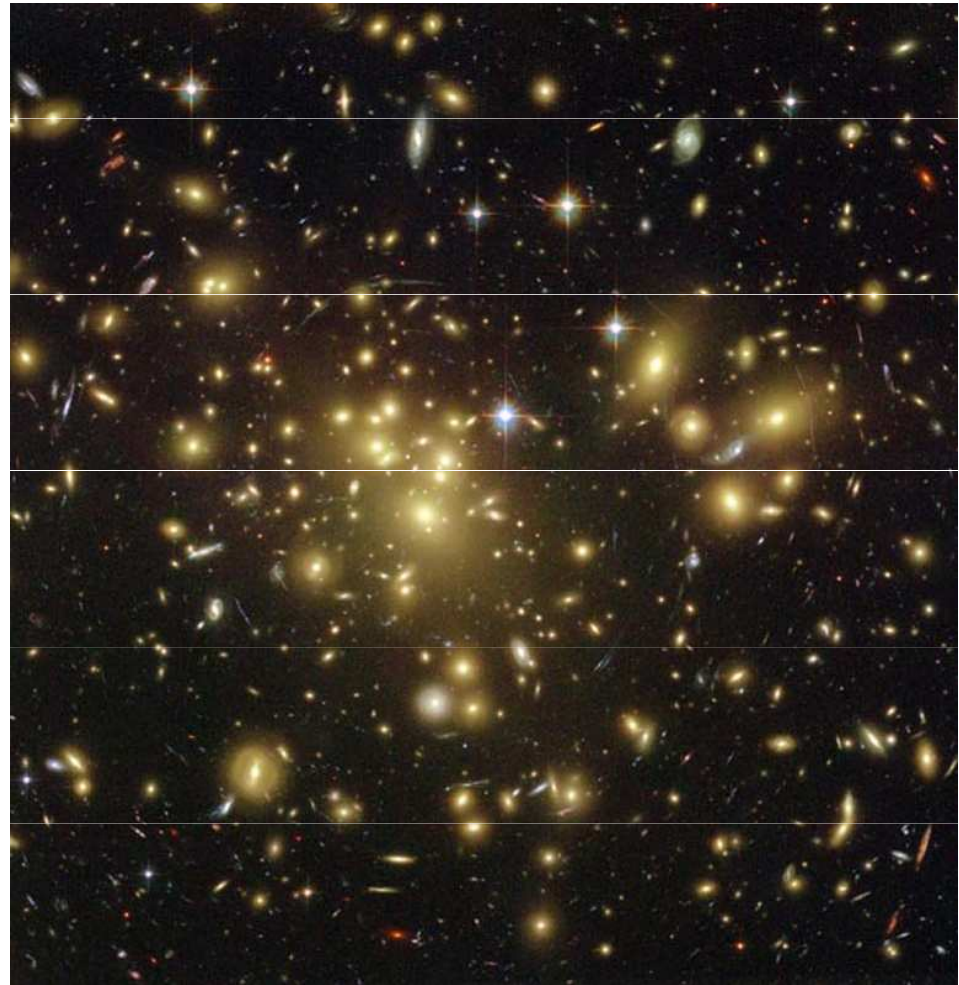


KOSMOLOGIE

v zrcadle Nobelových cen

- 1978 Arno A. Penzias,
Robert W. Wilson
za objev kosmického mikrovlnného
reliktního záření
- 2006 John C. Mather,
George F. Smoot
za objev jeho černotělesové povahy a
anizotropie
- 2011 Saul Perlmutter,
Brian P. Schmidt
Adam C. Riess
za objev zrychlujícího se rozpínání
vesmíru odhalený pozorováním
vzdálených supernov



Hvězdné okamžiky kosmologie

- 1917 A. Einstein: statický vesmír
- 1917 W. de Sitter: stacionární vesmír
- 1922 A. A. Fridman: nestacionární modely
- 1929 E. Hubble: objev červeného posuvu
- 1946 G. Gamow: vznik lehkých prvků
- 1964 A. Penzias, R. Wilson: reliktní záření
- cca 2006: Λ -CDM(cold dark matter) model

Proč tak snadno aneb mohl na to přijít už Newton?

Černý bod – poloha pozorovatele

Červený bod – vzdálené galaxie

r – vzdálenost od nás ke galaxii

M – hmotnost v kouli o poloměru r

ρ – hustota hmotnosti ve vesmíru

a – zrychlení sledované galaxie

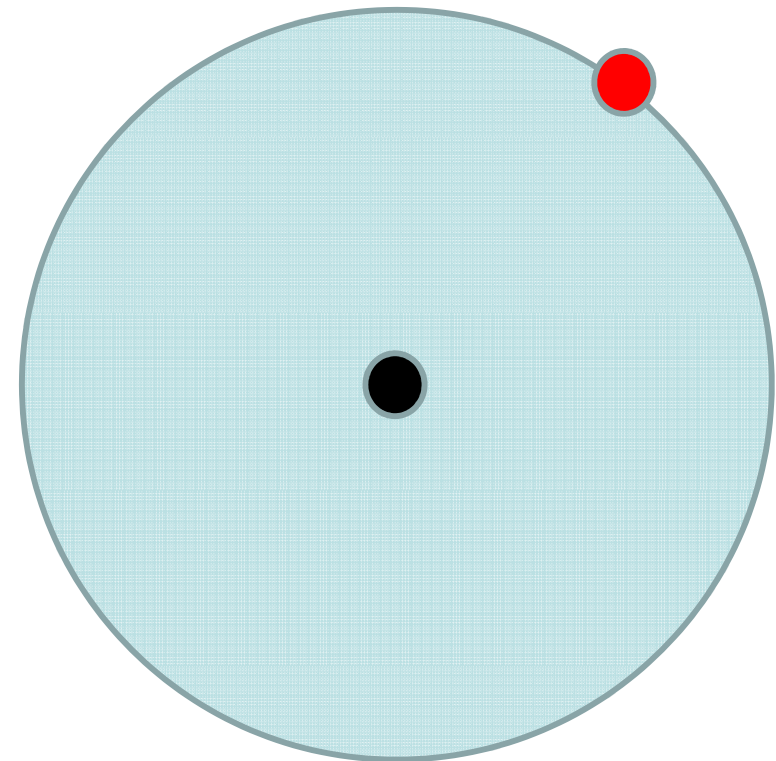
$$a = -\frac{GM}{r^2} = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

rovnice pro pohyb galaxie

$r = r_0 R(t)$, $\rho(0) = \rho_0$, $R(t)$ je **škálový faktor**

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4}{3} \frac{G\pi\rho_0}{R^2}$$

rovnice pro škálový faktor



Proč tak snadno? (pokračování)

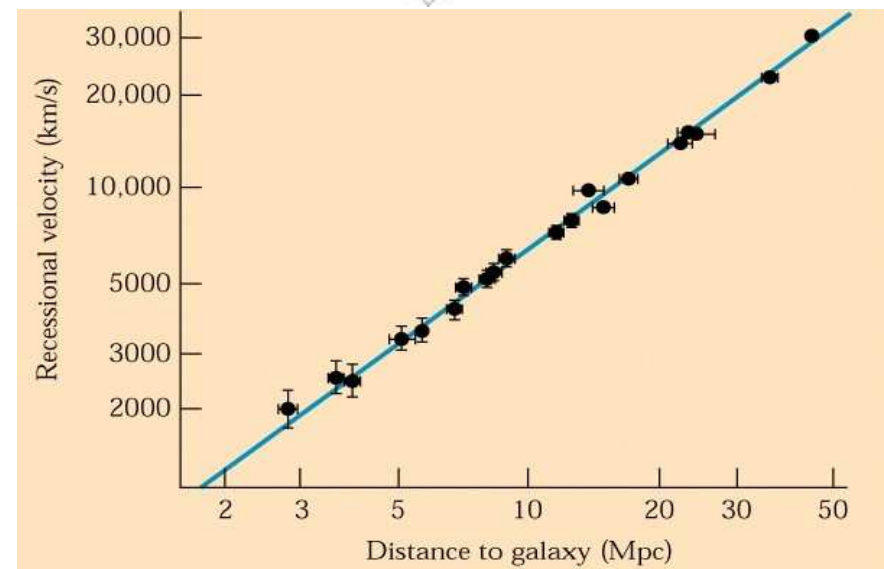
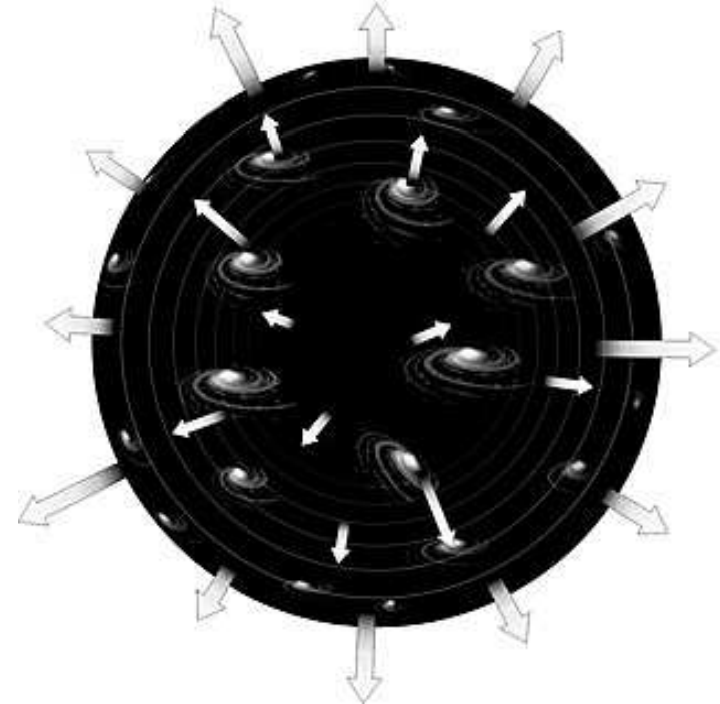
$$M = \frac{4}{3} \pi \rho_0 r^3$$

$$a = -\frac{GM}{r^2} = -\frac{4}{3} G \pi \rho_0 r$$

Proto, je-li vesmír
homogenní a izotropní v
určitém čase, zůstane
takový pořád.

$$v = H \cdot r = \frac{dR}{dt} \cdot \frac{1}{R}$$

Hubbleova „konstanta“



Mohl Newton přijít i na toto?

Homogenita a izotropie by se neporušily ani po doplnění dalšího členu do rovnice, totiž

$$a = (-4G\pi\rho_0 + \Lambda) \cdot \frac{r}{3}$$

Rovnice pro škálový faktor by byla

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4}{3} \frac{G\pi\rho_0}{R^2} + \frac{1}{3} \Lambda R$$

Kosmologický člen s **kosmologickou konstantou Λ**

„zápas tří“ o osud vesmíru:

setrvačnost – přitažlivost – kosmologický vliv

Proč tak pozdě?

Newtonovská kosmologie

E. A. Milne, W. A. McCrea 1934
(Principia 1687)

Nedostatek empirických
důvodů pro homogenitu
a izotropii

Problém s absolutním
prostorem a s inerciální
soustavou

Einsteinova kosmologie

Einsteinův statický vesmír 1917
(Einsteinovy rovnice 1915)

Odvážná hypotéza,
potvrzená empiricky
až později

Překonán díky „obecné
relativitě“

Co na tom mění obecná relativita?

Einsteinovy rovnice obecné teorie relativity

$$R_{ik} - (1/2)Rg_{ik} = \kappa T_{ik} + \Lambda g_{ik}$$

geometrie fyzika

R_{ik} , R závisí na **metrickém poli** g_{ik} (a na jeho derivacích),
 T_{ik} je **tenzor energie-hybnosti**

$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2(t) d\Sigma^2$ je tzv. FLWR metrika.

Pro škálový faktor dává obecná relativita stejný zákon jako newtonovská fyzika, pokud je tlak ve vesmíru zanedbatelný (vesmír je vyplněn „prachem“)

Kosmologická rovnice 1.řádu

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 - \frac{C}{R} - \frac{1}{3}\Lambda R^2 + k = 0, \quad C = \frac{8}{3}\pi G\rho_0 \geq 0$$

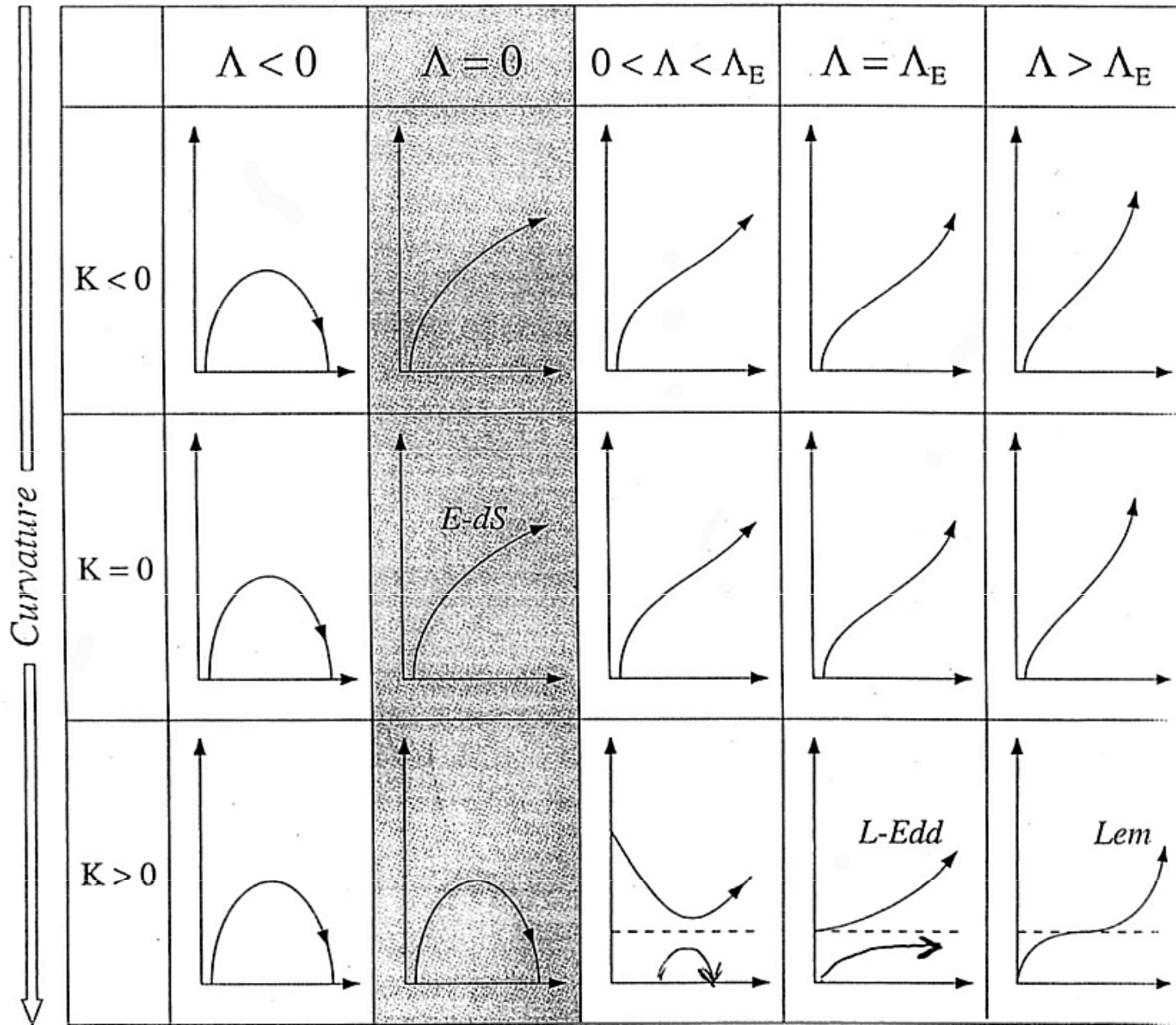
čili

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 + f(R) = 0, \text{ kde } f(R) = -\frac{C}{R} - \frac{1}{3}\Lambda R^2 + k$$

Odtud zderivováním podle času a úpravou dostáváme již uvedenou pohybovou rovnici

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{C}{2R^2} + \frac{1}{3}\Lambda R = 0,$$

Cosmological Constant \longrightarrow



Curvature \longleftarrow

Otázky a vyhlídky kosmologie

- Původ temné hmoty (pomohou nám experimenty v CERNU?)
- Topologie vesmíru (souvislost s anizotropií reliktního záření)
- Velký třesk, proměnnost „konstant“ a původ šipky času

