

### A szökési sebesség

$$v_{szökési} = \sqrt{2} \cdot v_{kör} = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R}}$$

$$H^2 R^2 = \frac{2\gamma \pi R^3 \rho}{R}$$

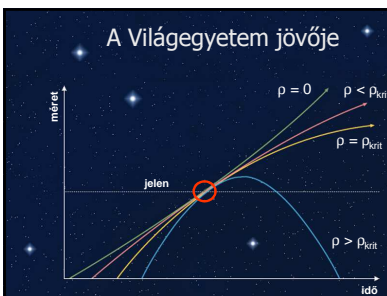
$$\rho = \frac{3H^2}{8\pi\gamma}$$

$$v = H \cdot R \quad M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \quad \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

### A kritikus sűrűség

$$\rho_{kritikus} = \frac{3H^2}{8\pi\gamma}$$

$$\rho_{kritikus} = \frac{3 \left( \frac{20 \text{ km}}{\text{s} \cdot 10^6 \text{ fényév}} \right)^2}{8 \cdot 3,14 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}}$$

$$\rho_{kritikus} = 8 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 10 \cdot 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5 \text{ H atom/m}^3$$


### Az Univerzum jövője

$\rho > \rho_{kritikus}$        $\rho \leq \rho_{kritikus}$        $\rho = 0$  (üres)

### Az Univerzum geometriája

A tér	Göbület	Az Univerzum sorsa
	zárt > 0	a tágulást összehúzódás követi
	sík (nem görbült) 0	csökkenő tempóban folyamatosan tágul
	nyílt < 0	csökkenő tempóban folyamatosan tágul

Dimenzió:	Az alakzat:	
1	nyílt	
1	zárt	
2	nyílt	
2	zárt	
3	nyílt	
3	zárt	?????

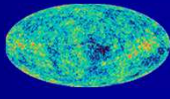
### Véges, de határtalan

Egy irányban haladva visszaérünk a kiindulási pontba.  
A méret véges.

### Az Univerzum átlagsűrűsége

- Megfigyelhető anyag:  $10^{-27} \text{ kg/m}^3$
- Sötét anyag:  $9 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$  (becslés!!!)
- Összesen:  $\sim 10 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$
- Kritikus sűrűség:  $\sim 10 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$
- Az Univerzum sűrűsége = kritikus sűrűség

### A Világegyetem geometriája



$t = 380$  ezer év

- A háttérsugárzás fluktuációjának mérete
  - zárt világegyetem:  $\sim 1,5^\circ$
  - sík világegyetem:  $\sim 1^\circ$
  - nyílt világegyetem:  $\sim 0,5^\circ$
- WMAP (2010):  $\rho = (1,0023 \pm 0,0055) \rho_0$   
a Világegyetem sík!!! ( $\pm 0,5\%$  hiba)

### A Világegyetem energiája

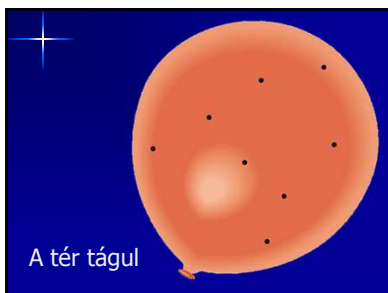
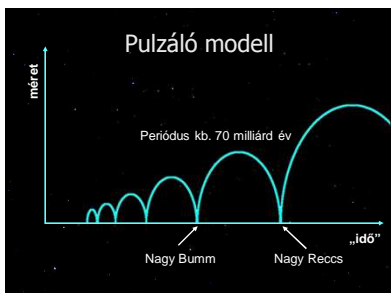
$\rho_{kritikus} < \rho$  sok az anyag kötött állapot  $E < 0$   
 $\rho_{kritikus} \geq \rho$  kevés az anyag szabad állapot  $E \geq 0$

!!! A kritikus sűrűség !!!  
 esetén:  
 !!! NULLA összenergia !!!

### A Világegyetem energiája

$\rho_{kritikus} \approx \rho$

!!! A Világegyetem !!!  
 !!! összenergiája !!!  
 !!! NULLA !!!



### A hiperbolikus modell

Kozmikus dekád: a tíz hatványkitevője (pl. 20 dekád:  $10^{20}$  év)

- 6-14 dekád (jelen): csillagkor**
  - galaxisok, csillagok, bolygók
  - az anyag kis része koncentráliódik fehér törpékben, neutroncsillagokban és fekete lyukakban
  - a végére elfogy a nukleáris üzemanyag

### Degenerált kor



- 14-37 dekád**
  - megszakad a csillagképződés folyamata
  - halott bolygók, barna törpék, fehér törpék, neutroncsillagok, fekete lyukak
  - gravitációs kölcsönhatás, ütközések, néhány új csillag

### Fekete lyuk korszak

- 38-100 dekád**
  - egyre növekvő méretű fekete lyukak
  - először lassan, majd egyre gyorsabban párolognak
  - Hawking-sugárzással fotonokat és részecskéket bocsátanak ki a szupermasszív fekete lyukak végső felvillanása

### A nagy megdermedés kora

- a 100. dekádtól**
  - az Univerzum lassan lehűl az abszolút zérus fokra
  - fotonok, neutrínók, elektronok, pozitronok
  - igen nagy méret, igen kicsi sűrűség
  - hideg, kihalt, „üres” Világegyetem

