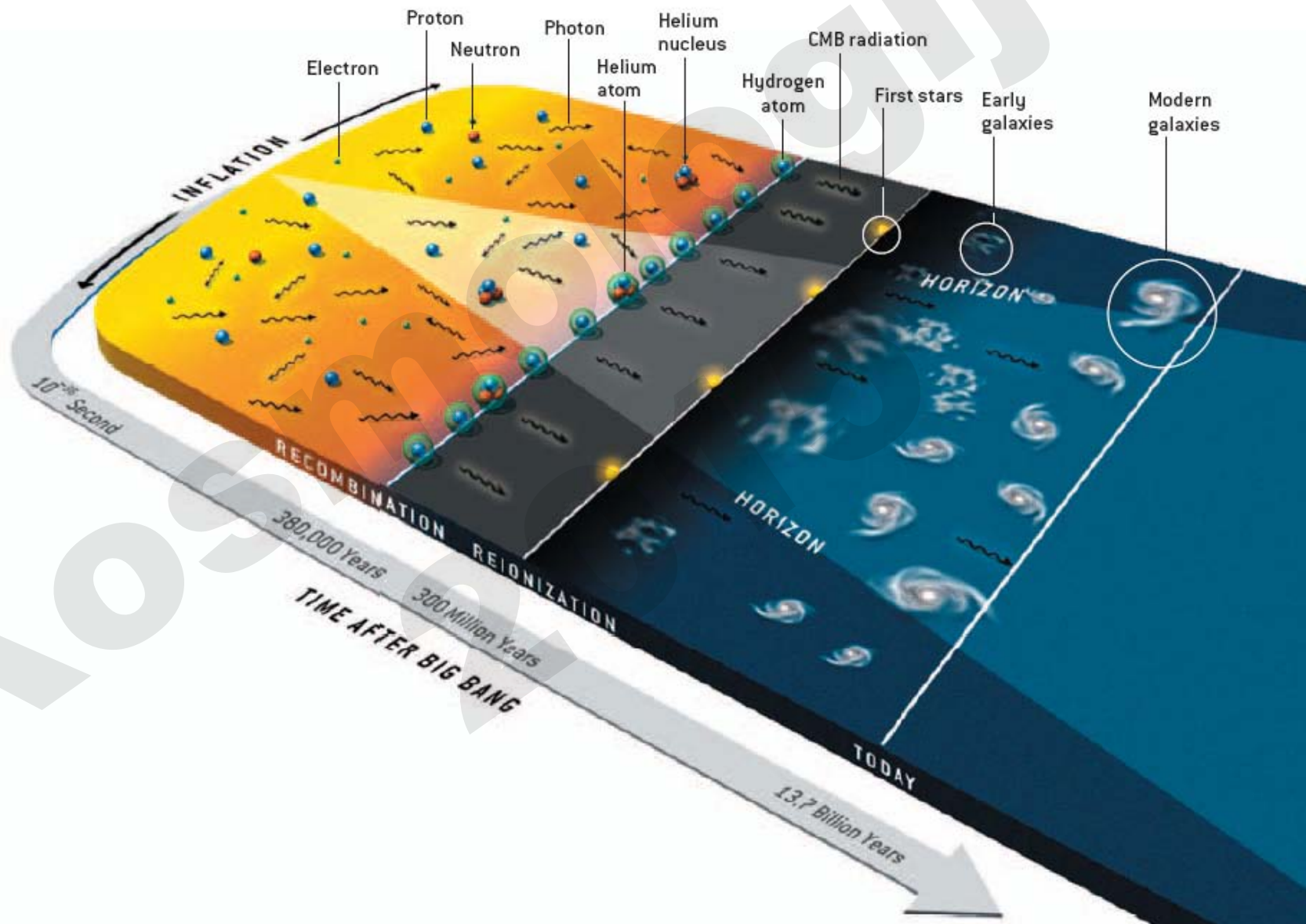


Početni uslovi: kosmološka inflacija, 1. deo

18. 09. 2015.

COSMOLOGY MARCHES ON





Istorijska pozadina

- 1965: pobjeda Velikog praska u „Velikoj kontroverzi“
- 1965-75: učvršćivanje standardne paradigme **vrućeg Velikog praska**.
- 1967: Weinberg-Salam (docnije i Glashow) teorija **elektroslabog objedinjenja** ($T \sim 200 \text{ GeV}$).
- 1973: Gargamelle (!) otkriva **neutralne struje**.
- 1974: Georgi & Glashow formulišu prvu **teoriju velikog objedinjenja** (GUT).
- krajem 1970-tih: kvantna teorija polja je nespojiva sa klasičnim Velikim praskom!

Problemi klasične kosmologije

- Zašto je univerzum na velikoj skali homogen i izotropan? (**problem horizonta**)
- Zašto je univerzum na velikoj skali toliko blizu ravnog? (**problem ravnoće**)
- Zašto ne vidimo magnetne monopole (**problem monopola**)?

+ pojedina „filozofska“ pitanja:

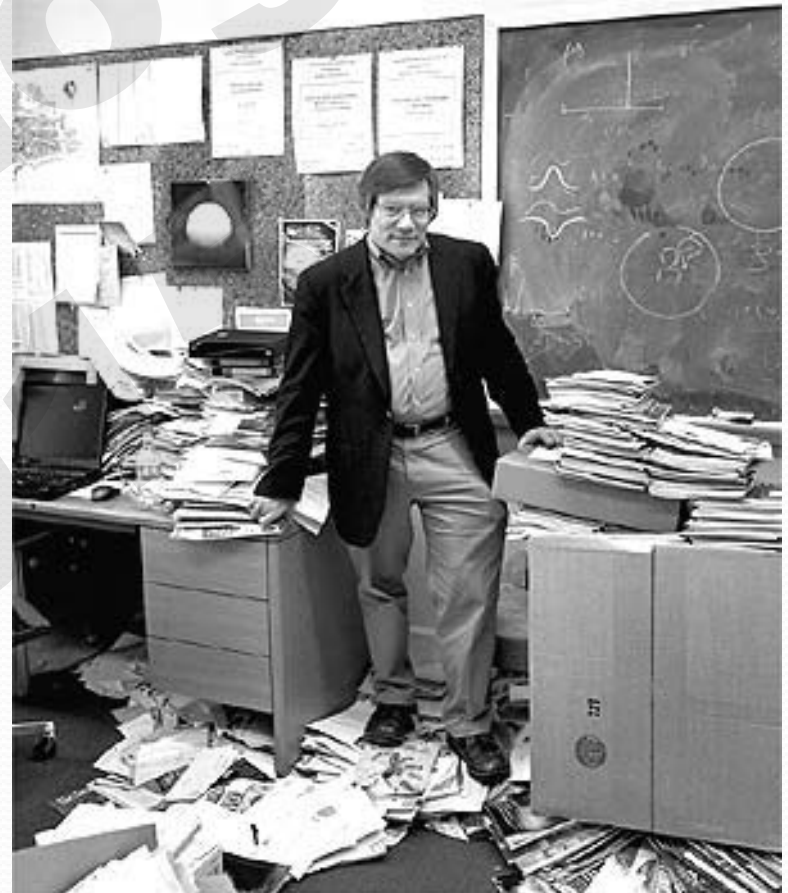
- Gde je poreklo prvih odstupanja od homogenosti?
- Odakle potiče niska početna entropija svemira?

**Ovo su jako, jako
ozbiljni problemi!**

(i neki kosmolozi su počeli ozbiljno da očajavaju...)

Početakom 1980-tih...

- ...bilo je „sazrelo“ za rešenje:
 - Gliner & Starobinski
 - Sato
 - Kazanas
 - Alan Guth (1981)
- Nova, **čestična kosmologija** može da reši probleme!
- Prva ideja: fazni prelaz u vakuumu.
- Raspad GUT-a „zamrzava“ jaku silu i oslobađa ogromnu količinu energije...



Sve ih rešava kosmološka inflacija

Dodatak kosmologiji Velikog praska.

Svi problemi klasičnog Velikog praska se rešavaju **jednom** elegantnom i jednostavnom hipotezom:

Rani svemir se proširio za oko 10^{30} puta za manje od 10^{-36} sekundi!

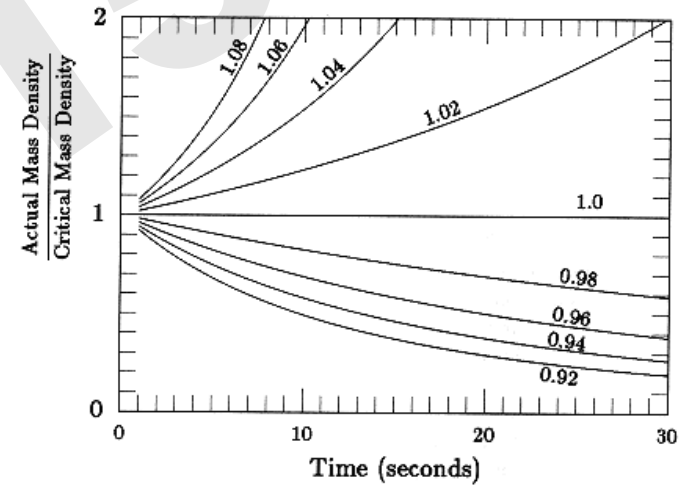
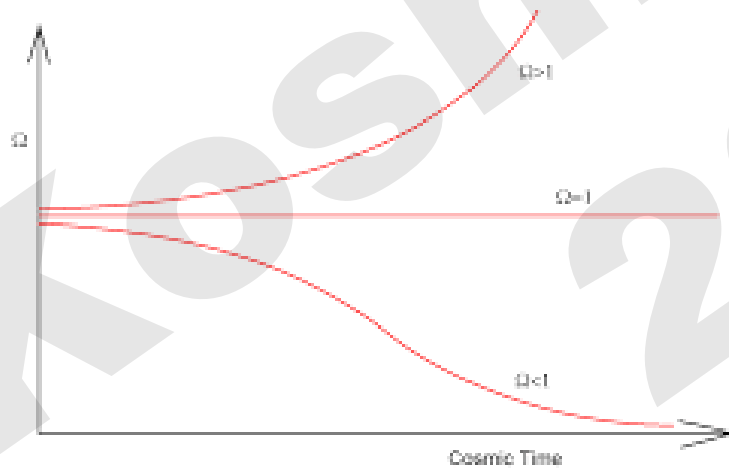


Šta nam preostaje?

1. Analiza problema i kriterijuma za njihovo rešavanje.
2. Različiti modeli inflacije („stara“, „nova“, „haotična“, itd.)

Problem ravnog svemira

- Svemir se **danas** čini blizu ravnog ($\Omega \sim 1$) – što je začuđujuće obzirom da se radi o **nestabilnoj ravnoteži!**



Za svemir kojim dominiraju materija i zračenje:

$$|1 - \Omega(t)|_r \sim a^2(t) \quad ; \quad |1 - \Omega(t)|_m \sim a(t)$$

... leva strana divergira sa vremenom; $\Omega = 1$ je nestabilna fiksna tačka!

Posmatranja daju:

$$|1 - \Omega_0| \leq 0.2 \quad \Rightarrow \quad |1 - \Omega_{BBN}| \leq 3 \times 10^{-14}$$

Sada!

u epohi nukleosinteze

1 deo u 30 biliona!

Ovaj stepen „finog podešavanja“ je neviđen igde u nauci!

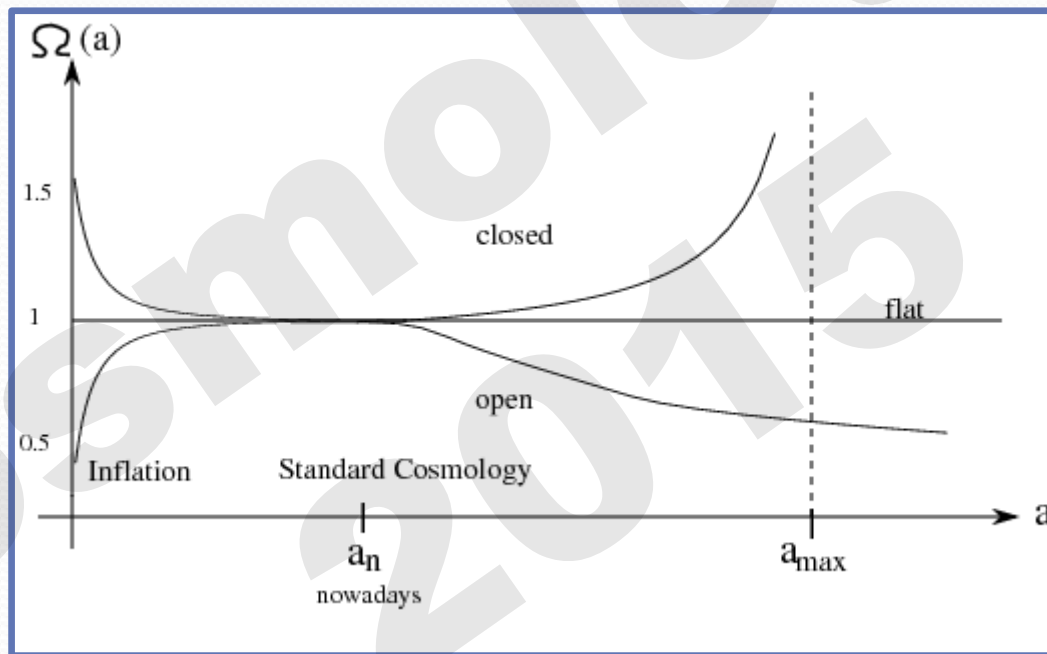
Ovo nisu „pravi“ početni uslovi...

- I obratno, zamislimo da u doba nukleosinteze važi:

$$|1 - \Omega_{BBN}| \leq 3 \times 10^{-5}$$

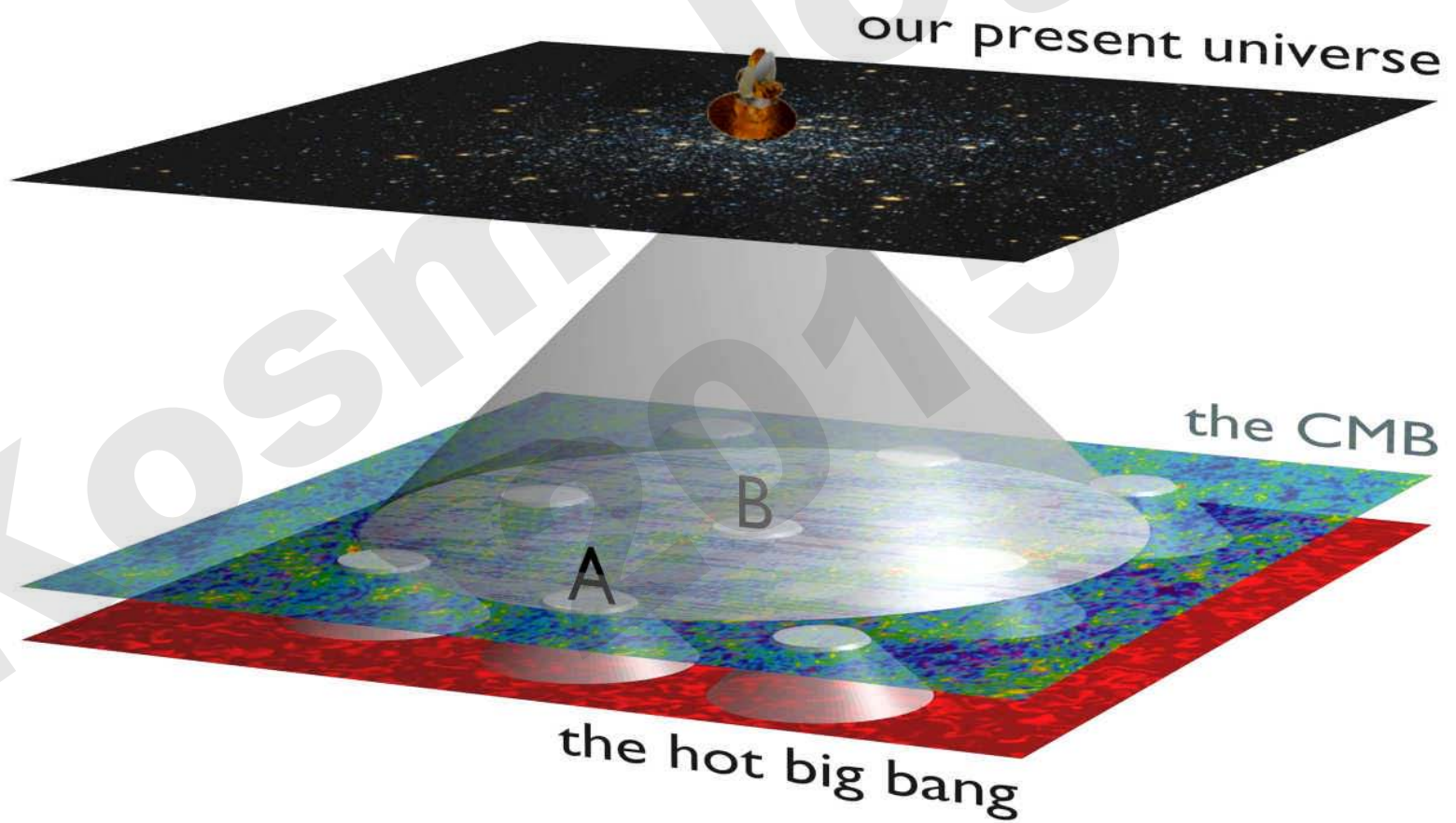
- Ovo znači da bi svemir rekolapsirao u *Big Crunch* ili se proširio do $\Omega \sim 0$ (*Big Chill*) za svega **nekoliko godina!**
- Umesto postuliranja početnih uslova, potreban nam je **dinamički mehanizam koji vodi do $\Omega \rightarrow 1$ procesa u ranom svemiru.**

Traženi mehanizam je inflatorno širenje!



- Uzgred, ovo je objašnjenje i „naivnog“ pitanja zbog čega ne znamo da li je Ω malo veće ili malo manje od 1!

Problem horizonta



Problem horizonta nas vodi do sastojka koji nam je neophodan:

- Za nulti (= homogen i izotropan!) red perturbacionog računa važe Fridmanove jednačine:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho \qquad \frac{\ddot{a}}{a} + \frac{1}{2}\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = -4\pi GP$$

- Zamenom stope širenja dobijamo:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P)$$

- Koliki je horizont (još jednom!)?

$$\eta = \int_0^a \frac{da'}{a'} \frac{1}{a' H(a')} \Leftrightarrow \text{logaritamski integral od } \frac{1}{aH}$$

$$\frac{d}{dt}(aH) > 0 \qquad \frac{d}{dt} \left(a \frac{\dot{a}}{a} \right) = \frac{d^2 a}{dt^2}$$

- Sada Fridmanova jednačina implicira:

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -a \frac{4\pi G}{3} (\rho + 3P) > 0$$

- \Rightarrow

$$\rho + 3P < 0$$

- Potrebna je **egzotična materija** da bi se svemir dovoljno brzo širio!

$$P < -\frac{1}{3}\rho$$

U suštini ovo je
slično kao sa
tamnom energijom u
kasnim epohama!

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi}{3} G (\rho_k + \rho_r + \rho_m + \rho_\lambda)$$

$\propto a^{-2}$
 $\propto a^{-4}$
 $\propto a^{-3}$
 $\propto a^{\approx 0}$

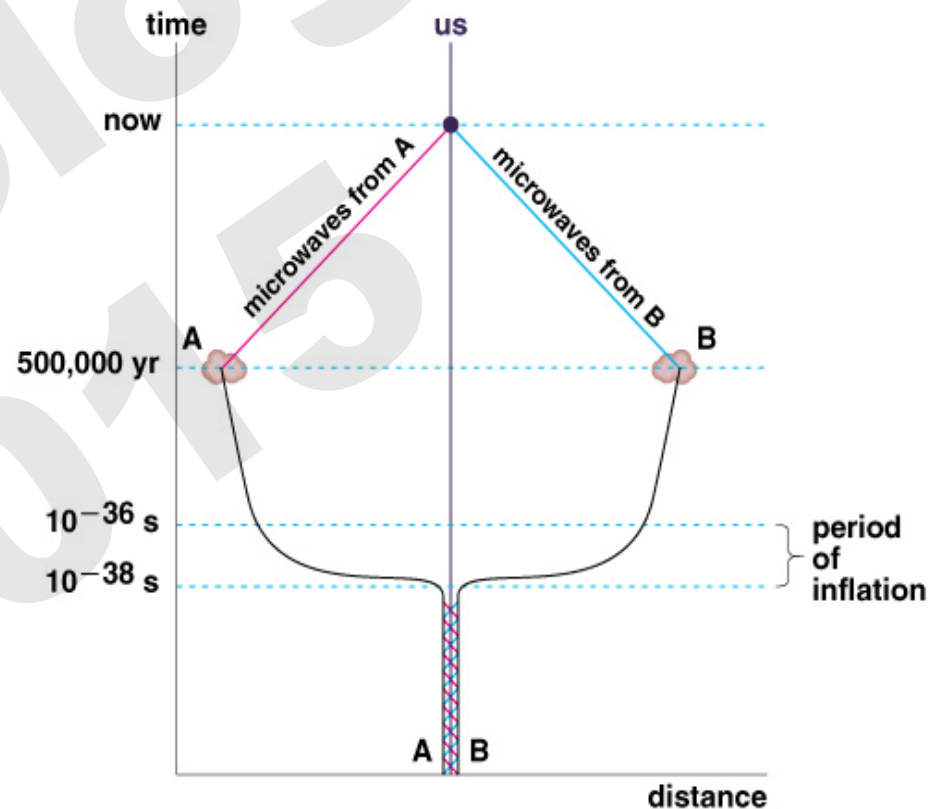
Zakrivljenost
zračenje
nerelativistička
materija
tamna
energija

“faktor skaliranja”

The diagram illustrates the Friedmann equation $H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi}{3} G (\rho_k + \rho_r + \rho_m + \rho_\lambda)$. The left side of the equation is enclosed in a red box. Four blue arrows point from the scaling relations $\propto a^{-2}$, $\propto a^{-4}$, $\propto a^{-3}$, and $\propto a^{\approx 0}$ to the terms ρ_k , ρ_r , ρ_m , and ρ_λ respectively. Four red arrows point from the labels 'Zakrivljenost', 'zračenje', 'nerelativistička materija', and 'tamna energija' to the corresponding terms in the equation. A red arrow points from the label '“faktor skaliranja”' to the $\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2$ term.

Dakle, horizont je rešen...

- ...kroz **superluminalno širenje** u doba inflacije!
- Nema nikakvih problema da širenje prostora bude brže od svetlosti!
- Svemir je bio u stanju termalne ravnoteže **pre inflacije** (a i ostao posle), nezavisno od tačne vrednosti temperature!



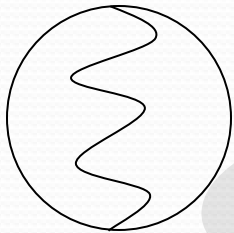
Copyright © Addison Wesley.

Problem monopola

- Suštinski problem: u veoma ranom svemiru horizont jako mali, a unutar njega monopoli (Dirakovi) nastaju kao **topološki defekti**...
- Kibble-ov mehanizam: po jedan topološki defekt unutar čestičnog horizonta.
- \Rightarrow ako je današnji horizont mnogo veći, koncentracija monopola bila bi ogromna (kao kub odnosa horizonata)...
- Ali, ako inflacija povećava a 10^{30} puta, njihova koncentracija opada 10^{90} puta!
- Juhu! problem rešen!

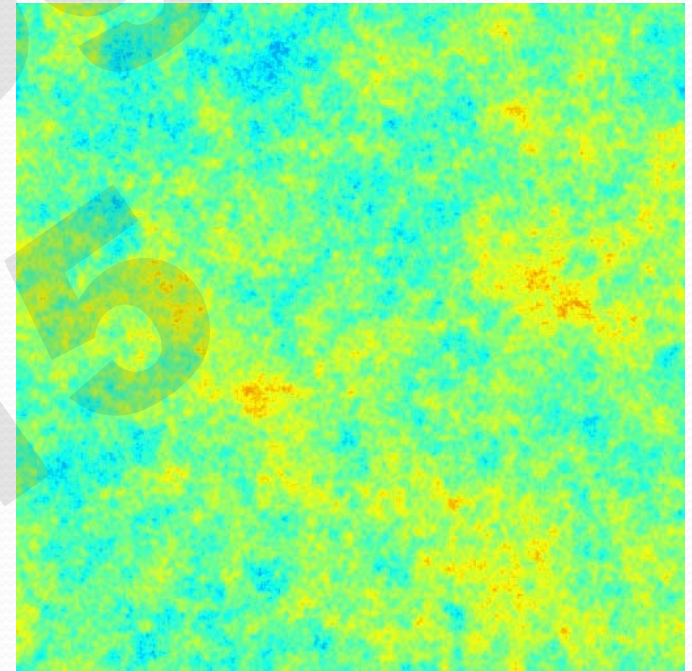
Poreklo primordijalnih perturbacija?

- Možda, možda...



Kvantna mehanika
“talasi u kutiji” računanje
vakuumskih stanja, kvantne
fluktuacije, itd....

Inflacija
čini sve $>10^{30}$ puta većim



Posle inflacije
velike fluktuacije, amplitude $\sim 10^{-5}$

Nastaviće

se

!