

# IOAA online felkészítő hétvége

## KOZMOLÓGIA

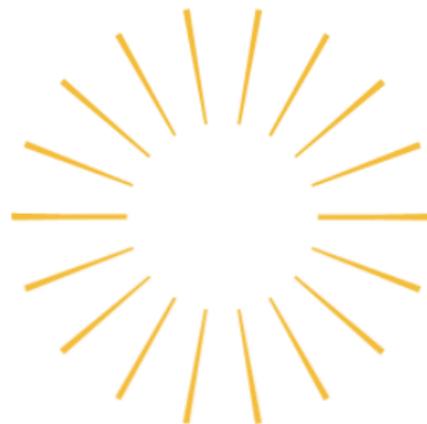
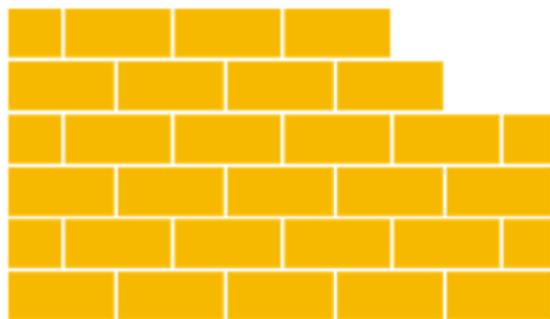
Dálya Gergely

ELTE Atomfizikai Tanszék  
LIGO Livingston Observatory  
dalyag@caesar.elte.hu

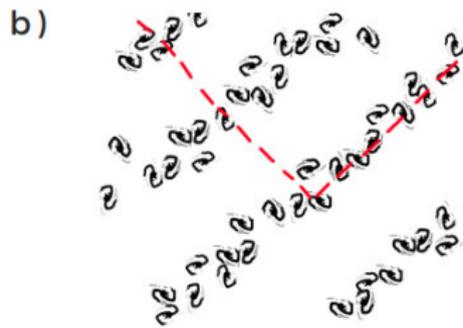
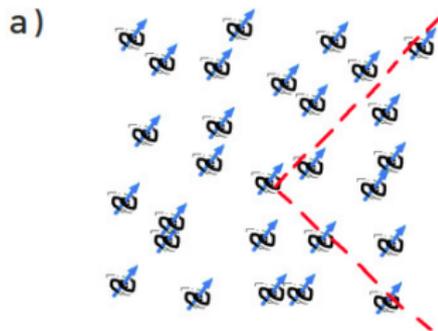


2020. 04. 25.

Az Univerzum *nagy skálán* **homogén** és **izotrop**.

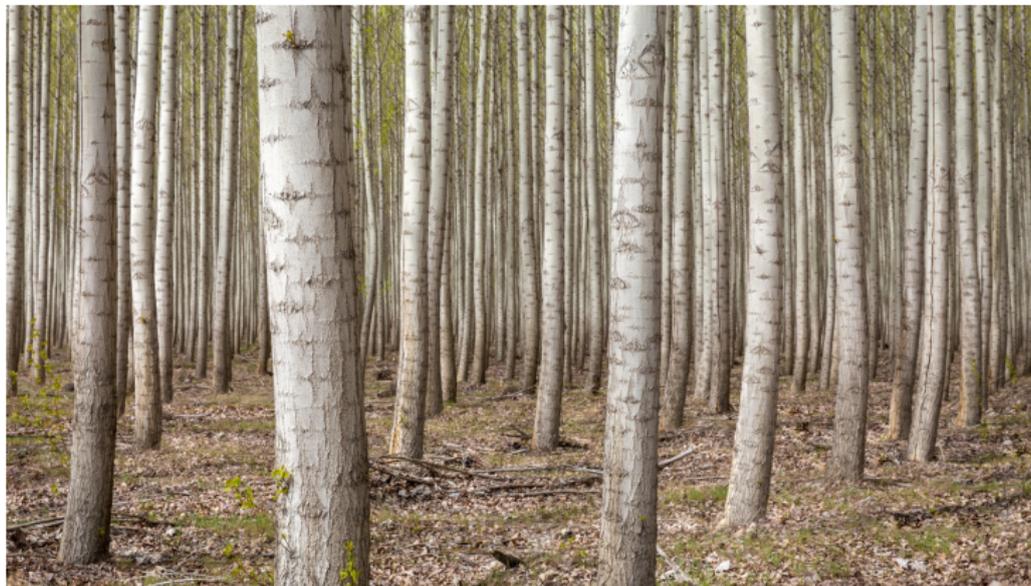


Mekkora ez a *nagy skála*?



# Olbers-paradoxon

Statikus, végtelenül nagy és idős Univerzumban miért van éjszaka sötét?



Sötét felhők kitakarják a csillagokat?

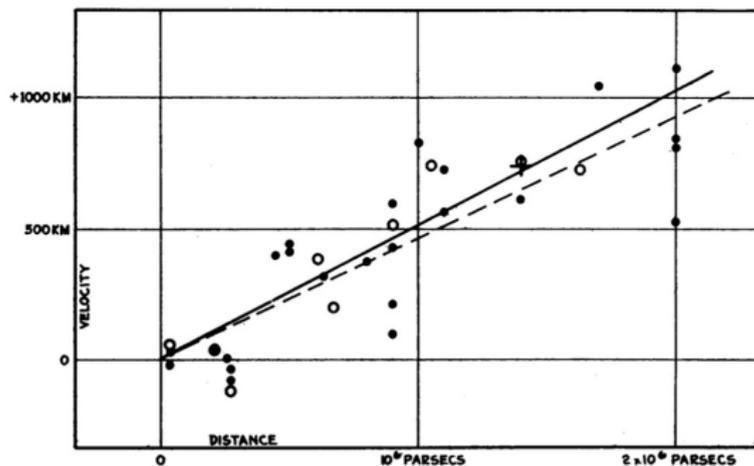


FIGURE 1

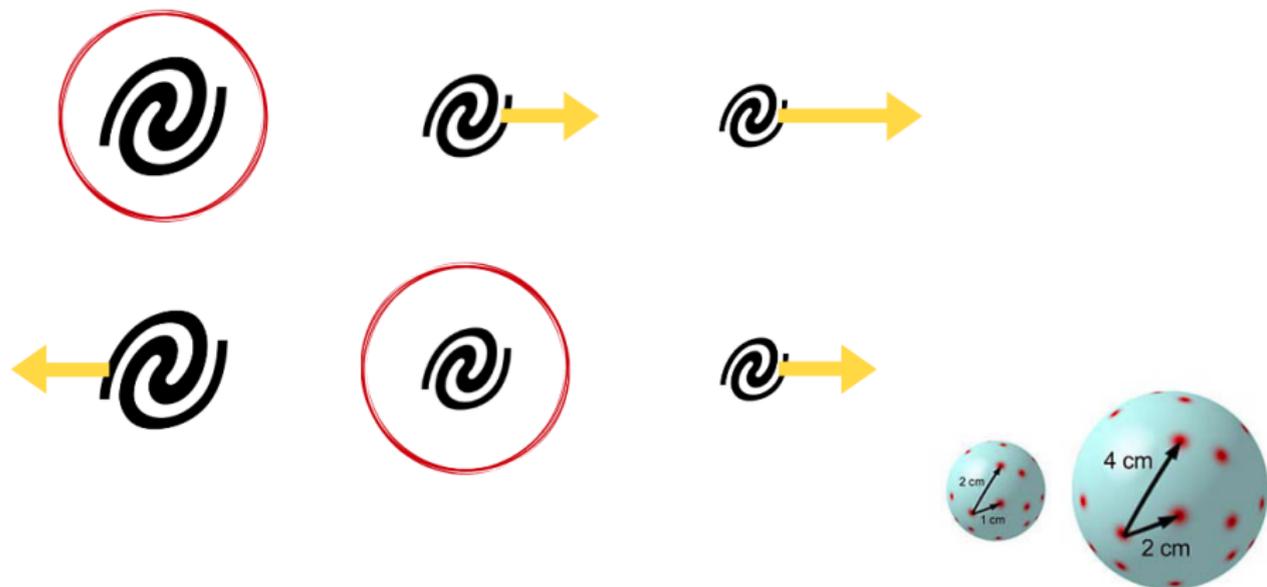
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Hogyan tudjuk megmérni a sebességüket és a távolságukat?

Mi nehezítheti a pontos mérést?

Mi vagyunk a világ közepe?

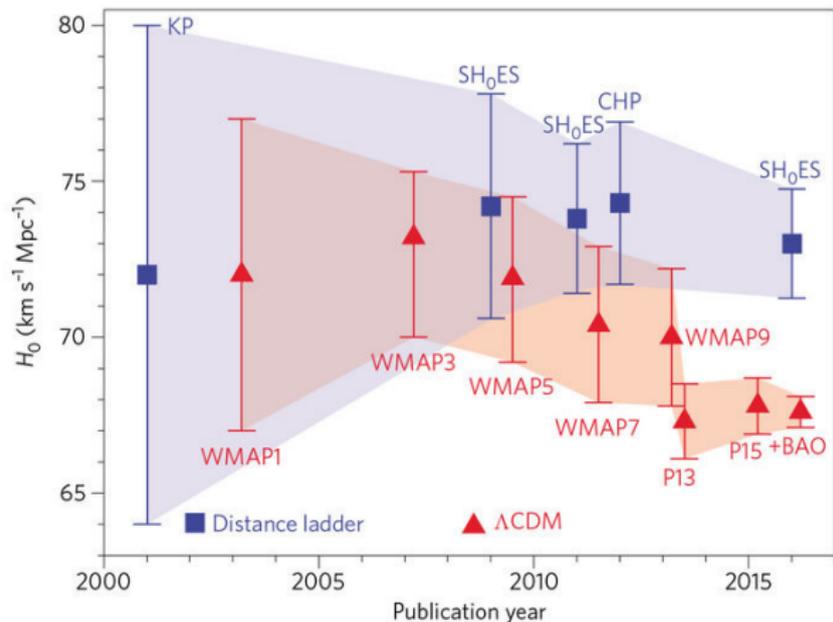
# Hubble–Lemaître-törvény



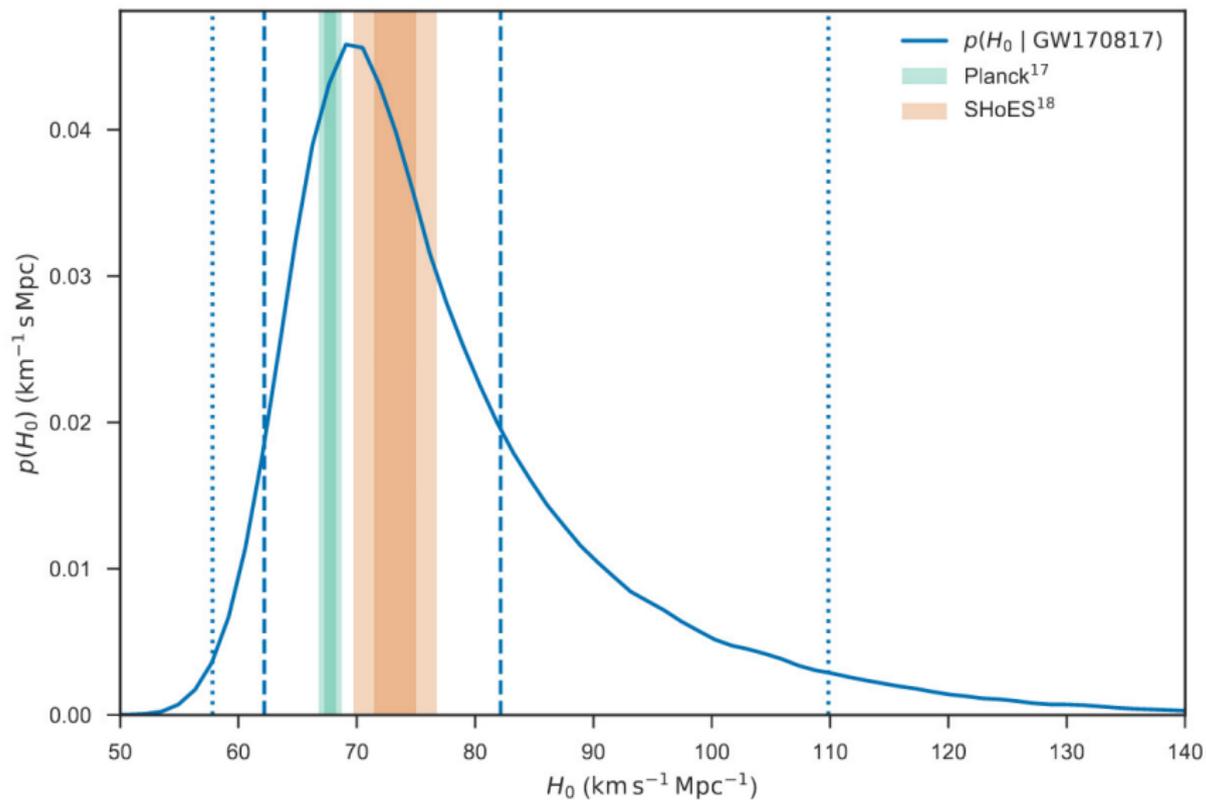
Mindenhonnan ugyanúgy néz ki, az Univerzumnak *nincs közepe*!  
Nem a galaxisok mozognak, hanem a tér tágul!  
Tágul a Naprendszer is? Tágulunk mi is?

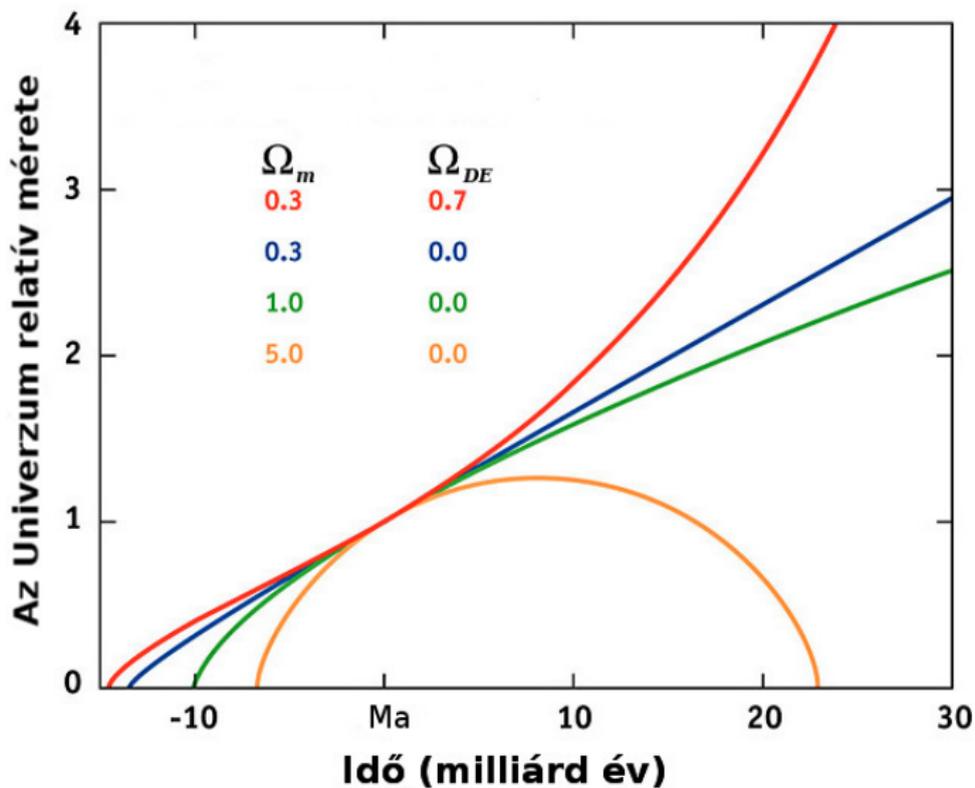
# Hubble–Lemaître-törvény

$$v = H_0 \cdot d \quad H_0 \simeq 70 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}} \quad \frac{1}{H_0} = ? \quad (1)$$



# Hubble–Lemaître-törvény





$$\rho_{\text{krit}} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \simeq 9,47 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

Az Ősrobbanás-elmélet három bizonyítéka:

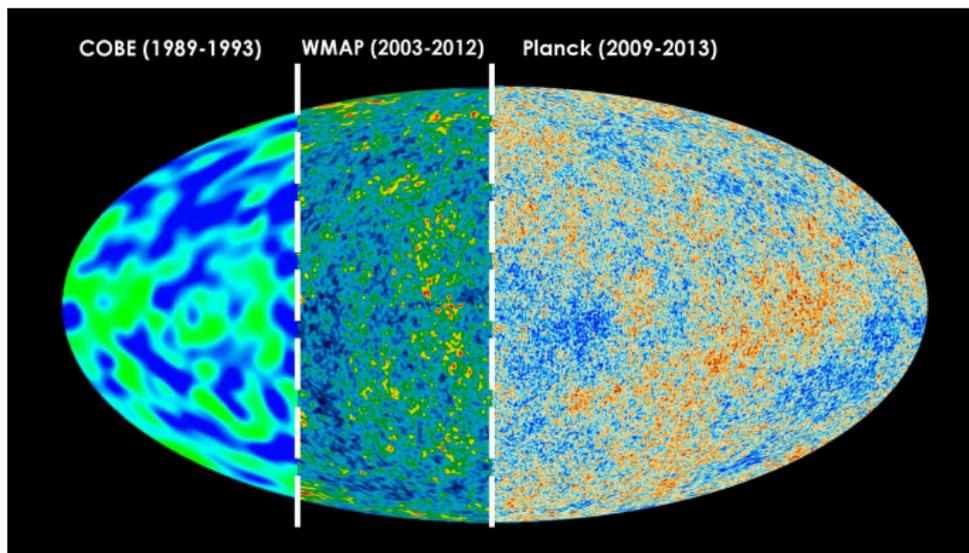
- ▶ Az Univerzum tágulása
- ▶ Kozmikus elemgyakoriság ( $\sim 75\%$  H,  $\sim 25\%$  He)
- ▶ Kozmikus háttérsugárzás (CMB)

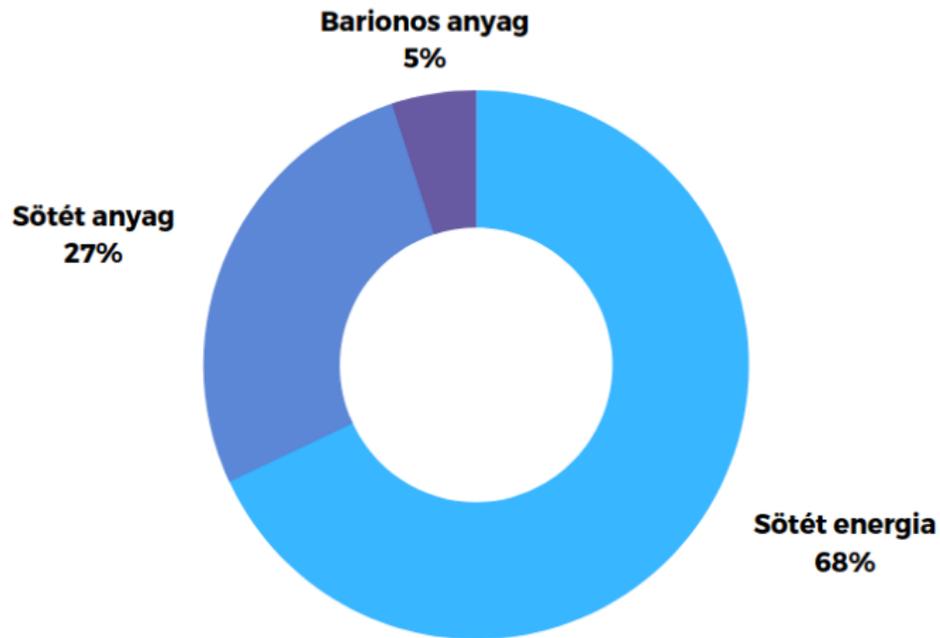
# Kozmikus háttérsugárzás

Rekombináció:  $t = 380\,000$  év,  $T \simeq 3000$  K  $\rightarrow T_0 = 2,725$  K

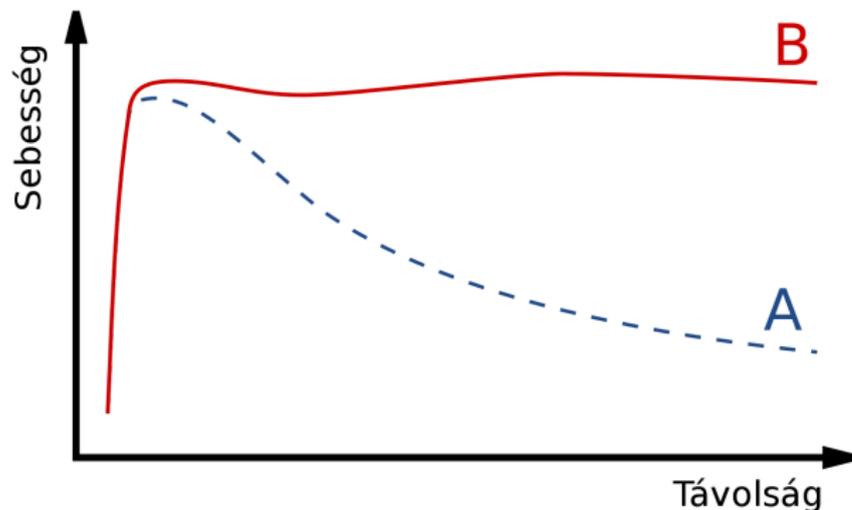
A legpontosabb feketetest-spektrum.  $\Delta T_0/T_0 \simeq 10^{-5}$

A fluktuációk mértéke is egyezik a megjósolttal.



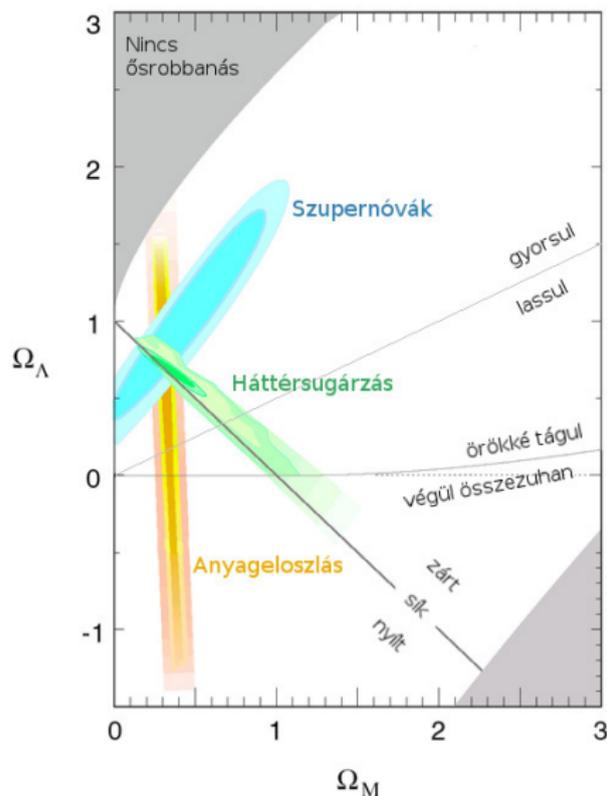


Galaxis rotációs görbéje:  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$



Másik bizonyíték: galaxishalmazok röntgensugárzása

# Sötét energia



$$\frac{\rho}{\rho_{\text{krit}}} = \Omega$$

$$\rho = \rho_{\text{anyag}} + \rho_{\text{sug}} + \rho_\Lambda$$

$$\Omega = \Omega_M + \Omega_R + \Omega_\Lambda$$

Mostani értékeik:

$$\Omega_{M,0} \simeq 0,27$$

$$\Omega_{\Lambda,0} \simeq 0,73$$

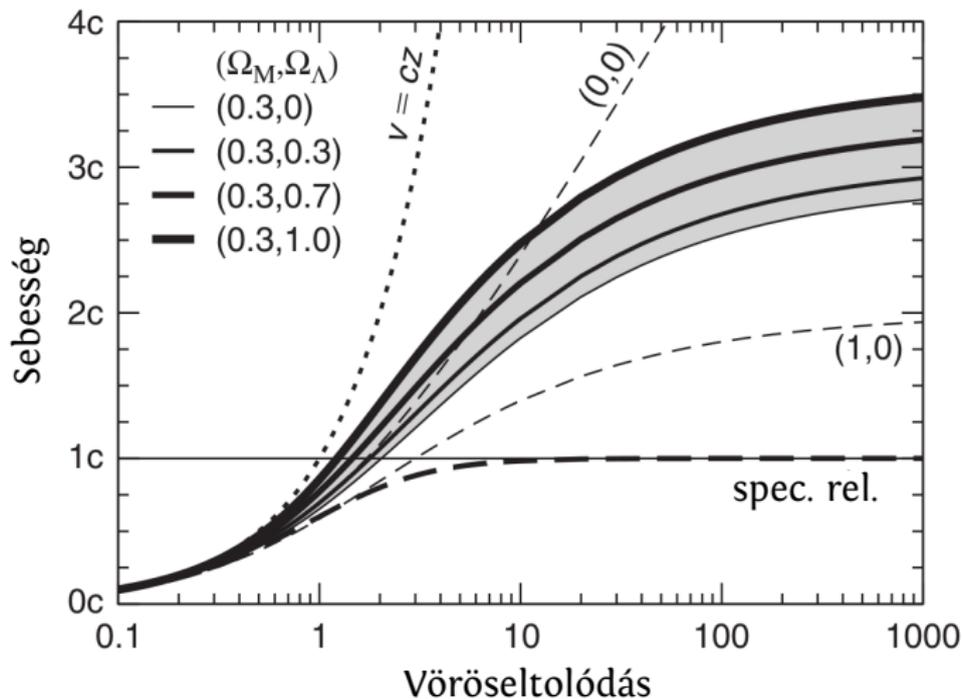
$$\Omega_{R,0} \simeq 10^{-4}$$

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (6)$$

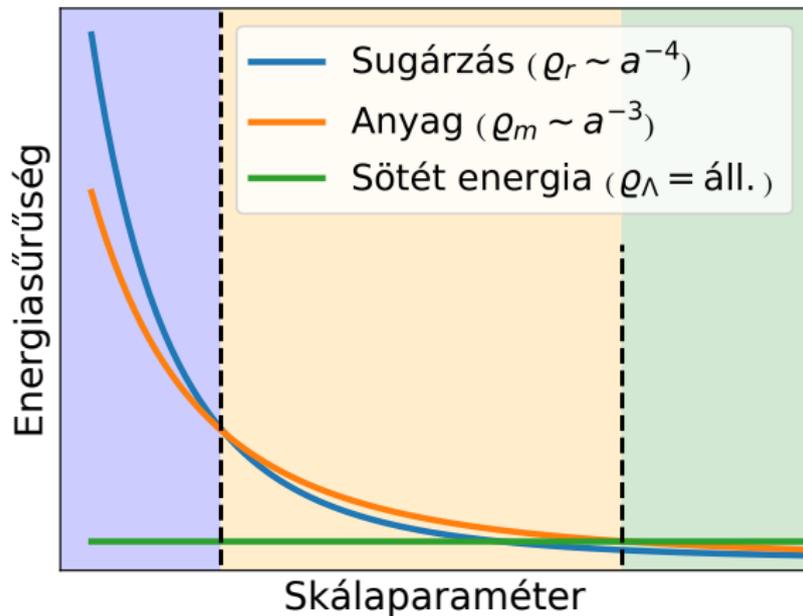
Mi köze van ennek a távolodási sebességhez?

- ▶ Klasszikus fizika:  $z = v/c$
- ▶ Speciális relativitáselmélet:  $1 + z = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$
- ▶ Kozmológia:  $1 + z = a_{\text{detektálásakor}}/a_{\text{kibocsátáskor}}$

Skálaparaméter:  $d(t) = a(t) \cdot d_0$        $a_0 = 1$



Fénysebességnél gyorsabb tágulás?



|                                   | Sugárzásdominált kor<br>( $a \sim t^{1/2}$ ) | Anyagdominált kor<br>( $a \sim t^{2/3}$ ) |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Sugárzás ( $\rho_r \sim a^{-4}$ ) | $\rho_r \sim t^{-2}$                         | $\rho_r \sim t^{-8/3}$                    |
| Anyag ( $\rho_m \sim a^{-3}$ )    | $\rho_m \sim t^{-3/2}$                       | $\rho_m \sim t^{-2}$                      |
| Sötét energia ( $\rho_\Lambda$ )  | konst.                                       | konst.                                    |

|                          | $t$ (év)          | $T$ (K) | $z$  |
|--------------------------|-------------------|---------|------|
| Ma                       | $13,8 \cdot 10^9$ | 2,725   | 0    |
| Rekombináció             | 380 000           | 3000    | 1100 |
| Sugárzás-anyag egyensúly | 58 000            | 10 000  | 3850 |