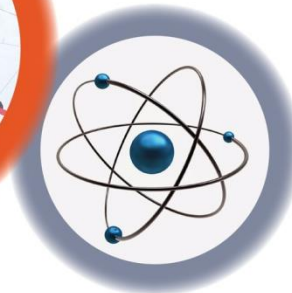
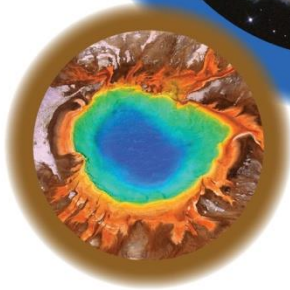
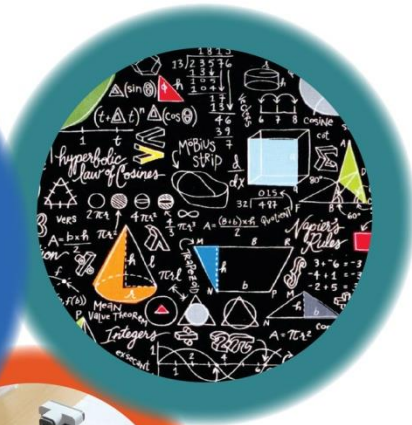
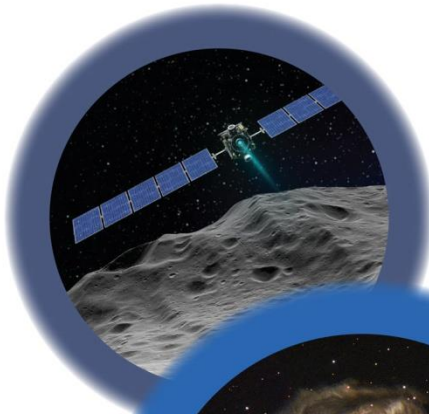


Kosmologie



Kosmologie

Petr Kulhánek
FEL ČVUT, FJFI ČVUT
Univerzita Palackého

Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy,
Aldebaran Group for Astrophysics

kulhanek@aldebaran.cz
<http://www.aldebaran.cz>



Kosmologie

Kosmologií chápeme souhrn vědeckých poznatků, které vedou k pochopení vesmíru jako celku, zejména s ohledem na jeho původ a budoucnost.

Kosmologie se z dřívějších filosofických úvah v průběhu 20. století přeměnila v exaktní vědeckou disciplínu, která má dnes široké experimentální zázemí



Jedinou dnes obecně přijímanou kosmologickou teorií vzniku vesmíru je hypotéza nazývaná

„Big Bang“ – „Velký třesk“

2 teorie

16 částic

4 interakce (možná 3)

(zrychlené) rozpínání vesmíru

reliktní záření



Je vesmír konečný?

Kde je střed expanze?

Má vesmír hranici?

Jaký má vesmír tvar?

Jaká je minulost a budoucnost vesmíru?

Jsou i jiné vesmíry?

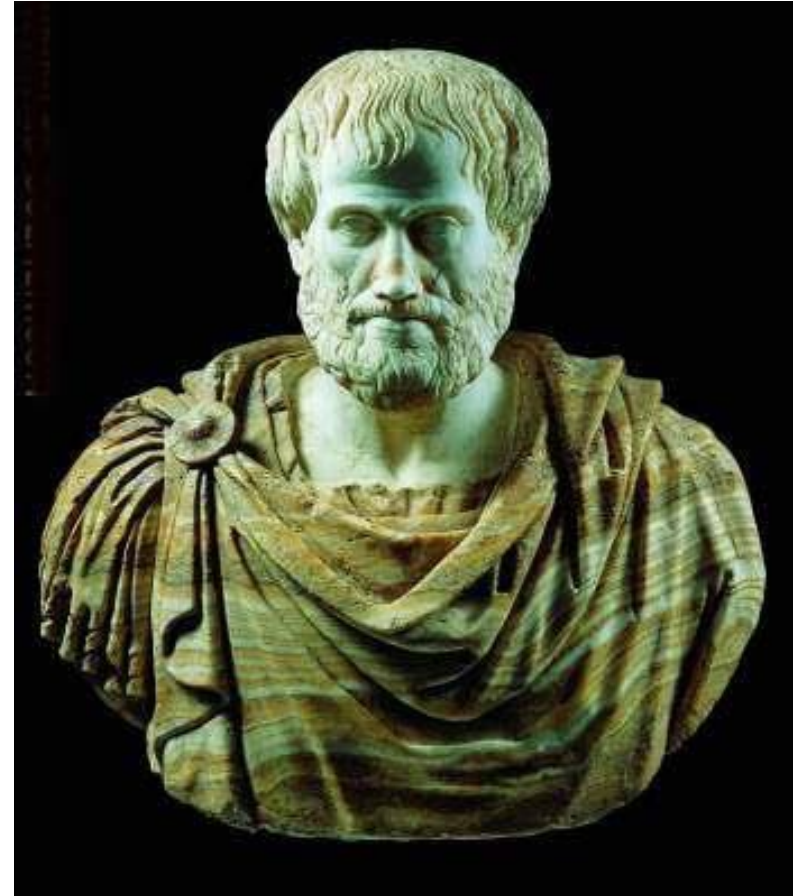
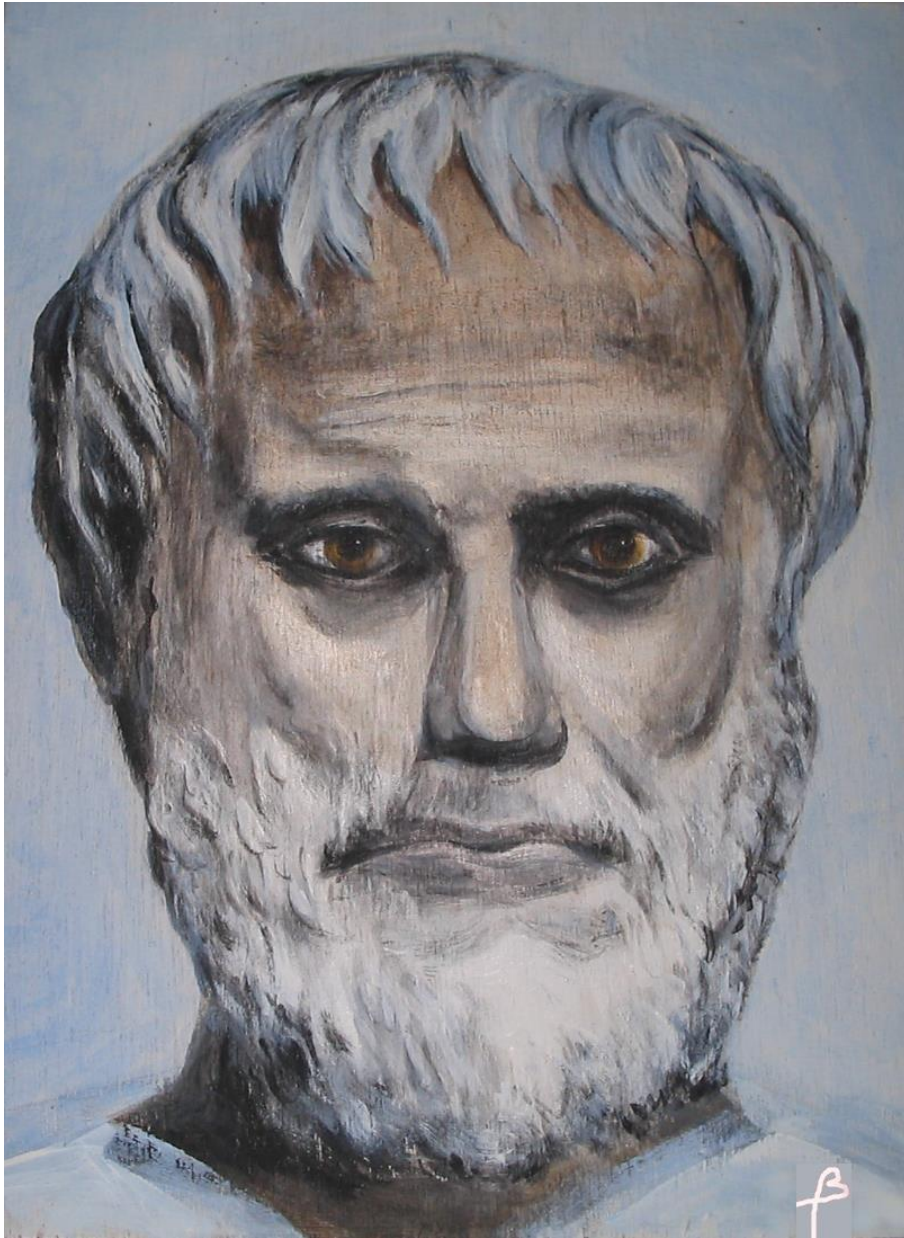


Proč je v noci tma?



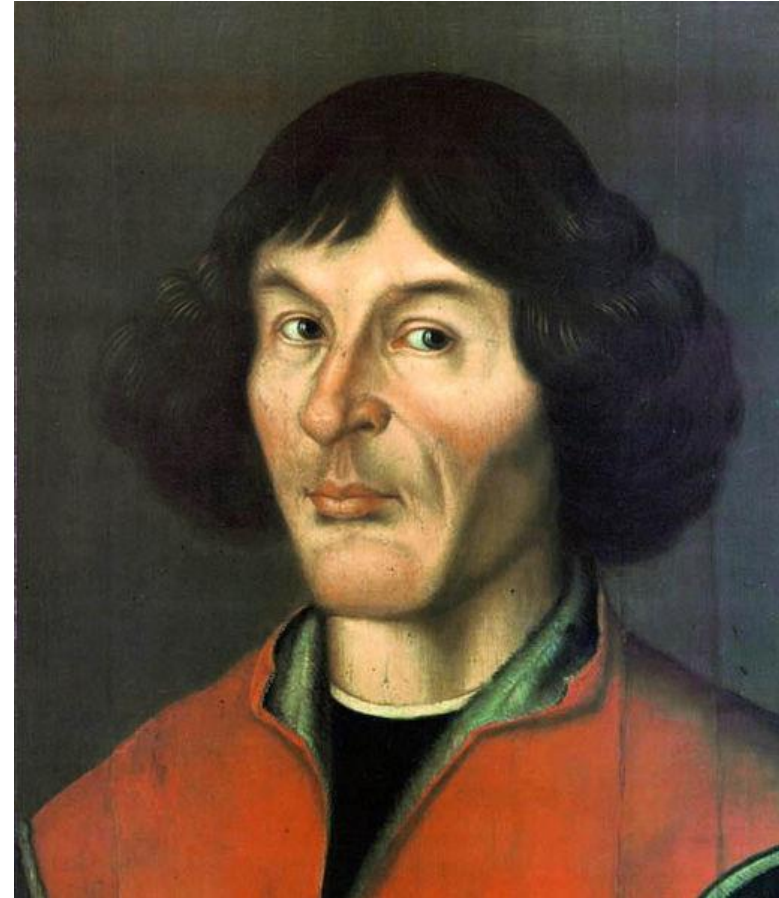


Aristoteles, 384–322 př. n. l.



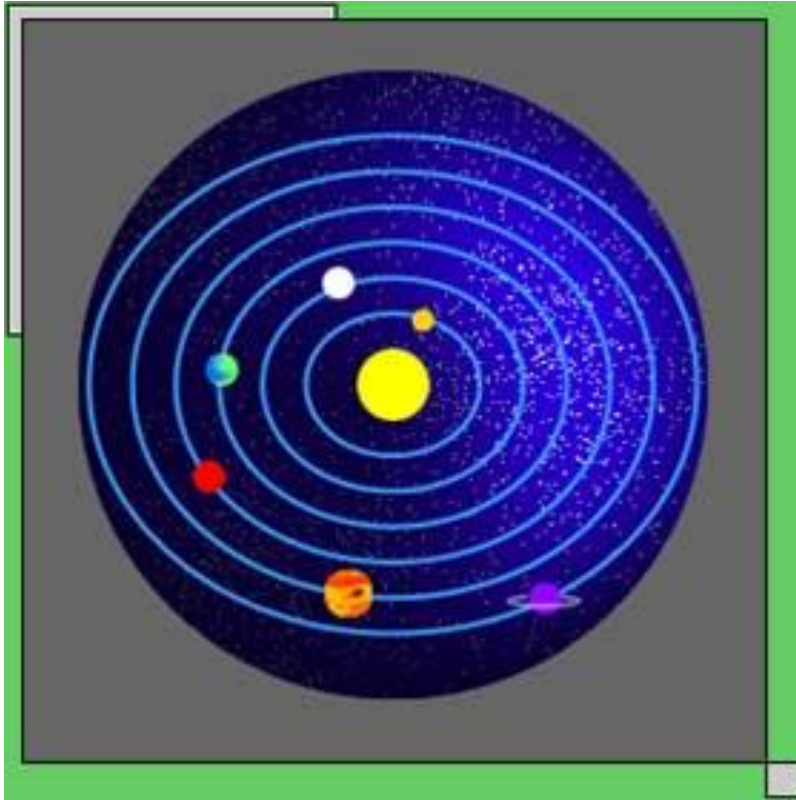
- geocentrický model
- Země je kulatá
- kolem Země jsou nebeské sféry
- pátý element – kvintesence, éter

Mikuláš Koperník (1473–1543)



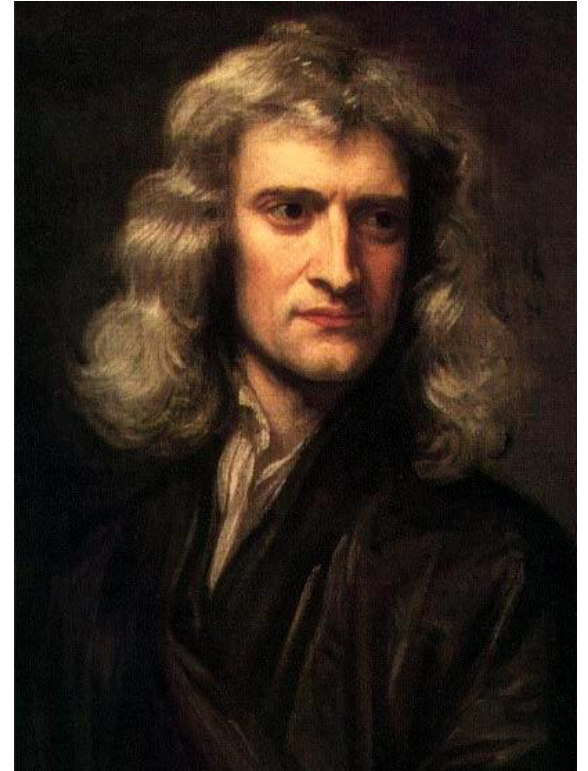
- heliocentrický systém
- De revolutionibus orbium coelestium

Johannes Kepler (1571–1630)



- Keplerovy zákony
- základem Tychonova pozorování
- předzvěst Newtonových zákonů

Isaac Newton (1643–1727)



- gravitační zákon
- nestabilní vesmír
- diferenciální počet (nástroj pro výpočet pohybu)
- Síla? Co to je síla?

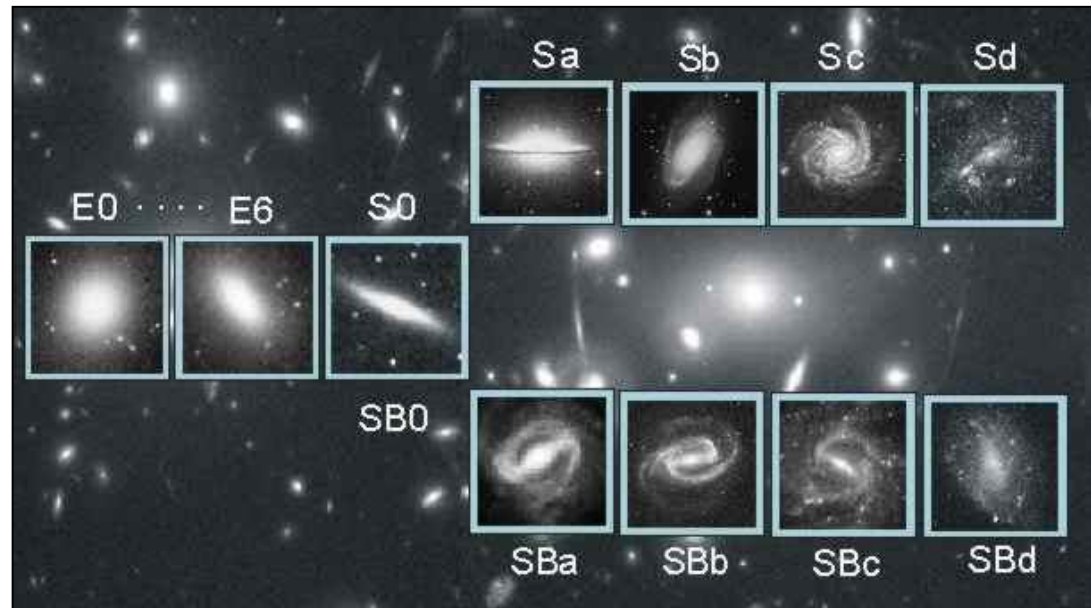
Edwin Hubble (1889–1953)

Edwin Hubble, Mt. Wilson, Kalifornie, USA (2,5 m)

1924: rozlišil hvězdy v Andromedě → jsou i jiné galaxie!



Edwin Hubble (1889–1953)

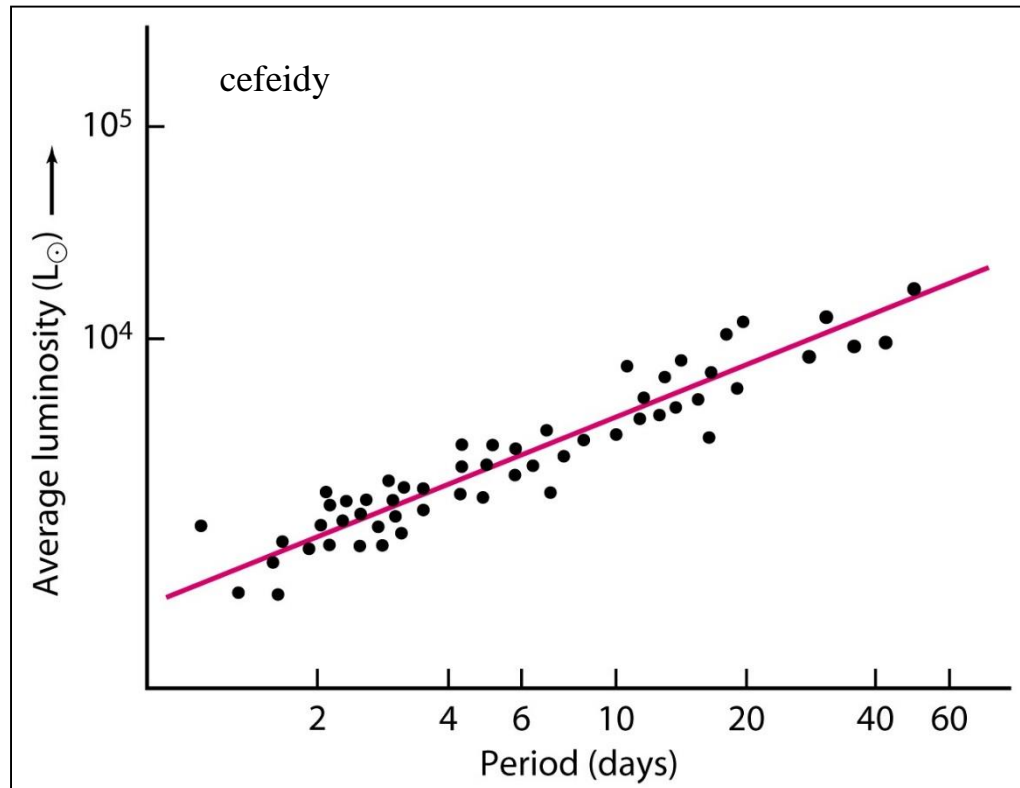


Edwin Hubble (1889–1953)

Edwin Hubble, Mt. Wilson, Kalifornie, USA (2,5 m)

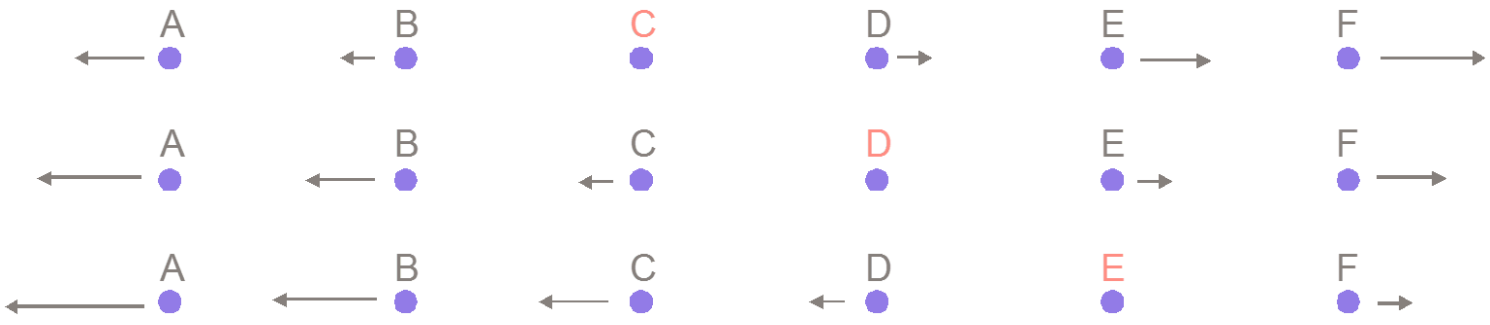
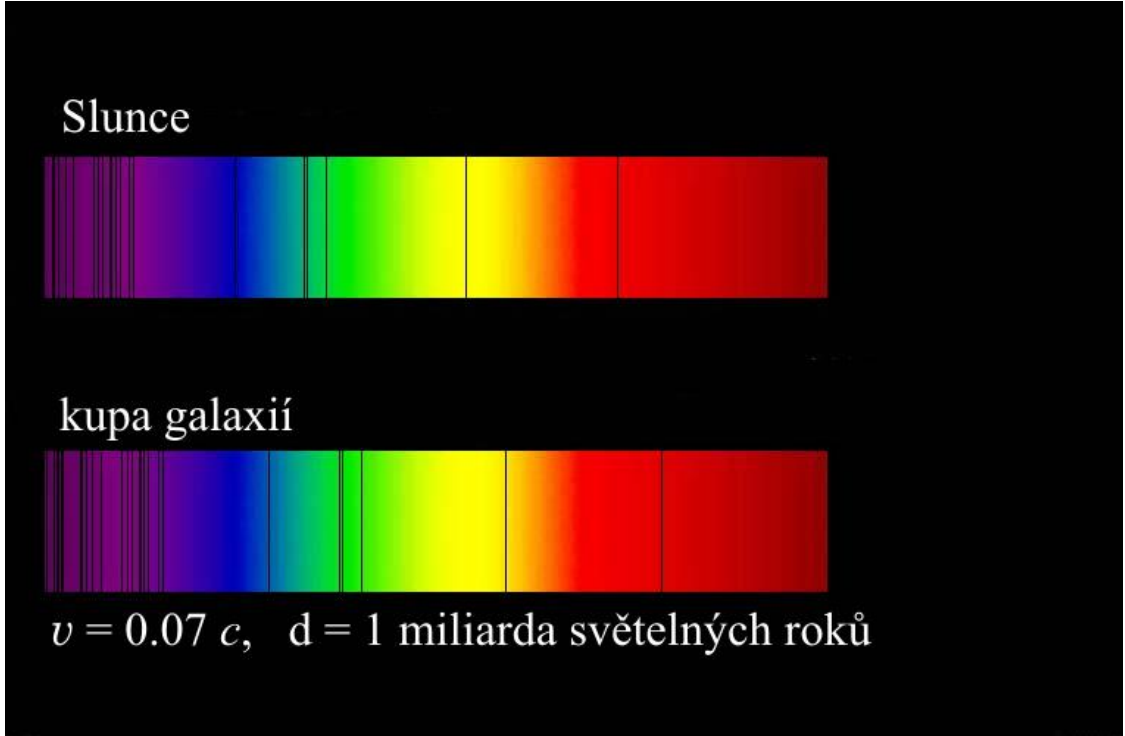
1929: červený posuv galaxií, $v = H \cdot R$

- objev rozpínání vesmíru
- poprvé připouštíme vývoj vesmíru
- měl by mít začátek, dříve byl jiný, asi horký a hustý



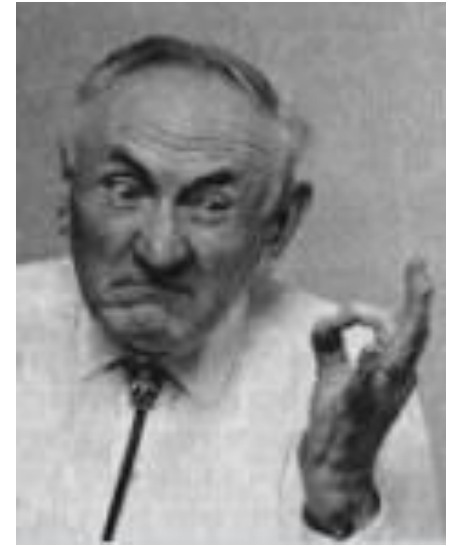
1929 – červený posuv galaxií je úměrný vzdálenosti

$$v = H d$$
$$H = 73 \text{ km/s/Mpc}$$

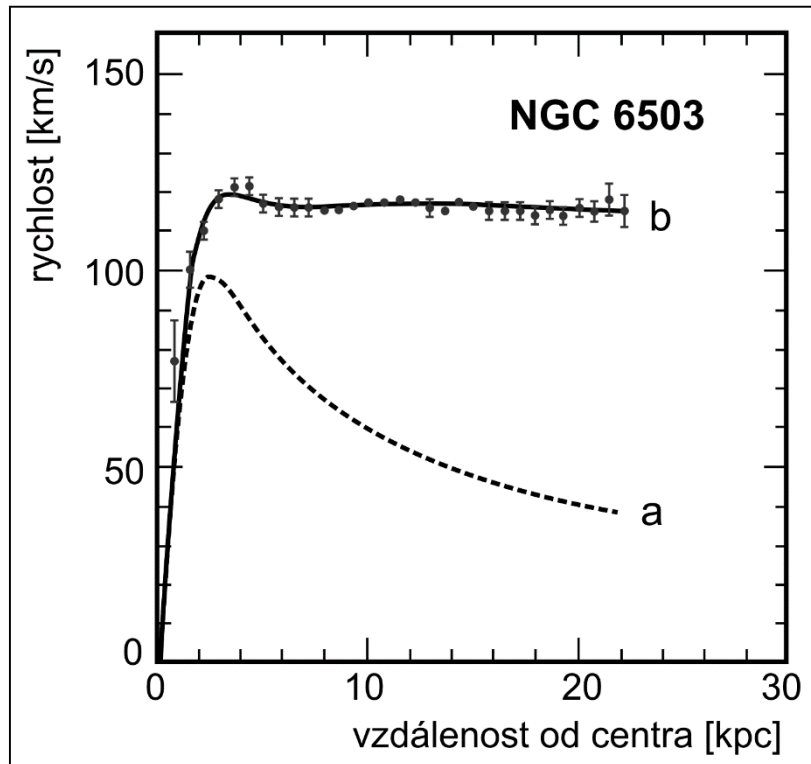


Temná hmota

- 1934, F. Zwickey - nesoulad rotačních křivek kup galaxií kupa Vlasy Bereniky)
- nejpresnější měření na vlně 21 cm
- 50% hmoty galaxií, 23% hmoty vesmíru



Fritz Zwickey (1898-1974)



Reliktní záření



1948

Ralph Alpher

Hans Bethe

George Gamow

Robert Herman

horký model vzniku světa

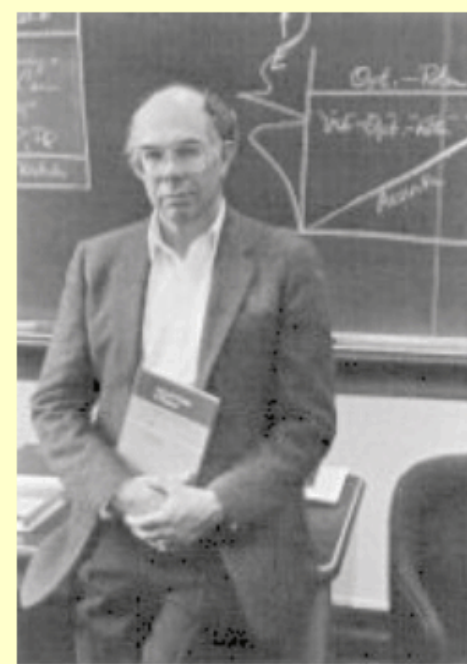
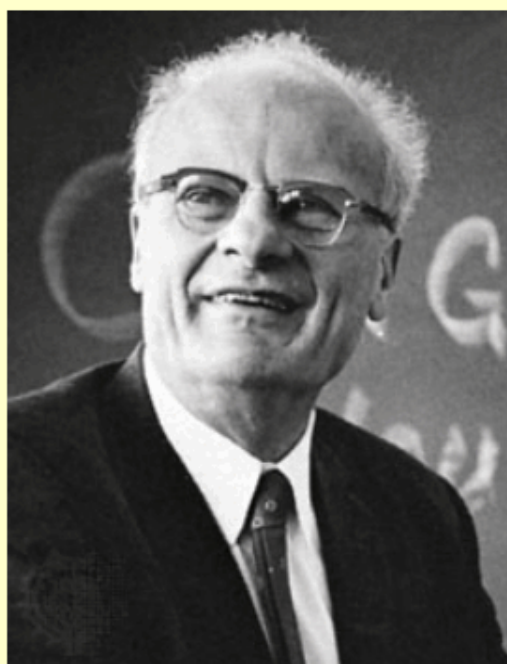
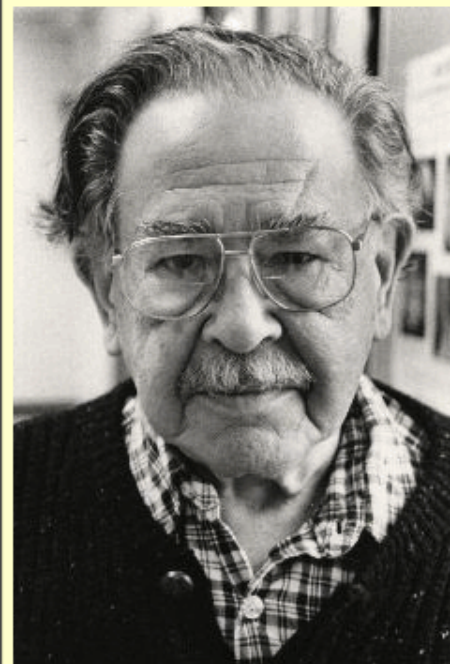
první model tvorby lehkých prvků

podpora Lemaitrova modelu Velkého třesku

$\alpha\beta\gamma$

předpověď' reliktního záření (odhad 6 K, Alpher, Herman)

TJ syntéza ve hvězdách, CNO cyklus (Bethe)

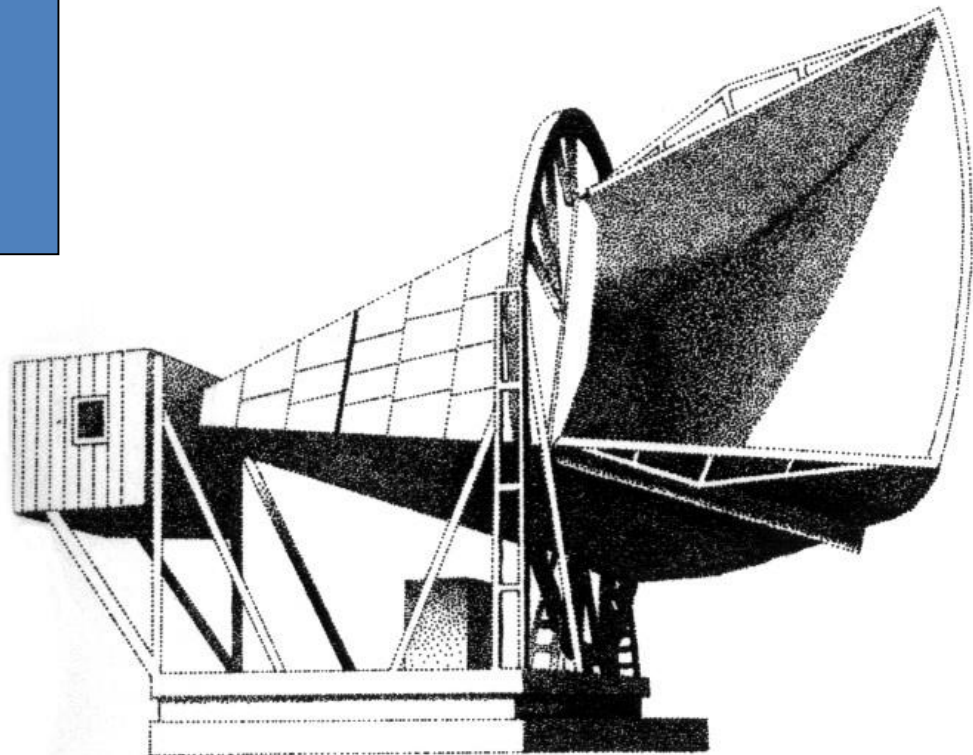
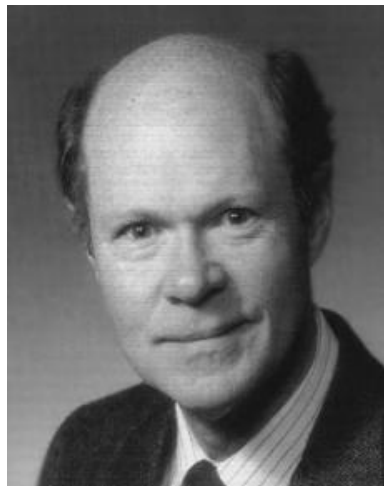


1965

1960: A.B. Crawford navrhl anténu
pro sledování Echa
1963: ukončení sledování Echa
1965: radiové mapování mléčné dráhy
1965: Astrophysical Journal - dvojčlánek

umístění: Murray Hill, New Jersey
vlastník: Bell Telephone Laboratories
sběrná plocha: 25 m^2
citlivost dopředu/zpět: 3000:1
 $\lambda = 7,3 \text{ cm}$

Arno Penzias,
Robert Wilson, 1965



COBE (1989)

COBE

1989 vypuštění družice

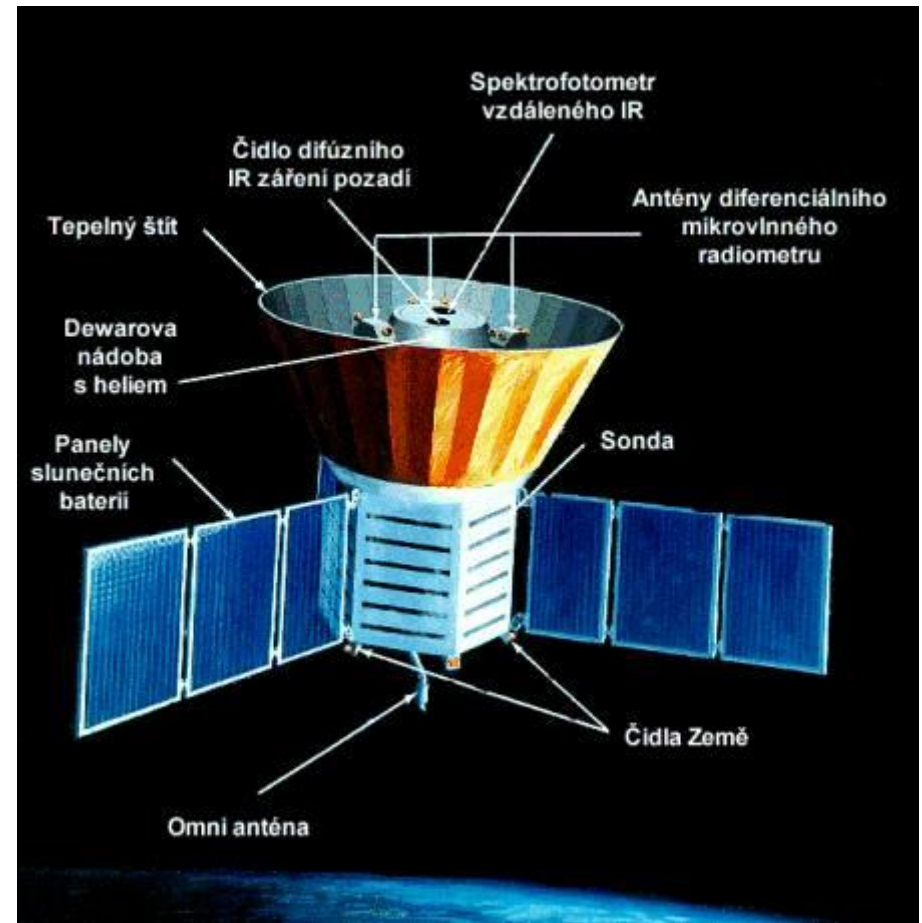
1992 objev fluktuací CMB

$$T = 2.73 \text{ K}$$

$$\delta T/T = 1/100\,000$$

teplotní rozlišení: $2 \mu\text{K}$

úhlové rozlišení 7°

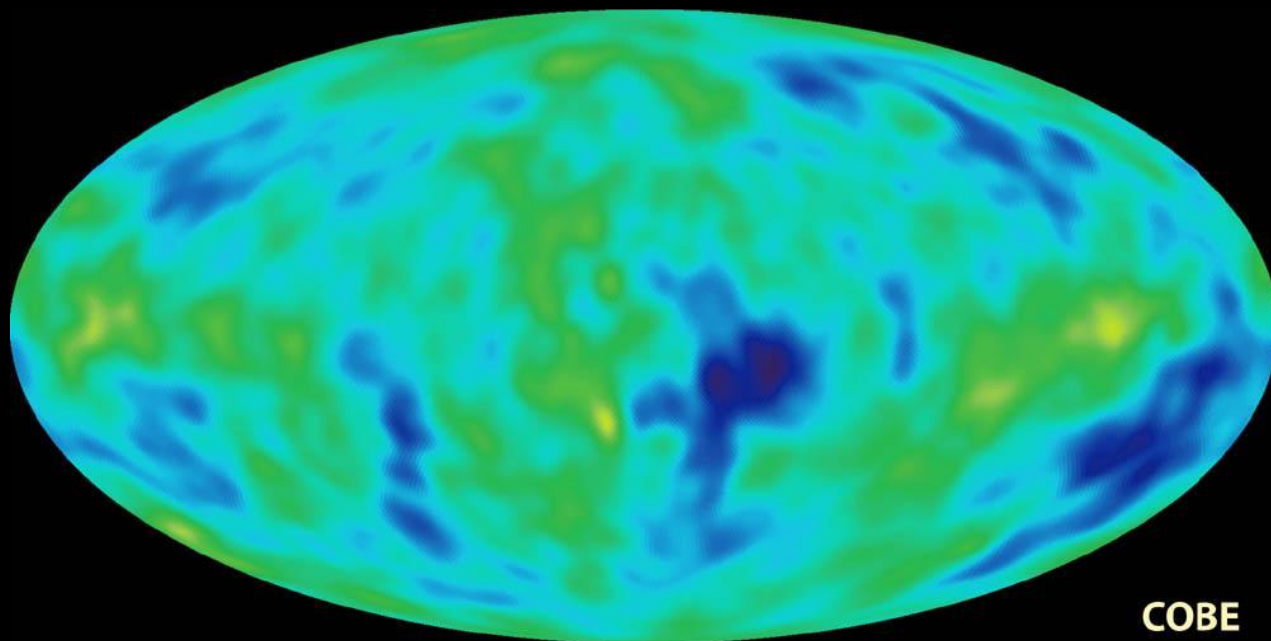


COBE 1992 (rozlišení 7°)

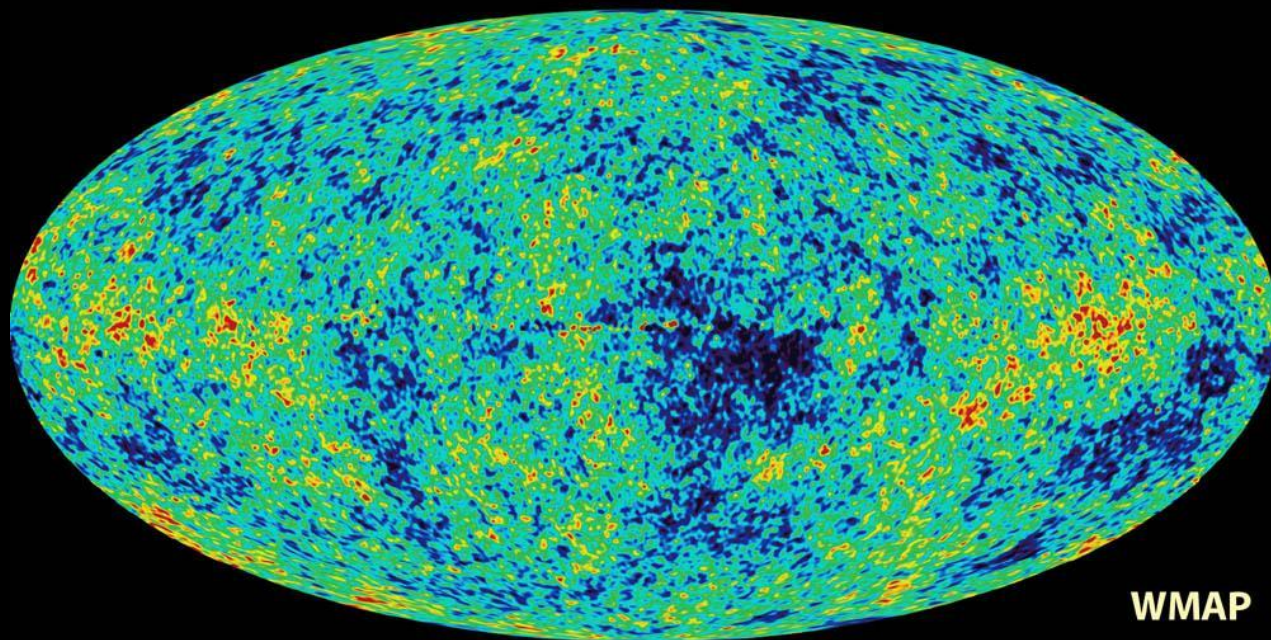
BOOMERanG 1998 (rozlišení $1/6^\circ$)

WMAP 2001 ($0,3^\circ$)

Planck 2009 ($0,17^\circ$)



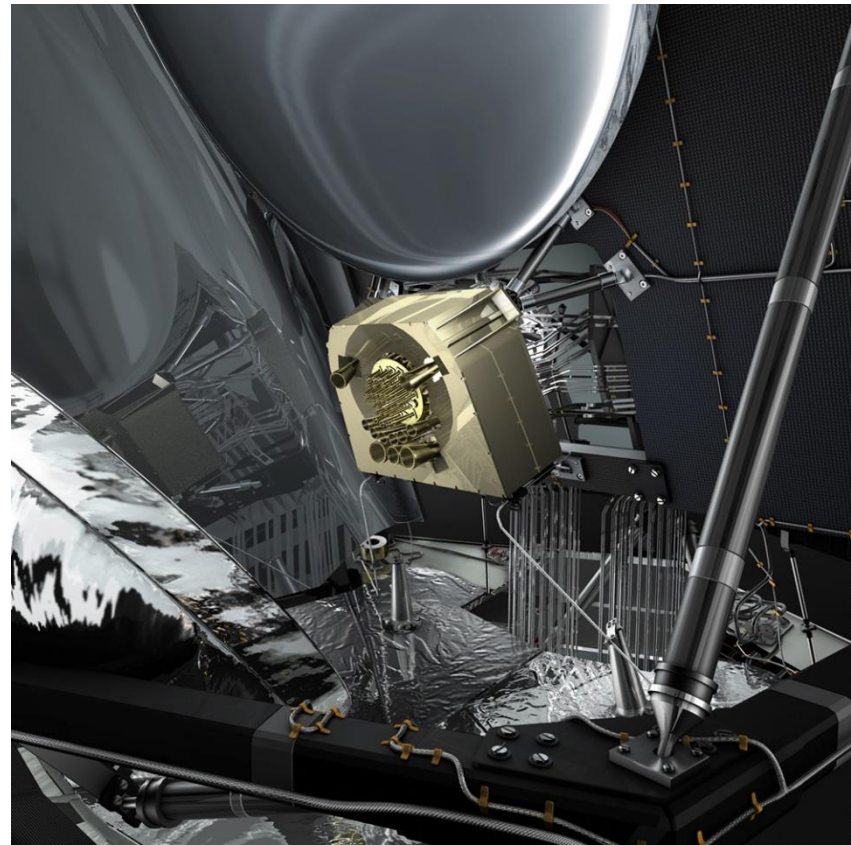
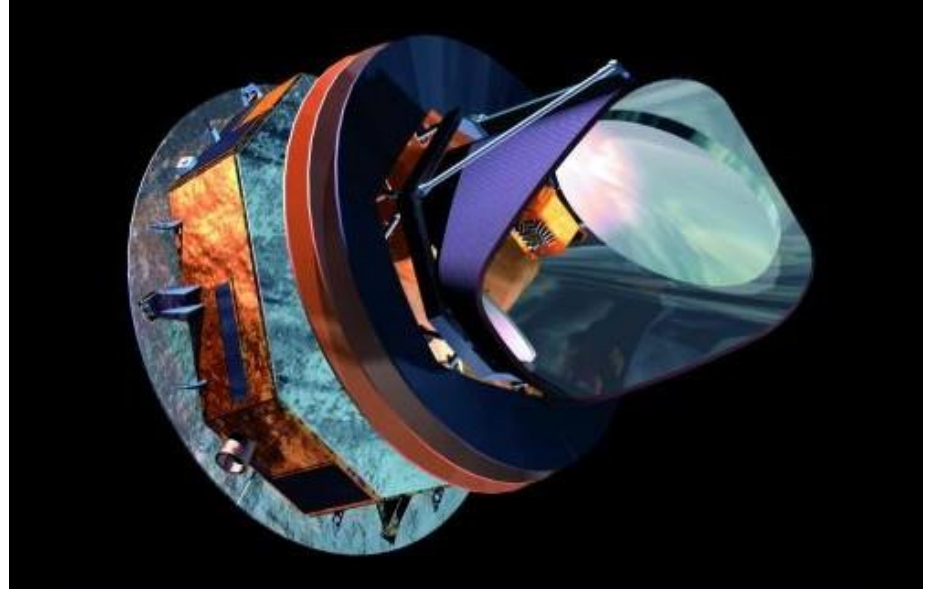
COBE



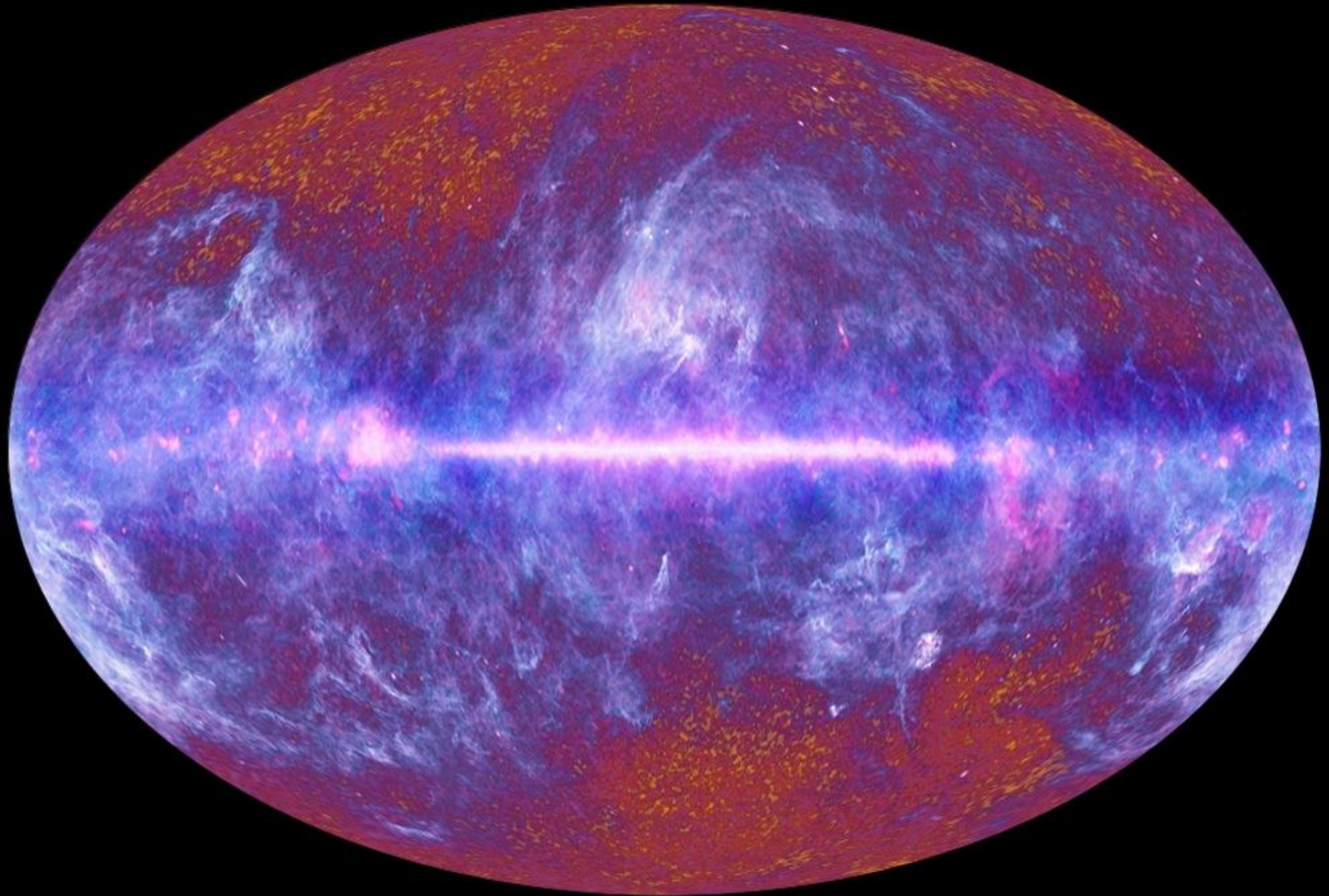
WMAP

Planck

- zrcadlo: $1,9 \times 1,5$ m
 - hmotnost zrcadla 28 kg!!!
 - sonda: $4,2 \times 4,2$ m
 - hmotnost: 1800 kg
 - plánované úhlové rozlišení: $0,17^\circ$
 - obor: mikrovlny až submilimetry
 - tepelné rozlišení: $2 \mu\text{K}$
 - životnost: 15 měsíců
 - teplota: $-273,05^\circ\text{C}$
 - cena: 700 milionů €
-
- 1 pasivní chladič (vyzařováním)
 - 3 aktivní chladiče:
 - 20 K Jet Propulsion Laboratory, USA
 - 4 K Rutherford Appleton Laboratory, UK
 - 0,1 K Institut Néel, Grenoble

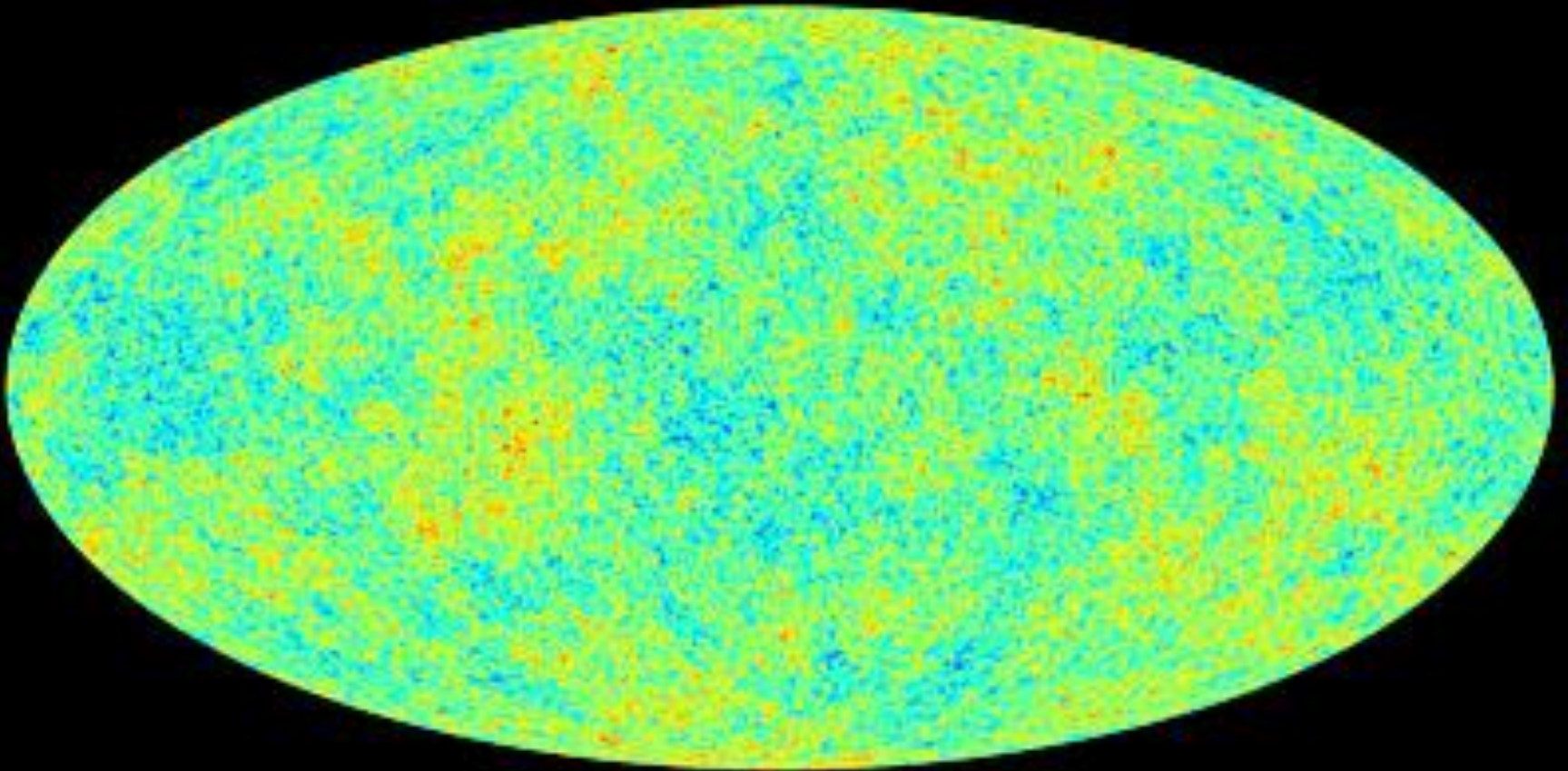


Po roce (červenec 2010)



Planck

- teplotní fluktuace reliktního záření
- polarizace reliktního záření
- stavová rovnice temné energie
- výzkum velkorozměrových struktur ve vesmíru
- rozložení temné hmoty



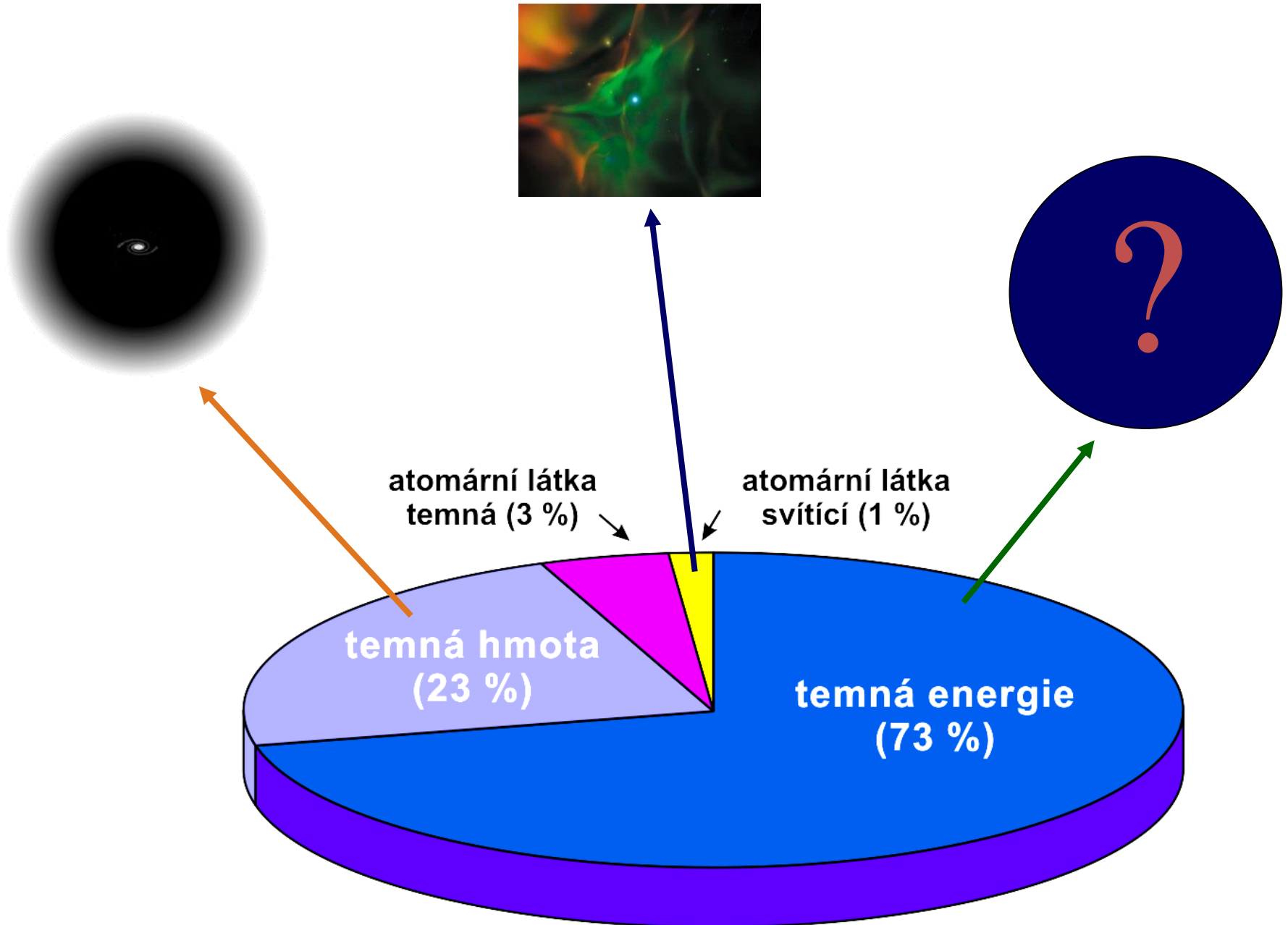
Základní parametry - WMAP 11.2.2003

Hubbleova konstanta	$(71 \pm 4) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
stáří vesmíru	$(13,7 \pm 0,2)$ miliard let
doba oddělení reliktního záření od hmoty	~ 380 000 let
vznik prvních hvězd	~ 400 000 000 let
křivost vesmíru	Plochý
celková topologie vesmíru	zatím neurčena
kosmologická konstanta	$0.73 \pm 0,04$

Složení vesmíru - WMAP 11.2.2003

vakuová energie (skrytá, temná energie)	$(73 \pm 4) \%$
skrytá hmota (nebaryonová, temná hmota)	$(23 \pm 2) \%$
baryonová hmota (atomární, svítící hmota)	$(4 \pm 0,2) \%$

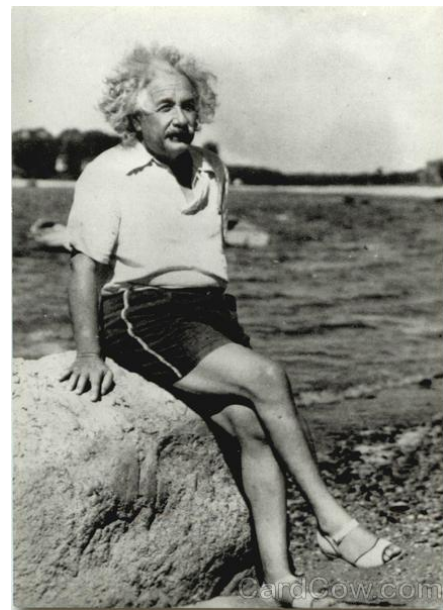
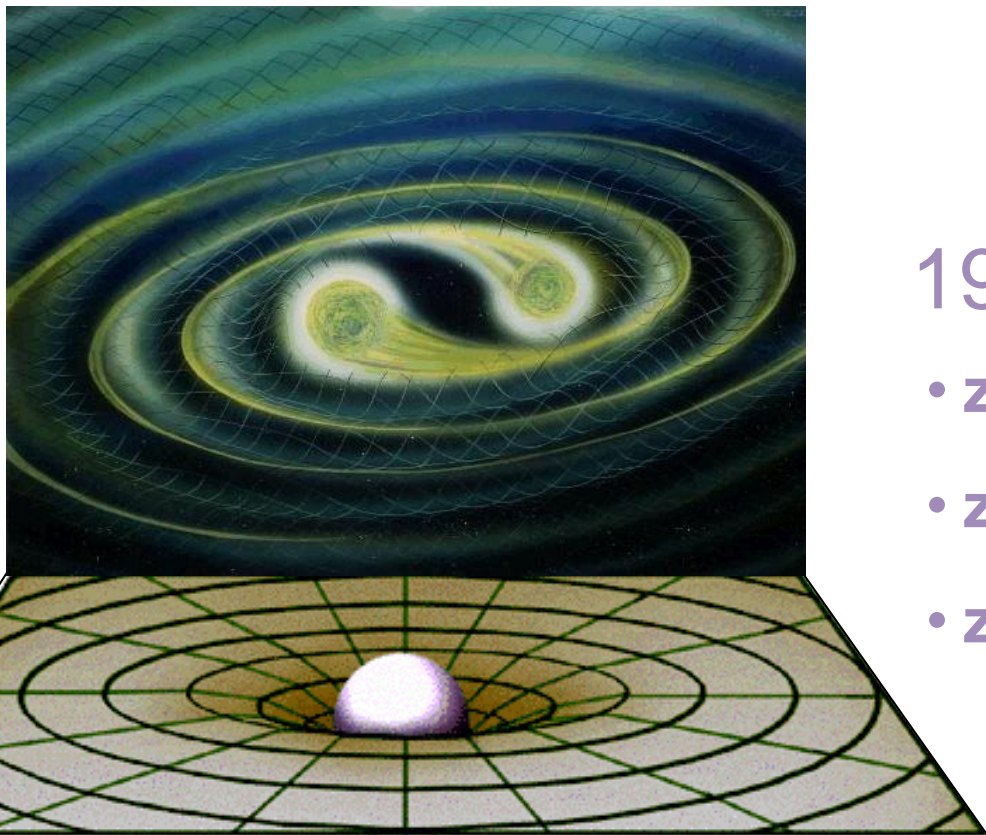
Složení vesmíru



Obecná relativita

A co je prostor ? A co je čas?

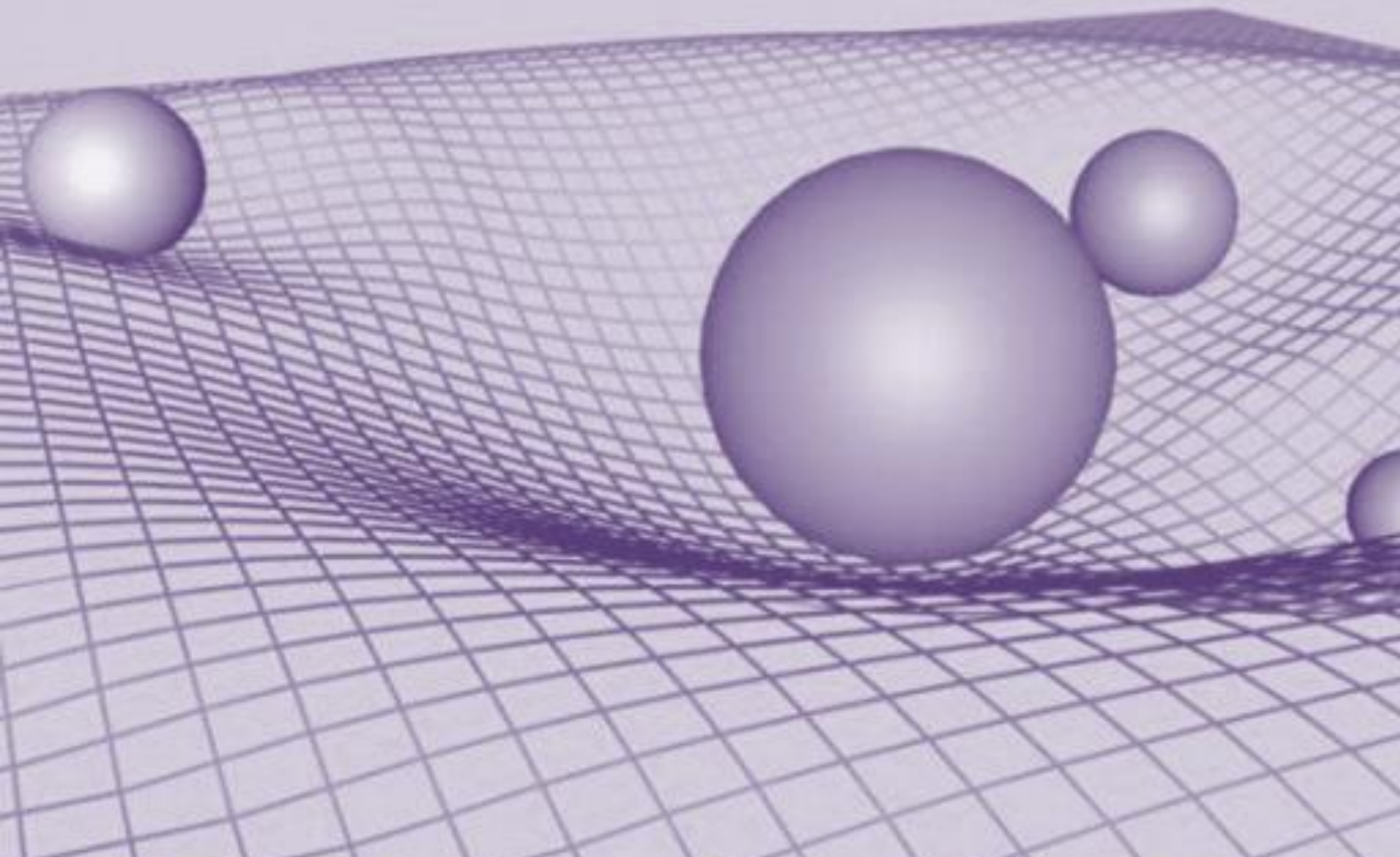
- relativita 17. století
- speciální relativita



Albert Einstein (1879-1955)

1916: vznik OTR

- zakřivení prostoru
- zakřivení času
- zakřivení časoprostoru



Obecná relativita = současná teorie gravitace

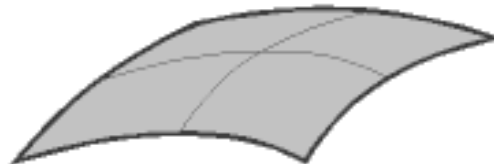
Fridmanovo řešení (1922)

Alexandr Fridman, 1922

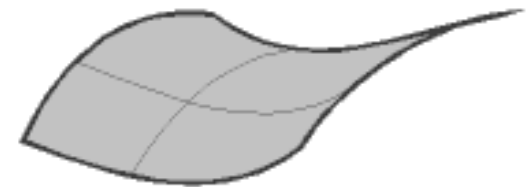
- chování vesmíru jako celku podle OTR
- rozpínání či kolaps
- nikdy nebude statický
- vývoj je dán hustotou
- založeno na gravitaci



$$\rho = \rho_c$$



$$\rho > \rho_c$$



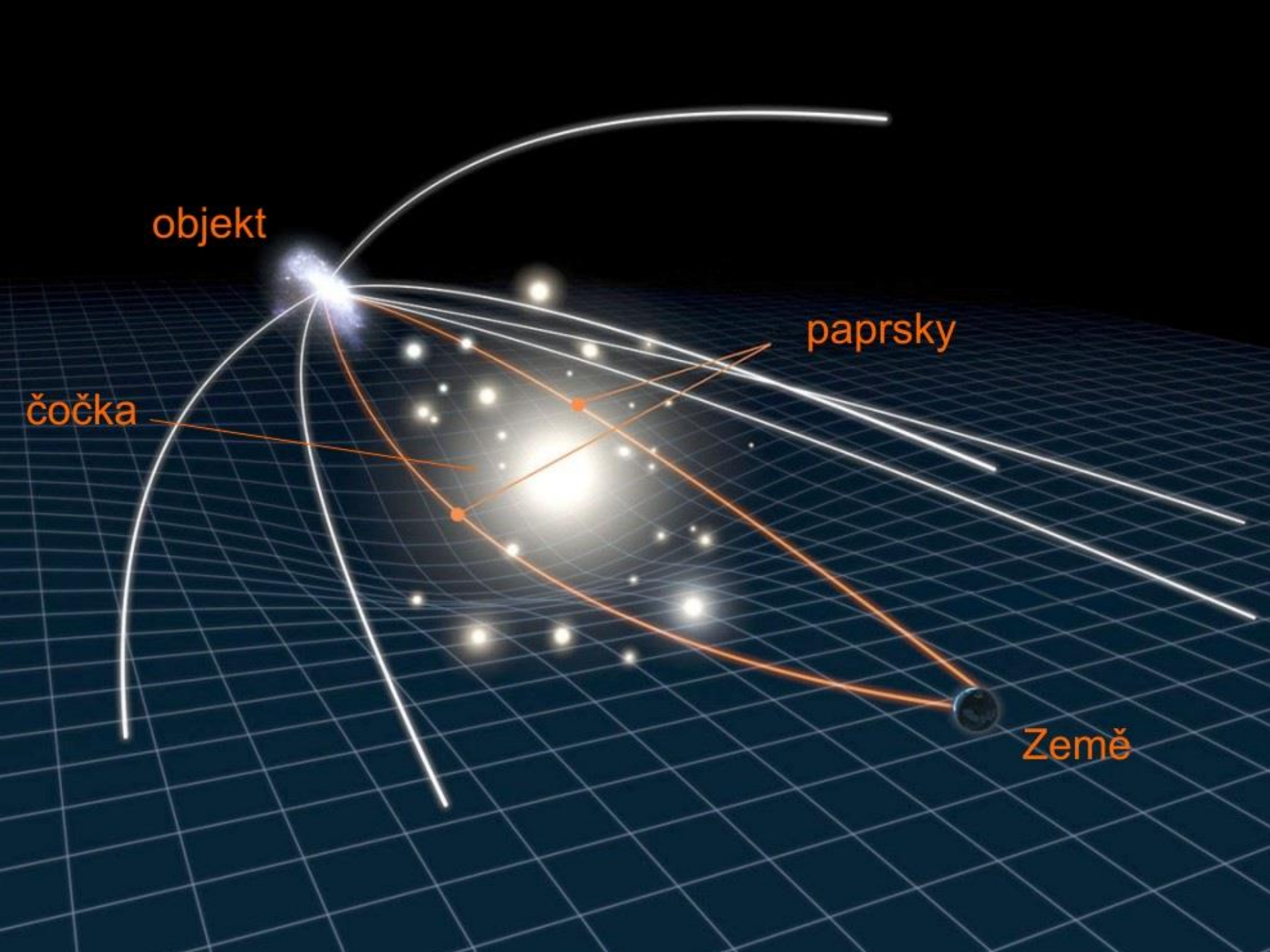
$$\rho < \rho_c$$

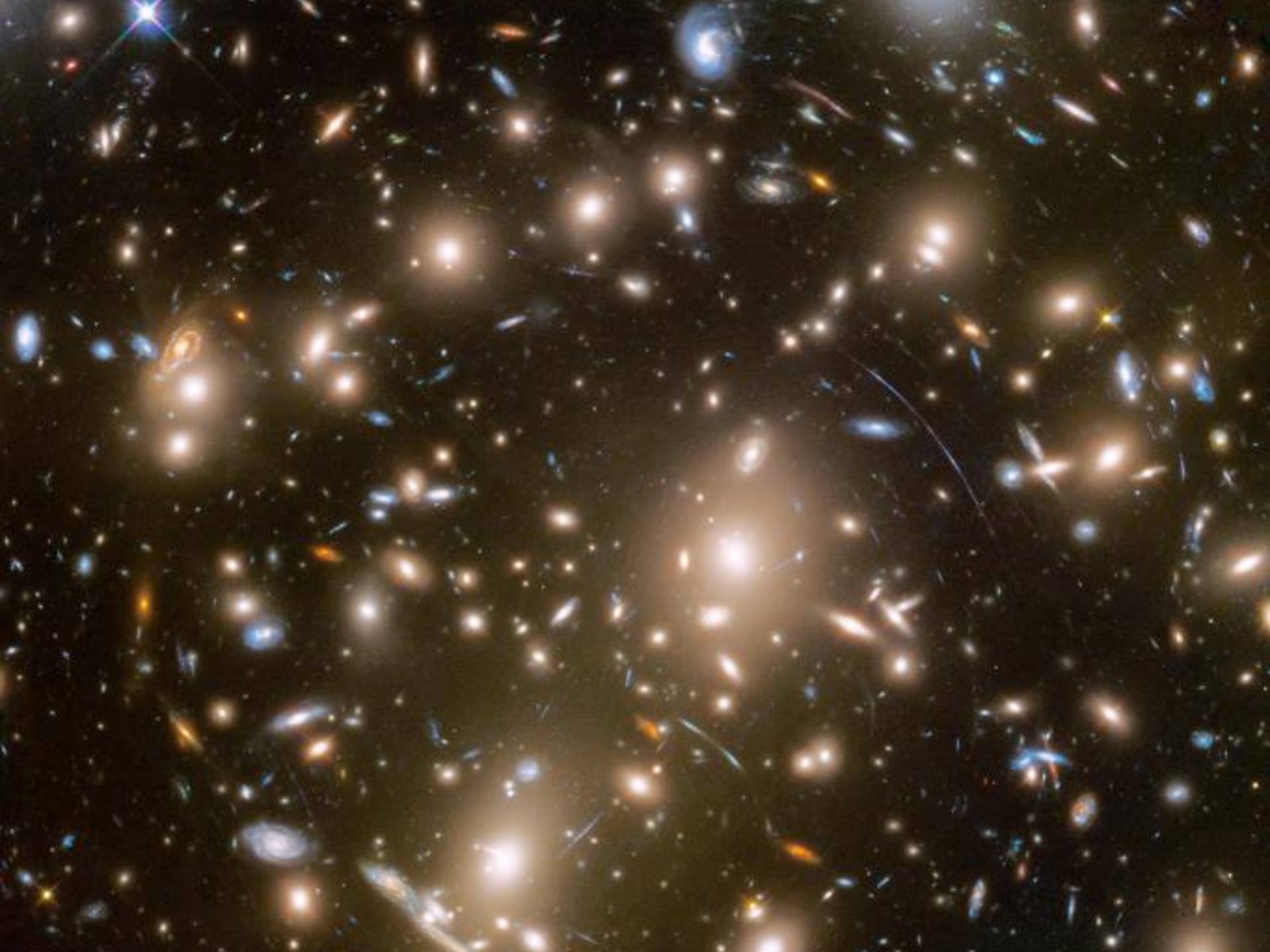
objekt

paprsky

čočka

Země





Gravitační vlny



Gravitační vlny

LIGO – Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory

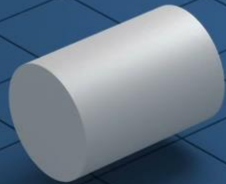
Handford (Washington, CALTECH), Livingston (Lousiana, MIT)



- $l = 4 \text{ km}$
- $d = 120 \text{ cm}$
- $d/l = 10^{-18} \text{ m}$
- $p = 1,3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$
- $h = 10^{-22}$
- $f = 40 \text{ Hz} - 2000 \text{ Hz}$
- laser: Nd:Yag, 10 W
- úplný provoz: 2002

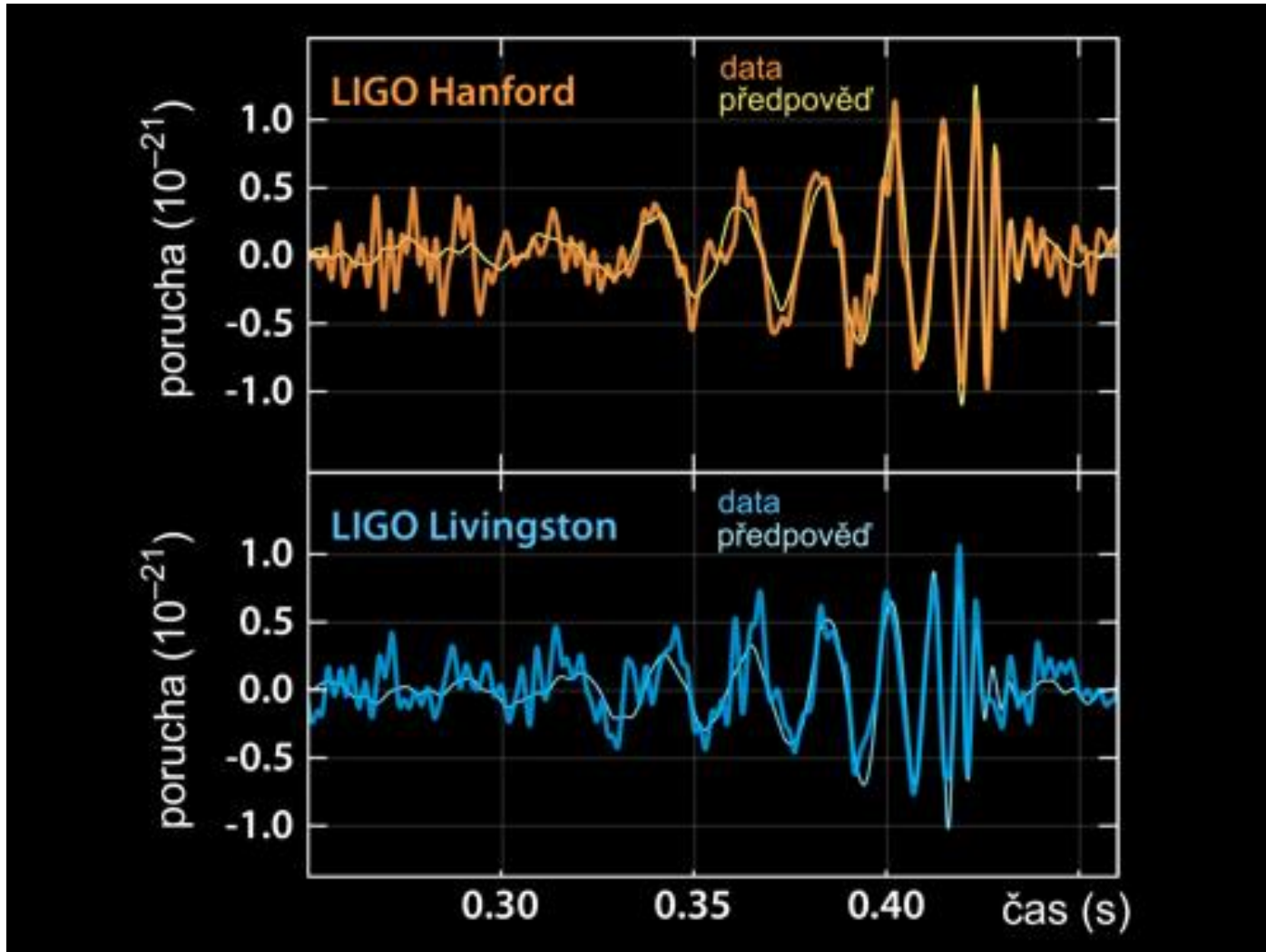
Gravitační vlny

Interferometrické detektory



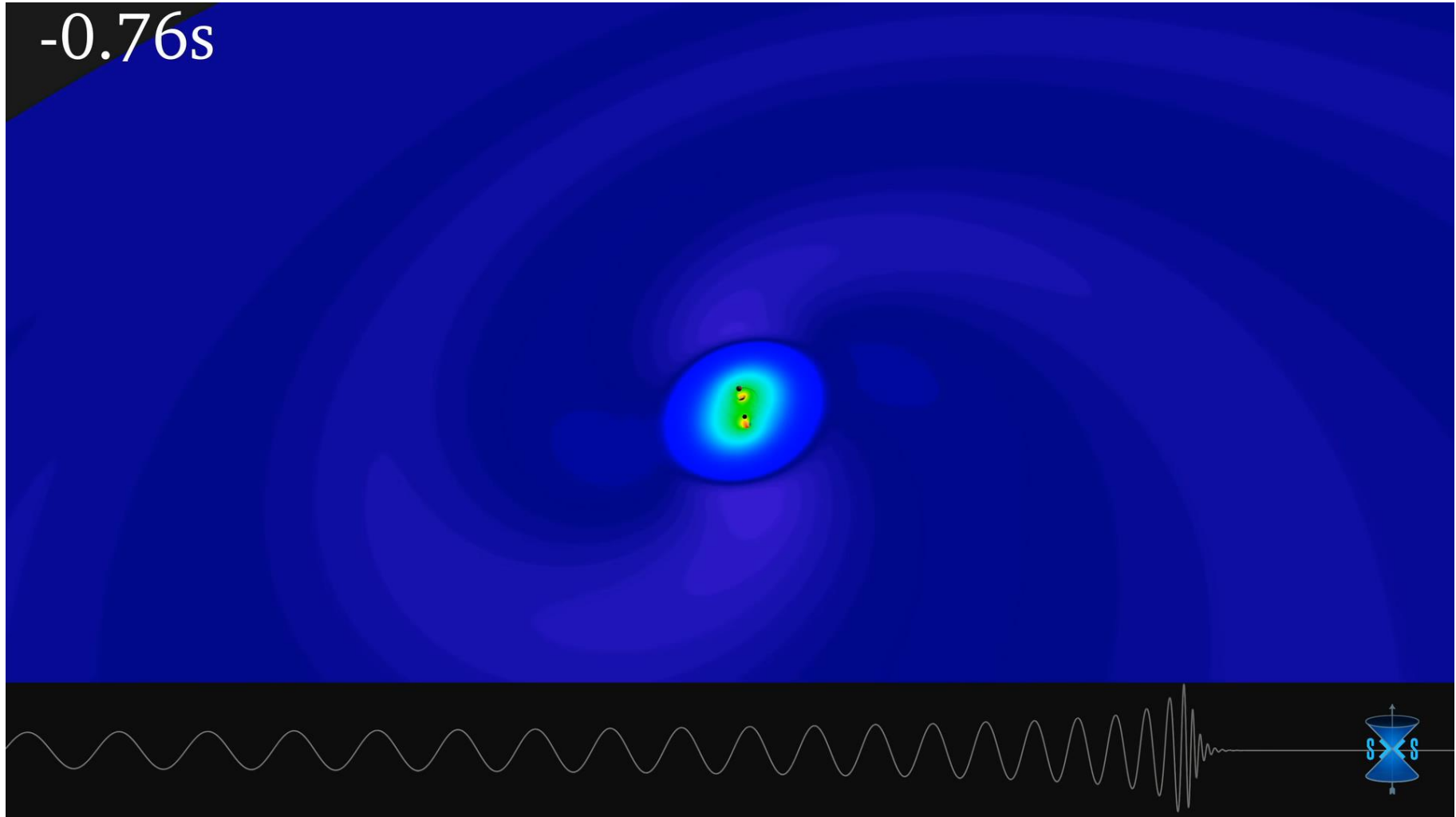
Gravitační vlny

11. února 2016 – oznámena přímá [detekce gravitačních vln](#) !



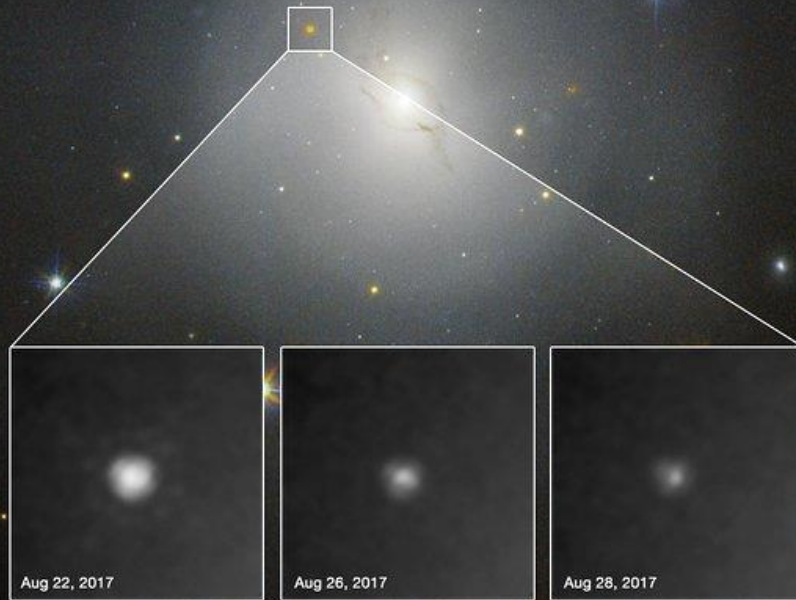
Gravitační vlny

-0.76s



Gravitační vlny

17. srpna 2017 - 1. optický protějšek !



[Video 1](#)

[Video 2](#)