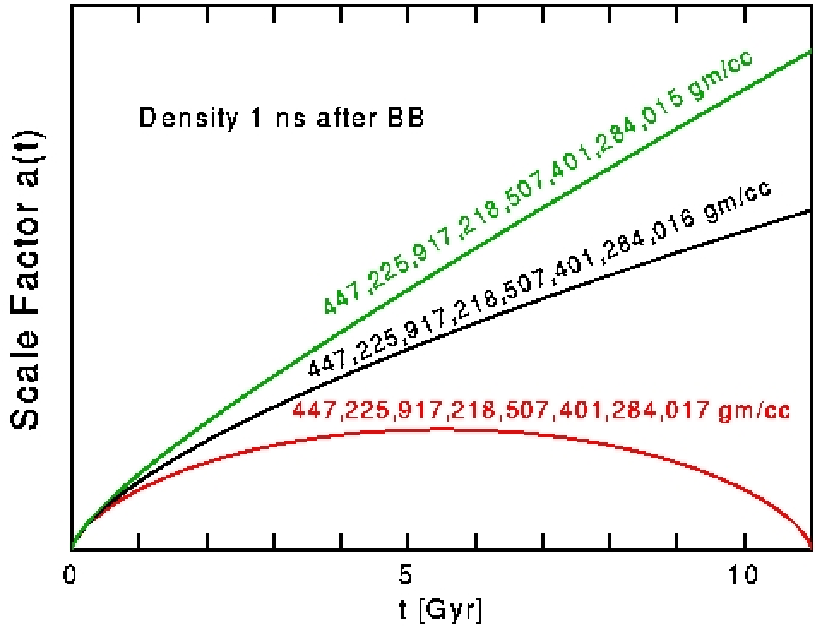
Kosmologické paradoxy

17. dubna 2008

Proč je vesmír plochý ?

$$|\Omega_t - 1| = \frac{|k|}{R^2 H^2}$$

- Dominantní záření $R(t) \propto t^{-1}$
- Dominantní hmota $R(t) \propto t^{-2/3}$
- Pro oba případy škálovacího faktoru je funkce
$$|\Omega_t - 1|$$
rostoucí funkcí času
- Případ plochého prostoročasu ($\Omega_t = 1$) je nestabilní



Ranné fáze vesmíru

- Oddělení záření a hmoty $t \sim 10^{13}$s

$$|\Omega_t - 1| \leq 10^{-5}$$

- Rovnováha záření a hmoty $t \sim 10^{12}$s

$$|\Omega_t - 1| \leq 10^{-6}$$

- Období nukleosyntézy $t \sim 1$s

$$|\Omega_t - 1| \leq 10^{-18}$$

- Narušení symetrie elektro-slabé symetrie $t \sim 10^{-12}$s

$$|\Omega_t - 1| \leq 10^{-30}$$

"HEY, THAT'S CLASSIFIED INFORMATION!"

Haló,haló.. slyšíme se ?

- Vesmír je konečně starý

Haló,haló.. slyšíme se ?

- Vesmír je konečně starý
- Za dobu existence vesmíru světlo urazilo konečnou vzdálenost d_h, která charakterizuje pozorovatelný vesmír

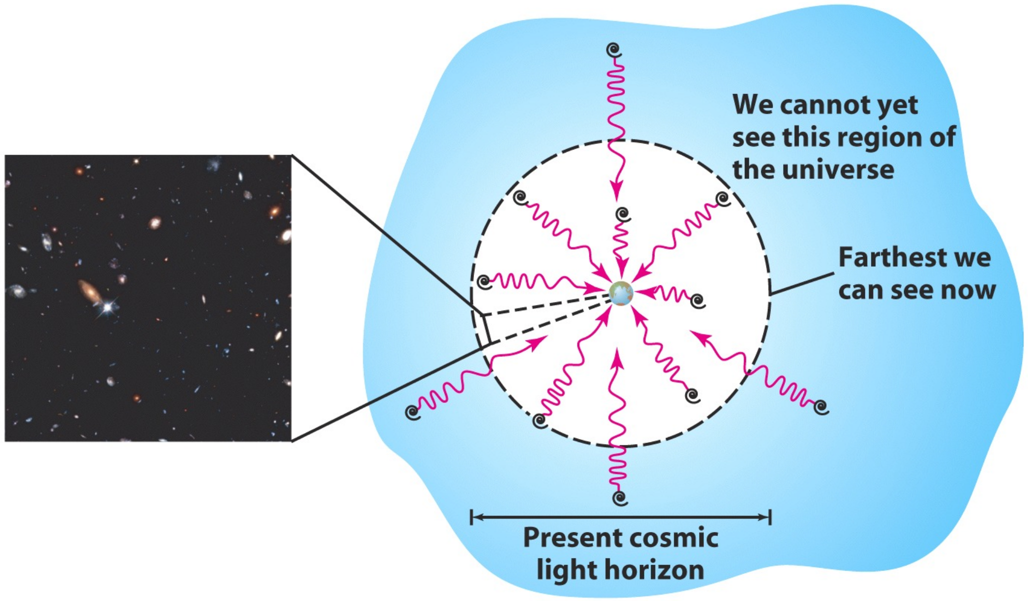
Haló,haló.. slyšíme se ?

- Vesmír je konečně starý
- Za dobu existence vesmíru světlo urazilo konečnou vzdálenost d_h, která charakterizuje pozorovatelný vesmír
- Místa která jsou vzdálenější než d_h , se nemohou nijak ovlivnit

Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost viditelného horizontu

$$d_h(t) = R(t) \int_0^t \frac{c\,dt'}{R(t')}$$

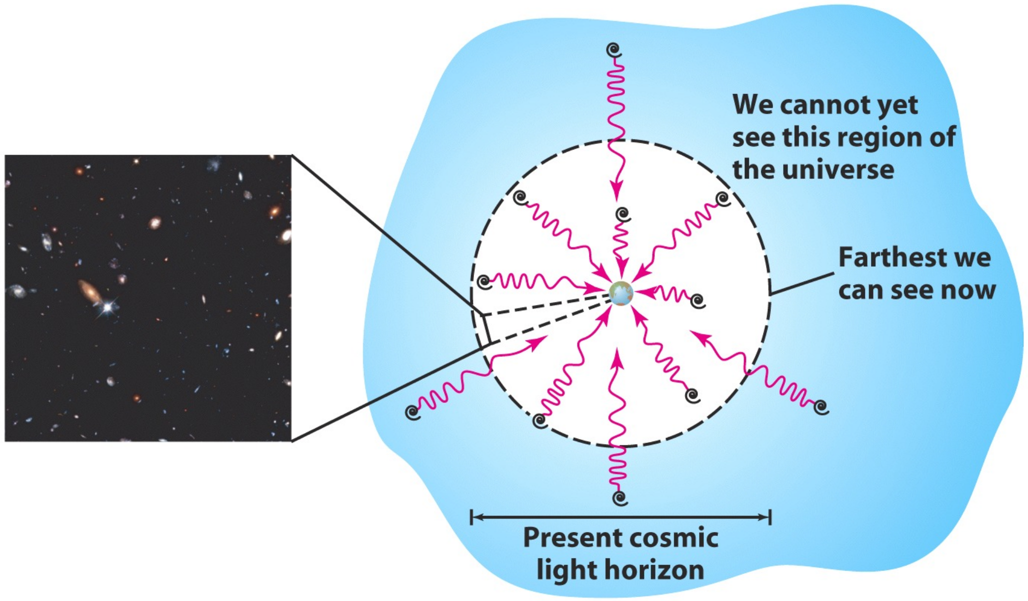


Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost viditelného horizontu

$$d_h(t) = R(t) \int_0^t \frac{c\mathrm{d}t'}{R(t')}$$

- Dva body ve vzdálenosti větší než je d_h nejsou kauzálně spojené

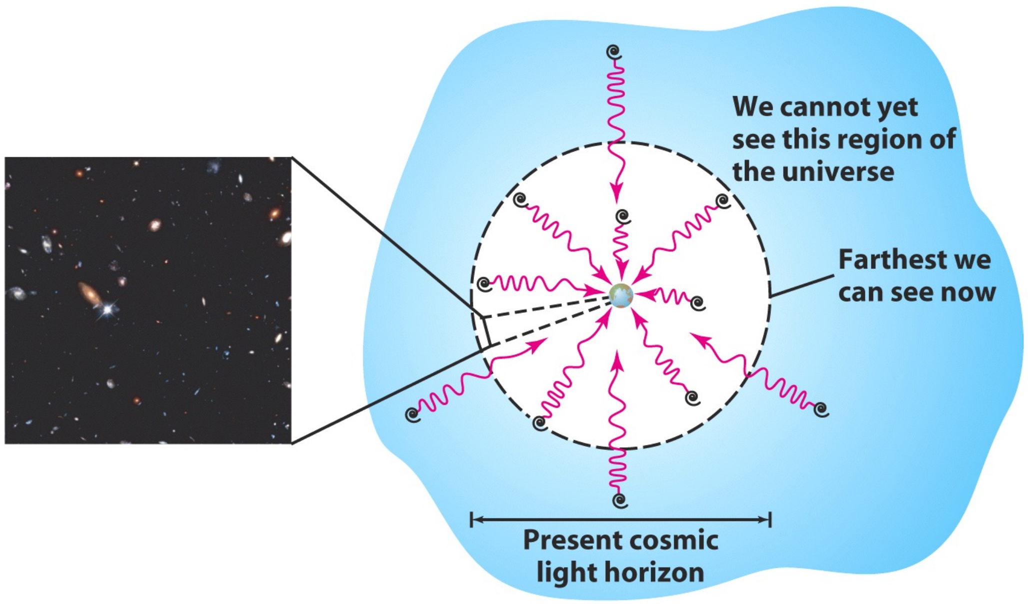


Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost viditelného horizontu

$$d_h(t) = R(t) \int_0^t \frac{\mathrm{c}\mathrm{d}t'}{R(t')}$$

- Dva body ve vzdálenosti větší než je d_h nejsou kauzálně spojené
- Zářivá éra $R(t) = Ct^{1/2} =>$ $d_h = 2ct$

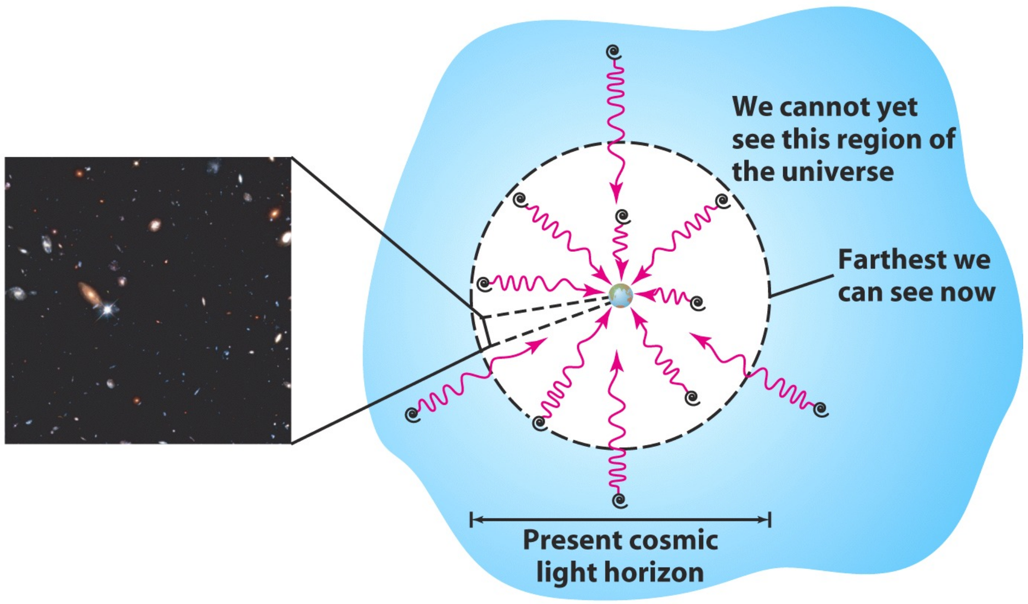


Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost viditelného horizontu

$$d_h(t) = R(t)\int_0^t \frac{c\,\mathrm{d}t'}{R(t')}$$

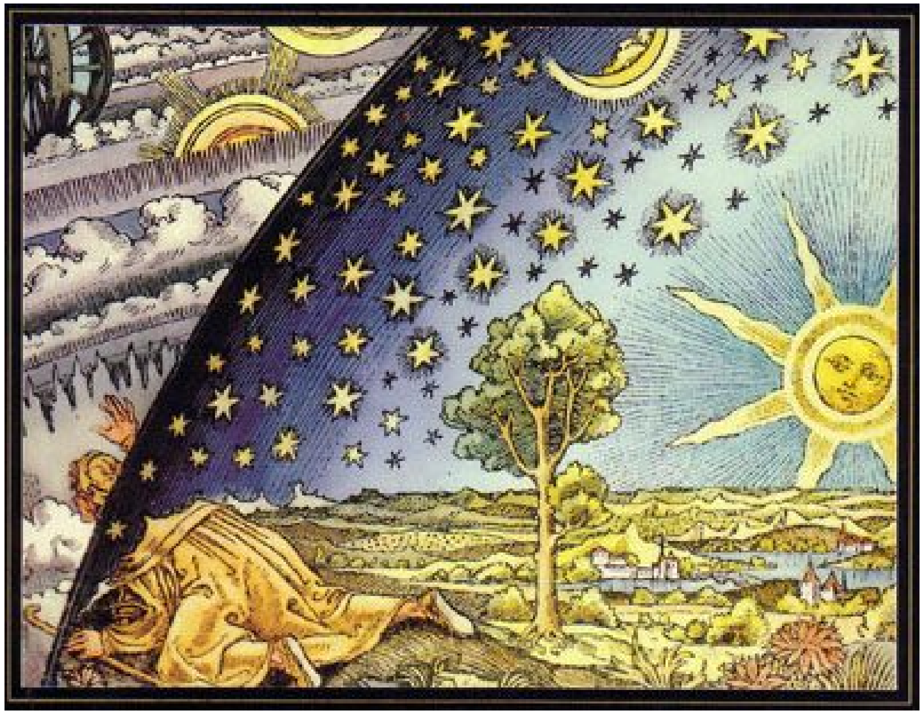
- Dva body ve vzdálenosti větší než je d_h nejsou kauzálně spojené
- Zářivá éra $R(t) = Ct^{1/2}$ => $d_h = 2ct$
- Éra hmoty $R(t) = Ct^{2/3}$ => $d_h = 3ct$



Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost lze vyjádřit pomocí rudého posuvu z

$$d_h = \frac{2c}{H_0\sqrt{\Omega_{m,0}}} \frac{1}{(1+z)^{3/2}}$$



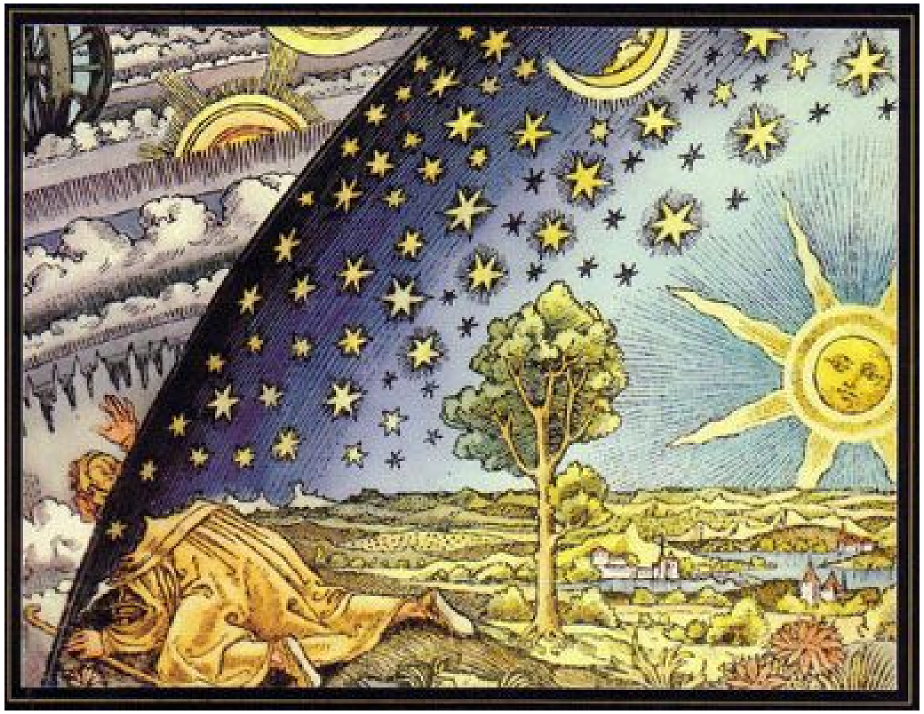
Pozorovatelný vesmír

- Vzdálenost lze vyjádřit pomocí rudého posuvu z

$$d_h = \frac{2c}{H_0\sqrt{\Omega_{m,0}}}\frac{1}{(1+z)^{3/2}}$$

- Pro současný horizont vesmíru ($z \approx 0$)

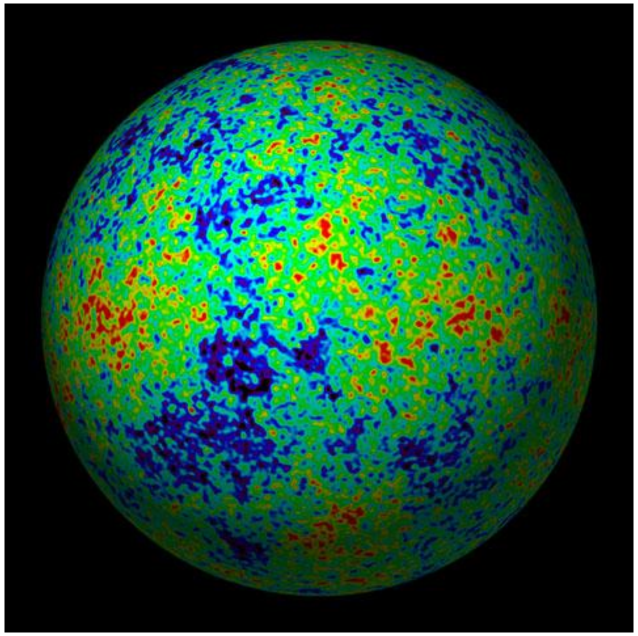
$$d_{h,0} = \frac{2c}{H_0\sqrt{\Omega_{m,0}}} = 16.3 \quad \mathrm{Gpc}$$



A co reliktní záření...

Jedna z nejdůležitějších vlastností reliktního záření je velmi vysoká izotropie

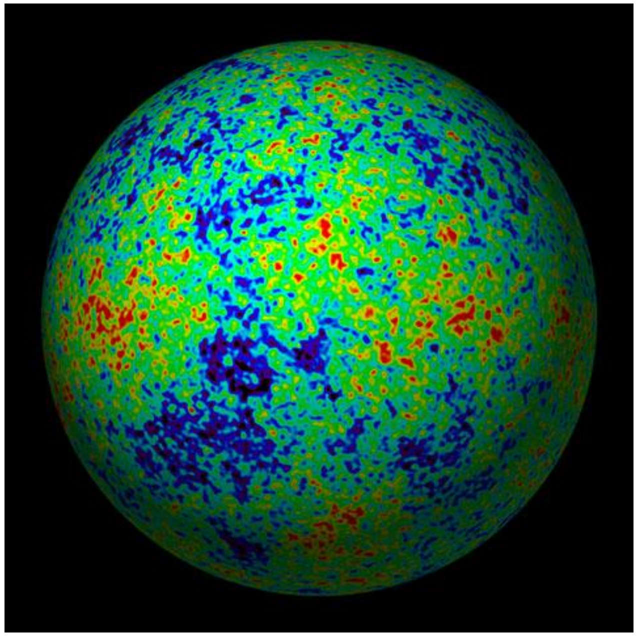
- Teplota s velkou přesností stejná $T \sim 2.725$



A co reliktní záření...

Jedna z nejdulěžitějších vlastností reliktního záření je velmi vysoká izotropie

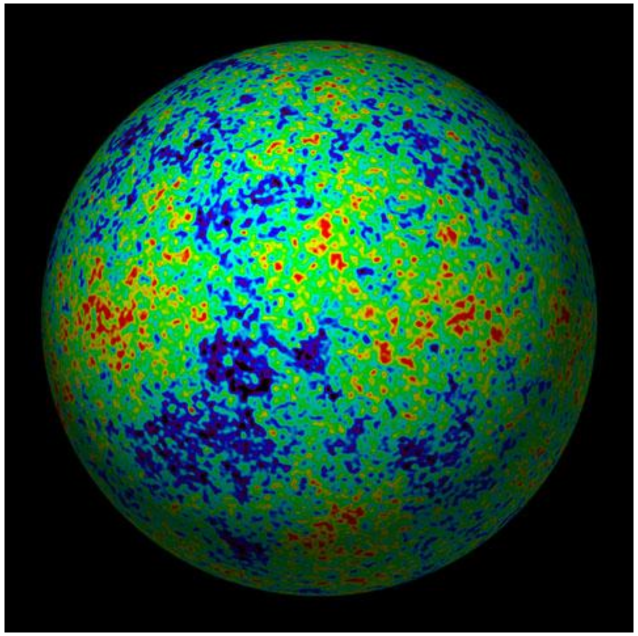
- Teplota s velkou přesností stejná $T \sim 2.725$
- Místa na mapě reliktního záření s úhlovou vzdáleností $> 2^\circ$ spolu nemohou interagovat !



A co reliktní záření...

Jedna z nejdulěžitějších vlastností reliktního záření je velmi vysoká izotropie

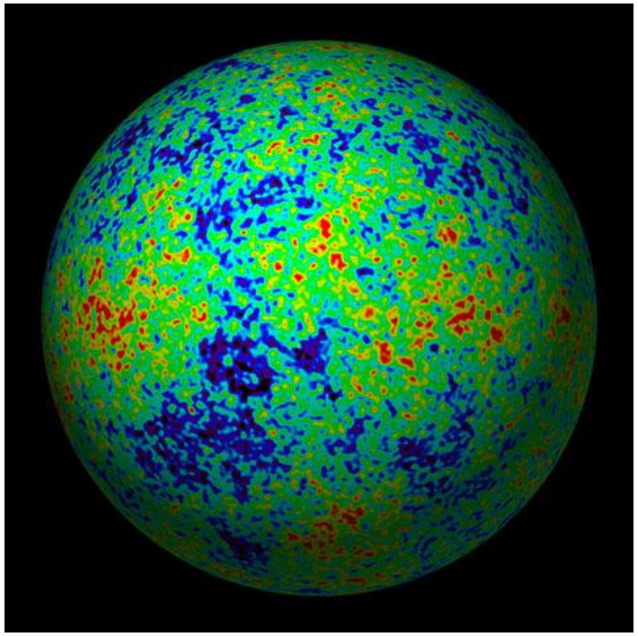
- Teplota s velkou přesností stejná $T \sim 2.725$
- Místa na mapě reliktního záření s úhlovou vzdáleností $> 2^\circ$ spolu nemohou interagovat !
- Jak se ustálila termodynamická rovnováha ?



A co reliktní záření...

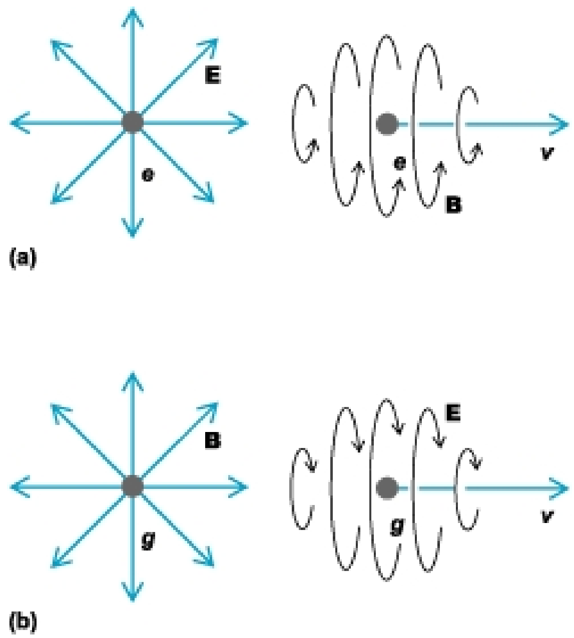
Jedna z nejdulěžitějších vlastností reliktního záření je velmi vysoká izotropie

- Teplota s velkou přesností stejná $T \sim 2.725$
- Místa na mapě reliktního záření s úhlovou vzdáleností $> 2^\circ$ spolu nemohou interagovat !
- Jak se ustálila termodynamická rovnováha ?
- Jak vznikly fluktuace ?



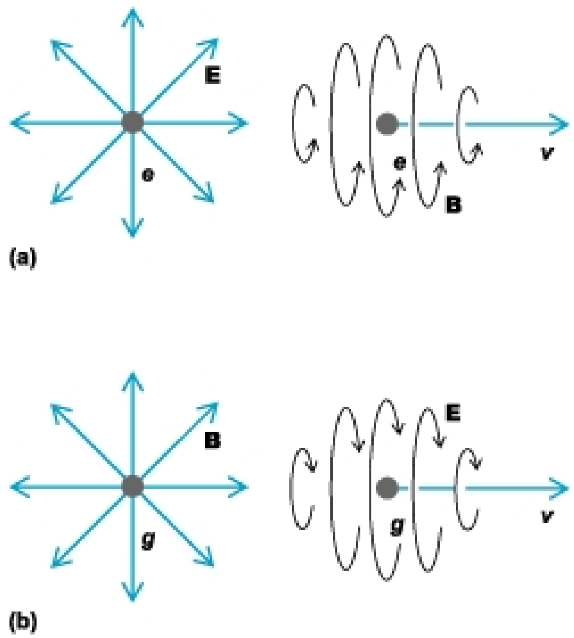
Exotické částice

- GUT Teorie velkého sjednocení = produkce exotických částic



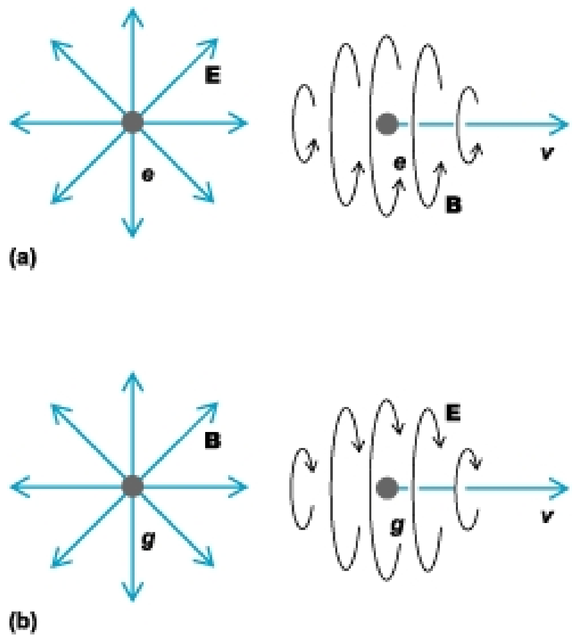
Exotické částice

- GUT Teorie velkého sjednocení = produkce exotických částic
- Magnetické monopoly, gravitino, dilaton



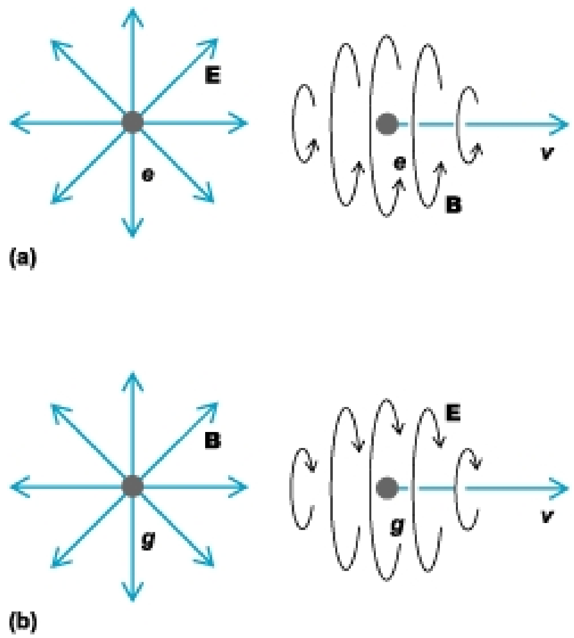
Exotické částice

- GUT Teorie velkého sjednocení = produkce exotických částic
- Magnetické monopoly, gravitino, dilaton
- Energie magnetického monopolu $\sim 10^{16}$ GeV



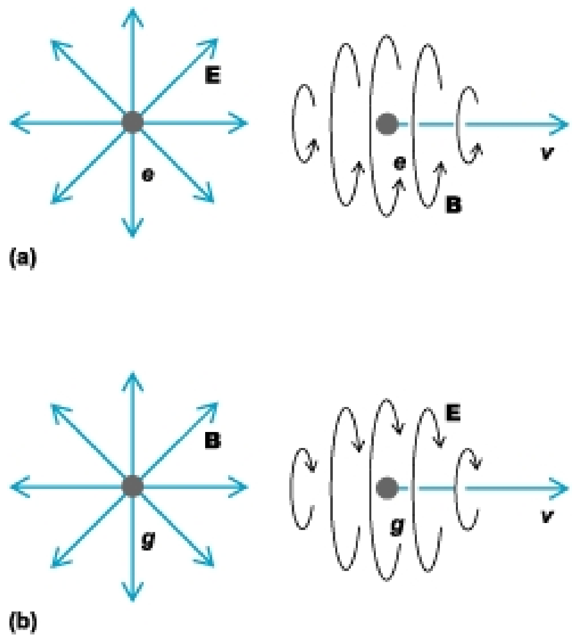
Exotické částice

- GUT Teorie velkého sjednocení = produkce exotických částic
- Magnetické monopoly, gravitino, dilaton
- Energie magnetického monopolu $\sim 10^{16}$ GeV
- Magnetické monopoly dosud nedetekovány



Exotické částice

- GUT Teorie velkého sjednocení = produkce exotických částic
- Magnetické monopoly, gravitino, dilaton
- Energie magnetického monopolu $\sim 10^{16}$ GeV
- Magnetické monopoly dosud nedetekovány
- Teorie GUT vs. Pozorování



Inflace vesmíru

- Alan Guth uveřejňuje inflační model v roce 1981

Inflace vesmíru

- Alan Guth uveřejňuje inflační model v roce 1981
- Inflace $=> \ddot{R}(t) > 0$

Inflace vesmíru

- Alan Guth uveřejňuje inflační model v roce 1981
- Inflace => $\ddot{R}(t) > 0$
- Rovnice pro akceleraci

$$\frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right)$$

Inflace vesmíru

- Alan Guth uveřejňuje inflační model v roce 1981
- Inflace => $\ddot{R}(t) > 0$
- Rovnice pro akceleraci

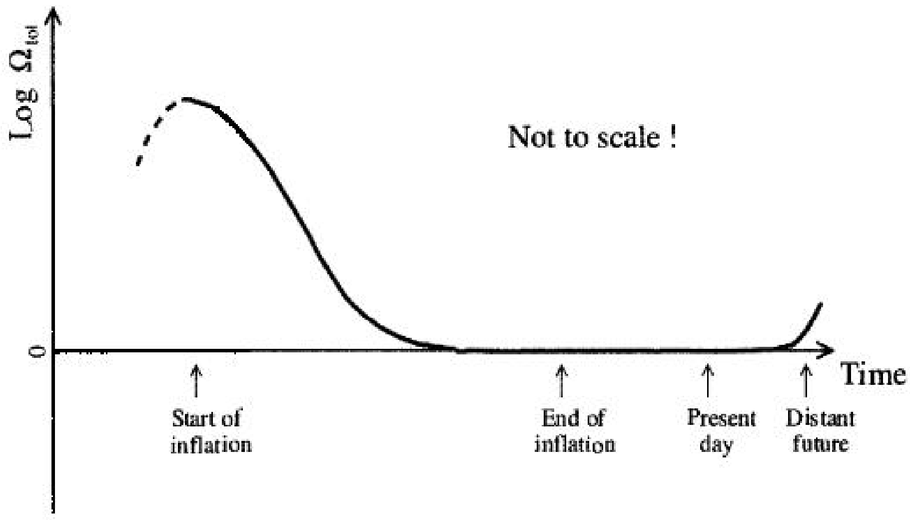
$$\frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right)$$

- Podmínka $\ddot{R} > 0$ implikuje $p < -\frac{\rho c^2}{3}$

Inflace vesmíru

- Friedmannovo řešení vesmíru

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{R^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

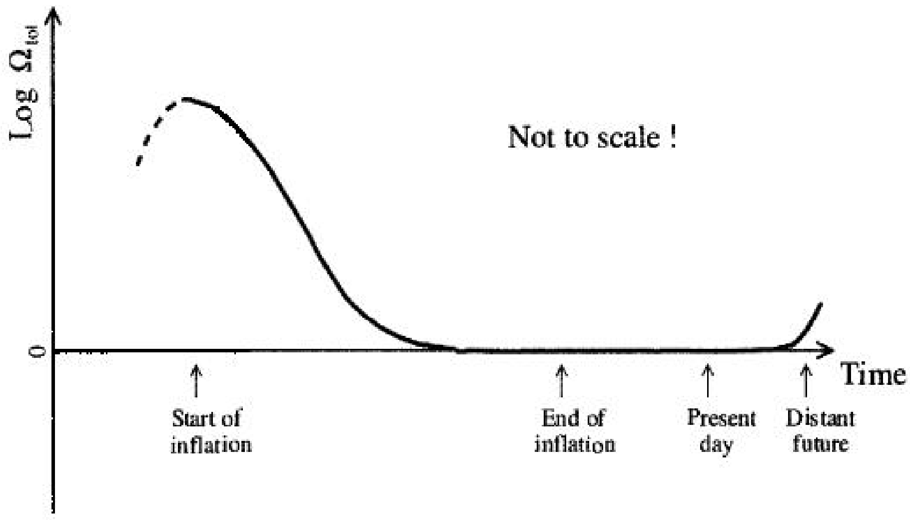


Inflace vesmíru

- Friedmannovo řešení vesmíru

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{R^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

- V době inflační expanze dominantní pouze člen s Λ



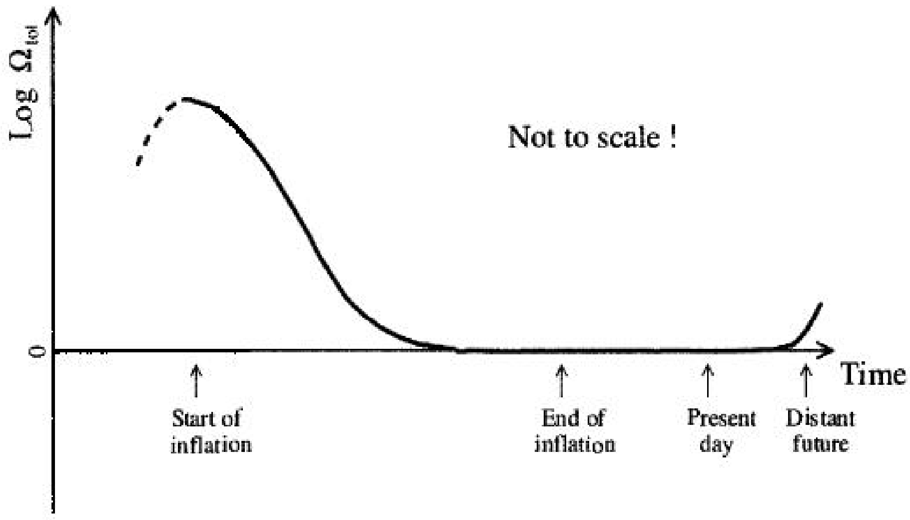
Inflace vesmíru

- Friedmannovo řešení vesmíru

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{R^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

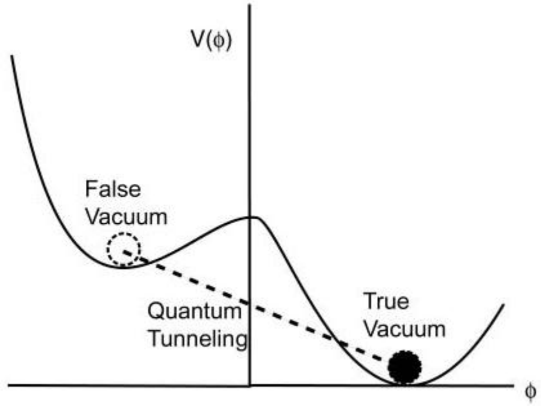
- V době inflační expanze dominantní pouze člen s Λ
- Exponenciální závislost škálovacího faktoru

$$R(t) = \exp\left(\sqrt{\frac{\Lambda}{3}}\right)$$



Inflace vesmíru

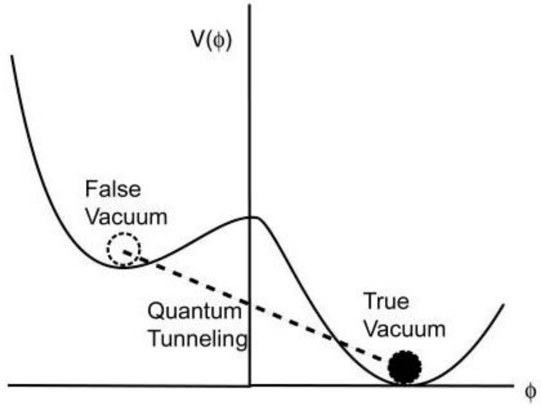
- Vesmír v době GUT ($t \sim 10^{-36}$) ve stavu falešného vakua s teplotou $T \sim 10^{28}$ K.



Inflace vesmíru

- Vesmír v době GUT ($t \sim 10^{-36}$) ve stavu falešného vakua s teplotou $T \sim 10^{28}$ K.
- Stav falešného vakua není stav s nejnižší energií - jeho hustota energie je

$$\epsilon = 1.6 \times 10^{98} \text{ J}$$

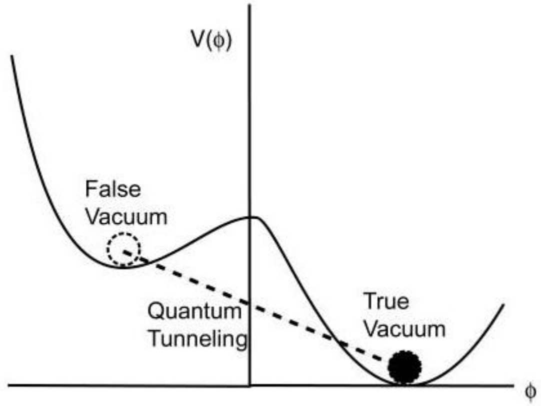


Inflace vesmíru

- Vesmír v době GUT ($t \sim 10^{-36}$) ve stavu falešného vakua s teplotou $T \sim 10^{28}$ K.
- Stav falešného vakua není stav s nejnižší energií - jeho hustota energie je

$$\epsilon = 1.6 \times 10^{98}\ \mathrm{J}$$

- Při dalším poklesu teploty vesmír v podchlazeném stavu do doby dosažení teploty spontánního narušení symetrie

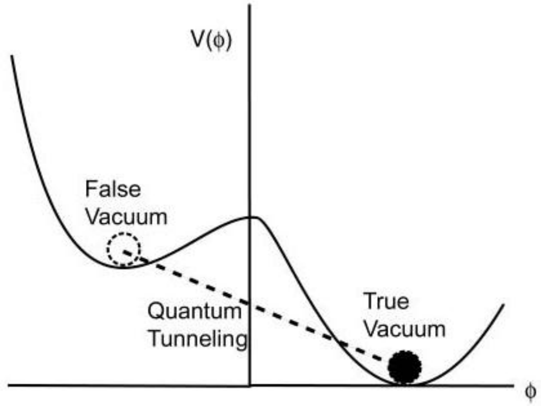


Inflace vesmíru

- Vesmír v době GUT ($t \sim 10^{-36}$) ve stavu falešného vakua s teplotou $T \sim 10^{28}$ K.
- Stav falešného vakua není stav s nejnižší energií - jeho hustota energie je

$$\epsilon = 1.6 \times 10^{98} \text{ J}$$

- Při dalším poklesu teploty vesmír v podchlazeném stavu do doby dosažení teploty spontánního narušení symetrie
- Analogie s podchlazenou vodou

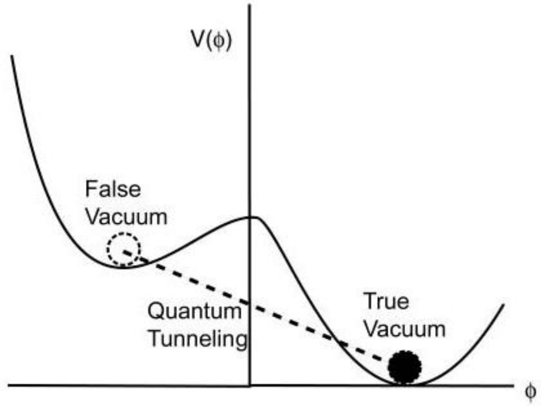


Inflace vesmíru

- Vesmír v době GUT ($t \sim 10^{-36}$) ve stavu falešného vakua s teplotou $T \sim 10^{28}$ K.
- Stav falešného vakua není stav s nejnižší energií - jeho hustota energie je

$$\epsilon = 1.6 \times 10^{98}\ \mathrm{J}$$

- Při dalším poklesu teploty vesmír v podchlazeném stavu do doby dosažení teploty spontánního narušení symetrie
- Analogie s podchlazenou vodou
- Kvantové fluktuace $->$ seskok malé oblasti do stavu pravého vakua

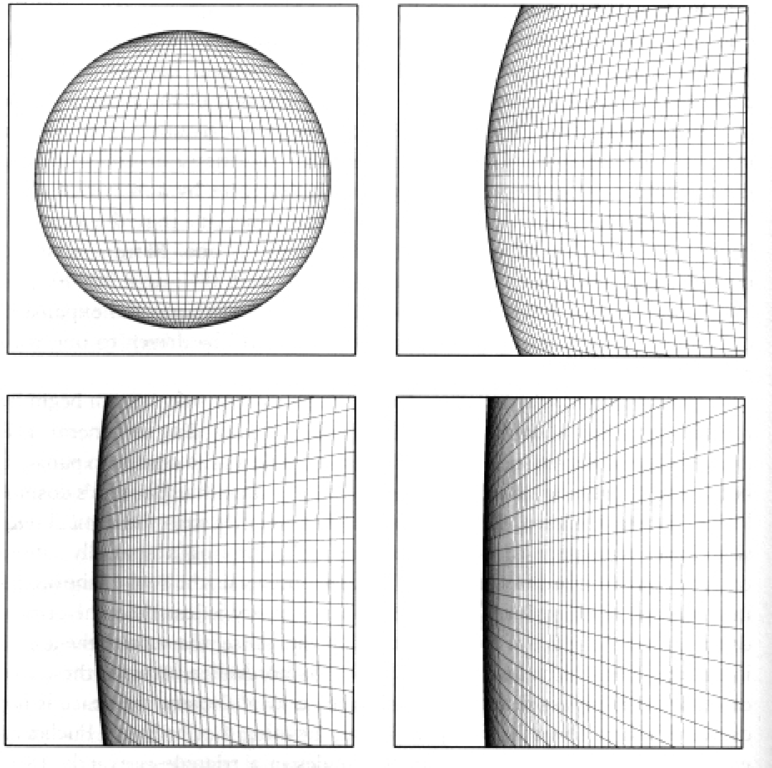


Proč je vesmír plochý

- Pro inflační fázi vesmíru faktor

$$|\Omega_t - 1| = \frac{|k|}{R^2 H^2}$$

se zmenšuje s časem !



Proč je vesmír plochý

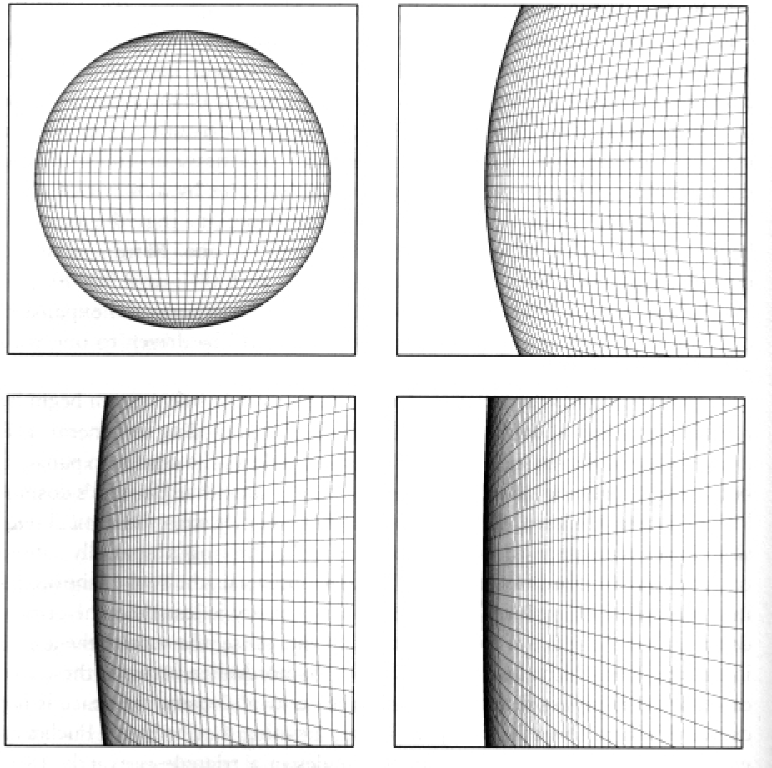
- Pro inflační fázi vesmíru faktor

$$|\Omega_t - 1| = \frac{|k|}{R^2 H^2}$$

se zmenšuje s časem !

- Důsledek akcelerace vesmíru

$$\ddot{R} > 0 \quad \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(RH) > 0$$



Proč je vesmír plochý

- Pro inflační fázi vesmíru faktor

$$|\Omega_t - 1| = \frac{|k|}{R^2 H^2}$$

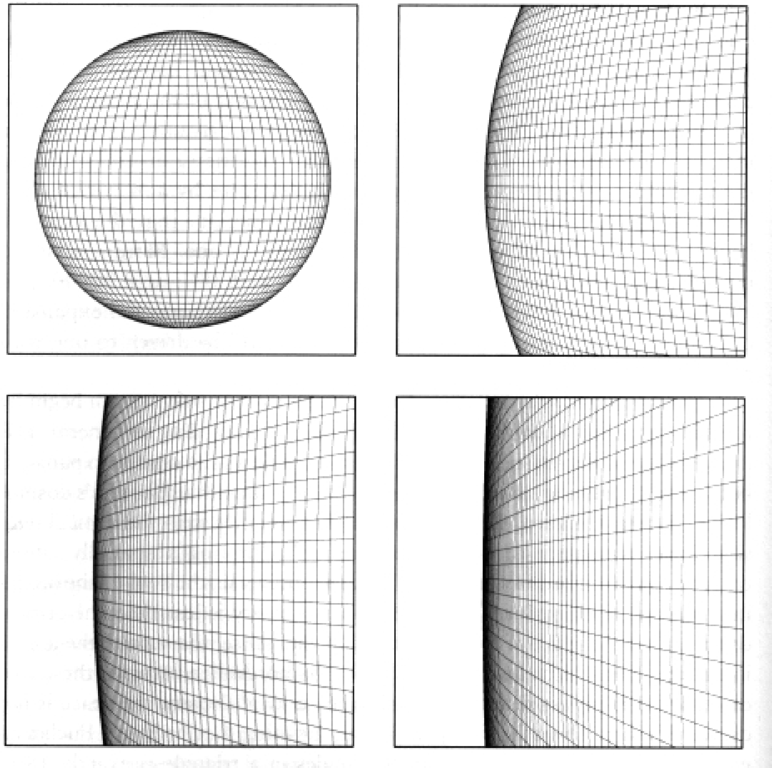
se zmenšuje s časem !

- Důsledek akcelerace vesmíru

$$\ddot{R} > 0 \quad \Rightarrow \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(RH) > 0$$

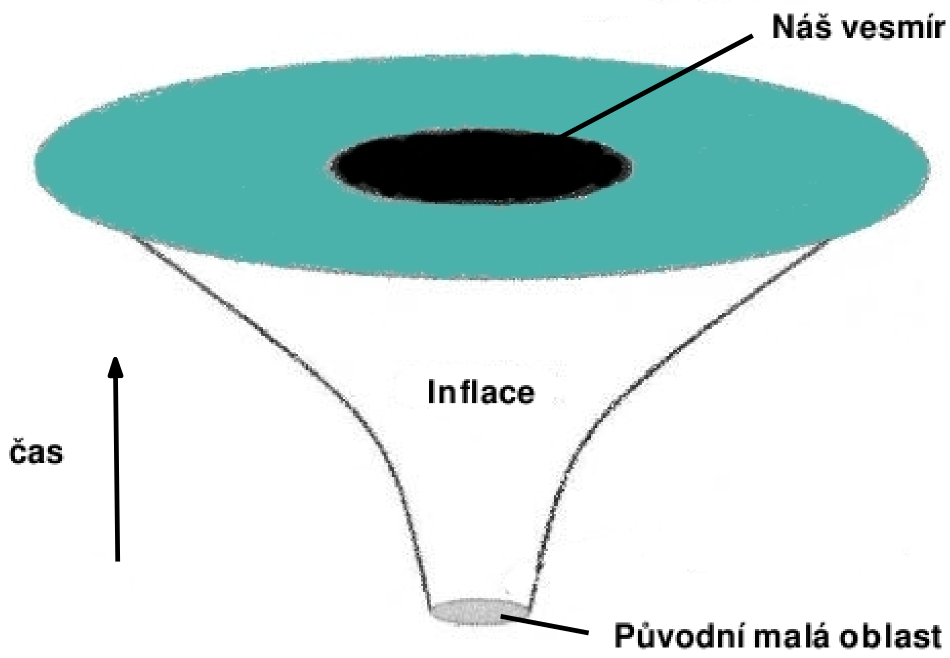
- V ideálním případě exponenciální závislost

$$|\Omega_t - 1| \propto \exp\left(-\sqrt{\frac{4\Lambda}{3}}t\right)$$



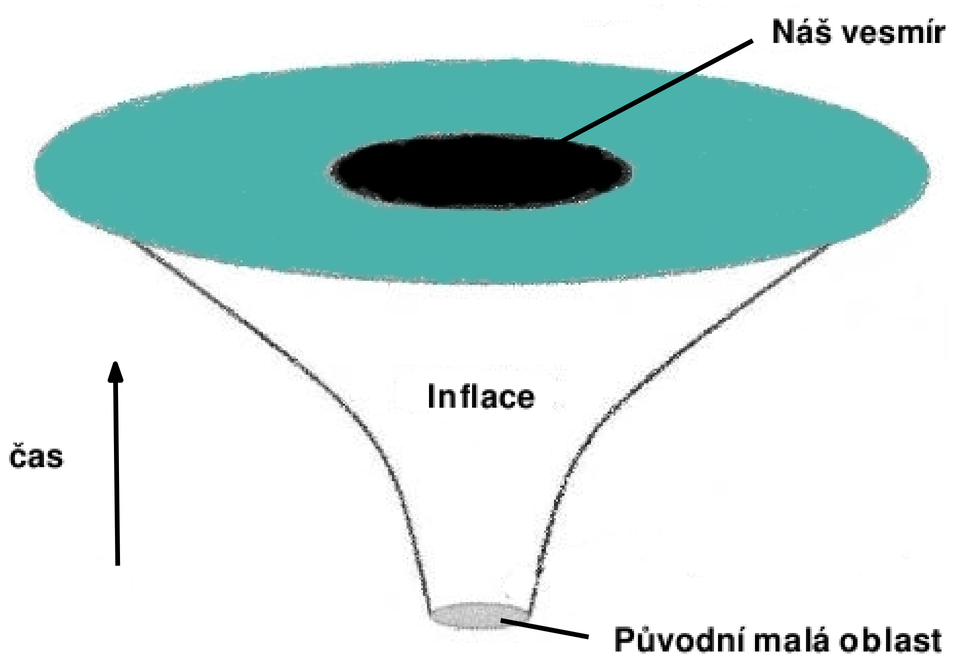
Proč je reliktní záření izotropní

- V dostatečně malém kousku ranného vesmíru je zajištěna termalizace.



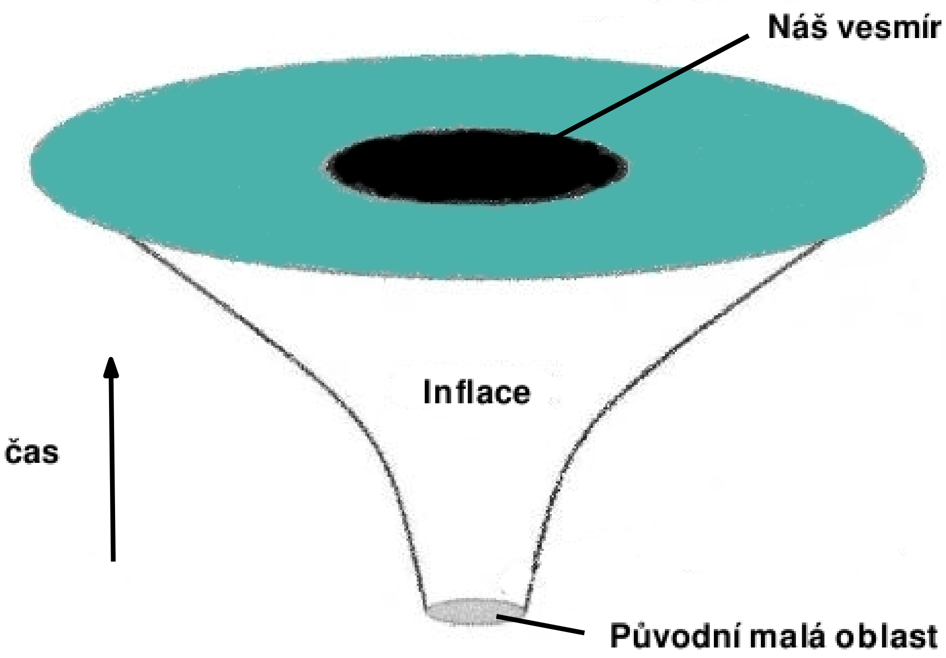
Proč je reliktní záření izotropní

- V dostatečně malém kousku ranného vesmíru je zajištěna termalizace.
- Díky inflaci expanduje tento kousek na velikost větší než současný pozorovatelný vesmír



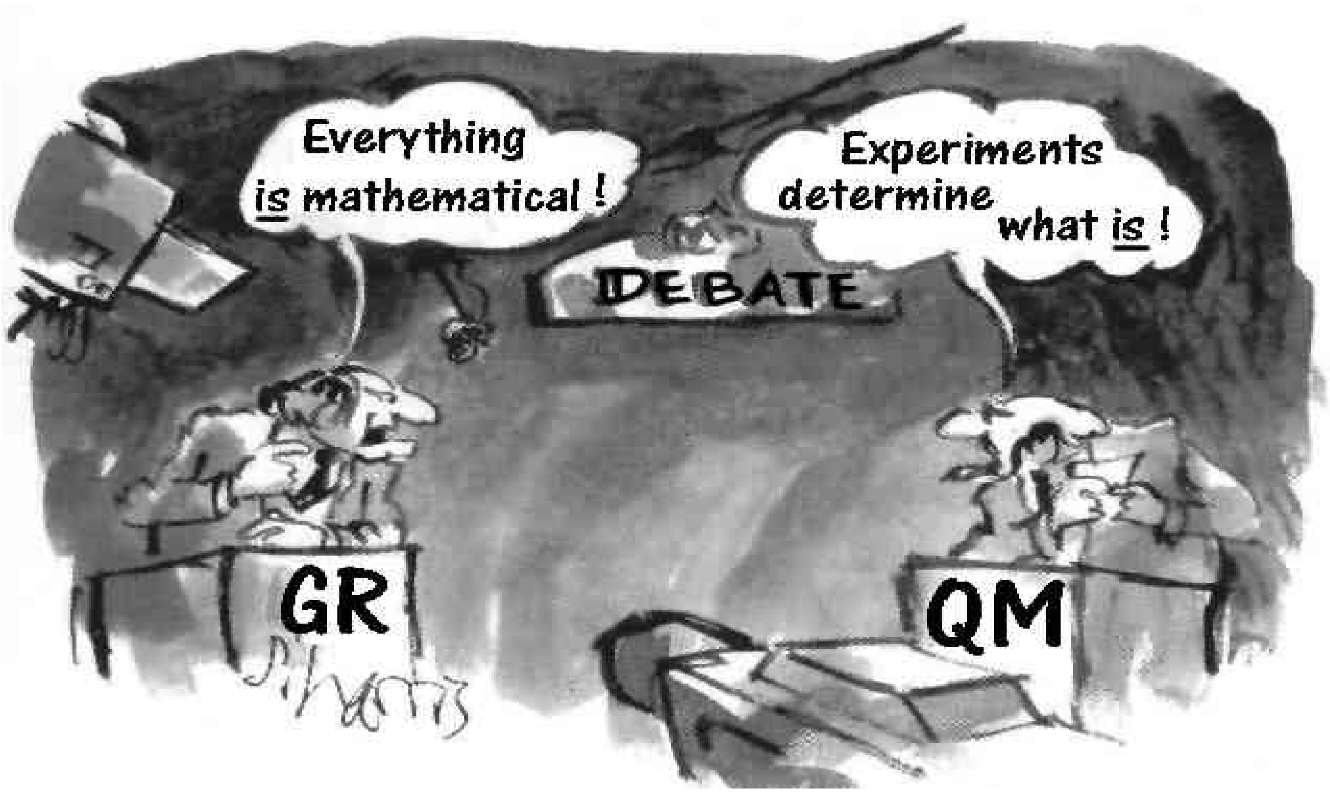
Proč je reliktní záření izotropní

- V dostatečně malém kousku ranného vesmíru je zajištěna termalizace.
- Díky inflaci expanduje tento kousek na velikost větší než současný pozorovatelný vesmír
- Reliktní záření z opačných stran má stejnou teplotu, protože v ranné fázi bylo v termodynamické rovnováze



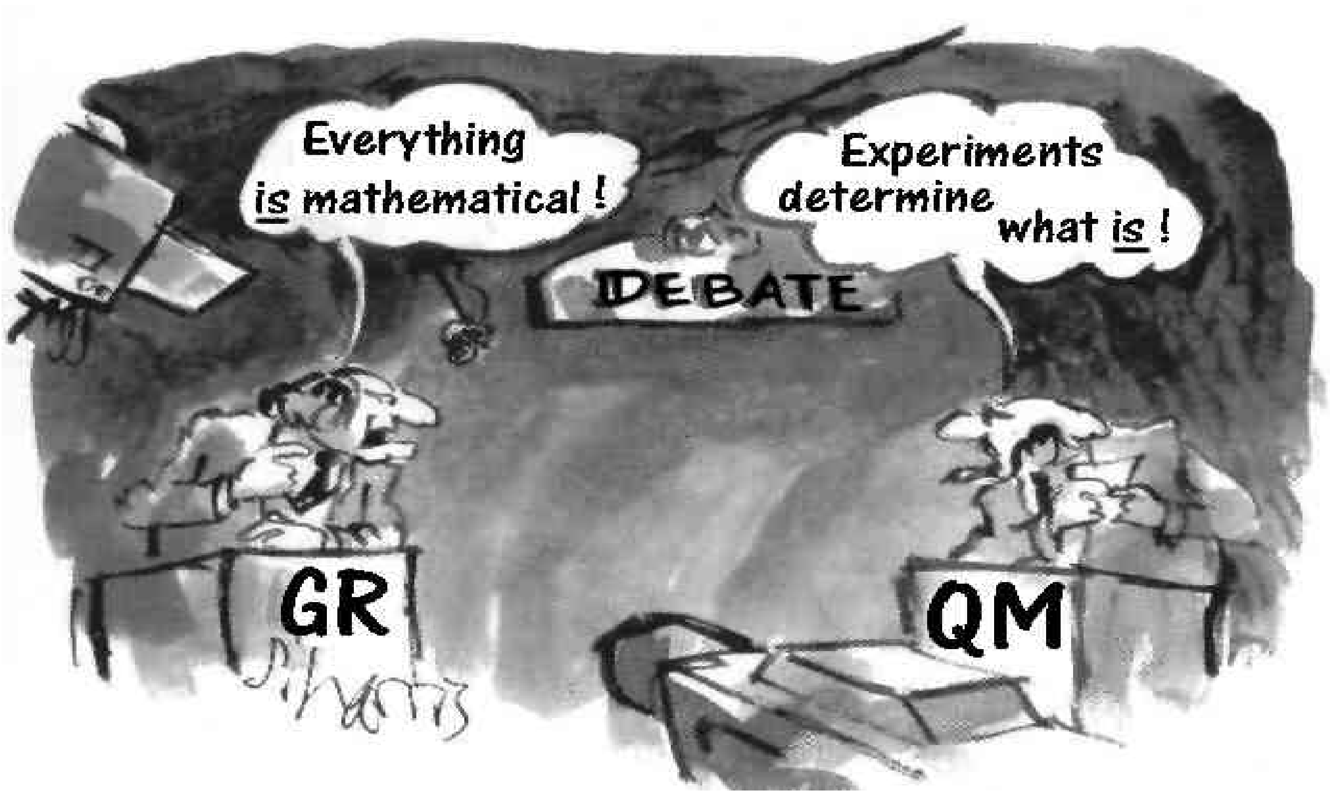
Kde jsou monopóly ?

- Hustota magnetických monopolů dramaticky redukována inflační expanzí



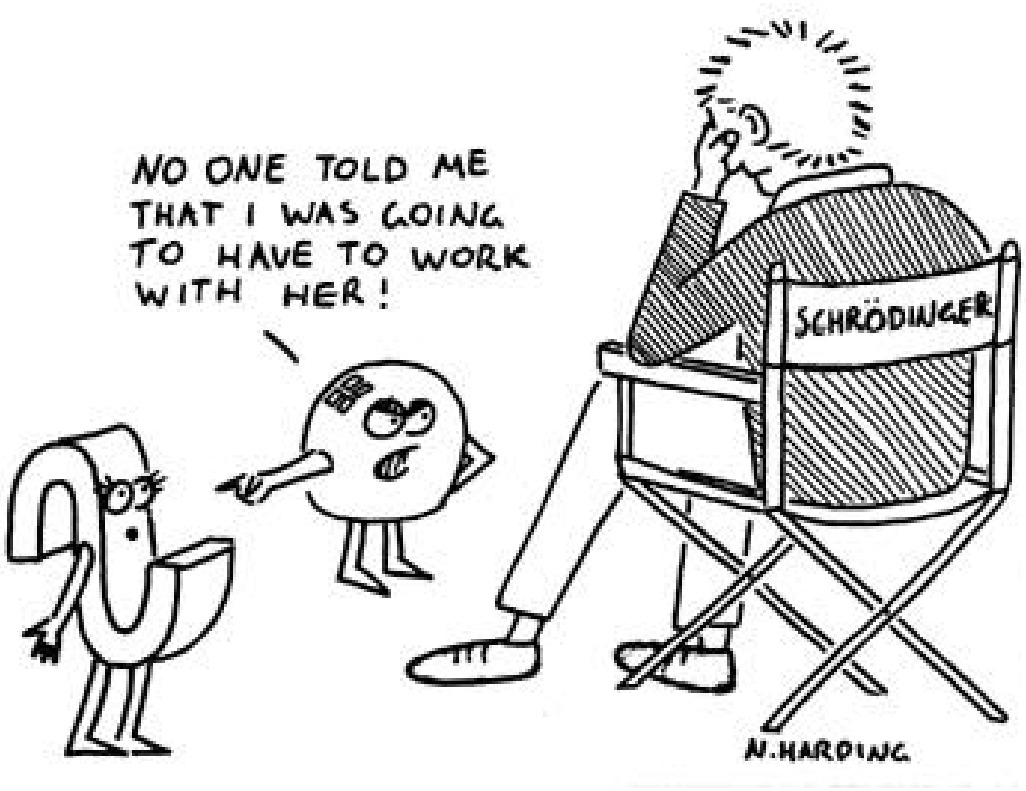
Kde jsou monopóly ?

- Hustota magnetických monopolů dramaticky redukována inflační expanzí
- Teplota vesmíru po inflační fázi není dostatečně vysoká, aby zajistila dodatečnou produkci



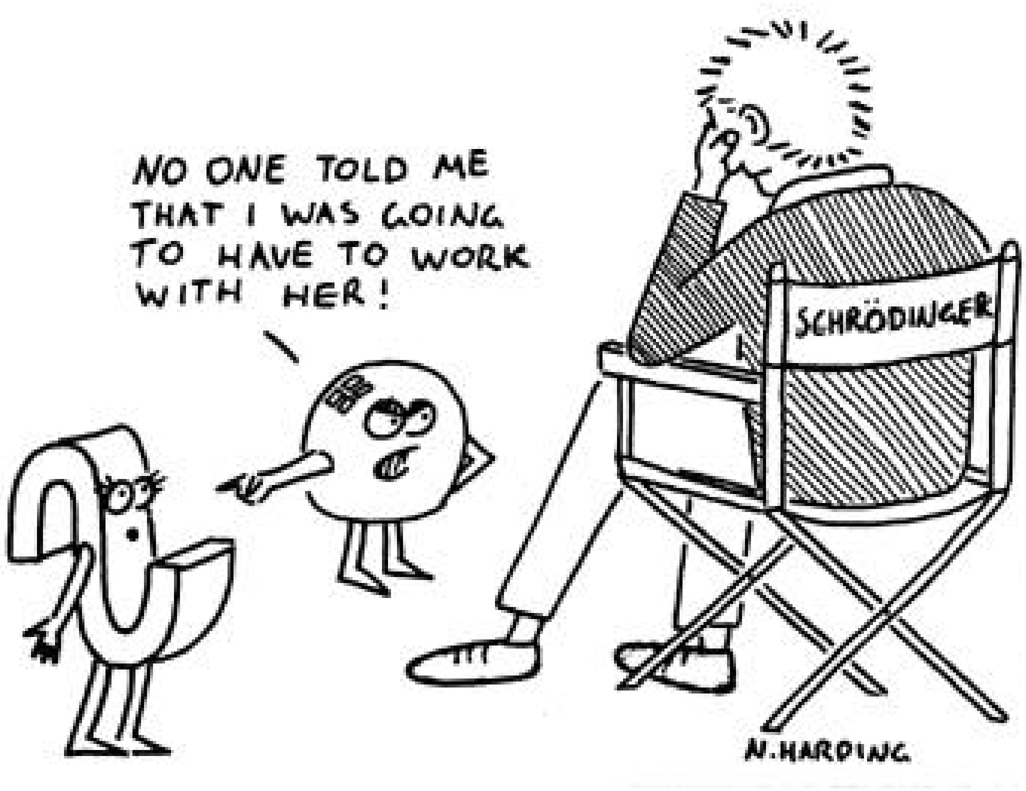
Je vše vysvětleno ?

- Klasická inflační teorie stále vyvíjena - chaotická inflace



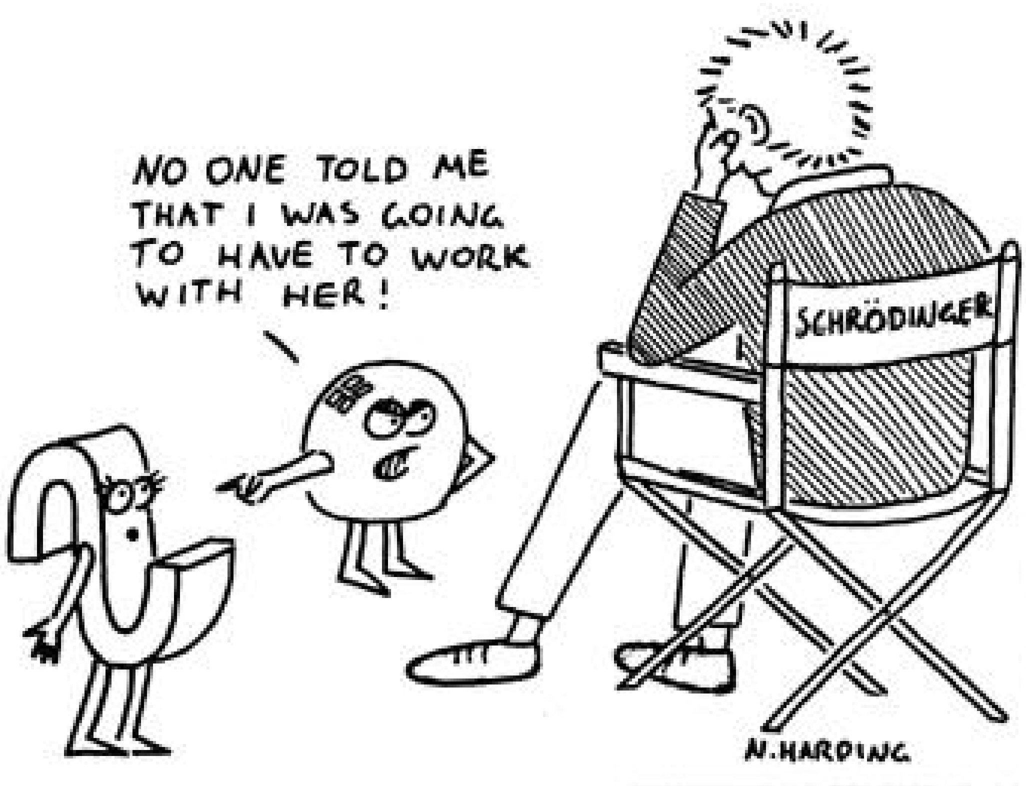
Je vše vysvětleno ?

- Klasická inflační teorie stále vyvíjena - chaotická inflace
- Teoretický popis vlastností ranného vesmíru pomocí strun



Je vše vysvětleno ?

- Klasická inflační teorie stále vyvíjena - chaotická inflace
- Teoretický popis vlastností ranného vesmíru pomocí strun
- Mise Planck a detailní mapování reliktního záření



Proč tu jsme ?

- Na začátku vesmír s velmi nízkou entropii => velmi nepravděpodobné

Proč tu jsme ?

- Na začátku vesmír s velmi nízkou entropii => velmi nepravděpodobné
- Antropický princip ? Vesmír vyžaduje existenci pozorovatele ?

Proč tu jsme ?

- Na začátku vesmír s velmi nízkou entropii => velmi nepravděpodobné
- Antropický princip ? Vesmír vyžaduje existenci pozorovatele ?
- Teorie multiversa