

Milníky kosmologie III

planetum

Petr Kulháněk

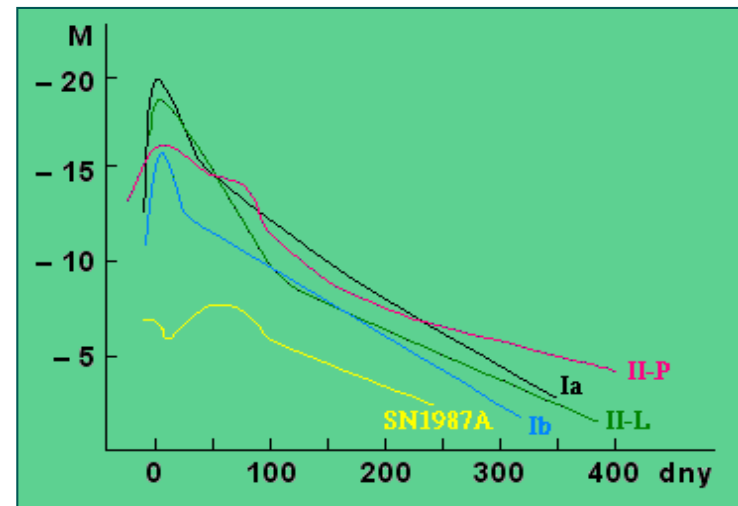
kulhanek@aldebaran.cz

www.aldebaran.cz



Temná energie

1998, Experimenty – supernovy typu Ia

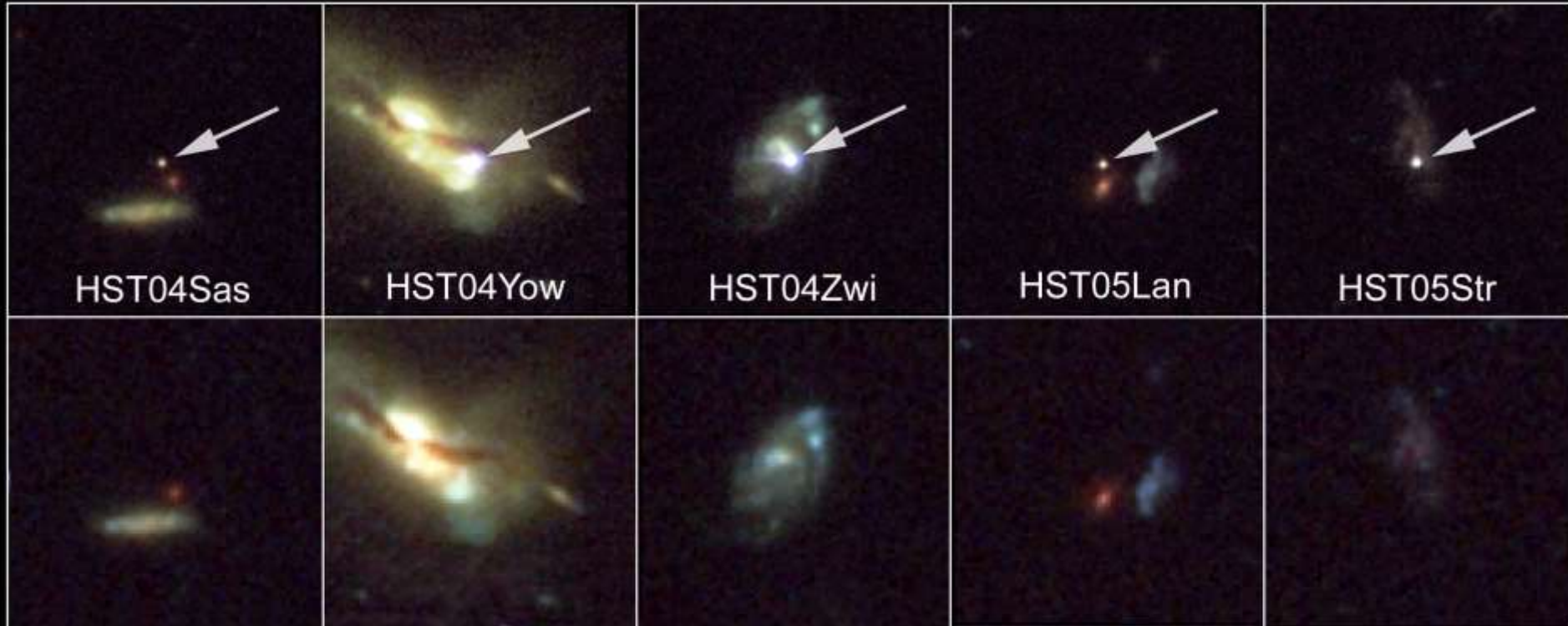


Supernova typu Ia - přenos látky z hvězdy na bílého trpaslíka, který zvětšuje hmotnost. Po překročení Chandrasekharovy meze ($1,4 M_{\odot}$) se bílý trpaslík zhroutí do neutronové hvězdy. Explozivnímu termonukleární hoření C, O na Ni 56 v celém objemu trpaslíka. Množství uvolněné energie je vždy zhruba stejné, takže z relativní pozorované jasnosti lze vypočítat vzdálenost příslušné supernovy. Přesnější hodnoty se pak určí z tvaru světelné křivky.

Adam Riess (Space Telescope Science Institute, Baltimore, 1998) + Saul Perlmutter (Lawrence Berkeley National Laboratory, 1999): Měření vzdálenosti a červeného posuvu supernov Ia. Zjištěna urychlovaná expanze. To znamená ve svém důsledku přítomnost temné energie ve vesmíru, která se projevuje záporným tlakem. Nejvzdálenější použitá supernova byl objekt 1997ff.

Další projekty: Obě zmíněné skupiny spolu s Alexejem Filipenkem pořídily do roku 2003 soubor 230 supernov. Tyto objekty byly vyhledávány také v *klíčovém projektu HST* pro určení Hubbleovy konstanty i v současných přehlídkových projektech, například projektu GOODS.

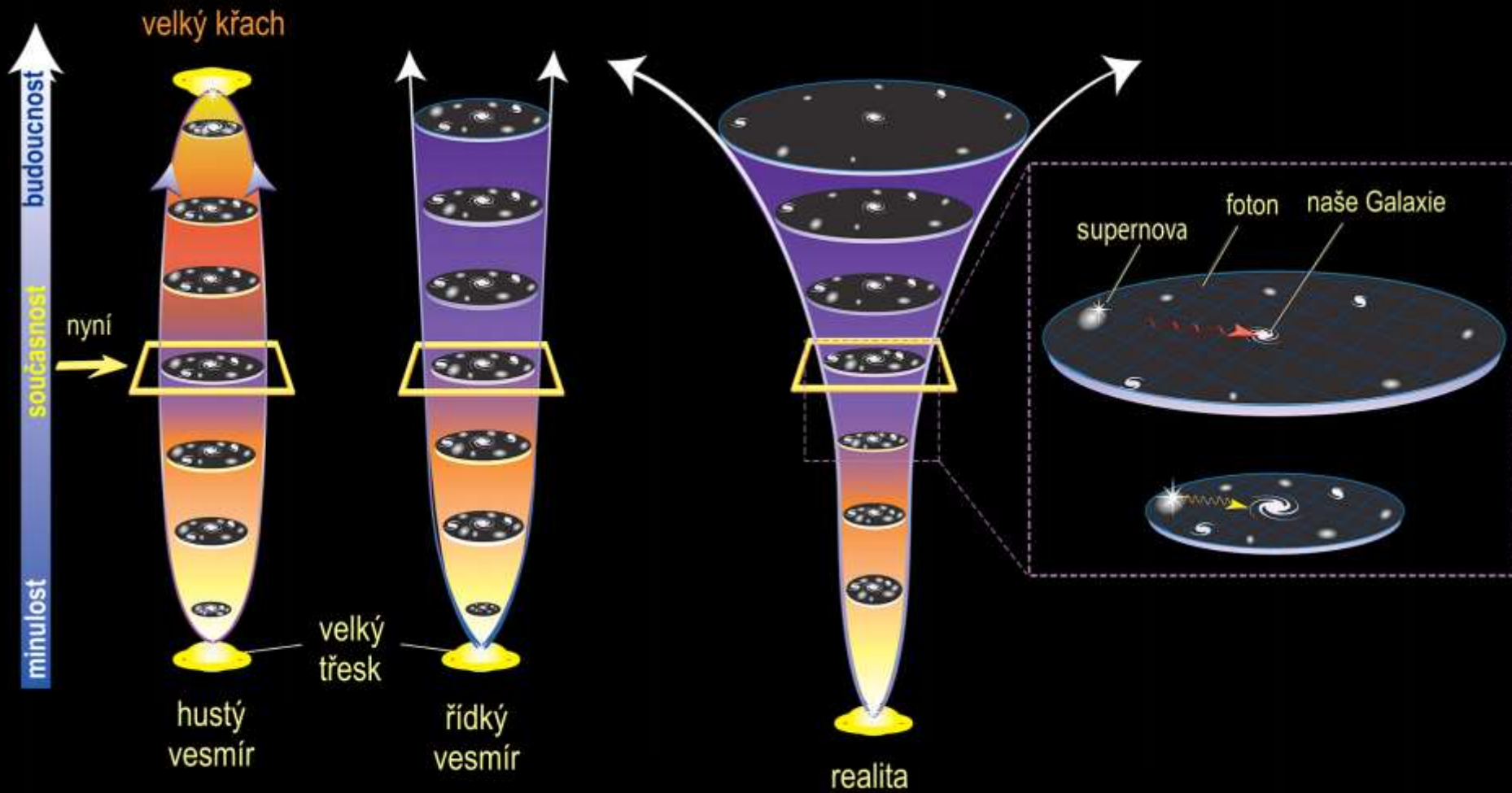
1998, Experimenty – supernovy typu Ia



Host Galaxies of Distant Supernovae
Hubble Space Telescope ■ Advanced Camera for Surveys

Dříve

Nyní



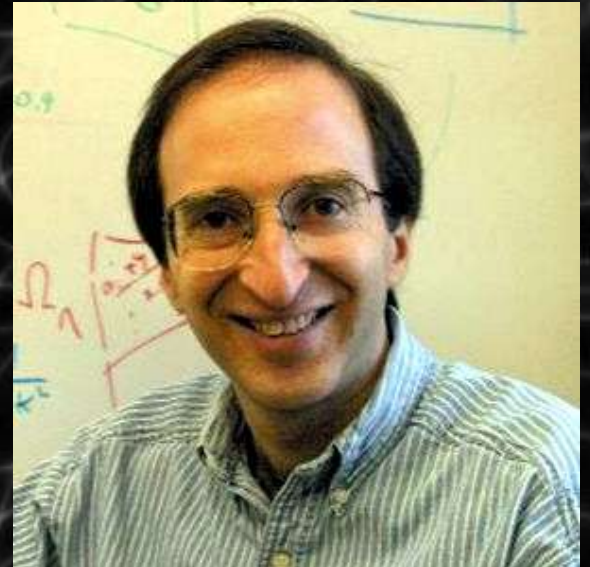
NC 2011



Adam Riess (1969)



Brian Schmidt (1967)



Saul Perlmutter (1959)

Vakuová energie?

- kvantové fluktuace polí
- virtuální páry částice-antičástice
- pole zajišťující narušení symetrií v přírodě
- $\rho \sim \text{const}$ (temná energie dominuje až nyní!)
- extradimenze, superčástice?

vakuum - netriviální dynamický systém
polarizace vakua
Lambův posuv
stínění náboje

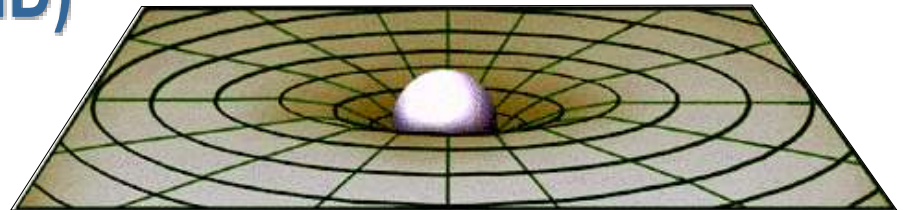
Frank Wilczek: cosi nového je za dveřmi ...

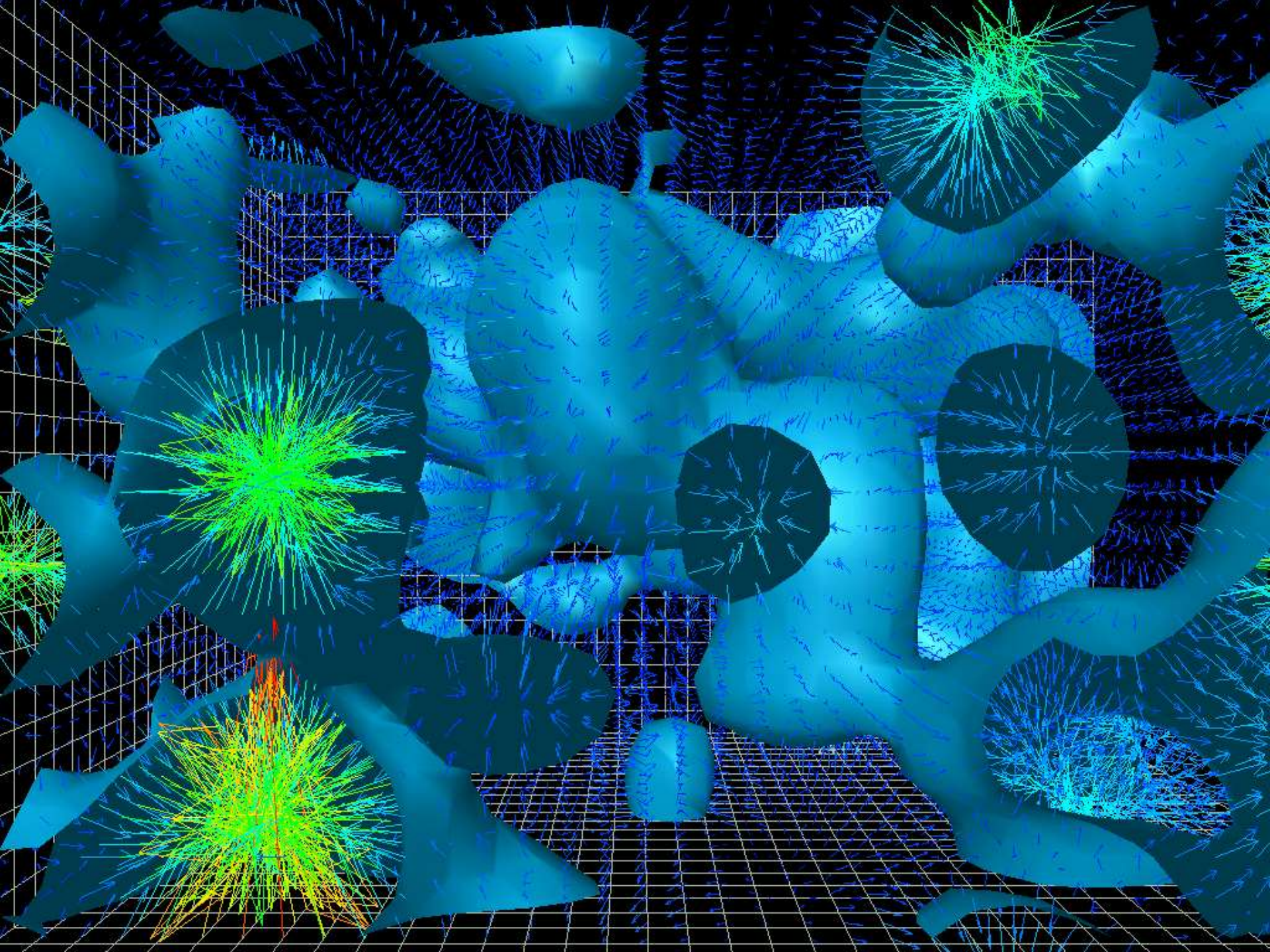
Kvintesence?

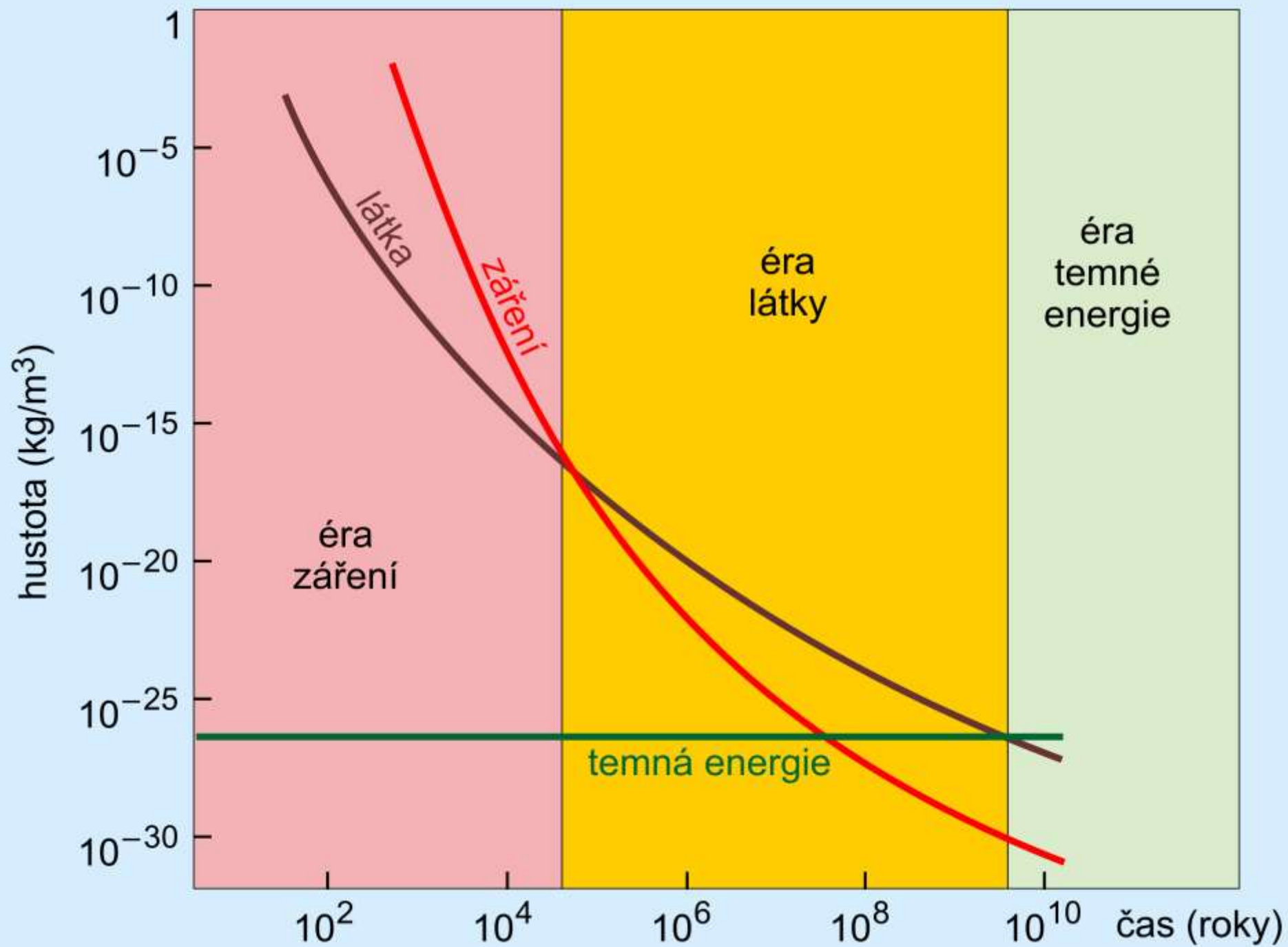
Modifikovaná gravitace? (MOND)



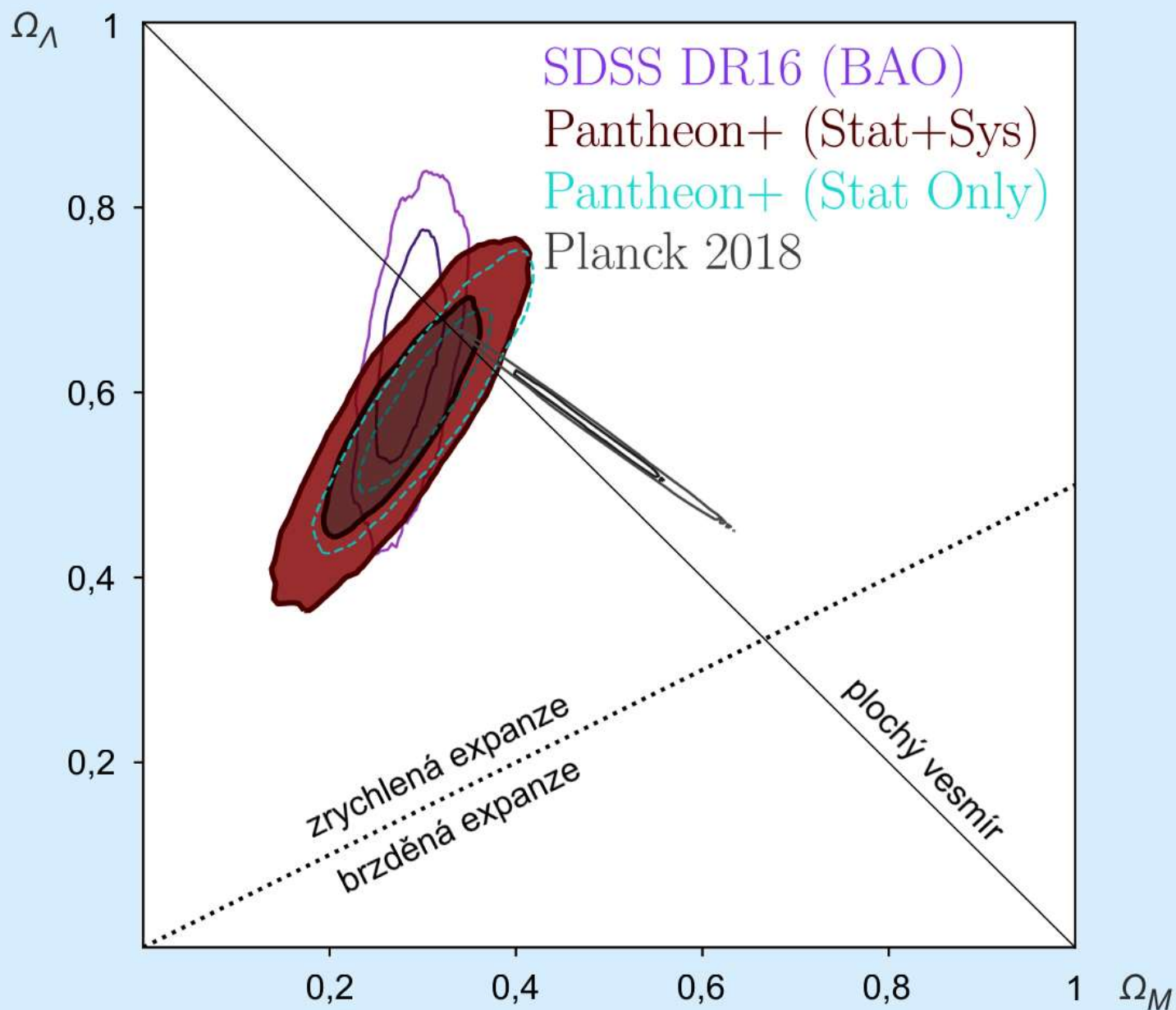
- zakřivení paprsků (1919)
- gravitační čočky (1979)
- stáčení perihelia planet
- gravitační červený posuv
- kosmologický posuv
- Lenseův-Thirringův jev
- gravitační vlny,
- černé díry,
- rozpínání vesmíru

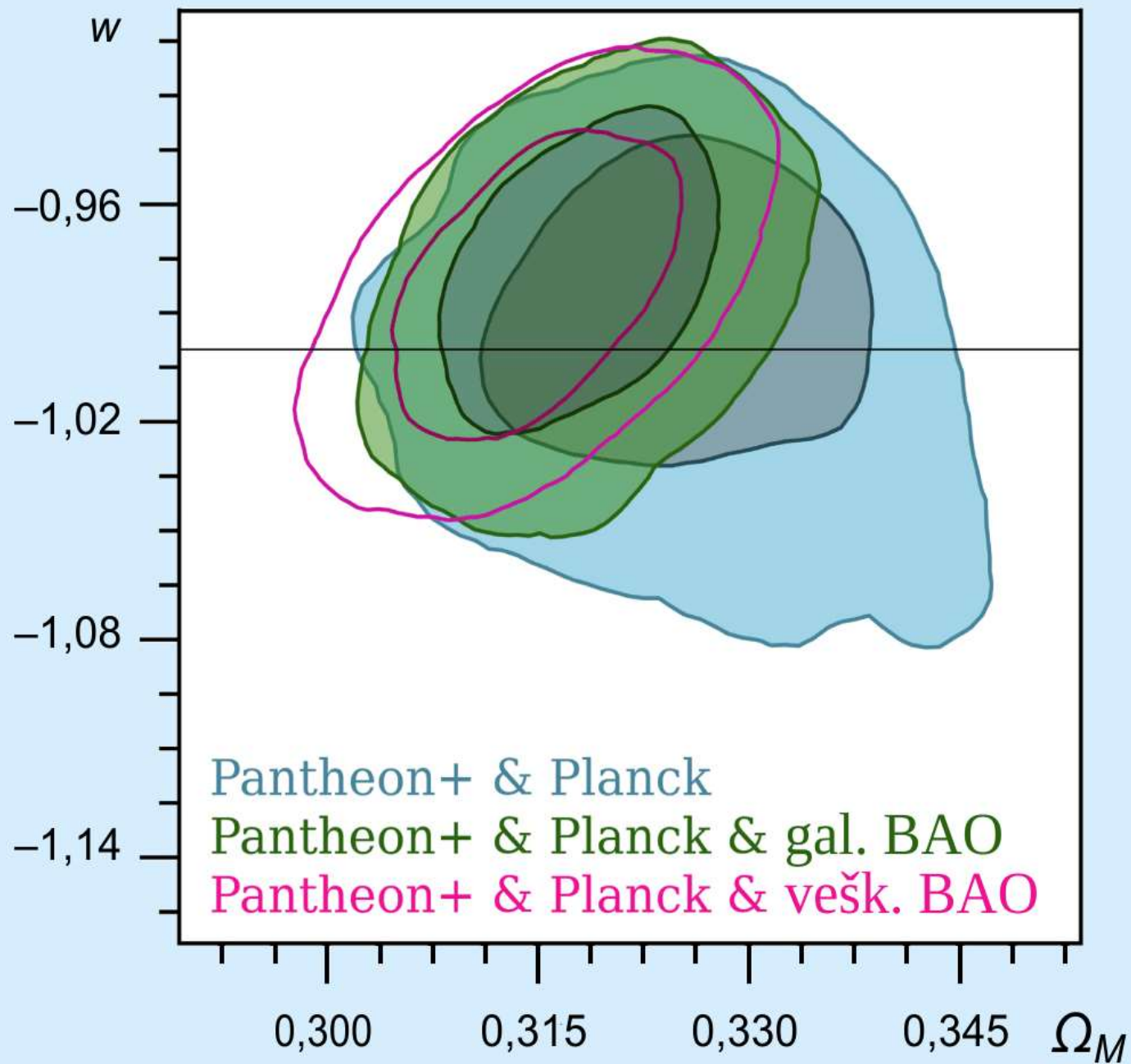






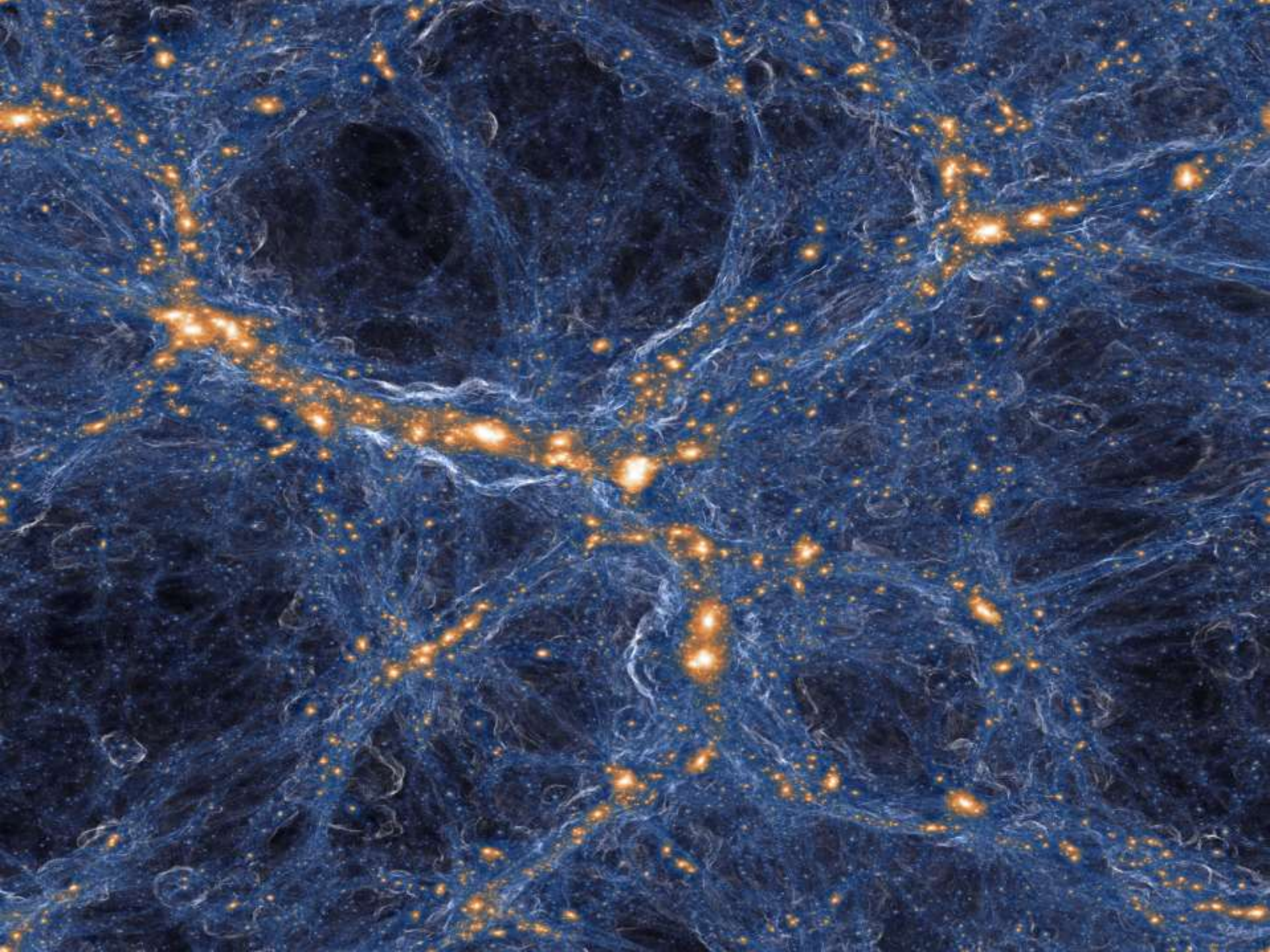
- Pantheon+
- Harvard
- 1550 SN Ia





Illustris

- největší numerická simulace všech dob
- základem data z HST
- detailní vývoj vesmírných struktur
- superpočítač Curie (CEA, Francie)
- superpočítač SuperMUC (LRZ, Německo)
- superpočítač Hazel (HPCC, Německo)
- 8 192 procesorových jader
- 25 TB operační paměti
- 230 TB dat
- 26 měsíců (konec 2019)





Reliktní neutrina

$T = 10^{10}$ K, $E = 1$ MeV. Oddělení neutrin od ostatní látky. Střední volná dráha neutrin narostla tak, že přestávají interagovat s látkou. Do této doby byly díky srážkám v termodynamické rovnováze s ostatním zářením a hmotou. Od této chvíle neutrino žije vlastním životem a postupně chladnou. Dnes by reliktní neutrino měla mít teplotu kolem 2 K, hustotu 300 neutrin na cm^3 a nést v sobě obraz vesmíru z doby jejich oddělení. Vesmír je stále v éře záření, kromě neutrin jsou všechny ostatní částice v termodynamické rovnováze.



$$\nu\nu \rightarrow \nu\nu$$

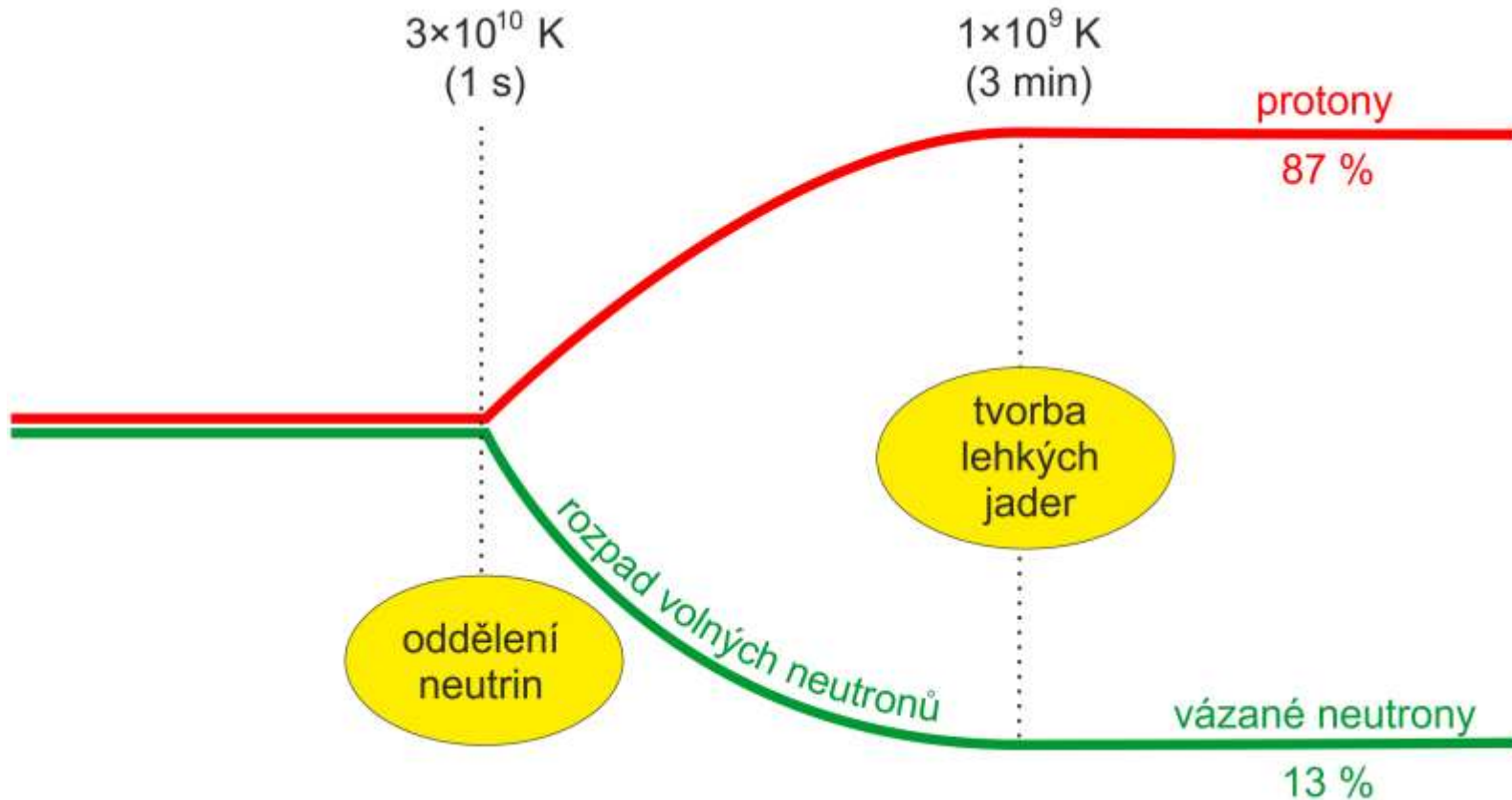
$$\nu\bar{\nu} \rightarrow \nu\bar{\nu}$$

$$\nu e \rightarrow \nu e$$

$$\nu\bar{\nu} \rightarrow e^+e^-$$

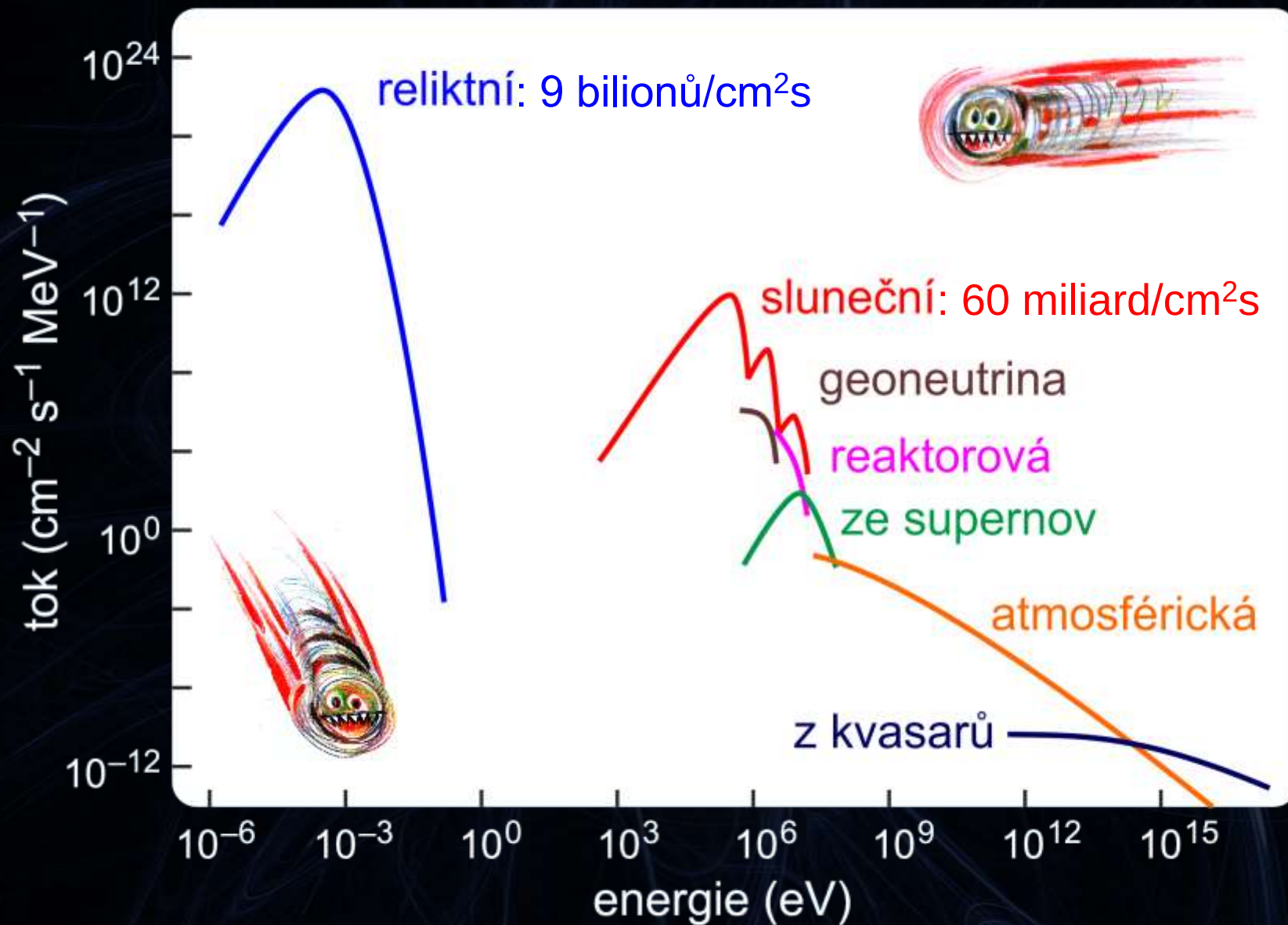
1 sekunda: oddělení neutrin

teplota: 10^{10} K
energie: 1 MeV

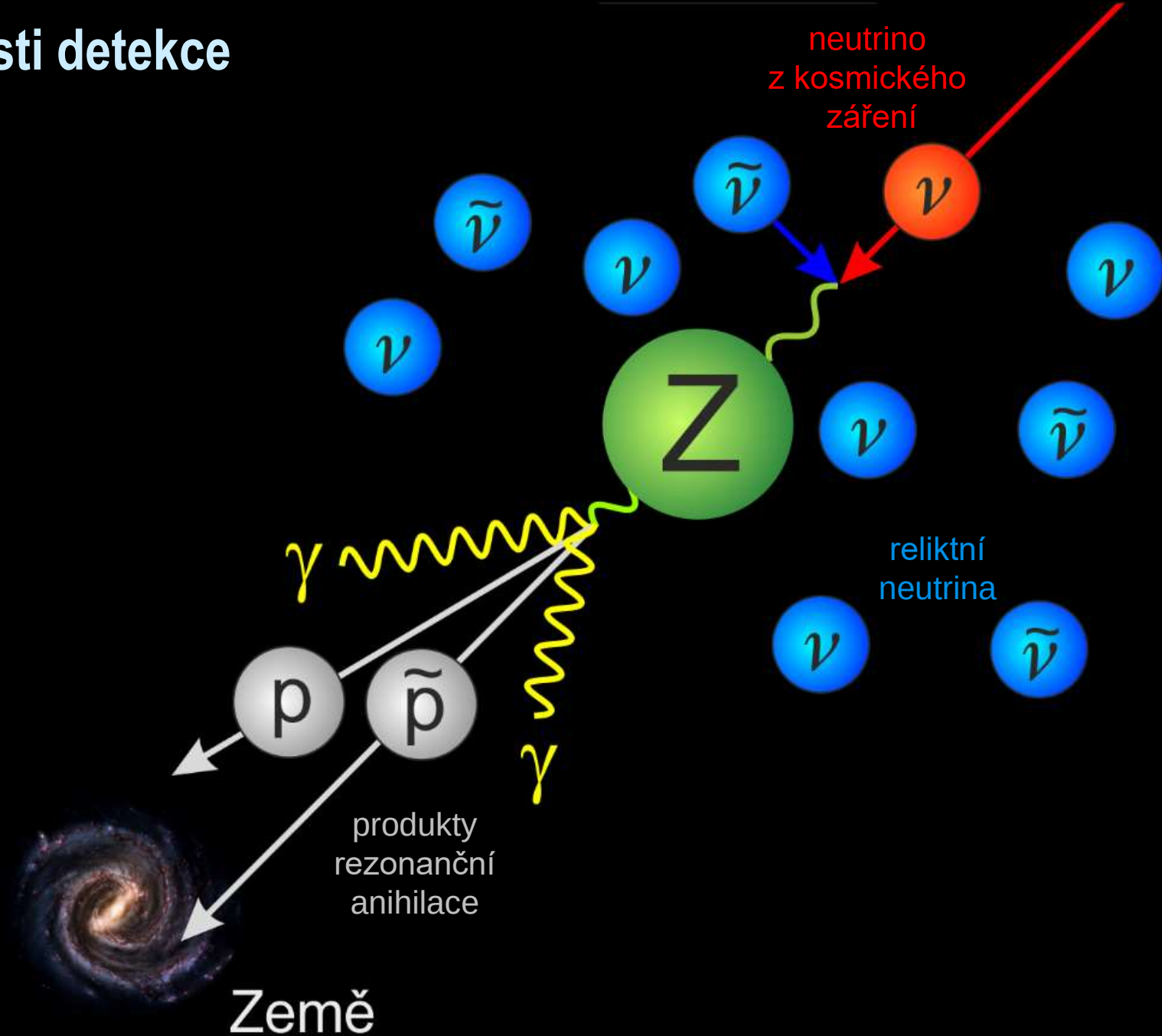


Oddělení neutrin od látky, efektivní zastavení slabé interakce mezi elektrony, neutrinami, protony a neutrony. Volné neutrony se rozpadají rychleji než tvoří. Pokles počtu neutronů.

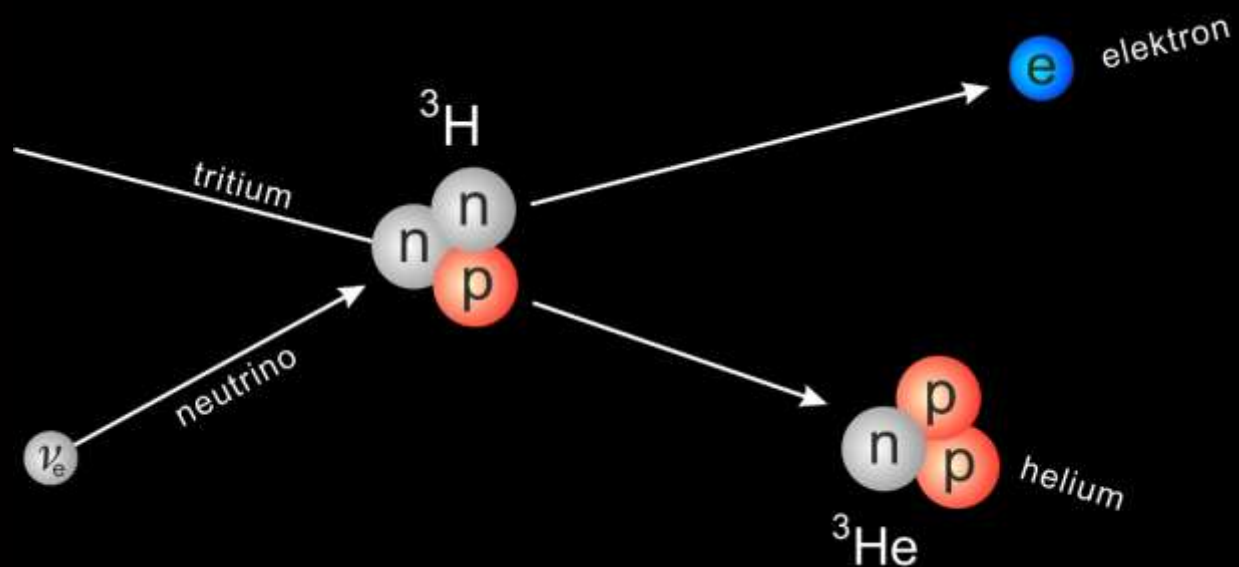
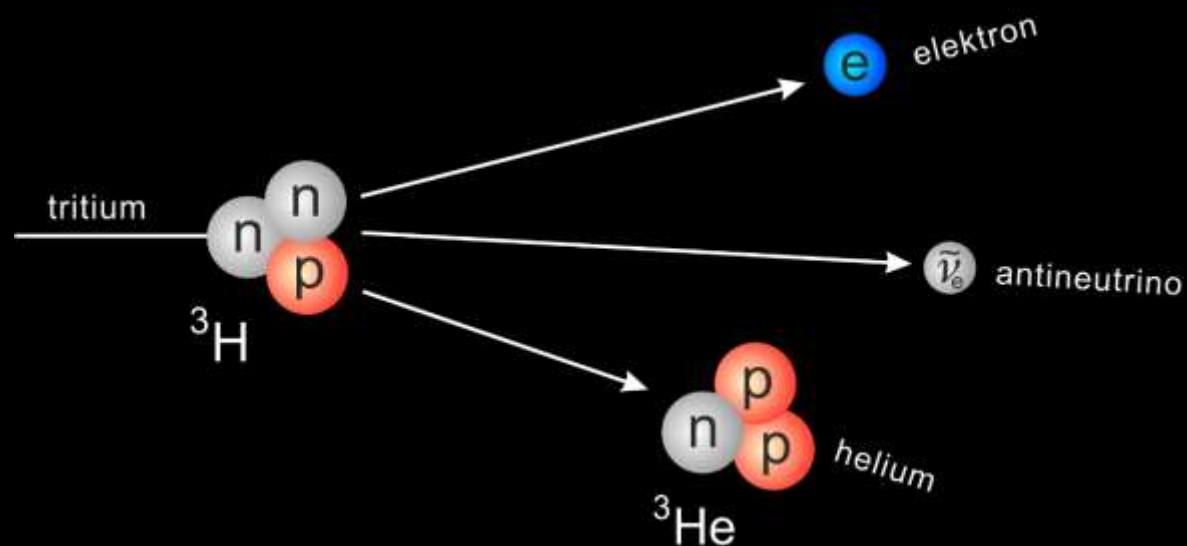
Energie a toky neutrin



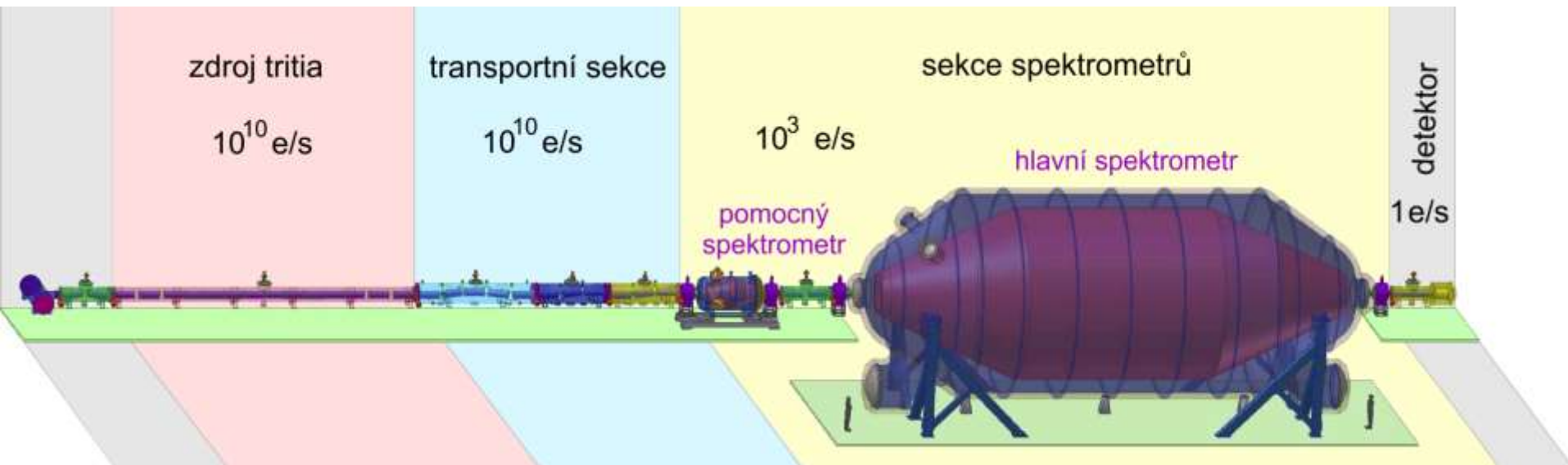
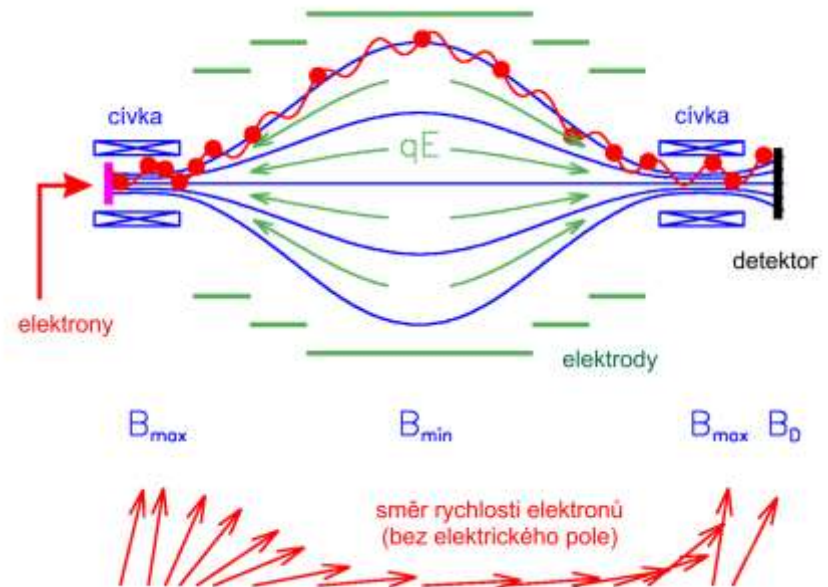
Možnosti detekce



Beta rozpad T, hmotnost neutrina a reliktní neutrina



KATRIN (KARlsruhe TRItium Neutrino experiment)



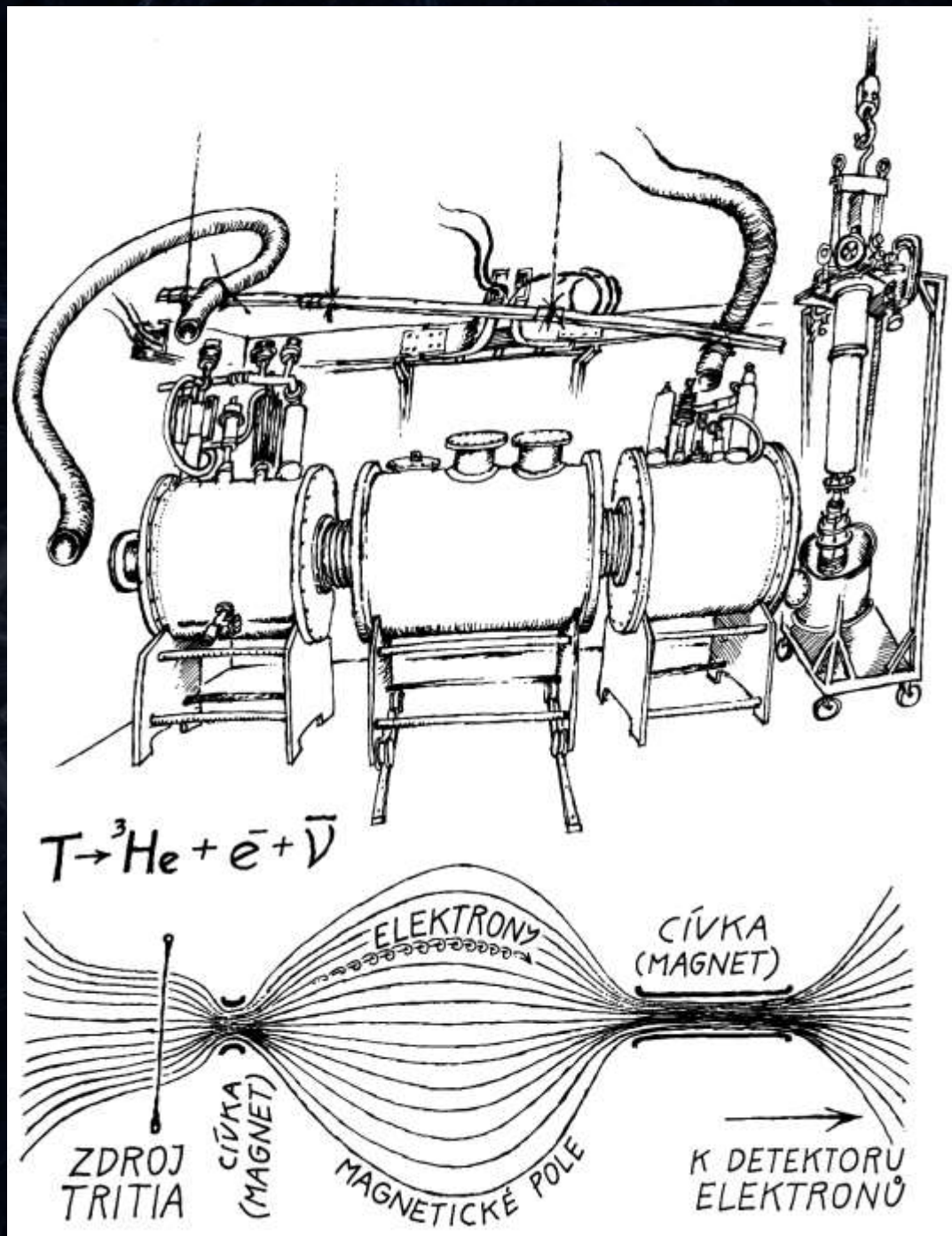


KATRIN





Princeton: Ptolemy





Reliktní gravitační vlny

BIG BANG

gravitační vlny mohly unikat
od prvopočátečního období

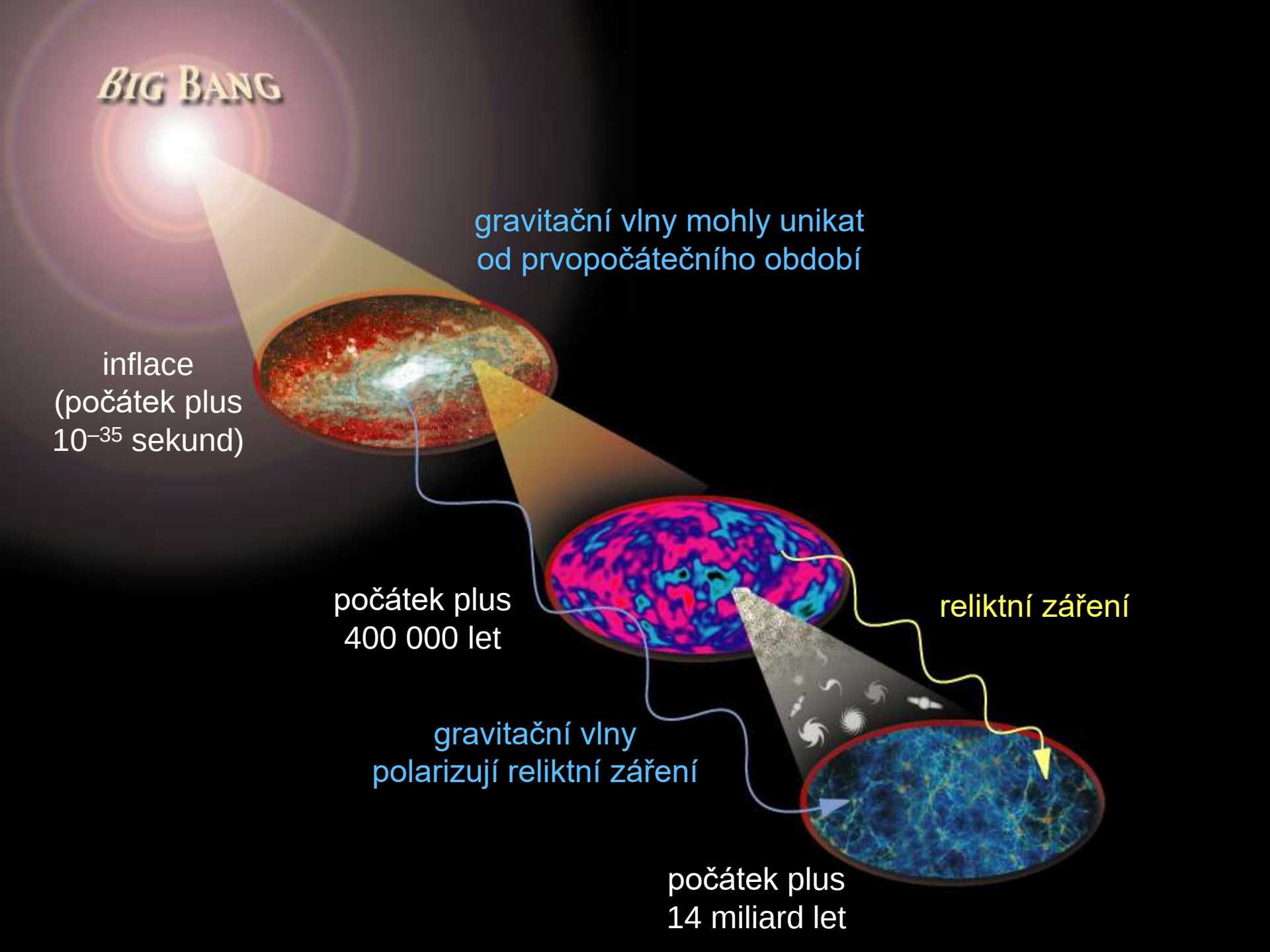
inflace
(počátek plus
 10^{-35} sekund)

počátek plus
400 000 let

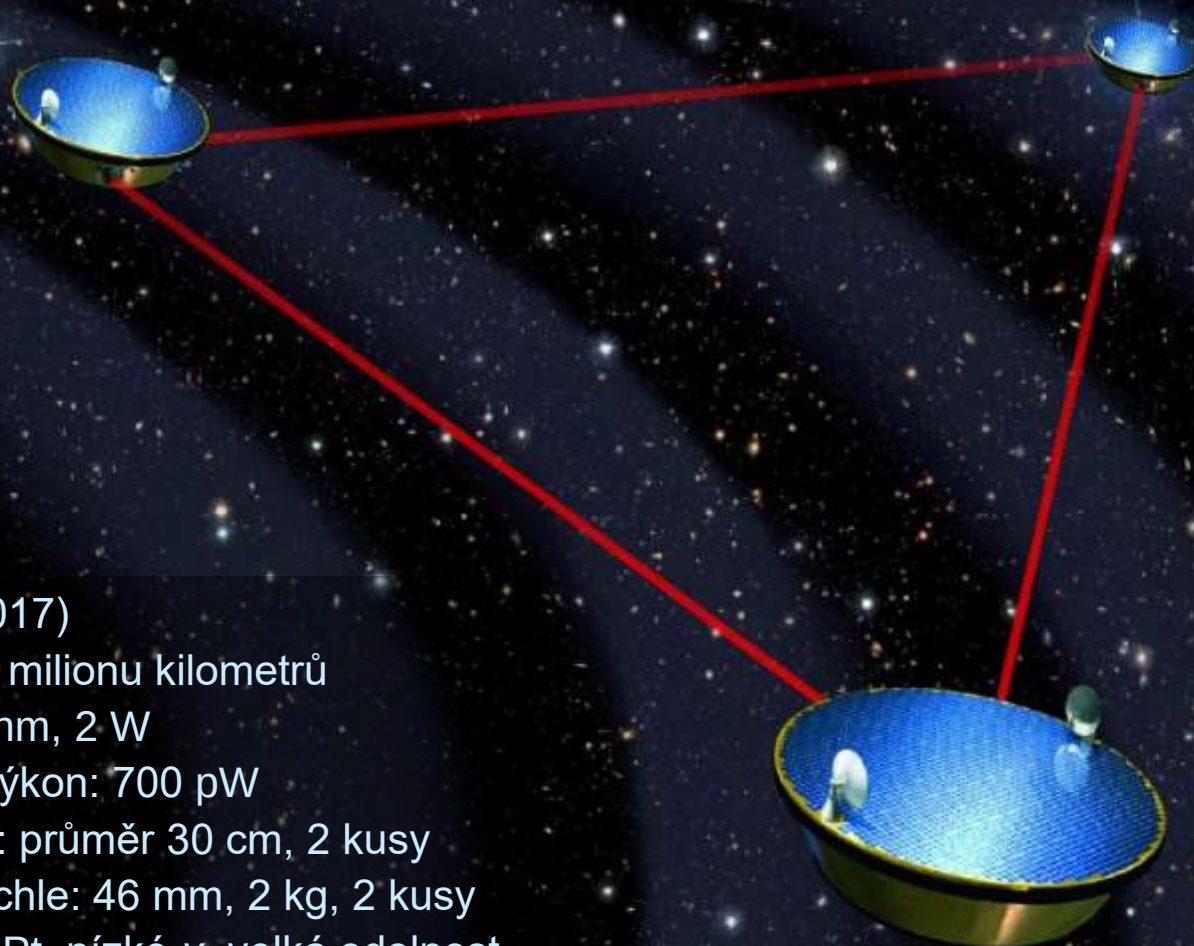
gravitační vlny
polarizují reliktní záření

reliktní záření

počátek plus
14 miliard let

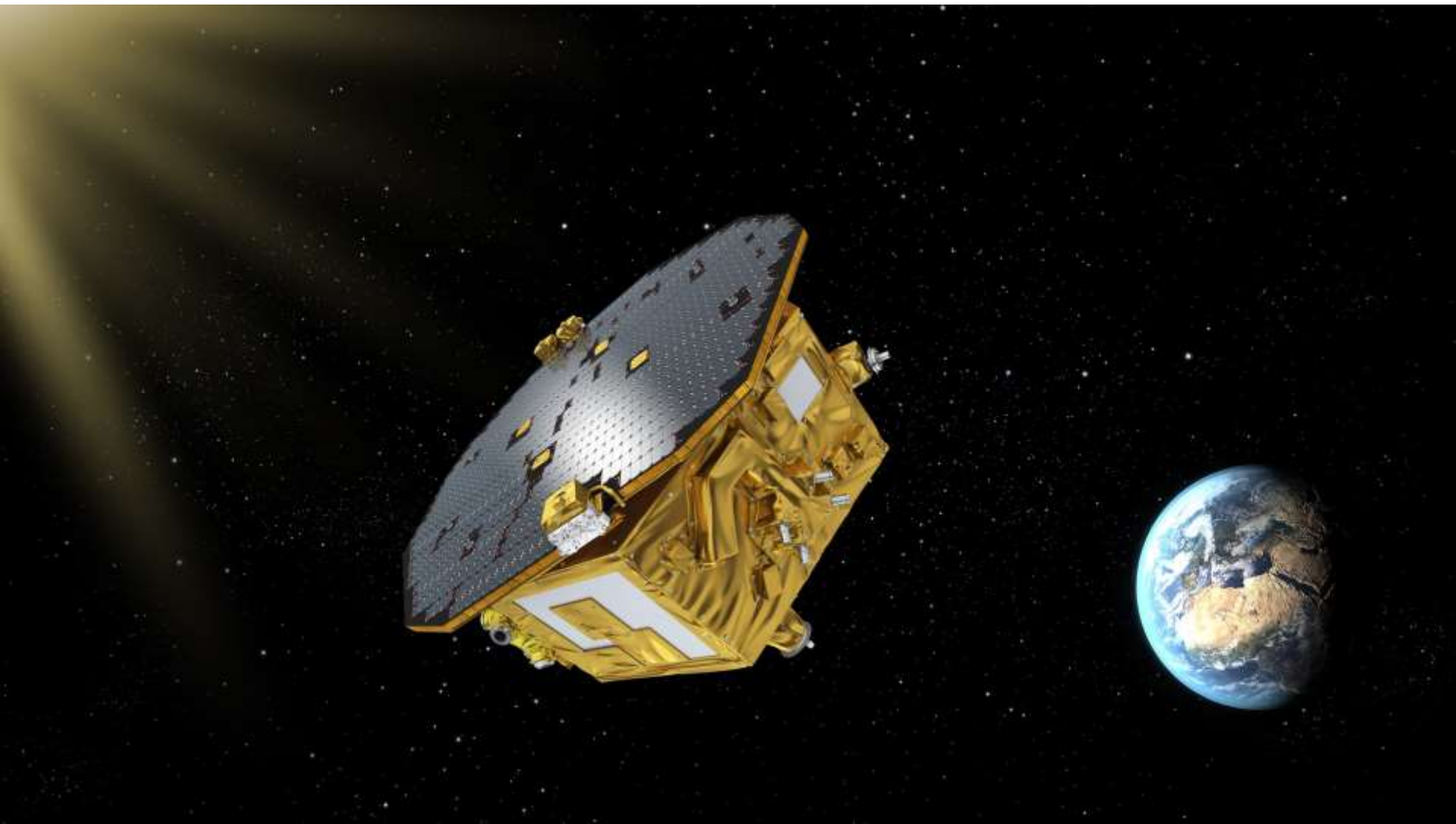


LISA



návrh L3 (2017)
ramena: 2,5 milionu kilometrů
laser: 1064 nm, 2 W
dopadající výkon: 700 pW
dalekohledy: průměr 30 cm, 2 kusy
odrazná krychle: 46 mm, 2 kg, 2 kusy
složení: Au+Pt, nízké χ , velká odolnost
elektronika: 2 až 3 mm od krychle
sluneční baterie: průměr 2,9 metru
start: 2037, Ariane 6.4
dráha: 20° za Zemí

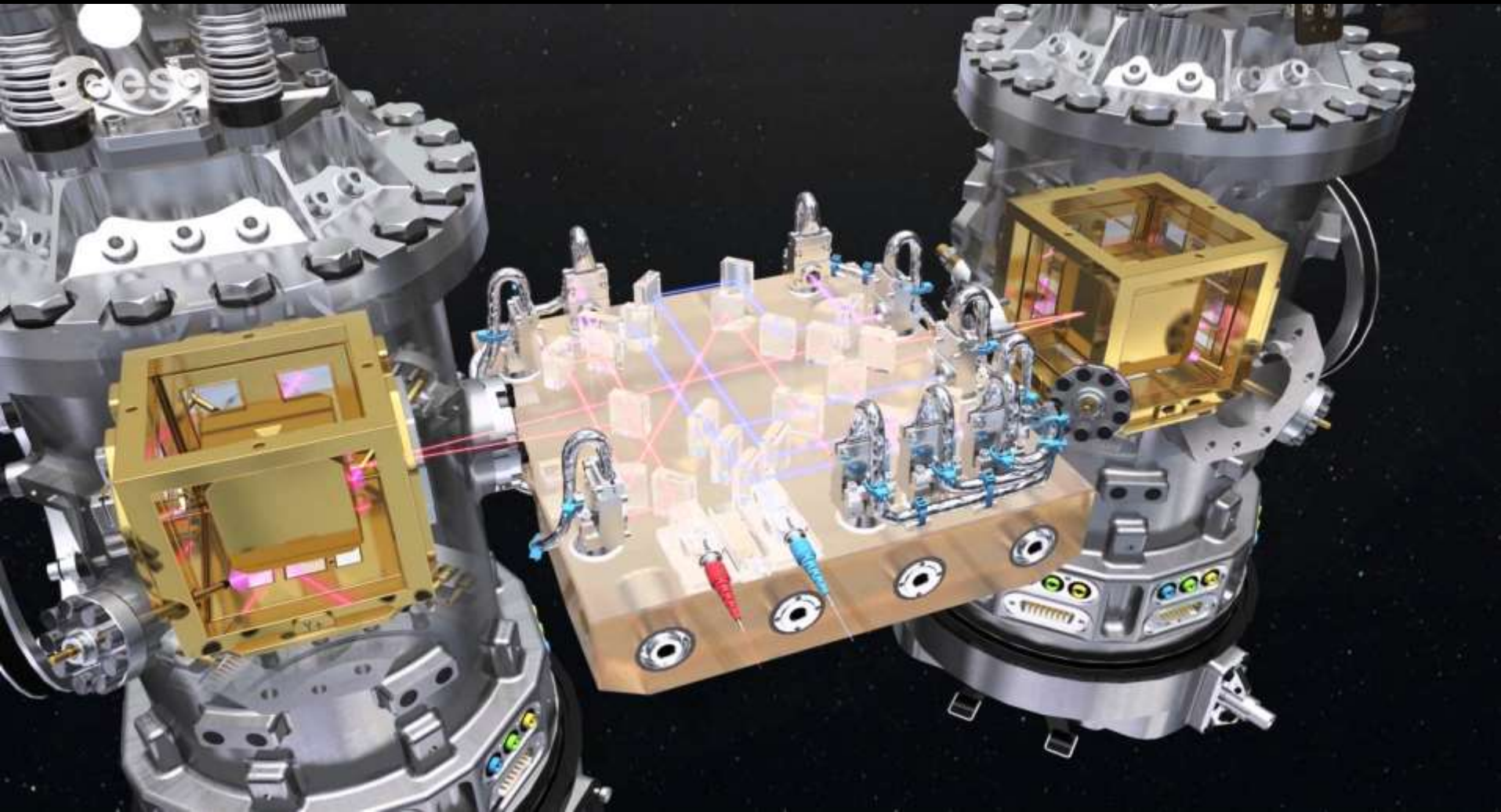
LISA Pathfinder (3. 12. 2015 až 30. 6. 2017)



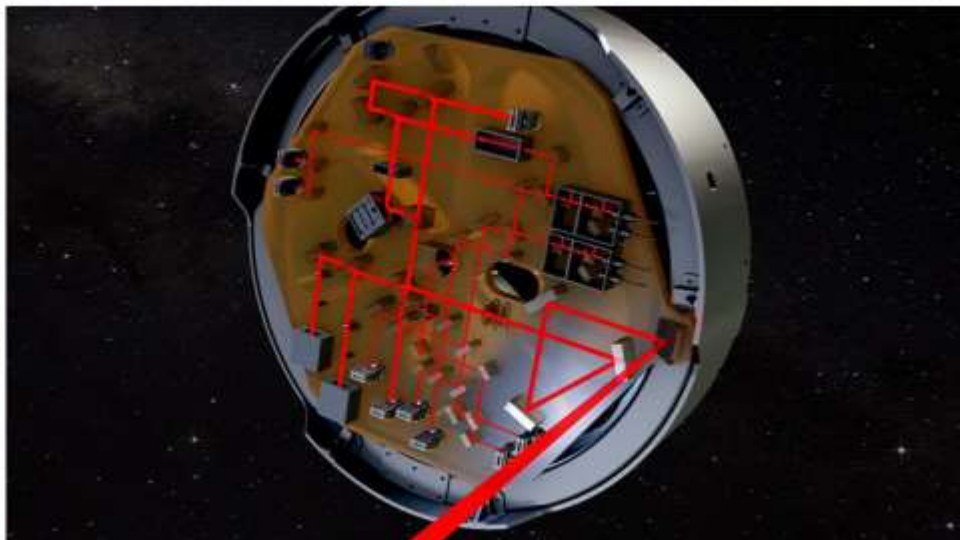
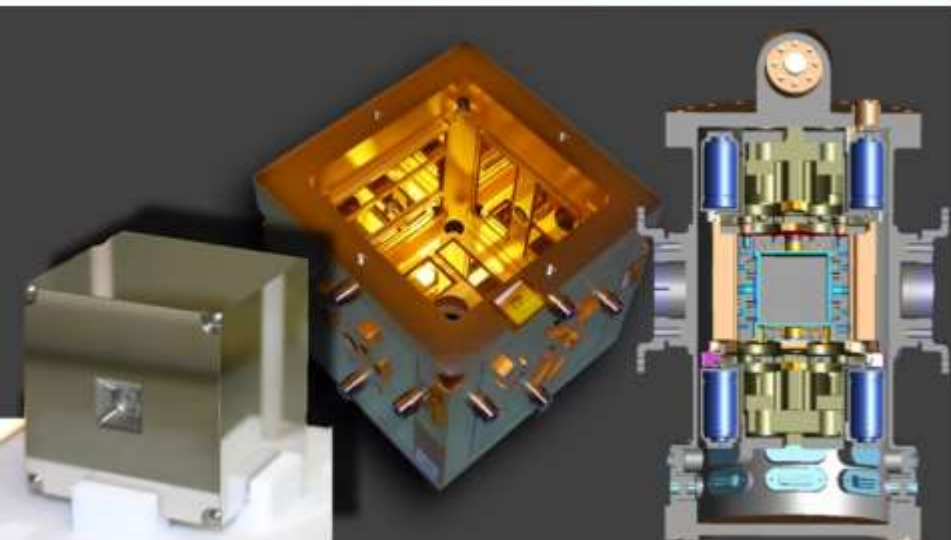
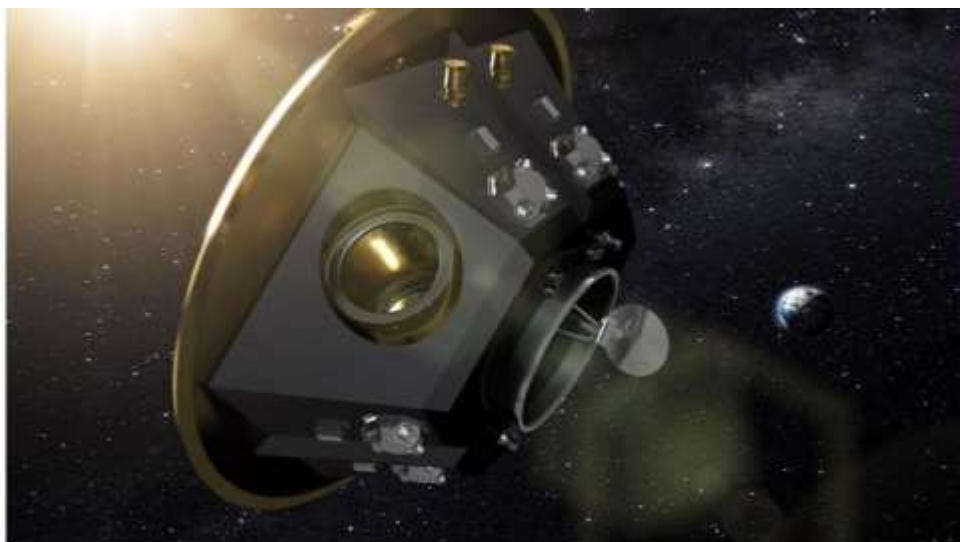
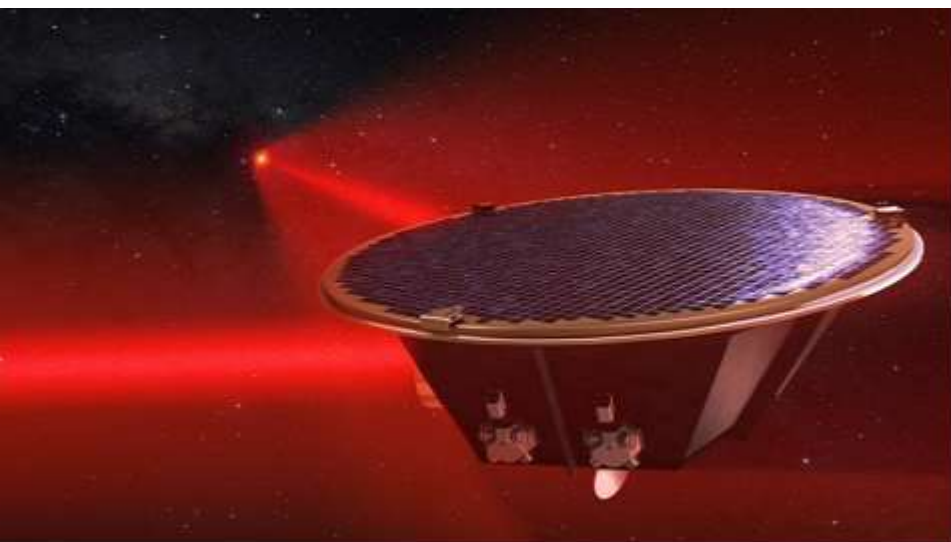
LISA Pathfinder

(3. 12. 2015 až 30. 6. 2017)

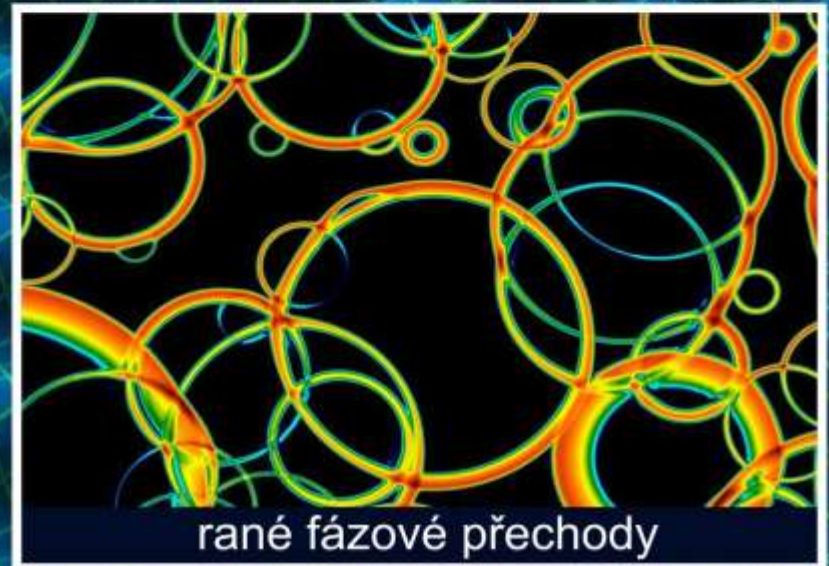
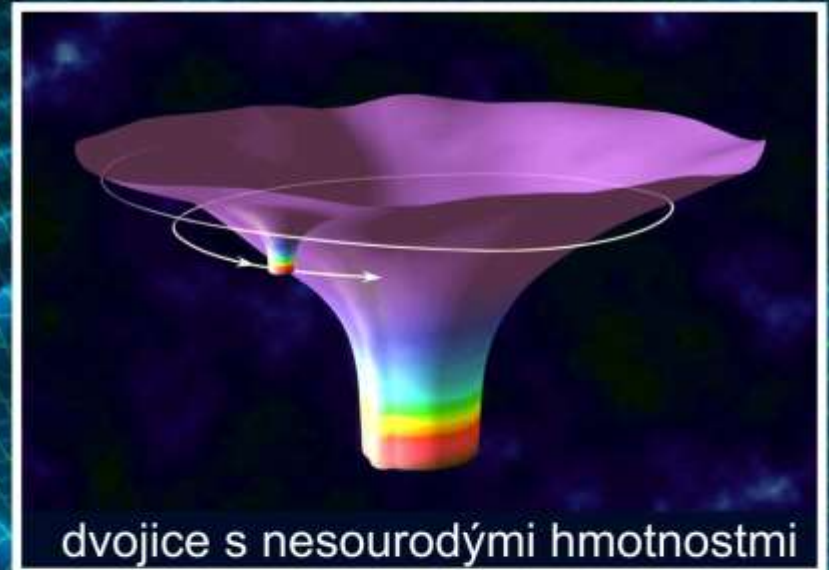
- umístění: L1 Země-Slunce
- vzdálenost TM1 a TM2: 38 cm
- velikost krychle (Au/Pt) 46 mm
- samostatné vakuové komory
- kapacitní a interferometrické sledování polohy
- optická lavice mezi hmotnostmi
- Cold Gas Micro thrusters (mikrotrysky)
- Colloid Thruster System (nabité kapičky v elektrickém poli)



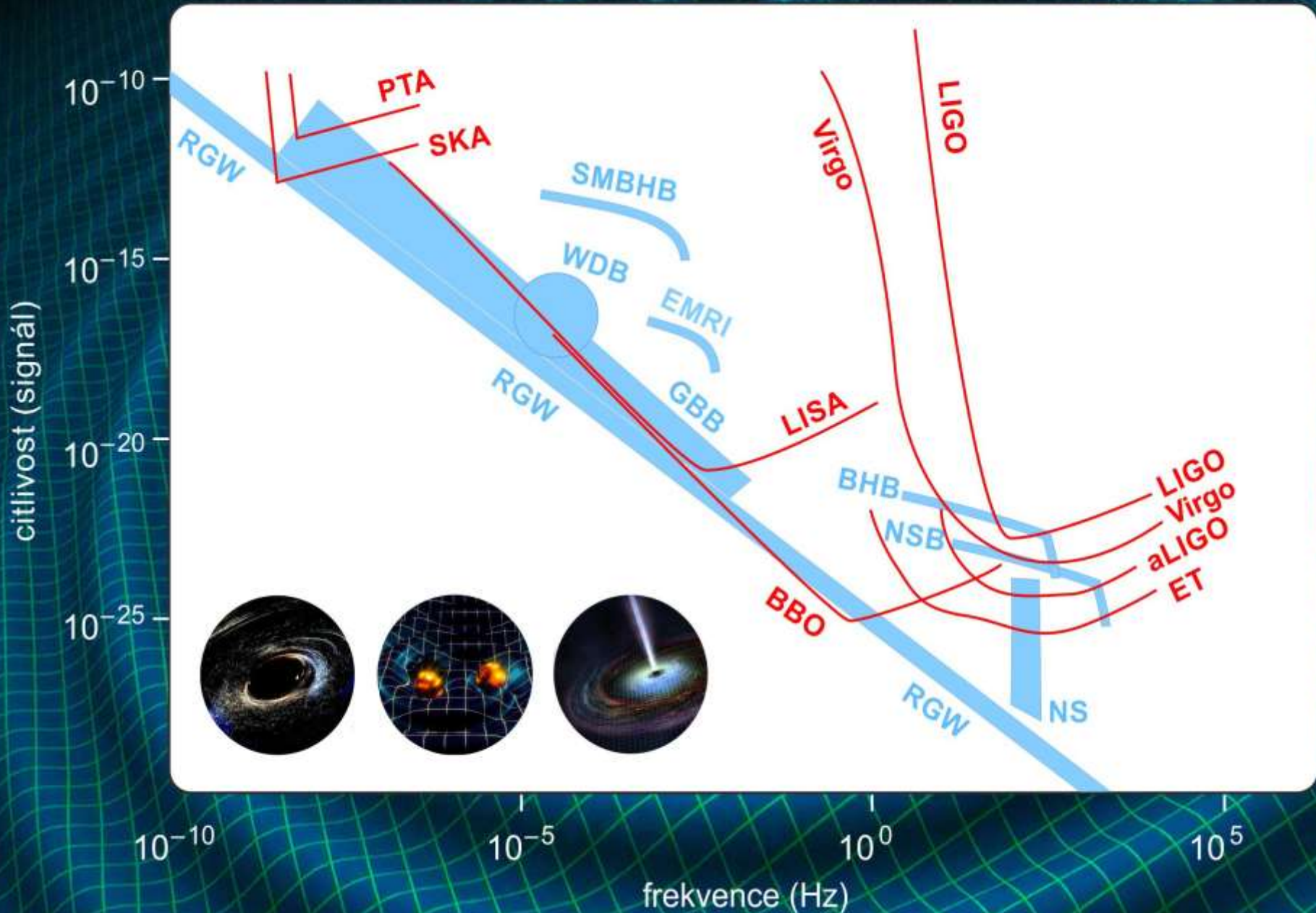
LISA – vlastní sonda



LISA – zajímavé zdroje



ZDROJE A DETEKTORY GRAVITAČNÍCH VLN



EINSTEIN TELESCOPE

gravitational wave observatory

CENTRAL FACILITY

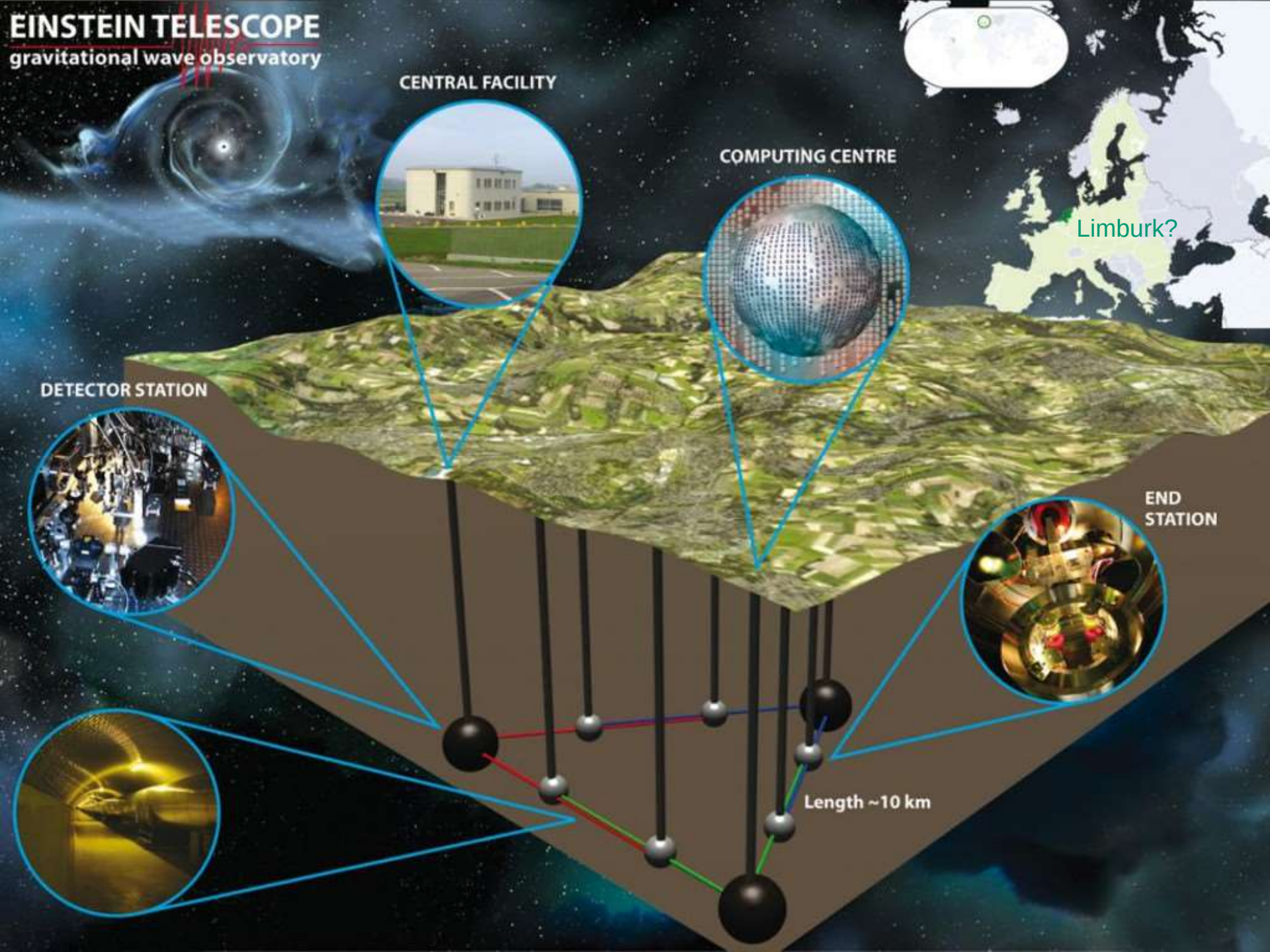
COMPUTING CENTRE

Limburk?

DETECTOR STATION

END STATION

Length ~10 km



BBO – Big Bang Observer

