

---

# Kosmologické kapitoly

FY2BP\_KOS2 Vybrané kapitoly z kosmologie  
FY2BP\_KOSM Kosmologie

podzim 2016

---



# Motivace

Nový kurz koncipovaný zejména pro učitelská studia, modernizace obsahu přednášky i formy

Studijní opory: skripta, vidozáznamy, přednášky hostů, aktivizace

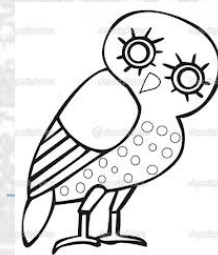
Průzkum: jaké předpoklady studenti potřebují pro kosmologii , jaké miskoncepce se objevují u veřejnosti v kosmologických tématech





# Ukázky z otevřených otázek dotazníku

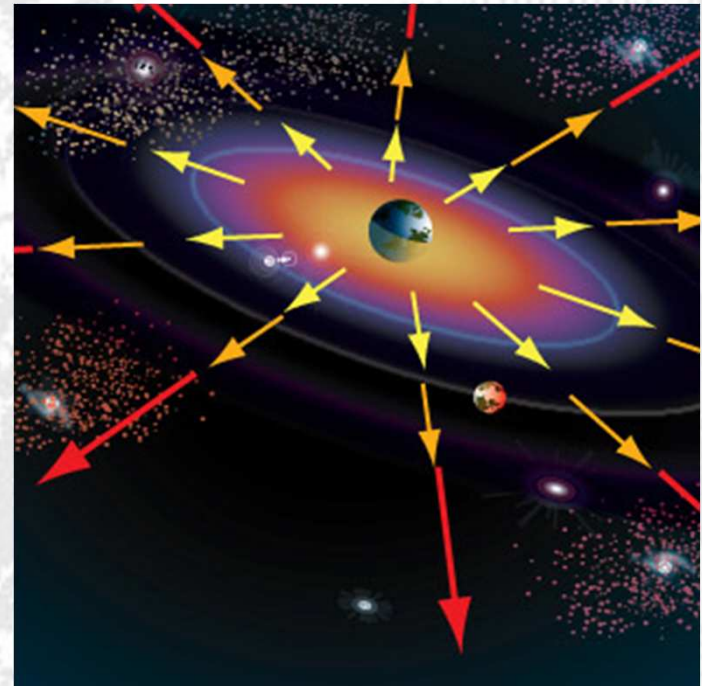
- ▶ Kdy a jakým způsobem byla poprvé změřena vzdálenost nejbližších hvězd?
- ▶ Jakým způsobem získáváme poznatky o vesmíru?
- ▶ Jaké jevy nám umožňují zjistit, že i mimo Sluneční soustavu existují planety?
- ▶ Je vzdálenost, do níž ve vesmíru „dohlédneme“, nějak principiálně omezena nebo se může se zlepšováním techniky stále zvětšovat?
- ▶ Je možné, že některé objekty, které zaznamenáváme již neexistují?
- ▶ Obsahuje vesmír prvky, které se na Zemi nevyskytují?
- ▶ Který prvek je ve vesmíru nejhojnější?
- ▶ Uvádí se, že vesmír je ve velkém měřítku homogenní a izotropní. Odkud to víme? Je mezi homogenitou a izotropií nějaká souvislost?
- ▶ Věříte v existenci mimozemských civilizací? Jaké argumenty máte pro svůj názor?
- ▶ ...



# Osnova kurzu

---

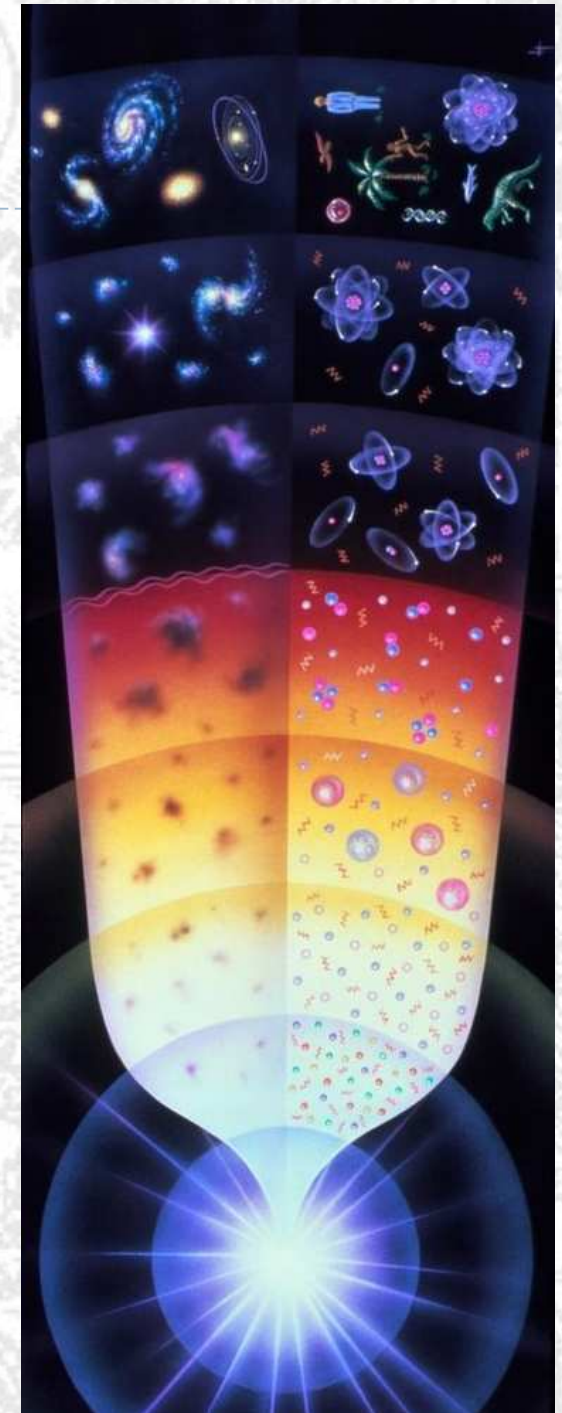
- ▶ Kosmologické hypotézy
  - ▶ Fyzikální kosmologie
  - ▶ Reliktní záření
  - ▶ Teorie popisující hmotu a interakce
  - ▶ Newton nebo Einstein?
  - ▶ Střed nebo homogenita
  - ▶ Plochost nebo zakřivenost
  - ▶ Zrychlování nebo stacionarita
  - ▶ Jak daleko dohlédneme?
  - ▶ Pozorování v kosmologii
  - ▶ Antropický princip
- 





# Aktivity ke kurzu

1. Práce s časovými osami a měřítky
2. Přiřazování – odhady velikostí, vzdáleností a stáří
3. Riskuj - opakování a zavedení pojmů a definic
4. Vesmírná archeologie – fotonový dopravník
5. Střed nebo homogenita
6. Galerie převleků světla
7. Posun spektra – fólie, práce se spektry
8. Reliktní záření – omalovánka
9. Sestav si svůj Vesmír
10. Jak se galaxie vzájemně pohybují
11. Škálový faktor – expanzní funkce
12. Drakeova rce



# Kosmologie - věda o vesmíru jako celku

Základní kosmologické otázky:

- jaká je struktura kosmu
- jak vznikl, jak se vyvíjí a jaká bude jeho budoucnost)
- z čeho je složen

Vývoj kosmolog.představ: cesta od fantazií a spekulací k ověřeným poznatkům, zformulování Einsteinovy teorie gravitace a propojení s fyzikou učinilo z kosmologie vědu - zvláštní povaha ověřování (jeden vesmír a známe jen jeho malou část).

Dnes máme k dispozici relevantní experimenty.

Východisko kosmologie

vesmír je popsitelný na úrovni základních fyzikálních zákonů (?)

platnost zákonů se ověřuje signály z vesmíru a v pozemských laboratořích (?)

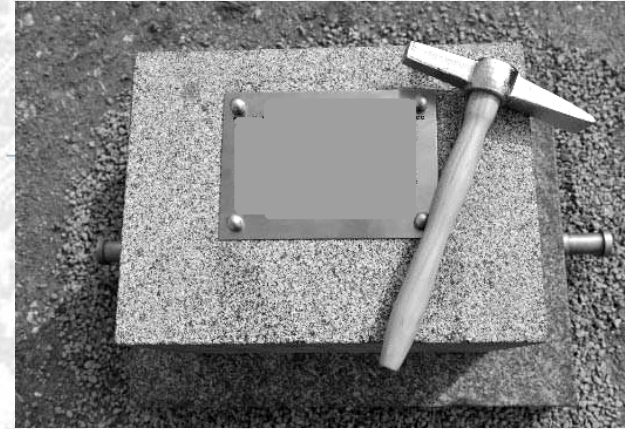
Metody kosmologie

tvorba matematických modelů vesmíru, předpovědi a srovnání s pozorováním

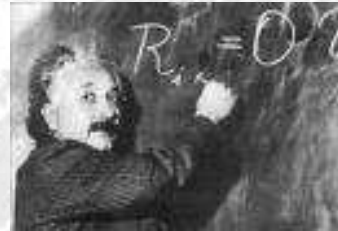


# Otcové zakladatelé

---



- ▶ Albert Einstein
- ▶ Alexandr Friedman
- ▶ Georges Lemaitre
- ▶ Edwin Hubble
- ▶ Georg Gamow
- ▶ Robert Dicke



Nobelovu cenu za práce v kosmologii nedostali

---

# Kosmologie – jak jednoduché

Rovnice pro vývoj homogenního a izotropního vesmíru –  $R$  je škálový faktor

$$r = R(t)r_0$$

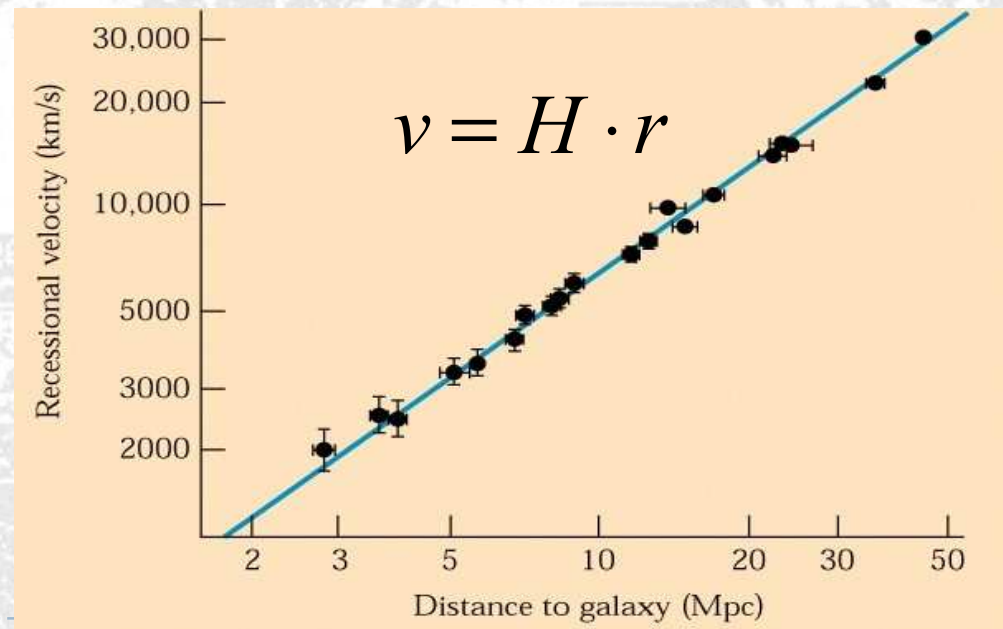
$$d^2R/dt^2 = -(4/3)G\pi\rho_0/R^2 + \Lambda R/3;$$

$$H = (dR/dt)/R = v/r$$

„Zápas tří“ o osud vesmíru:  
setrvačnost – přitažlivost – kosmologický vliv



Hubblův zákon  
závislost posuvu na vzdálenosti





# KOSMOLOGIE

„nobelovská“ disciplína teprve od roku 1978

---



\* 1978 Arno A. Penzias,  
Robert W. Wilson  
za objev kosmického mikrovlnného reliktního záření

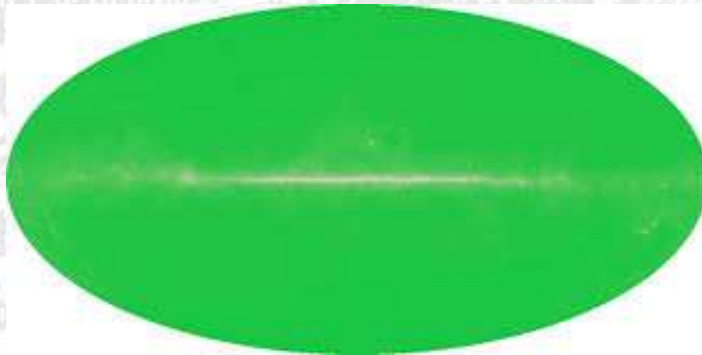
\* \* 2006 John C. Mather,  
George F. Smoot  
za objev jeho černotělesové povahy a anizotropie

\* \* \* 2011 Saul Perlmutter  
Brian P. Schmidt, Adam G. Riess  
za objev zrychleného rozpínání vesmíru odhalený  
pozorováním vzdálených supernov

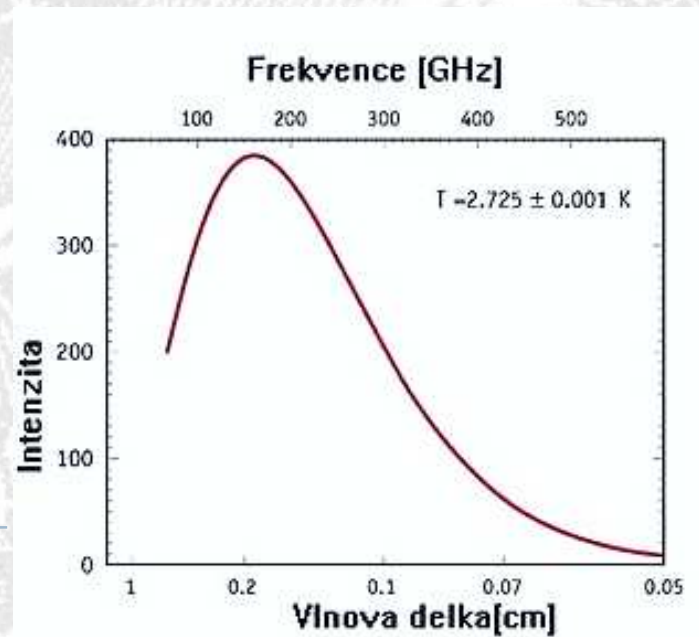
---

# Reliktní záření klíč k minulosti vesmíru

\* Penzias, Wilson



\* \* Mather, Smooth



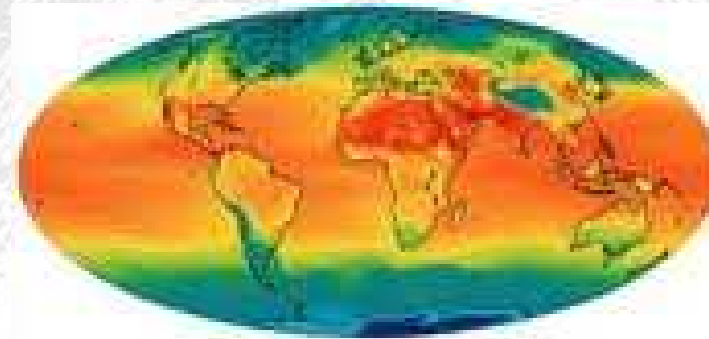
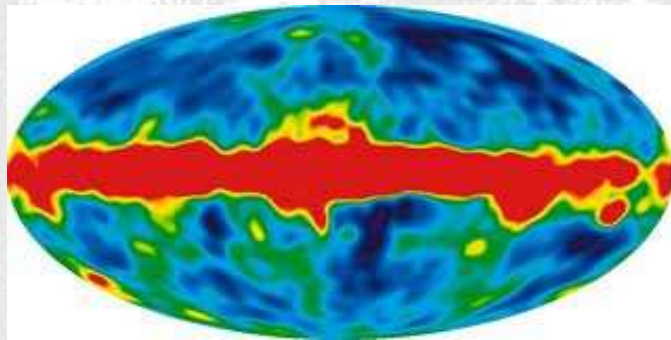
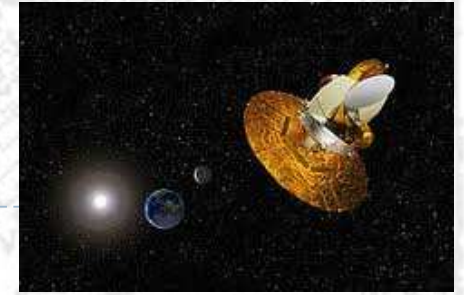


# Nastupující satelity

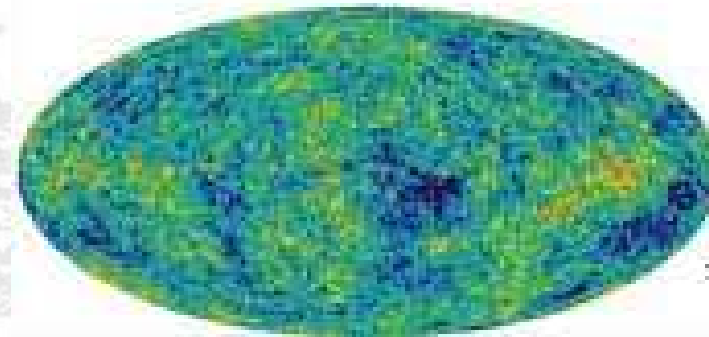
COBE (Cosmic Background Explorer) 1989

WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropic Probe) 2001

Planck (ESA) 2009



Earth  
Temperatures



Microwave Sky  
Temperatures



# Zpřesňování

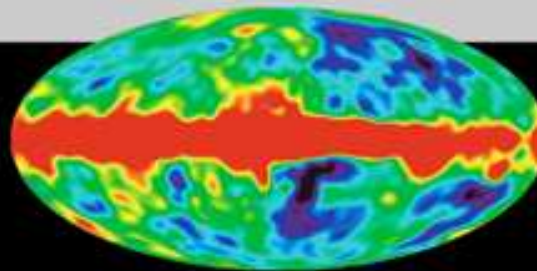
1965



Penzias a Wilson

objev šumu z konce  
Velkého třesku

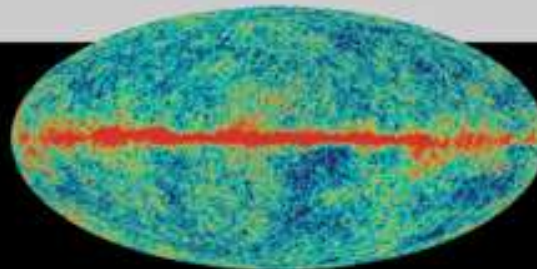
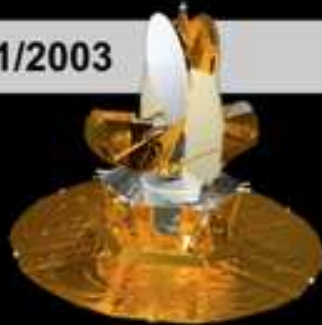
1989/1992



COBE

jde o záření černého tělesa  $T = 2,73 \text{ K}$   
objev fluktuací (anizotropie)  
 $\Delta T = 30 \mu\text{K}$ ,  $\Delta \varphi = 7^\circ$

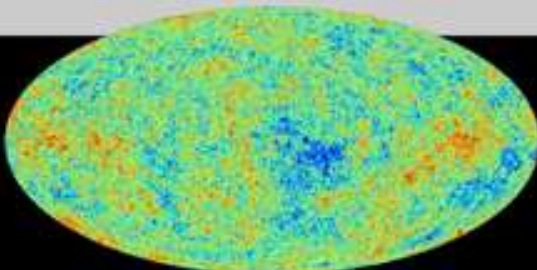
2001/2003



WMAP

stanovení základních  
parametrů Vesmíru  
 $\Delta T = 20 \mu\text{K}$ ,  $\Delta \varphi = 15'$

2009/2011



Planck

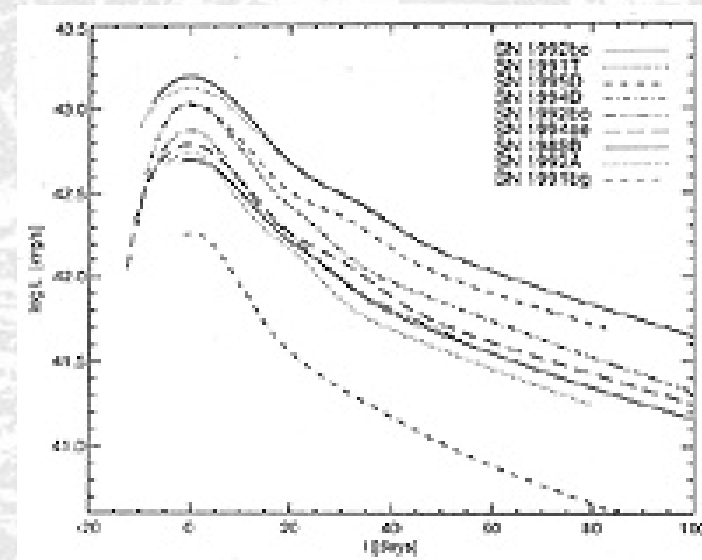
$\Delta T = 2 \mu\text{K}$ ,  $\Delta \varphi = 5'$



# Standardní svíčky – supernovy Ia

\* \* \*

Riess, Perlmutter, Schmidt  
Překvapení začátku tisíciletí:  
Vesmír se rozpíná zrychleně





# Co znamená „zrychlené rozpínání“?

---

Voda ve vodopádu padá zrychleně, ale vodopád vypadá stále stejně. Takovému stavu se přibližuje vesmír, pokud je kosmologický člen tím, co předpověděl Einstein – fakticky tedy objevem energie a napětí vakua.

Ale třeba je to jinak?

Big bang, big crunch, big rip

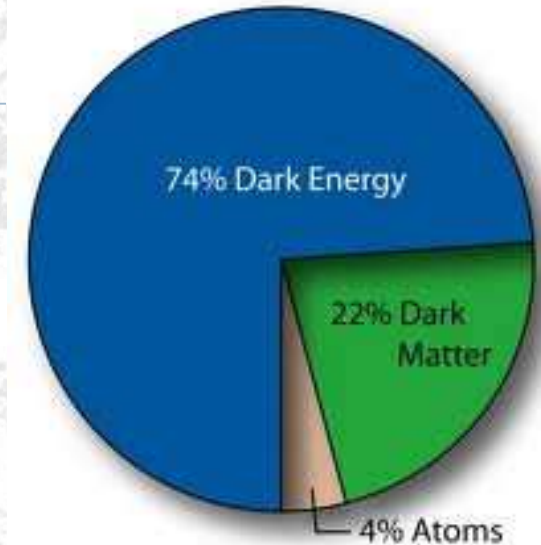
---



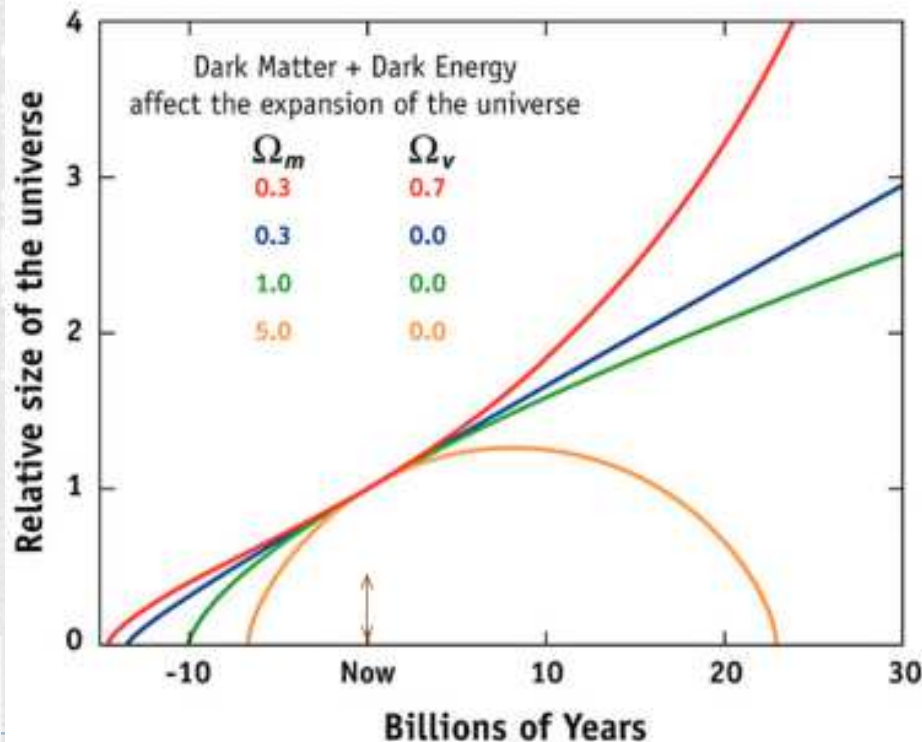


# Dva vrcholy současné fyziky

- ▶ Standardní model elementárních částic
- ▶ Standardní kosmologický model (Lambda CDM model)



## EXPANSION OF THE UNIVERSE



Vesmír je podle současných dat blízky k meznímu, jeho stáří je  $(13,7 \pm 0,2)$  miliard let.

Rozpíná se dnes **zrychleně**

Pro Lambda-CDM model je škálový faktor

$$R = \sinh^{2/3} [(3\Lambda)^{1/2} t/2]$$

# Fakta

---

- # 0: Vesmír je nepředstavitelně velký a starý.
  - # 1: Informace získáváme světlem, světlo se šíří konečnou rychlostí. Reverzní pohled - nevidíme objekty tam, kde jsou teď. .
  - # 2: Vesmír se rozpíná, kdysi zpomaleně, dnes zrychleně.
  - # 3: Čím jsou galaxie vzdálenější od Země, tím rychleji se od ní vzdalují. Hubbleův zákon. Nově určená hodnota Hubbleovy konstanty činí  $67,15 \pm 1,2$  km/s/Mpc
  - # 4: Existuje reliktní záření.
  - # 5: Vesmír je tvořen časoprostorem, hmotou, energií, jeho stáří se odhaduje na 13,82 miliardy let.
-



# Novější literatura v češtině

---

- ▶ A.Einstein: Smysl relativity, Vyšehrad, 2016
  - ▶ Pedro G. Ferreira: Nádherná teorie -Sto let obecné teorie relativity,2015
  - ▶ John. D. Barrow: Kniha vesmírů, Paseka 2013
  - ▶ Lawrence M. Krauss: Vesmír z ničeho, Knižní klub 2013
  - ▶ Stephen Hawking: Stručná historie mého života, Argo a Dokořán 2014
  - ▶ Paul J. Steinhardt, Neil Turok: Bez počátku a konce, Paseka 2009
  - ▶ Brian Clegg: Před velkým třeskem, Argo a Dokořán, Paseka 2011
  - ▶ Peter Zamarovský: Proč je v noci tma? Aga 2011
  - ▶ Alex Vilenkin: Mnoho světů v jednom: Paseka 2009
-