

III.3 cd Efekt Dopplera: prawo Hubble'a

Zadanie 9 z Serii 3

Zadanie 9 z Serii 3.

W astrofizyce przesunięcie ku czerwieni dla światła dobiegającego do nas z odległego obiektu (np. galaktyki) oznaczane jest symbolem z i definiowane jest następująco:

$$z = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0}$$

gdzie λ_0 jest długością fali światła w układzie obiektu wysyłającego, zaś λ to długość fali jaką zmierzy obserwator, względem którego obiekt się porusza.

- a) Wyrazić wielkość z przez prędkość obiektu.
- b) Dla kwazaru OQ 172 przesunięcie ku czerwieni $z = 3.53$. Z jaką prędkością oddala się od nas ten kwazar?
- c) Jak daleko znajduje się on od nas i jaki moment jego historii w obecnej chwili obserwujemy? Do obliczenia odległości skorzystać z prawa Hubble'a.

Prawo Hubble'a - jedno z największych odkryć XX w.

Pod koniec lat 1920 Edwin Hubble, astronom z Mt. Wilson Observatory po raz pierwszy zmierzył odległości do galaktyk (które wtedy nazywano jeszcze często mgławicami). Posłużył się „świecami standardowymi” – gwiazdami o znanej jasności absolutnej, którymi były gwiazdy zmienne cefeidy (jasność c. jest znaną funkcją okresu ich zmienności).

Wykorzystując efekt Dopplera EH zmierzył też prędkości galaktyk. Okazało się, że galaktyki rozbiegają się z prędkościami v proporcjonalnymi do odległości między nimi r :

$$v = H r$$

Wszechświat - podróż w czasie do Wielkiego Wybuchu



Hubble Deep Field
Hubble Space Telescope - WFPC2

PRC06-01a - ST Sc. 0202 - January 15, 1995 - R. Williams (ST Sc), NASA

Prawo Hubble'a

Prawo Hubble'a mówi, że prędkość v oddalania się obiektu astronomicznego i jego odległość r od nas związane są zależnością:

$$v = H \cdot r$$

, gdzie $H = 100 h \text{ km/s/Mps} = h \times (9.77813 \text{ Gyr})^{-1}$ jest tzw. stałą Hubble'a. Znormalizowana stała Hubble'a h z najnowszych pomiarów wynosi $h = (0.71 \pm 0.04 \pm 0.03)$. Odwrotność stałej Hubble'a H wynosi około 13.7 mld. lat. Długość Hubble'a $c/H = 1.3 \times 10^{26} \text{ m}$

Prawo Hubble'a jest wyrazem rozszerzania się Wszechświata.

Parsek (ps) to astronomiczna jednostka długości równa odległości z której większą półoś eliptycznej orbity Ziemi wokół Słońca widać pod kątem jednej sekundy: $1 \text{ ps} = 3.26 \text{ lat świetlnych} = 3.08 \cdot 10^{13} \text{ km} = \text{około } 200\,000 \text{ większych półosi Ziemi (j.a.)}$.

$$z = \frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 = \frac{v_0}{v} - 1$$

ale:

$$v_0 = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} v$$

co daje nam:

$z+1 = \gamma(1+\beta)$; podnosząc stronami do kwadratu:

$$(z+1)^2 (1-\beta^2) = (1+\beta)^2$$

$$\beta^2 [(z+1)^2 + 1] + 2\beta - [(z+1)^2 - 1] = 0$$

$$\Delta = 4 + 4[(z+1)^2 + 1][(z+1)^2 - 1] = 4(z+1)^4$$

$$\beta = \frac{-2 + 2(z+1)^2}{2[(z+1)^2 + 1]} = \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}$$

Zadanie 9 a)

Dla $z > 0$ dostajemy $\beta > 0$ czyli mamy do czynienia z oddalaniem się źródła od obserwatora

Zadanie 9 b) i c)

Prędkość:

$$\beta = \frac{4.53^2 - 1}{4.53^2 + 1} = \frac{19.5209}{21.5209} = 0.907 \approx 0.91$$

Odległość z prawa Hubble'a:

$$r = \frac{c}{H} \beta = 1.3 \times 10^{23} \times 0.91 \text{ km} = 1.18 \times 10^{23} \text{ km}$$

Czas wysłania sygnału:

$$t = \frac{r}{c} = \frac{\beta}{H} = 0.91 \times (13.7 \times 10^9 \text{ lat}) = 12.5 \times 10^9 \text{ lat}$$