

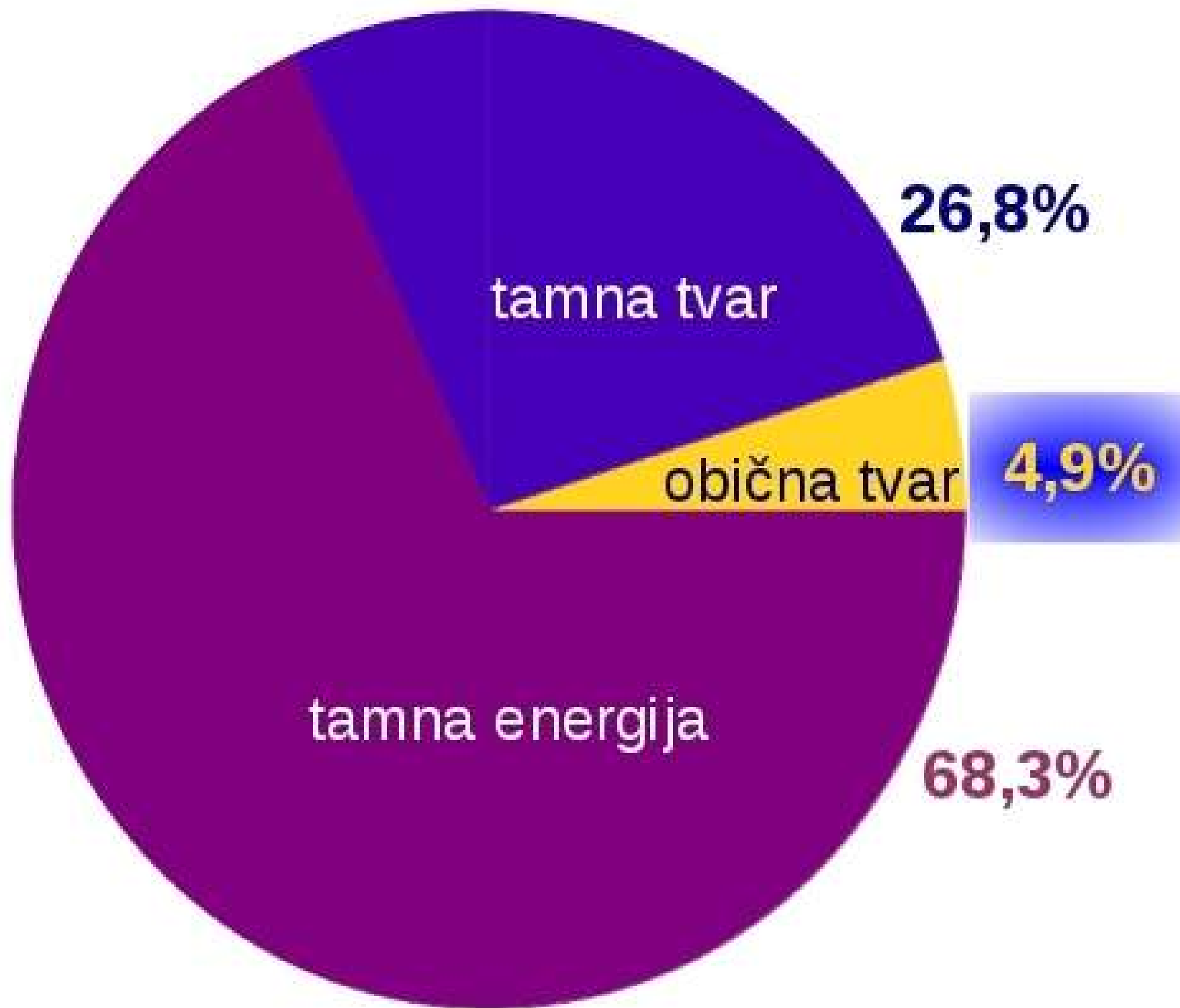
# Tamna materija, tamna energija

doc. dr. sc. Dario Hrupec

Odjel za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

`dhrupec@fizika.unios.hr`

Dani otvorenih vrata udruga, Velika dvorana Matice hrvatske  
Zagreb, 25. svibnja 2017.



# Lambda-CDM model

standardni model kozmologije **velikog praska**,  
pretpostavlja **opću teoriju relativnosti**

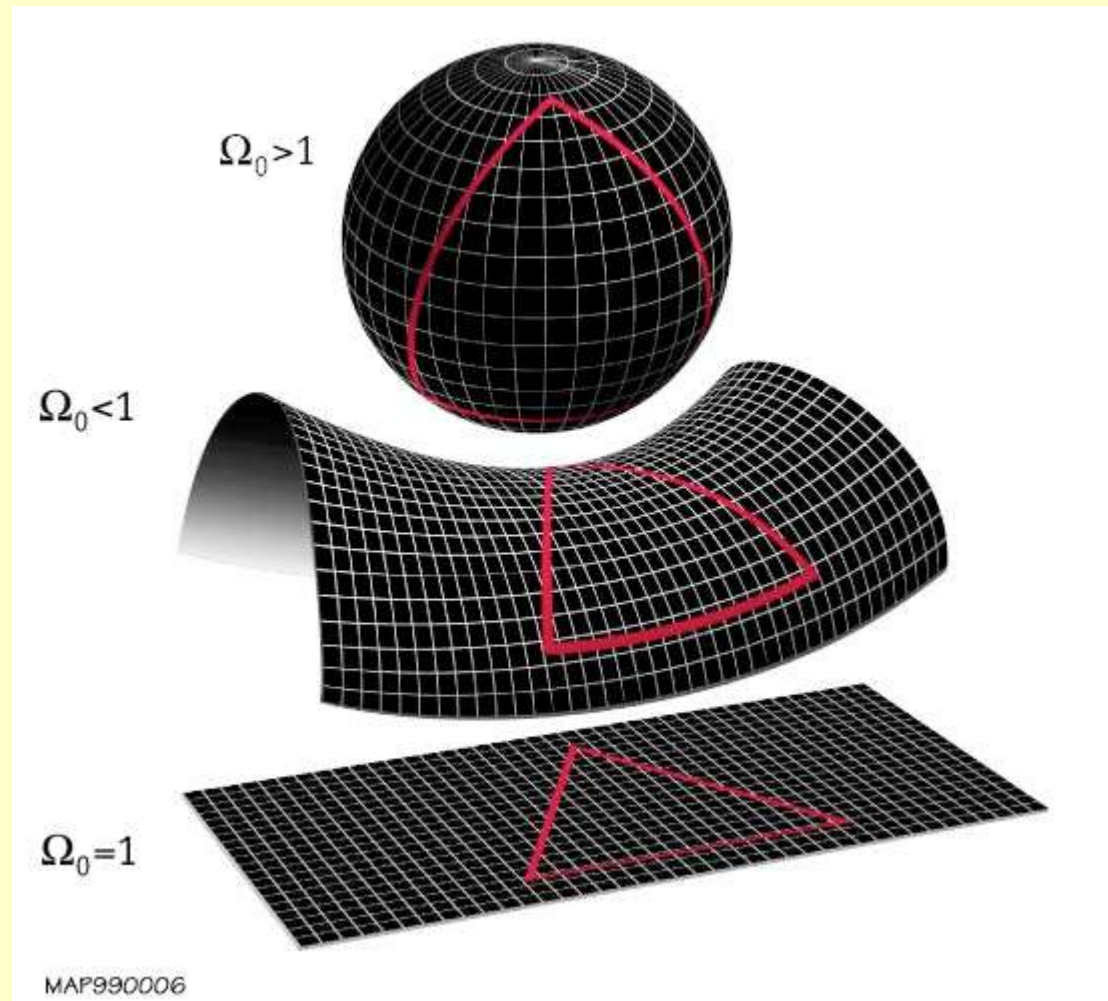
parametrizacija koja uključuje **kozmošku konstantu**  
(lambda) i **hladnu tamnu tvar** (CDM)

predviđa:

- postojanje i strukturu **kozmičkog mikrovalnog zračenja**
- raspodjelu galaksija na velikoj skali
- udjele vodika, deuterija, helija i litija
- ubrzano širenje svemira

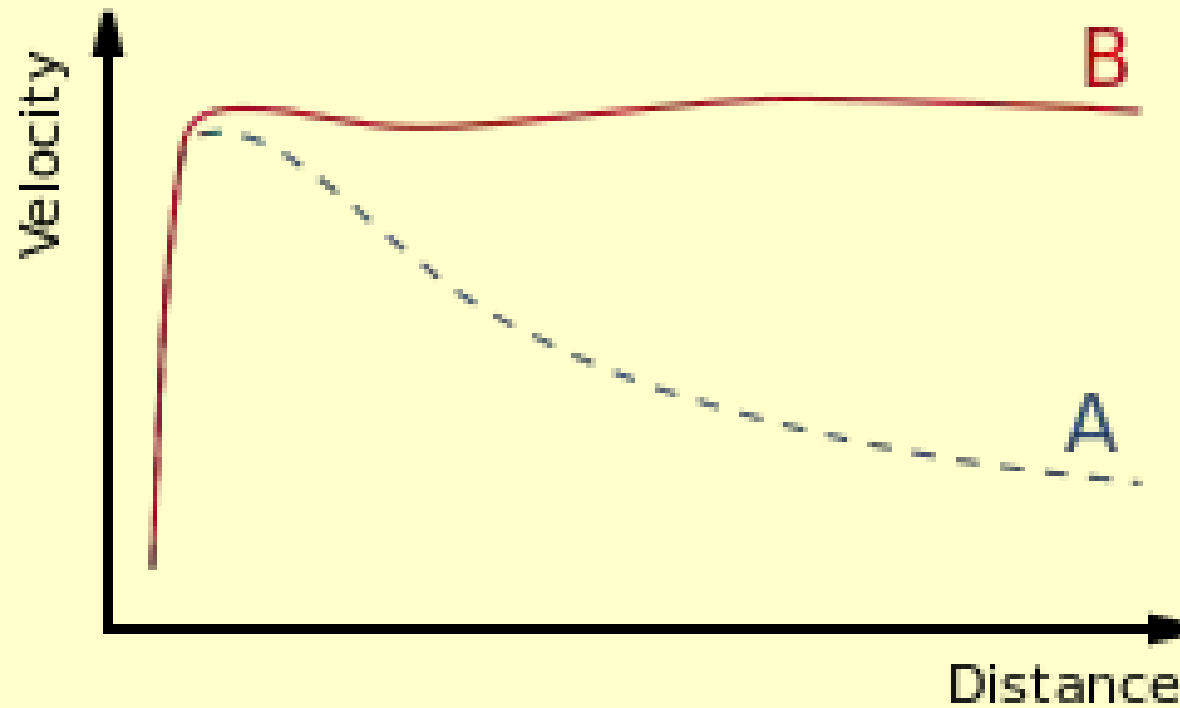
# zašto Lambda?

opažanje pokazuje da je svemir **ravan**

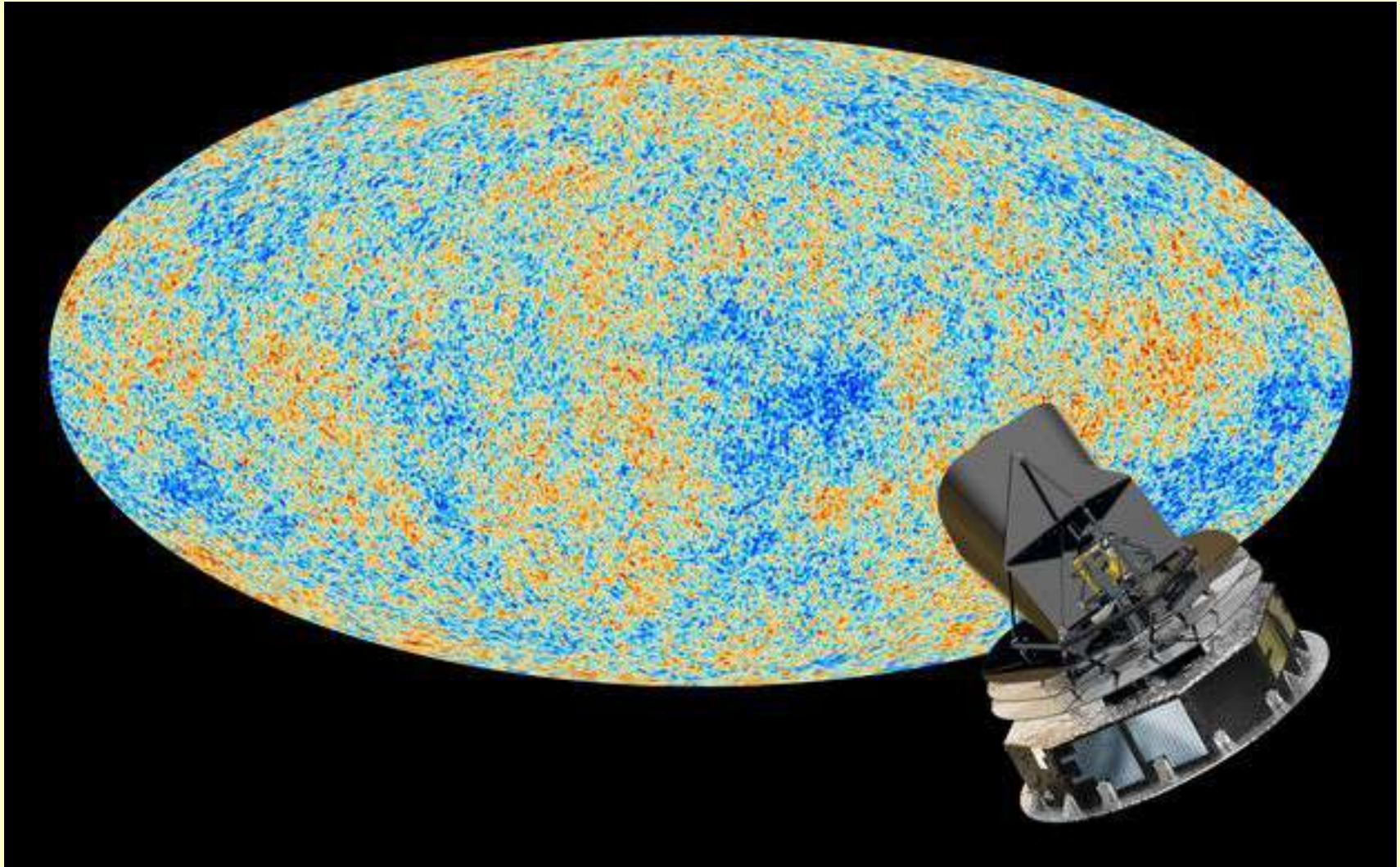


# zašto tamna tvar?

opažanje pokazuje da **nedostaje masa**



# satelit Planck



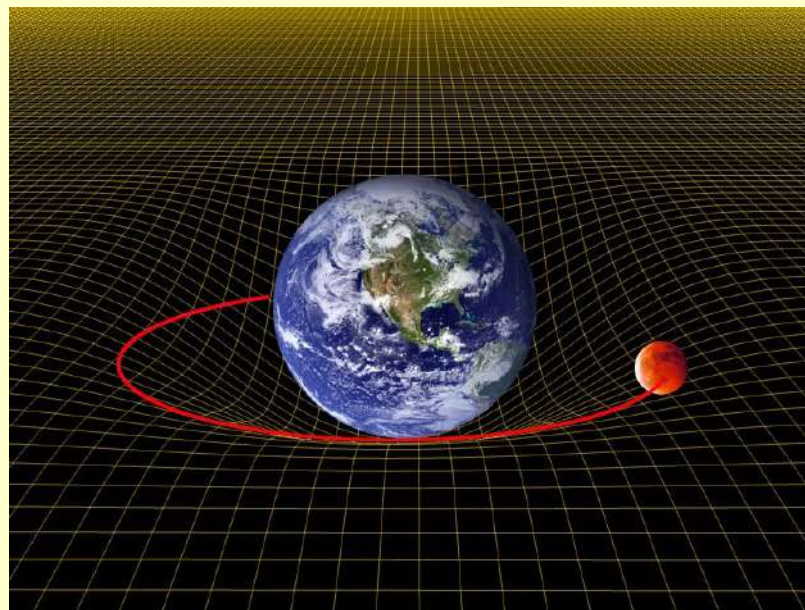
najpreciznije mjerenje anizotropije **kozmičkog mikrovalnog zračenja**  
opažanja: 2009. - 2013.  
konačni rezultati objavljeni u veljači 2015.

# opća teorija relativnosti

Einstein, 1915.

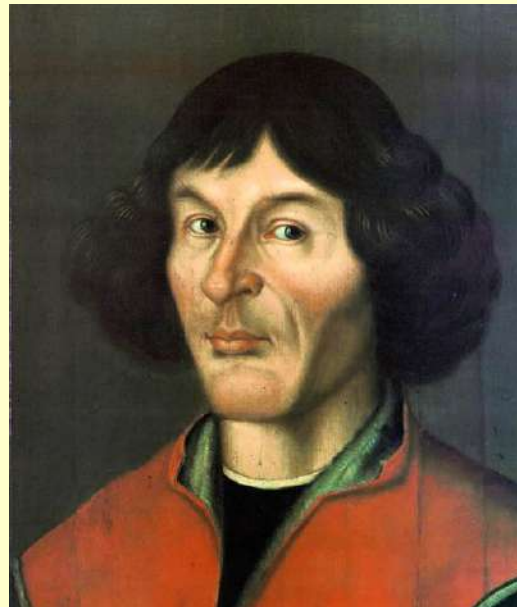
masaenergija zakrivljuje prostorvrijeme

širenje svemira  
gravitacijski valovi  
crne rupe  
gravitacijske leće



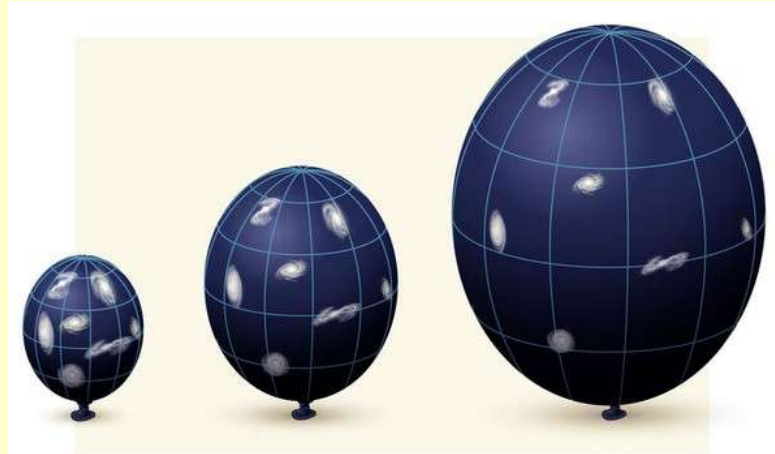
# teorija velikog praska - pretpostavke

- (1) univerzalnost fizičkih zakona (isti su svugdje i uvijek)
- (2) kozmološko načelo (svemir je približno homogen i izotropan u prostoru, ali ne i u vremenu)
- (3) kopernikansko načelo (ne opažamo svemir iz nekog povlaštenog položaja)





# teorija velikog praska - predviđanja



(1) širenje svemira

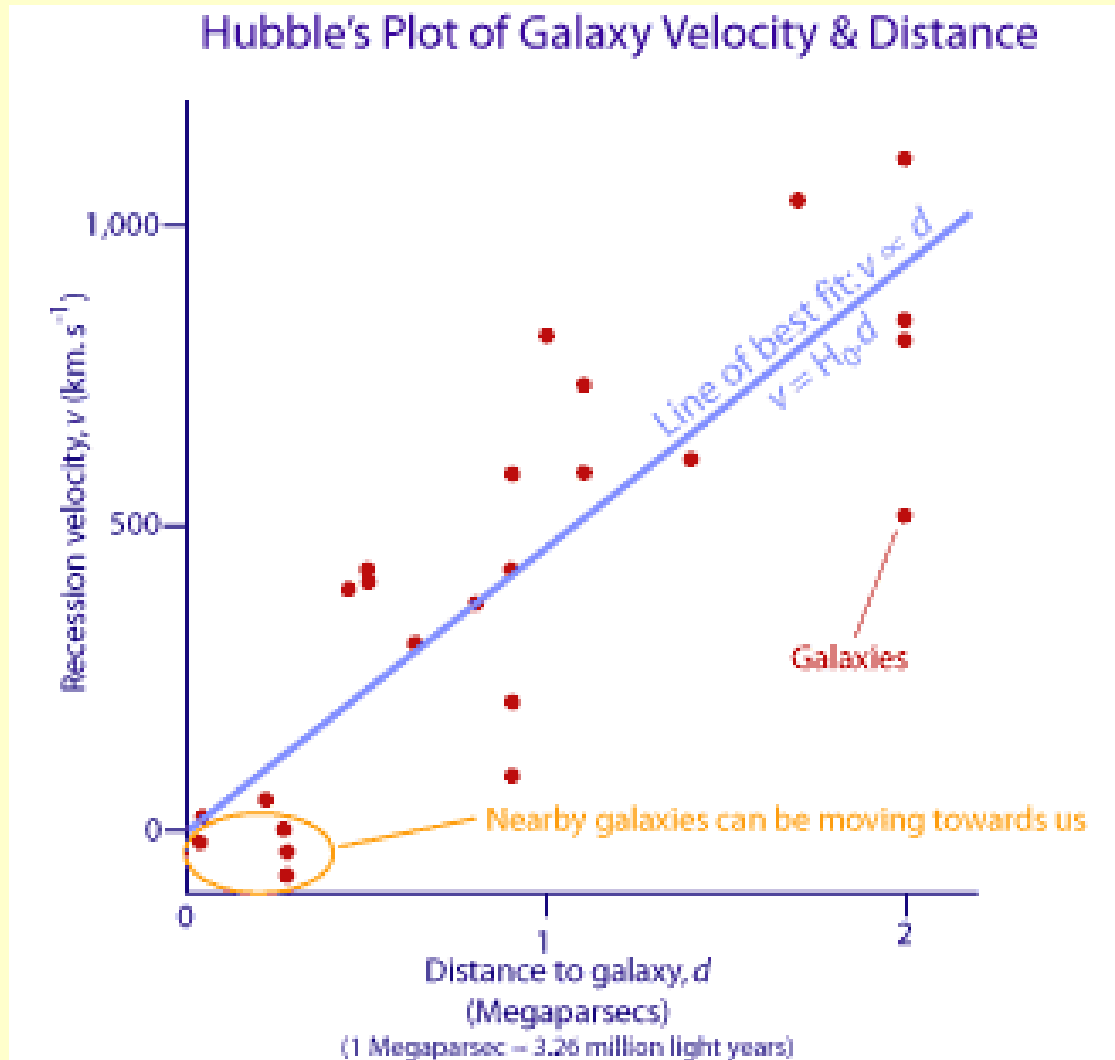
(2) vruće, gusto stanje **u početku**

(3) nastanak lakih elemenata u ranoj fazi razvoja svemira  
(nukleosinteza)

(4) postojanje kozmičkog mikrovalnog pozadinskog  
zračenja

# teorija velikog praska - potvrde

## (1) udaljavanje galaksija



$$v = H_0 d$$

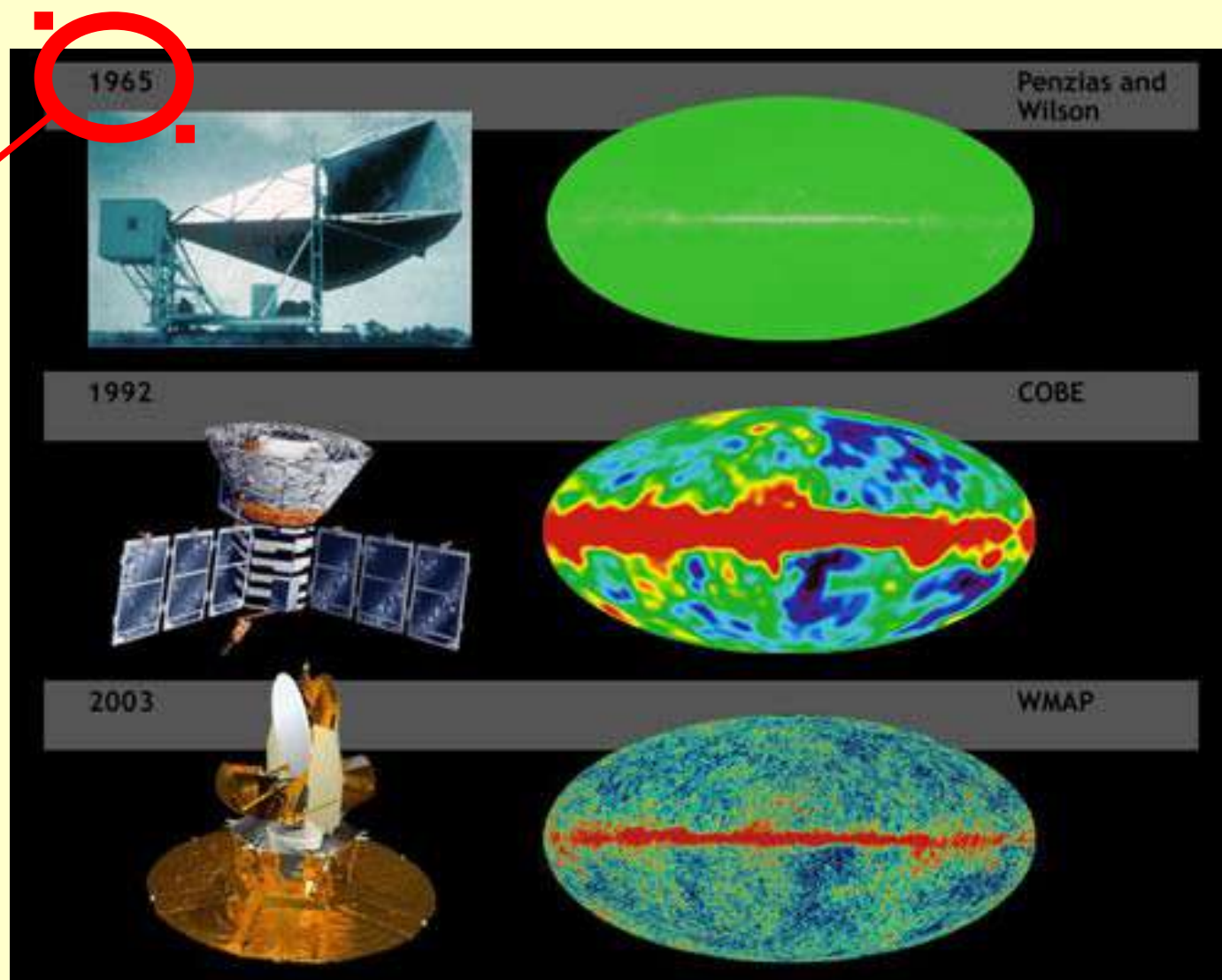
$$H_0 = \cancel{71} \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

$$67.80 \pm 0.77$$

# teorija velikog praska - potvrde

## (2) kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje

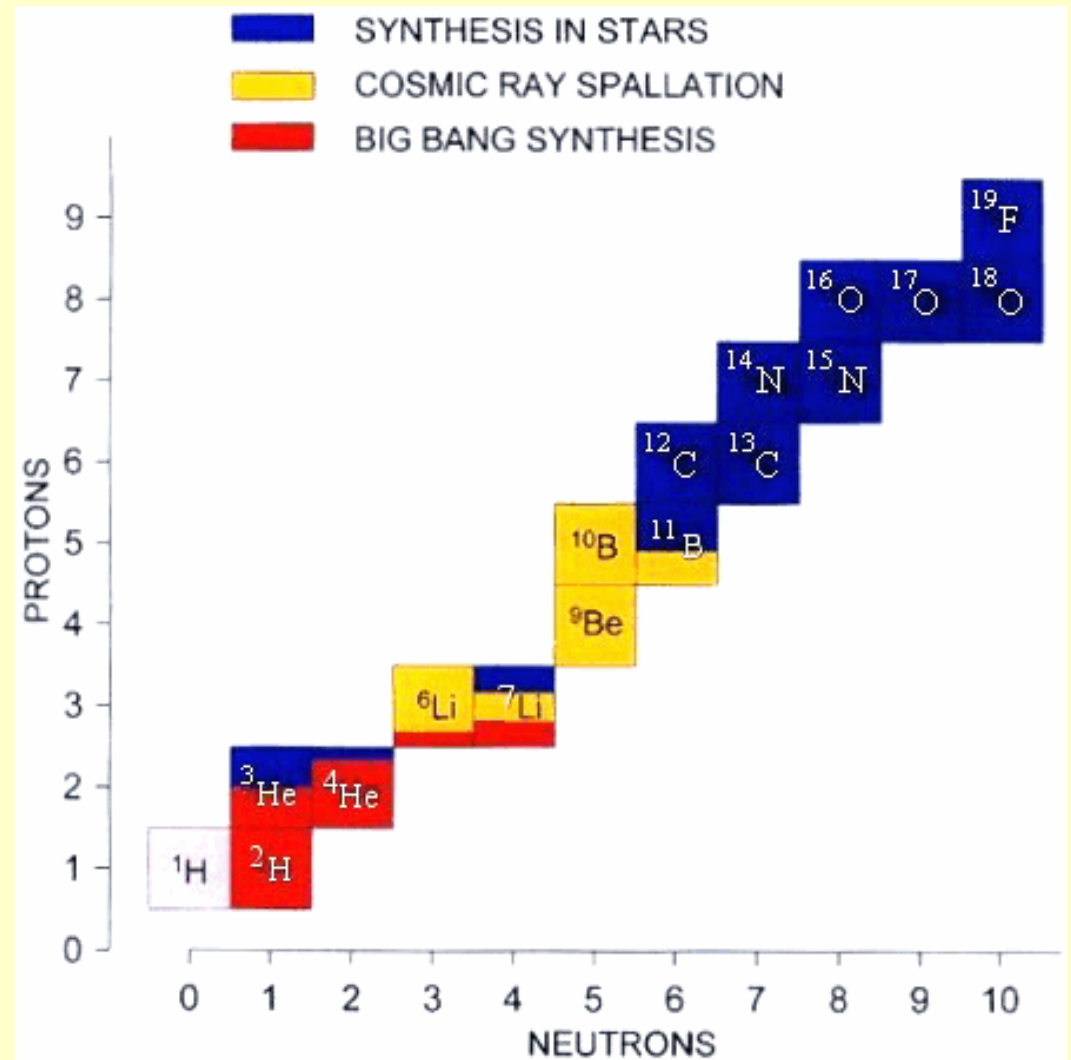
kozmiologija  
postaje znanost



# teorija velikog praska - potvrde

## (3) udjeli primordijalnih elemenata

astronomska opažanja  
H, D, He3, He4, Li7  
u dalekim oblacima  
primordijalnog plina  
**potvrdila** su proračune  
modela velikog praska



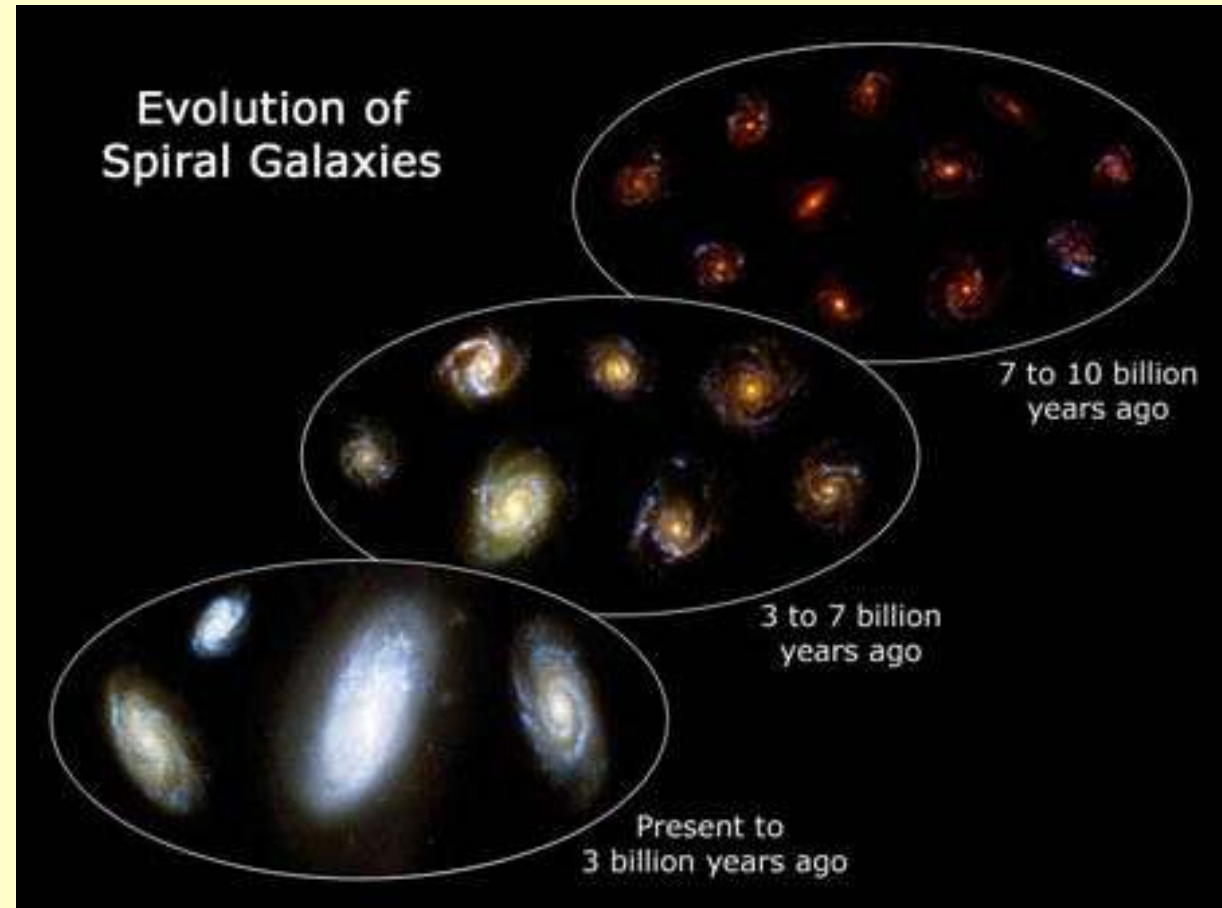
# teorija velikog praska - potvrde

## (4) razvoj izvangalaktičkih objekata

$C = \text{konst}$



“dalje” == “ranije”



**za one koji žele znati više**

