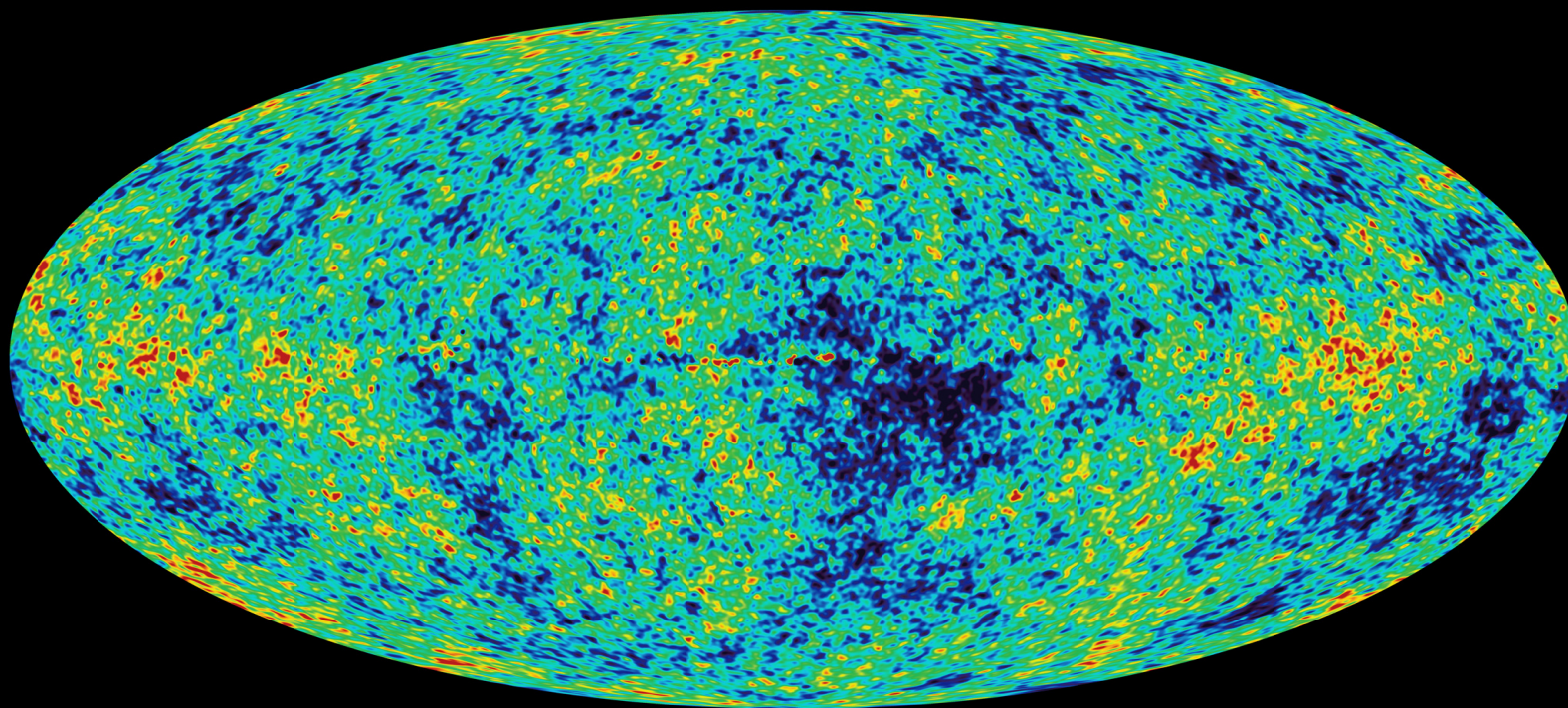


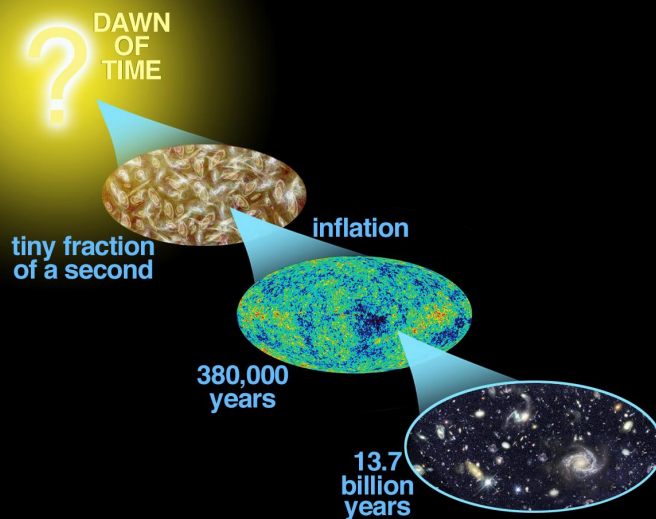
KOZMOLOGIJA



Vid Iršič
FMF, UL

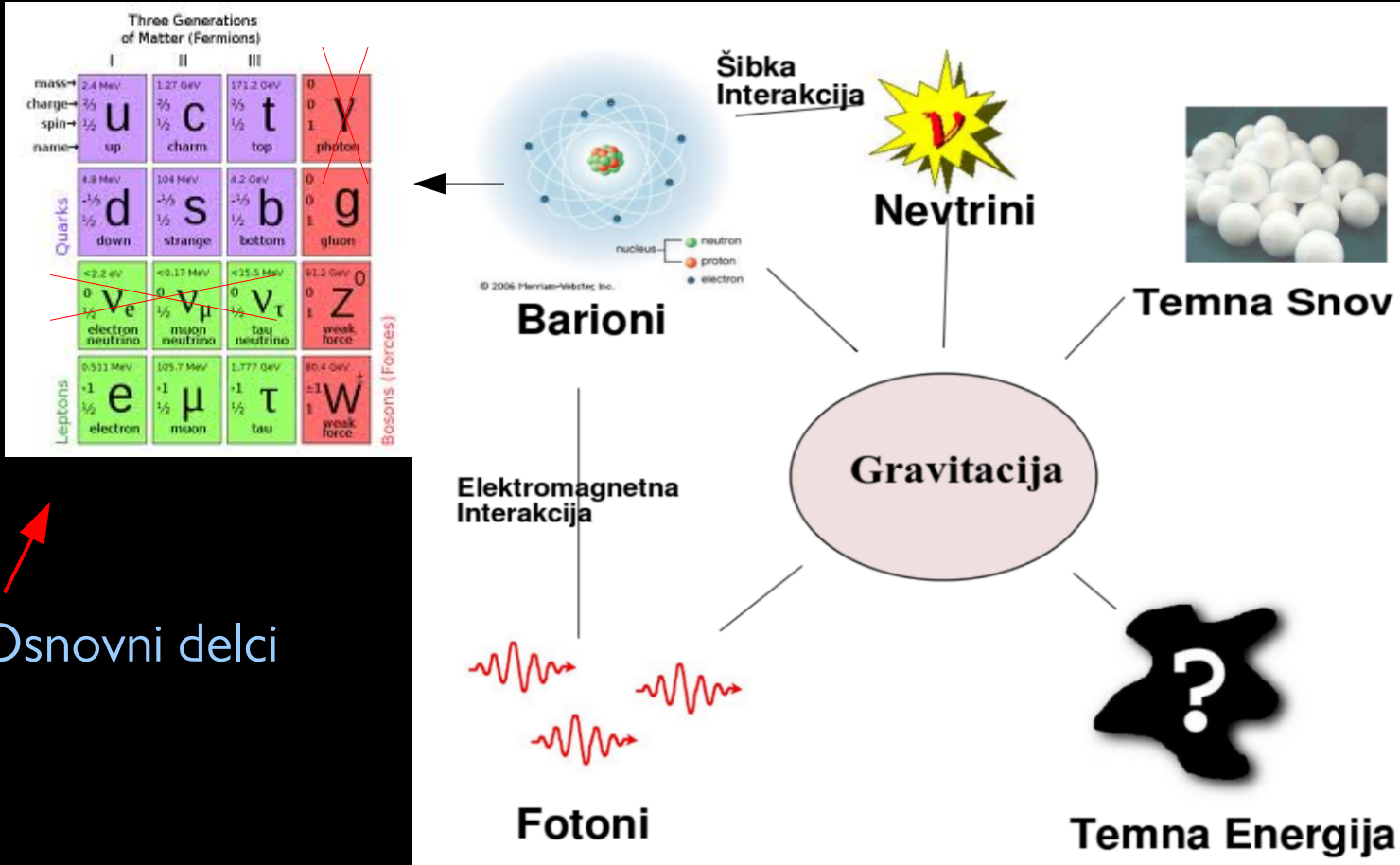
Kaj je to kozmologija?

- ♦ Se ukvarja z vesoljem kot celoto
- ♦ Sestava vesolja
- ♦ Razvoj vesolja
- ♦ Kako se je začelo?

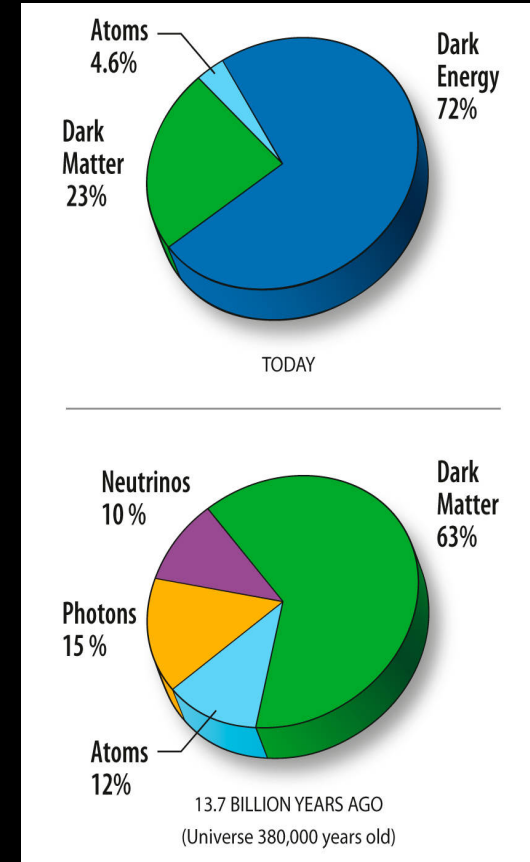


Kozmologija = fizikalno razumevanje različnih faz, ki jih je vesolje doživelo

Sestava vesolja



Danes



Osnovni delci

Temna snov:

- ★ Hladna temna snov (CDM) = nerelativistični "delci"
- ★ Vroča temna snov (HDM) = relativistični "delci"

380,000 let po Velikem poku

Deleži energijskih gostot

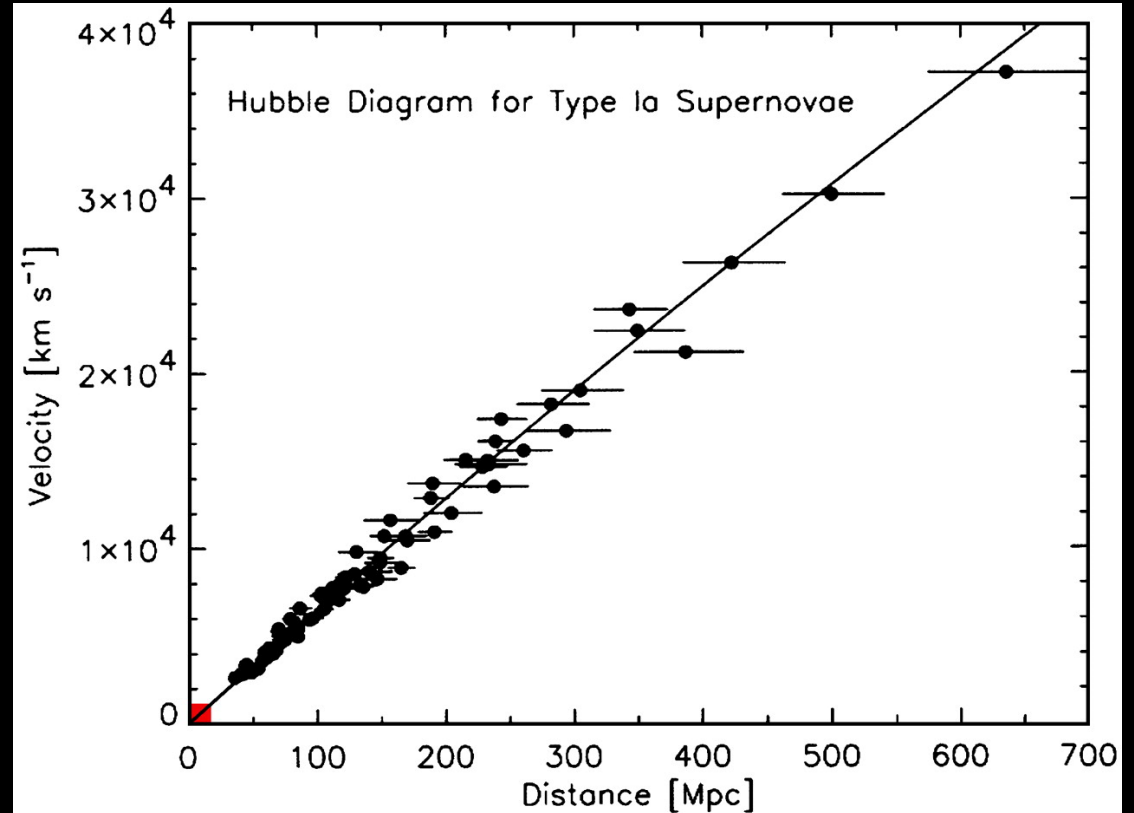
Širjenje vesolja



Edwin Hubble

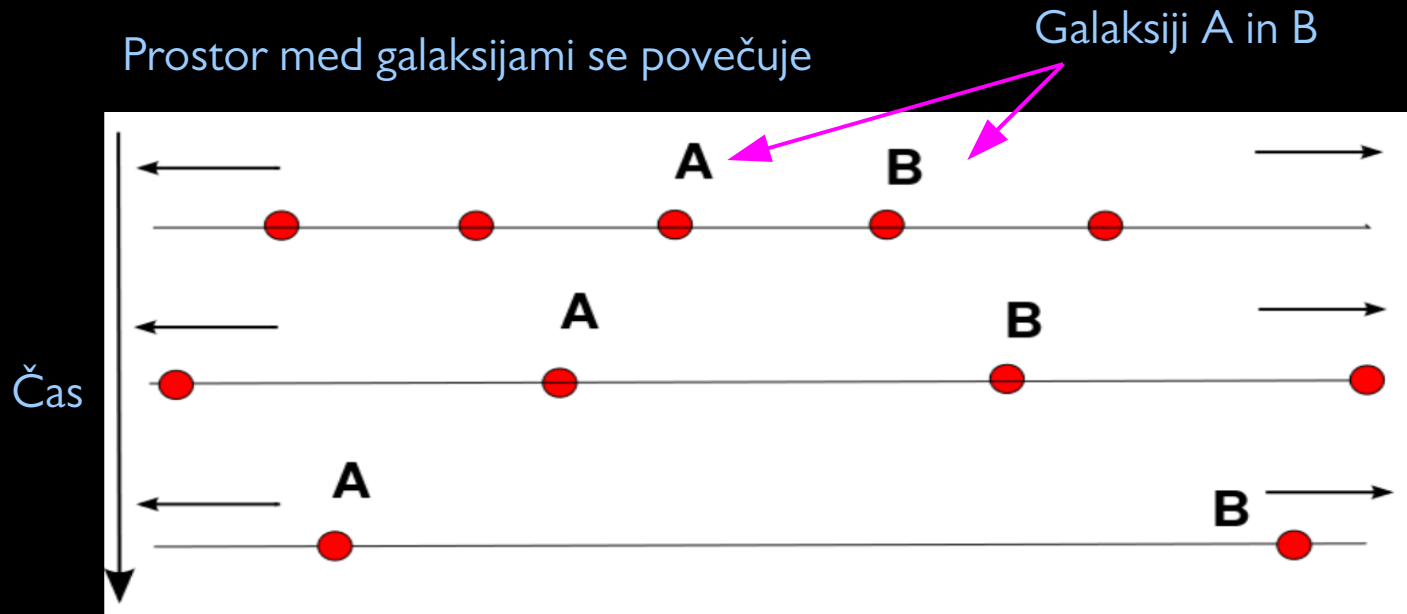
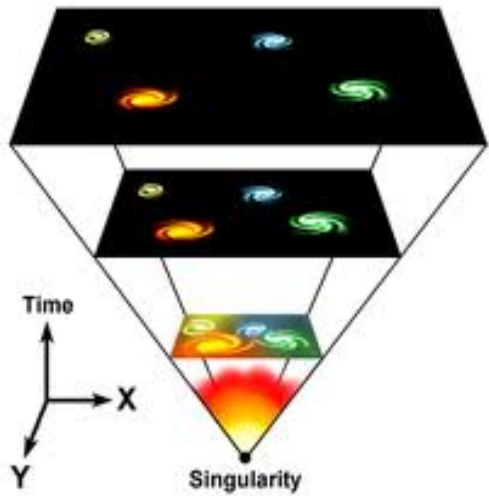
Galaksije se oddaljujejo od nas s hitrostjo, ki je sorazmerna oddaljenosti

Galaksije se oddaljujejo med seboj s hitrostjo, ki je sorazmerna oddaljenosti

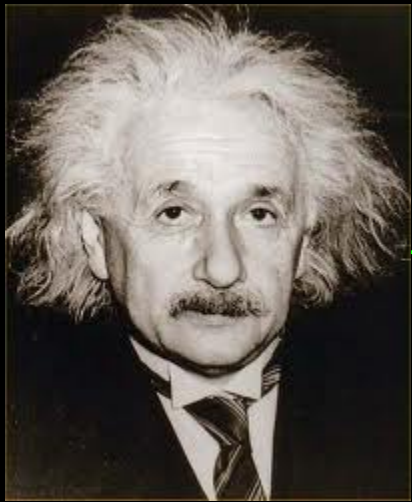


Strmina premice danes:
 $H = 70 \text{ km/s / Mpc}$
Odvisna od časa
ne od kraja

1 Mpc = 10^6 pc
1 pc = 3.26 svetlobnega leta
1 pc = 1 parsek



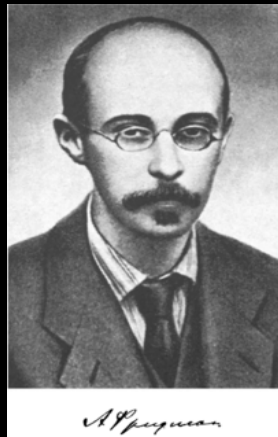
Albert Einstein



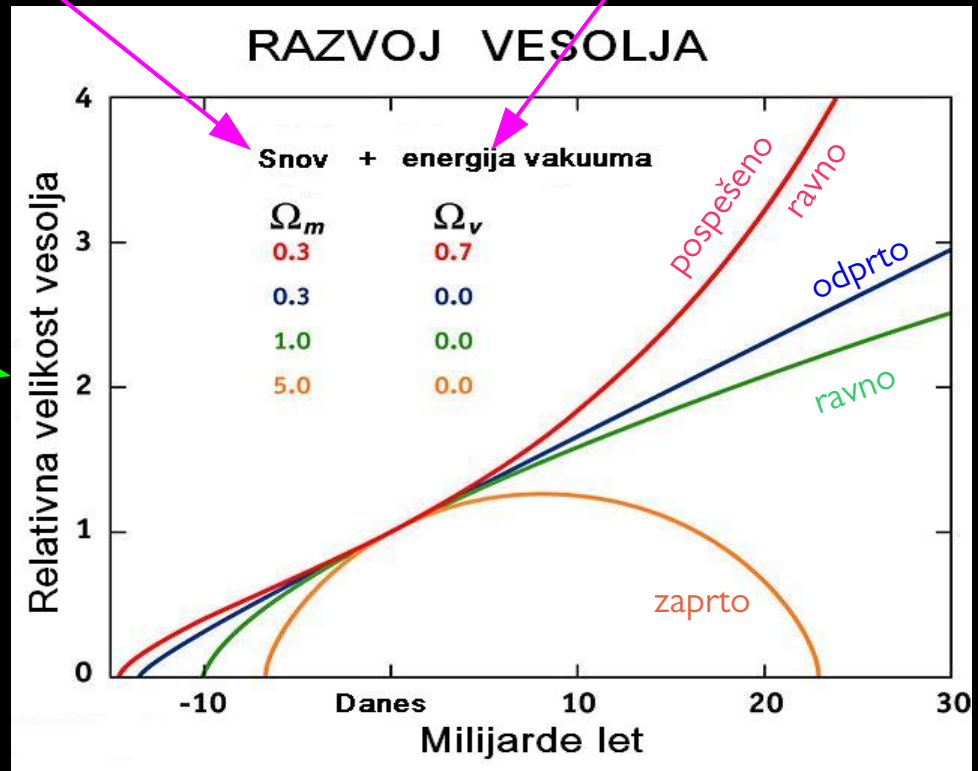
Širjenje vesolja odvisno od količine snovi v njem
=
Odvisno od ukrivljenosti (geometrije) prostora

Temna snov + barioni

Temna energija



Alexander Friedmann



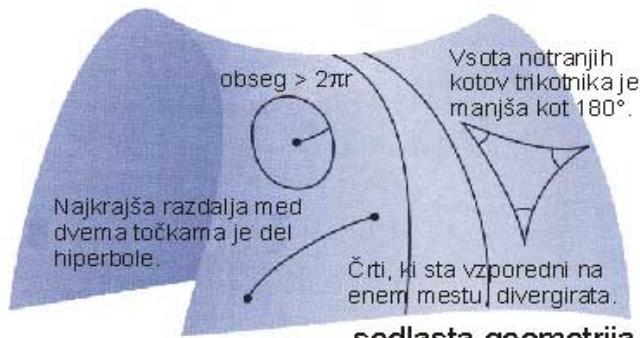
Ukrivljenost vesolja



ravna evklidska geometrija



sferična geometrija



sedlasta geometrija

Ukrivljenost je odvisna od količine snovi v vesolju

Lokalna geometrija je lahko:

- ◆ Ravna (ravno vesolje)
- ◆ Sferična (zaprto vesolje)
- ◆ Sedlasta (odprto vesolje)

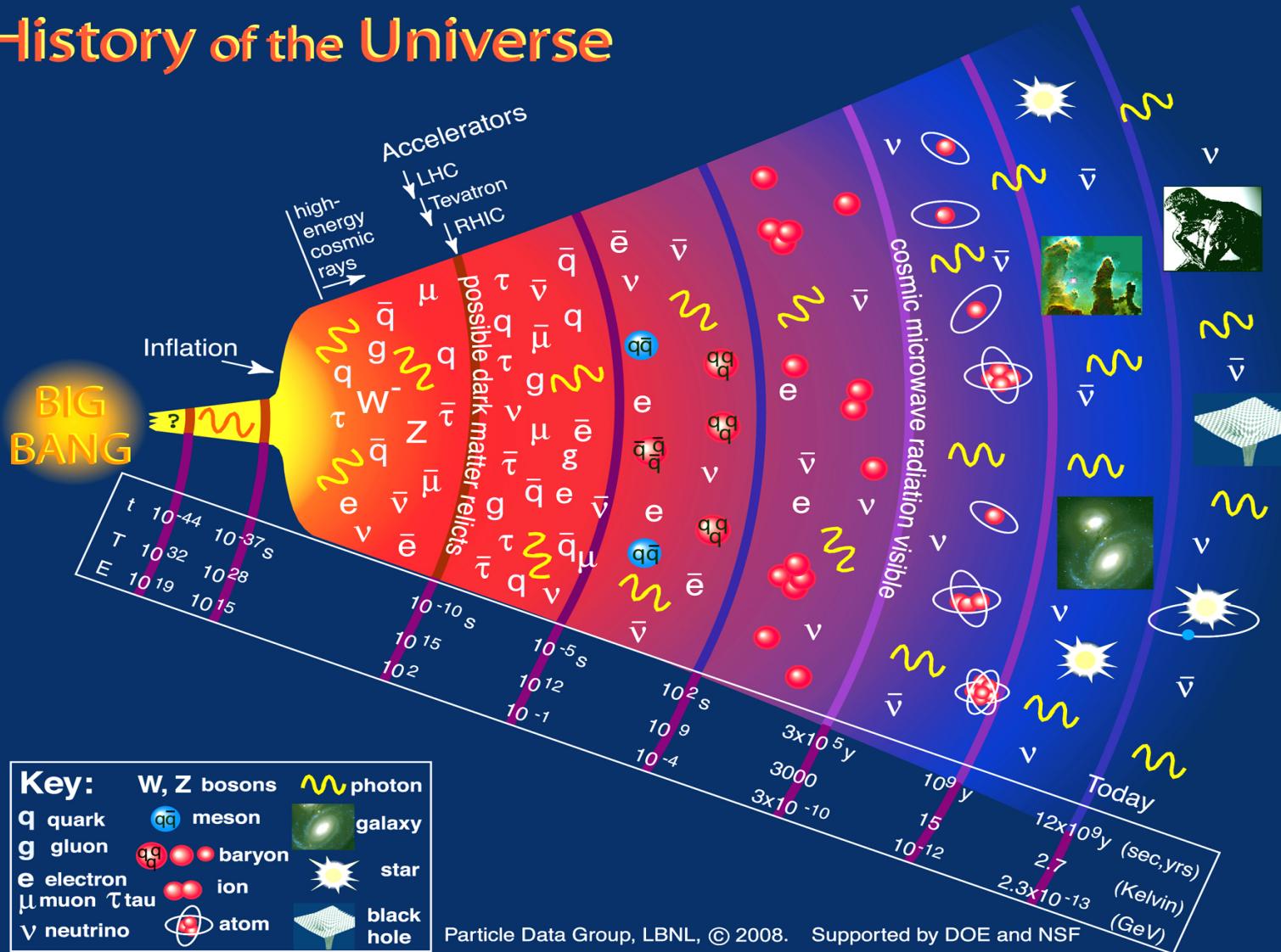
Ukrivljenost = lastnost geometrije prostora.
Kaj pa topologija?

Sferična geometrija: krogla, torus → drugačni topologiji

Opazovanja potrjujejo, da je vesolje skoraj popolnoma ravno

Razvoj vesolja

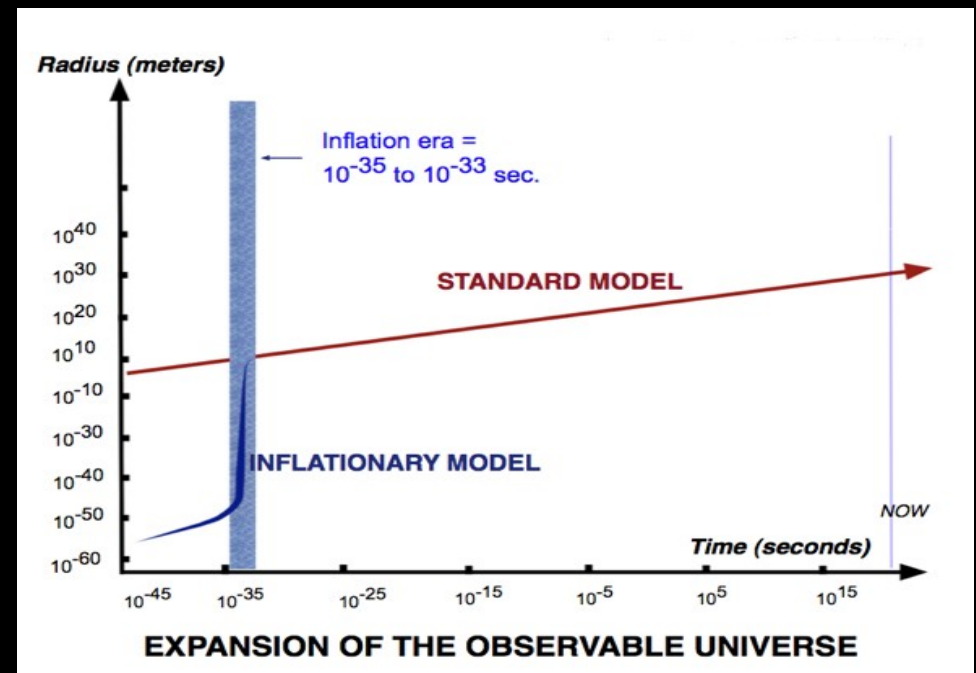
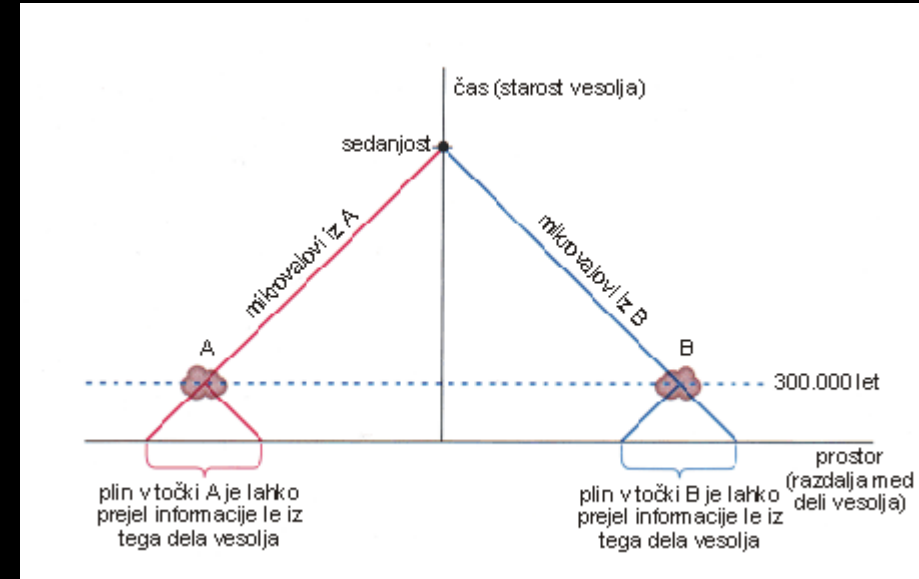
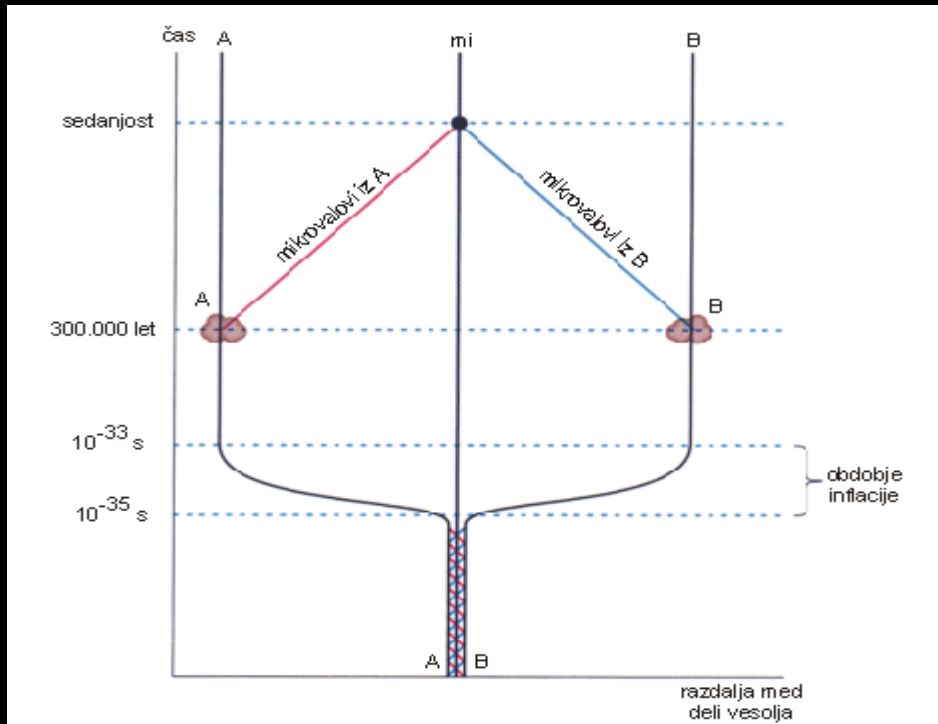
History of the Universe



Teorija Kozmološke Inflacije

Problemi teorije Velikega Poka:

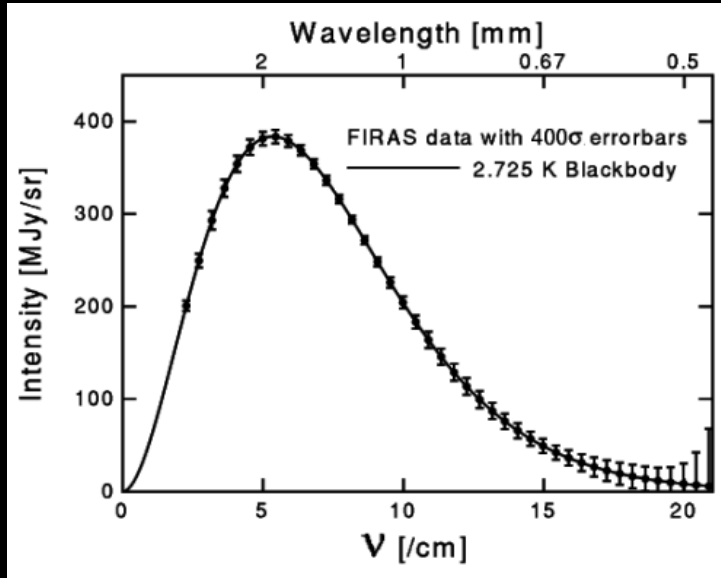
- ★ Vesolje je skoraj ravno ← nestabilna rešitev
- ★ Temperatura prasevanja v vseh smereh skoraj enaka
- ★



Inflacija = eksponentno širjenje prostor-časa

Prasevanje




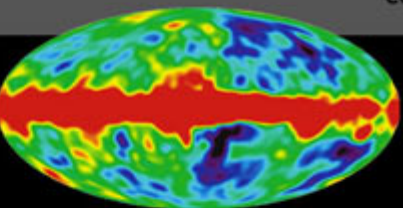
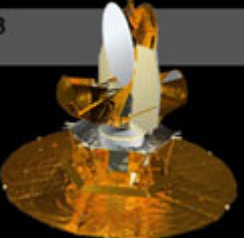
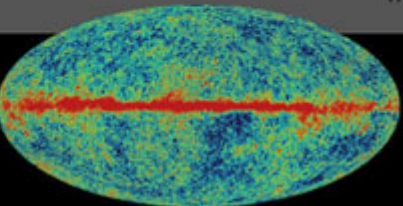
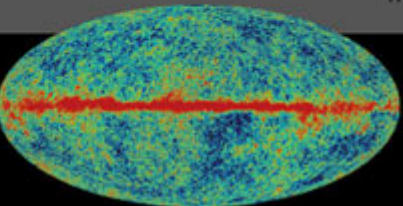
Spekter sevanja črnega telesa

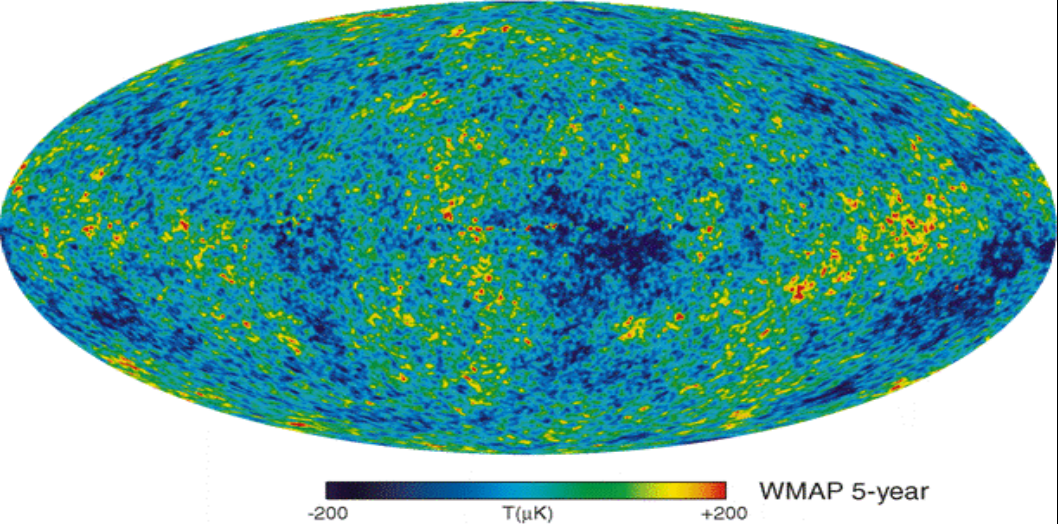


Povprečna temperatura prasevanja:
 $T = 2.726 \text{ K}$

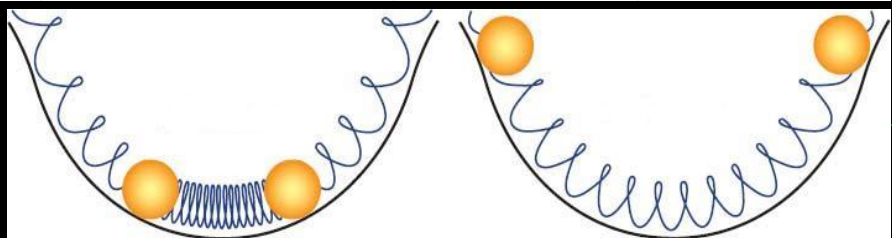
Firas = spektrometer na satelitu COBE

Sateliti za merjenje prasevanja

1965			Penzias and Wilson
1992			COBE
2003			WMAP
2010			Planck



WMAP 5-year
T(μK)
-200 +200

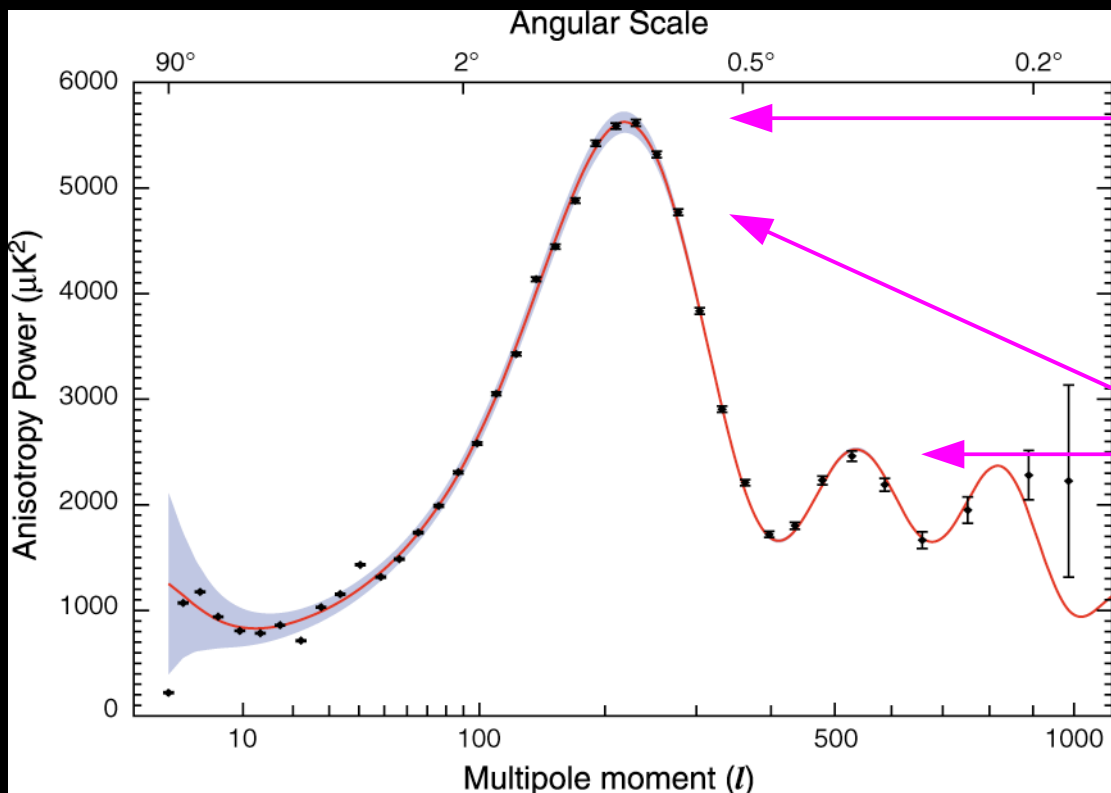


380,000 let po Velikem poku:

- ◆ Rekombinacija: elektron + proton → vodik
- ◆ Vesolje postane prozorno za fotone → jih zaznamo kot prasevanje

Pred rekombinacijo:

- ◆ Plazma protonov, elektronov, fotonov, ... + temna snov
- ◆ Fotoni sklopljeni z elektroni → sipanje
- ◆ Temna snov ustvari potencialne jame
- ◆ Barioni in fotoni padejo v potencialne jame
- ◆ Tlak fotonov jih vrže nazaj ven
- ◆ Zvočni valovi v plazmi → opazimo

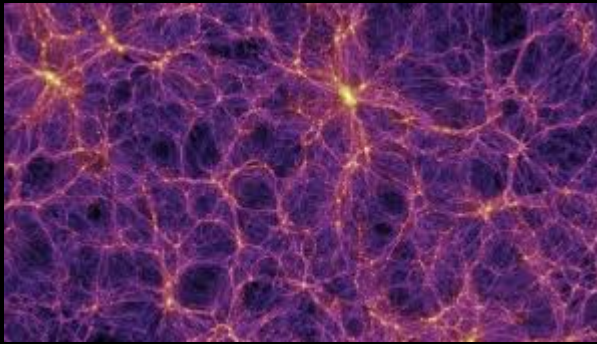


Glavni vrh zvočnih valov:

- pozicija (kotna velikost) → ukrivljenost in razvoj vesolja
- višina → delež temne snovi in barionov

Razmerje višin med prvim in drugim vrhom → delež barionov

Razvoj struktur na velikih skalah

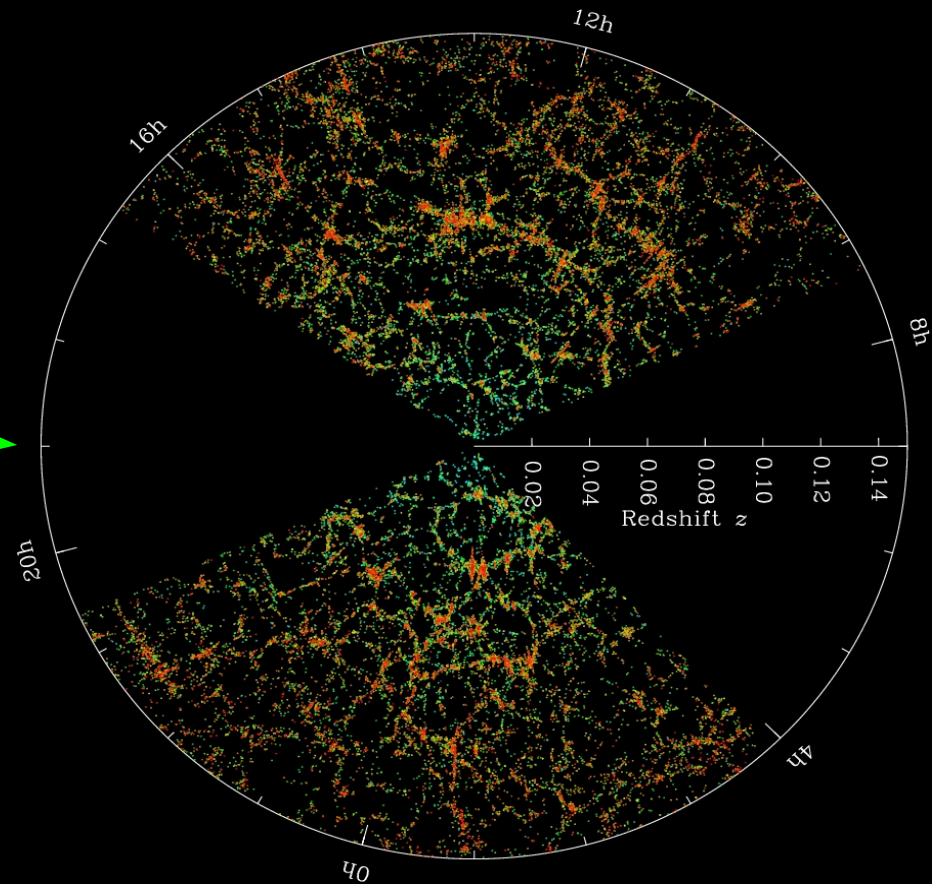
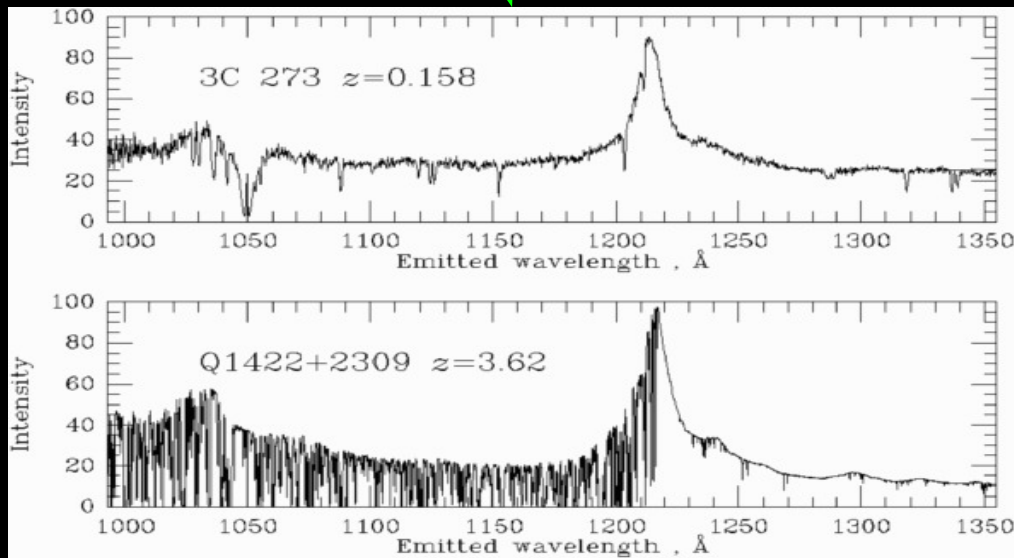


Numerične simulacije razvoja struktur

Millenium simulacija porazdelitve temne snovi

Opazovalni projekti:

- ◆ Porazdelitev galaksij (SDSS, LSST, 2dFGRS)
- ◆ Porazdelitev plina (spektri kvazarjev - SDSS)

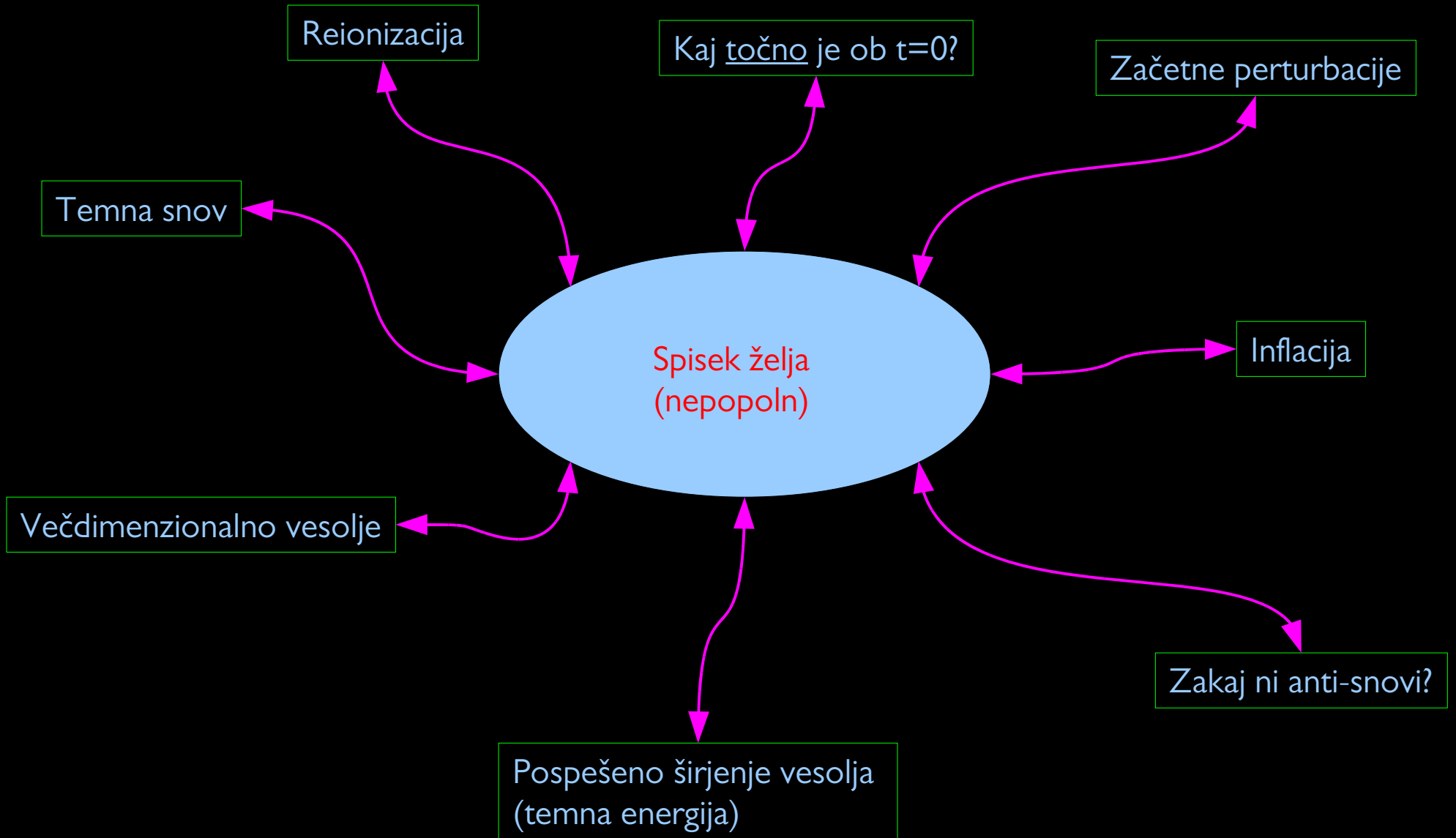


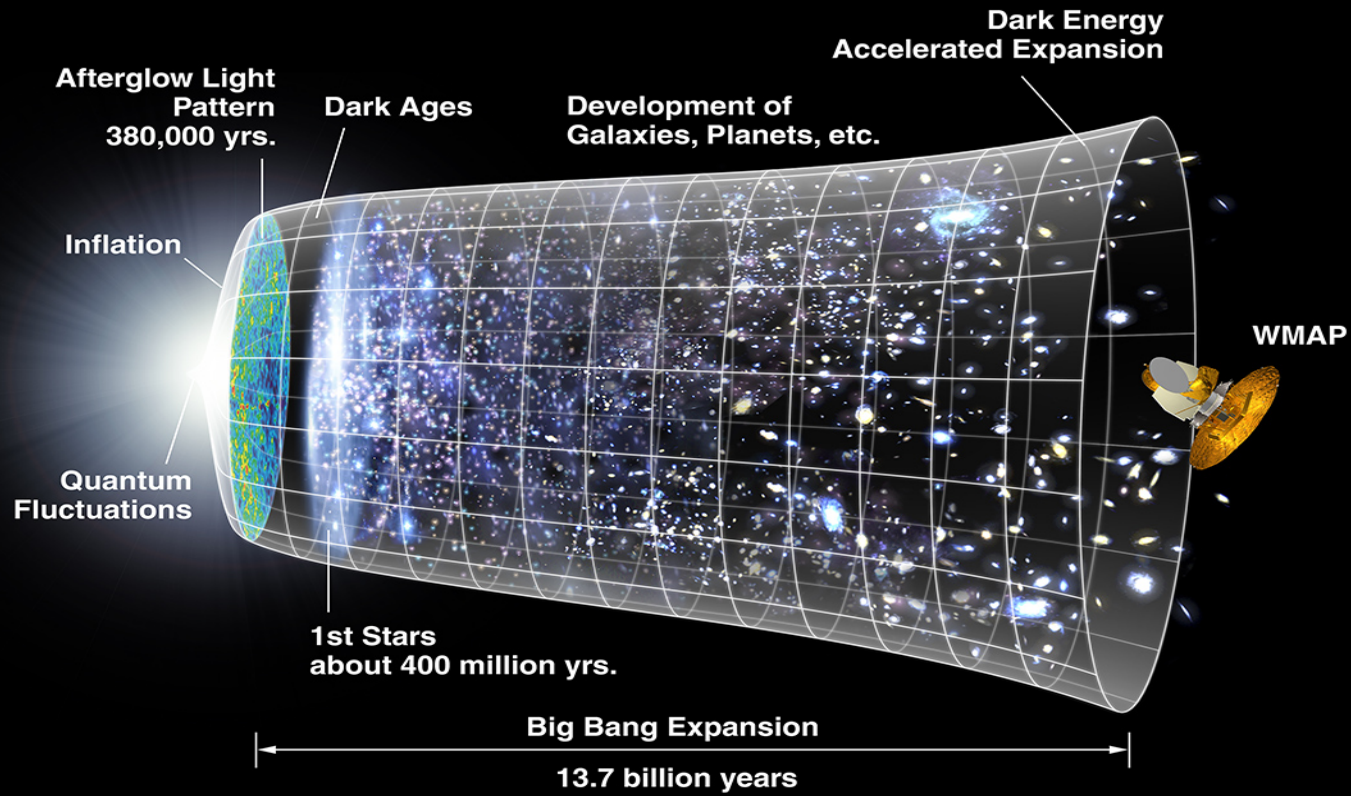
z = Kozmološki rdeči premik
Meri premik spektralnih črt zaradi širjenja vesolja

Znano Vesolje Danes

- Starost: ~ 13.7 milijard let (13.7 Glet = 13.7×10^9 let)
- Velikost: ~ 29 milijard parsekov (28 Gpc) ← premer
- Zgleda sestavljeno iz:
 - 73% temne energije
 - 23% temne snovi
 - 4% navadne snovi
 - drobiž fotonov, nevtrinov, ...

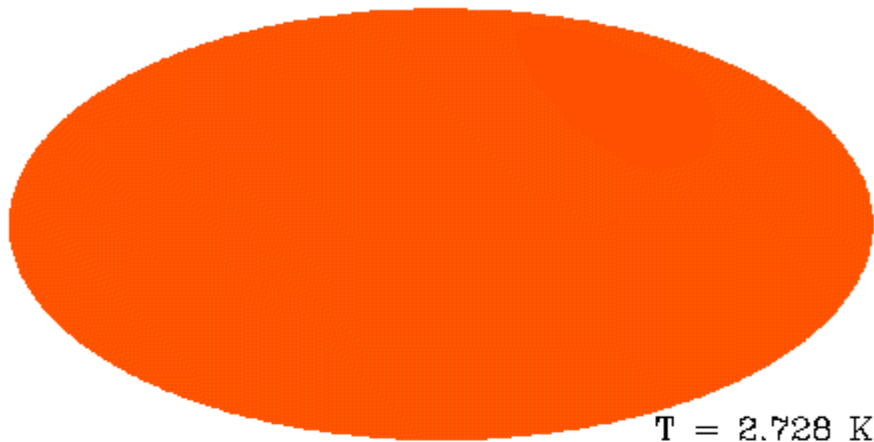
Česa ne vemo? (Pa bi radi)



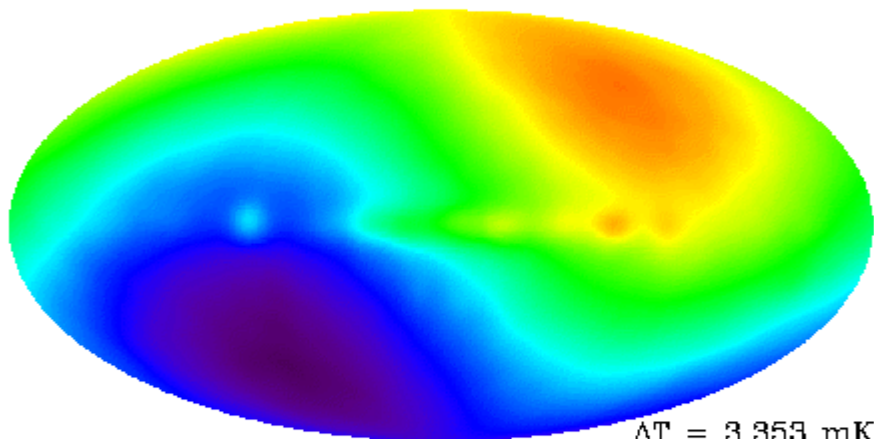


NASA/WMAP Science Team

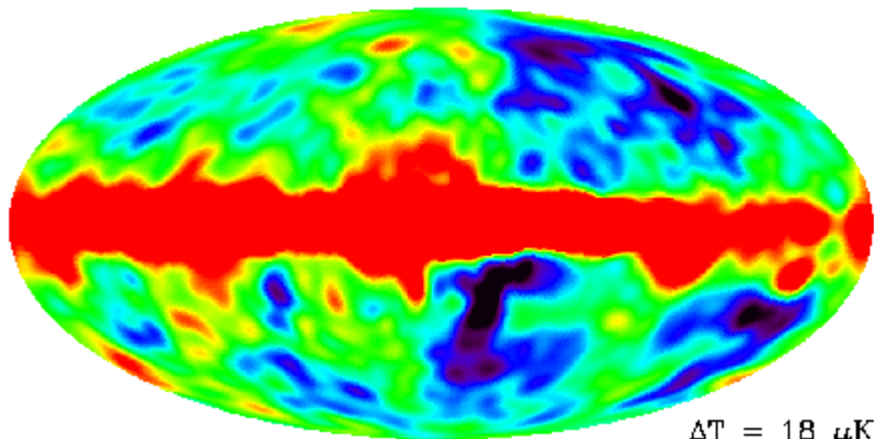
Hvala za pozornost!



$T = 2.728 \text{ K}$

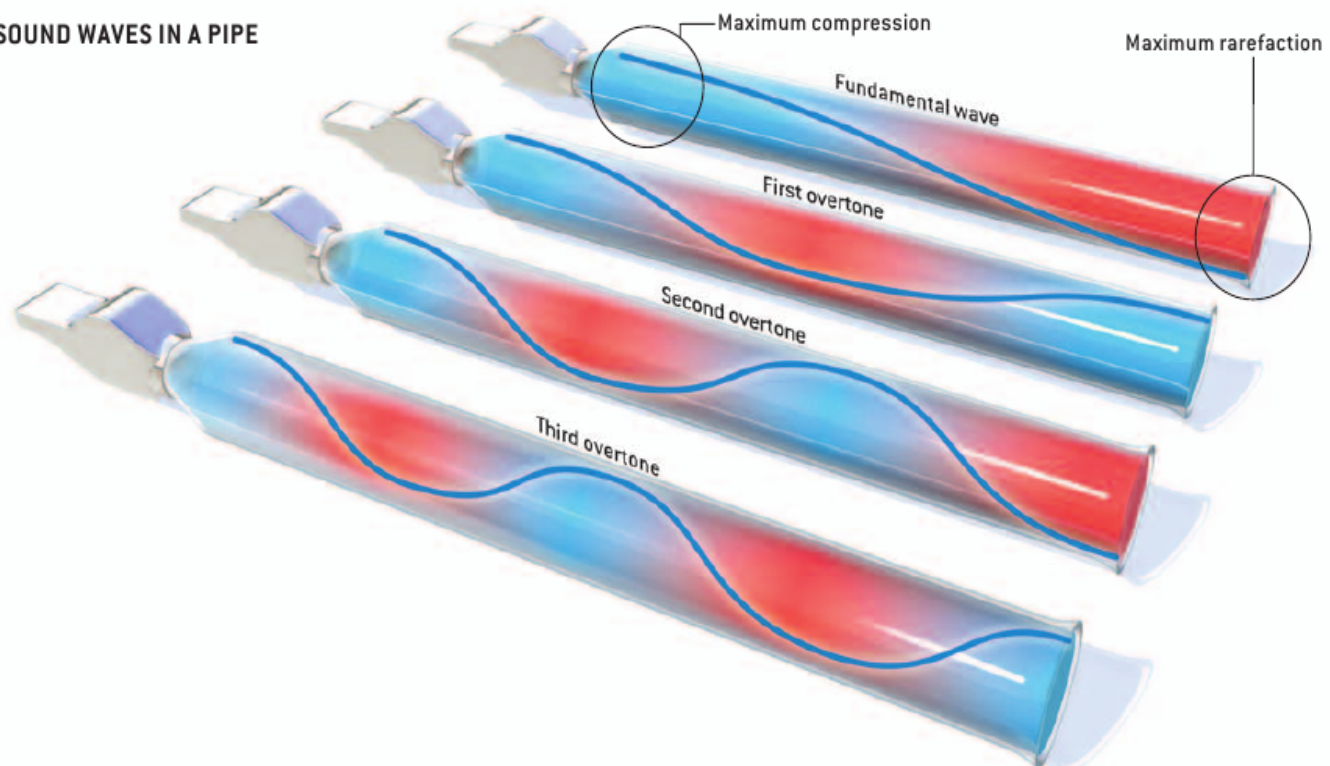


$\Delta T = 3.353 \text{ mK}$



$\Delta T = 18 \mu\text{K}$

SOUND WAVES IN A PIPE



ACOUSTIC OSCILLATIONS IN THE EARLY UNIVERSE

