



GEOMETRIE VESMÍRU

- Friedmannova rovnice a geometrie vesmíru

- Nekompaktní geometrie
- Kde byl velký třesk

GEOMETRIE VESMÍRU

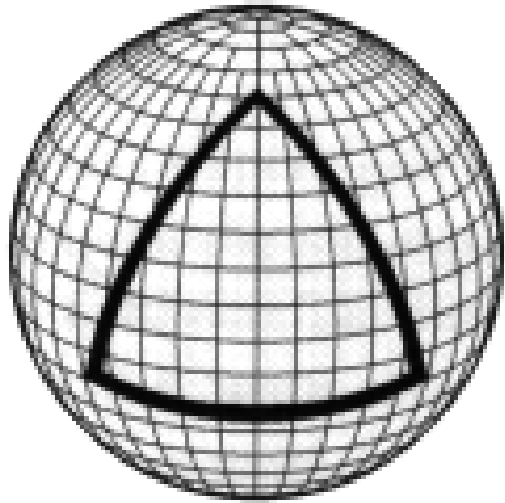
Friedmannova rovnice:
$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2}$$

Newtonova interpretace k je energie na částici

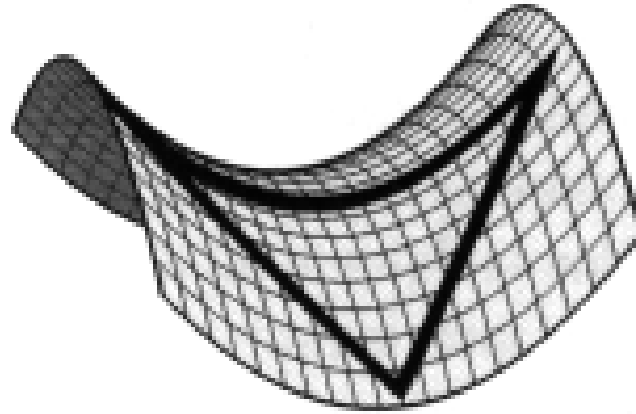
Relativistická interpretace k je křivost vesmíru

Křivost k může nabývat (po normování) tří základních hodnot: -1, 0, 1

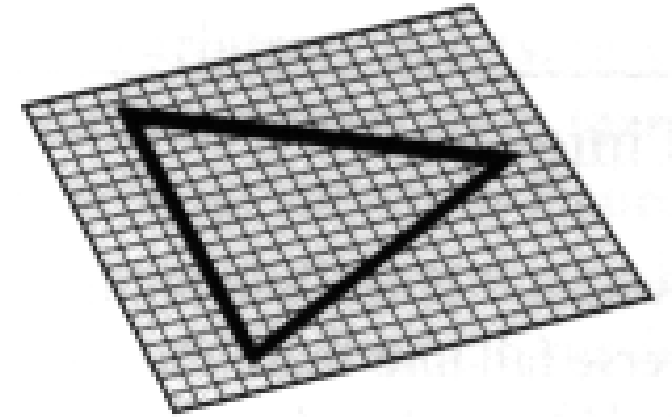
ROZLIČNÉ GEOMETRIE



Positive Curvature



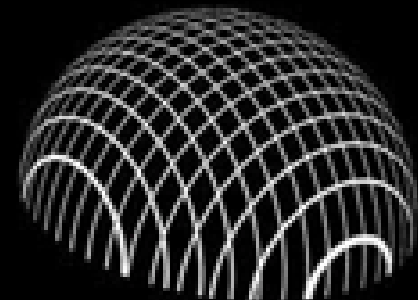
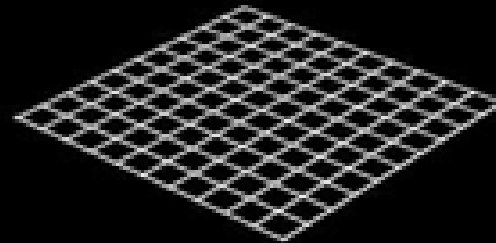
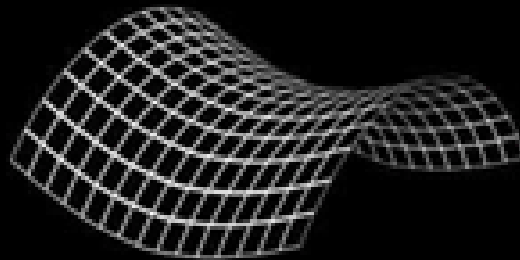
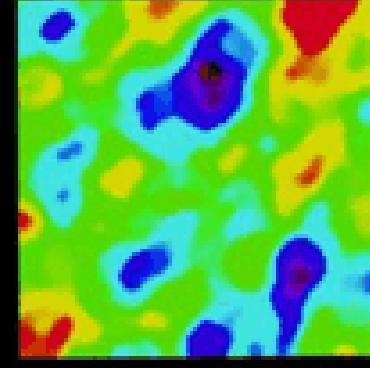
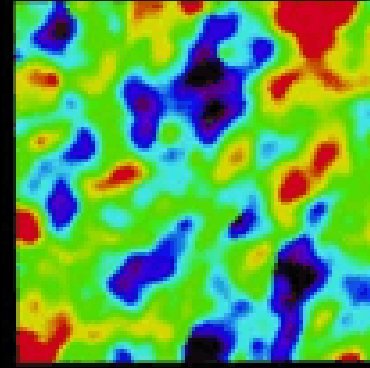
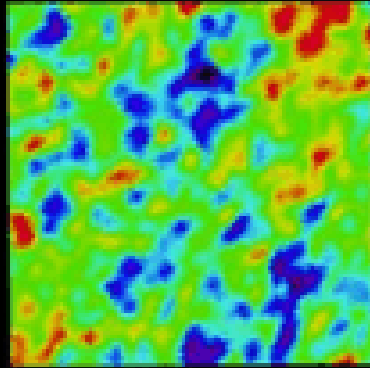
Negative Curvature



Flat Curvature

| | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Křivost k : | $k > 1$ | $k < 1$ | $k = 0$ |
| Součet úhlů v Δ : | $> 180^\circ$ | $< 180^\circ$ | $= 180^\circ$ |
| Obvod kruhu: | $> 2\pi R$ | $< 2\pi R$ | $= 2\pi R$ |

GEOMETRIE VESMÍRU



otevřený

fluktuace $< 1^\circ$

plochý

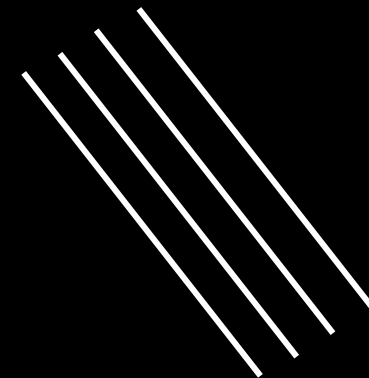
fluktuace $\sim 1^\circ$

uzavřený

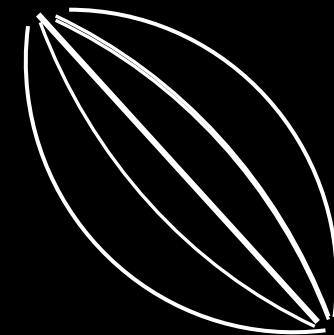
fluktuace $> 1^\circ$

INOLEOVÁ KRIVOST

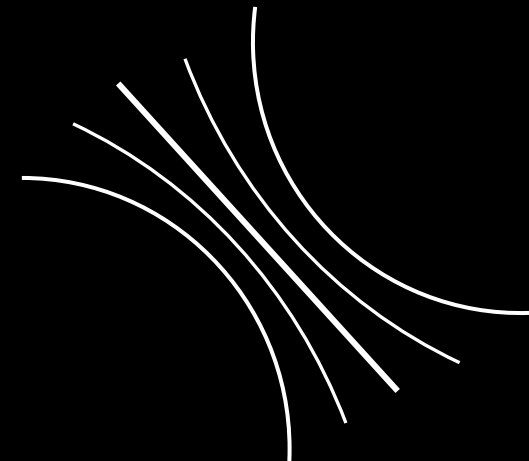
- $k = 0$ (plochý vesmír)
- Obvod kruhu: $o = 2\pi R$
- Součet úhlů v trojúhelníku = 180°
- Rovnoběžky od sebe udržují **stejnou** vzdálenost
- Otevřený vesmír: (asymptoticky) nekonečné rozměry



- $k = +1$ (Sférický vesmír)
- Obvod kruhu: $o < 2\pi R$
- Součet úhlů v trojúhelníku $> 180^\circ$
- Rovnoběžky se **přibližují**
- Uzavřený vesmír: konečné rozměry



- $k = -1$ (Sedlový vesmír)
- Obvod kruhu: $o > 2\pi R$
- Součet úhlů v trojúhelníku $< 180^\circ$
- Rovnoběžky se vzdalují
- Otevřený vesmír: nekonečné rozměry [video](#)



- Rovnice jdou přeškálovat tak, aby typologicky bylo možné rozlišit pouze **tři** možné geometrie vesmíru
- Budeme se zabývat variantou **$k=0$**
- **Pozorování** naznačují, že **vesmír je plochý** i na velkých škálách

NEKONEČNOST VESMÍRU

- Nekonečný vesmír je myšleno **rozměrově**, **ne časově** (nekonečný vesmír v konečném čase)
- I přes (potenciální) nekonečnost se může **rozpínat**
Příklad: Celá čísla – nekonečno číslic, po vynásobení např. $\times 2$ se rozdíl mezi následujícím zvětší z 1 na 2
- Vše je teorie a v praxi **nevidíme** za tzv. **kosmologický horizont**, viditelnou část vesmíru

KDE BYL VELKÝ TŘESK

- **Olbersův paradox**: vidíme hvězdy, ne nekonečnou zářící oblohu
- Rozfukující se vesmír má počátek = **Velký třesk**
- Při velkém třesku **selhávají** naše teorie – chybí **jednotná** teorie gravitace a kvantové mechaniky
- Veškerý prostor byl v při velkém třesku v **jednom bodě**, ten se vyvinul v dnešní vesmír -> velký třesk byl všude a nikde
- Musíme přijmout relativistický pohled, kdy **čas a prostor je spojen**, nejde tedy jen o bod ve vesmíru, ale i čas.

Ačkoli by plochý vesmír nemusel být nekonečný, přijímáme tuto myšlenku.
Navrhněte odůvodnění.

(hint: Co by způsobil konec vesmíru a jaký jiný silný předpoklad by to narušilo.)