

CO ŘÍKAJÍ

VZDÁLENÉ SUPERNOVY

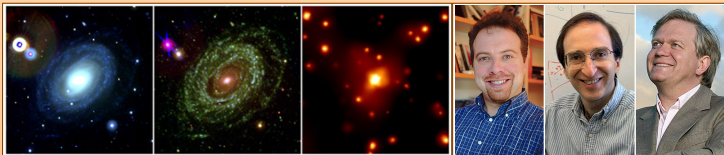
aneb Nobelova cena za fyziku pro rok 2011

Lukáš Richterek

lukas.richterek@upol.cz

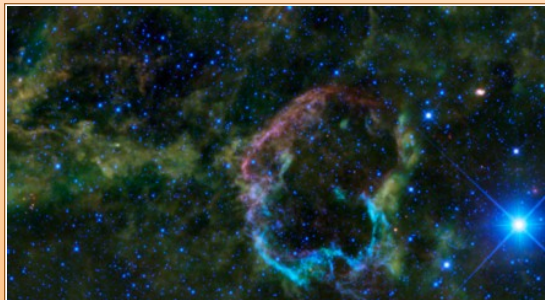
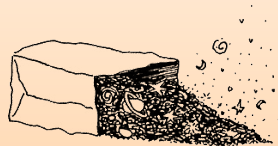
Katedra experimentální fyziky PŘF UP

17. listopadu 1192/12, CZ-771 46 Olomouc



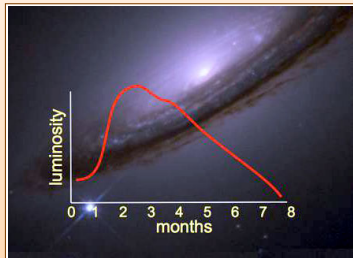
- 1 Supernovy
- 2 Standardní kosmologický model
- 3 NC za fyziku 2011
- 4 Supernova Cosmology Project
- 5 Co s toho plyne a jak si to vysvětlujeme...

THE BIG BAG

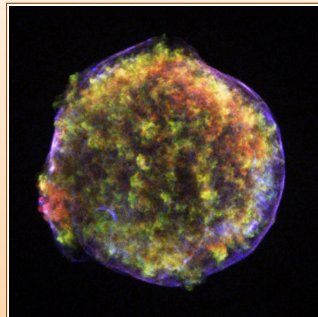
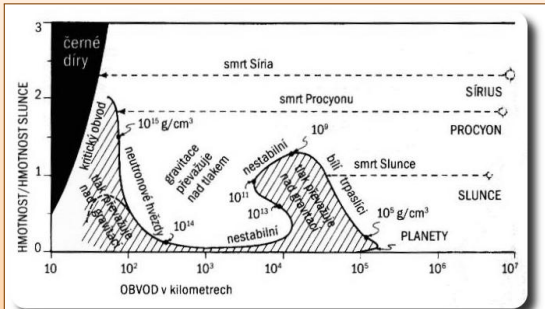


Supernovy

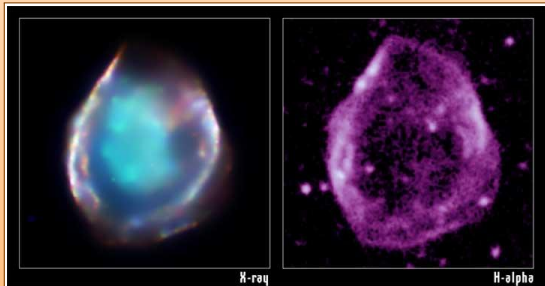
- výbuch hmotné hvězdy v závěrečném stadiu spojený s explozivní nukleosyntézou
- více jak $1 \cdot 10^9 \times$ vzroste jasnost ($1000 \times$ a více než u nov)
- vyvržený materiál rychlostí $10\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, v Galaxii $1 \times$ za 30 y často skryto prachem
- výsledek = obálka + neutronová hvězda (nebo černá díra)
- Chandrasekharova mez: $1,4 M_{\odot}$
- Typ I: bílý trpaslík v těsné dvojhvězdě, spektrum bez H
- Typ II veleobr s hmotností $> 8 M_{\odot}$
- odhad uvolněné energie $\approx 1 \cdot 10^{45} \text{ J}$ (elektrárny v roce 2006 $1 \cdot 10^{12} \text{ J}$)



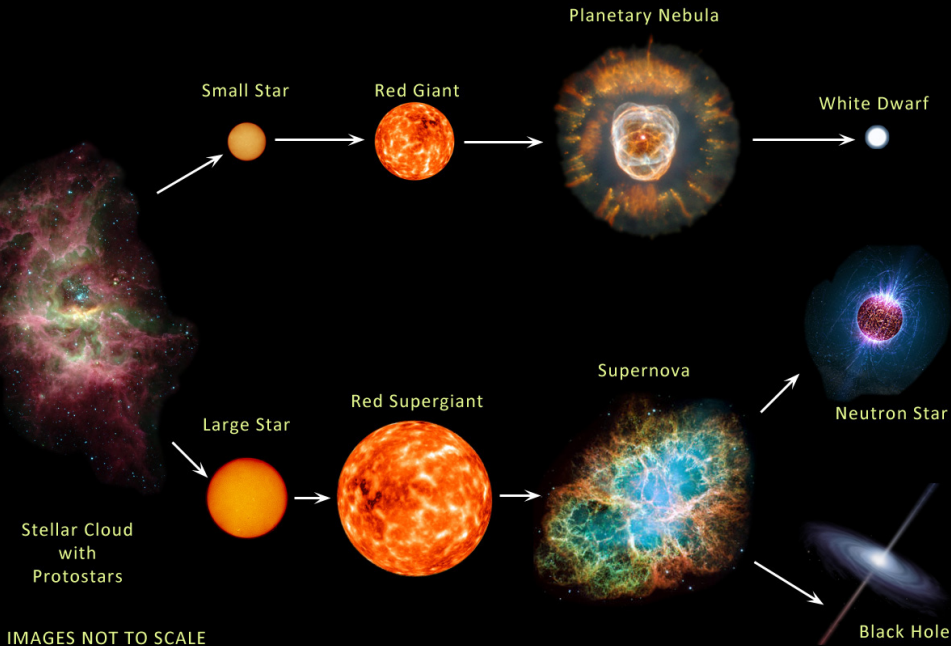
Supernovy



Tycho Brahe 1572

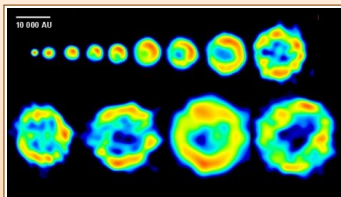


EVOLUTION OF STARS



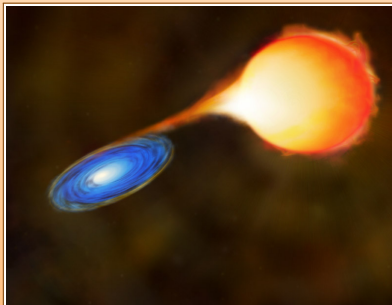
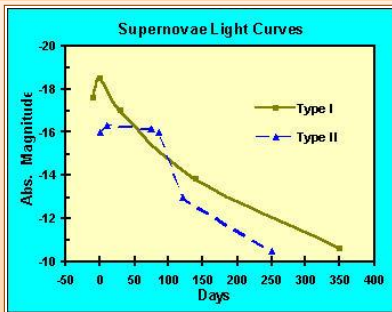
IMAGES NOT TO SCALE

Supernovy

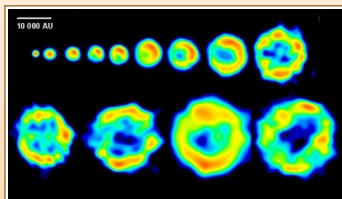


SN 1993j

- pulsar v Krabí mlhovině (1054), periodický rádiový zdroj 0,033 s, (0,00016 s–4 s), A. Hewish (1967)
- další supernovy v Galaxii 1572, 1604
animace
- PSR 1913+16, Hulse-Taylorův pulsar (59 ms, $T=7$ h 45 m, NC 1993)
- 1938 – *W. Baade a F. Zwicky*: lze použít jako **standardní svíčky** animace

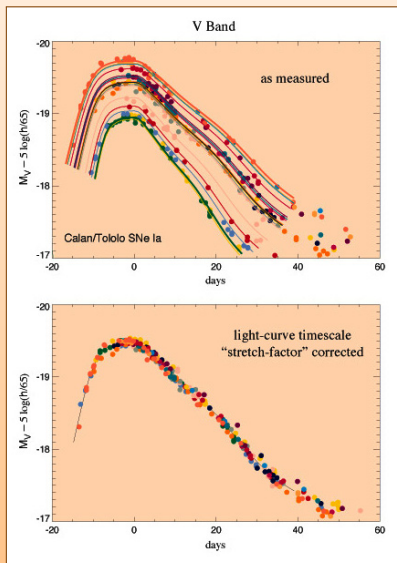


Supernovy

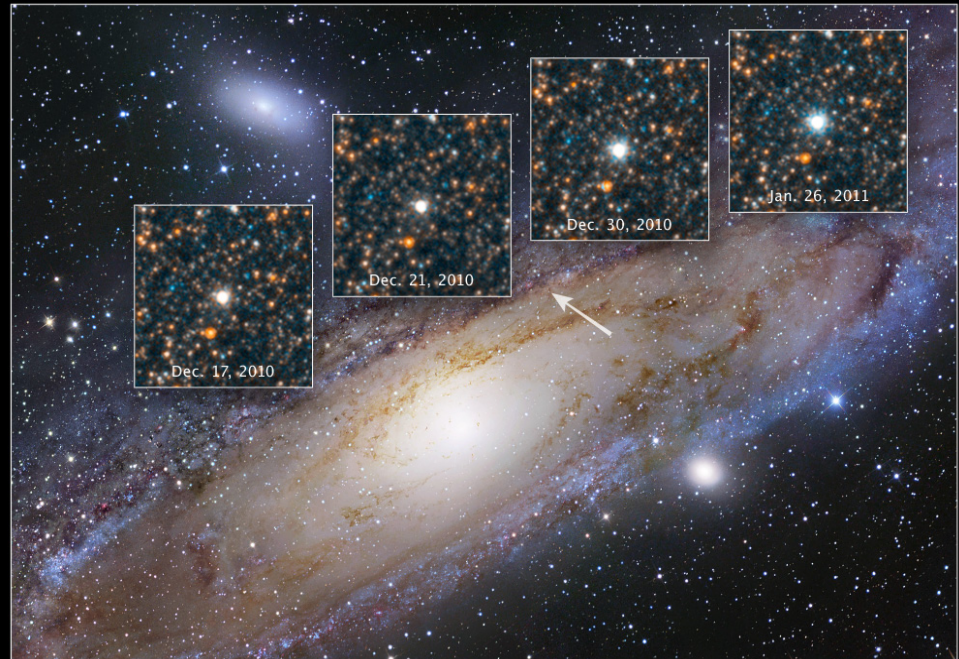


SN 1993j

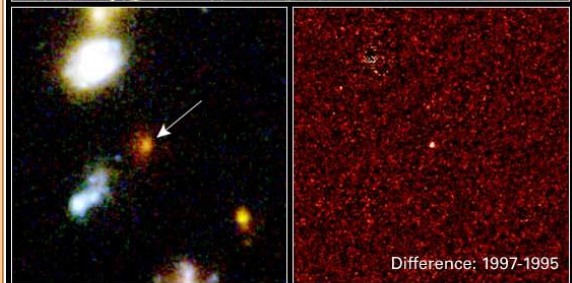
- pulsar v Krabí mlhovině (1054), periodický rádiový zdroj 0,033 s, (0,00016 s–4 s), A. Hewish (1967)
- další supernovy v Galaxii 1572, 1604 animace
- PSR 1913+16, Hulse-Taylorův pulsar (59 ms, $T=7$ h 45 m, NC 1993)
- 1938 – *W. Baade a F. Zwicky*: lze použít jako **standardní svíčky** animace



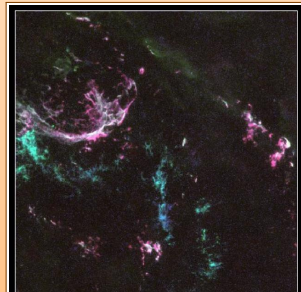
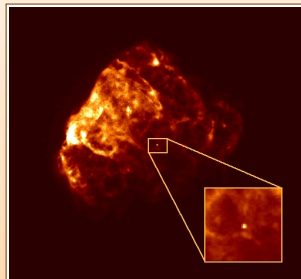




Supernovy

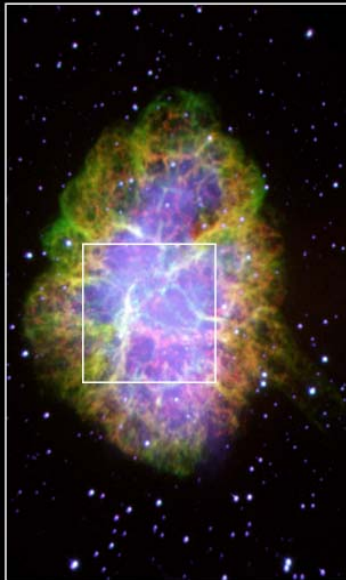


Distant Supernova in the Hubble Deep Field HST • WFPC2
NASA and A. Riess (STScI) • STScI-PRC01-09



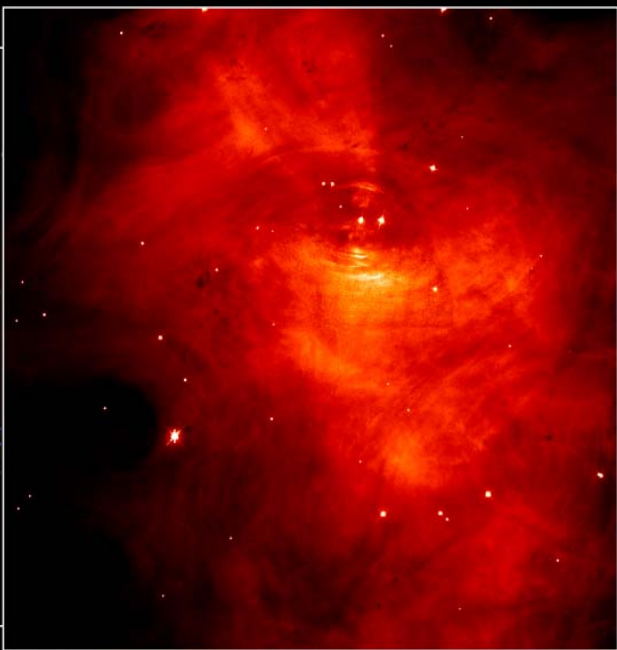
N132D HST • WFPC2
SN Remnant in LMC
PF95-13 • ST ScI OPO • April 10, 1995 • J. Morse (ST ScI), NASA

Crab Nebula



Palomar

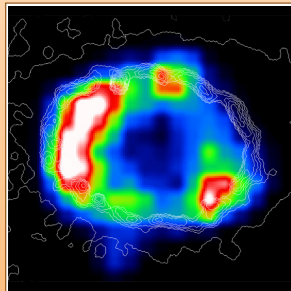
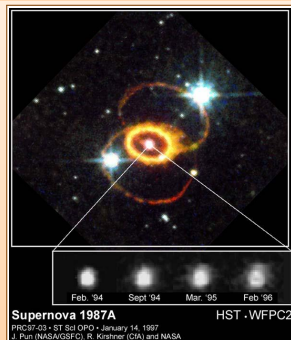
PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.) and NASA

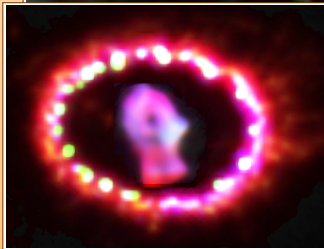
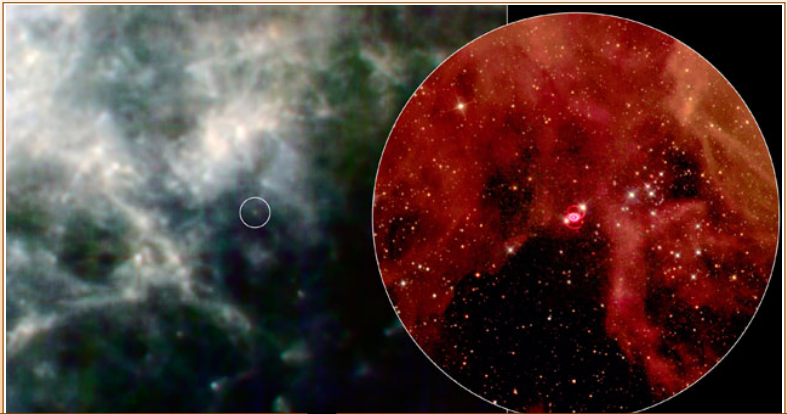


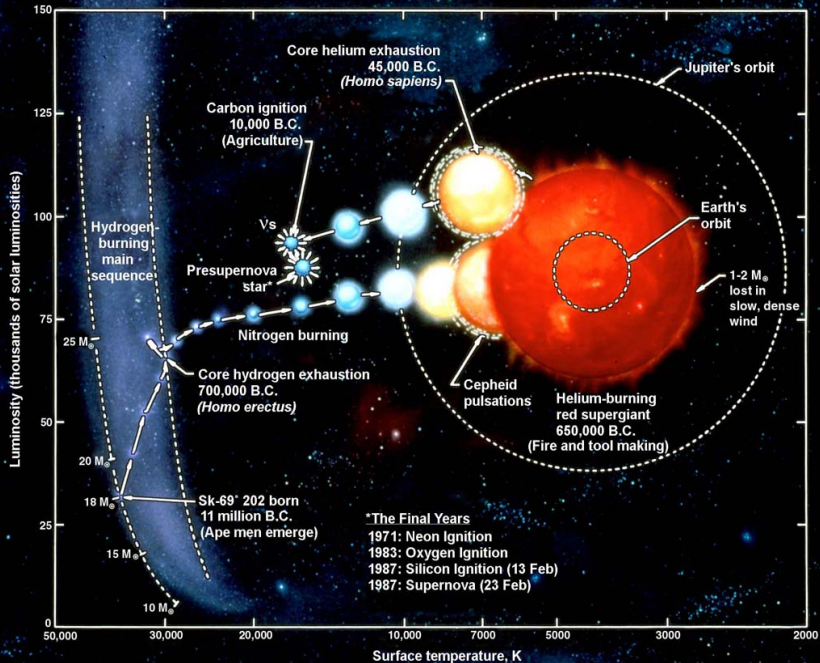
HST · WFPC2

Supernova 1987A (SN 1987A)

- rozpoznána 24.2.1987, typ II, LMC (okraj mlhoviny Tarantule, zhroutilím modrého veleobra), snímek 23.2.1987 10h30m UTC; vzdálenost 168 000 ly (\implies „blízká“)
- **prstence**: červený veleobr v těsné dvojhvězdě, zbavil se části obalu; rozpínají se $\approx 40 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1} \implies$ obálka je dohoní; z rozměru vzdálenost a kalibrace cefeid
- **25 neutrin** s energií 8 MeV–40 MeV 23.2.1987 7h36m UTC (USA, Japonsko, Kavkaz), $1\cdot 10^6 \times$ více ν_e než ze \odot ; 99 % energie vyzářeno v podobě ν
- proč ν_e dříve: v centrální oblasti, fotony až z rozpínající se obálky; maximální rozdíl rychlosti od c je na $1,47\cdot 10^9$ lh: $\approx 0,000\,000\,002 = 0,000\,000\,2\%$.

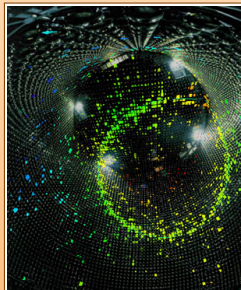
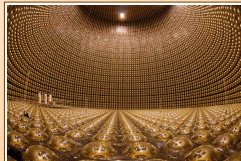
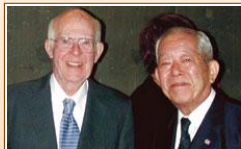






Malá odbočka: NC za rok 2002

- $\frac{1}{2}$ *Riccardo Giacconi* za „příspěvek vedoucí k odhalení kosmických zdrojů RTG záření“
- $\frac{1}{2}$ *Raymond Davis Jr.* (14.10 1914–31.5. 2006, Brookhaven NL) a *Masatoshi Koshiba* (U. of Tokyo) za „detekci kosmických neutrin“
- „podzemní astronomie“, Homestake Mine (zlatý důl 1 500 m pod Zemí), skoro 4000 m³ perchloretylénu C₂Cl₄, vzniká radioaktivní Argon, **detekce neutrin ze Slunce** ($2 \cdot 10^{38} \text{ s}^{-1}$) \implies na Zemi 1 cm² asi $10 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$, zachyceno $1 \nu_e$ za život; detektory zachycena 1/3 předp. počtu neutrin
- 1968 – „oscilace“ neutrin,
- 1983 – detektor **Kamiokande** (bývalý zinkový důl), 3000 tun H₂O + Čerenkovovo záření, rozpad protonu ($T = 1 \cdot 10^{29}$ let), p^+ nezaznamenán, ale schopni detekovat sl. neutrina a jejich energ. spektrum
- 1996 – **SuperKamiokande**, 2002 – Sudbury Neutrino Observatory (D₂O)



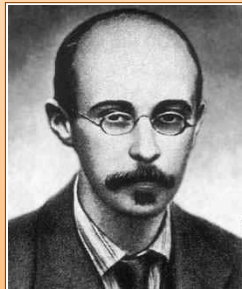
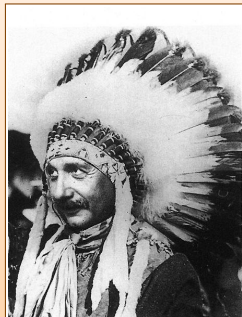
Standardní kosmologický model

- **kosmologie**: věda o vesmíru jako celku, vývoj od spekulací k vědeckým poznatkům
- vzdálenosti: 1 parsek = 3,262 ly = 206 265 AU = $3,086 \cdot 10^{12}$ km.
- **Koperníkův princip**: homogenita a izotropie (?): oblasti > 200 Mpc

dnešní standardní model

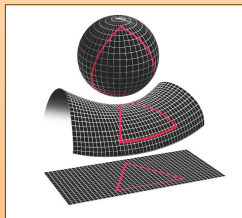
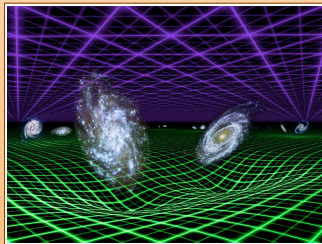
expandující a vyvíjející se hierarchický vesmír s počátečním velkým třeskem

- **nukleosyntéza** (30.–50. léta 20. století):
 - syntéza He z H ve hvězdách (Atkinson, Houtermans, Bethe, Weizsäcker)
 - při velkém třesku (Gamow, Alpher)
 - těžší prvky ve hvězdách (Opik, Salpeter, Hoyle, Fowler, Burbidgeovi)
- hmotnostní poměr H ($\approx 75\%$) a He ($\approx 25\%$)

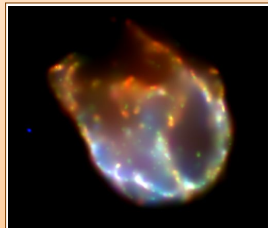


Standardní kosmologický model

- popsatelný známými fyzikálními zákony (spektroskopie \implies stejné prvky, zákony elmag., kvantové fyziky)
- standardní model částicové fyziky: kvarky, leptony + 4 interakce
- na různých škálách různé struktury (viz přízemí budovy PŘF UP):
proton (10^{-15} m), atom (10^{-10} m), buňka (10^{-5} m), člověk (1 m), Země (10^7 m), sluneční soustava (10^{13} m), galaxie (10^{21} m), vesmír (10^{26} m)



- $\frac{1}{2}$ **Saul Perlmutter, The Supernova Cosmology Project** (Lawrence Berkeley National Laboratory and University of California, USA)
- $\frac{1}{2}$ **The High-z Supernova Search Team**
 - *Brian P. Schmidt* (Australian National University, Weston Creek)
 - *Adam G. Riess* (Johns Hopkins University and Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA)



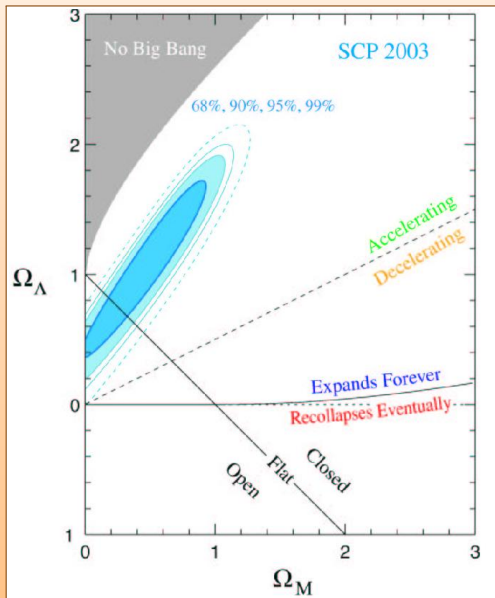
oficiální zdůvodnění:

„for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae“



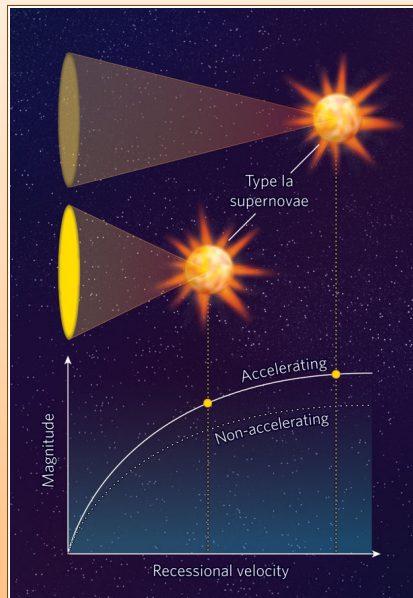
Supernova Cosmology Project

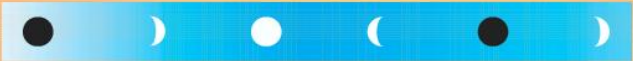
- 1998 – výzkum supernov ve vzdál. 100 miliónů svět. let objevování supernov
- **Závěr:** supernovy s největším rudým posuvem jsou méně jasné než v *prázdém* vesmíru
⇒ **rozpínání se zrychluje**
⇒ některé oblasti nikdy nevidíme
- Problém: Λ jiné než teoretické odhady ⇒ **temná hmota a temná energie**, MACHO, rotační křivky galaxií



Supernova Cosmology Project

- 1998 – výzkum supernov ve vzdál. 100 miliónů svět. let objevování supernov
- **Závěr:** supernovy s největším rudým posuvem jsou méně jasné než v *prázdém* vesmíru
⇒ **rozpínání se zrychluje**
⇒ některé oblasti nikdy nevidíme
- Problém: Λ jiné než teoretické odhady ⇒ **temná hmota a temná energie**, MACHO, rotační křivky galaxií





50-100 fields

Almost 1000 galaxies per field



Scheduled follow-up spectroscopy at Keck and ESO telescopes

Scheduled follow-up imaging by Hubble, Cerro Tololo, WIYN, Isaac Newton and ESO telescopes



A dozen type 1a supernovae discovered while still brightening

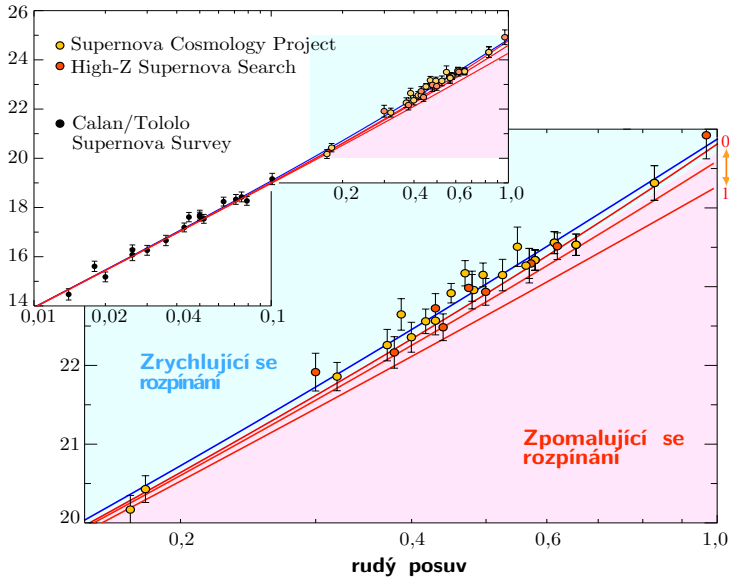


Relativní jasnost

0,0001
0,001
0,01
0,1
1

slabší

magnituda



0,8

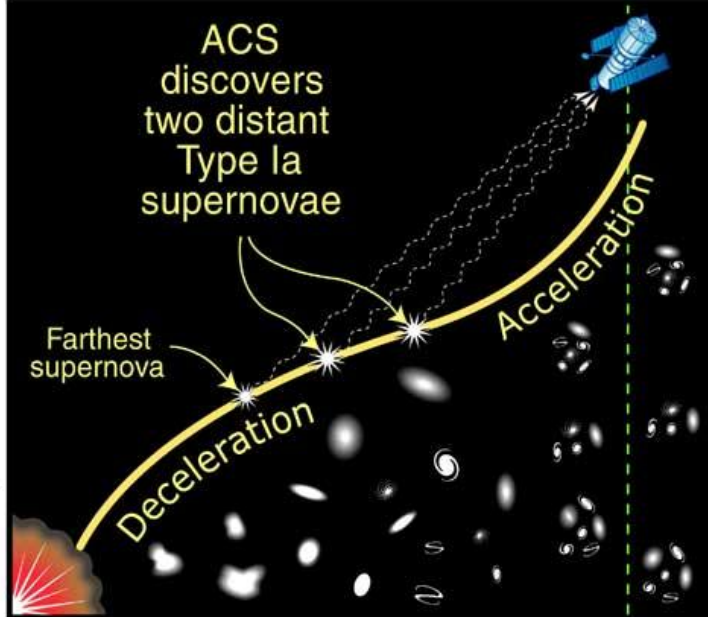
0,7

0,6

0,5

Velikost Vesmíru
[vzhledem k dnešní]

Expansion of universe



ACS
discovers
two distant
Type Ia
supernovae

Farthest
supernova

Deceleration

Acceleration

Big
Bang

10 billion
years
ago

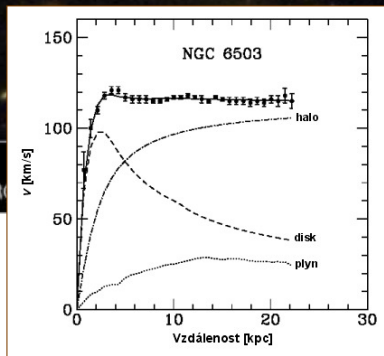
5 billion
years
ago

Today

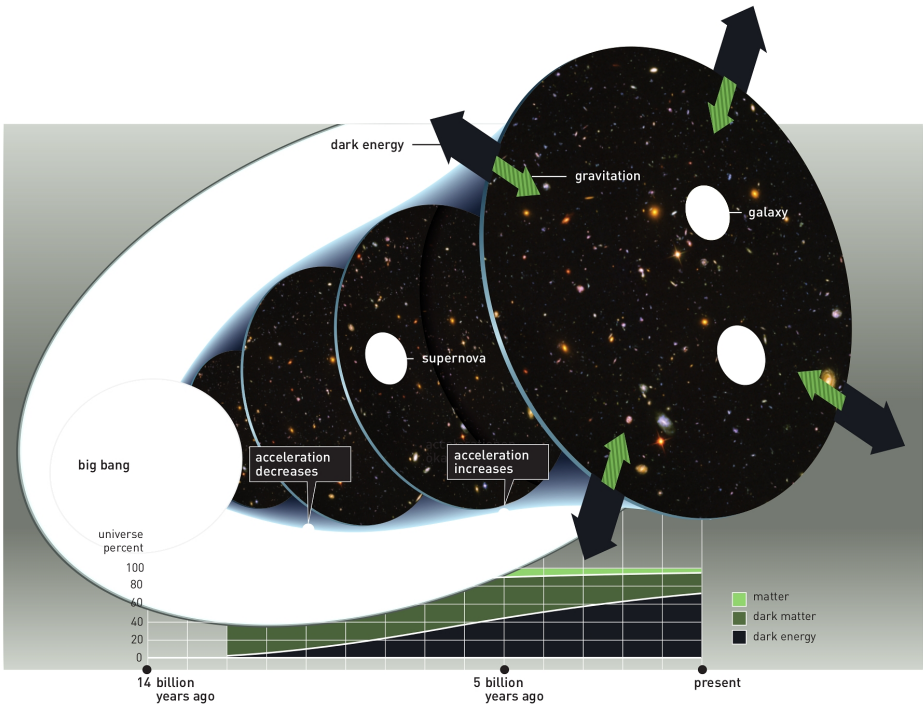


Galaxy Cluster Abell 2218

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PR



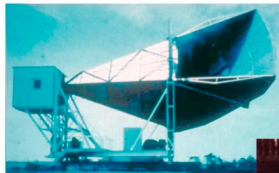
PC2



Reliktní záření

- 1965 – A. Penzias, R. Wilson, NC v roce 1978 (s P. Kapicou), anténa pro vysílání umělých satelitů („Nadměrná teplota antény při 4080 MHz“)
- asi 380 000 let po velkém třesku (3 000 K), období vzniku atomů
- $\lambda = 7,35 \text{ cm}$, maximum pro 2 mm $\implies T \approx 2,725 \text{ K}$, udává „teplotu vesmíru“
- izotropní – argument pro náš model
- 1989 – COBE (COsmic Background Explorer)

DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND



Microwave Receiver

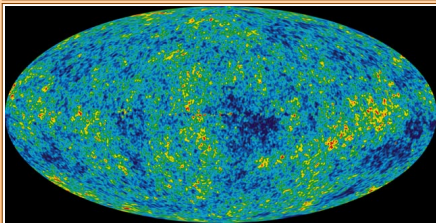


MAP990045

Robert Wilson

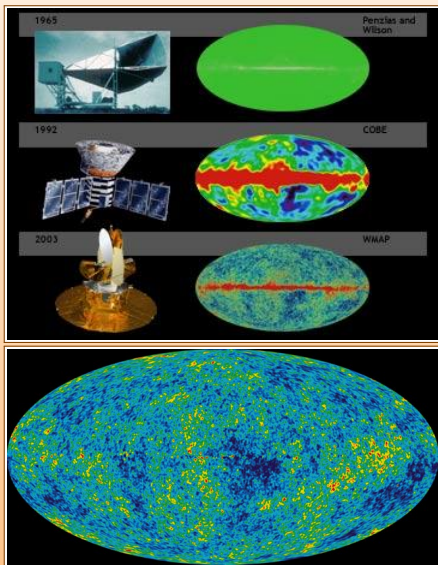


Arno Penzias



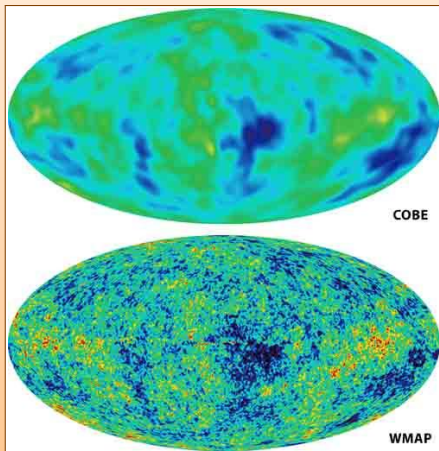
Reliktní záření

- 1965 – A. Penzias, R. Wilson, NC v roce 1978 (s P. Kapicou), anténa pro vysílání umělých satelitů („Nadměrná teplota antény při 4080 MHz“)
- asi 380 000 let po velkém třesku (3 000 K), období vzniku atomů
- $\lambda = 7,35 \text{ cm}$, maximum pro $2 \text{ mm} \implies T \approx 2,725 \text{ K}$, udává „teplotu vesmíru“
- izotropní – argument pro náš model
- 1989 – COBE (COsmic Background Explorer)

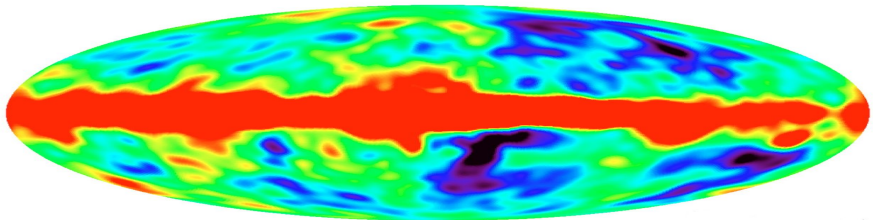
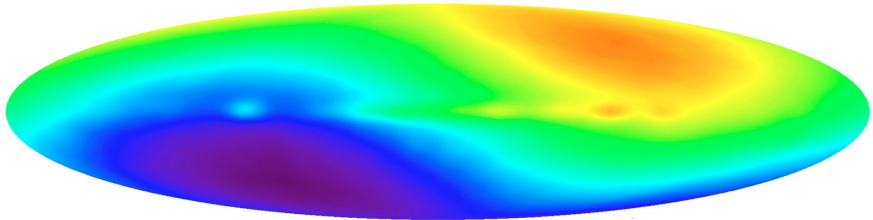


Reliktní záření

- 1965 – A. Penzias, R. Wilson, NC v roce 1978 (s P. Kapicou), anténa pro vysílání umělých satelitů („Nadměrná teplota antény při 4080 MHz“)
- asi 380 000 let po velkém třesku (3 000 K), období vzniku atomů
- $\lambda = 7,35 \text{ cm}$, maximum pro $2 \text{ mm} \implies T \approx 2,725 \text{ K}$, udává „teplotu vesmíru“
- izotropní – argument pro náš model
- 1989 – COBE (COsmic Background Explorer)



DMR 53 GHz Maps

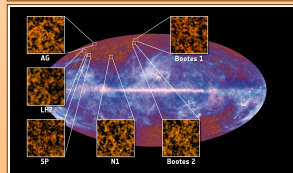
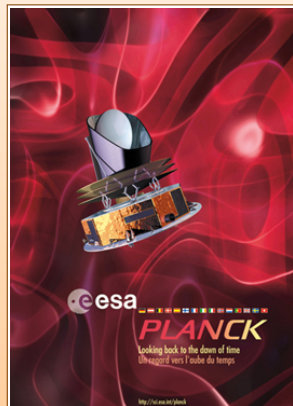
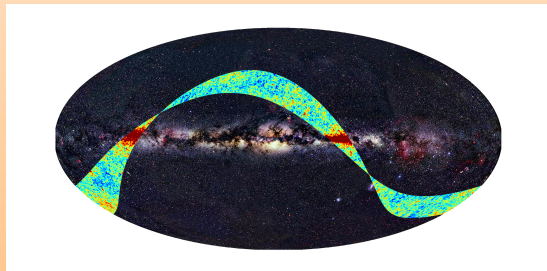


Experiment Boomerang



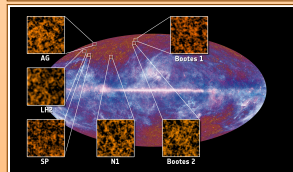
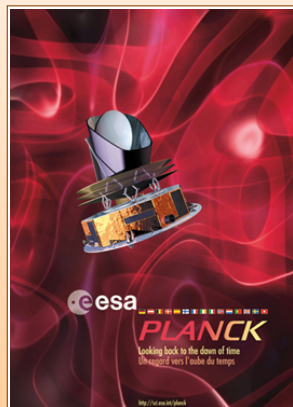
WMAP a Planck

- 2001 – WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), anizotropie teploty řádu 10^{-5} („Země s horami do 50 m“),
- Planck (2009)



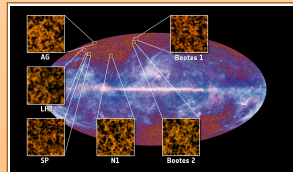
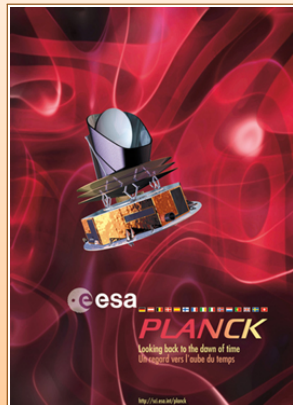
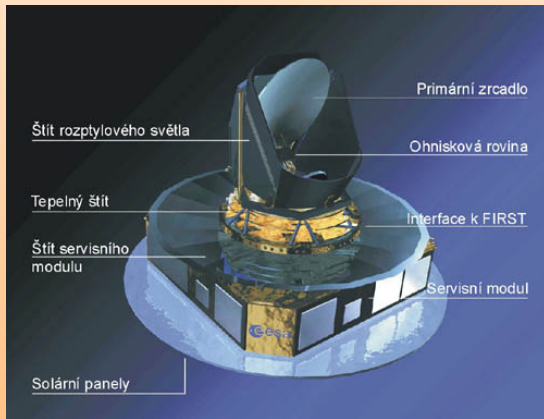
WMAP a Planck

- 2001 – WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), anizotropie teploty řádu 10^{-5} („Země s horami do 50 m“),
- Planck (2009)



WMAP a Planck

- 2001 – WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), anizotropie teploty řádu 10^{-5} („Země s horami do 50 m“),
- Planck (2009)



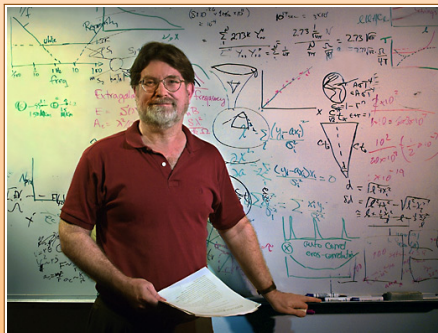
Nobelova cena za fyziku 2006

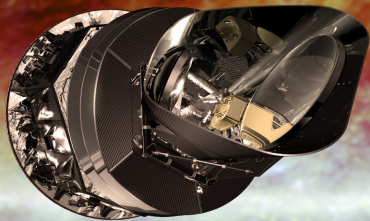
„for their discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation“

John C. Mather (*1946)
NASA Goddard Space Flight
Center



George F. Smoot (*1945)
University of California Berkeley





Co s toho plyne a jak si to vysvětlujeme...

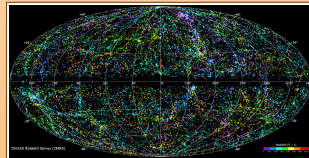
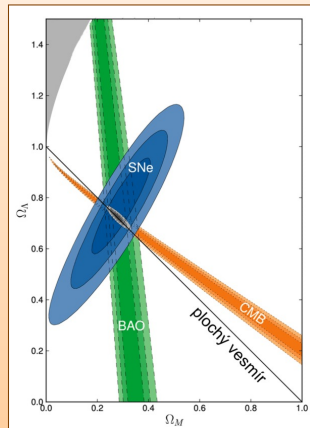
nejlépe vyhovující model

Λ CDM globálně homogenní a izotropní (FLRW) vesmír s téměř plochým prostorem, dominantní kosmologickou konstantou a chladnou nebaryonovou temnou hmotou, který z počátečního velkého třesku dnes expanduje zrychleně

Argumenty:

- pozorování supernov
- velkoškálová struktura
- rozbor reliktního záření

Stáří: $13,7 \pm 0,1$ Gy



Co s toho plyne a jak si to vysvětlujeme...

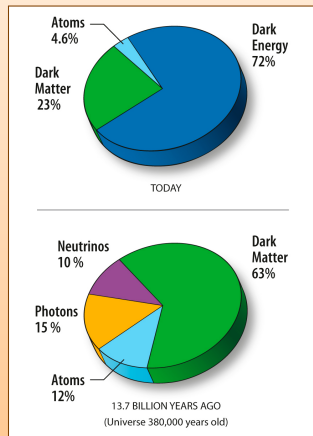
nejlépe vyhovující model

Λ CDM globálně homogenní a izotropní (FLRW) vesmír s téměř plochým prostorem, dominantní kosmologickou konstantou a chladnou nebaryonovou temnou hmotou, který z počátečního velkého třesku dnes expanduje zrychleně

Argumenty:

- pozorování supernov
- velkoškálová struktura
- rozbor reliktního záření

Stáří: $13,7 \pm 0,1$ Gy



Co s toho plyne a jak si to vysvětlujeme...

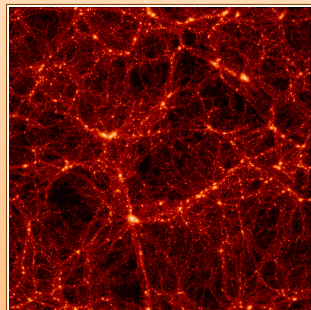
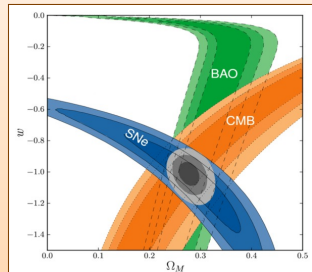
nejlépe vyhovující model

Λ CDM globálně homogenní a izotropní (FLRW) vesmír s téměř plochým prostorem, dominantní kosmologickou konstantou a chladnou nebaryonovou temnou hmotou, který z počátečního velkého třesku dnes expanduje zrychleně

Argumenty:

- pozorování supernov
- velkoškálová struktura
- rozbor reliktního záření

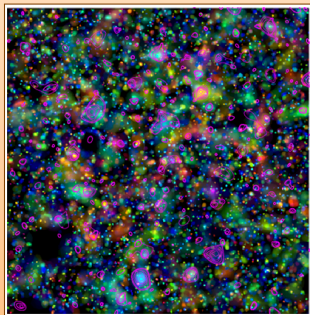
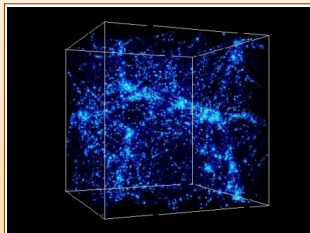
Stáří: $13,7 \pm 0,1$ Gy

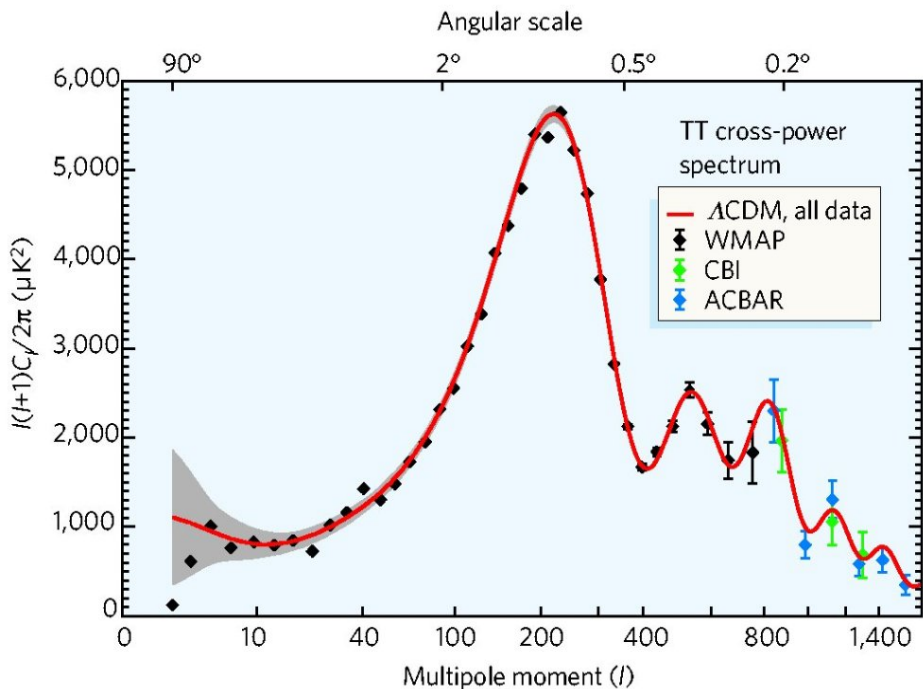


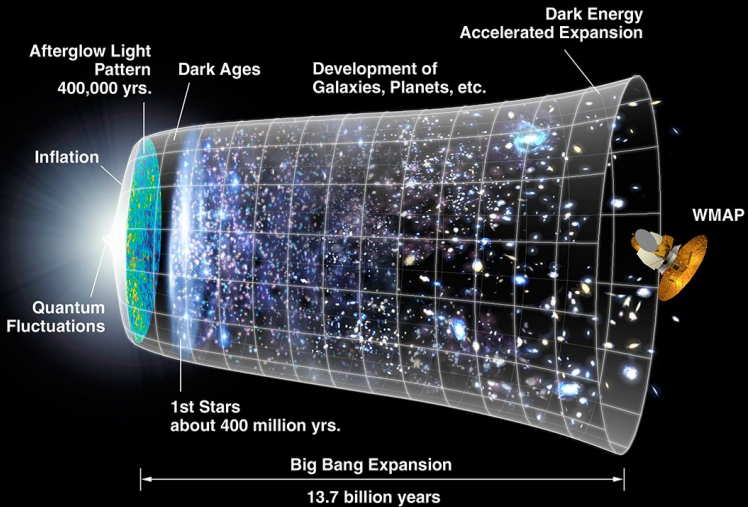
Co s toho plyne a jak si to vysvětlujeme...

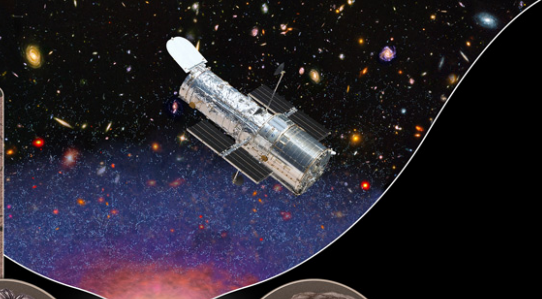
- **počáteční inflace** (Guth 1980):
snaha vysvětlit homogenitu, izotropii a plochost prostoru prudkým rozeprnutím vesmíru v čase $\approx 1 \cdot 10^{-35}$
- **multiversa** – paralelní světy (Linde 1983, Smolin 1997): kvantovými fluktuacemi vznikají nové, oddělené vesmíry, náš vesmír jedním z mnoha
- ekpyrotická a cyklická **bránová kosmologie** (Steinhardt, Turok 1999): velký třesk byla srážkou dvou paralelních světů (tzv. D-brán) ve vícerozměrném „vesmíru“
- další vícerozměrné modely vycházející z **teorie strun**

hypotézy se opírají o dosud neověřené teorie částicové fyziky
























Georges Henri Joseph Édouard
Lemaître (1894 – 1966)

Sir Arthur Stanley Eddington
(1882 – 1944)









Použité prameny... a náměty pro další čtení ...

-  BARROW, J. D. *Kniha o nekonečnu*. Praha a Litomyšl: Paseka, 2007. ISBN: 978-80-7185-822-5.
-  GRIBBIN, J. *Životopis vesmíru – Od velkého třesku po zánik vesmíru*. Praha: Mladá fronta, 2009. ISBN: 978-80-204-1902-6.
-  KIRSHNER, R. P. *Výstřední vesmír (Explodující hvězdy, temná energie a zrychlování kosmu)*. Praha a Litomyšl: Paseka, 2005. ISBN: 80-7185-729-7.
-  KLECZEK, J. *Encyklopedie Vesmíru*. Praha: Academia, 2002. ISBN: 80-200-0906-X.
-  KRAUSS, L. M. *Proměny vesmíru (Od velkého třesku k životu na Zemi...a ještě dál)*. Praha a Litomyšl: Paseka, 2006. ISBN: 80-7185-722-X
-  LIDDLE, A. R. *An Introduction to Modern Cosmology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003. ISBN: 978-0470848357.
-  THORNE, K. S. *Černé díry a zborcený čas (Pozoruhodná dědictví Einsteinova génia)*. Praha: Mladá fronta, 2004. ISBN: 80-204-0917-3.
-  SINGH, S. *Velký třesk*. Praha: Argo-Dokořán, 2007. ISBN: 978-80-86569-62-8.

Použité prameny... a náměty pro další čtení ...

-  CALDWELL, R., KAMIONKOWSKI M. Cosmology: Dark matter and dark energy. *Nature*, roč. 458, 2 April 2009, s. 587–589, doi:10.1038/458587a
-  ČERVENKA, M. Temná hmota ve vesmíru [online]. *Aldebaran.cz*. Dostupné z http://www.aldebaran.cz/bulletin/2003_29_thv.html.
-  PERLMUTTER, S. Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe. *Physics Today*, roč. 56, č. 4, 2003, s. 53–60.
-  PODOLSKÝ, J. *Stručný průvodce po kosmologii 20. století* [online]. XIV. seminář o filosofických otázkách matematiky a fyziky, Velké Meziříčí 18.–21. srpna 2008. Dostupné z <http://www.gvm.cz/images/stories/seminare/IV/kosmologie1.pdf>.
-  WAGNER, V. *Kde všude vznikají neutrína?* [online]. *Osel.cz*, 2009. Dostupné z <http://www.osel.cz/index.php?clanek=4799>.
-  WAGNER, V. *Překračují neutrína mezní rychlost světla?* [online]. *Osel.cz*, 2011. Dostupné z <http://www.osel.cz/index.php?clanek=5896>.
-  *European Association for Astronomy Education* [online]. Dostupné z <http://eaae-astronomy.org>.

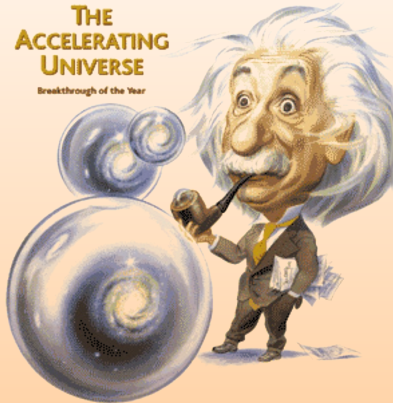
Použité prameny... a náměty pro další čtení ...

-  *ESA – Planck* [online]. Dostupné z <http://www.esa.int/SPECIALS/Planck/index.html>.
-  *HubbleSite – Out of the ordinary...out of this world* [online]. Dostupné z <http://hubblesite.org/>.
-  *Lens Simulation Movie (large Synoptic Survey Telescope)* [online]. Dostupné z http://www.lsst.org/lsst/public_lensing_simulation.
-  *Merging Neutron Stars* [online]. Dostupné z <http://www.ukaff.ac.uk/movies/nsmerger/>.
-  *The Nobel Prize in Physics 2011* [online]. Dostupné z http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/.
-  *The High-Z SN Search Project* [online]. Dostupné z <http://www.cfa.harvard.edu/supernova/home.html>.
-  *The supernova Cosmology Project* [online]. Dostupné z <http://supernova.lbl.gov>.
-  *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)* [online]. Dostupné z <http://map.gsfc.nasa.gov>.

Použité snímky: ESA, NASA, Wikipedie, www.rencin.cz

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



If you're puzzled by what dark energy is, you're in good company.

Saul Perlmutter

Snaha pochopit vesmír je jednou z velmi mála věcí, jež lidský život mírně povznáší nad úroveň frašky a dodávají mu trochu důstojnosti tragédie.

Steven Weinberg

