

Kosmos doskonale czarny

STANISŁAW BAJTLIK

Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Warszawa

Polska Akademia Nauk

bajtlik@camk.edu.pl

Badania mikrofalowego promieniowania tła, pamiętki po wczesnej młodości Wszechświata, doczekały się już dwóch Nagród Nobla

Mikrofalowe promieniowanie tła jest pozostałością po pierwszych 300 tysiącach lat po Wielkim Wybuchu, który 14 mld lat temu zapoczątkował ewolucję Wszechświata. Teoria Wielkiego Wybuchu prowadzi do trzech fundamentalnych przewidywań. Po pierwsze, przestrzeń powinna się rozszerzać. Fakt rozszerzania się Wszechświata został potwierdzony w latach 20. ubiegłego wieku odkryciem przez Edwina Hubble'a zjawiska „ucieczki galaktyk”, obserwowanego jako przesunięcie linii widmowych ku czerwieni, czyli poczerwienienie obrazów galaktyk. Po drugie, atomy we Wszechświecie powinny występować przede wszystkim w postaci wodoru i helu (wszystkie cięższe to jedynie śladowa domieszka). Również to przewidywanie zostało potwierdzone przez Cecilie Payne Gaposzkin jeszcze w latach 30. ubiegłego wieku. Trzecie przewidywanie, wysunięte pod koniec lat 40. przez George'a Gamowa, mówiło, że cały kosmos jest wypełniony promieniowaniem termicznym o temperaturze kilku stopni powyżej zera bezwzględnego. To promieniowanie jest reliktem pierwotnej, gorącej plazmy, w której na początku kosmicznej ewolucji cząstki materii i światła pozostawały w równowadze termodynamicznej.

Najstarsze światło

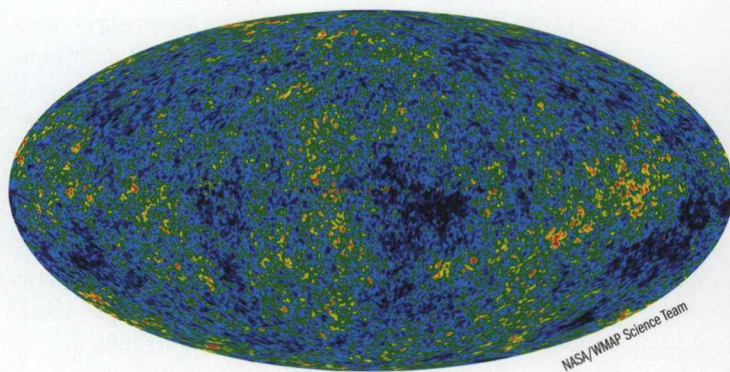
W początkowych chwilach po Wielkim Wybuchu materia wypełniająca Wszechświat była bardzo gęsta i bardzo gorąca (miała temperaturę miliardów stopni – przeszło milion razy wyższą niż w centrum Słońca). Wskutek rozszerzania się Wszechświata materia robiła się coraz rzadsza i coraz zimniejsza. Kilkaset tysięcy lat po Wielkim Wybuchu, gdy temperatura spadła do około 3000 K, do jąder wodoru dołączyły elektrony i kosmos stał się przezroczysty dla promieniowania. W ciągu 14 mld lat, które upłynęły od Wielkiego Wybuchu, jego temperatura obniżyła się do 2,7 stopni powyżej zera bezwzględnego (-270°C), ale zachowany został jego termiczny charakter. Taka właśnie jest temperatura kosmosu dziś! Cała przestrzeń jest wypełniona mikrofalowym promieniowa-

niem tła – w każdym centymetrze sześciennym wokół nas jest około 300 tworzących go fotonów. Maksimum natężenia promieniowania odpowiada falam o długości 1,9 mm. Jest to najstarsze światło we Wszechświecie. Na dotarcie do nas zużyło czas równy niemal wiekowi Wszechświata. Jednocześnie jest to światło z najodleglejszych obszarów, jakie możemy obserwować.

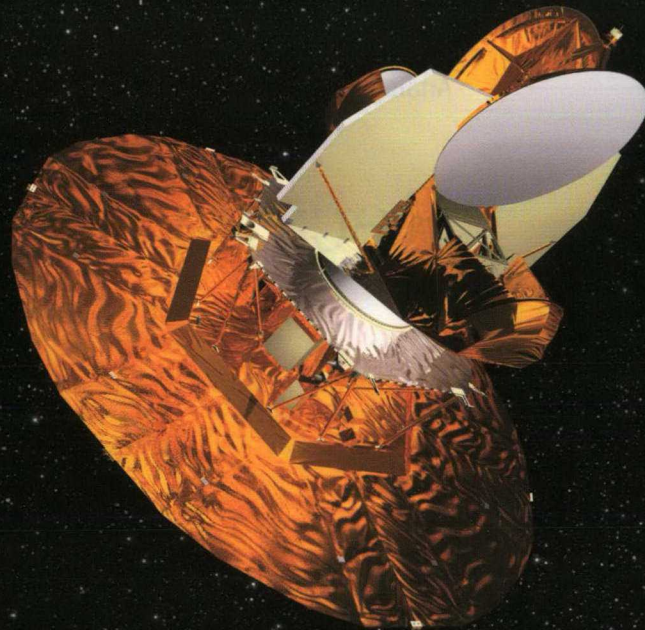
Zimne niebo

Penzias i Wilson, odkrywcy promieniowania mikrofalowego, stwierdzili jedynie jego podstawowe własności – przybliżony termiczny charakter i izotropię: z każdego kierunku dociera do nas promieniowanie o (w przybliżeniu) takim samym natężeniu. Innymi słowy, w każdym miejscu niebo jest tak samo ciepłe (a raczej zimne!). Mapa nieba, obserwowanego wtedy w zakresie fal centymetrowych, nie wykazywała żadnych szczegółów. To tak, jakby zdjęcie tego niemowlęcego Wszechświata było zrobione marnym aparatem, przy użyciu mało czułej kliszy.

Przez ćwierć wieku astronomowie szukali szczegółów na tym zdjęciu. Sprawa była niebagatelna. Te szczegóły to nic innego jak „obraz” najstarszych struktur, a właściwie protostruktur we Wszechświecie – pierwotnych zagęszczeń i rozrzedzeń w kosmicznej plazmie, w epoce, gdy nie było jeszcze nie tylko planet i gwiazd, ale nawet galaktyk czy gromad galaktyk. Z tych zagęszczeń powstały później, drogą niestabilności grawitacyjnej, wszystkie obiekty w kosmosie. Znalezienie fluktuacji w rozkładzie temperatury promieniowania było więc potwierdzeniem hipotezy o powstawaniu kosmicznej struktury wskutek niestabilności grawitacyjnej. Jednak jego obserwacje prowadzone z Ziemi są bardzo trudne, a po-



Mapa mikrofalowego promieniowania tła ujawnia obszary gorętsze – miejsca pierwotnych zagęszczeń, i chłodniejsze obszary przyszłych pustek



NASA/WMAP Science Team

Sonda WMAP zmierzyła temperaturę całego nieba z dokładnością do 20 μK w każdym z pikseli o rozmiarach $0,3^\circ$. Dzięki jej pomiarom poznaliśmy dokładny wiek Wszechświata (13,7 mld lat) oraz jego skład

szukiwane zaburzenia małe – wynoszą zaledwie jedną stutysięczną stopnia.

Satelitarna misja

Sama Ziemia i atmosfera są źródłami bardzo silnego szumu mikrofalowego, z którego niełatwo wyłowić kosmiczny sygnał. Maksimum promieniowania przypada na podczerwień. Atmosfera przez wiele lat uniemożliwiała bezsprzeczne potwierdzenie termicznego charakteru promieniowania tła. Wszystko to zmieniła misja satelitarna COBE. Na początku lat 90., dzięki danym zebranych przez tę sondę, opublikowano pierwszą mapę nieba oglądanego w zakresie mikrofalowym, na której widoczne były zaburzenia w rozkładzie temperatury. Było to fantastycznym potwierdzeniem teorii Wielkiego Wybuchu i teorii powstawania struktury (np. galaktyk) we Wszechświecie. Jednocześnie z wielką dokładnością potwierdzono termiczny charakter tego promieniowania, co oznaczało, że dobrze rozumiemy procesy fizyczne, jakie zachodziły w trakcie ewolucji kosmosu w ciągu 14 mld lat. Kosmos okazał się najdoskonalszym ciałem doskonale czarnym, jakie znamy, struktura rzeczywiście powstała w wyniku niestabilności grawitacyjnej, a przez prawie 14 mld lat kosmos podlegał spokojnej ekspansji. Odkrycie anizotropii mikrofalowego promieniowania tła i potwierdzenie jego termicznego charakteru zostało uhonorowane Nagrodą Nobla z fizyki za rok 2006.

Kosmologia przeżywa dziś swój złoty wiek. Zaledwie 15 lat temu opublikowano pierwsze mapy fluktuacji mikrofalowego promieniowania tła o rozdzielczości zaledwie 7 stopni kątowych. Dziś wciąż pracująca w kosmosie sonda WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) dostarcza map o rozdzielczości około 10 minut kątowych i dokonuje pomiarów jego polaryzacji liniowej. W 2008 roku planowane jest wystrzelenie przez ESA (European Space Agency) sondy Planck. Będzie miała ona jeszcze większą czułość, jeszcze lepszą zdolność rozdzielczą, a także możliwość pomiaru polaryzacji kołowej promieniowania. Polaryzacja taka byłaby narzucana jego fotonom przez tło fal grawitacyjnych pochodzących z epoki kosmicznej inflacji – superszybkiego rozszerzania w pierwszych ułamkach sekundy istnienia Wszechświata. Jej wykrycie byłoby pierwszym dowodem, że inflacja zaszła, i pozwoliłoby określić, w jakiej chwili (przy jakich energiach) to się stało. Jeśli polaryzacja kołowa fotonów mikrofalowego promieniowania tła zostanie wykryta, to zapewne zostanie przyznana trzecia Nagroda Nobla za badanie tej niezwykłej pozostałości po wczesnej ewolucji kosmosu. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

<http://map.gsfc.nasa.gov>

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2006/smoot-lecture.html

<http://www.wiw.pl/astronomia/1106-kosmologia.asp>