. Perlmutter *et al.*, „Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 565–586; Robert Tripp and David Branch, „Determination of the Hubble Constant Using a Two-Parameter Luminosity Correction for Type Ia Supernovae”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 525, s. 209–214; A. Saha *et al.*, „Cepheid Calibration of the Peak Brightness of Type Ia Supernovae. IX. SN 1989B in NGC 3627”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 522, s. 802–838; Saurabh Jha *et al.*, „The Type Ia Supernova 1998bu in M96 and the Hubble Constant”, *Astrophysical Journal Supplement* 1999, vol. 125, s. 73–89; B.R. Parodi, A. Saha, A. Sandage, and G.A. Tammann, „Supernova Type Ia Luminosities. Their Dependence on Second Parameters, and the Value of H_0 ”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 540, s. 634–651.

⁵¹ D.C. Homan and J.F.C. Wardle, „Direct Distance Measurements to Superluminal Radio Sources”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 535, s. 575–585; James Glanz, „The First Step to Heaven”, *Science* 1999, vol. 285, s. 1658–1661; J.R. Hernstein *et al.*, „A Geometric Distance

średniej zmierzonej wartości	64 km/sek/megaparsek
obliczenia wieku na podstawie średniej wartości	14,6 miliarda lat
poprawka po uwzględnieniu gęstości energii	+0,5 miliarda lat
poprawione wyliczenie wieku	15,1 miliarda lat

Populacje gwiazd odpowiadają przewidywaniom teorii Wielkiego Wybuchu

Teoria Wielkiego Wybuchu przewiduje, że po stworzeniu powstały w określonych odstępach czasu trzy różne generacje gwiazd. Astronomowie nazywają te generacje gwiazdami Populacji III, Populacji II i Populacji I. System numeracji jest odwrócony, ponieważ gwiazdy populacji III są najstarsze, ale zostały odkryte i zbadane na końcu, stąd mylący system numeracji.

Według teorii Wielkiego Wybuchu gwiazdy Populacji III powstały, gdy wszechświat liczył sobie zaledwie pół miliarda lat. Do tego czasu materia wystarczająco się zagęściła, aby mogły powstawać gwiazdy. Ponieważ jednak wszechświat wówczas rozszerzył się jeszcze w niewielkim stopniu, średnia gęstość gazów była znacznie wyższa niż gęstość obserwowana dzisiaj. Wskutek tego prawie wszystkie najwcześniejsze gwiazdy były gwiazdami nadolbrzymami.⁵² Takie gwiazdy spalają się bardzo szybko (w astronomicznym sensie), bo szybciej niż w ciągu 10 milionów lat. Kończą swój byt katastrofalnymi eksplozjami, rozrzucając swoje szczątki w kosmosie.

Biorąc pod uwagę krótki czas spalania i wczesne formowanie się takich

to the Galaxy NGC 4258 from Orbital Motions in a Nuclear Gas Disk”, *Nature* 1999, vol. 400, s. 539–541; E.F. Guinan *et al.*, „The Distance to the Large Magellanic Cloud from the Eclipsing Binary HV2274”, *Astrophysical Journal Letters* 1998, vol. 509, L21–L24; G. Petural *et al.*, „Hubble Constant from SOSIE Galaxies and HIPPARCOS Geometrical Calibration”, *Astronomy and Astrophysics* 1998, vol. 339, s. 671–677.

⁵² Volker Bromm, Paolo S. Coppi, and Richard B. Larson, „Forming the First Stars in the Universe: The Fragmentation of Primordial Gas”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 527, L5–L8.

gwiazd, teoretycy Wielkiego Wybuchu doszli do wniosku, że tylko nieliczne gwiazdy z populacji III powinny być nadal widoczne, a może nawet żadne nie powinny być obserwowane. Jednak pozostałości po nich powinny być widoczne. Gwiazdy populacji III pozostawiają charakterystyczną sygnaturę pierwiastków w swoich rozrzuconych popiołach. Sygnaturę tę odkrywamy we wszystkich odległych obłokach gazowych wszechświata.

Ostatnio pojawiły się dane świadczące, że być może odkryliśmy jakieś rzadko występujące gwiazdy populacji III o niskiej masie.⁵³ Ich niewielka masa spowodowała, że mogły palić się wystarczająco długo, by jeszcze dzisiaj astronomowie je znajdowali. Jednak trudno je było wykryć, ponieważ pochłaniają one pozostałości po gigantycznych gwiazdach populacji III, co powoduje, że wyglądają nietypowo. Ostatnio jednak astrofizycy opracowali sposoby pozwalające odróżnić ocalałe jeszcze gwiazdy Populacji III od młodszych od nich gwiazd Populacji II, które powstają z popiołów nadolbrzymów Populacji III.⁵⁴

Teoria Wielkiego Wybuchu dokonuje trzech głównych przewidywań na temat gwiazd populacji II: (1) ta grupa powinna być najliczniejsza spośród populacji gwiazd z tego powodu, że powstała, gdy galaktyki były młode i osiągały szczyt wydajności gwiazdotwórczej; (2) gwiazdy tej populacji powinny liczniej występować w pewnych lokalizacjach kosmosu, takich jak gromady kuliste, gdzie wczesne formowanie się gwiazd przebiega najefektywniej, oraz (3) powinny występować we wszystkich rozmiarach, we wszystkich kategoriach masy od niskich do wysokich, nie faworyzując żadnej kategorii. Wszystkie te trzy przewidywania znalazły potwierdzenie w obserwacjach astronomicznych z ostatnich kilkudziesięciu lat.

Trzecia generacja gwiazd, gwiazdy populacji I (w tym ziemskie Słońce), powstała z rozrzuconych popiołów największych gwiazd populacji II. Te

⁵³ Masayuki Y. Fujimoto, Yasufumi Ikeda, and Icko Iben, Jr., „The Origin of Extremely Metal-Poor Carbon Stars and the Search for Population III”, *Astrophysical Journal Letters* 2000, vol. 529, L25; A. Weiss, S. Cassisi, H. Schlattl, and M. Salaris, „Evolution of Low-Mass Metal-Free Stars Including Effects of Diffusion and External Pollution”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 533, 413.

⁵⁴ Masayuki Y. Fujimoto, Yasufumi Ikeda, and Icko Iben Jr., „The Origin...”, s. L25–L28; A. Weiss, S. Cassisi, H. Schlattl, and M. Salaris, „Evolution of Low-Mass...”, s. 413–423.

pozostałości łatwo odróżnić od pozostałości gwiazd populacji III, ponieważ są one co najmniej o 50% bogatsze w pierwiastki ciężkie (czyli cięższe od helu). Mgławice gazowe (lub obłoki gazowe) rozproszone w ramionach spiralnych Drogi Mlecznej i strumienie gazu, które galaktyka Drogi Mlecznej kradnie z pobliskich galaktyk karłowatych, są w rzeczywistości „pogorzeliškami” gigantycznych gwiazd populacji II.

Teoria Wielkiego Wybuchu mówi, że proces formowania się gwiazd w większości przypadków ustał wkrótce po uformowaniu się gwiazd populacji II. Dlatego większość galaktyk nie posiada gwiazd populacji I. Teoria ta mówi również, że w tych nielicznych galaktykach, w których tworzą się gwiazdy populacji I, najintensywniejszy okres formowania się gwiazd miał miejsce w ciągu ostatnich kilku miliardów lat, a najbardziej intensywnymi obszarami powstawania gwiazd były obszary o największej gęstości, takie jak jądra galaktyk i ich ramiona spiralne. (Niektóre mogły również powstać w galaktykach, które astronomowie nazywają „nieregularnymi”.) Wszystkie te cechy zostały potwierdzone przez obserwacje.

Czy teoria Wielkiego Wybuchu pozwala na uformowanie się w przyszłości gwiazd Populacji IV? Tak. Ale jednocześnie przewiduje, że populacja ta powinna być nieliczna w porównaniu z pozostałymi trzema. Wszędzie we wszechświecie astronomowie widzą oznaki tego, że proces formowania się gwiazd wkrótce całkowicie ustanie, nawet w tych galaktykach, w których wciąż aktywnie powstają gwiazdy. („Wkrótce” dla astronoma to nie jutro ani w przyszłym roku, ale za kilka miliardów lat). Astronomowie przewidują na przykład, że galaktyka Drogi Mlecznej doświadczy „krótkiego” gwałtownego formowania się gwiazd, gdy za około 4-5 miliardów lat wchłonie Wielki Obłok Magellana (galaktykę towarzyszącą) do swojego jądra. Ale Wszechświat jest już zbyt stary, by takie wydarzenia często zachodziły.

Najstarsze gwiazdy opowiadają swoją historię

Ponieważ teoria Wielkiego Wybuchu wskazuje, kiedy powstawały gwiazdy Populacji II – w epoce, w której galaktyki zaczęły przybierać obecny kształt, czyli około 0,5 do 1,5 miliarda lat po stworzeniu – astronomowie mogą przetestować tę teorię określając wiek najstarszych widocznych gwiazd. Dodając do tego wieku od 0,5 do 1,5 miliarda lat mogą porównać otrzymaną sumę z

datami stworzenia sugerowanymi przez inne niezależne pomiary.

Jedną z trudności tego pozornie prostego testu jest to, że gwiazdy, podobnie jak niektórzy ludzie, czasami dobrze ukrywają swój wiek. Ale gwiazdom w gęstych gromadach można łatwiej wyznaczyć wiek, a gromady kuliste wydają się składać z najstarszych gwiazd populacji II. Tabela 5.2 wymienia najdokładniejsze datowanie wieku gwiazd gromad kulistych w pięciu różnych galaktykach. Obejmuje ona również limit, jaki badacze niedawno wyznaczyli dla najstarszych białych karłów w galaktyce, do której należy Ziemia.

Tabela 5.2: Najnowsze pomiary najstarszych gwiazd populacji II

Grupa gwiazd	Zmierzony wiek (w miliardach lat)
średnio dla wszystkich gromad kulistych naszej galaktyki	$12,9 \pm 1,5$ ⁵⁵
47 Tucanae (najstarsza gromada kulista w naszej galaktyce)	$14,1 \pm 1,0$ ⁵⁶
gromady kuliste Wielkiego Obłoku Magellana	tak jak dla Drogi Mlecznej ⁵⁷
gromada kulista w galaktyce karłowatej WLM	$14,8 \pm 0,06$ ⁵⁸
gromady kuliste w galaktyce karłowatej Fornax	tak jak dla Drogi

⁵⁵ Eugenio Carretta, Raffaele G. Gratton, Gisela Clementini, and Flavio Fusi Pecci, „Distances, Ages, and Epoch of Formation of Globular Clusters”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 533, s. 215–235.

⁵⁶ Brad K. Gibson *et al.*, „The Spectroscopic Age of 47 Tucanae”, *Astronomical Journal* 1999, vol. 118, s. 1268–1272.

⁵⁷ Jennifer A. Johnson *et al.*, „Hubble Space Telescope Observations of the Oldest Star Clusters in the Large Magellanic Cloud”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 527, s. 199–218.

⁵⁸ Paul W. Hodge, Andrew E. Dolphin, Toby R. Smith, and Mario Mateo, „Hubble Space Telescope Studies of the WLM Galaxy. I. The Age and Metallicity of the Globular Cluster”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 521, s. 577–581.

	Mlecznej ⁵⁹
średnio dla wszystkich gromad kulistych w naszej galaktyce	mniej niż 14,0 ⁶⁰
najstarsze białe karły w naszej galaktyce	więcej niż 12,6 ⁶¹
średnio dla wszystkich gromad kulistych w M87 (supergigantycznej galaktyce)	13,0 ⁶²
średnia wszystkich wyników = 13,5 miliarda lat	

Liczby wskazują, że gromady kuliste, które powstały w czasowym oknie 2–3 miliardów lat, z grubsza mają ten sam wiek w różnych galaktykach. Jeśli doda się do ich wieku lata poprzedzające formowanie się gwiazd Populacji II (1 miliard \pm 0,5 miliarda lat), to otrzymany wiek zadziwiająco dobrze pasuje do wyników wszystkich innych metod określania, jak długo wszechświat rozszerzał się od momentu stworzenia.

Pomiary materii egzotycznej

Jak już wspomniałem, gęstość masy Wszechświata ma dwa składniki: (1) zwykłej materii, to znaczy materii silnie oddziałującej z promieniowaniem – na przykład protony, neutrony i elektrony oraz (2) materii egzotycznej, to znaczy materii bardzo słabo oddziałującej z promieniowaniem – przykładem są neutrina. Z powodu jej silnego oddziaływania z promieniowaniem astrono-

⁵⁹ R. Buonanno *et al.*, „The Ages of Globular Clusters in the Fornax Dwarf Galaxy”, *Astrophysical Journal Letters* 1998, vol. 501, L33–L36.

⁶⁰ Raul Jimenez and Paolo Padoan, „The Ages and Distances of Globular Clusters with the Luminosity Function Method: The Case of M5 and M55”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 498, s. 704–709.

⁶¹ David S. Graff, Gregory Laughlin, and Katherine Freese, „MACHOs, White Dwarfs, and the Age of the Universe”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 499, s. 7–19.

⁶² Judith G. Cohen, John Blakeslee, and Anton Ryzhov, „The Ages and Abundances of a Large Sample of M87 Globular Clusters”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 496, s. 808–826.

wie stosunkowo łatwo wykrywają i mierzą ilość zwykłej materii we wszechświecie (patrz fragment „Gęstość protonów i neutronów” w rozdziale 5). Jednak egzotyczna cząstka materii, taka jak neutrino, może przelecieć przez 600 bilionów mil płynnej wody bez żadnego z nią oddziaływania. Ale każda materia, czy to zwykła, czy egzotyczna, ma własność przyciągania grawitacyjnego. Dlatego aby określić we wszechświecie całkowitą ilość materii, astronomowie mierzą zaburzenia grawitacyjne. Jeśli odejmiemy zmierzoną ilość zwykłej materii od całkowitej ilości materii, otrzymamy, ile materii egzotycznej znajduje się we wszechświecie.

Jak to przedstawiłem w drugim wydaniu tej książki, astronomowie w latach 90. opracowali osiem różnych metod pomiaru całkowitej ilości materii w kosmosie.⁶³ Wszystkie te metody dawały wzajemnie spójne wyniki, ale najbardziej wiarygodne okazały się metody soczewkowania grawitacyjnego, pomiary szybkości ekspansji kosmosu, wykrywanie rozproszonego gorącego gazu międzygalaktycznego oraz określenie początku formowania się gwiazd i galaktyk w historii wszechświata. Na podstawie dziewięciu najlepszych pomiarów opartych na tych metodach astronomowie ustalili, że całkowita ilość materii we wszechświecie stanowi około 29% gęstości krytycznej (maksymalnej gęstości masy, która nadal pozwalałaby wszechświatowi nieskończenie się rozszerzać).⁶⁴

⁶³ Hugh Ross, *The Creator and the Cosmos*, 2nd ed., NavPress, Colorado Springs, CO 1995, s. 35–47.

⁶⁴ S. Perlmutter *et al.*, „Measurements of Ω and Λ ...”, s. 565–586; Lewis, Ellingson, Morris, and Carlberg, „X-Ray Mass Estimates...”, s. 587–608; Mohr, Mathiesen, E. Evrard, „Properties of the Intracluster Medium...”, s. 627–649; Bahcall *et al.*, „The Mass-To-Light Function...”, s. 1–9; Nagamine, Cen, and Ostriker, „Luminosity Density...”, s. 25–36; Weinberg *et al.*, „Closing in on $\Omega_{M...}$ ”, s. 563–568; Nevalainen, Markevitch, and Forman, „The Baryonic and Dark Matter Distribution...”, s. 1–9; Alcaniz and Lima, „New Limits...”, L87–L90; Donahue and Voit, „ Ω_m from the Temperature-Redshift...”, L37–L40; Asantha R. Cooray, „An Upper Limit on Ω_m Using Lensed Arcs”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 524, s. 504–509; Masashi Chiba and Yuzuru Yoshii, „New Limits on a Cosmological Constant from Statistics of Gravitational Lensing”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 510, s. 42–53; Stephano Borgani, Piero Rosati, Paolo Tozzi, and Colin Norman, „Cosmological Constraints from the ROSAT Deep Cluster Survey”, *Astrophysical Journal* 1999, vol. 517, s. 40–53; Neta A. Bahcall and Xiaohui Fan, „The Most Distant Clusters: Determining Ω and σ_8 ”, *Astrophysical Journal* 1998, vol. 504, s. 1–6; James Robinson and Joseph Silk, „Star Formation As a Cosmological Probe”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 539, s. 89–97; Esther M. Hu, Richard G. McMahon, and Lennox L. Cowie, „An Extremely Luminous Galaxy at $z = 5.74$ ”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 522, L9–L12;

Później dodano nową metodę. Na spotkaniu Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego w czerwcu 2000 r. liczny zespół astronomów amerykańskich, australijskich i brytyjskich ogłosił, że z powodzeniem zmierzyl przesunięcia ku czerwieni (patrz fragment „Prędkości przesunięcia ku czerwieni” we wcześniejszej części tego rozdziału) 106 585 galaktyk znajdujących się w polu o rozmiarach dwu stopni (jest to fragment nieba o szerokości około czterech kątowych średnic Księżyca).⁶⁵ Każde przesunięcie ku czerwieni miało dwa składniki: jeden wywołany rozszerzaniem się wszechświata i drugi, znacznie mniejszy składnik, wynikający z indywidualnego ruchu galaktyki, będącego skutkiem przyciągania grawitacyjnego sąsiednich galaktyk. Prosta analiza statystyczna ruchów tych indywidualnych galaktyk pozwala ustalić całkowitą gęstość masy wszechświata. Wartość gęstości materii, która wynika z analizy tego zespołu, stanowi jedną trzecią gęstości krytycznej.⁶⁶ Wartość ta zgadza się, w granicach błędów pomiarowych, z poprzednimi pomiarami gęstości masy. Zgodna jest również z analizą prędkości względnych par galaktyk w pomiarach Mark III⁶⁷ oraz z wynikami szczegółowych symulacji formowania się galaktyk i powstawania gromad galaktyk.⁶⁸

B.F. Roukema and G.A. Mamon, „Tangential Large Scale Structure as a Standard Ruler: Curvature Parameters from Quasars”, *Astronomy and Astrophysics* 2000, vol. 358, s. 395–408; B. Novosyadlyj *et al.*, „Cosmological Parameters from Large Scale Structure Observations”, *Astronomy and Astrophysics* 2000, vol. 356, s. 418–434; P. Valageas, „Weak Gravitational Lensing Effects on the Determination of Ω_m and Ω_Λ from Snela”, *Astronomy and Astrophysics* 2000, vol. 354, s. 767–786; J.F. Macias-Perez *et al.*, „Gravitational Lensing Statistics with Extragalactic Surveys”, *Astronomy and Astrophysics* 2000, vol. 353, s. 419–426; David M. Wittman *et al.*, „Detection of Weak Gravitational Lensing Distortions of Distant Galaxies by Cosmic Dark Matter at Large Scales”, *Nature* 2000, vol. 405, s. 143–148.

⁶⁵ Karl Glazebrook, „The 2dFGRS – Galaxy Properties and Evolution”, *American Astronomical Society Meeting May 2000*, vol. 196, #56.06; R. Bennett, „Survey Confirms Composition of the Cosmos”, *Science News* 2000, vol. 157, s. 374.

⁶⁶ Glazebrook, „The 2dFGRS...”; R. Bennett, „Survey Confirms Composition of the Cosmos”, *Science News* 2000, vol. 157, s. 374.

⁶⁷ R. Juskiewicz *et al.*, „Evidence for a Low-Density Universe from the Relative Velocities of Galaxies”, *Science* 2000, vol. 287, s. 109–112.

⁶⁸ F.R. Pearce *et al.*, „A Simulation of Galaxy Formation and Clustering”, *Astrophysical Journal Letters* 1999, vol. 521, L99–L102; Wesley N. Colley *et al.*, „Topology from the Simulated Sloan Digital Sky Survey”, *Astrophysical Journal* 2000, vol. 529, s. 795–810.

Dobłą wiadomością jest to, że Badanie Dwustopniowego Pola to dopiero początek. Do końca 2001 roku ten sam zespół pomierzy 250 000 galaktyk. W 2004 roku Sloan Digital Sky Survey zakończy pomiary przesunięcia ku czerwieni miliona innych galaktyk. Wtedy astronomowie zrealizują swoje pragnienie – przeprowadzą naprawdę dokładny pomiar gęstości masy kosmosu.

Dostępne obecnie pomiary gęstości masy nie pozostawiają jednak wątpliwości, że większość materii we wszechświecie ma egzotyczny charakter. Stosunek materii egzotycznej do zwykłej materii wynosi w przybliżeniu pięć do jednego. Właśnie taki stosunek jest potrzebny w scenariuszu Wielkiego Wybuchu, aby wyjaśnić obserwowane cechy populacji gwiazd i galaktyk.

Masa neutrin

Dla astronomów wisienką na torcie ich egzotycznych pomiarów gęstości masy byłoby wykrycie jakichś konkretnych egzotycznych cząstek posiadających masę. Od ponad dekady fizycy uważają, że prawdopodobnie najłatwiejszym kandydatem byłyby neutrina. Wykrywanie neutrin nie stanowi problemu. Fizycy wykrywają je od 1956 roku. Problemem jest wykazanie, że neutrina mają masę i – jeśli to możliwe – dokładne zmierzenie masy neutrina.

Na pewnej konferencji fizyków we Włoszech w 1997 r. ogłoszono, że różne grupy badawcze niezależnie wyznaczyły masę neutrina. Mówiąc dokładniej, zaobserwowali oni oscylację neutrin, czyli spontaniczne przechodzenie z jednego zapachu na inny.⁶⁹ (Neutrino pojawiają się w trzech różnych odmianach czyli zapachach, mianowicie elektronowym, mionowym i taonowym).

Istnienie oscylacji wskazuje na masę. Neutrino mogą oscylować tylko wtedy, gdy mają masę.

Argument, że neutrina posiadają masę, stał się bardziej przekonujący, gdy dwa radykalnie różne typy detektorów dały ten sam wynik. Jednym z tych detektorów był zbiornik na wodę o pojemności 50 000 ton otoczony przez 13 400 fotodetektorów. Drugi to tysiąc ton falistego żelaza przeplatane

⁶⁹ Andrew Watson, „Case for Neutrino Mass Gathers Weight”, *Science* 1997, vol. 277, s. 30–31.

dowanymi detektorami cząstek.⁷⁰ Dodatkowe dane pojawiły się w 1998 roku, kiedy to grupa korzystająca ze zbiornika wody o pojemności 50 000 ton potwierdziła oscylacje neutrin pochodzących z dwóch źródeł: neutrin słonecznych⁷¹ i neutrin w ziemskiej atmosferze.⁷²

Wyniki tych dwóch różnych eksperymentów z oscylacjami nazwano problemem „brakujących neutrin słonecznych”. Fizycy zajmujący się energią słoneczną rozumieją już, dlaczego ich detektory neutrin wykryły tylko jedną trzecią neutrin, jakie według ich obliczeń słoneczne „palenisko” jądrowe powinno wytwarzać. Ich detektory były dostrojone do wykrywania tylko jednego zapachu neutrina. „Brakujące” neutrina najwyraźniej zostały pominięte wskutek oscylacji. „Deficyt” neutrin okazał się w ogóle nie istnieć.

Ale oscylacje neutrin mówią tylko, że neutrina mają masę, a nie jaką mają masę. Ustalają jednak dolną granicę tej masy – co najmniej kilka miliardowych części masy elektronu – i mogą ujawnić różnice dotyczące masy między trzema zapachami neutrin.

Kilka laboratoriów badawczych próbuje dokonać bezpośrednich pomiarów masy neutrin, używając czegoś, co nazywa się eksperymentem „bezneutrinowego podwójnego rozpadu beta”. W 1997 roku współpracujący ze sobą rosyjscy i niemieccy uczeni ustalili, że masa neutrina nie może być większa niż 0,48 elektronowolta (czyli nieco mniej niż jedna milionowa masy elektronu).⁷³

Górna granica masy neutrina jest prawie tysiąc razy większa niż dolna. Na szczęście w 1999 roku opracowano nowy eksperyment, który powinien pozwolić na dokładny pomiar masy neutrina. Jest to eksperyment rozpadu beta oparty na widmie emisyjnym pierwiastka ren. Włoski zespół badawczy wykazał, że widmo emisyjne rozpadu beta renu jest wystarczająco szczegółowe, aby

⁷⁰ Watson, „Case for Neutrino...”, s. 31.

⁷¹ Dennis Normile, „Heavy News on Solar Neutrinos”, *Science* 1998, vol. 280, s. 1839.

⁷² Dennis Normile, „Weighing In on Neutrino Mass”, *Science* 1998, vol. 280, s. 1689–1690.

⁷³ Dennis Normile, „New Experiments Step Up Hunt for Neutrino Mass”, *Science* 1997, vol. 276, s. 1795.

zmierzyć masę neutrina.⁷⁴ W ciągu roku lub dwóch od publikacji tej książki [2002 r.] powinno być dostępne dość precyzyjne określenie tej masy.

Ale nawet obecnie dostępne limity masy neutrin mają znaczenie kosmologiczne. Neutrino były obficie produkowane podczas stworzenia w czasie Wielkiego Wybuchu i powstają podczas spalania gwiazd. Sam Wielki Wybuch generował około dziesięciu miliardów neutrin na każdy barion (proton lub neutron) istniejący we wszechświecie. Zatem neutrino stanowią co najmniej od 0,05% do 5% gęstości krytycznej.

Najważniejsze jest więc to, że astronomowie nie tylko wykazali istnienie egzotycznej materii w kosmosie, ale zidentyfikowali również cząstkę, która stanowi niewielką część tej egzotycznej materii. I ten niewielki udział jest zgodny z najlepszymi istniejącymi modelami kosmologicznymi. Modele te przewidują, że większość egzotycznej materii powinna być „zimna”, a tylko niewielka część „ciepła” lub „gorąca”. Gorąca egzotyczna materia składa się z cząstek poruszających się z prędkością bliską prędkości światła. Takie cząstki zazwyczaj mają masy znacznie poniżej masy protonu. Zimne egzotyczne cząstki posiadające masę poruszają się z małymi prędkościami. Zazwyczaj ich masy znacznie przekraczają masę protonu. W związku z tym znacznie trudniej je wykryć. Niemniej jednak przeprowadzane są eksperymenty, które mogą je znaleźć.⁷⁵

Tabela 5.3: Kandydaci na materię egzotyczną

Wymienieni poniżej kandydaci mogą brać udział w ustanowieniu tej części masy wszechświata, jaka nie oddziałuje silnie z promieniowaniem (uwaga: $10^{-5} = 0,00001$, a $10^6 = 1\ 000\ 000$).

kandydat	na	materię	masa względem	gęstość (liczba)	profil
----------	----	---------	------------------	---------------------	--------

⁷⁴ F. Gatti *et al.*, „Detection of Environmental Fine Structure in the Low-Energy b-Decay Spectrum of ^{187}Re ”, *Nature* 1997, vol. 397, s.137–139.

⁷⁵ Ron Cowen, „Votes Cast For and Against the WIMP Factor”, *Science News* 2000, vol. 157, s. 135.

egzotyczną	masy protonu	cząstek na cm^3	prędkości
aksjony, majorony	10^4 – 10^{-10}	10^9	zimny
neutrino o niskiej masie	10^{-8}	100	gorący
grawitina	10^{-6}	10	ciepły/zimny
aksinosy, cząstki lustrzane	10^{-6}	10	zimny
fotina, higgsina, gluiny	10^{-1}	10^{-4}	zimny
ciężkie neutrino	1	10^{-5}	zimny
monopole magnetyczne	10^{16}	10^{-21}	zimny
newtority	10^{19}	10^{-24}	zimny
maksimony i pyrgony	10^{19}	10^{-24}	zimny
struny supersymetryczne	10^{19}	10^{-24}	zimny
grudki kwarków	10^{39}	10^{-44}	zimny
pierwotne czarne dziury	10^{40}	10^{-45}	zimny

Teologiczna reakcja na kosmologię Wielkiego Wybuchu

Chociaż argument na rzecz Wielkiego Wybuchu, czyli transcendentnego stworzenia wszechświata, opiera się na przekonujących – niektórzy mogliby powiedzieć *przytłaczających* – danych empirycznych, to teoria ta wciąż ma swoich krytyków. Część odpowiedzialności za ten sceptycyzm można przypisać luce komunikacyjnej między naukowcami a resztą świata. Niektóre fakty są tak nowe, że większość ludzi jeszcze o nich nie słyszała. A niektóre, w tym te starsze, są tak techniczne, że niewiele osób jest w stanie zrozumieć ich znaczenie. Nadal istnieje potrzeba lepszej edukacji i jaśniejszej komunikacji. Właśnie to jest motywem wydania tej książki.

Luki w komunikacji i edukacji wyjaśniają jednak tylko część wspomnianego sceptycyzmu. W grę wchodzi również kwestie duchowe. Nieliczni astronomowie, którzy wciąż sprzeciwiają się teorii Wielkiego Wybuchu, sprze-

ciwiają się jej otwarciu nie na gruncie naukowym, ale z powodów osobistych, teologicznych. W mojej pierwszej książce, **The Fingerprint of God**, opowiedziałem historię wczesnej reakcji astronomów na odkrycia, które potwierdziły początek kosmosu, a tym samym istnienie Tego, Który Wszechświat Zapoczątkował.⁷⁶ Niektórzy z tych astronomów otwarcie przyznali, że traktują ideę Wielkiego Wybuchu jako „filozoficznie odrażającą”. Przez całe dziesięciolecia wymyślali jedną kosmiczną hipotezę za drugą w daremnej próbie obejścia oczywistych faktów. Kiedy w końcu żadne ich hipotezy nie przeszły pomyślnie testów obserwacyjnych, wielu z tych astronomów uznało, pewnie niechętnie, prawdziwość teorii Wielkiego Wybuchu.

Dziś tylko garstka astronomów wciąż broni się przed teorią Wielkiego Wybuchu. Ich opór opiera się jednak nie na tym, co można przetestować obserwacyjnie i eksperymentalnie, ale raczej na tym, czego w ten sposób nigdy nie będzie można przetestować. Choć ich artykuły ukazują się w czasopiśmie naukowych, zajmują się raczej metafizyką niż fizyką, teologią (a dokładniej antyteologią), a nie nauką przyrodniczą. Tej metafizycznej gimnastyce w przebraniu nauki poświęcam rozdziały 6, 7, 8, 11 i 12. W rozdziałach 9 i 10 opiszę nowe, mocne dane empiryczne wspierające to, że PRZYCZYNA Wszechświata wykracza poza masę, energię i dziesięć wymiarów czasoprzestrzeni związanych z masą i energią. W rozdziałach 13-17 przyjrę się temu, jak na podstawie nowych odkryć naukowych można wskazać wiele osobistych cech PRZYCZYNY Wszechświata. Zobaczymy, że nowa nauka ujawnia nie tylko istnienie jakiegoś boga, ale precyzuje dokładnie, jakiego rodzaju Bóg stworzył wszechświat.

⁷⁶ Hugh Ross, **The Fingerprint of God**, 2nd ed., s. 39–138.