

Kosmiczna linijka

12. Mikrofalowe promieniowanie tła. Odległość 4,2 Gpc (4 Gpc na linijce)

Gdy patrzymy na niebo gołym okiem lub za pomocą teleskopu optycznego, widzimy na nim jasne gwiazdy, a pomiędzy nimi pustą przestrzeń. Jednak gdy użyjemy radioteleskopu, okazuje się, że cała przestrzeń kosmiczna jest wypełniona poświatą, emitującą promieniowanie elektromagnetyczne o dużych w porównaniu ze światłem widzialnym długościach fal. W przeciwieństwie do światła widzialnego poświata ta nie pochodzi od konkretnych źródeł, lecz stanowi swego rodzaju „tło”. Owo promieniowanie tła zostało odkryte, nieco zresztą przypadkowo, przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona w 1964 roku, za co już w roku 1970 odkrywcy ci otrzymali Nagrodę Nobla. Za pomocą anteny radiowej stwierdzili oni istnienie promieniowania jednakowego w każdym kierunku, którego widmo ma postać widma ciała doskonale czarnego, a maksimum natężenia przypada w zakresie mikrofalowym (długość fali rzędu 1 mm). Temperatura odpowiadająca takiemu promieniowaniu jest bardzo niewielka: to jedynie 2,7 kelwina.

Obserwacja mikrofalowego promieniowania tła stanowiła kamień milowy w kosmologii, ponieważ potwierdziła hipotezę Wielkiego Wybuchu, która przewiduje istnienie takiego właśnie promieniowania, wyemitowanego z tzw. powierzchni ostatniego rozproszenia. Promieniowanie tła, zwane również reliktowym, powstało w młodym, liczącym sobie zaledwie kilkaset tysięcy lat, Wszechświecie. Początkowo Wszechświat wypełniony był mieszaniną gorącej plazmy i promieniowania. W miarę jego ekspansji, mieszanina ta ochładzała się – energia tworzących ją cząstek malała. Przy odpowiednio niskiej temperaturze mogły trwale powstać pierwsze atomy pierwiastków, które nie pochłaniały już ani nie rozpraszały coraz mniej energetycznego promieniowania – Wszechświat stał się „przezroczysty”. To promieniowanie obserwujemy dzisiaj jako relikտ tamtej epoki, a jest ono znacznie chłodniejsze niż w owym czasie, ponieważ objętość Wszechświata istotnie się od tamtej pory zwiększyła.

W latach 1990–1992 mapę rozkładu promieniowania mikrofalowego wykonał satelita COBE. Zauważono wówczas, że rozkład ten nie jest doskonale jednorodny,

lecz występują w nim maleńkie fluktuacje temperatury. Ich wielkość to około jednej stutysięcznej i tak bardzo niskiej temperatury. Dlatego bardzo trudno je zauważyć – do tego potrzebny był bardzo czuły instrument na pokładzie satelity. Te fluktuacje mikrofalowego promieniowania tła są śladem początkowych niejednorodności w rozkładzie materii, które powstały w pierwszych ułamkach sekund ewolucji Wszechświata. Właśnie z tych niejednorodności powstały gromady galaktyk, galaktyki, gwiazdy i planety.

Najdokładniejsze jak dotąd mapy mikrofalowego promieniowania tła wykonał satelita WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), wystrzelony w 2001 roku. Zbierane przez niego dane były regularnie publikowane; ostatnia analiza, oparta o 5 lat obserwacji, ujrzała światło dzienne w 2008 roku. Po przeanalizowaniu zarejestrowanych fluktuacji oszacowano m.in. wiek Wszechświata na 13,69 miliarda lat. Okazało się też, iż przy założeniu Standardowego Modelu Kosmologicznego do danych zebranych przez satelitę WMAP najlepiej pasuje model Wszechświata, w którym przestrzeń jest płaska (euklidesowa), gęstość jest w przybliżeniu równa gęstości krytycznej, a ponad 70% jego zawartości stanowi tzw. ciemna energia. Pozostała zawartość jest równie tajemnicza: ponad 22% to ciemna materia, a jedynie niecałe 5% to zwykła materia barionowa, z której zbudowane są gwiazdy, planety i my sami.

Efektami związanymi z promieniowaniem tła, które obecnie szczególnie interesują astrofizyków, są efekt Sunyaeva–Zeldowicza oraz efekt Sachsa–Wolfe’a. Pierwszy z nich polega na tym, że fotony promieniowania tła rozpraszają się na wysokoenergetycznych elektronach w gromadach galaktyk, uzyskując w ten sposób dodatkową energię. Drugi efekt powoduje, że fotony, przechodząc przez zmieniający się potencjał grawitacyjny, tracą lub zyskują energię, w wyniku czego zostają „poczerwienione” lub „poniebieszczone”. Obserwacje tych efektów pomagają w badaniu wielkoskalowej struktury Wszechświata.

Teraz czekamy na nowe wyniki z wystrzelonego w maju 2009 roku satelity PLANCK.

Bożena CZERNY, Agnieszka JANIUK



Rozwiązanie zadania M 1263.

Niech $q = 1$. Wówczas istnieje taka liczba całkowita p , że $|x - p| < 1/3$. Wykażemy indukcyjnie, że

$$(1) \quad |x - p| < \frac{1}{3 \cdot 2^n} \quad \text{dla } n = 0, 1, 2, \dots,$$

skąd natychmiast wynika, że $x = p$, a więc x jest liczbą całkowitą.

Dla $n = 0$ nierówność (1) jest spełniona. Przyjmijmy zatem, że zależność (1) zachodzi dla pewnej liczby n . Wówczas

$$(2) \quad |2^{n+1}x - 2^{n+1}p| < \frac{2}{3}.$$

Z drugiej strony wiemy, że dla $q = 2^{n+1}$ istnieje liczba całkowita r spełniająca nierówność

$$(3) \quad |2^{n+1}x - r| < \frac{1}{3}.$$

Zatem wykorzystując nierówności (2) oraz (3), dostajemy

$$|2^{n+1}p - r| \leq |2^{n+1}x - 2^{n+1}p| + |2^{n+1}x - r| < \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = 1.$$

A ponieważ liczby r oraz $2^{n+1}p$ są całkowite, więc $r = 2^{n+1}p$. Równość ta oraz zależność (3) kończą dowód indukcyjny.