

# NEWTONOVSKÁ KOSMOLOGIE

- Newtonův gravitační zákon a jeho důsledky
- Friedmannova rovnice
- Rozpínání a rychlost světla
- Vesmír jako tekutina
- Rovnice zrychlení

# NEWTONŮV GRAVITAČNÍ ZÁKON

- Gravitační síla je přímo úměrná hmotnostem objektů a nepřímo úměrná kvadrátu jejich vzdálenosti:

( $F=ma$ ) 
$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

- Gravitační potenciál vyčísluje potenciální energii tělesa o jednotkové v gravitačním poli ostatních těles:

(video) 
$$\phi(r) = -\frac{GM}{r},$$

- Slupkový (Newtonův) teorém:

# SLUPKOVÝ (NEWTONŮV) TEORÉM

Ve sféricky symetrickém rozložení hmoty částice necítí vůbec žádnou sílu z materiálu na větších poloměrech (nad ní) a materiál na menších poloměrech dává přesně takovou sílu, jakou by člověk dostal, kdyby byl veškerý materiál soustředěn ve středovém bodě.

## Příklady:

- Síla vně kulového objektu neznámého hustotního profilu závisí pouze na celkové hmotnosti
- Astronaut uvnitř kulovité skořápky necítí žádnou gravitační sílu, nejen pokud je uprostřed, ale pokud je v jakékoli poloze uvnitř skořápky.

# FRIEDMANNOVA ROVNICE

- Odvození z Newtonovy gravitace

- Friedmannova rovnice:  $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} = H^2$ , kde  $H$  je Hubbleova konstanta  
 $k$  je křivost vesmíru  
 $a(t)$  je expanzní funkce

- $a(t)$  závisí pouze na čase (ne na souřadnicích = homogenita)



# EXPANZNÍ FUNKCE

- Expanze vesmíru probíhá na škálách, kde se dá o strukturách hovořit jako o volných částicích.

## Příklady:

1. Jádru a elektrony v atomu - nejsou volné (elmag. síla) - nevzdalují se
2. Orbita Země kolem Slunce - nejsou volné (gravitace) - nezvětšuje se
3. Vzdálené galaxie které se již neovlivňují - více méně volné - vzdalují se



# ROZPÍNÁNÍ RYCHLOSTÍ SVĚTLA

- Speciální relativita říká, že žádná **informace** nemůže být šířená větší rychlostí než je **rychlost světla**.
- **Relativní** pohyb dvou těles může být nadsvětelný (konce rozevírajících se nůžek - není to rychlost částice, ta může nést informaci)
- Rozpínání prostoru může být nadsvětelné (nelze tím předat informaci)

# VESMÍR JAKO TEKUTINA

- První zákon termodynamiky:  $dE + pdV = TdS$
- Rovnice tekutiny:  $\dot{\rho} + 3\frac{\dot{a}}{a}\left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) = 0$
- Rovnice zrychlení:  $\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right)$
- Všechny rovnice jsou nerelativistické!! Nelze přesně použít na náš vesmír
- video objekty (-6:53)

## PŘÍKLAD 1)

Předpokládejme, že galaxie Mléčná dráha má typickou velikost, obsahuje řekněme  $10^{11}$  hvězd, a že galaxie jsou od sebe typicky odděleny vzdáleností jednoho megaparseku. Odhadněte hustotu vesmíru v jednotkách SI. Jaká je tato hustota ve srovnání s hustotou Země?

( $1M_{\odot} = 2 \times 10^{30}\text{kg}$ ,  $1 \text{ parsek} = 3 \times 10^{16}\text{m}$ )



# ŘEŠENÍ

- 1) You should get something like  $\rho \sim 10^{-26} \text{ kgm}^{-3}$  for the Universe. The Earth's density is about  $10^{30}$  times greater.