

Astronomia Pozagalaktyczna: Parametr i stała Hubble'a

Szymon Kozłowski

Uniwersytet Warszawski

2022-2023



Parametr i stała Hubble'a

$H(t)$ – parametr Hubble'a

$$H(t) = \frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \quad (1)$$

Dzień dzisiejszy

Jeśli rozważamy dzień dzisiejszy to $t = t_0$, to parametr Hubble'a nazywamy stałą Hubble'a.

$$H_0 = H(t_0) \quad (2)$$

H_0 – stała Hubble'a

Jest to jeden z podstawowych i najważniejszych parametrów kosmologicznych!

$$H_0 \approx 70 \frac{\text{km}}{\text{s}} / \text{Mpc} \quad (3)$$

Edwin Hubble - Stała Hubble'a (1929)

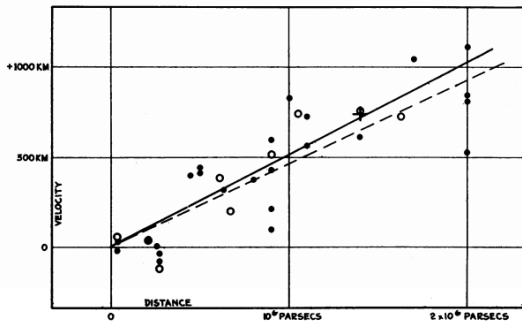
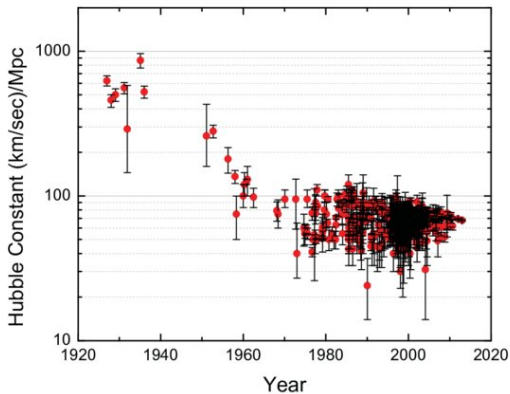


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

$$H_0 = 550 \text{ km/s/Mpc}$$

H_0 przez 100 lat



Równanie Friedmanna

Równanie Friedmanna

$$H^2 = H_0^2 \left(\frac{\Omega_R}{a^4} + \frac{\Omega_M}{a^3} + \frac{\Omega_K}{a^2} + \Omega_\Lambda \right) = H_0^2 E(z)^2 \quad (4)$$

Równanie Friedmanna opisuje zmianę czynnika skali w czasie. Obecnie, czyli dzisiaj $a(t_0) = a_0 = 1$ oraz $H = H_0$, dlatego:

$$H_0^2 = H_0^2 (\Omega_R + \Omega_M + \Omega_K + \Omega_\Lambda) \quad (5)$$

czyli:

$$\Omega_R + \Omega_M + \Omega_K + \Omega_\Lambda = 1 \quad (6)$$

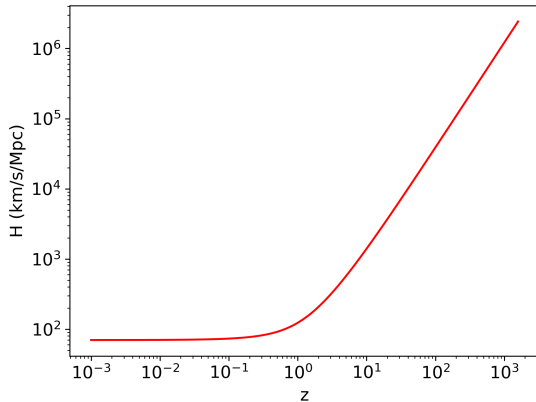
Stała Hubble'a krytyczna dla odległości i czasu w Wszechświecie

$$E(z) = \sqrt{\Omega_R(1+z)^4 + \Omega_M(1+z)^3 + \Omega_K(1+z)^2 + \Omega_\Lambda} \quad (7)$$

$$D_L(z) = (1+z) \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{E(z')} \quad (8)$$

$$t(z) = \frac{1}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{(1+z')E(z')} \quad (9)$$

$H(z)$ dla $z=0$ do $z=1100$



$H(z)$ w przyszłości

Równanie Friedmanna

$$H^2 = H_0^2 \left(\frac{\Omega_R}{a^4} + \frac{\Omega_M}{a^3} + \frac{\Omega_K}{a^2} + \Omega_\Lambda \right) = H_0^2 E(z)^2 \quad (10)$$

Parametr Hubble'a w przyszłości – $H(z = \infty)$

Wszechświat eksponencjalnie rośnie, co oznacza, że $a(t)$ rośnie. Z tego wynika, że $\frac{\Omega_R}{a^4}$, $\frac{\Omega_M}{a^3}$, i $\frac{\Omega_K}{a^2}$ maleją do zera jeśli $a(t) \rightarrow \infty$. Jedyne niezaniechany człon równania to Ω_Λ . Stąd

$$H(z = \infty) = H_0 \sqrt{\Omega_\Lambda} \approx 70 \sqrt{0.7} \text{ km/s/Mpc} \approx 58 \text{ km/s/Mpc} \quad (11)$$

W zależności od parametrów kosmologicznych asymptotyczna wartość parametru Hubble'a to 57–61 km/s/Mpc (tj. Hubble tension – na dalszym slajdzie).

Wiek Wszechświata

Wiek Wszechświata

$$t(\infty) = \frac{1}{H_0} \int_{z=0}^{z=\infty} \frac{dz'}{(1+z')E(z')} = \frac{1}{H_0} \cdot 0.96 \quad (12)$$

Model: $\Omega_M = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$

- dla $H_0 = 67.4$ km/s/Mpc $t = (1/H_0) \cdot 0.96 = 13.99$ mld lat
- dla $H_0 = 70$ km/s/Mpc $t = (1/H_0) \cdot 0.96 = 13.47$ mld lat
- dla $H_0 = 73.5$ km/s/Mpc $t = (1/H_0) \cdot 0.96 = 12.82$ mld lat
- dla $H_0 = 100$ km/s/Mpc $t = (1/H_0) \cdot 0.96 = 9.43$ mld lat
- dla $H_0 = 550$ km/s/Mpc $t = (1/H_0) \cdot 0.96 = 1.71$ mld lat

Wiek obiektów we Wszechświecie

Gromada kulista M92 w Drodze Mlecznej – wiek 11–14.2 mld lat.

Hubble Tension

An emerging problem in Physics

