

Mikrofalowe promieniowanie tła (CMB, cosmic microwave background) to najdalszy (w czasie i przestrzeni) „obiekt” jaki możemy zaobserwować we Wszechświecie. CMB dociera do nas ze wszystkich kierunków na niebie powodując, że całe niebo świeci prawie idealnie jednorodnie w zakresie mikrofal (promieniowanie od długości fali około 1 mm). Stanowi on pozostałość po bardzo młodym Wszechświecie liczącym zaledwie niecałe 400 tys. lat. W tym czasie cała materia w nim zgromadzona miała postać gorącego (>3000 K), zjonizowanego gazu. Było to około 13.5 mld lat temu. Chociaż CMB zostało wyemitowane tak dawno temu, to możemy je obecnie obserwować dzięki temu, że prędkość światła jest skończona.

Dzięki skończonej prędkości światła widzimy obiekty astronomiczne takie, jakie były kiedyś. Gwiazdę odległą o np. 100 lat świetlnych widzimy taką, jaka była 100 lat temu. Światło przez nią wysłane 100 lat temu właśnie do nas dotarło. Galaktykę odległą o 2 mln lat świetlnych widzimy taką, jaka była 2 mln lat temu. I tak dalej. A im dalej od Ziemi, tym bardziej wstecz w czasie jest to, co widzimy. Jak daleko znajdują się obszary Wszechświata, które widzimy jako mikrofalowe promieniowanie tła? Promieniowanie wysłane przez te obszary leciało do nas przez 13.5 mld lat. Czy to oznacza, że odległość do nich wynosi 13.5 mld lat świetlnych? Nie. Odległość ta jest znacznie większa niż 13.5 mld lat świetlnych. Dlaczego? Z powodu rozszerzającego się Wszechświata. Wykonajmy obliczenia w uproszczonym „Wszechświecie”.

Wyobraźmy sobie miniaturowy „Wszechświecie” dwuwymiarowy, rozszerzający się, w którym prędkość światła wynosi $c=5\text{m/s}$. W tym „Wszechświecie” mamy obserwatora i jakiś świecący obiekt. W pewnym momencie $t_0=0\text{s}$, gdy obserwatora i obiekt dzieliła odległość $d=10\text{m}$, obiekt wysłał impuls światła w kierunku obserwatora. Gdyby ten „Wszechświat” się nie rozszerzał odległość obiekt-obserwator byłaby stała w czasie i obserwator otrzymałby impuls światła po 2s:

$$t = \frac{d}{c} = \frac{10\text{ m}}{5\text{ m/s}} = 2\text{ s}$$

Jednocześnie moglibyśmy powiedzieć, że odległość d wynosi 2 sekundy świetlne. Jednak nasz „Wszechświat” się rozszerza, czyli odległość d stale rośnie. Przyjmijmy, że to rozszerzanie jest coraz szybsze (ekspansja przyspiesza, podobnie jak w rzeczywistym Wszechświecie). Wygląda to tak. Po 1s od momentu $t_0=0\text{s}$ obserwator i obiekt odsuwają się od początkowych swoich położeń o 1m. Czyli odległość w momencie $t_1=1\text{s}$ między nimi jest większa o 2m w odniesieniu do odległości w momencie $t_0=0\text{s}$. W następnej sekundzie obserwator i obiekt odsuwają się od swoich położeń z momentu $t_1=1\text{s}$ o 2m. Czyli odległość w momencie $t_2=2\text{s}$ między nimi wzrasta o 4m w odniesieniu do odległości w momencie $t_1=1\text{s}$. I tak dalej. Graficznie przedstawia to rysunek na następnej stronie.

Korzystając z tego rysunku policz (jeśli trzeba, dorysuj kolejne momenty czasu):

- Po jakim czasie impuls światła dotrze do obserwatora?
- Jaką drogę pokona impuls światła między obiektem a obserwatorem (wyraź tę odległość w metrach i sekundach świetlnych)?
- Ile będzie wynosić odległość między obserwatorem a obiektem w chwili dotarcia tego impulsu do obserwatora?
- Porównaj drogę przebytą przez impuls świetlny z odległością obserwator – obiekt w momencie t_0 i z odległością obserwator – obiekt w momencie dotarcia impulsu do obserwatora (wyraź wszystkie te odległości w sekundach świetlnych).

Mając wyniki z uproszczonego „Wszechświata” łatwiej zrozumiesz te z Wszechświata rzeczywistego. Promieniowanie wysłane przez obszary, które widzimy jako mikrofalowe promieniowanie tła, leciało do nas przez 13.5 mld lat. Oznacza to, że pokonało ono odległość 13.5 mld lat świetlnych. Obliczenia uwzględniające ekspansję Wszechświata wskazują, że odległość do wspomnianych obszarów wynosi w tej chwili około 46 mld lat świetlnych. To ponad 3 razy więcej niż droga, którą pokonało promieniowanie. Natomiast kiedy promieniowanie to rozpoczęło swoją wędrówkę 13.5 mld lat temu odległość między nami⁽¹⁾ a tymi obszarami wynosiła 42 mln lat świetlnych, czyli była prawie 1100 razy mniejsza niż obecnie.

(1) Tu, gdzie jest Ziemia teraz, 13.5 mld lat temu był tylko jednorodny, gorący gaz. Jak wszędzie wówczas we Wszechświecie.

Dodatkowe pytania do przemyślenia:

- W którym momencie czasu prędkość oddalania się od siebie obiektu i obserwatora staje się większa do c (nadświetlna)? Czy to jest to złamanie praw fizyki (nic co posiada masę nie może osiągnąć prędkości równej i większej od c)?
- Czy impuls świetlny wysłany z obiektu w kierunku obserwatora w momencie $t_3=3s$ kiedykolwiek do niego dotrze? Co wynika z odpowiedzi na to pytanie dla obserwacji w rzeczywistym Wszechświecie?

