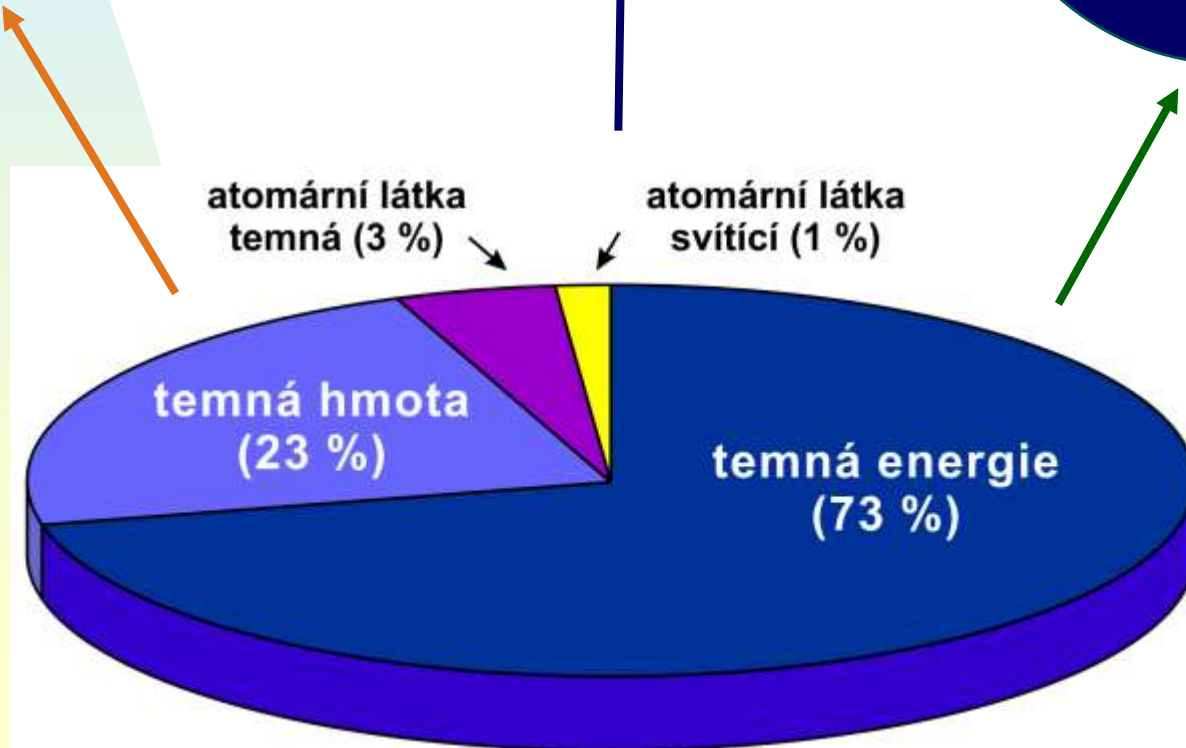
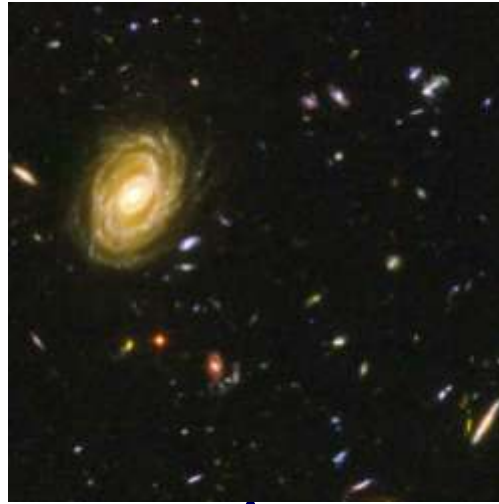
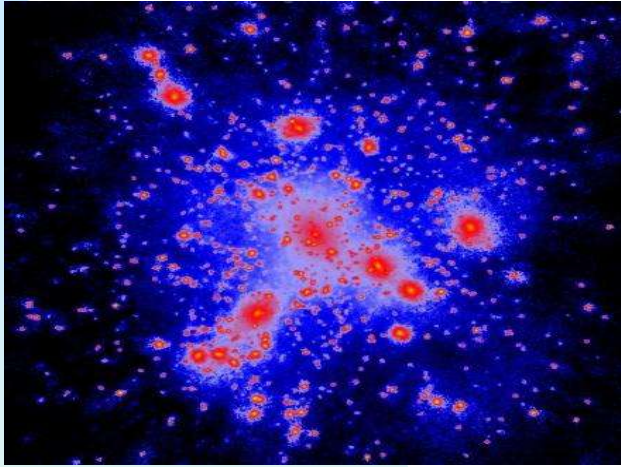


Temná hmota a temná energie

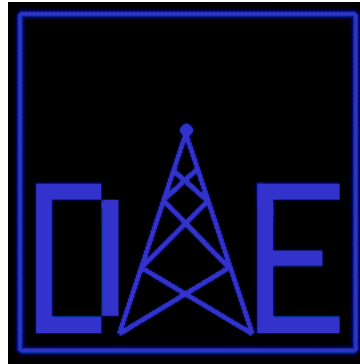
Složení vesmíru



Temná energie

SN Ia

velkorozměrová
struktura



reliktní
záření

Supernova SN 2002bo

Galaxie: NGC 3190

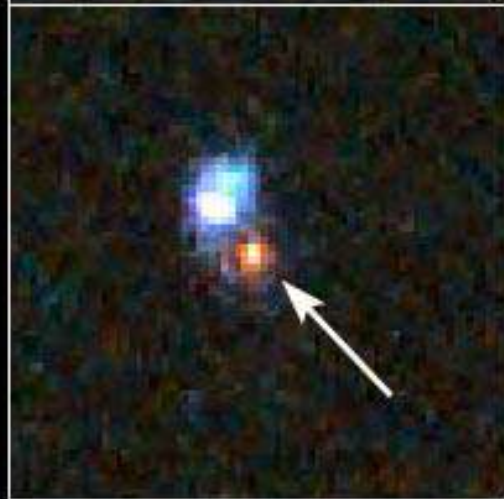
Vzdálenost: 20 milionů světelných roků

Fotografie byla pořízena 12. 3. 2002

Dalekohled: Asiago

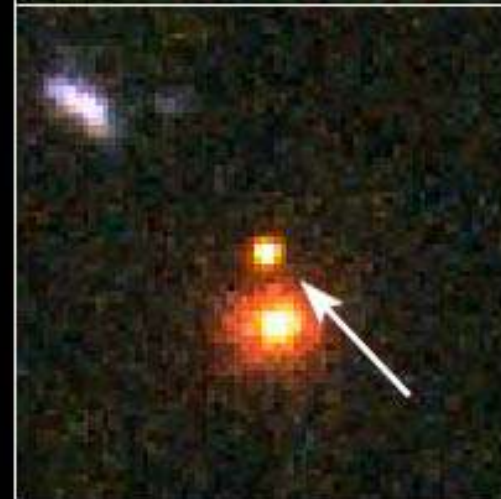
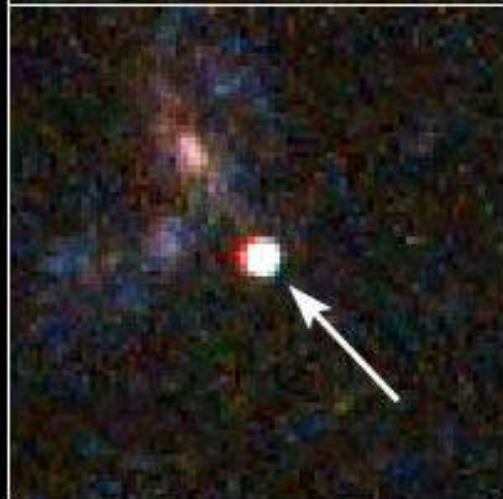


Distant Supernovae



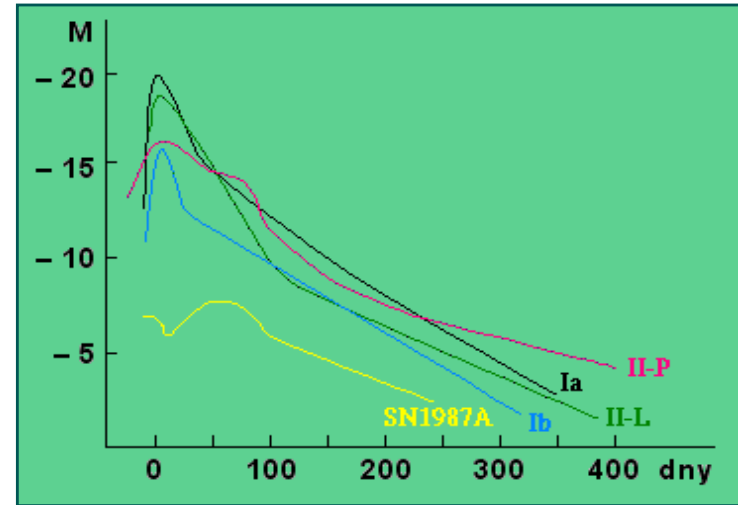
NASA and A. Riess (STScI)

Hubble Space Telescope - ACS



STScI-PRC04-12

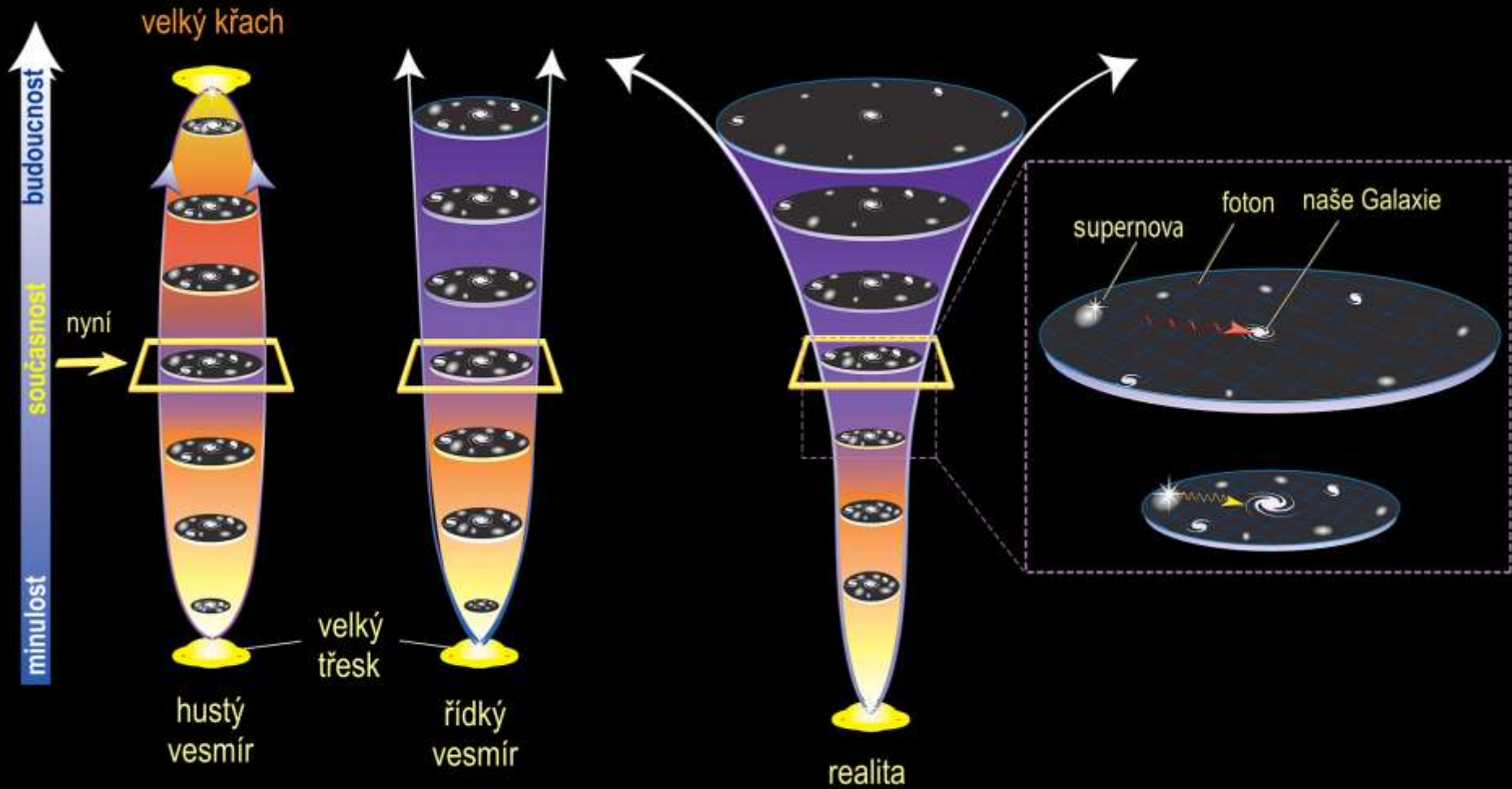
Experimenty – supernovy typu Ia



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.



kvantové
fluktuace

reliktní
záření

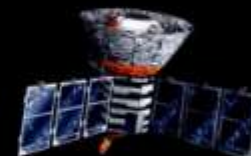
první
hvězdy

zrychlená
expanze

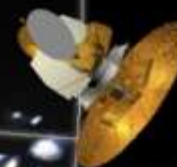
éra
záření

temný
věk

tvorba hvězd,
galaxií, planet, ...



COBE



WMAP



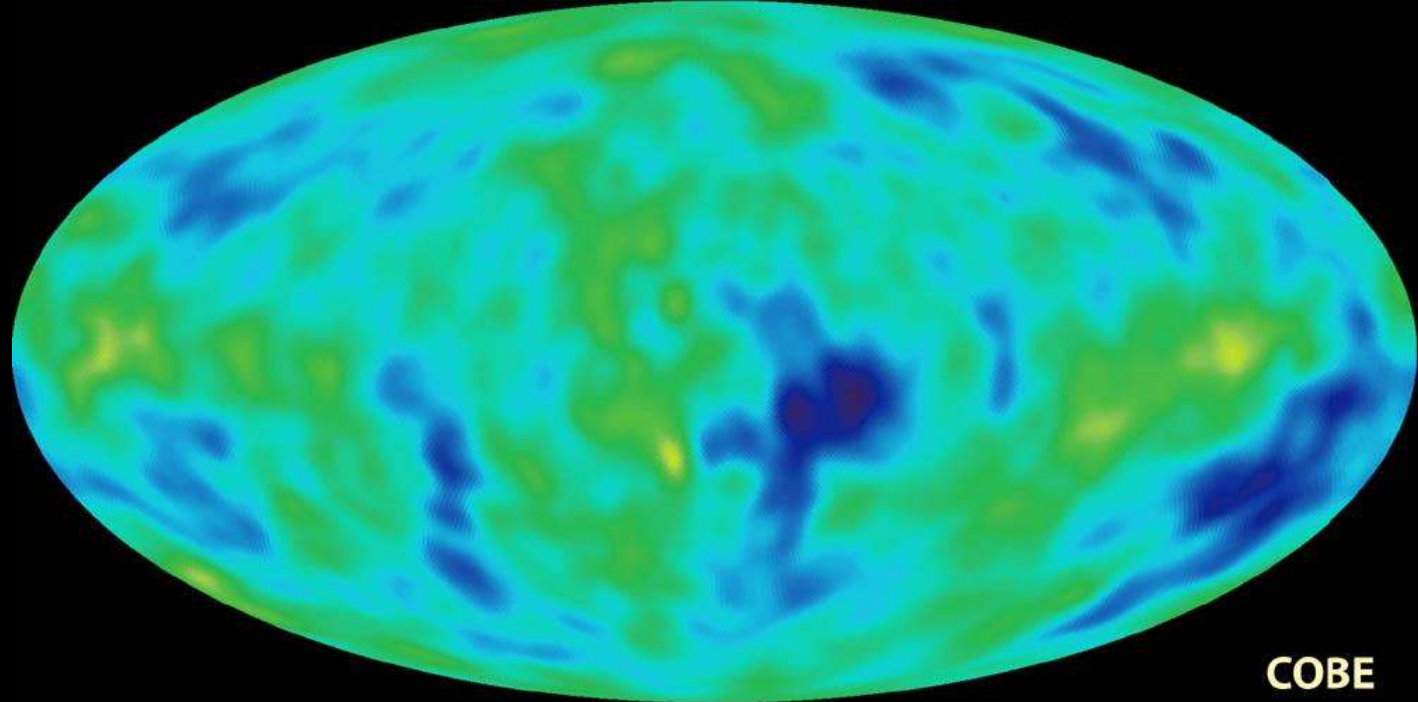
Planck

éra
látky

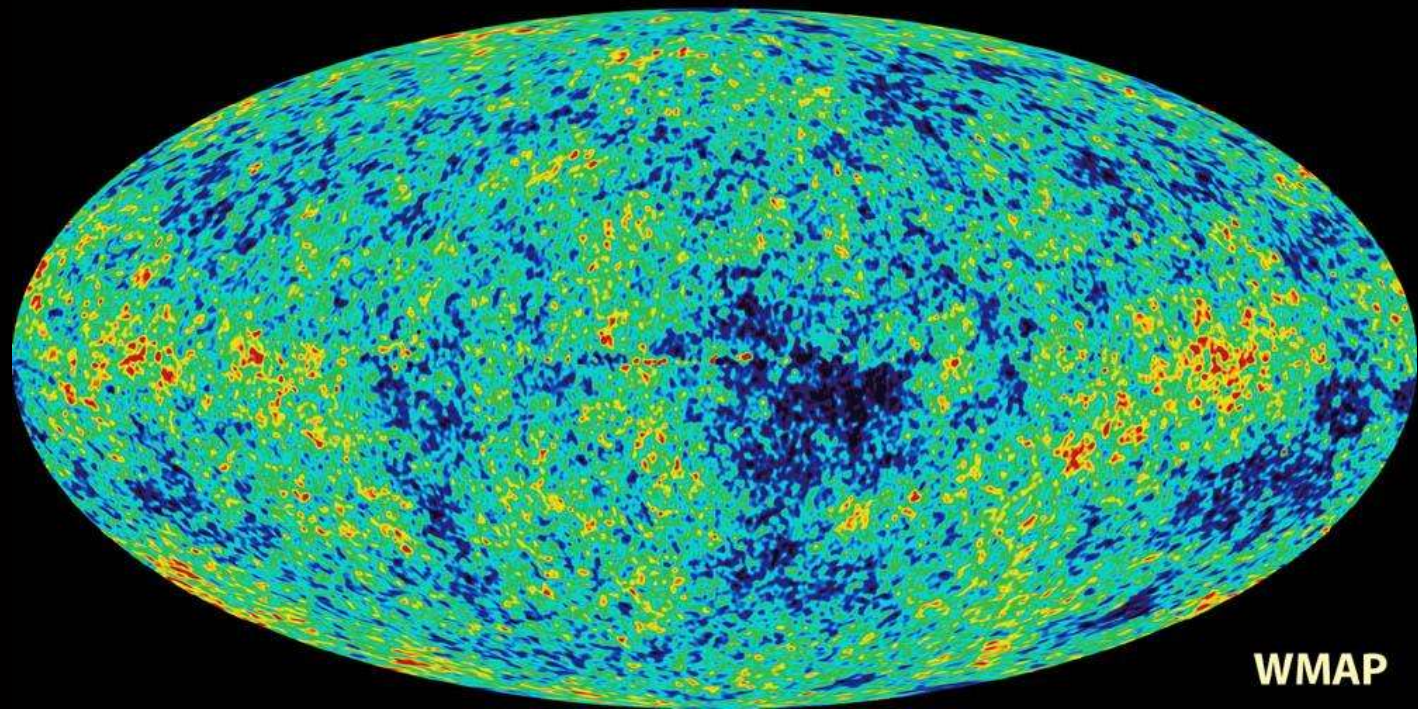
éra temné energie

13,7 miliardy let existence vesmíru





COBE



WMAP

Experimenty – velkorozměrová struktura vesmíru

SDSS: Sloan Digital Sky Survey

Nadace Alfreda Pritcharda Sloana, založena 1934

Galaxie do 23. magnitudy na čtvrtině severní oblohy

500 miliónů galaxií: pozice, jasnost a barva

1 milión galaxií: spektra

Stanice SDSS: Nové Mexiko, Sacramento Mountains

Dalekohled: průměru primárního zrcadla 2,5 m.

2dF GRS (2 degree Field Galaxy Redshift Survey)

AAT: zrcadlo o průměru 3,9 metru

Spektrograf: 2dF

Místo: Austrálie, 1 150 m n. m.

spektra více jak 260 000 galaxií

pořídí naráz spektra 400 objektů

Velká stěna (1991)

Rozměry: 200×600 milionů l. y.

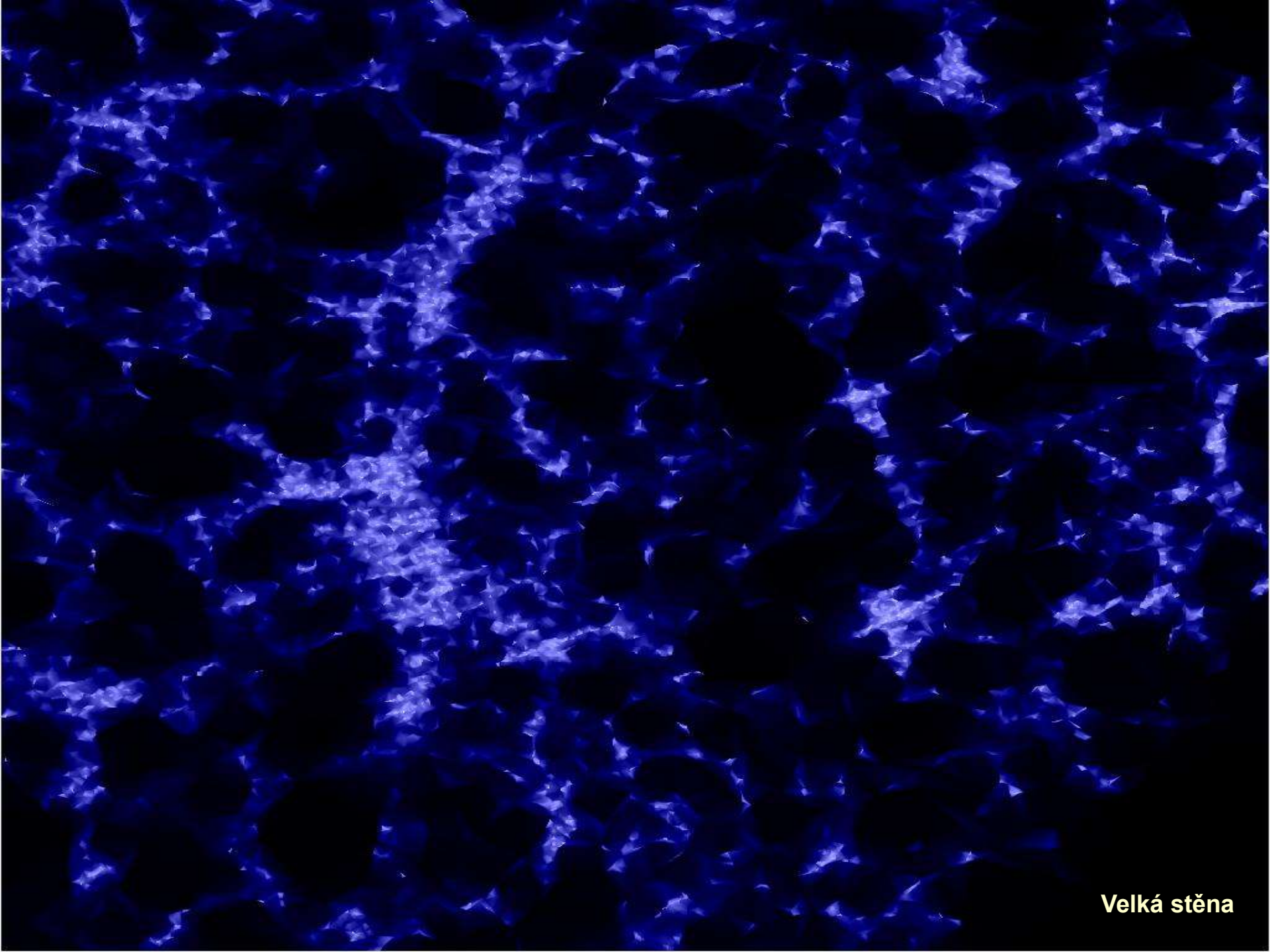
Tloušťka: 20 milionů l. y.

nadkupa ve Vlasech Bereniky

kupa v Herkulu



Přístroj pro přehlídku SDSS



Velká stěna

Kandidáti na temnou energii

vakuová energie

kvintesence



modifikovaná
gravitace

Vakuová energie?

- kvantové fluktuace polí
- virtuální páry částice-antičástice
- pole zajišťující narušení symetrií v přírodě
- $\rho \sim \text{const}$ (temná energie dominuje až nyní!)
- předpověď: 10^{108} eV^4 (standardní model)
- měření: 10^{-12} eV^4 (SN Ia, SDSS, fluktuace CMB)
- **extradimenze, superčástice?**

vakuum - netriviální dynamický systém
polarizace vakua
Lambův posuv
stínění náboje



Frank Wilczek: cosi nového je za dveřmi ...

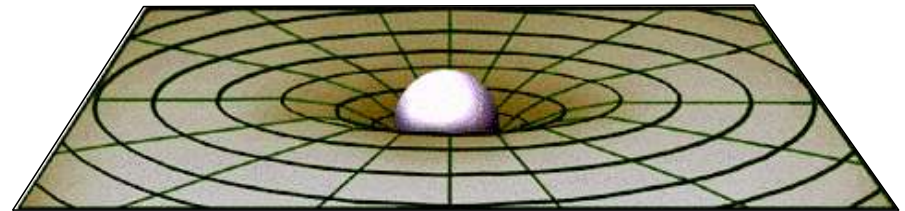
Kvintesence?



Modifikovaná gravitace?

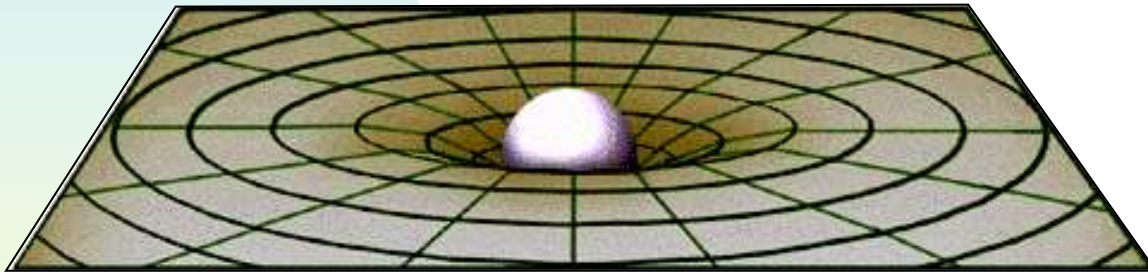


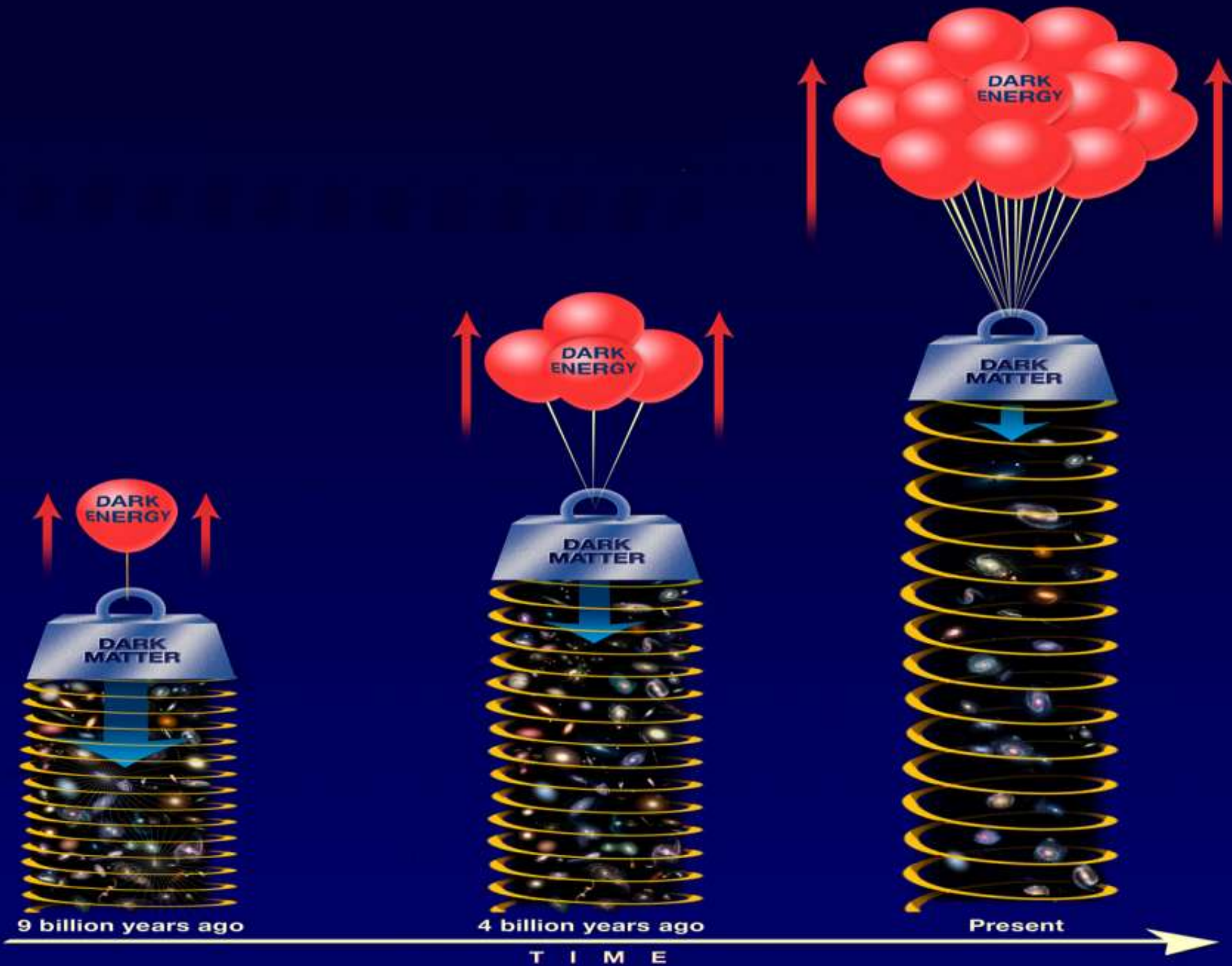
- zakřivení paprsků (1919)
- gravitační čočky (1979)
- stáčení perihelia planet
- gravitační červený posuv
- kosmologický posuv
- Lenseův-Thirringův jev
- gravitační vlny,
- černé díry,
- rozpínání vesmíru



Kandidáti – modifikovaná gravitace??

- zakřivení světelného paprsku v gravitačním poli (1,75" u povrchu Slunce),
- gravitační čočky (první objevena v roce 1979),
- stáčení perihelia planet (zejména Merkuru 43" za století),
- gravitační červený posuv,
- zpoždění elektromagnetického signálu,
- kosmologický červený posuv,
- Lenseův-Thirringův jev (strhávání souřadnicové soustavy),
- gravitační vlny,
- černé díry,
- rozpínání vesmíru,
- neukleidovská geometrie časoprostoru.



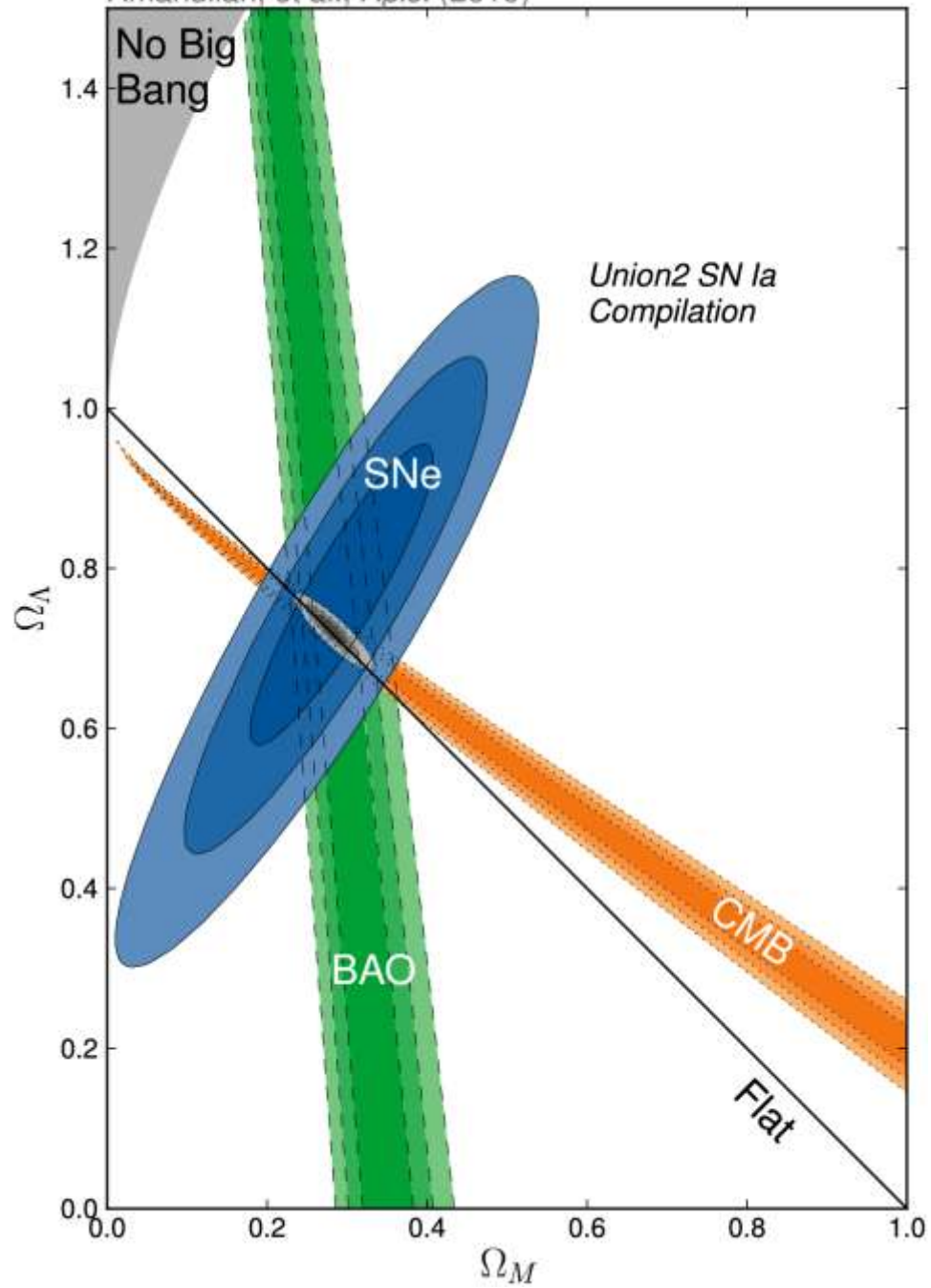


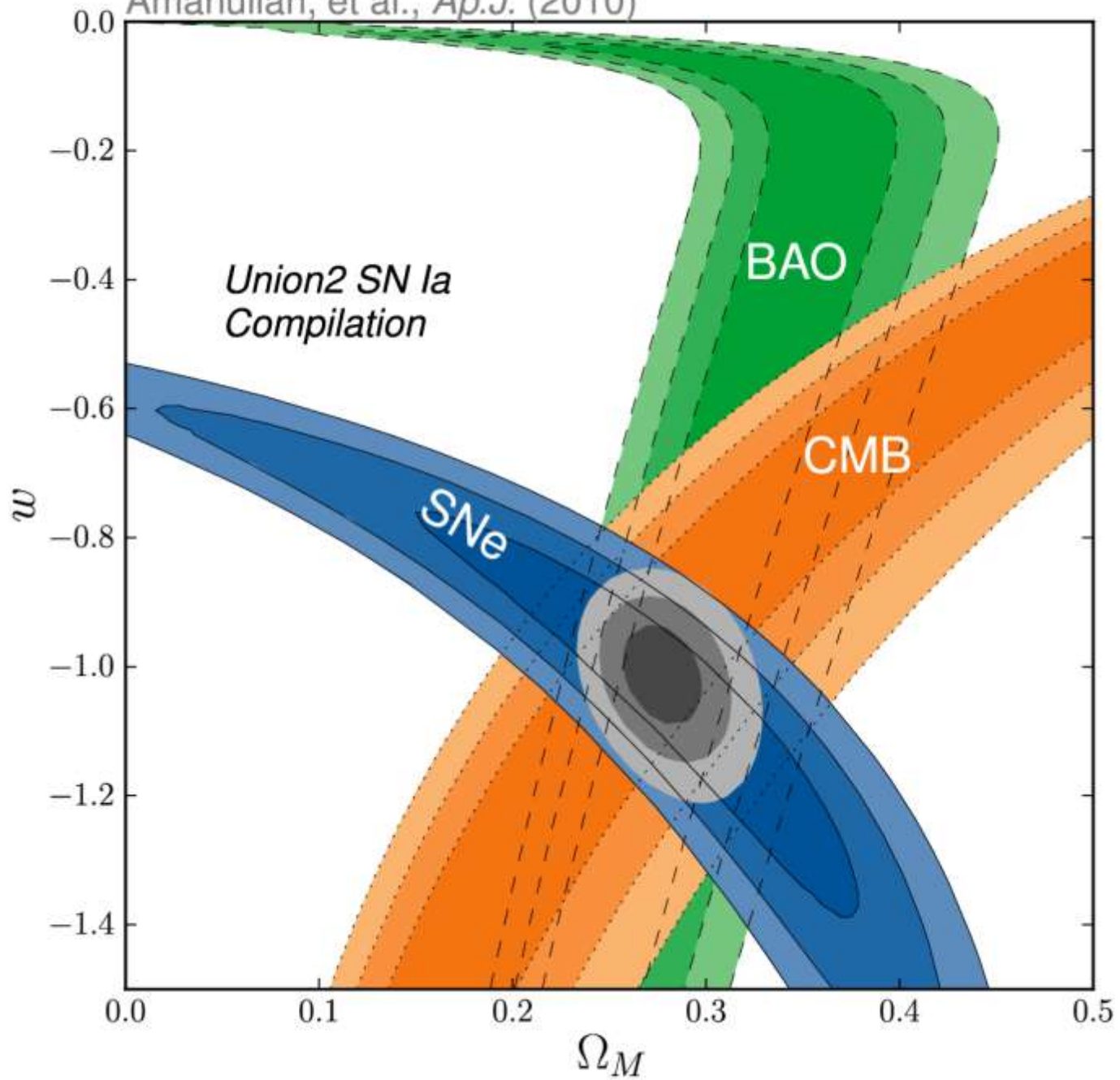
SCP (Supernova Cosmology Project (2010))

SNe – supernovy typu Ia. Autoři projektu shromáždili veškerá dosud naměřená data, z 719 měření bylo 557 použitelných. Tato část projektu se označuje SNe (Supernovae).

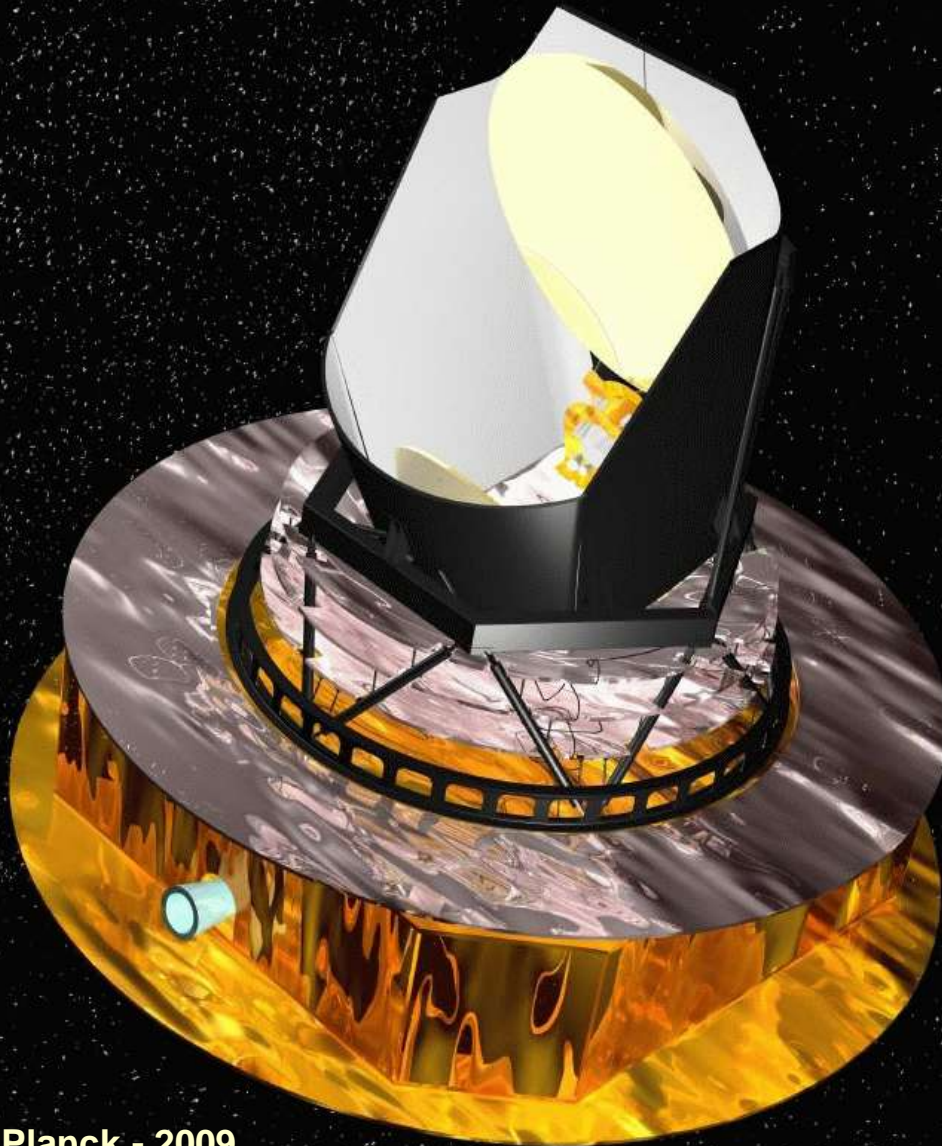
CMB – fluktuace reliktního záření. Analýzou fluktuací reliktního záření (CMB, Cosmic Microwave Background) byly zjišťovány oblasti možných kosmologických parametrů našeho Vesmíru.

BAO – baryonové akustické oscilace. Analýzou dat z celooblohových přehlídek je možné detekovat velkorozměrové struktury, do nichž se vyvinuly prvotní fluktuace pozorované v reliktním záření. Tyto fluktuace záření ovlivnily látku, ve které vznikly tzv. baryonové akustické oscilace a z nich později velkorozměrové struktury. Tato část projektu nese označení BAO (Baryonic Acoustic Oscillations).

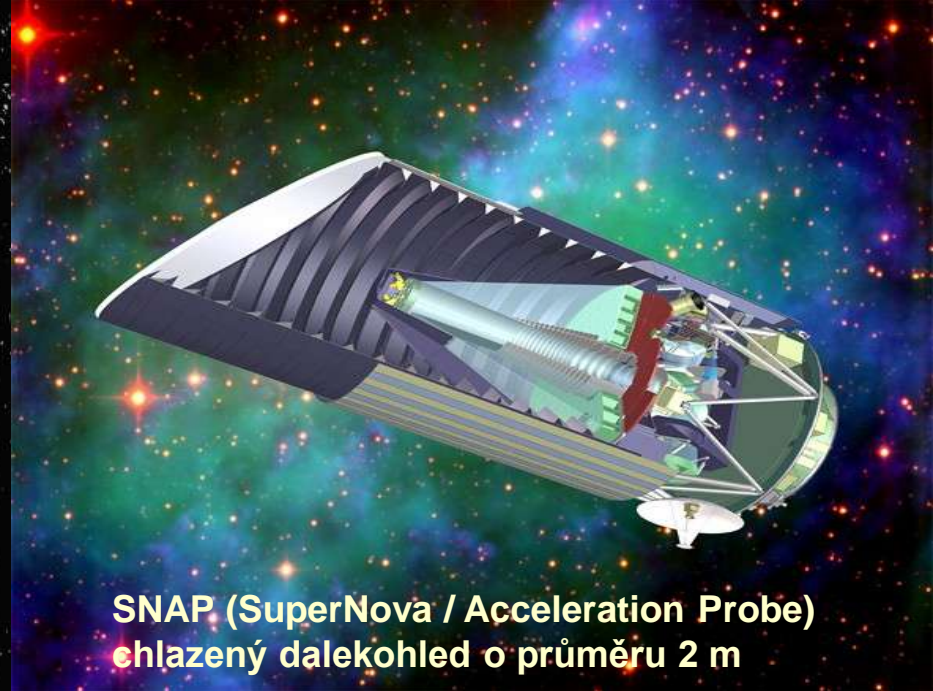




Budoucnost



Planck - 2009
přesnost 0,17°



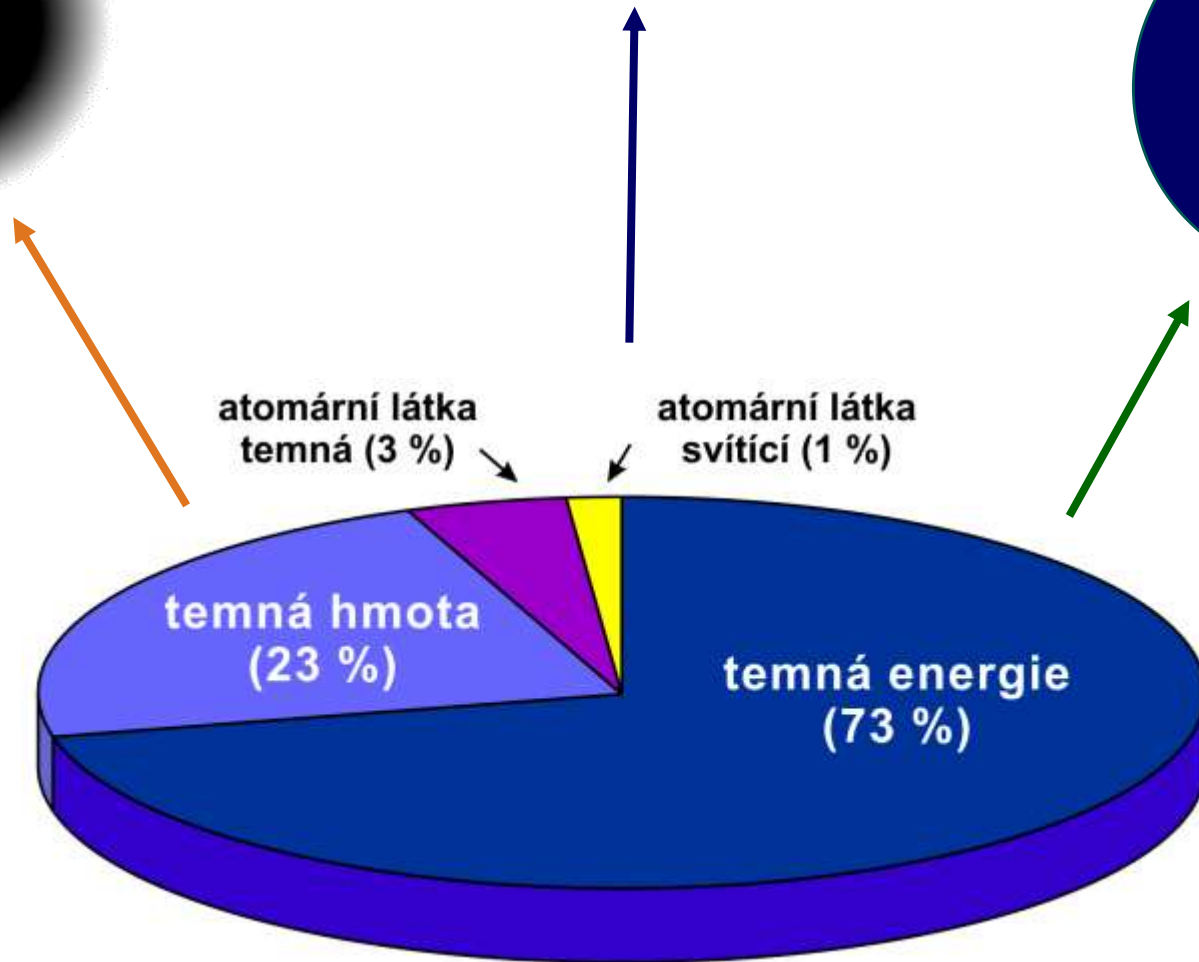
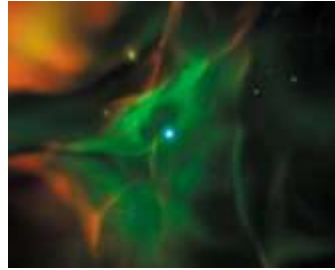
SNAP (SuperNova / Acceleration Probe)
chlazený dalekohled o průměru 2 m



LHC – 2009
14 TeV/nukleon

Temná hmota (23 %)

Složení vesmíru

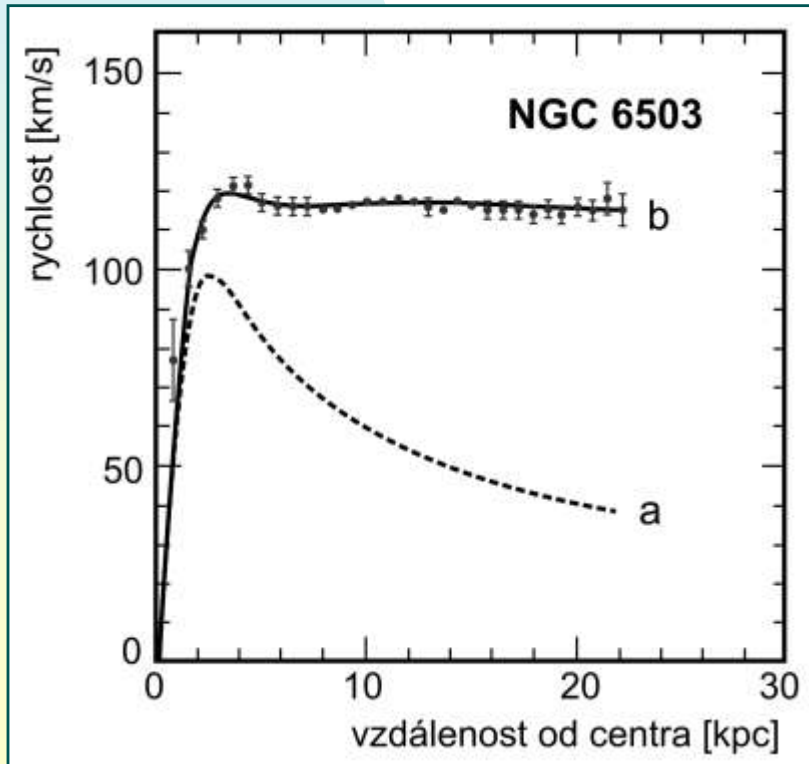


Temná hmota

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



Fritz Zwickey (1898-1974)

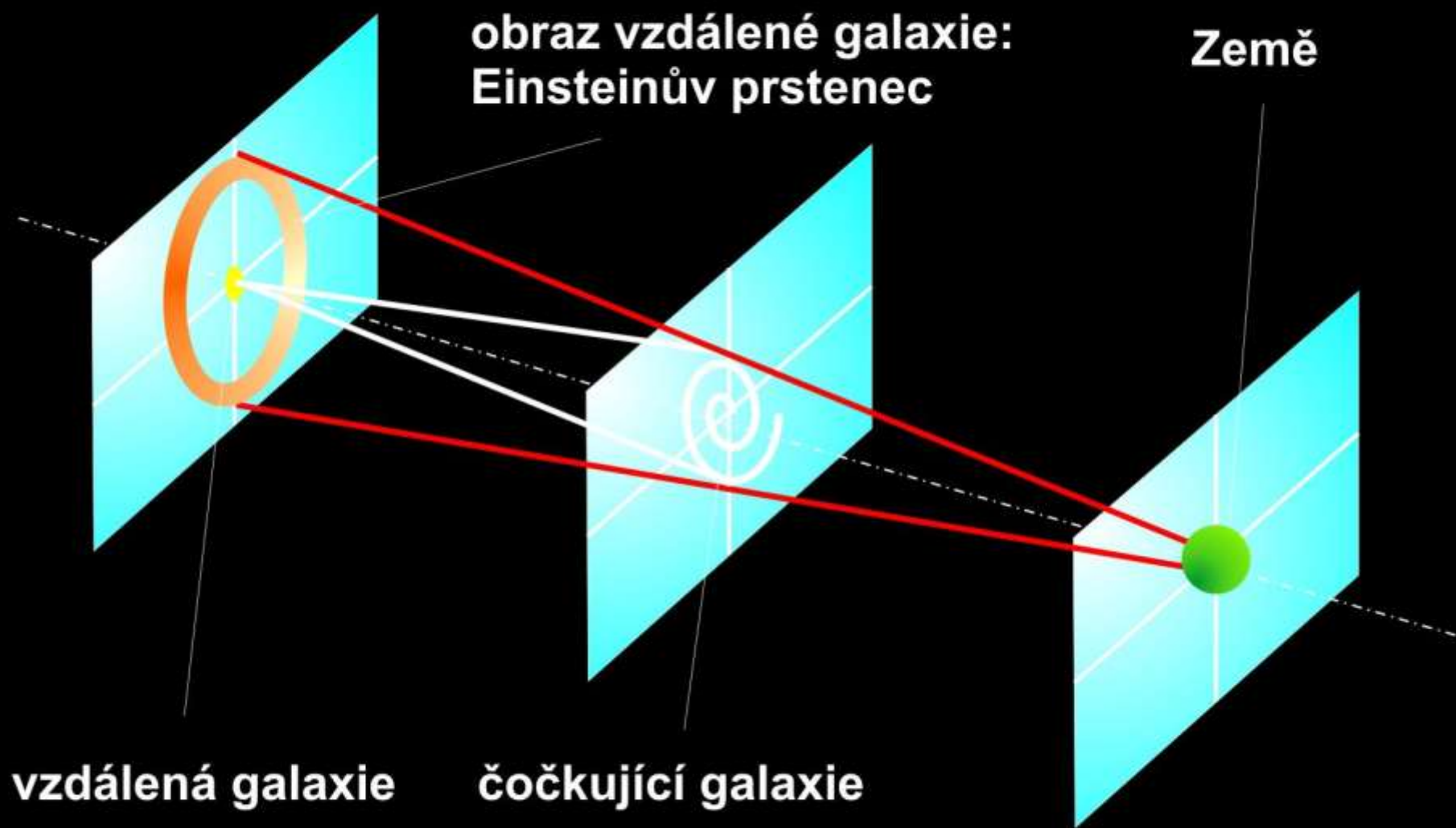


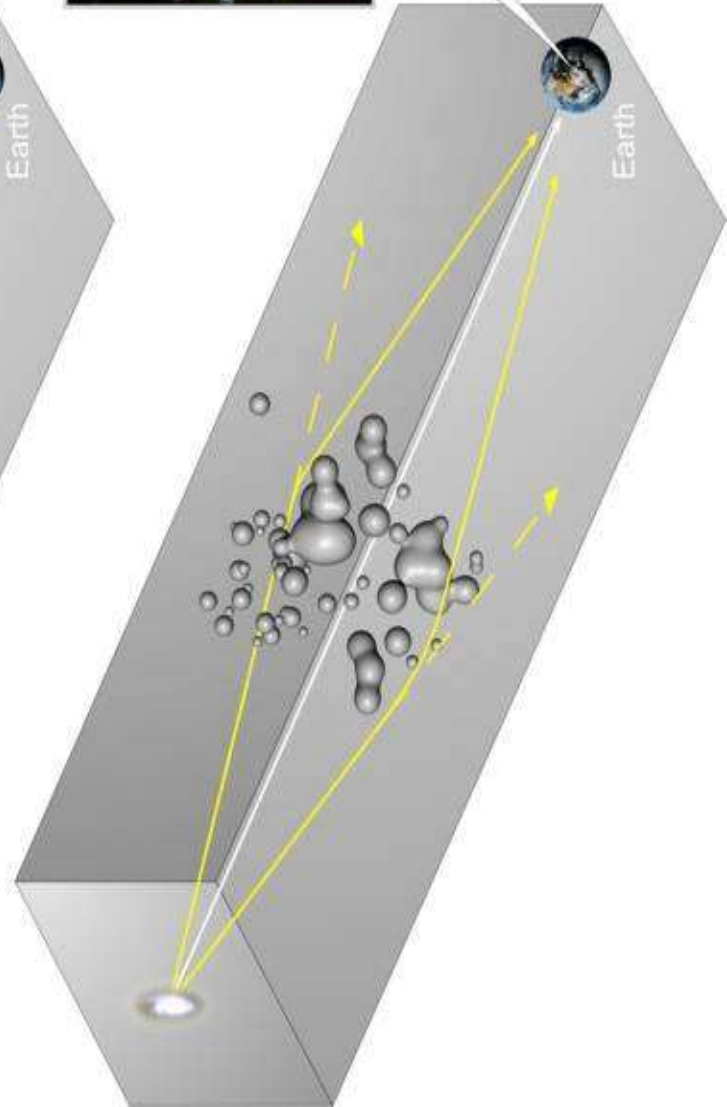
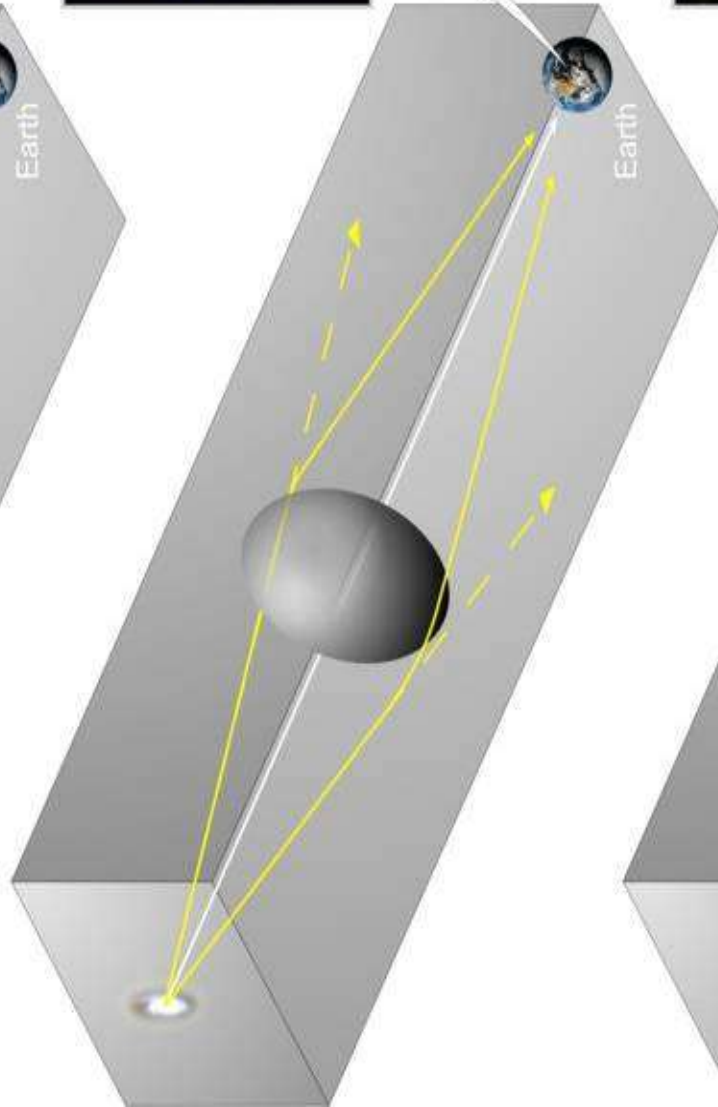
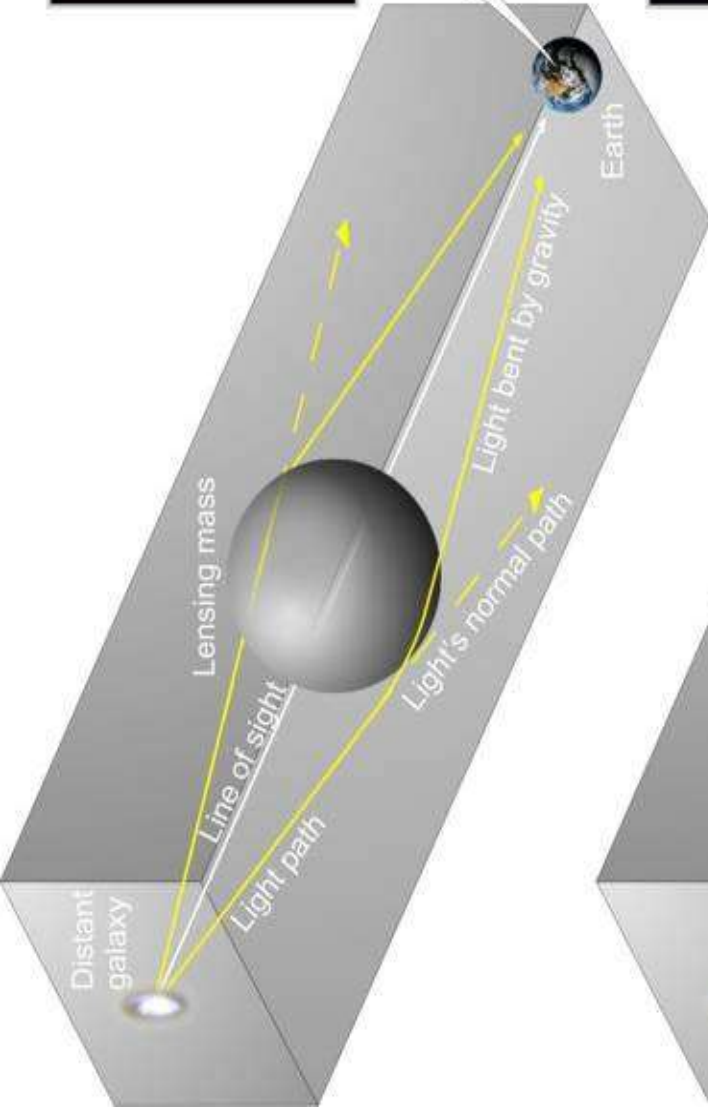
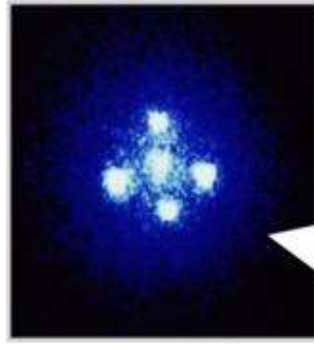
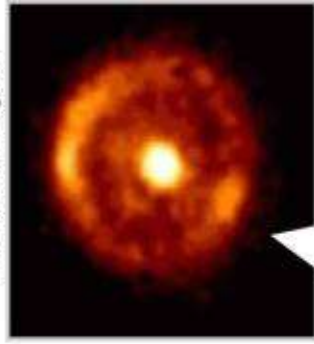
**obraz vzdálené galaxie:
Einsteinův prstenec**

Země

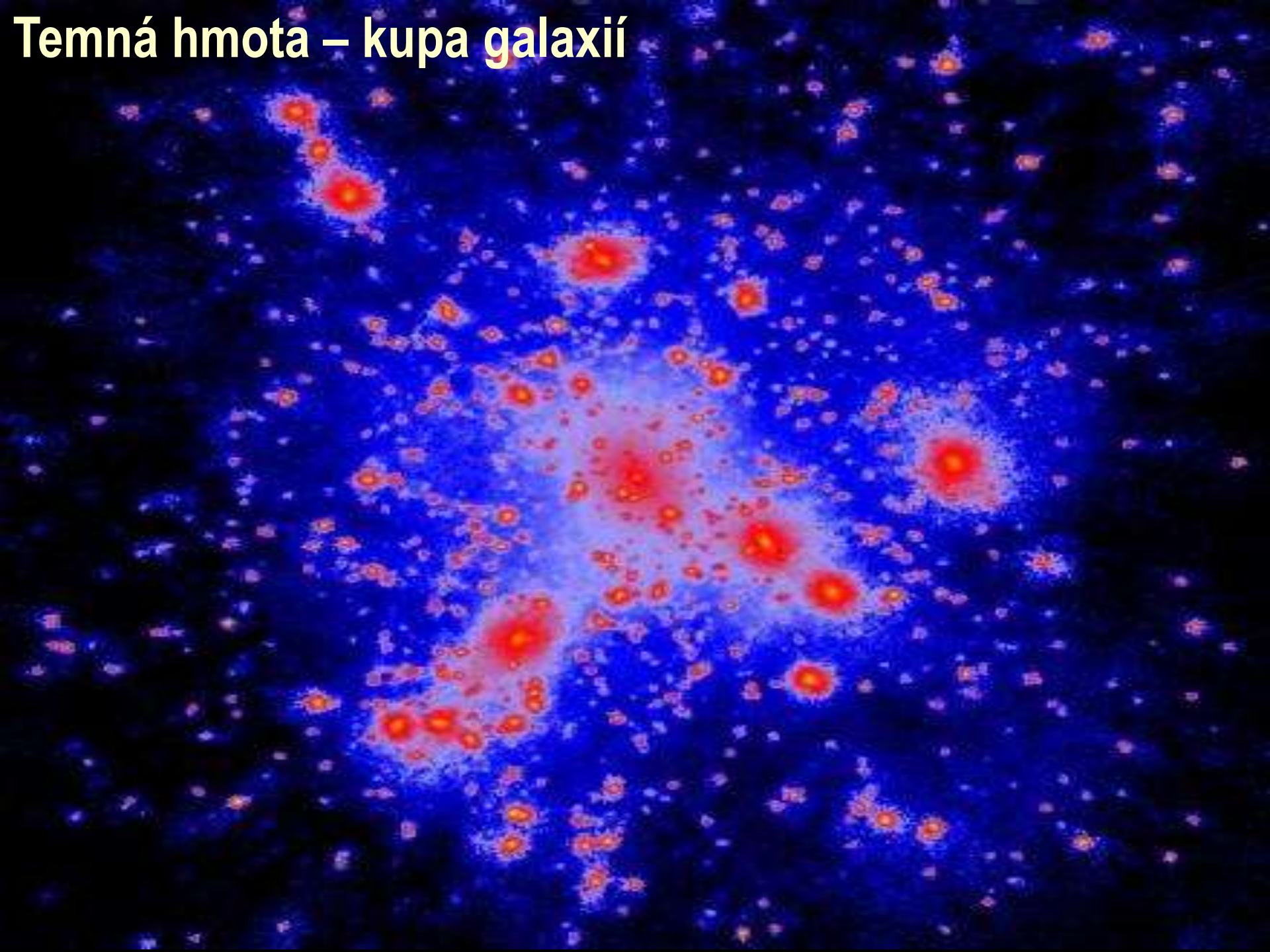
vzdálená galaxie

čočkující galaxie

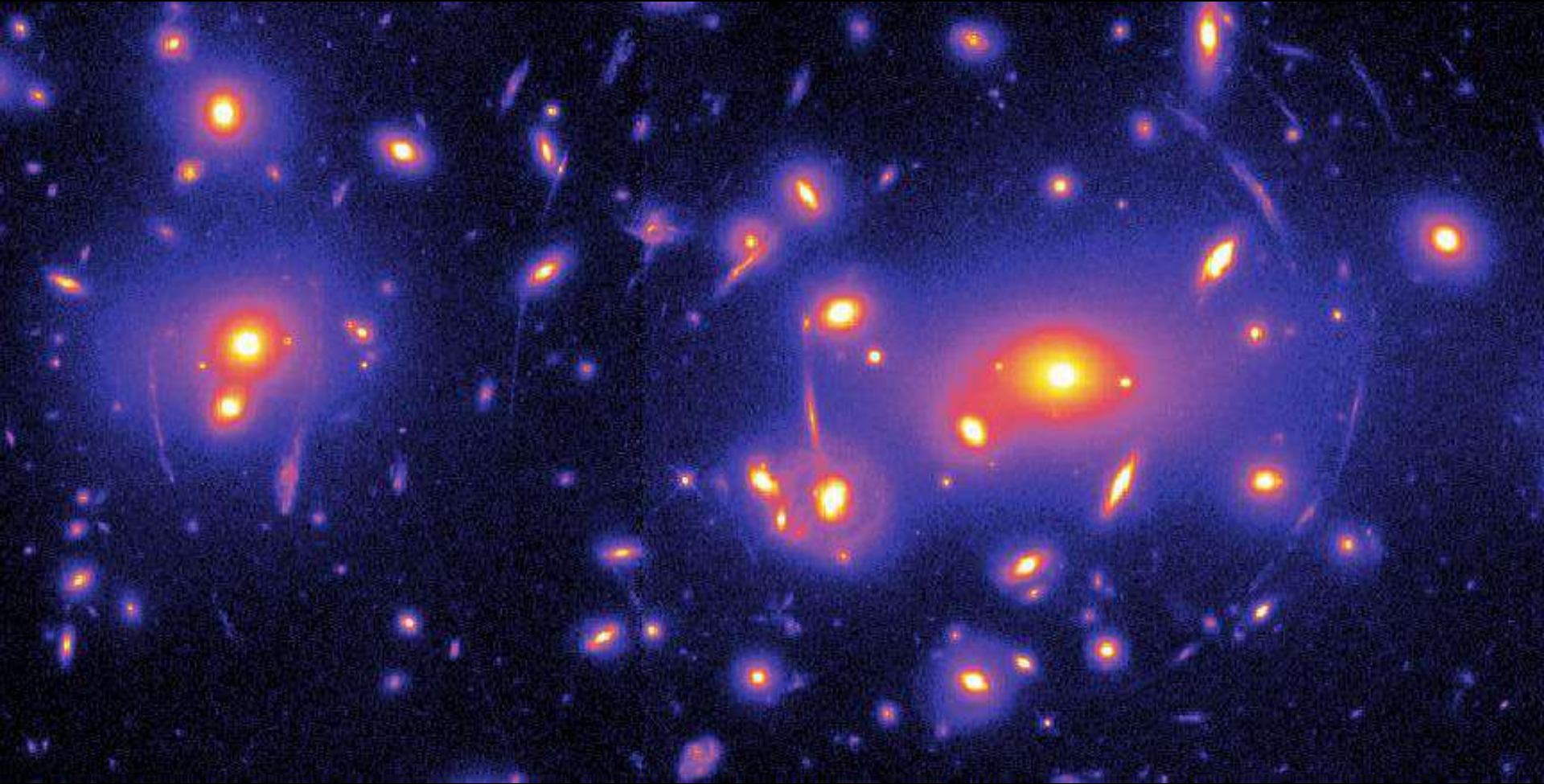




Temná hmota – kupa galaxií

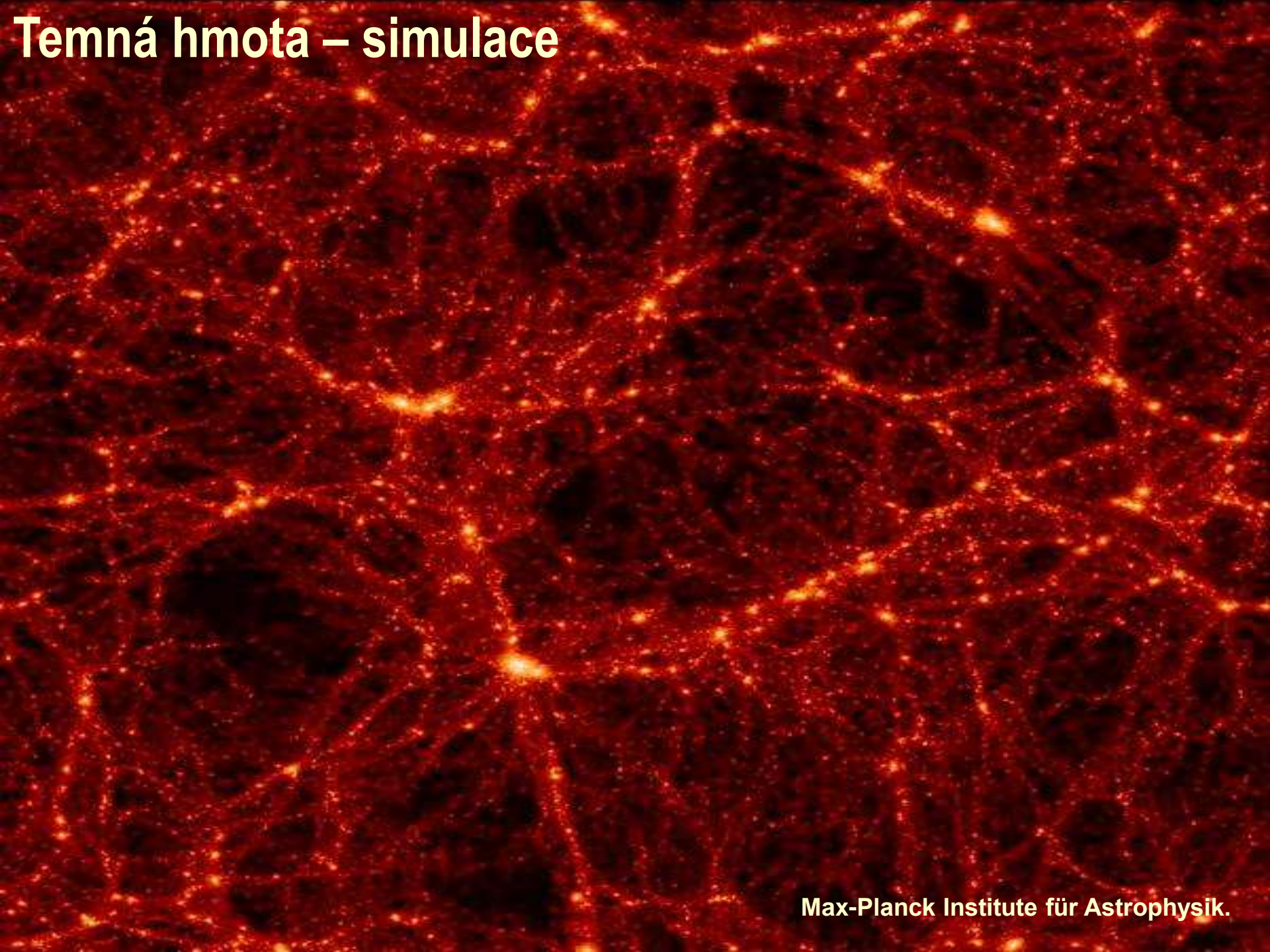


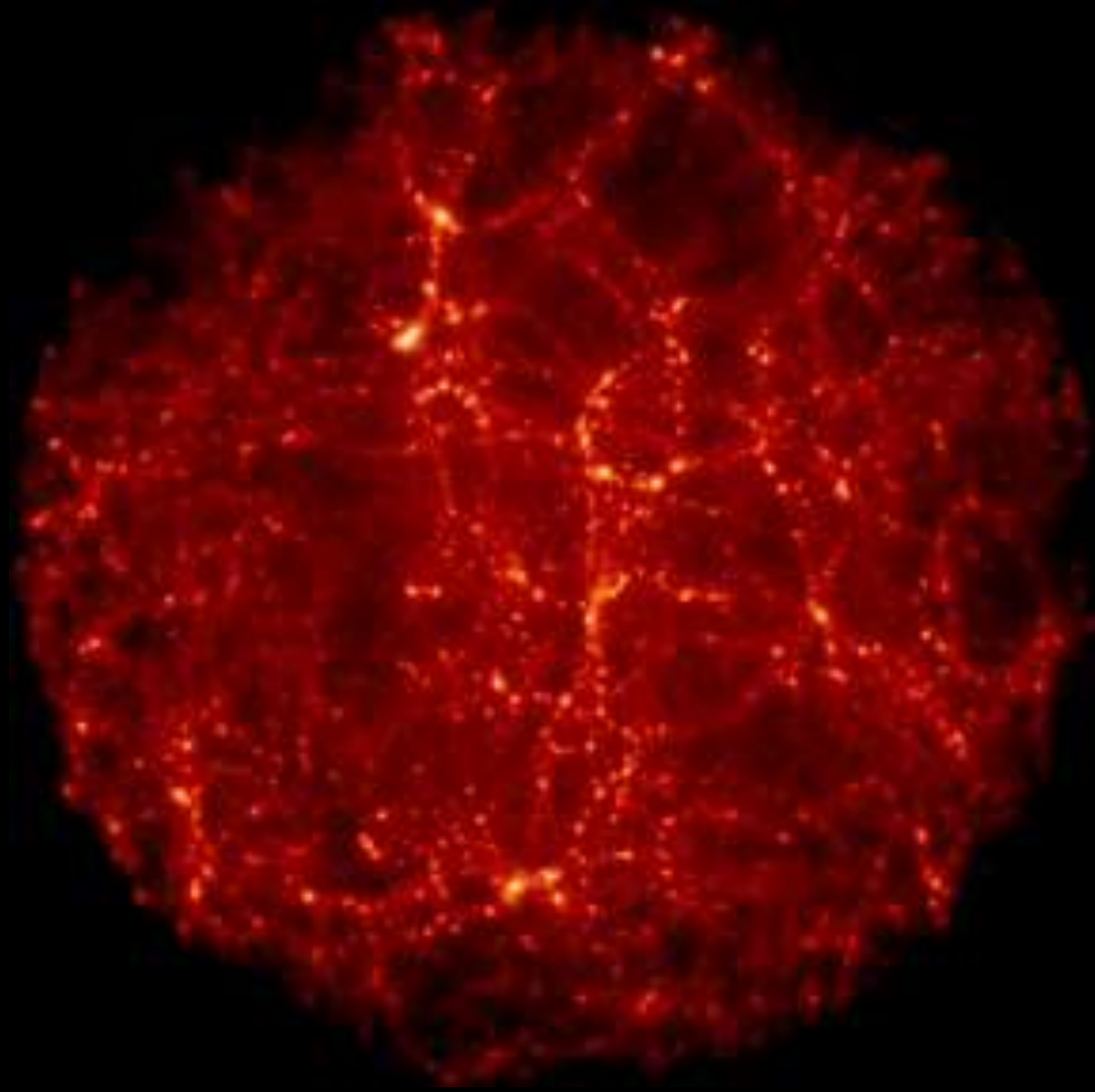
Temná hmota – kupa galaxií



Obrázek gravitačně čočkové kupy galaxií pořízený HST byl zpracován v roce 2005 speciální technikou na univerzitě v Yale. Z efektu gravitačních čoček na jednotlivé členy kupy byla dopočtena temná hmota, která v kupě musí být. Na obrázku je zobrazena modrou barvou. Je vidět, že obklopuje jednotlivé galaxie v kupě.

Temná hmota – simulace





- **CDM (Cold Dark Matter)** - chladná temná hmota. Tvoří většinu temné hmoty. Každá malá porucha rozložení hustoty přitahuje pomalé částice CDM a ty ji ještě prohlubují. Vznik struktur „*zdola nahoru*“.

- **HDM (Hot Dark Matter)** – horká temná hmota, menší část, jinak by zabránila vytvoření struktur ve vesmíru. Částice HDM by jakoukoli malou poruchu v rozložení hmoty velmi záhy vyhladily. Vesmír s HDM proto může struktury tvořit jen „*shora dolů*“.

Temná hmota

Nebaryonová (23%)

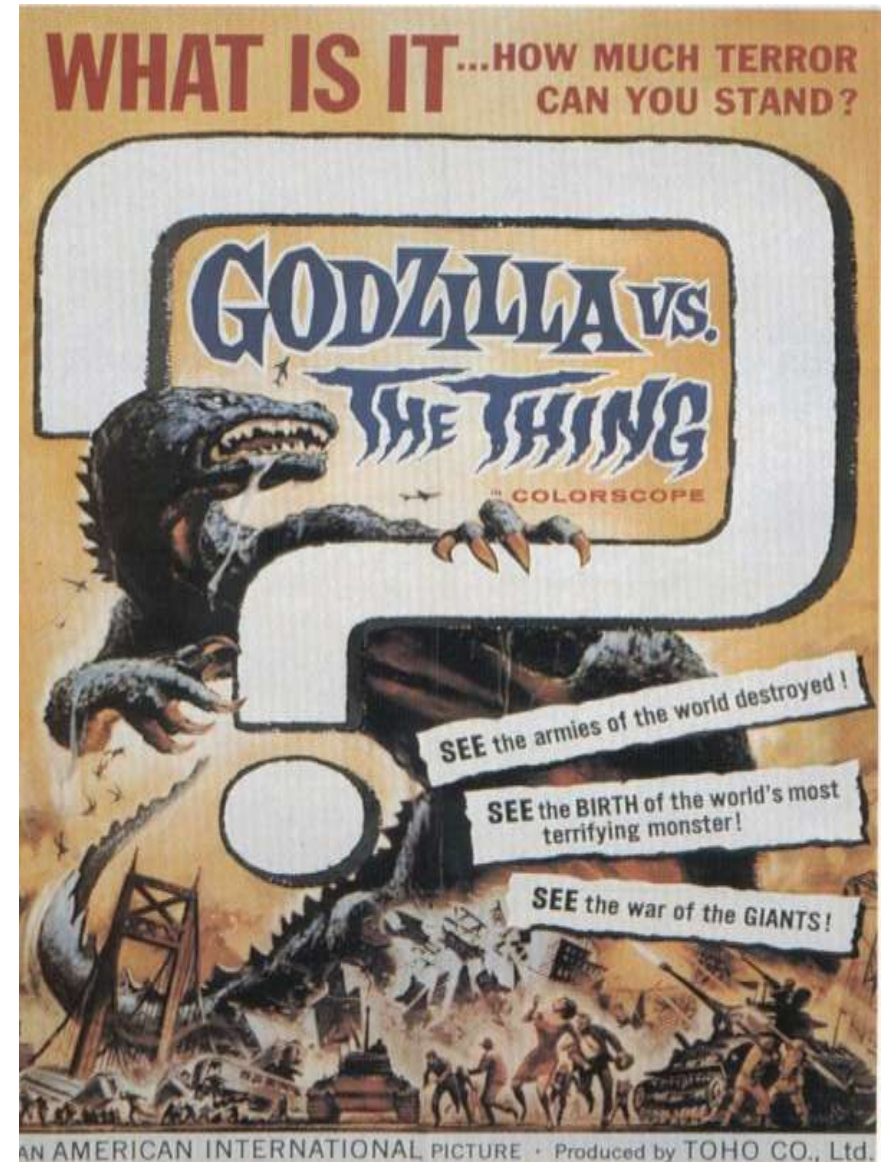
- neutrino (HDM)
- wimpsy (CDM)
- wimpzilly (CDM)
- axiony (CDM)

Baryonová (3%)

- bílí trpaslíci
- neutronové hvězdy
- červení trpaslíci
- černé díry
- objekty planetárního typu
- machos

Nebaryonová temná hmota

- **Neutrino.** Objev 1956. Oscilace 1998. $300/\text{m}^3$. Oddělení v 1 sec po Velkém třesku. Max 2% celkové hustoty hmoty-energie. HDM
- **Wimpy** (Weakly Interacting Massive Particles). Reliktní levotočivé superčástice. Více jak 50 GeV. $500/\text{m}^3$. Tok $10\,000/\text{cm}^2\text{s}$, 220 km/s, s-neutrino (neutralino). CDM.
- **Wimpzilly.** Hmotnější verze wimpsů, poinflační relikty. Hmotnost stomiliardkrát vyšší než je hmotnost atomu, tedy 10^{12} GeV až 10^{16} GeV. Snadnější detekce. Rainer Dick, Edward Kolb a Pasquale Blasi . CDM.
- **Axiony.** Souvisí s nenarušením CP symetrie v silné interakci. Předpověděl Frank Wilczek. CDM.



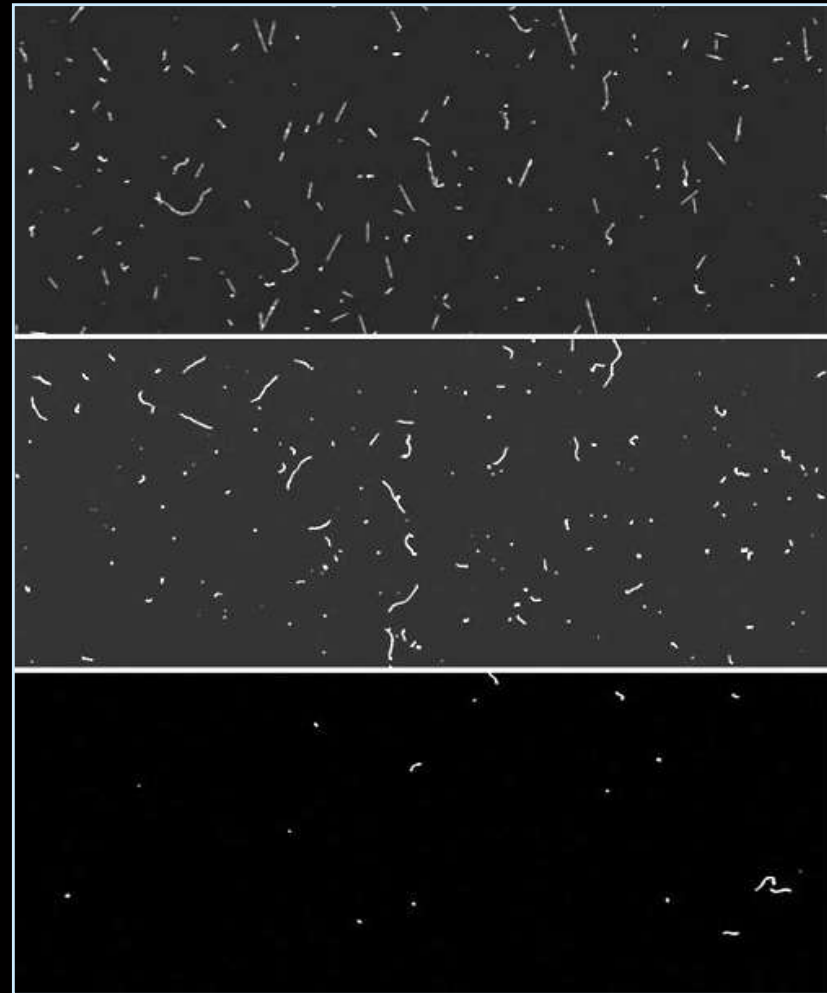
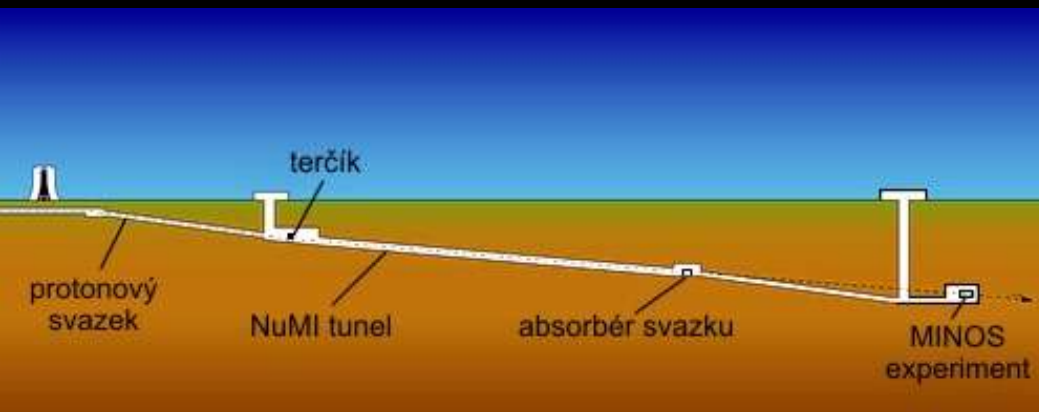
Wimpy – poslední superpartneři?



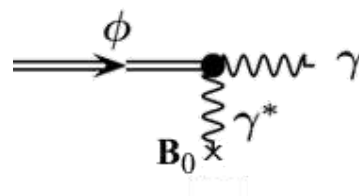
DAMA/LIBRA



DAMIC, Fermilab – wimpy



Axiony



Málo hmotné bosony se spinem 0 postulované kvantovou chromodynamikou. Souvisí s narušením Peccei-Quinnovy symetrie v silné interakci. Navrženy Frankem Wilczekem v roce 2004. Jsou jedním z kandidátů na temnou hmotu. Interagují především slabou interakcí.

CAST (Cern Axion Solar Telescope)

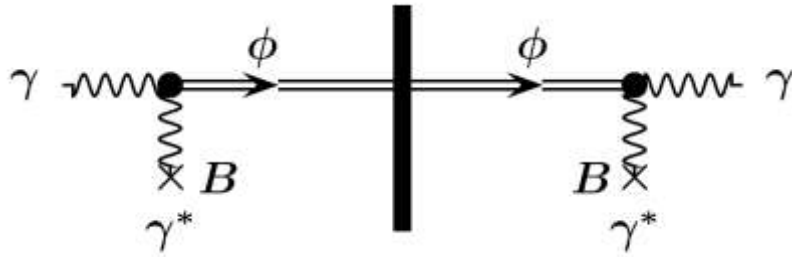
Hledání axionů přicházejících ze Slunce. Primakovův jev. Magnet 9 T, délka 10 m (LHC), detektory ABRIXAS. Svisle pohyb $\pm 8^\circ$, vodorovně $\pm 40^\circ$. Axiony nepozorovány. 1,5 h ráno a večer.



Frank Wilczek (1951)



Axiony



VUV - FEL (Vacuum UltraViolet - Free Electron Laser)

Experiment připravovaný v DESY (Deutsches Elektronen SYNchrotron) v Německu. Znovuobjevení světla za stěnou.

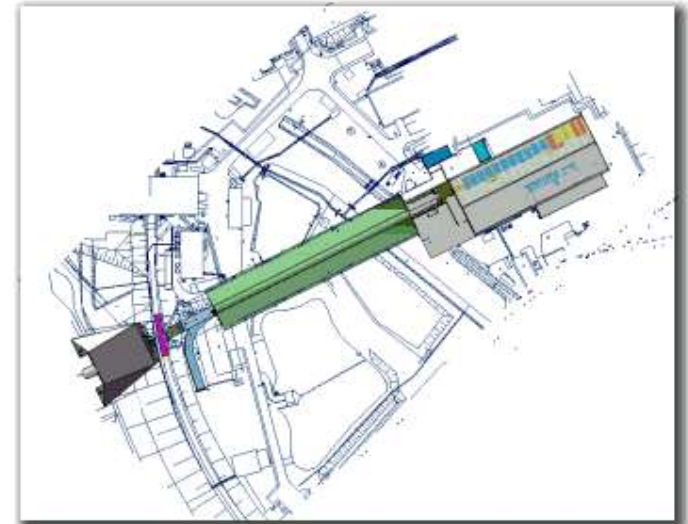
12 dipólových magnetů, každý 2.24 T (6+6),
 $BL = 27.66 \text{ Tm}$. Laser laditelný od XUV po měkké RTG.
Postaví před laboratoří, nevejde se tam.

Nový název (6.4.2006):

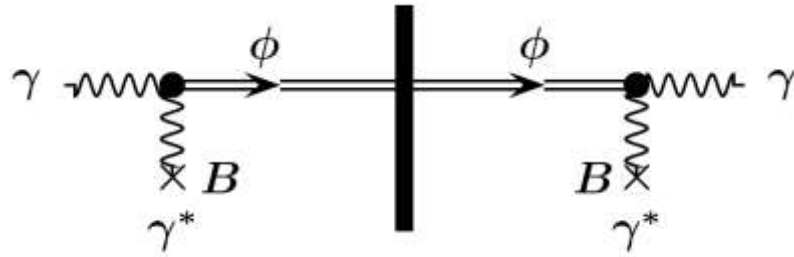
FLASH (Free-electron LASer in Hamburg)

Další název (2007):

ALPS (Axion Like Particle Search)



Axiony



3C 279

2007: Malcolm Fairbairn z CERNu, Timur Rashba z MPI a Sergey Troitsky z RAS – nový experiment

Kvazar je každý říjen na spojnici kvazar–Slunce–Země a dochází tedy k jeho zákrytu Sluncem. Lokální mg pole na povrchu Slunce fotony konvertuje na axiony a zpět. Podle PVLAS 2 % fotonů projdou. GLAST

