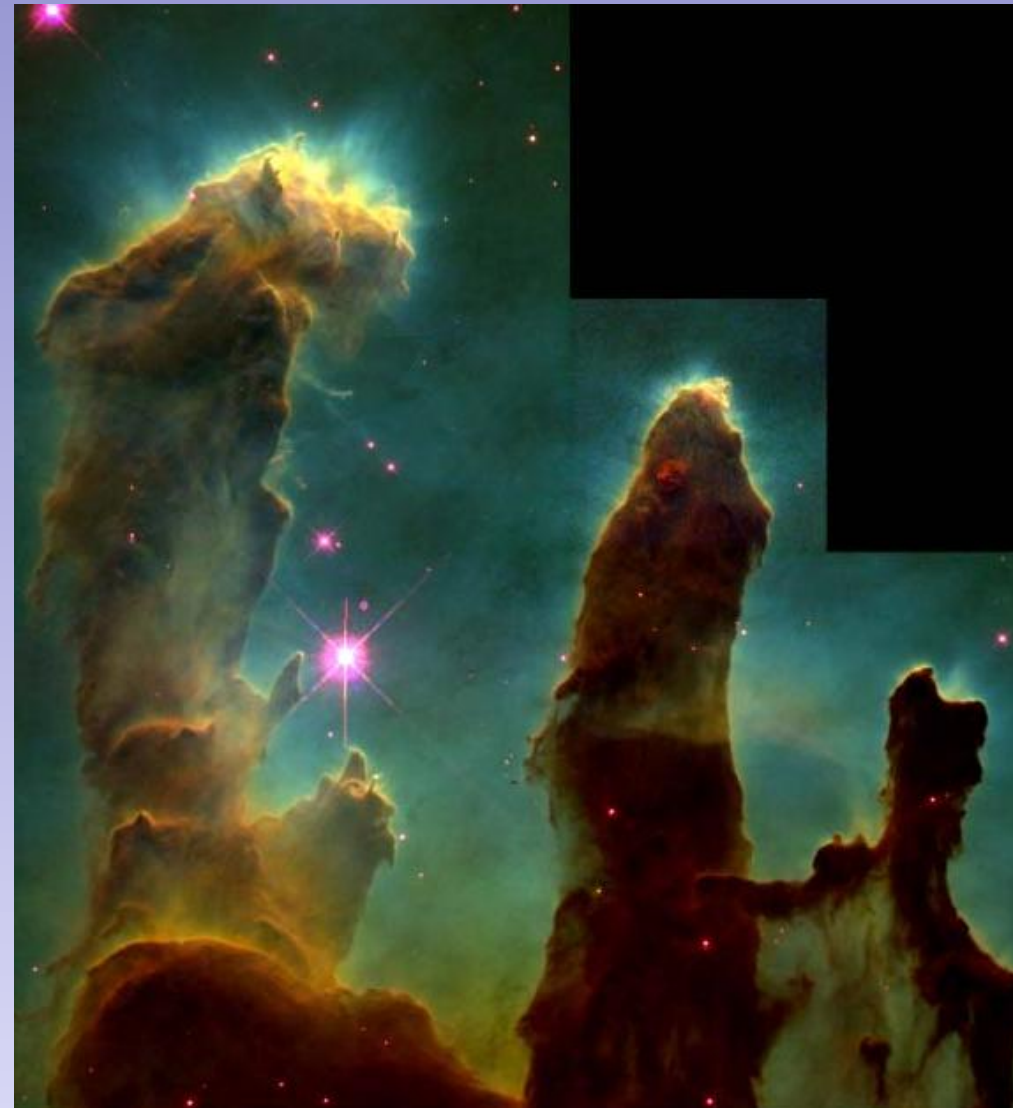


OBRAZ VESMÍRU NA PRAHU TISÍCILETÍ



OSNOVA

- Kosmologický a Koperníkův princip
- Rozpínání vesmíru
- Okna do vesmíru
- Standardní model
- Reliktní záření
- Inlace
- Co před inflací
- Stáří a budoucnost vesmíru



KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP

- **Kosmologický princip:** vesmír je prostorově homogenní a izotropní
- tzv. PRINCIPY UNIFORMITY, ale pozorujeme jednotlivé objekty
- předpoklady o všech částech vesmíru (i za horizontem)

KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP

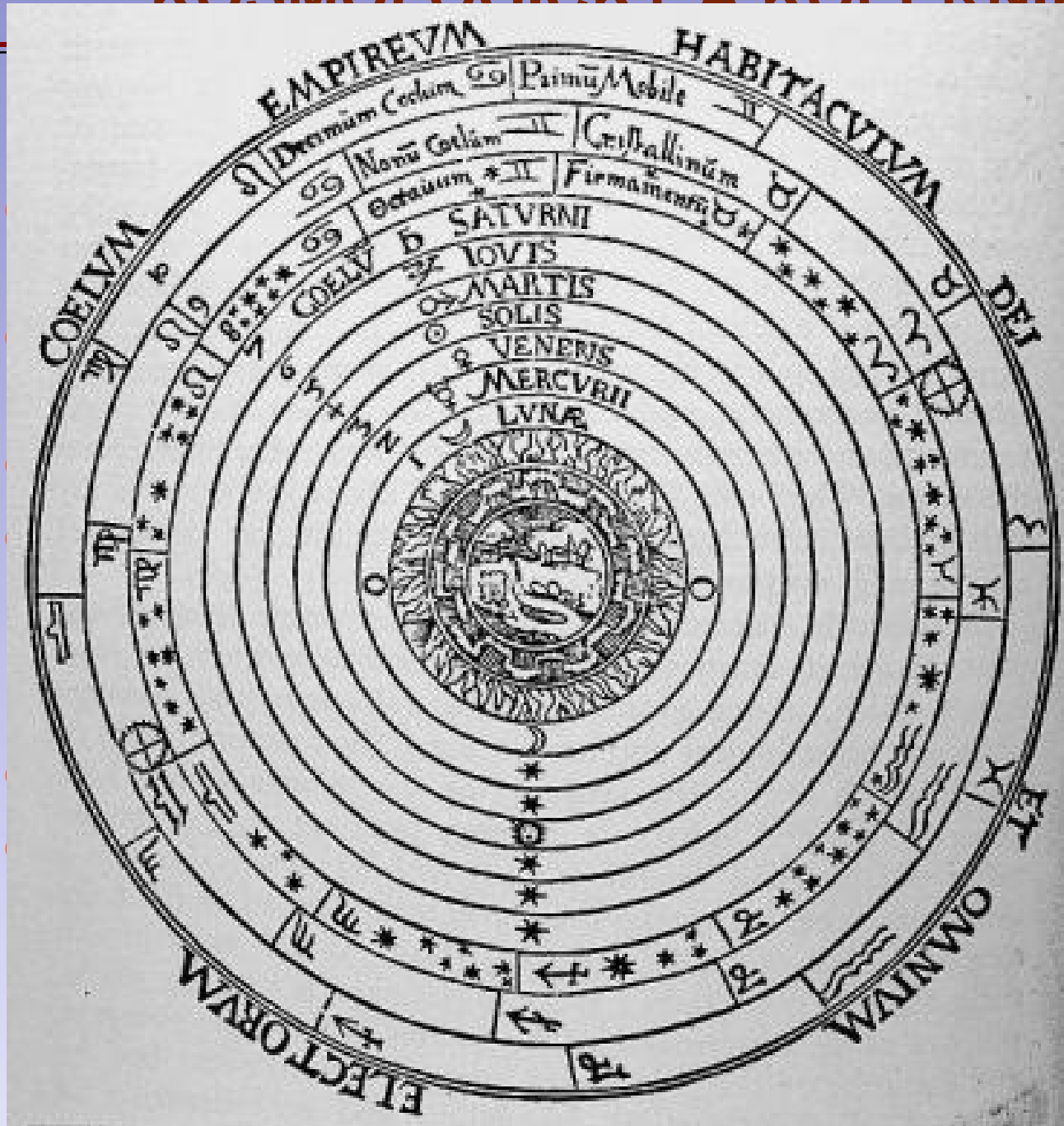
- **Kosmologický princip:** vesmír je prostorově homogenní a izotropní
- tzv. PRINCIPY UNIFORMITY, ale pozorujeme jednotlivé objekty
- předpoklady o všech částech vesmíru (i za horizontem)
- **Koperníkův princip:** nejsme ve středu vesmíru, nejsme privilegovaní pozorovatelé
slabší \implies homogenní a izotropní okolo libovolného místa
pozorování \implies neexistuje „střed“
- *Klaudios Ptolemaios* (?85–?165) – **epicykly**
- *Mikuláš Koperník* (1473–1543): „O oběžích sfér nebeských“

KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP

- **Kosmologický princip:** vesmír je prostorově homogenní a izotropní
- tzv. PRINCIPY UNIFORMITY, ale pozorujeme jednotlivé objekty
- předpoklady o všech částech vesmíru (i za horizontem)
- **Koperníkův princip:** nejsme ve středu vesmíru, nejsme privilegovaní pozorovatelé
slabší \implies homogenní a izotropní okolo libovolného místa
pozorování \implies neexistuje „střed“
- *Klaudios Ptolemaios* (?85–?165) – **epicykly**
- *Mikuláš Koperník* (1473–1543): „O obězích sfér nebeských“



KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP



enní a

otlivé

item)

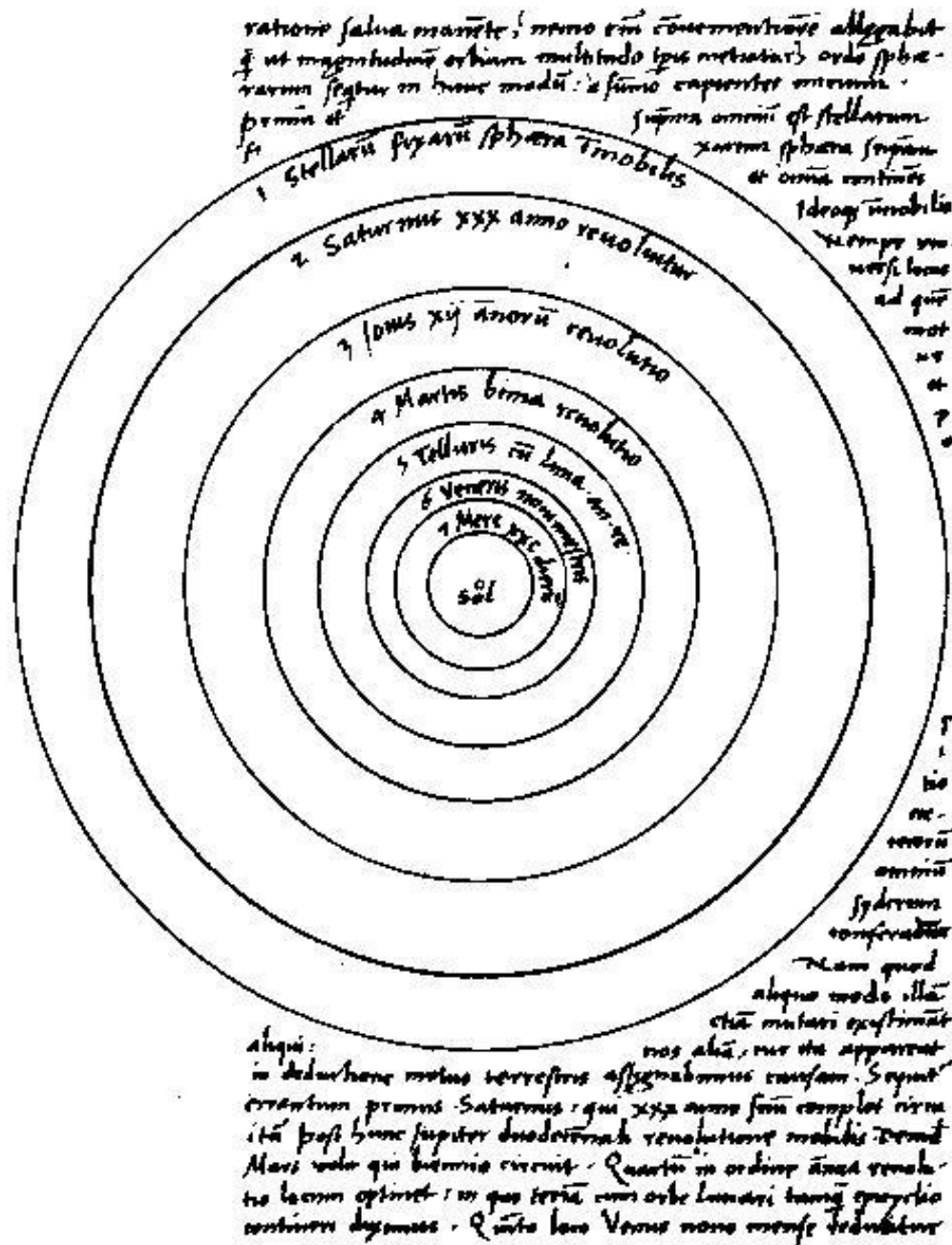
sme

o místa

ebeských“



KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP

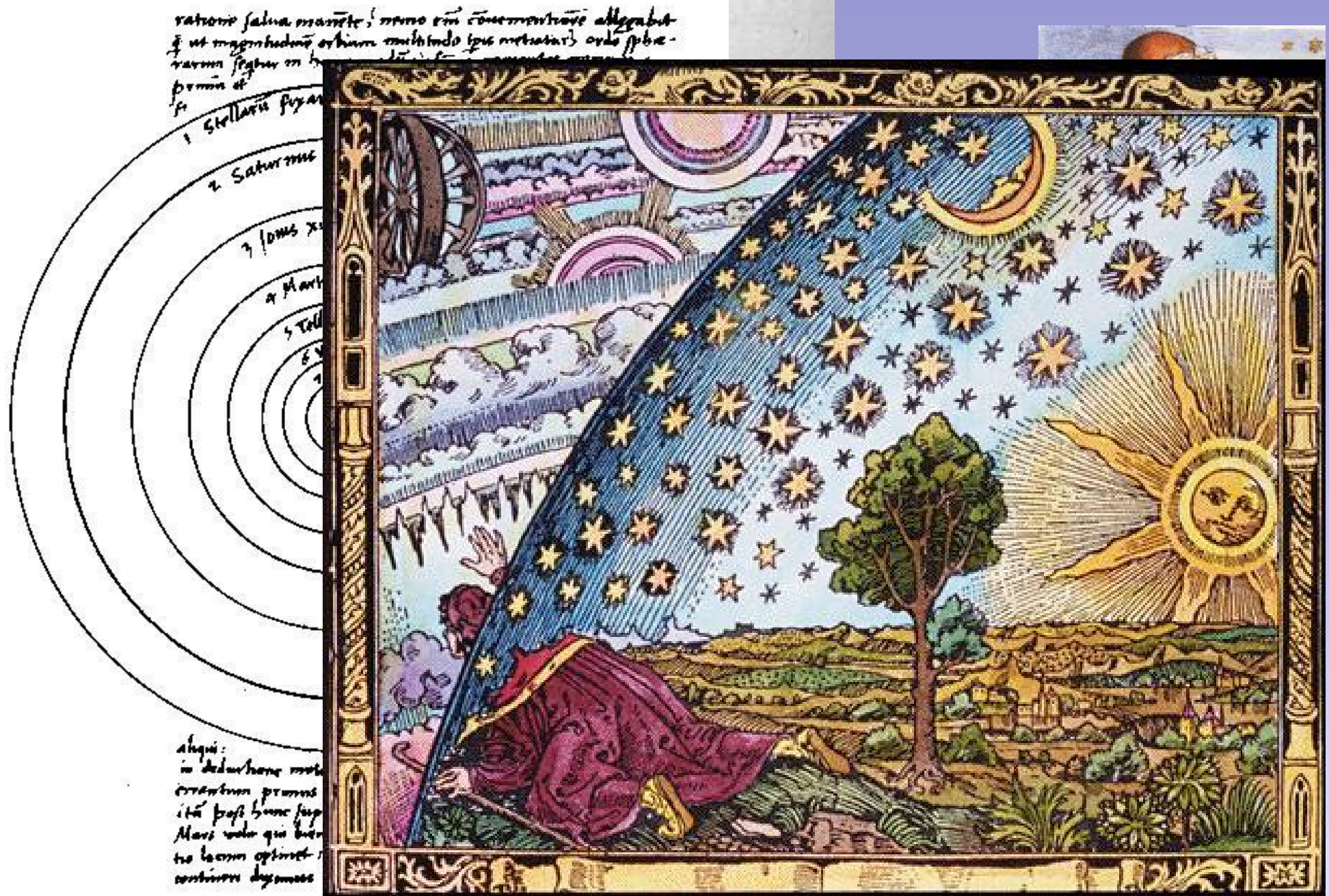


DEI
 ET
 OMN

enní a
 otlivé
 item)
 sme
 o místa
 beských“

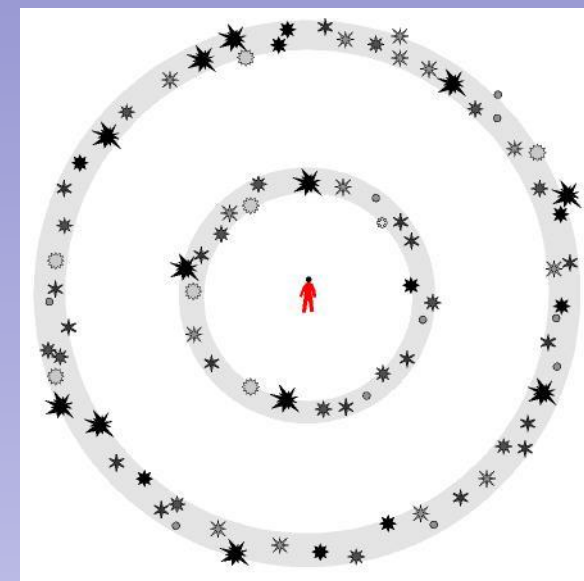


KOSMOLOGICKÝ A KOPERNÍKŮV PRINCIP



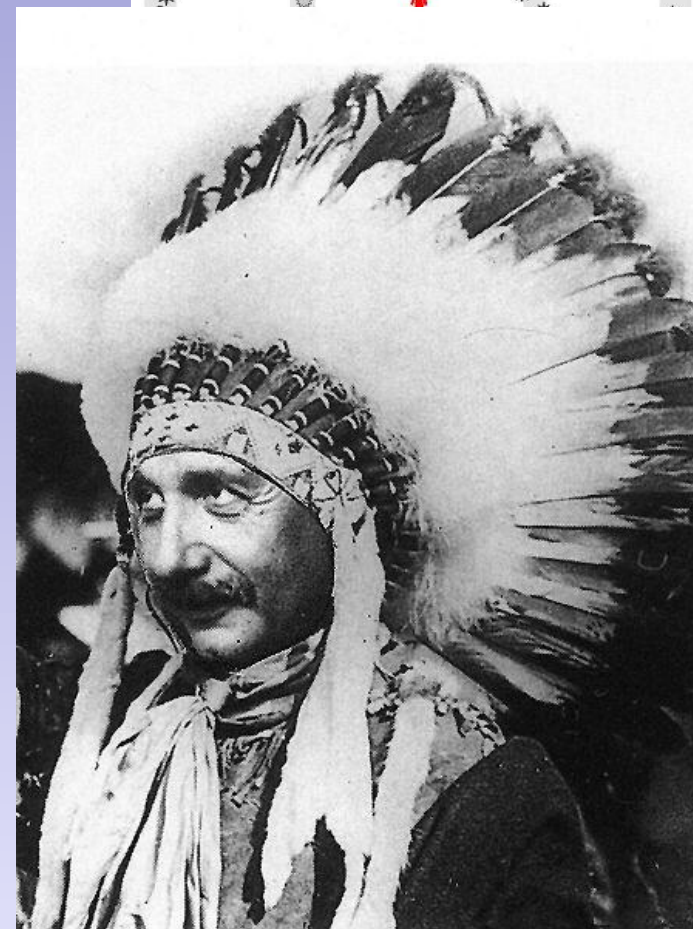
ROZPÍNÁNÍ VESMÍRU

- **Olbersův paradox:** Jak to, že je v noci tma? (Heinrich Wilhelm O., 1758–1840), vesmír nemůže být statický a nekonečný
- konec 18. stol. – Herschelové: disk Galaxie
- poč. 20. stol. – *H. Shapley*: Slunce není středem Galaxie (později kopy galaxií),
- 20. léta 20. stol. – „mlhoviny“ mohou být jiné galaxie,
- Místní skupina (my, M31 + dalších 35 galaxií) → nadkopa (kopa v Panně, 50 miliónů ly) → Velká stěna (200 miliónů ly)
- nelze experimentovat, ale máme možnost vidět minulost
- **Obecná teorie relativity** – 1915



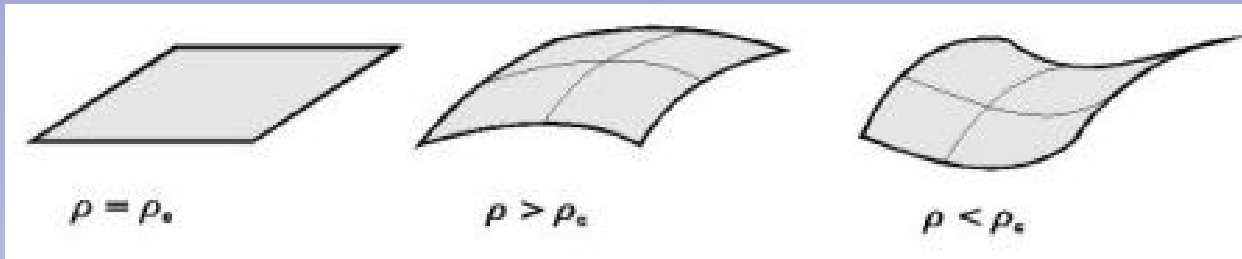
ROZPÍNÁNÍ VESMÍRU

- **Olbersův paradox:** Jak to, že je v noci tma? (Heinrich Wilhelm O., 1758–1840), vesmír nemůže být statický a nekonečný
- konec 18. stol. – Herschelové: disk Galaxie
- poč. 20. stol. – *H. Shapley*: Slunce není středem Galaxie (později kopy galaxií),
- 20. léta 20. stol. – „mlhoviny“ mohou být jiné galaxie,
- Místní skupina (my, M31 + dalších 35 galaxií) → nadkopa (kopa v Panně, 50 miliónů ly) → Velká stěna (200 miliónů ly)
- nelze experimentovat, ale máme možnost vidět minulost
- **Obecná teorie relativity** – 1915



HUBBLEOVA MĚŘENÍ

- *Alexandr A. Friedmann* (Fridman, 1922) – nestatické kosmologické modely jako řešení Einsteinových rovnic, představa **rozpínání**

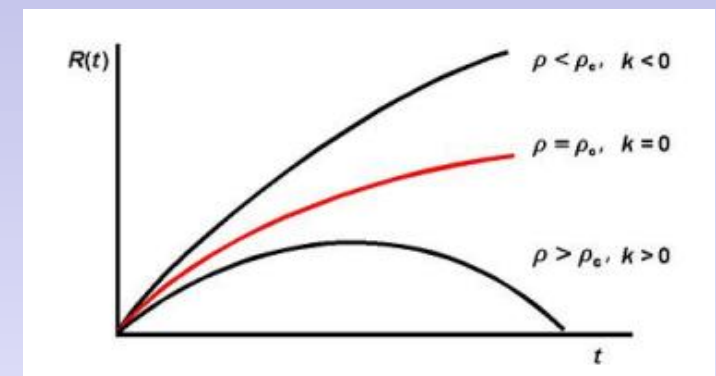
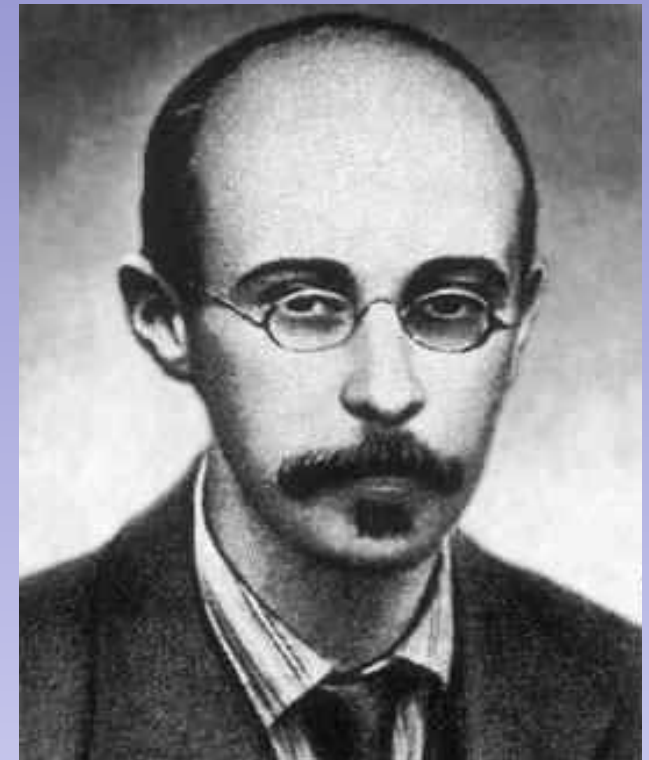


- $\rho_c = 10^{-26} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- *Edwin Hubble* (1929) – **Hubbleův zákon**:

$$v = H \cdot r, \quad H_0 = 65 - 75 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1}$$

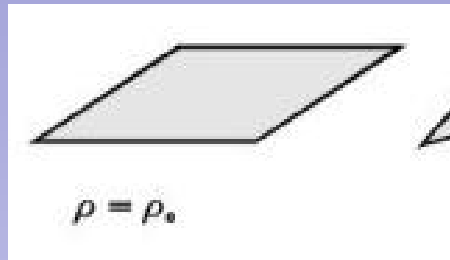
- problém **určování vzdálenosti**
- „standard candles“ – **cefeidy**, *Henrietta Leavitt* (1907)

$$T \sim L^{1.3}$$



HUBBLEOVA MĚŘENÍ

- *Alexandr A. Friedmann* (1922) – statické kosmologické řešení Einsteinových rovnic



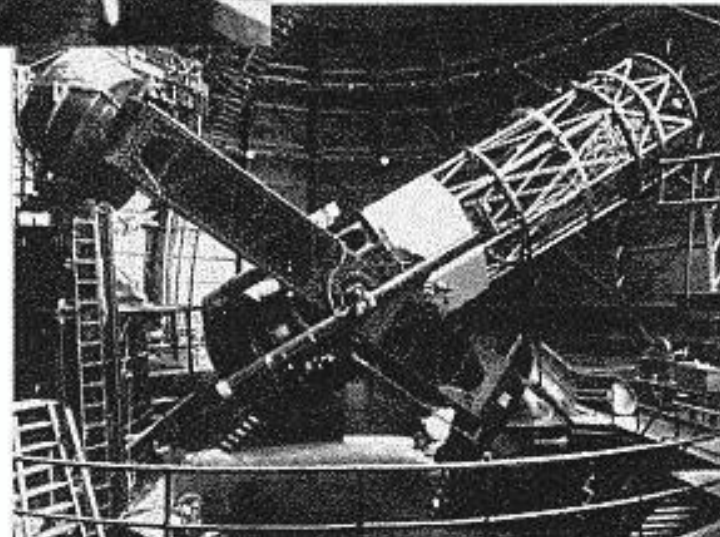
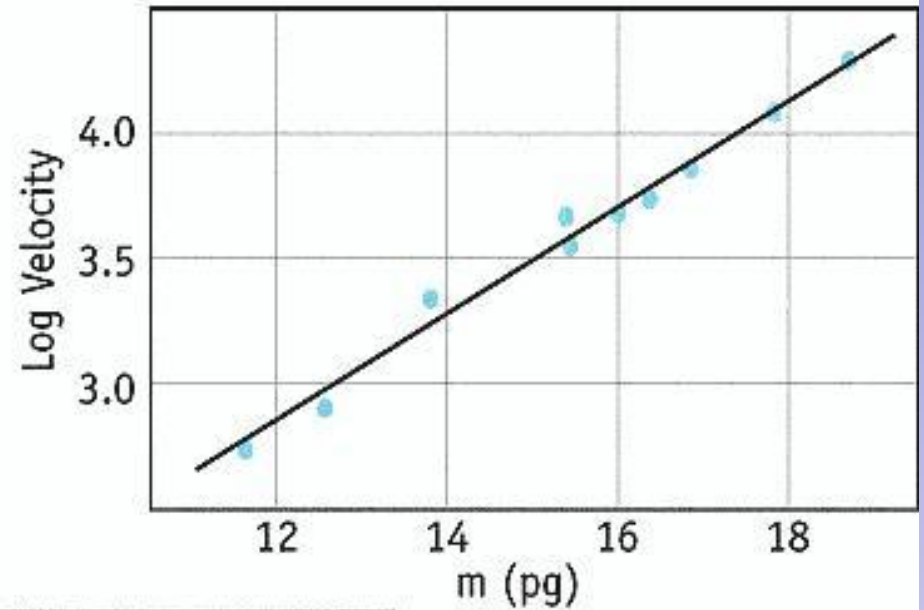
- $\rho_c = 10^{-26} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- *Edwin Hubble* (1929)

$$v = H \cdot r,$$

Edwin Hubble

- problém **určování** vzdáleností
- „standard candle“ (1907)

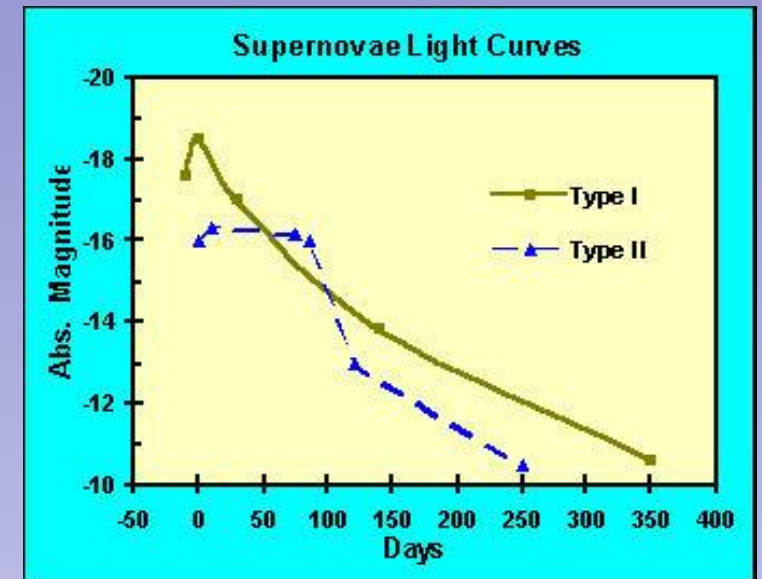
DISCOVERY OF EXPANDING UNIVERSE



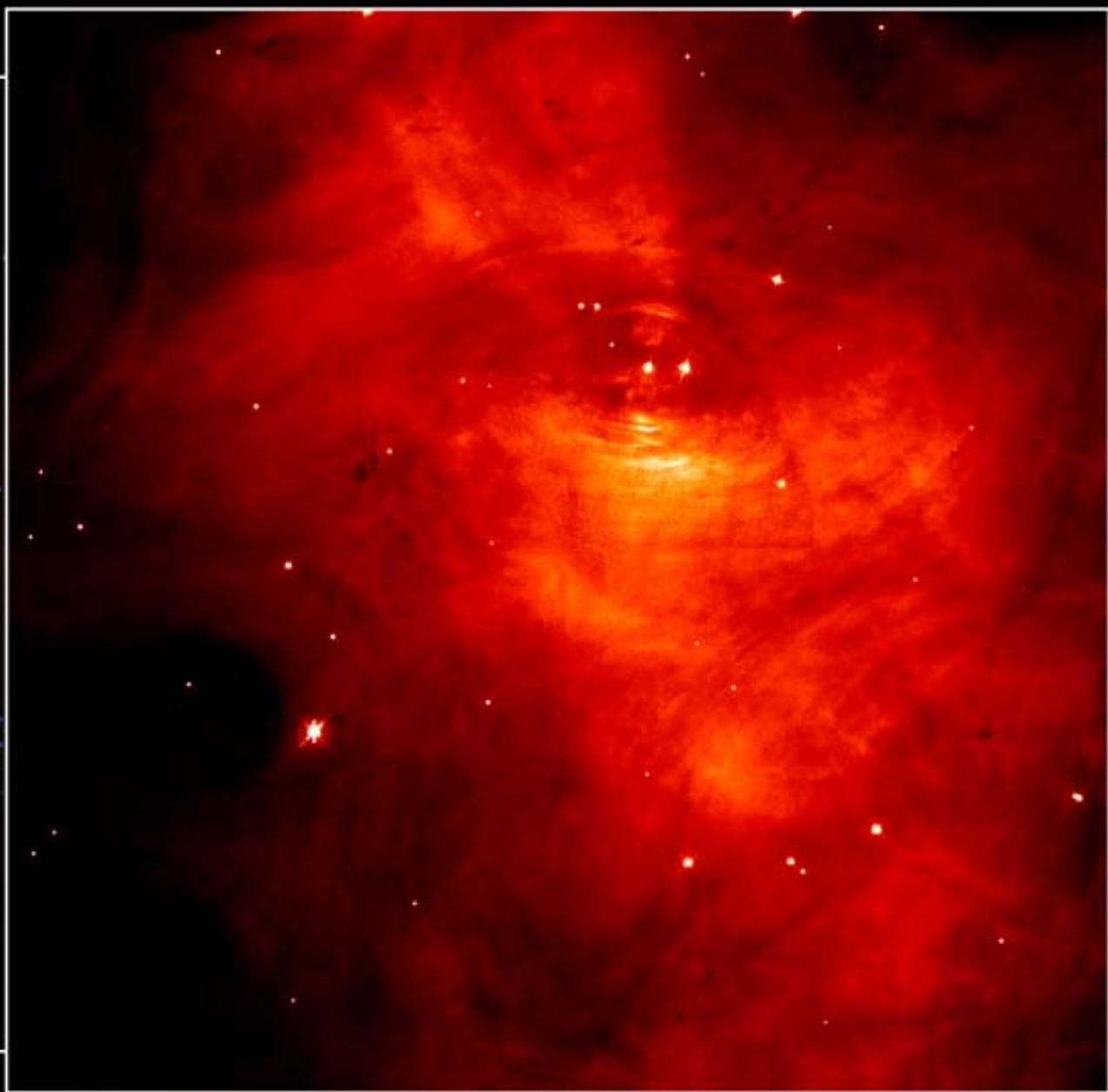
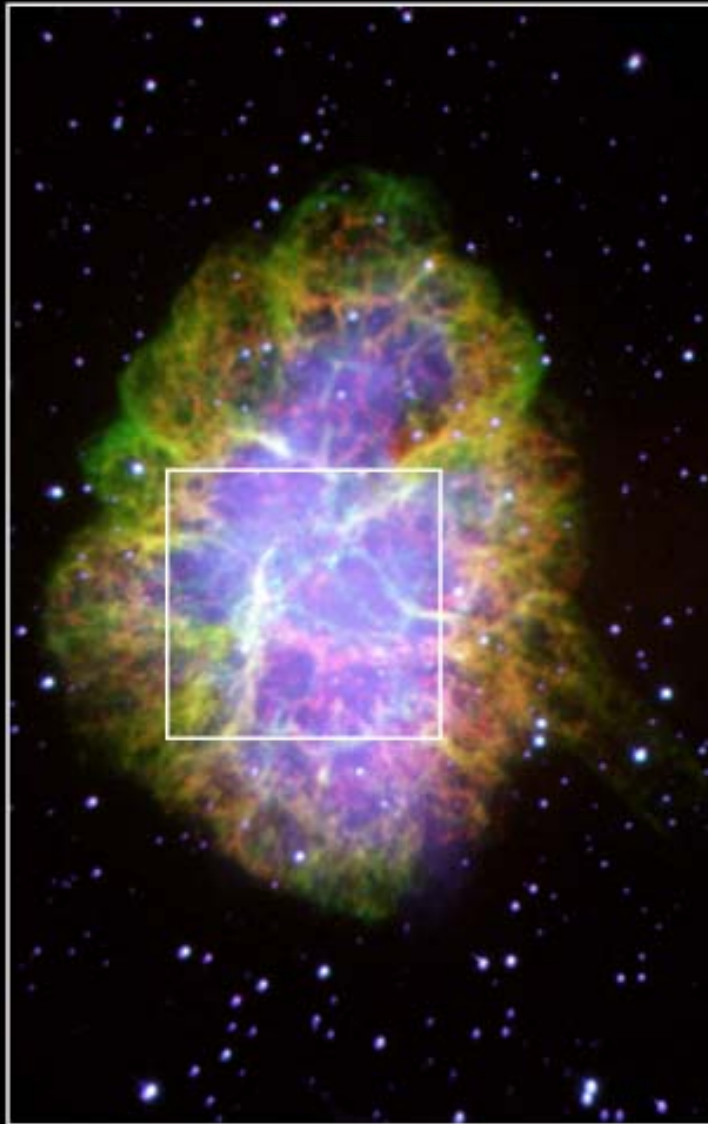
Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

ROZPÍNÁNÍ VESMÍRU A SUPERNOVY

- pulsar v Krabí mlhovině (1054), periodický rádiový zdroj 0,033 s, (0,00016–4s), 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)
- klasifikace na typ I (bez spektr. čar H) a II, Ia a Ib (přítomnost abs. čar Si 650 nm)
- **typ Ia** – bílý trpaslík v binárním systému
- 1938 – *W. Baade a F. Zwicky*: lze použít jako standardní svíčky



Crab Nebula



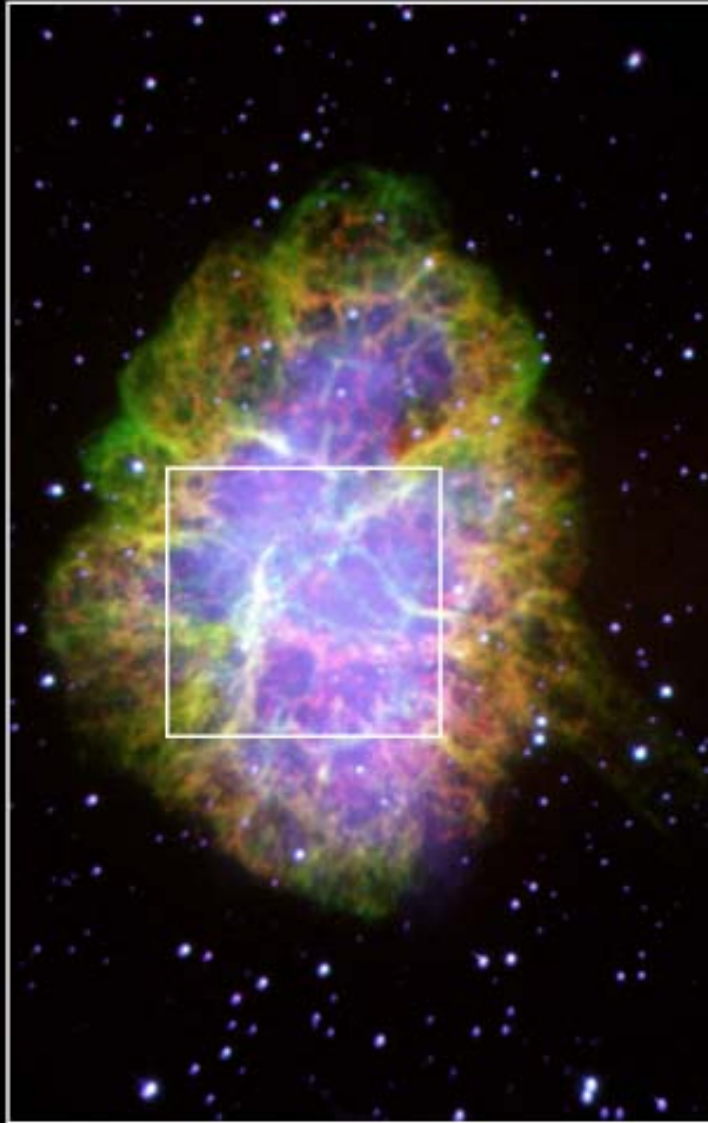
Palomar

PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996

J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.) and NASA

HST · WFPC2

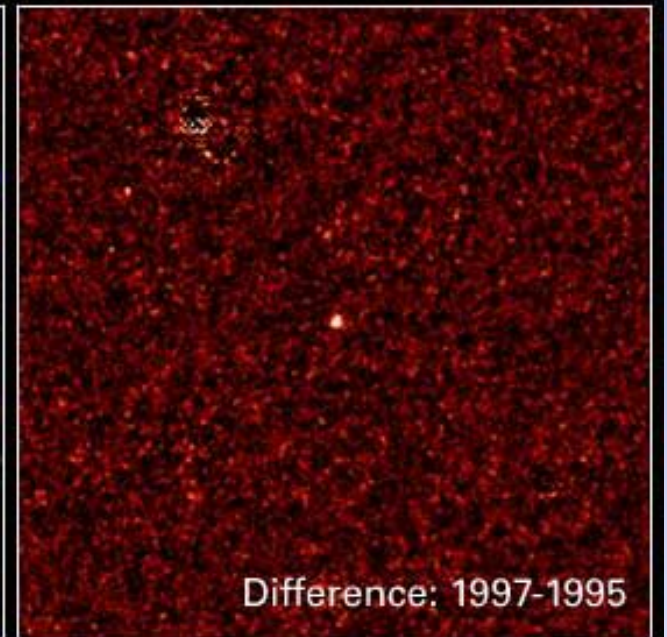
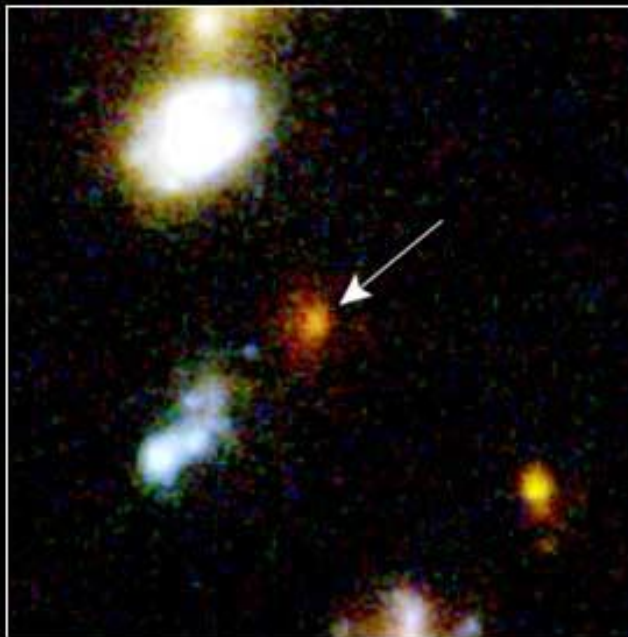
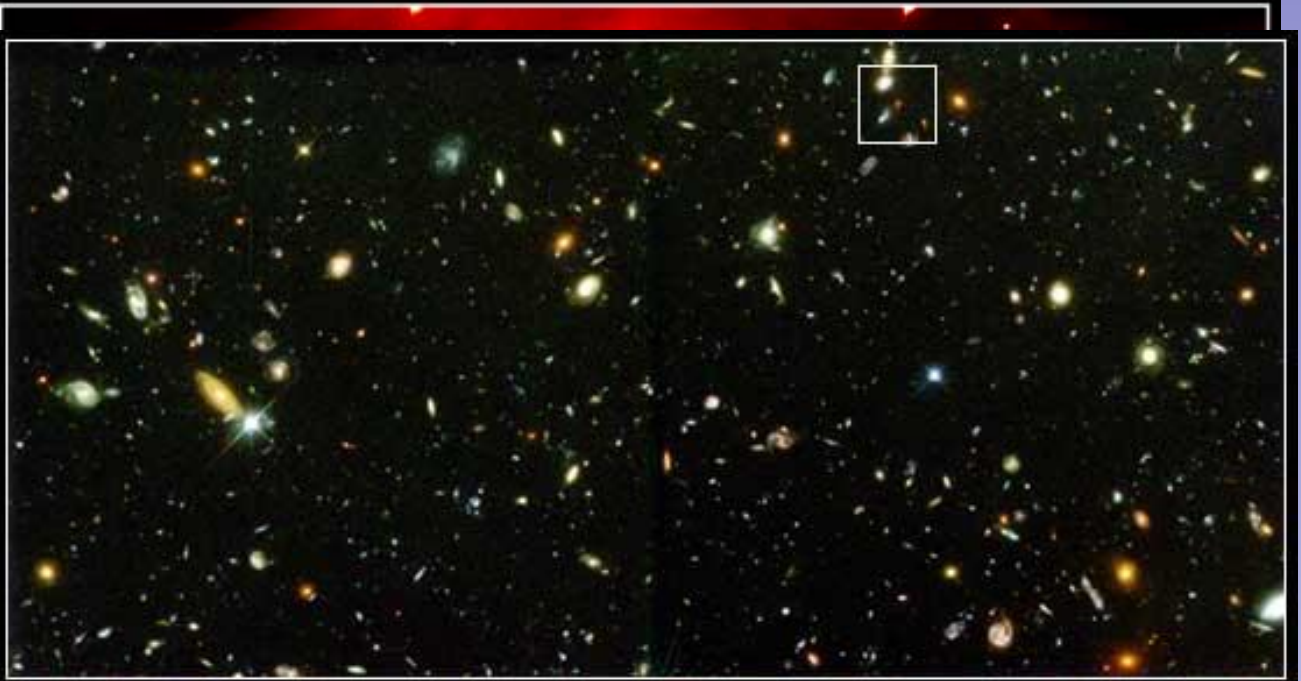
Crab Nebula



Palomar

PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996

J. Hester and P. Scowen (AZ State Un



Distant Supernova in the Hubble Deep Field

HST · WFPC2

NASA and A. Riess (STScI) · STScI-PRC01-09

Crab Nebula

HDF North
SN2002dd
WFPC2 1995

HDF North
SN2002dd
ACS+WFPC2 2002

WFPC2 I
WFPC2 V
WFPC2 B

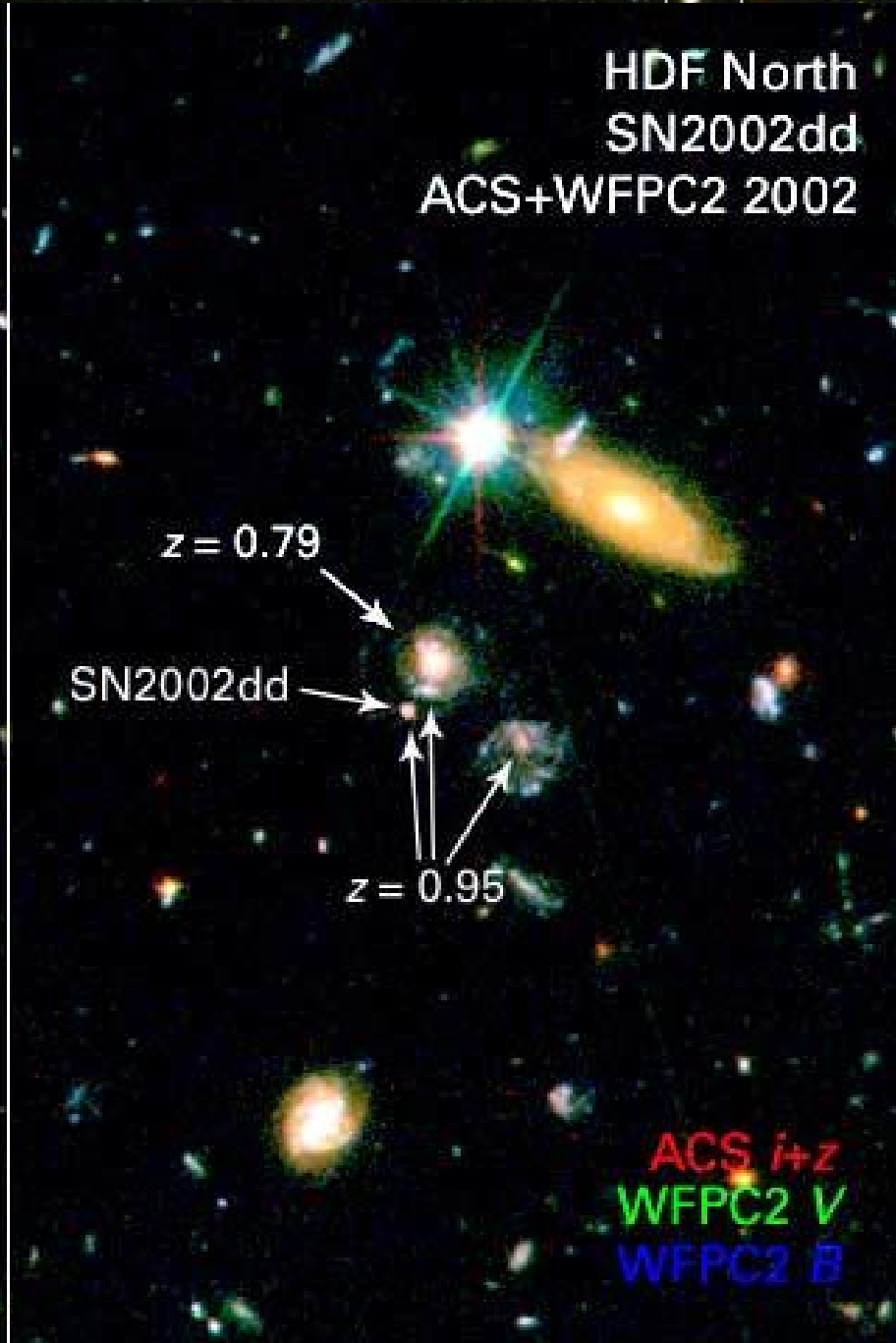
$z = 0.79$
SN2002dd

$z = 0.95$

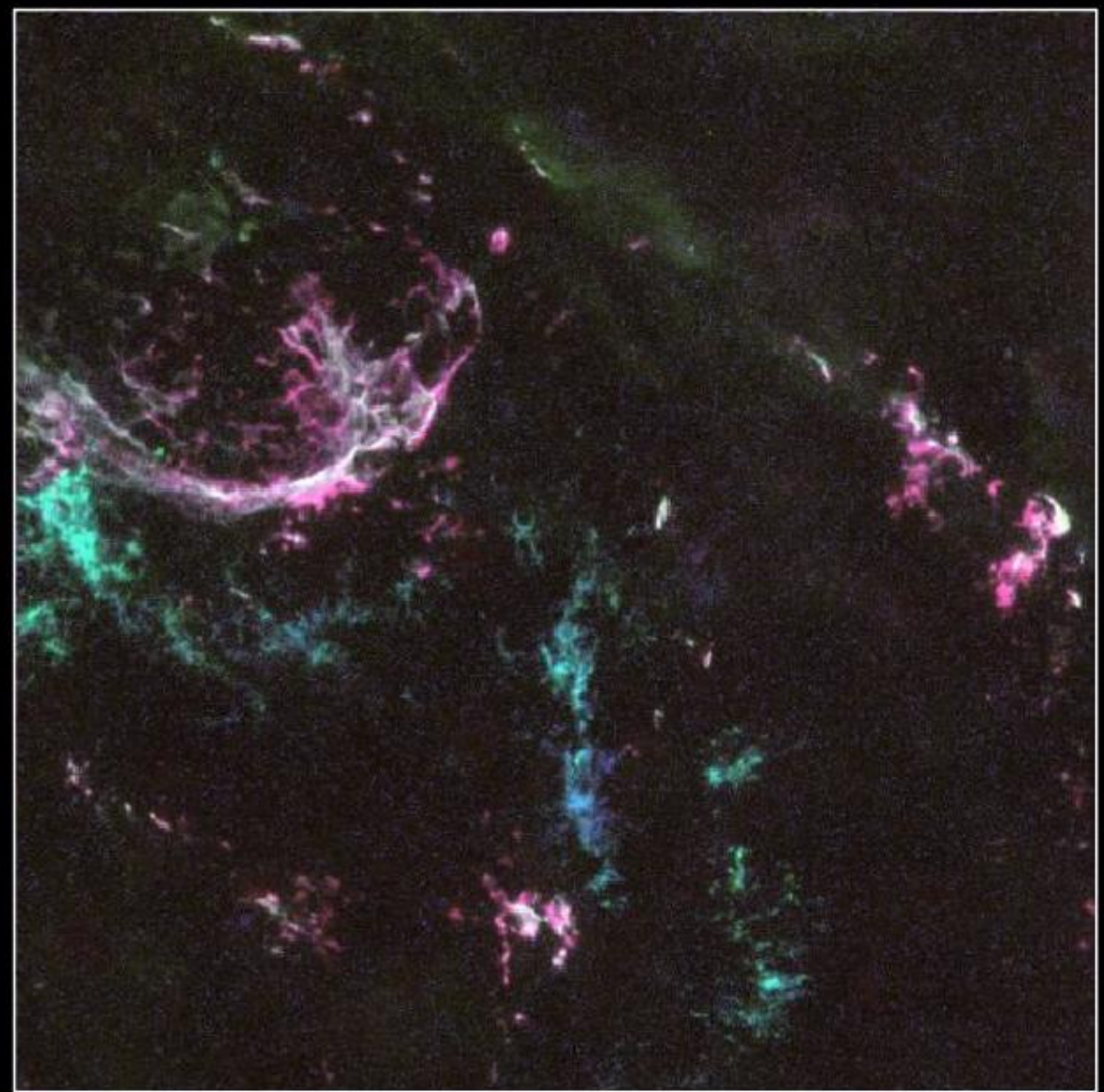
ACS $i+z$
WFPC2 V
WFPC2 B

1997-1995

• WFPC2



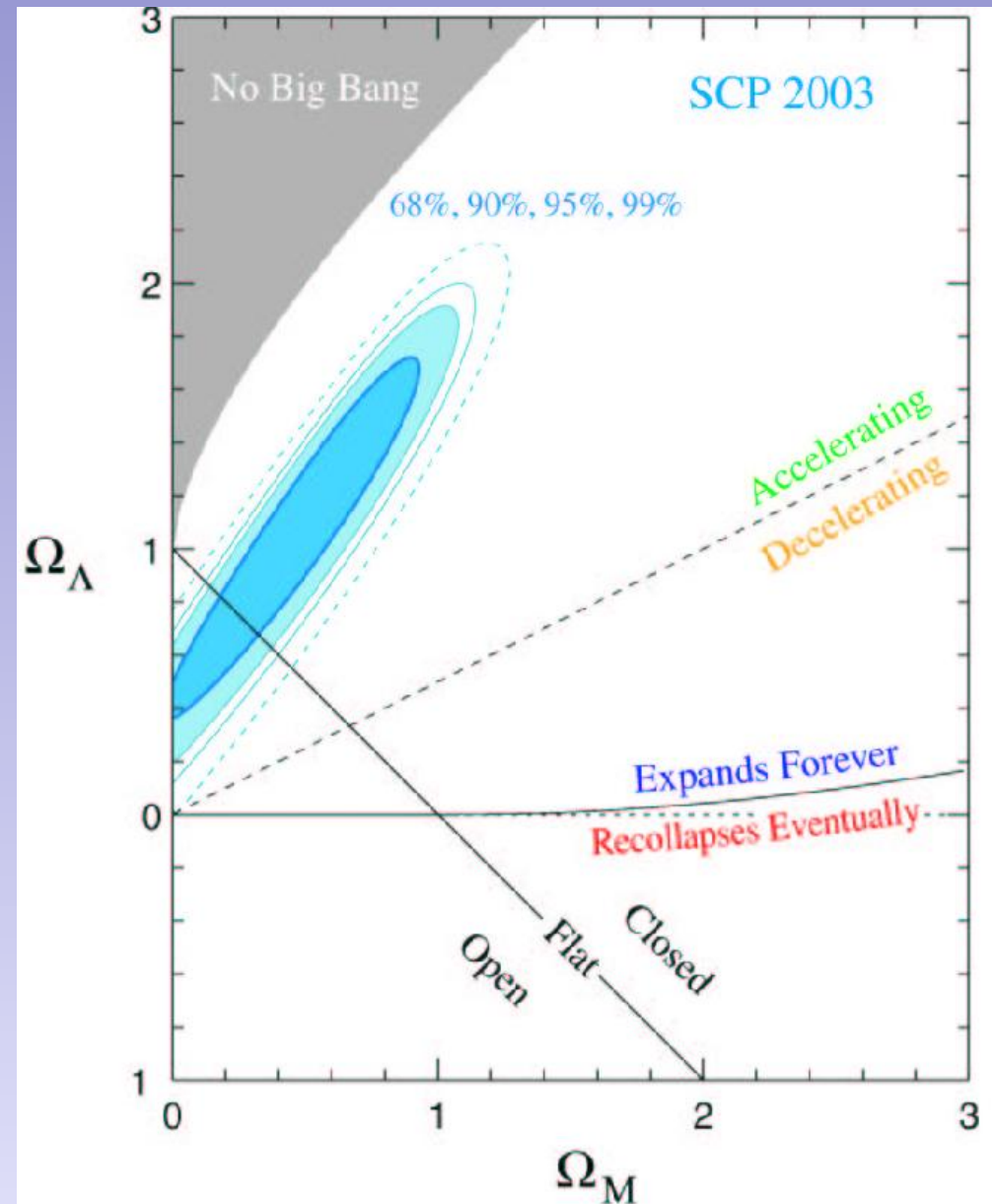
Crab Nebula



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

SUPERNOVA COSMOLOGY PROJECT

- *Saul Perlmutter*, Lawrence Berkeley National Laboratory
- jasnější SN mají pomalejší pokles jasnosti, 1. měření v 80.-ých letech
- 1998 – výzkum supernov ve vzdál. 100 miliónů svět. let \implies „vážení“ Vesmíru, **objevování supernov**
- **Závěr**: supernovy s největším rudým posuvem jsou méně jasné než v *prázdém* vesmíru \implies **rozpínání se zrychluje** \implies některé oblasti nikdy neuvidíme
- Problém: Λ by mělo být $10^{120} \times (10^{55} \times)$ větší \implies **temná hmota a temná energie**, MACHO

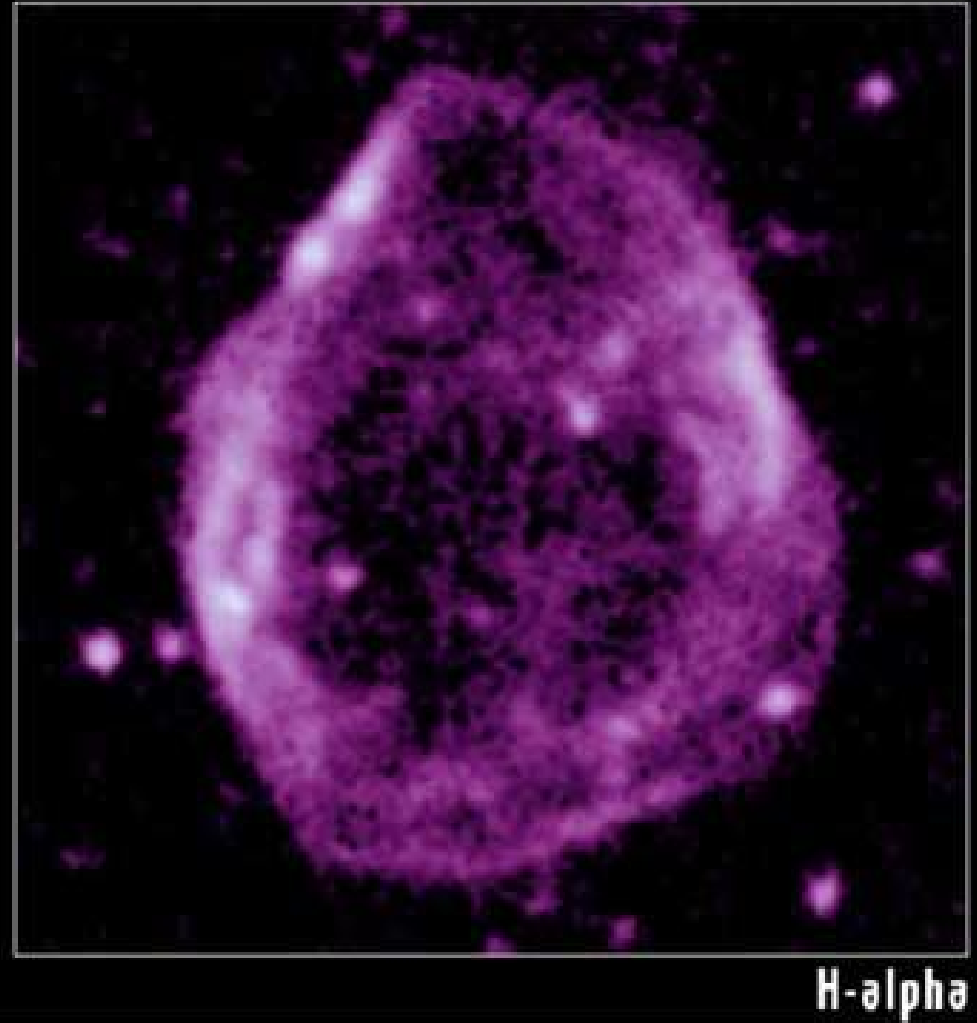
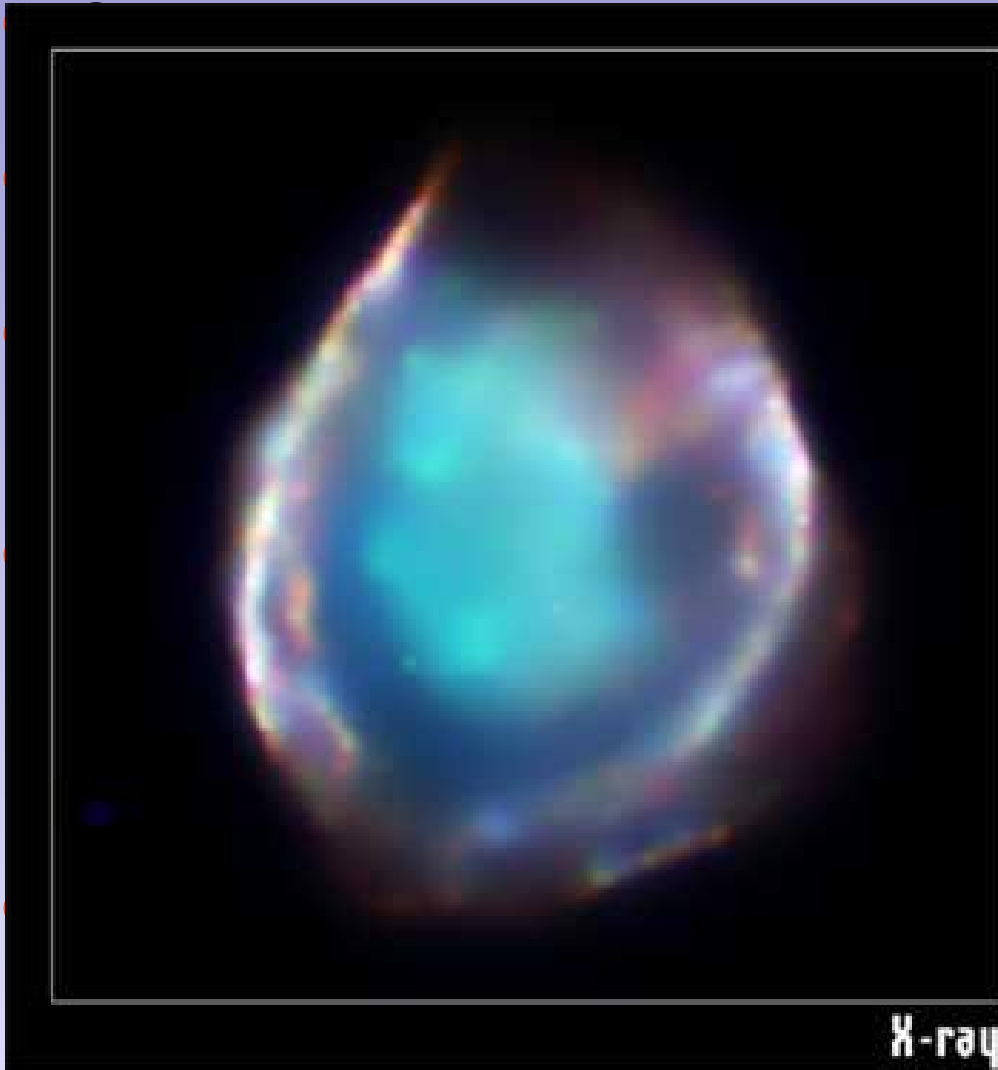


SUPERNOVA COSMOLOGY PROJECT

3

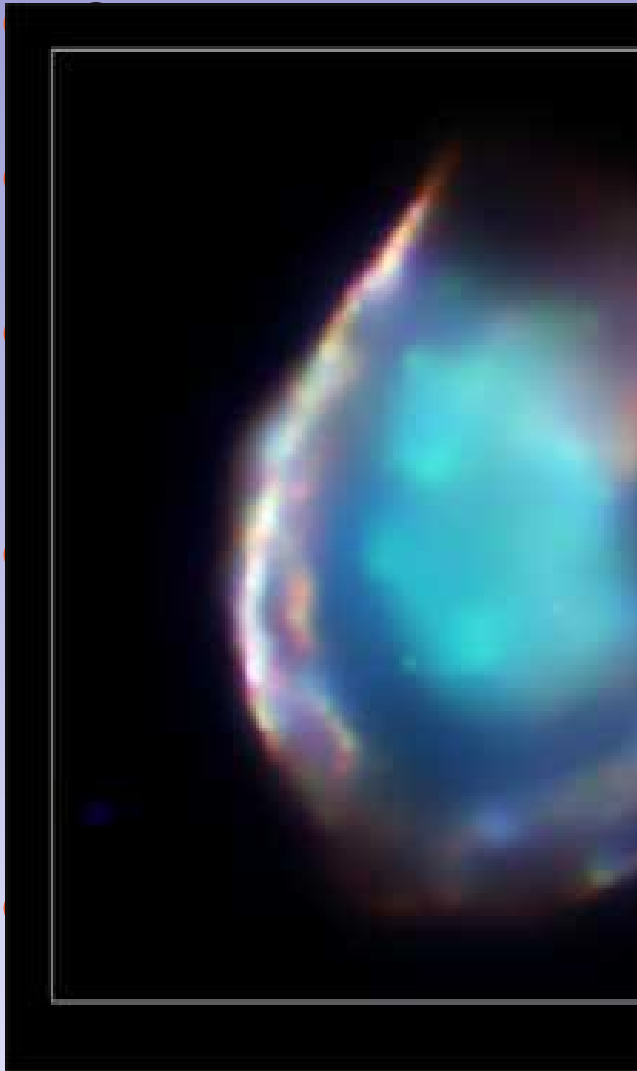
No Big Bang

SCP 2003

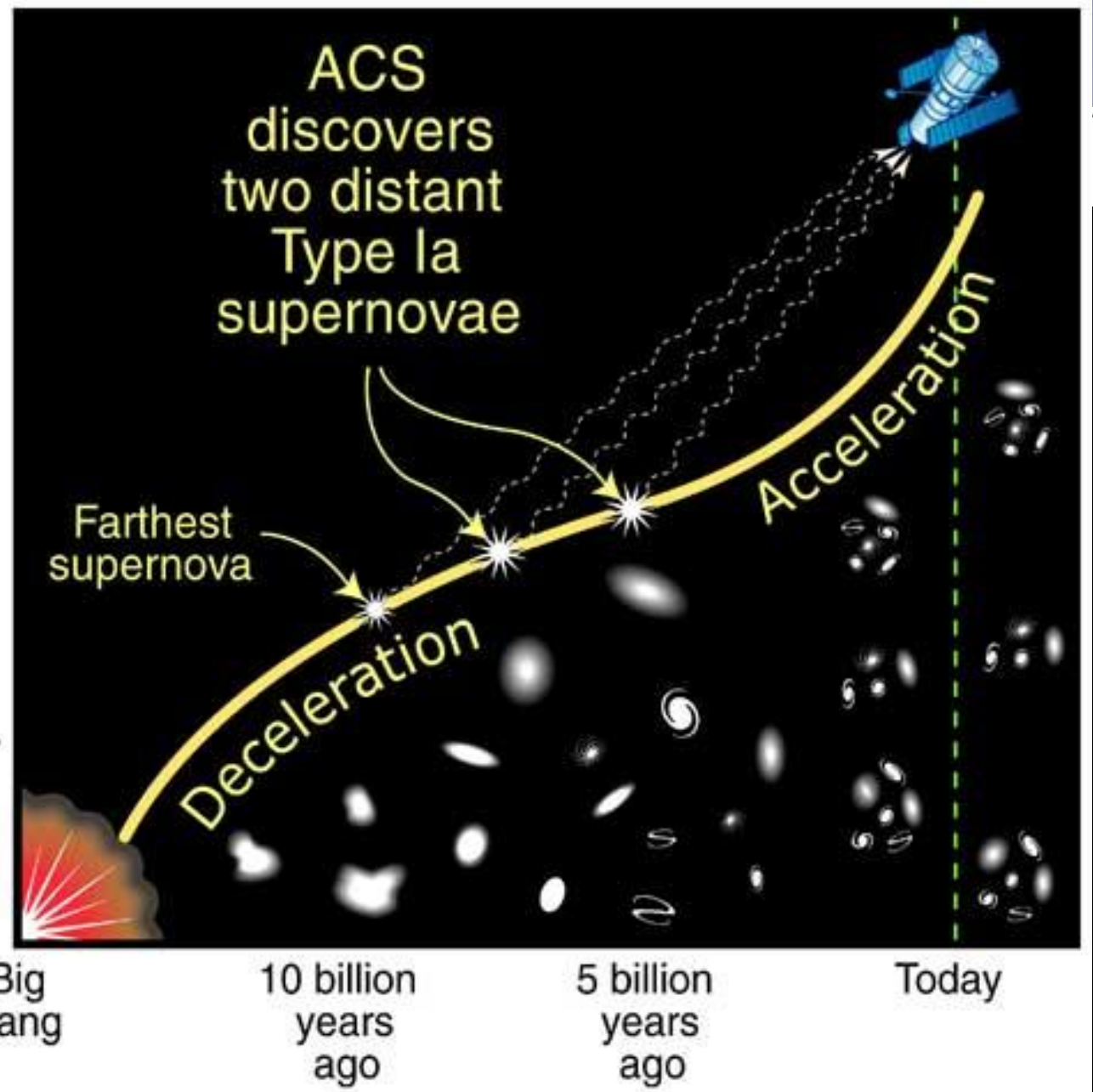


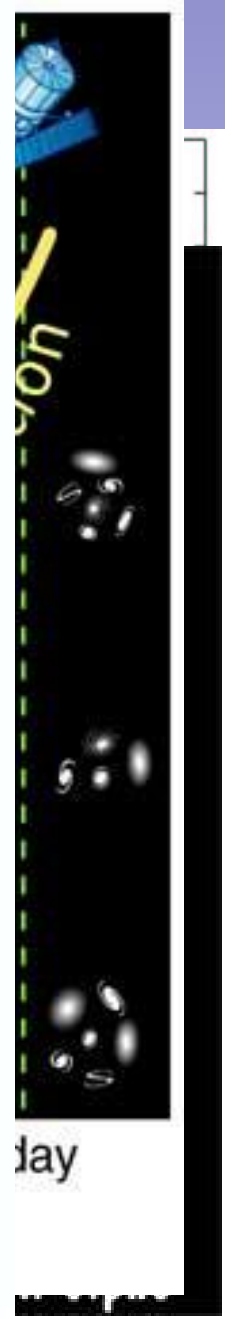
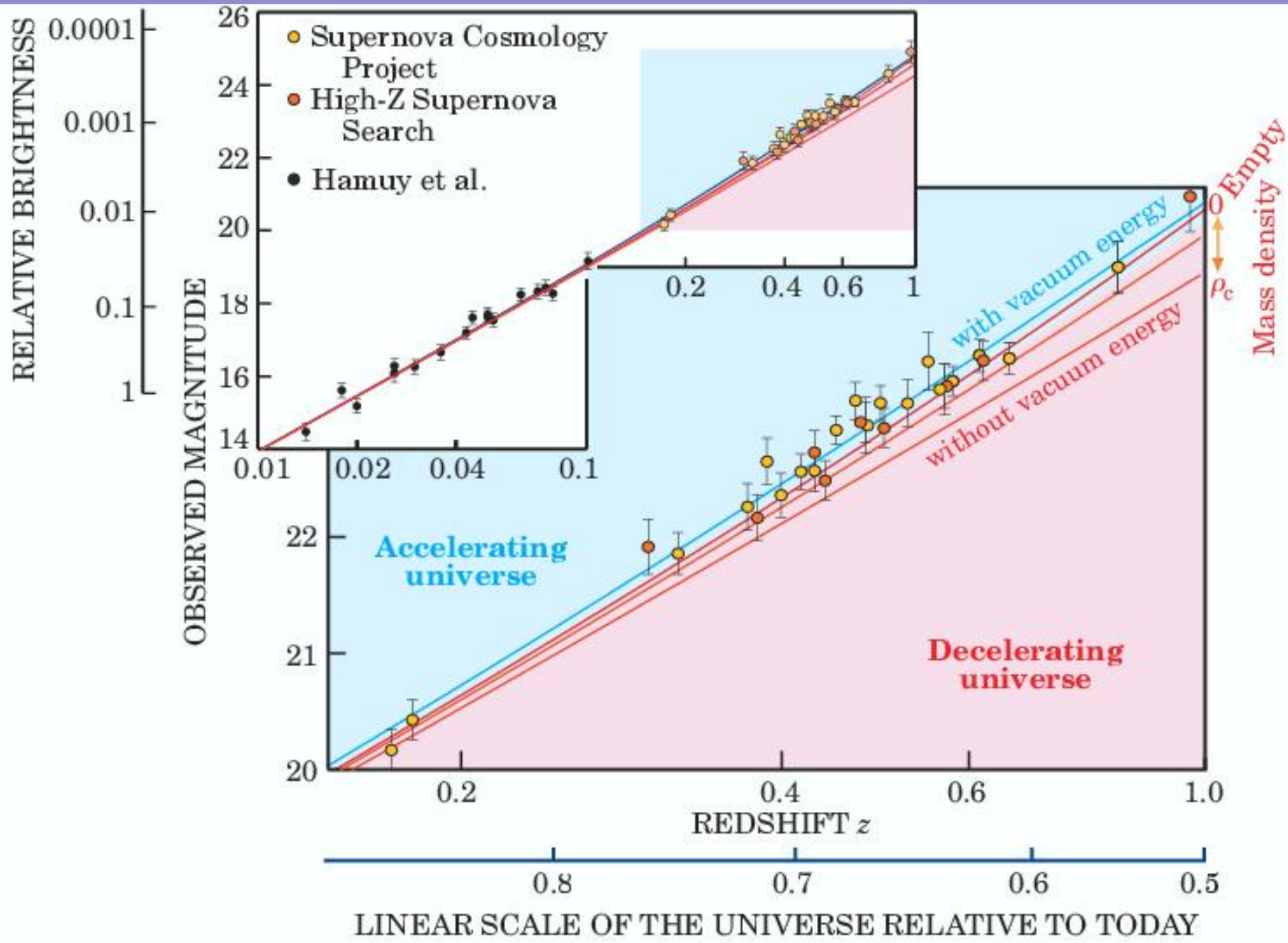
52M

SUPERNOVA COSMOLOGY PROJECT



Expansion of universe





lay

RELATIVE BRIGHTNESS

0.0001
0.001
0.01
0.1
1

26



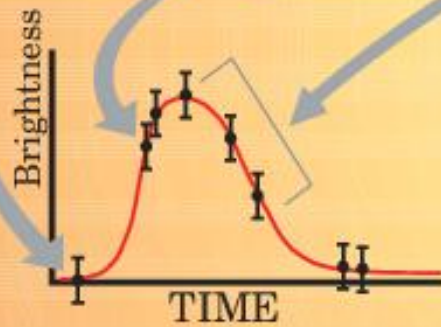
Almost 1000 galaxies per field

50-100 fields

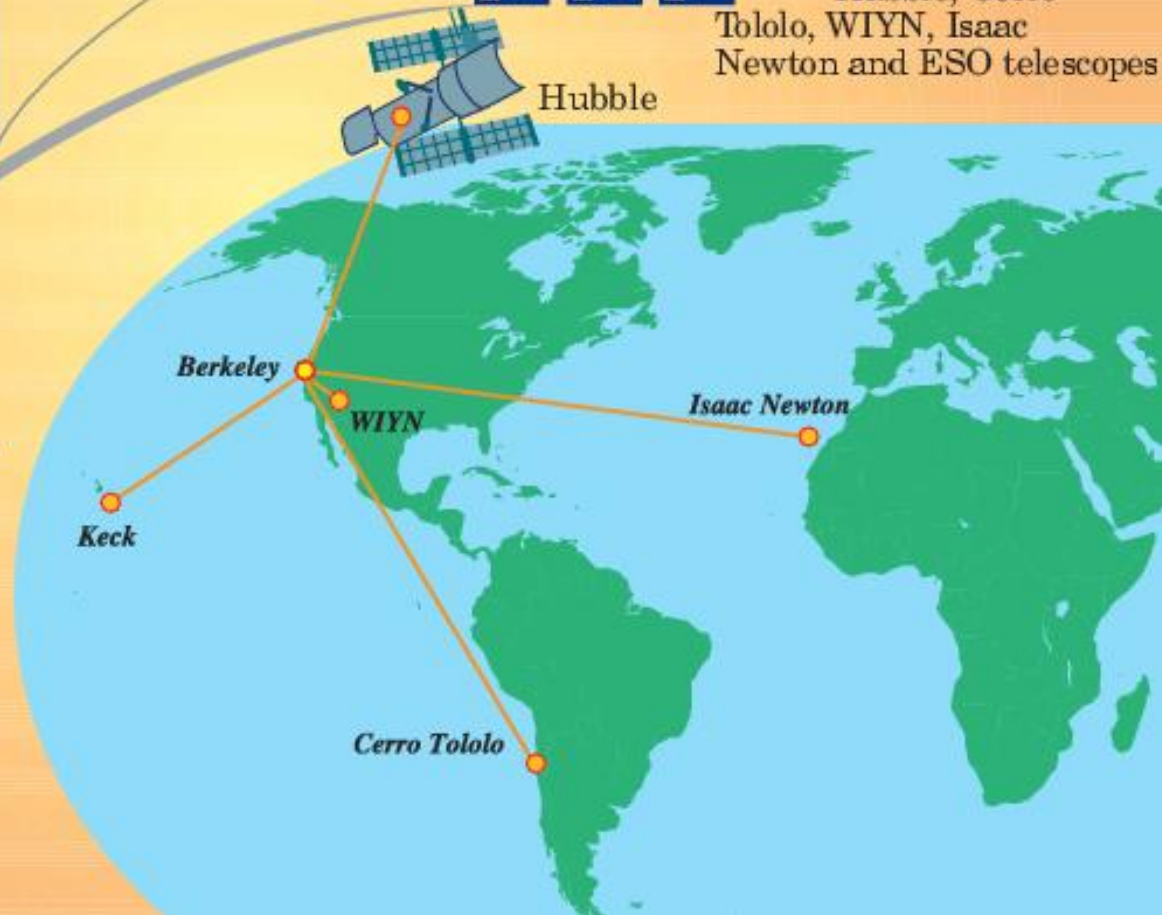


Scheduled follow-up spectroscopy at Keck and ESO telescopes

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

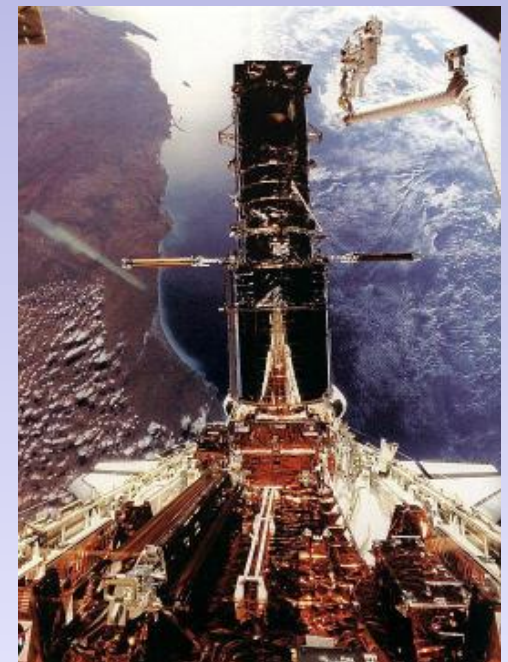
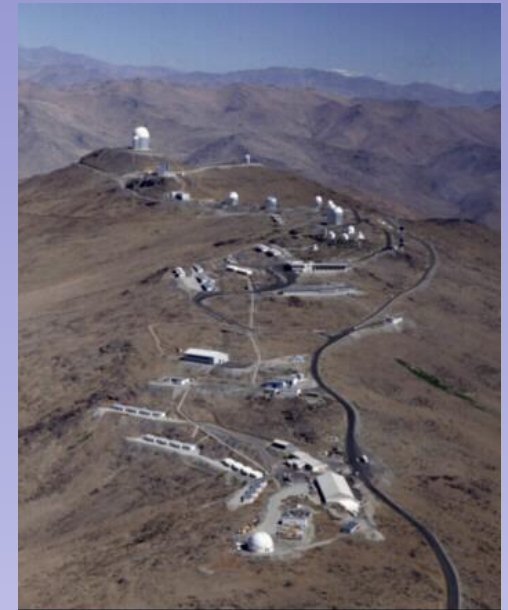


A dozen type 1a supernovae discovered while still brightening



OKNA DO VESMÍRU

- okno optické
 - ✓ Pozorování prostým okem – Tycho Brahe (1546–1601)
 - ✓ Lippershey (1608), Galilei (1609–1610)
- 1932 – radioastronomie, Karl Jansky – 1. zdroj v souhvězdí Střelce, pulsary (A. Hewish 1967)
- 1965 – mikrovlnné záření, Arno Penzias a Robert Wilson
- UV astronomie – 70. léta, pomocí družic
- γ -záření: družice COS-B (1975–1982), 10^{-14} m
- 1983 – IRAS (Infrared Astr. Satellite), chlazeno heliem na 2 K, 200 000 zdrojů
- detekce gravitačních vln – 200?
- 1994 – oprava HST



OKNA DO VESMÍRU



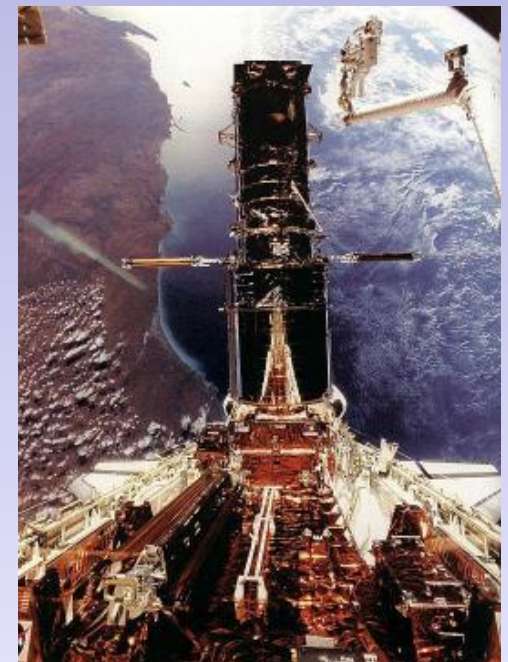
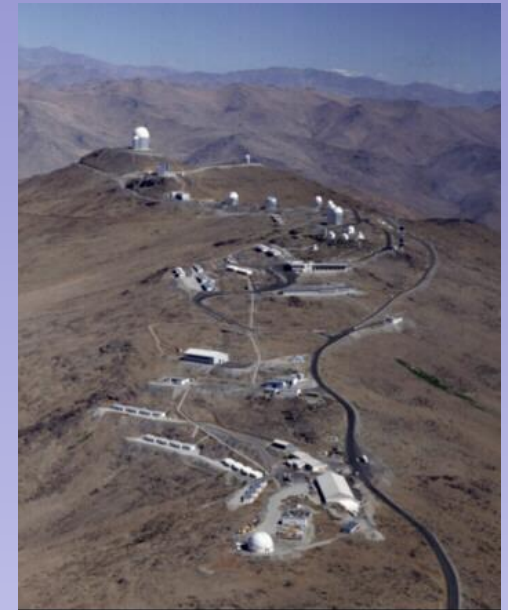
no Brahe (1546–1601)
–1610)

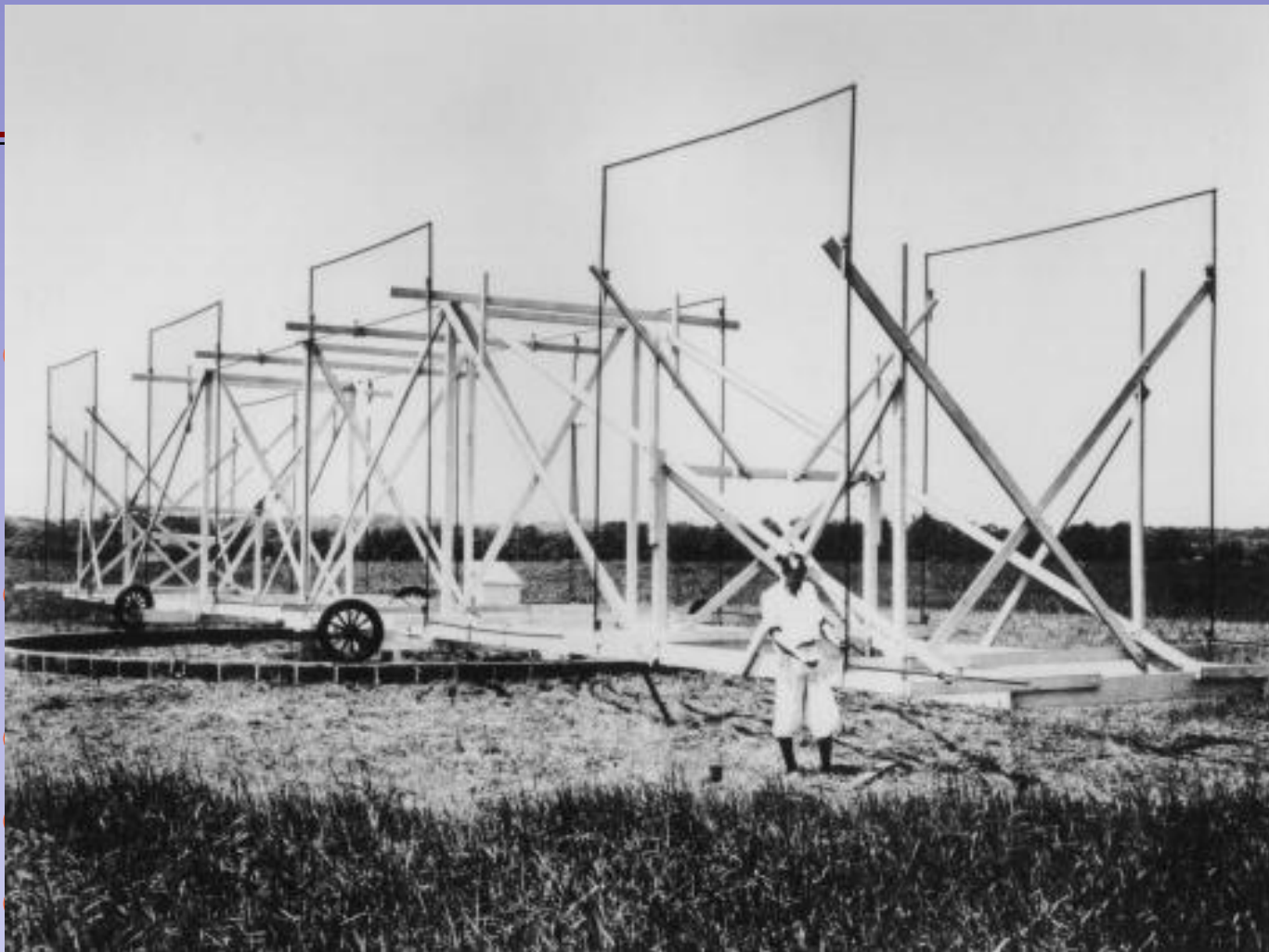
ky – 1. zdroj v
ish 1967)

nzias a Robert Wilson
lružic

82), 10^{-14} m

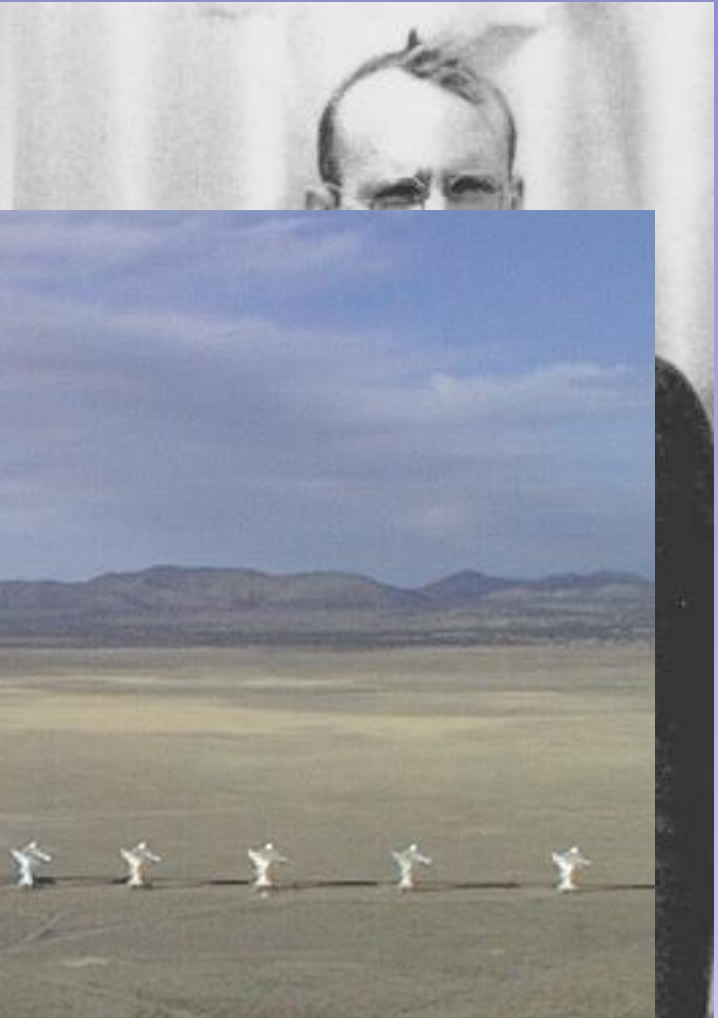
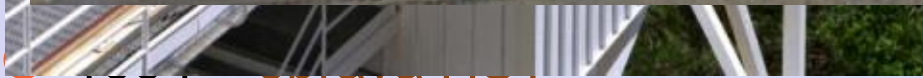
e), chlazeno heliem na

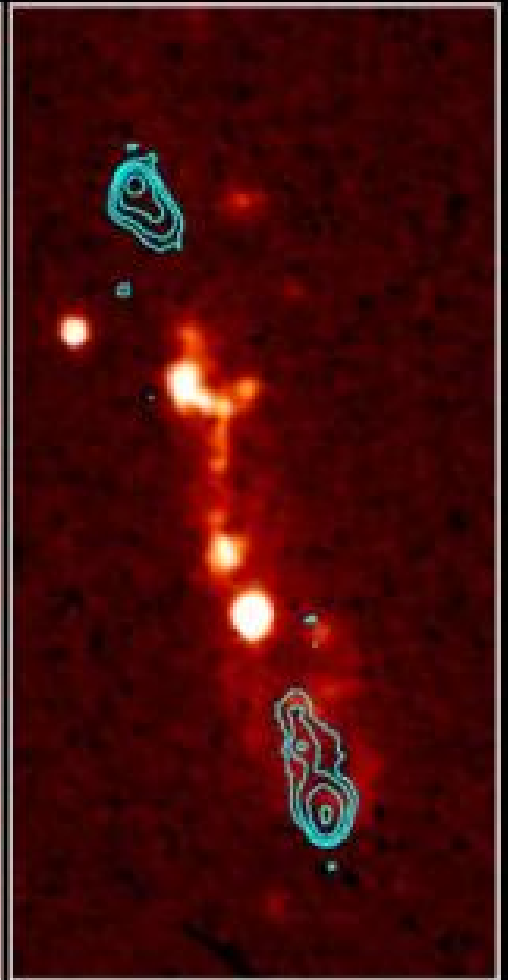
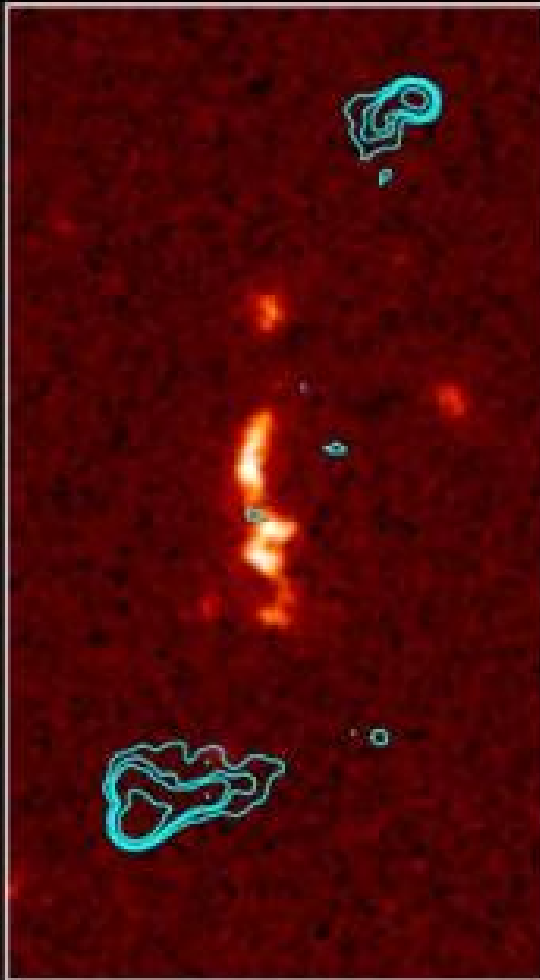
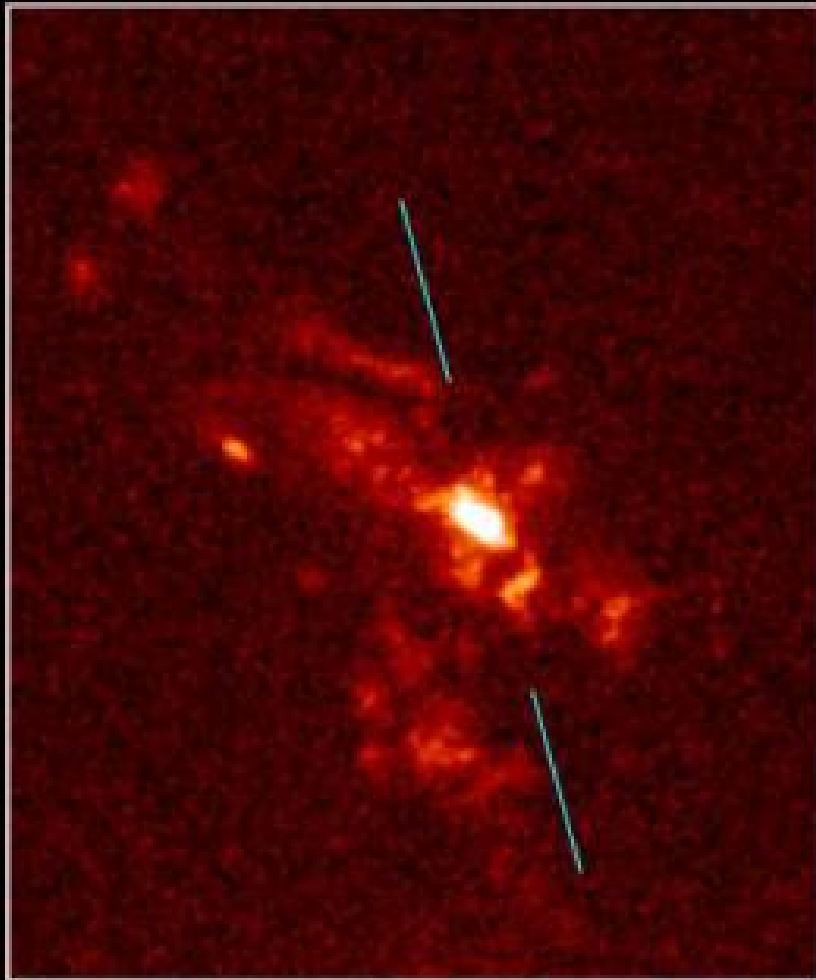




e), chlazeno heliem na





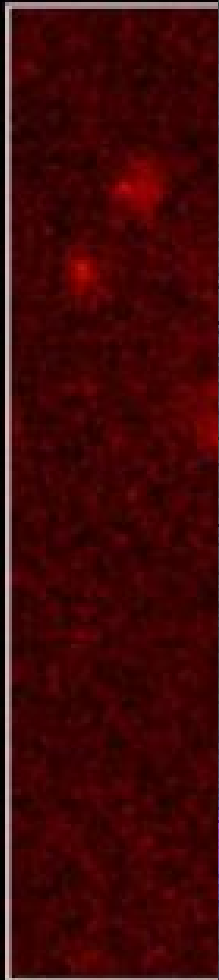


HST Observes Radio Galaxies

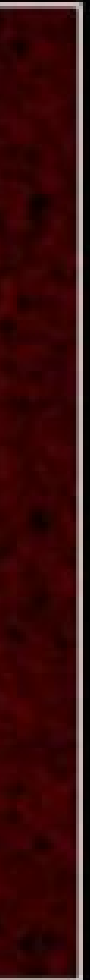
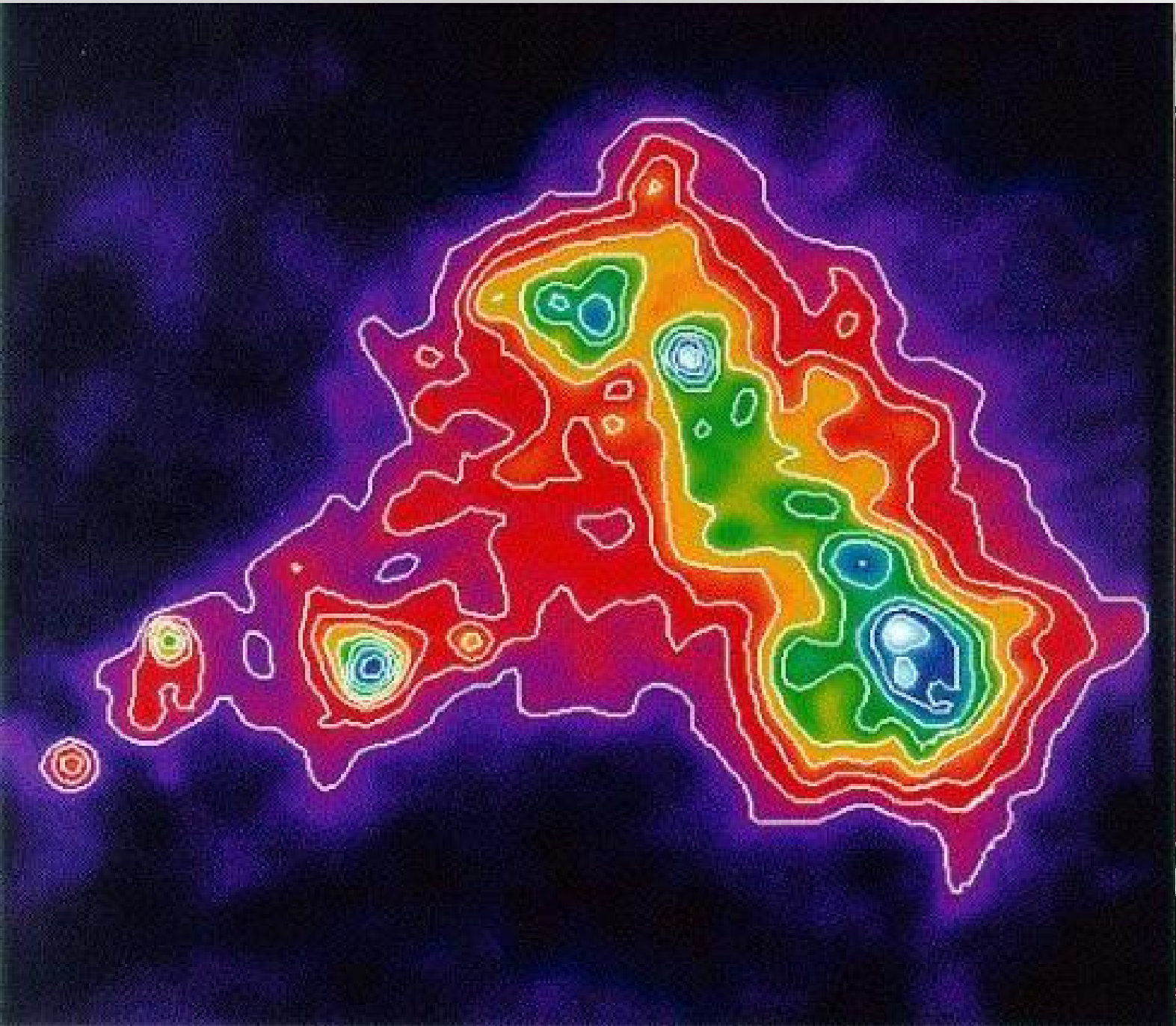
HST · WFPC2

PRC95-30 · ST ScI OPO · August 7, 1995 · M. Longair (Cavendish Lab.), NASA

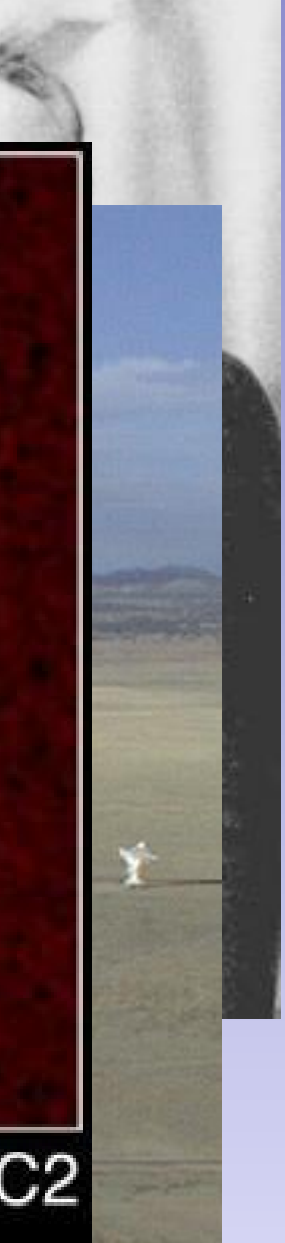


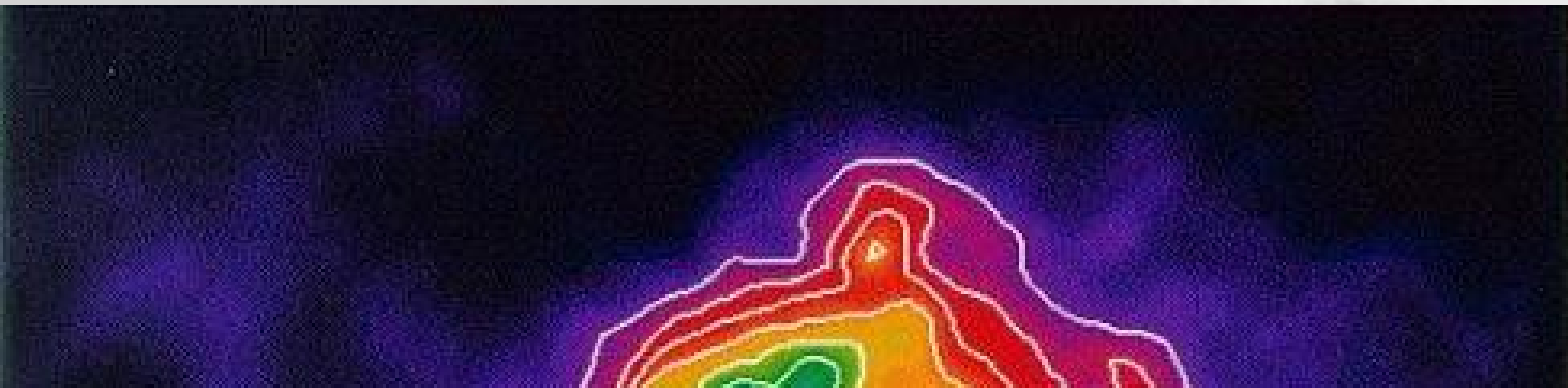


HST O
PRC95-30 -



C2

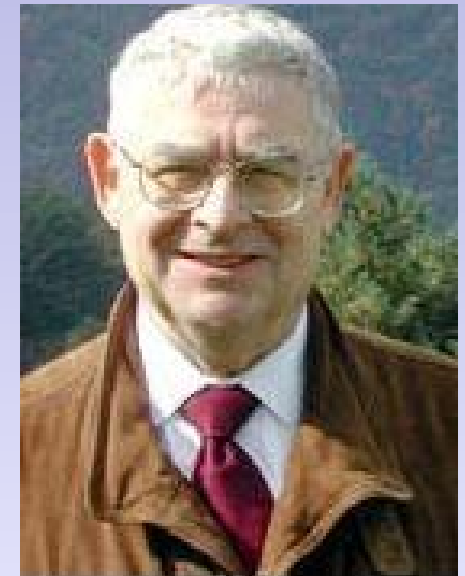




HST O
PRC95-30

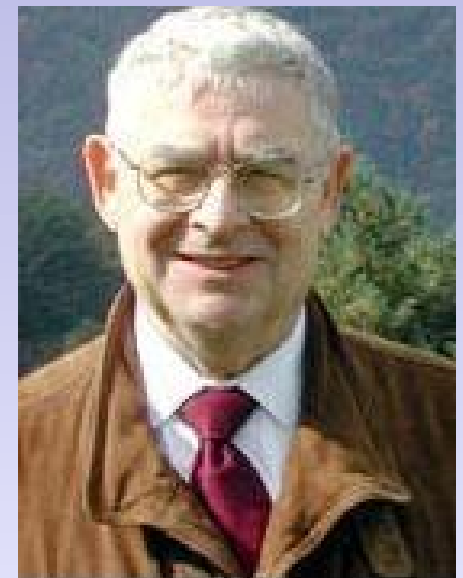
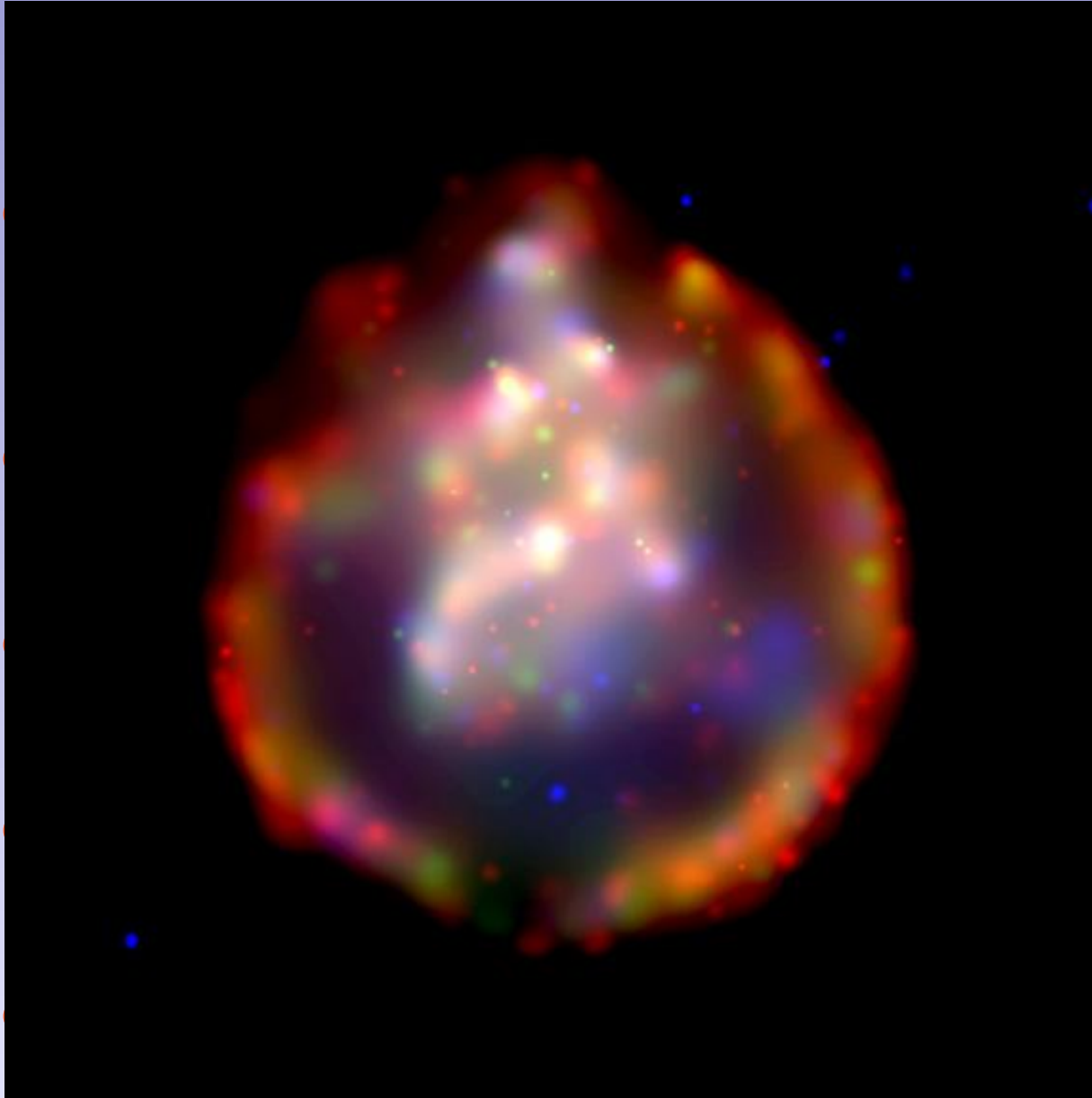
NOBELOVA CENA ZA ROK 2002

- 1/2 *Riccardo Giacconi* (Washington) za „příspěvek vedoucí k odhalení kosmických zdrojů RTG záření“
- 1960 – návrh na koncentraci RTG záření odrazem na parabol. povrchu (nelze „čočkou“)
- 1962 – první RTG záření mimo Sluneční soustavu (Sco X-1, na voj. raketě)
- 1970 – první družice na výzkum RTG záření – Uhuru („Mír“, binární systémy)
- 1973 – první RTG dalekohled (družice Skylab)
- 1999 – Chandra observatory (i RTG pozadí), 10^8 RTG Galaxií (10 fotonů/týden)

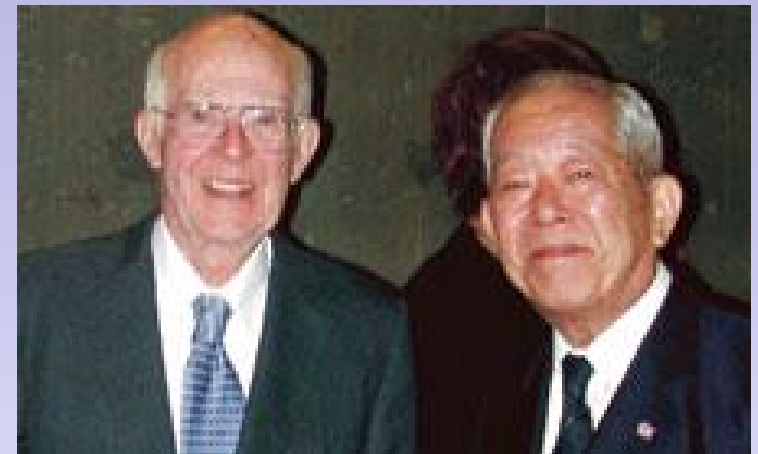
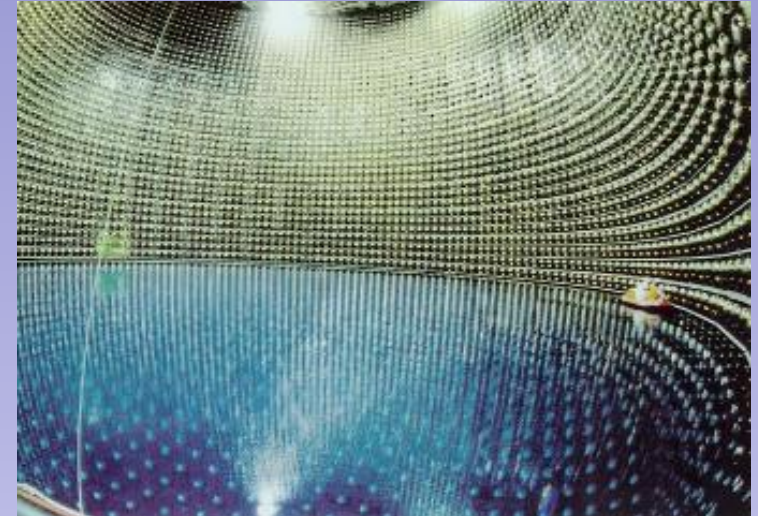


NOBELOVA CENA ZA ROK 2002

- 1/2 *Riccardo Giacconi* (Washington) za



- 1/2 *Raymond Davis Jr.* (Brookhaven NL) a *Masatoshi Koshiba* (U. of Tokyo) za „detekci kosmických neutrin“
- „podzemní astronomie“, Homestake Mine (zlatý důl 1500 m pod Zemí), skoro 4000 m³ perchloretylénu C₂Cl₄, vzniká radioaktivní Argon, **detekce neutrin ze Slunce** (1967–1994), pouze 1 atom Ar za 2 dny ⇒ zachycena 1/3 předp. počtu neutrin (1967–1994), později chybí jenom 9%
- 1968 – „oscilace“ neutrin,
- 1983 – detektor **Kamiokande** (bývalý zinkový důl), 3000 tun H₂O + Čerenkovovo záření, rozpad protonu ($T = 10^{29}$ let), p^+ nezaznamenán, ale schopni detekovat sl. neutrina a jejich energ. spektrum
- 1996 – **SuperKamiokande**, 2002 – Sudbury Neutrino Observatory (**D₂O**)



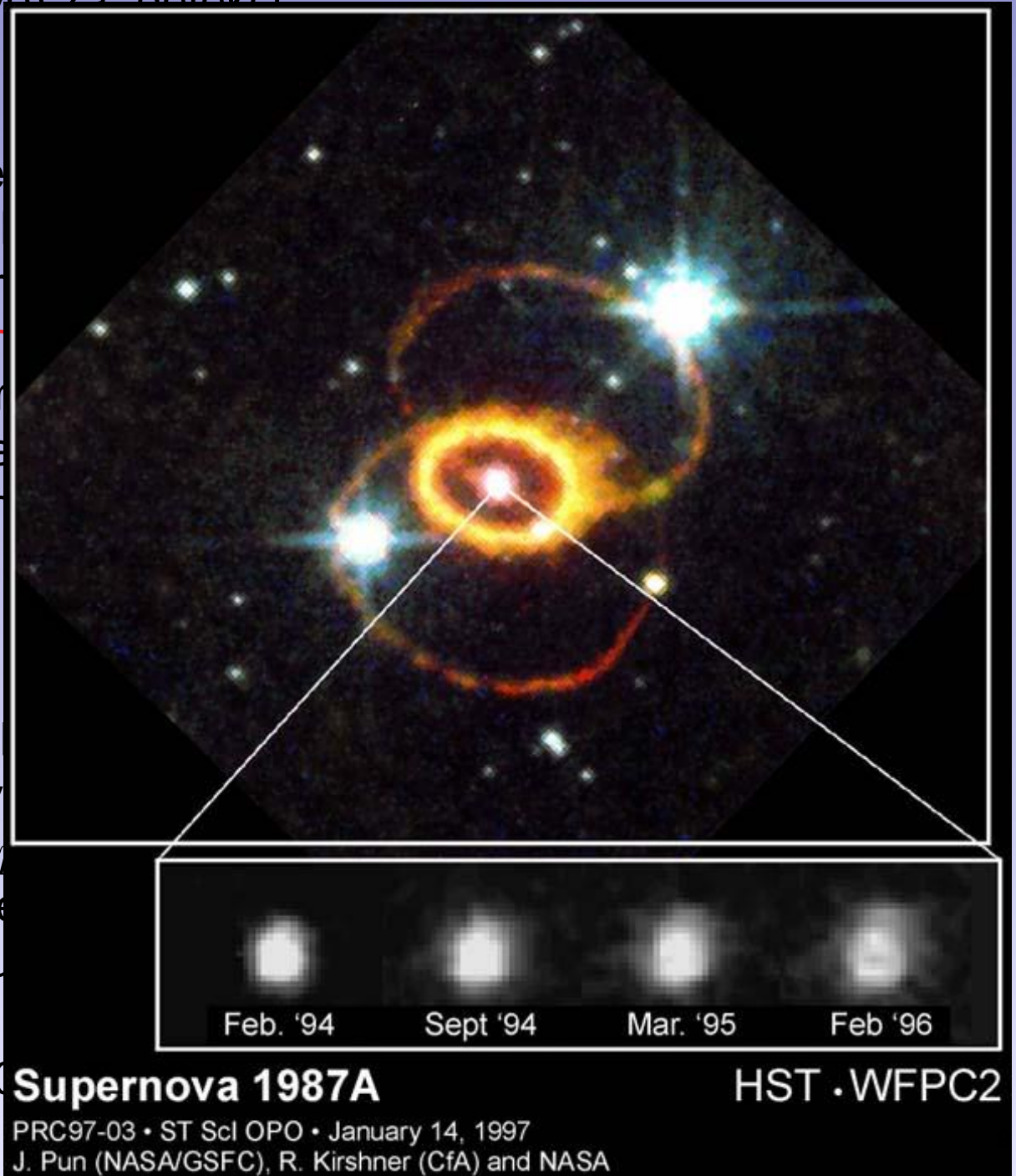
- 1/2 *Raymond Davis Jr.* (Brookhaven NL) a *Masatoshi Koshiba* (U. of Tokyo) za „detekci kosmických neutrin“

- „podzemní astronomie“, Home (zlatý důl 1500 m pod Zemí), s perchloretylénu C_2Cl_4 , vzniká r Argon, **detekce neutrin ze Slur** (1967–1994), pouze 1 atom Ar zachycena 1/3 předp. počtu ne (1967–1994), později chybí jer

- 1968 – „oscilace“ neutrin,

- 1983 – detektor **Kamiokande** (důl), 3000 tun H_2O + Čerenkov rozpad protonu ($T = 10^{29}$ let), nezaznamenan, ale schopni de neutrina a jejich energ. spektru

- 1996 – **SuperKamiokande**, 200 Neutrino Observatory (D_2O)



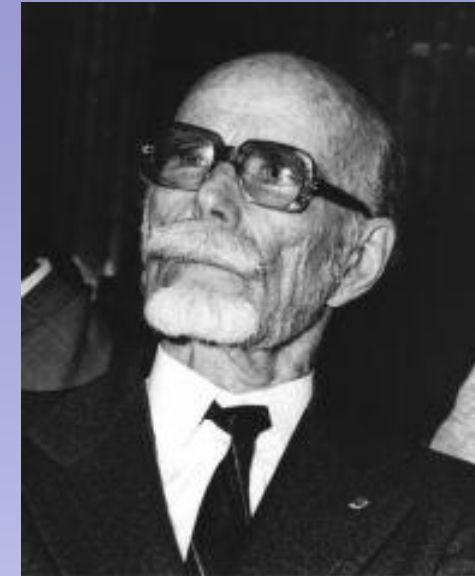
Supernova 1987A

HST .WFPC2

PRC97-03 • ST ScI OPO • January 14, 1997
J. Pun (NASA/GSFC), R. Kirshner (CfA) and NASA

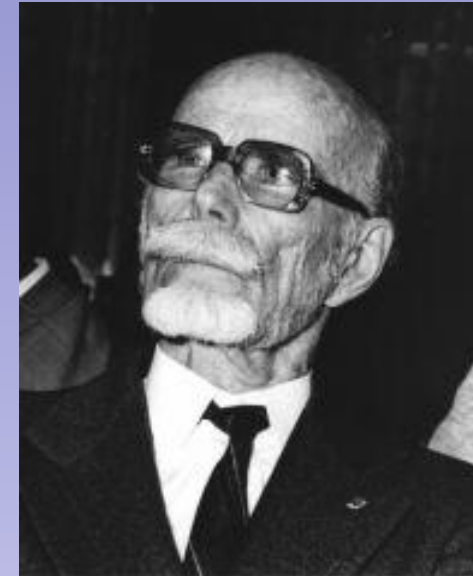
PIERRE AUGER COSMIC RAY OBSERVATORY

- částice s energií 10^{19} eV (1,6 J), v urychlovačích pouze 10^{12} eV
- 1 částice na 1 km^2 za 100 let, plocha $3\,000 \text{ km}^2$
- *Jim Cronin, Alan Watson*, 200 fyziků z 15 zemí, 50 miliónů dolarů
- podílí se i SLO FzÚ ČAV a UP



PIERRE AUGER COSMIC RAY OBSERVATORY

- částice s energií 10^{19} eV (1,6 J), v



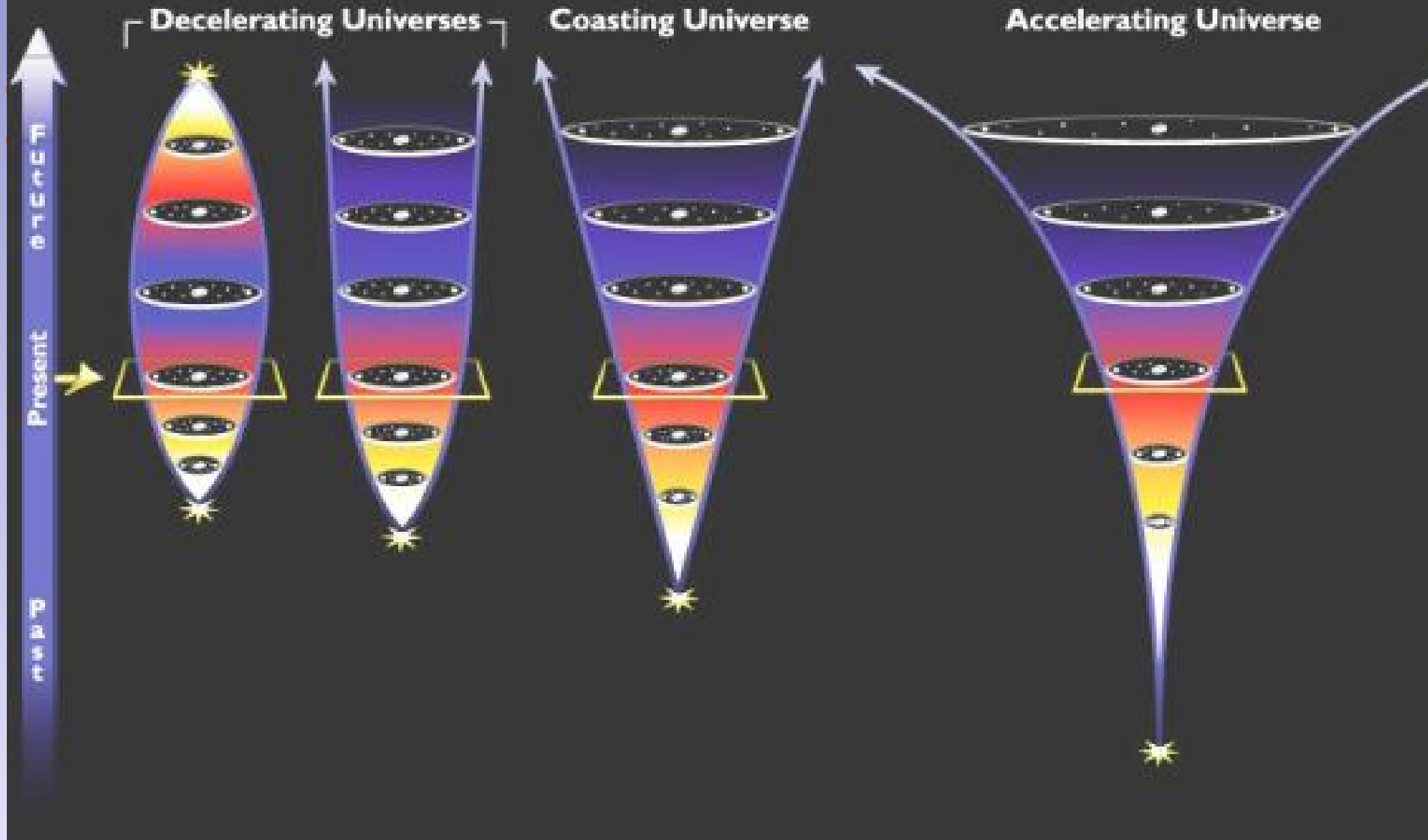
STANDARDNÍ MODEL

- 1948 – G. Gamow, R. Alpher, R. Herman, teorie o vzniku prvků v počáteční rané fázi
- **Big Bang** – Fred Hoyle (Steady State Theory)
- **nukleosyntéza, reliktní záření, vznik pozorovaných struktur, stručná historie**



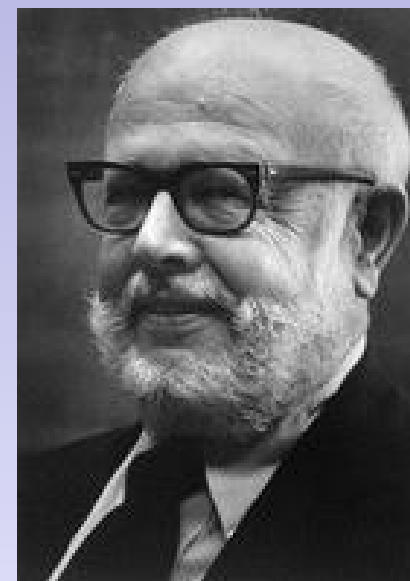
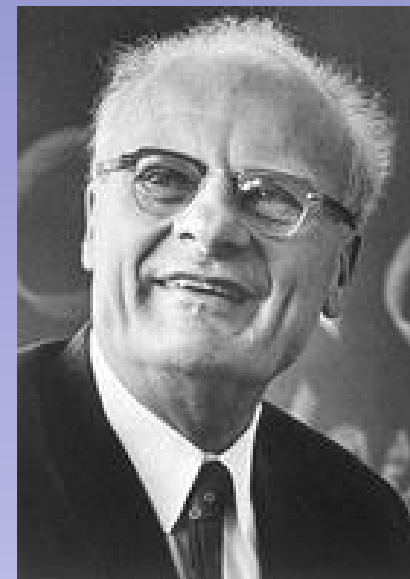
STANDARDNÍ MODEL

Possible Models of the Expanding Universe

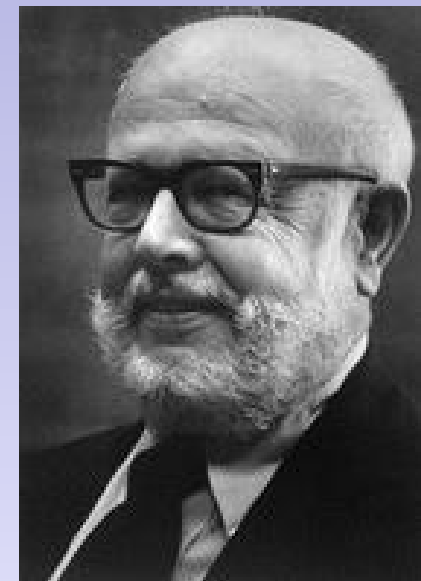
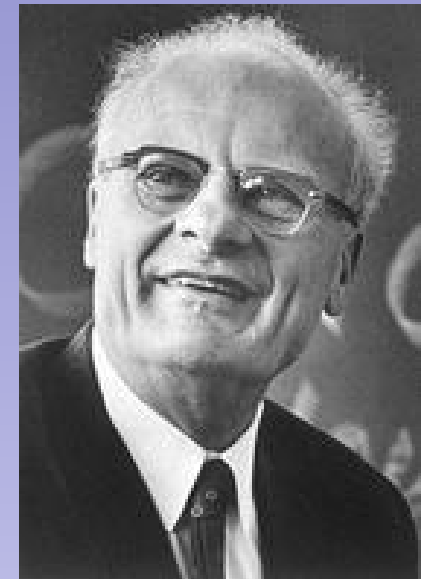
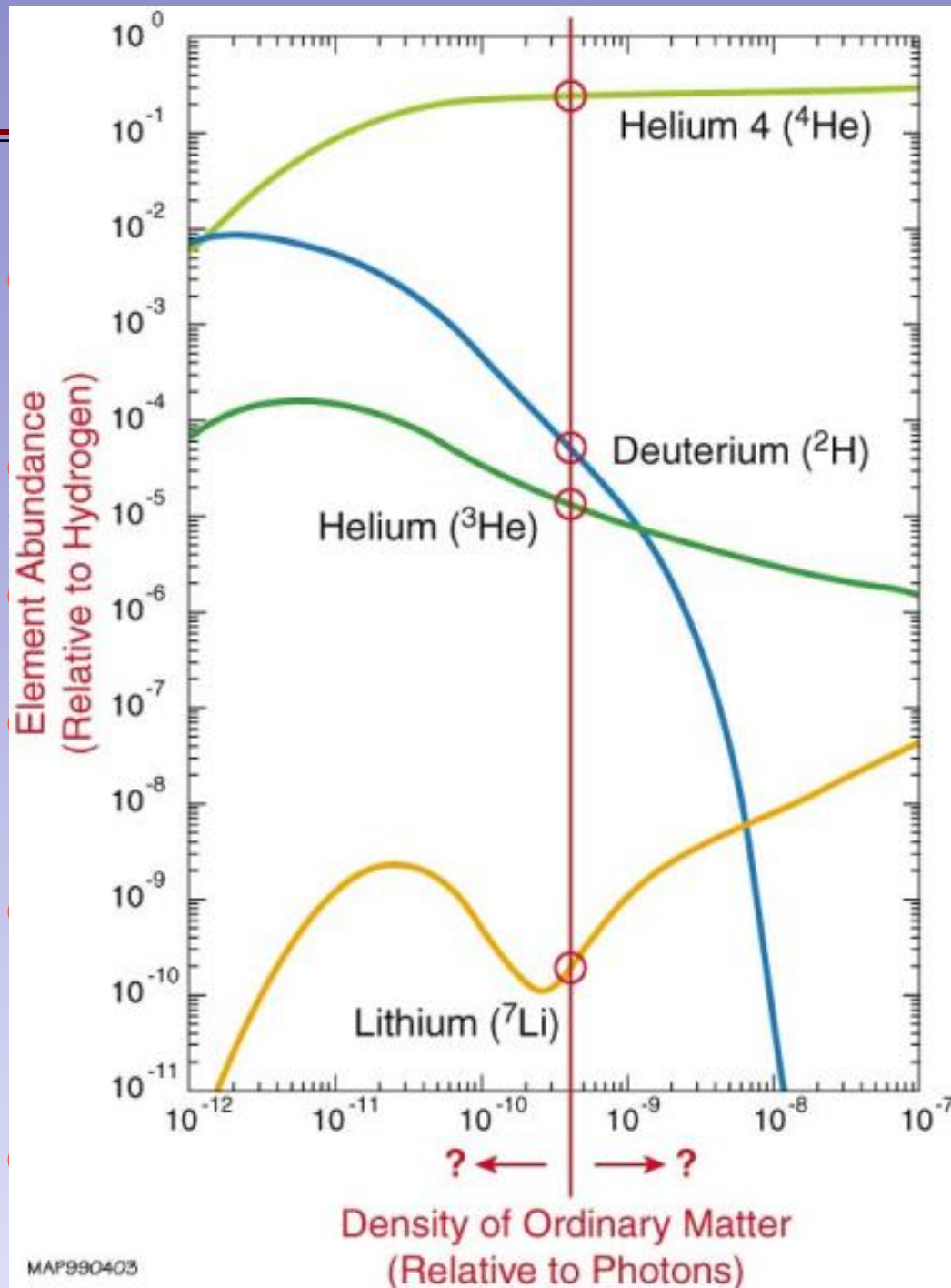


VZNIK PRVKŮ

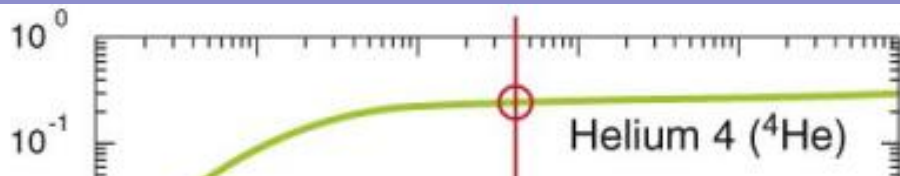
- **nukleogeneze** – především H, He a hmotnostní poměr 70:30, Li
- vznik **hadronů**, volný neutron se rozpadá
- asi 1 s po velkém třesku, konec asi po 200 s
- 1938 – Betheho cyklus (p-p cyklus, C-N cyklus), NC 1967
- **těžší prvky ve hvězdách** – 1956, *W. Fowler* (NC 1983 s Chandrasekharem), *F. Hoyle*, *G. + M. E. Burbidgeovi*
- **původ prvků**



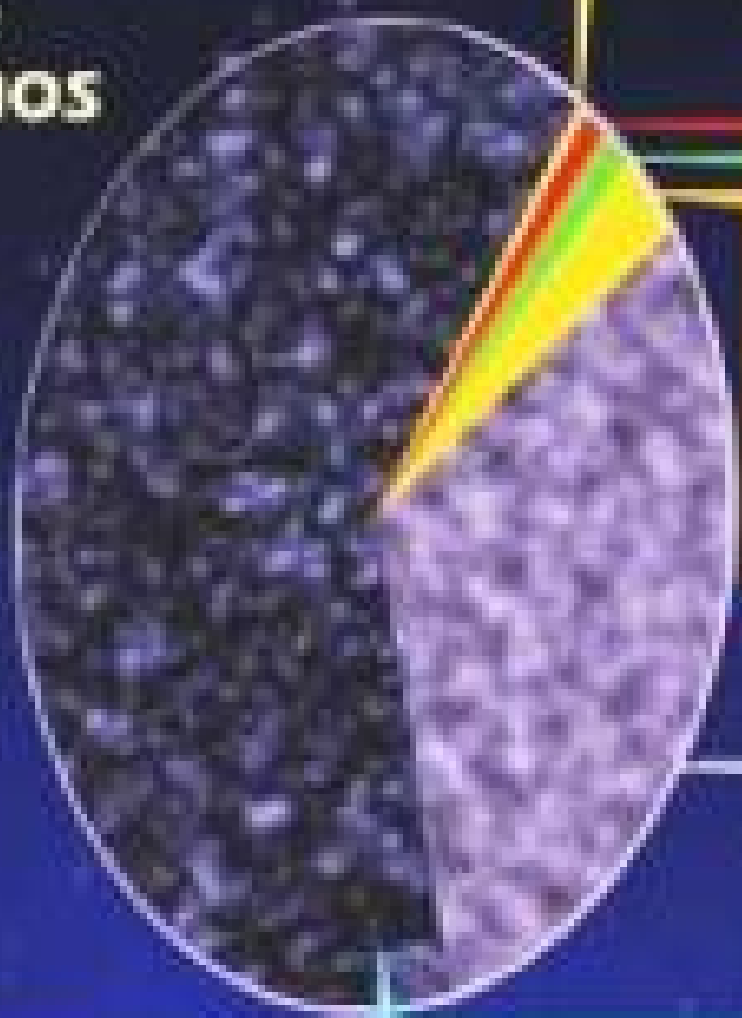
RVKŮ



á
00 s
vler
e,



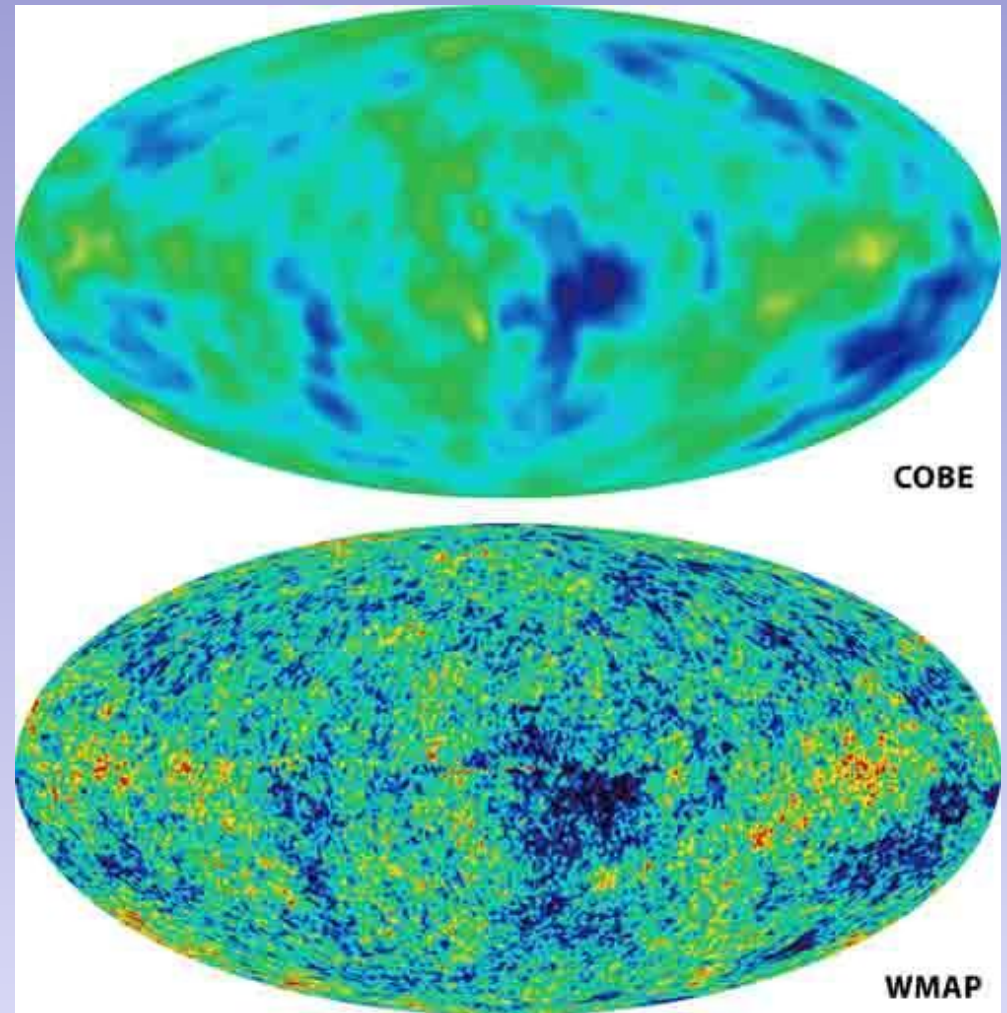
Composition of the Cosmos



- Heavy elements: 0.03%
- Ghostly neutrinos: 0.3%
- Stars: 0.5%
- Free hydrogen and helium: 4%
- Dark matter: 30%
- Dark energy: 65%

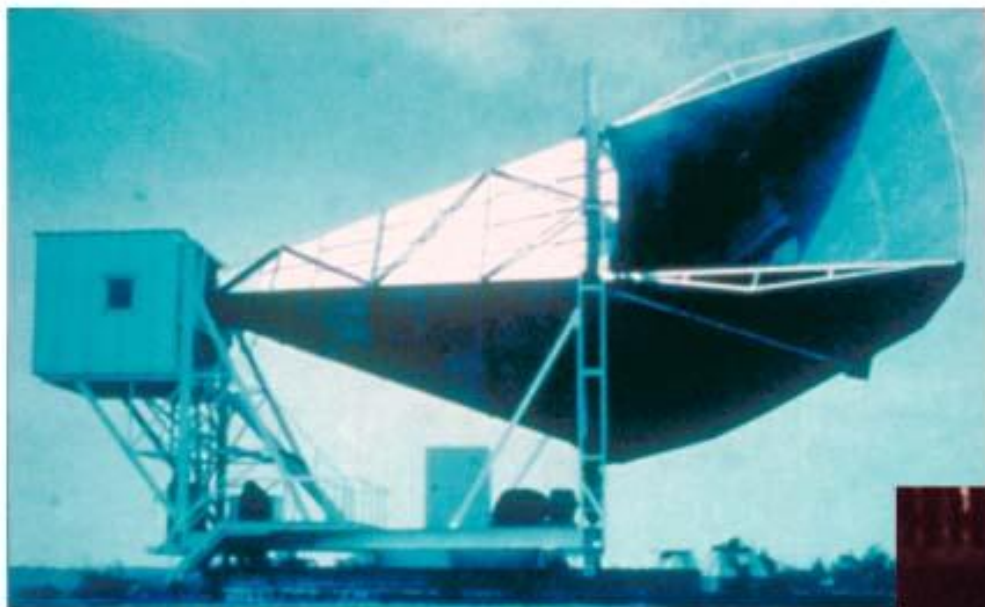
RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

- 1965 – A. Penzias, R. Wilson, NC v roce 1978 (s P. Kapickou), anténa pro vysílání umělých satelitů („Nadměrná teplota antény při 4080 MHz“)
- asi 300 000 let po velkém třesku (3 000 K), **rekombinace**–**animace**
- $\lambda = 7,35$ cm, maximum pro 2 mm $\implies T \approx 2,725$ K, udává „teplotu vesmíru“
- izotropní – **mapa oblohy**
- 1989 – COBE (COsmic Background Explorer)
- 2001 – WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), anizotropie teploty řádu 10^{-5} („Země s horami do 50 m“), polarizace 10^{-6}
- **reionizace** H UV zářením z hvězd (200 miliónů let po VT)



RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND



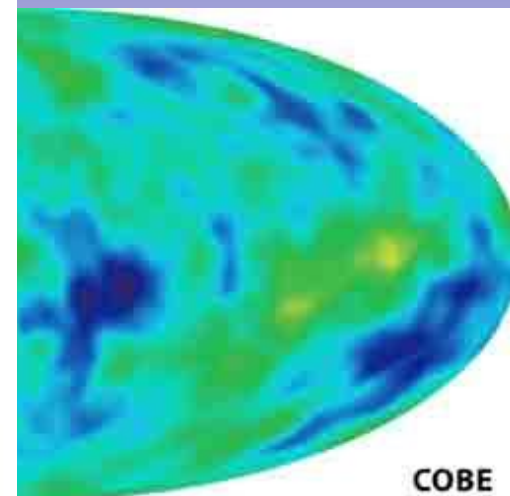
Microwave Receiver



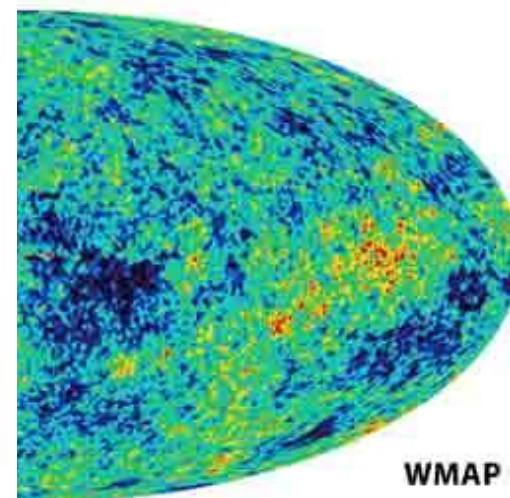
Robert Wilson



Arno Penzias



COBE



WMAP

RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

DIS



Microwave

MAP99004

1965



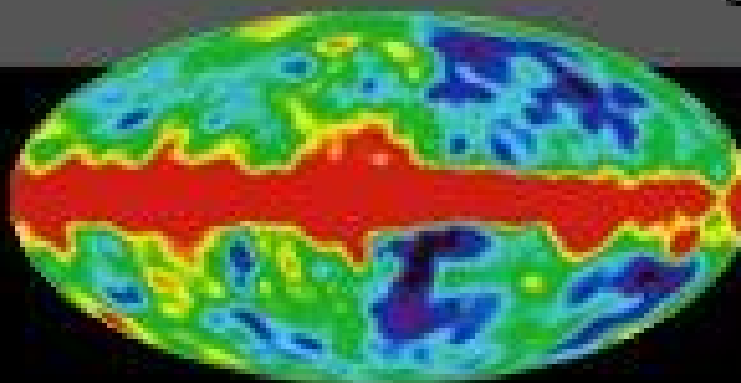
Penzias and Wilson



1992



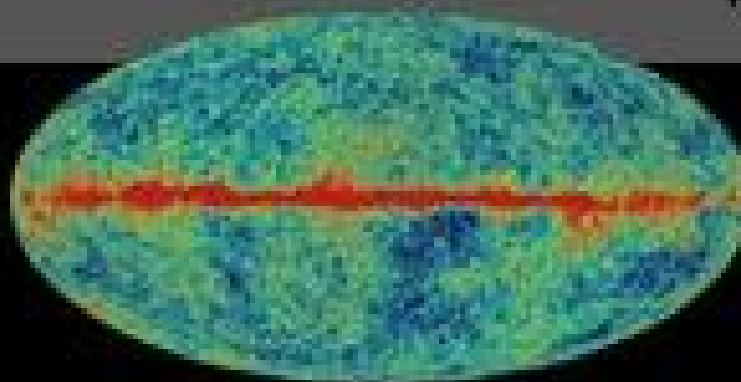
COBE



2003



WMAP



RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

DIS

1965

Penzias and
Wilson



COBE

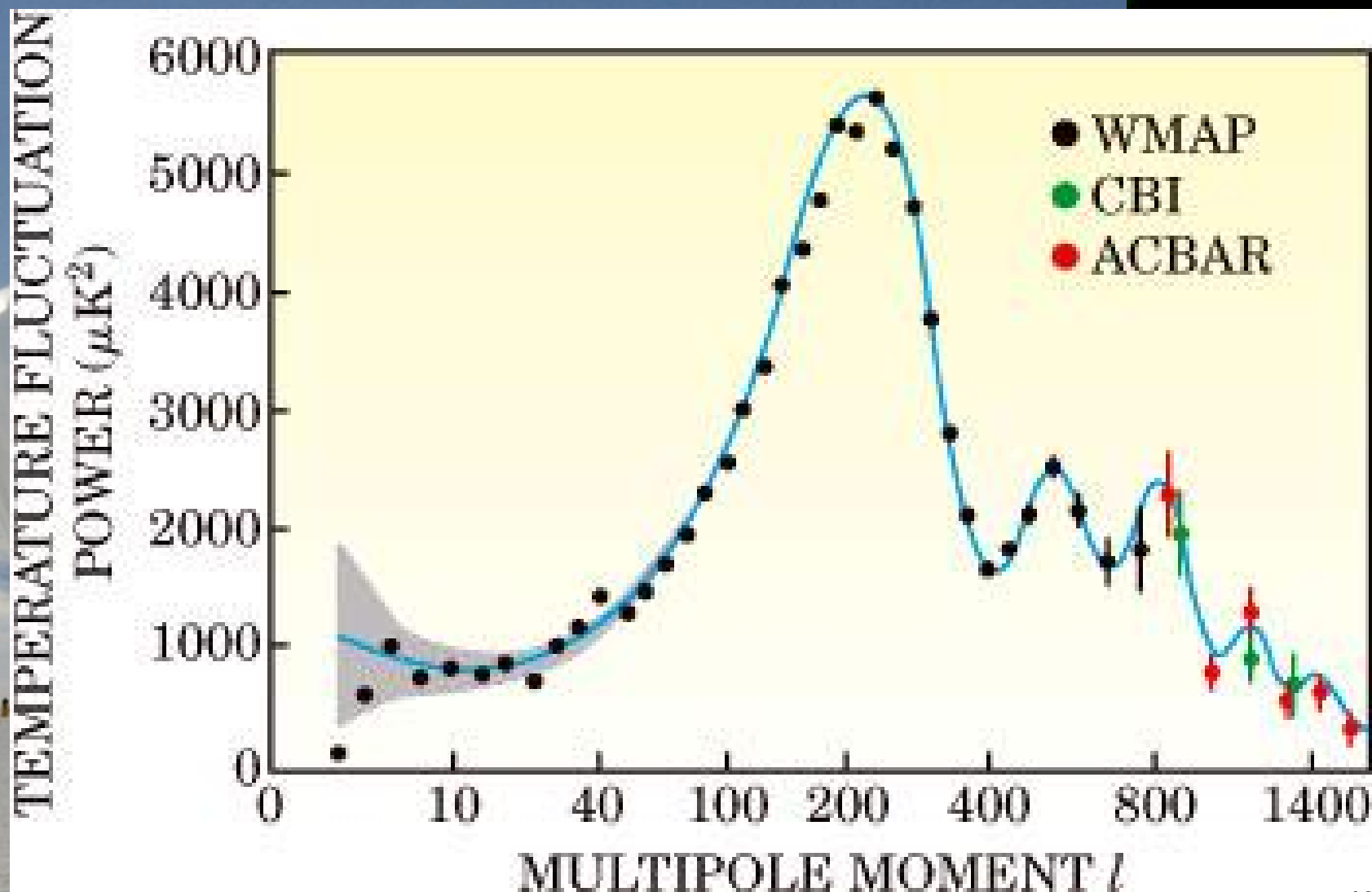
WMAP

RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

DIS

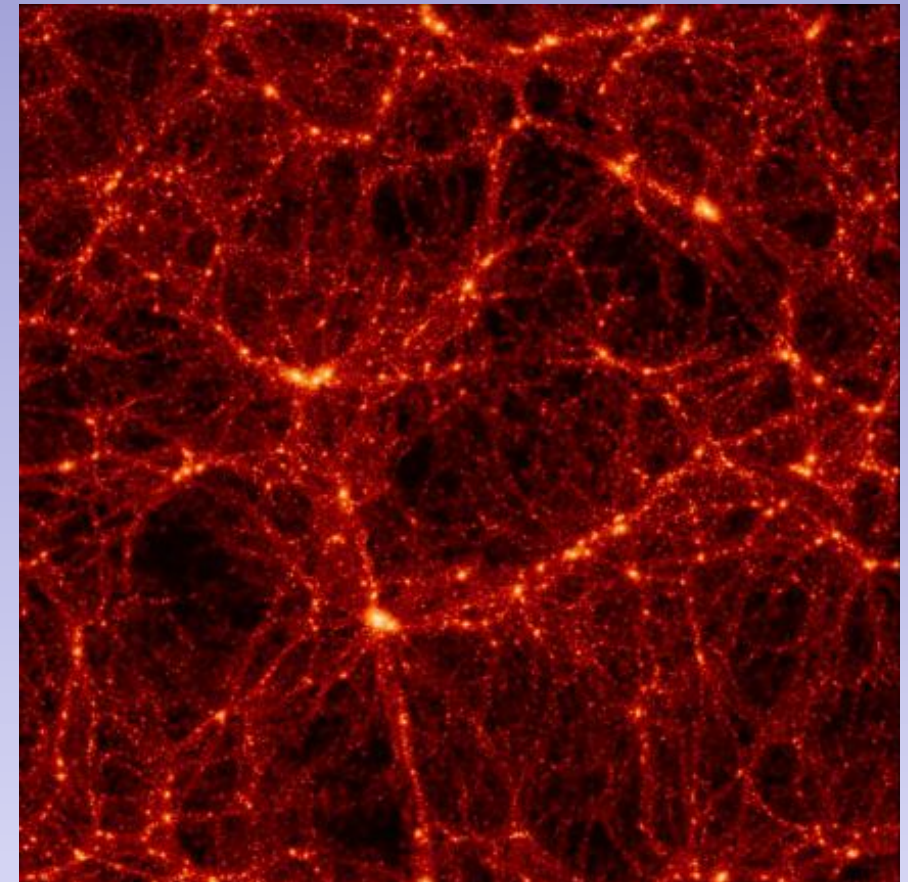
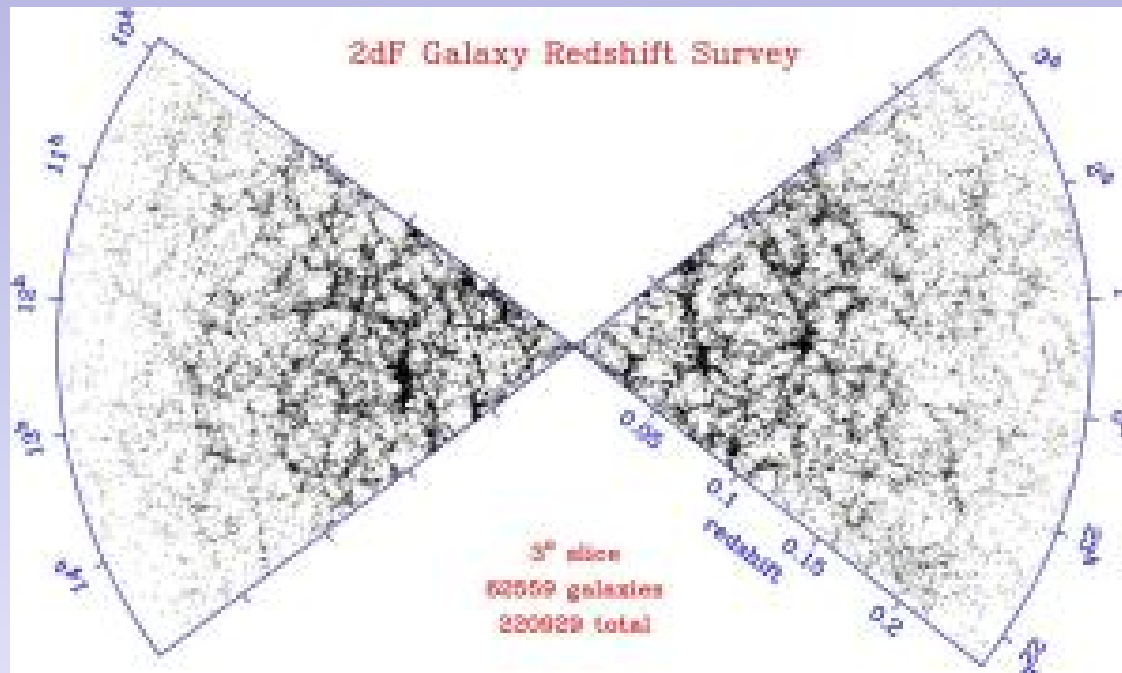
1965

Penzias and
Wilson

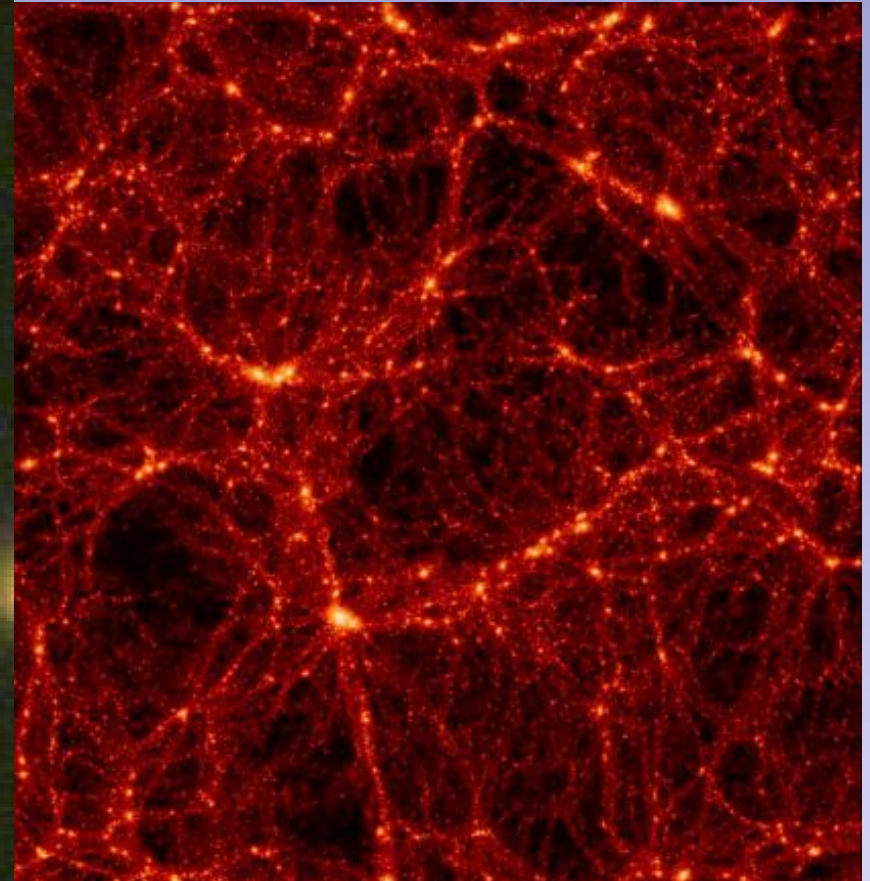


FORMOVÁNÍ STRUKTUR

- počítačové simulace, problém N těles, vesmír musí existovat dostatečně dlouho
- simulace formování galaxií
- simulace uspořádání galaxií, nutná přítomnost temné hmoty
- díky gravitaci vesmír méně a méně homogenní



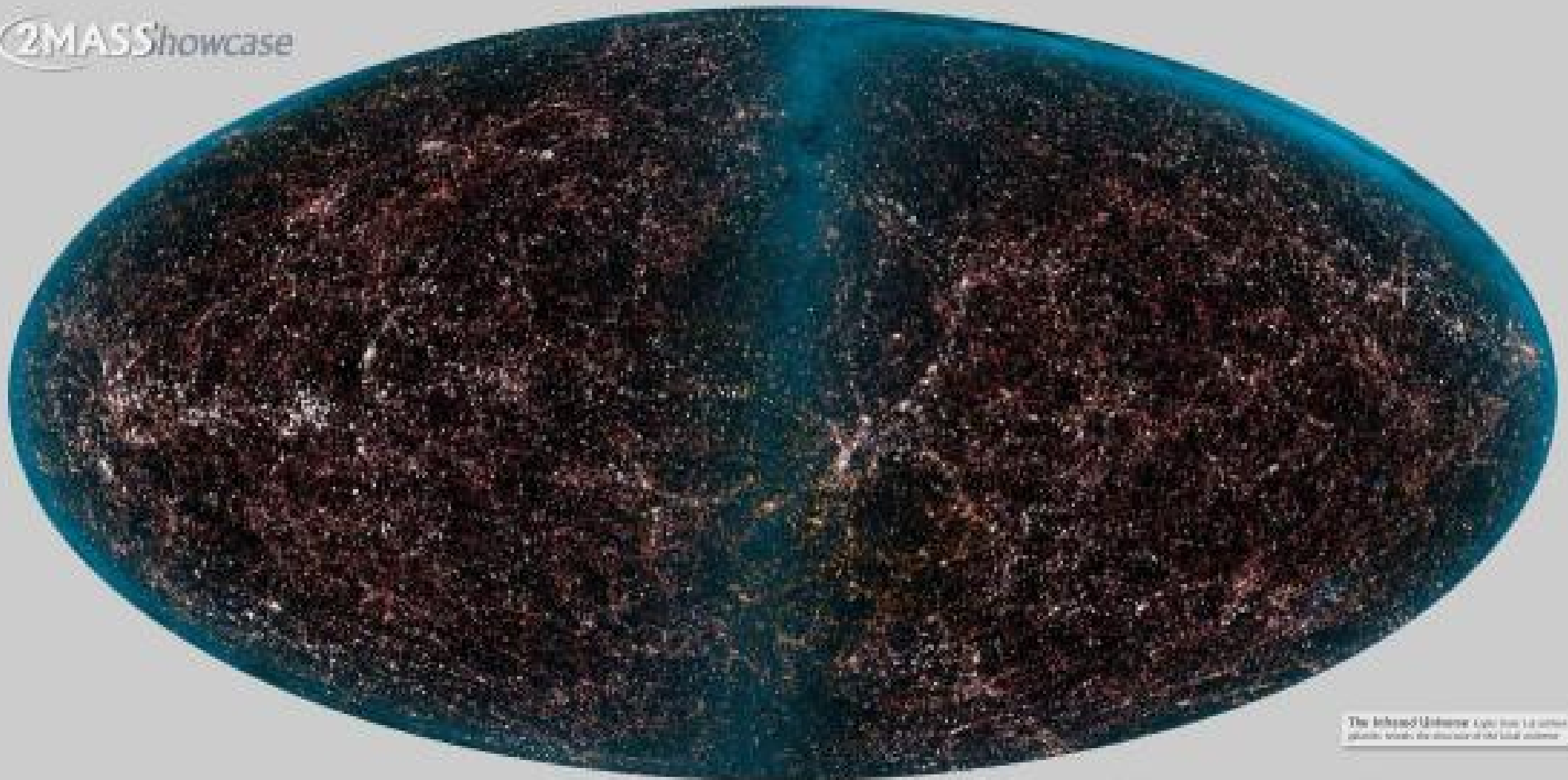
FORMOVÁNÍ STRUKTUR



FORMOVÁNÍ STRUKTUR



2MASS showcase



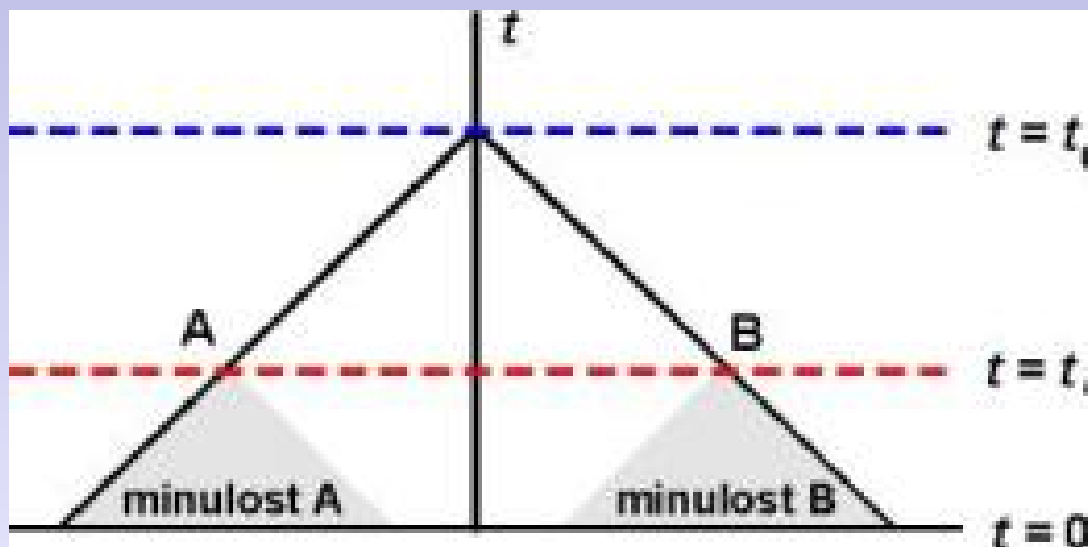
The Infrared Universe: Light from the coldest objects, which are abundant in the local universe.

Two-Color All-Sky Survey (near-Infrared Photometry and Position) Catalog (Gallini et al. 2004)

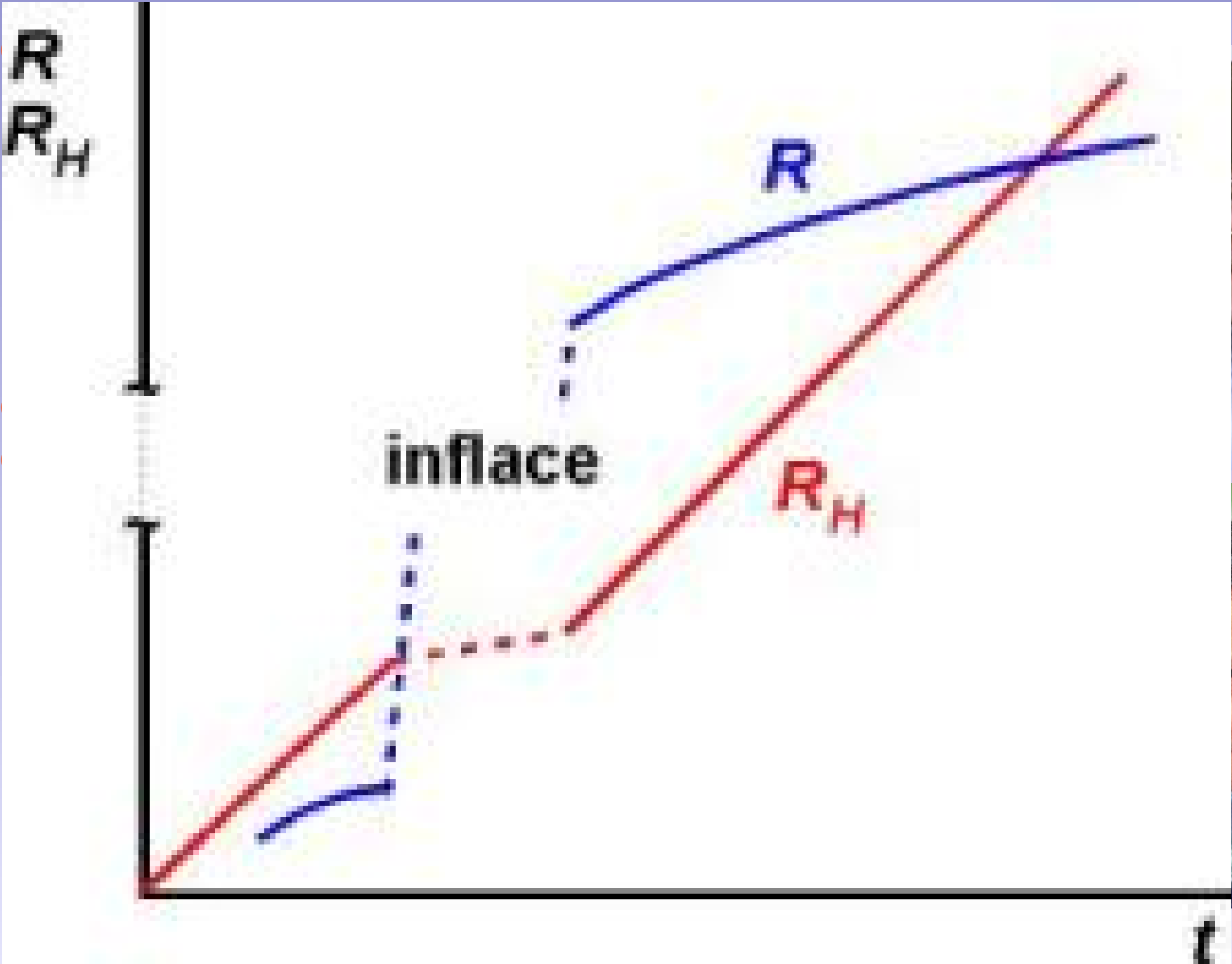
INFLACE

● Problémy standardního modelu

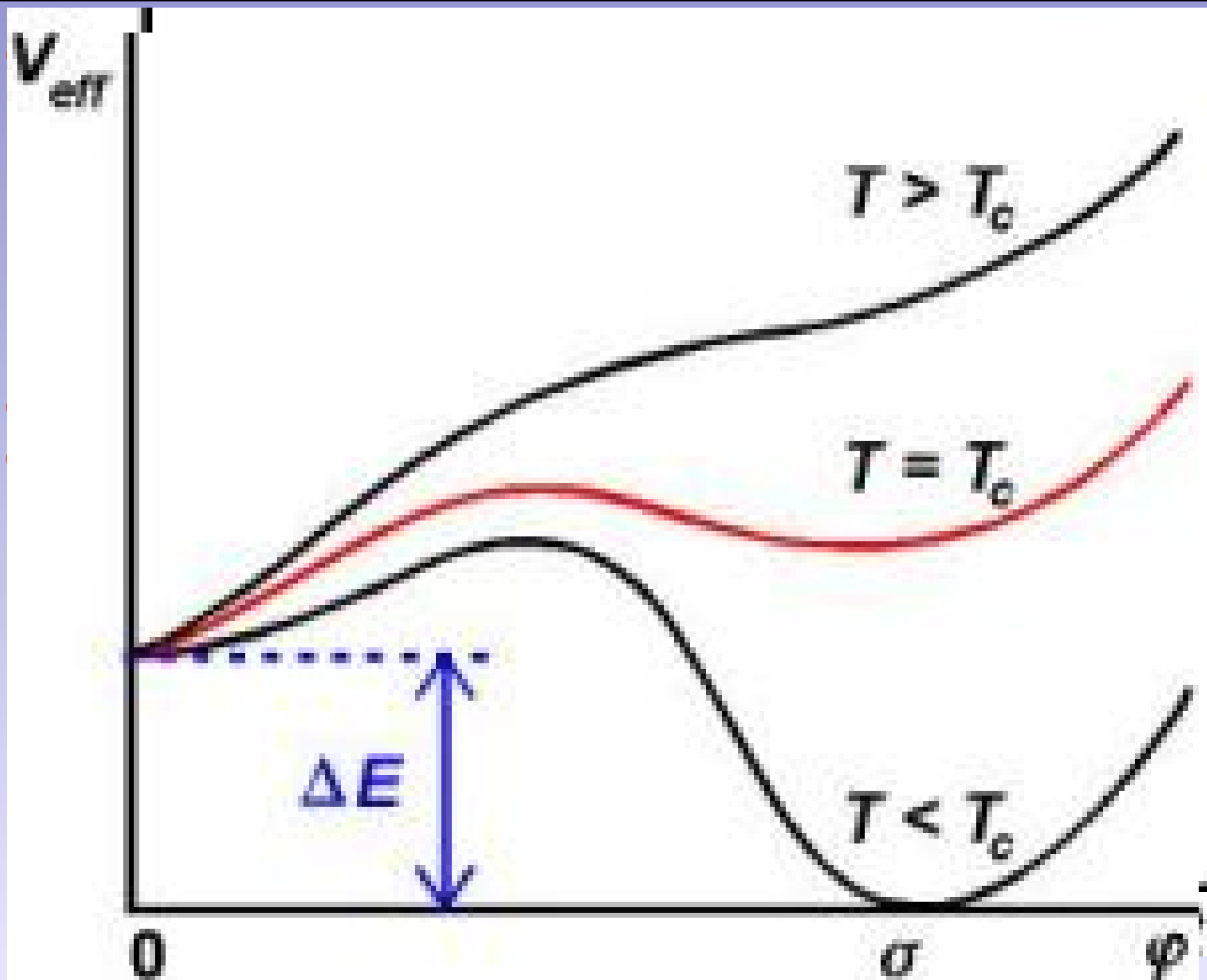
- ✓ problém plochosti
 - ✓ problém horizontu (k vytvoření homogenity muselo dojít před rekombinací, tj. místa by neměla být vzdálena více jak 2°)
 - ✓ problém zastoupení exotických částic, topologických defektů
- \implies inflační model (A. Guth 1980, A. Linde 1983)
- rozměry se zvětšily $10^{30} - 10^{43} \times$ v čase $10^{-36} - 10^{-34} \times$ s, tj. 1 mm \rightarrow 10 miliard ly



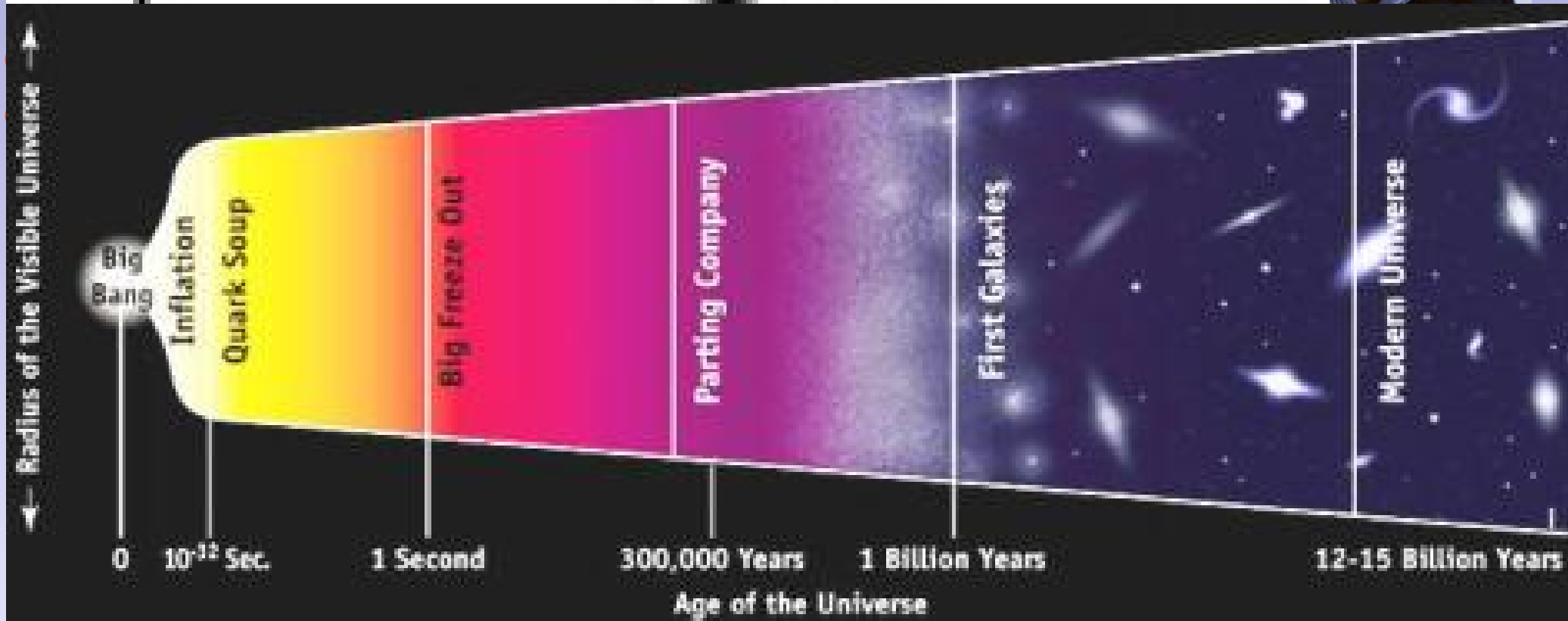
INFLACE



INFLACE

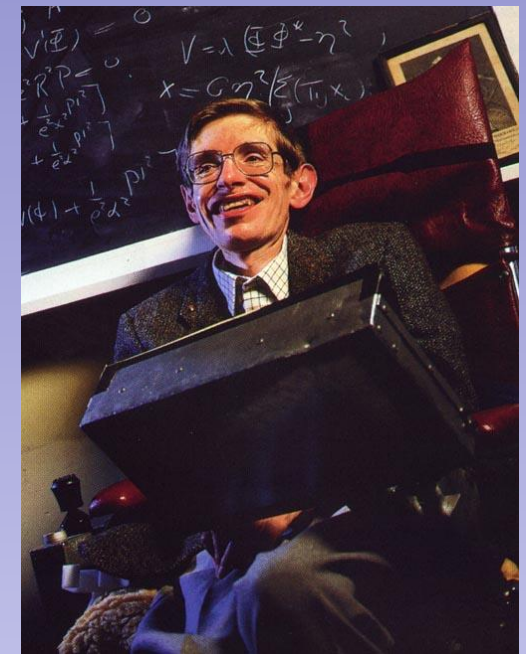


INFLACE

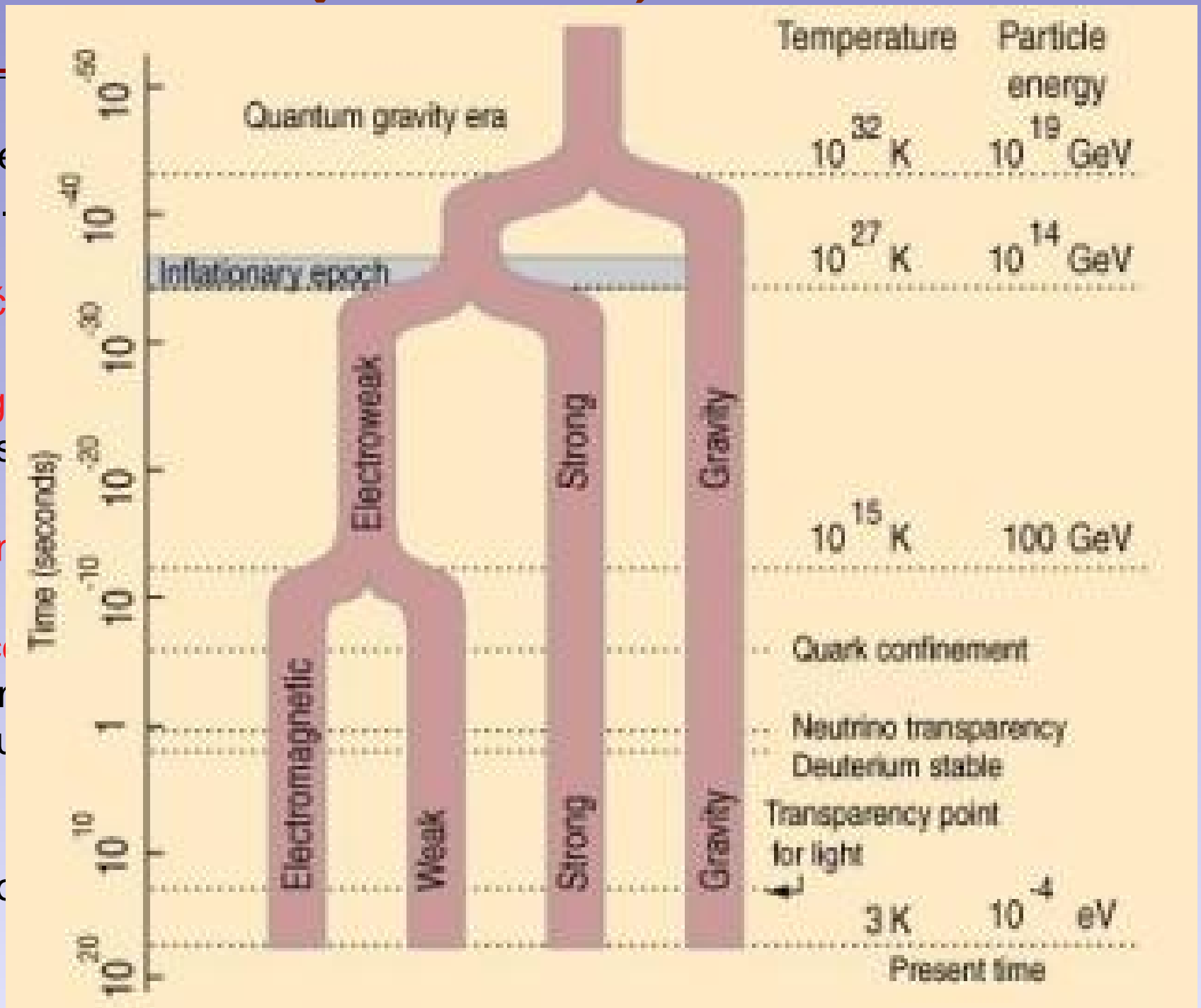


PŘED INFLACÍ

- snaha vědecky zdůvodnit počáteční podmínky (S. W. Hawking, ...)
- **Planckův čas**: $t_p = \sqrt{\hbar \kappa / c^5} = 10^{-43} \text{ s}$
- **kvantová gravitace**, teorie strun??? (částice vibracemi strun)
- **multiversum**
- **kvintesence**, temná energie závisající na čase, všudypřítomné fluidum se záporným tlakem, (antika: země, vzduch, oheň, voda + „pátá esence“ tvořící nebesa)
- vyladění podmínek (John Leslie: analogie s popravčí čtou)

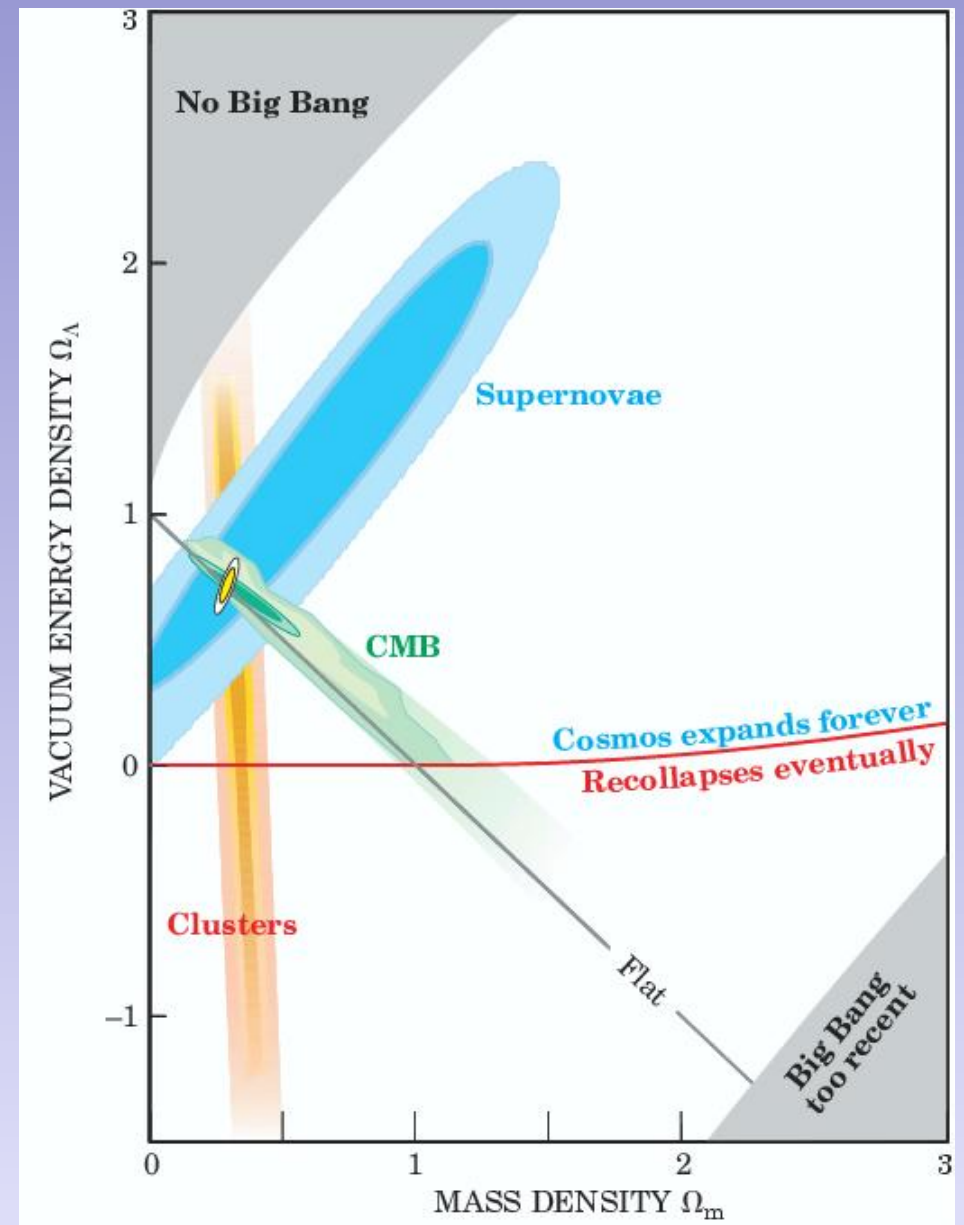


- snaha vědecky popsat Hawking, ...
- Planckův čas
- kvantová gravitace (vibracemi sítě prostoru)
- multiversum
- kvintesence (všudypřítomná látka, země, vzduch, nebesa)
- vyladění počítání (číslo 10¹²⁰)

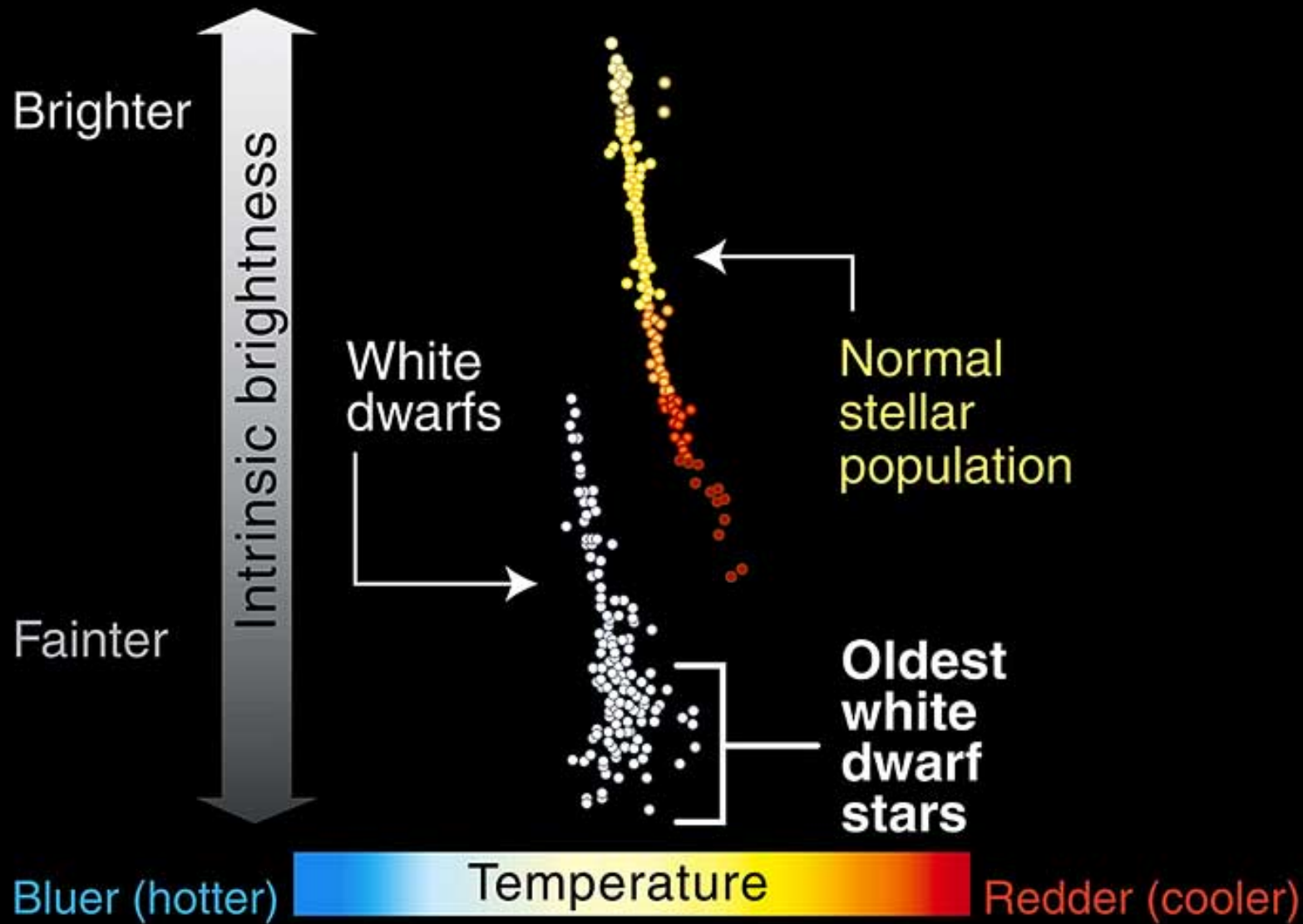


STÁŘÍ A BUDOUCNOST VESMÍRU

- „jepičí“ doba zkoumání vesmíru
- *J. A. Wheeler*: „Čas využívá příroda k tomu, aby se nestalo všechno najednou.“
- kulové hvězdokupy \implies asi 13–17 miliard let
- WMAP: $t_0 = 13,7$ miliard let (chyba 2%)
- hypotézy o vidění další 5 síly, další inflační fázi \implies „Velký křach“ není vyloučen!
- SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence); M. Rees: „Není v kosmologii větší záhady, než přesné pochopení toho, jak se atomy zde na Zemi seskupily v živé bytosti natolik složité, že dokáží hloubat nad svým původem“

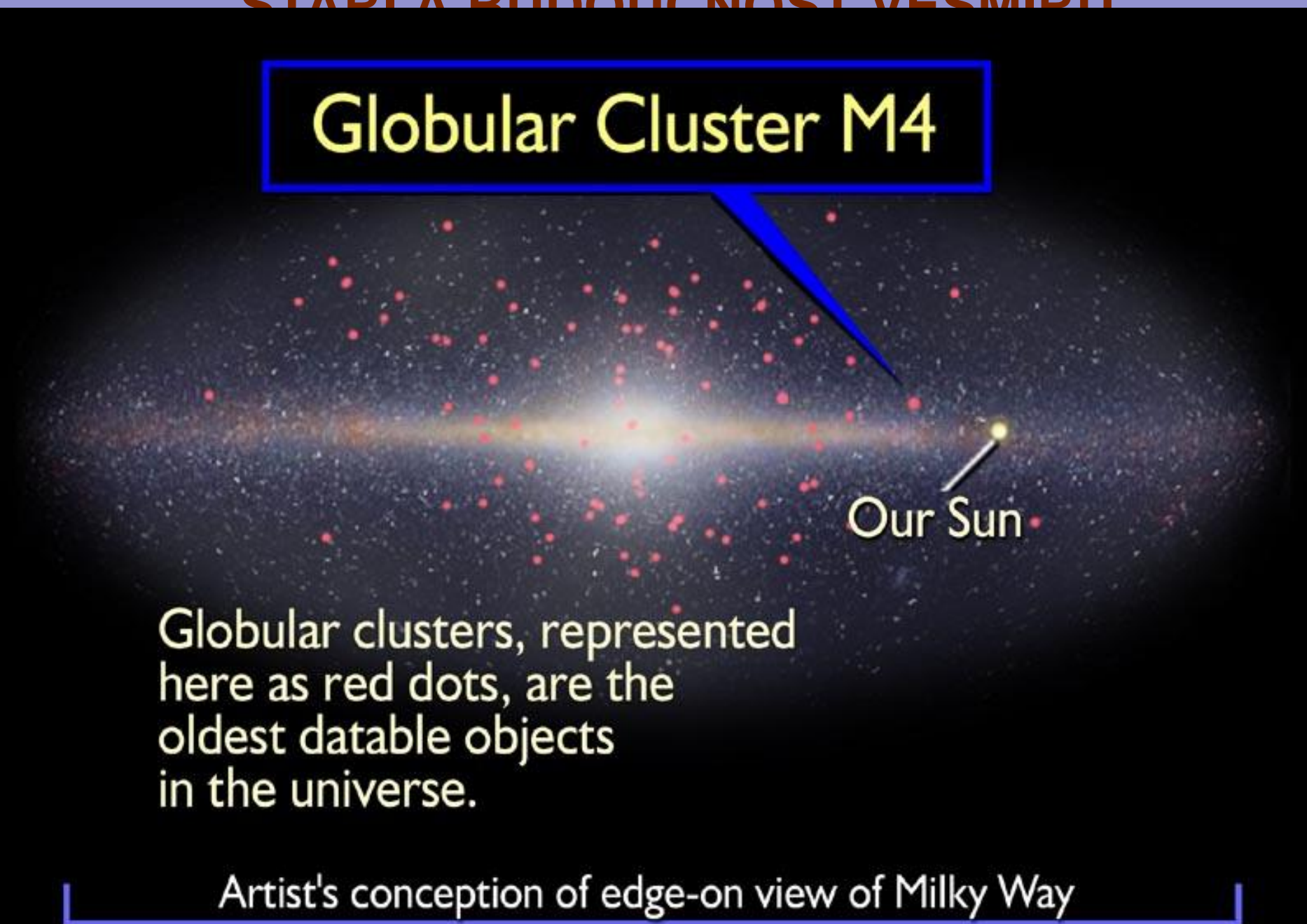


White Dwarfs in Globular Cluster M4



Globular Cluster M4

Our Sun

An artist's conception of an edge-on view of the Milky Way galaxy. The galaxy is shown as a horizontal band of light with a bright central core. Numerous red dots, representing globular clusters, are scattered throughout the galaxy. A single yellow star, labeled 'Our Sun', is positioned on the right side of the galaxy, with a blue speech bubble pointing to it from the title 'Globular Cluster M4'.

Globular clusters, represented here as red dots, are the oldest datable objects in the universe.

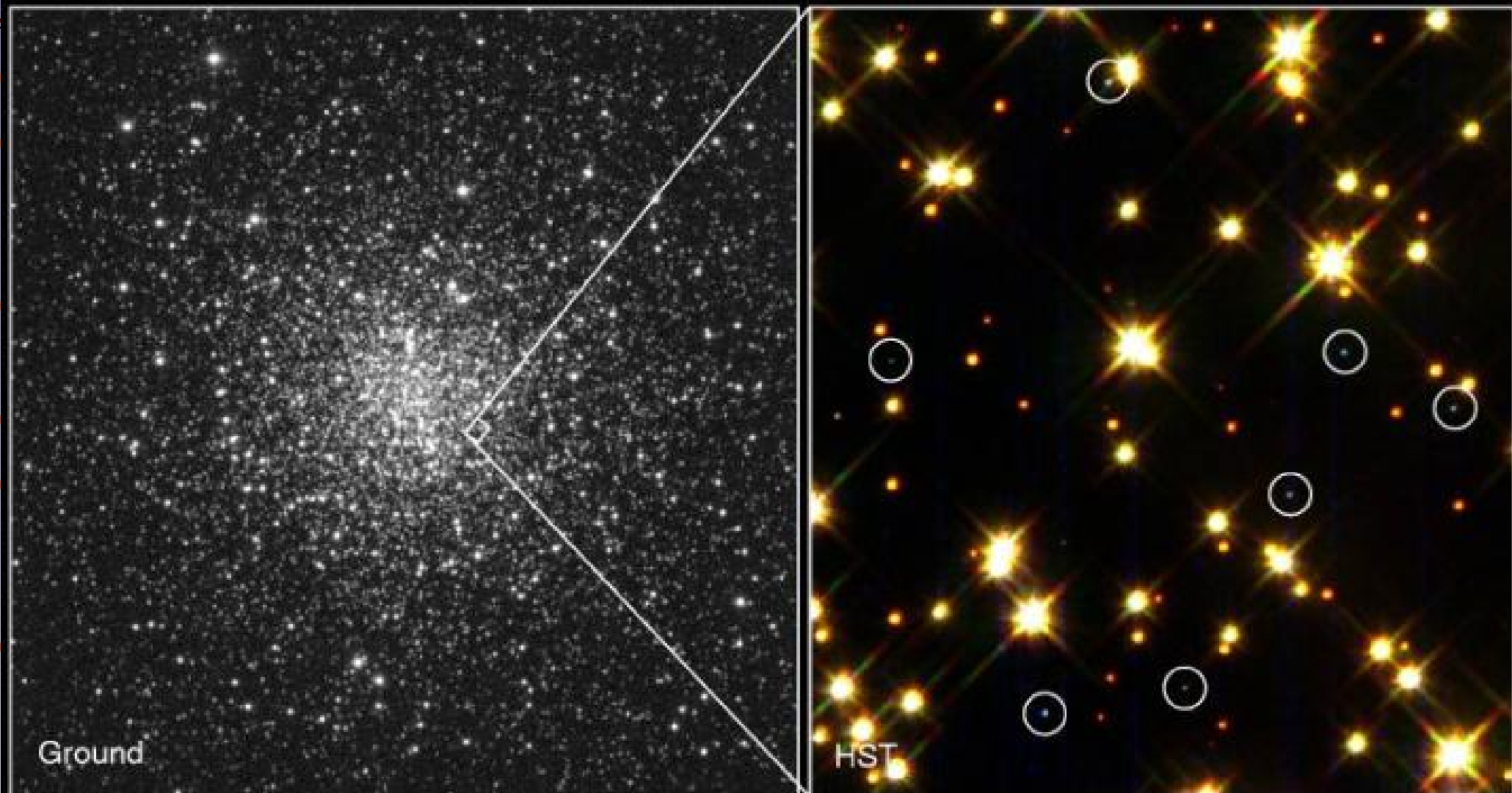
Artist's conception of edge-on view of Milky Way

(100,000 light years)

forever
ntually

s Bang
so recent

STÁŘÍ A BUDOUCNOST VESMÍRU



White Dwarf Stars in M4

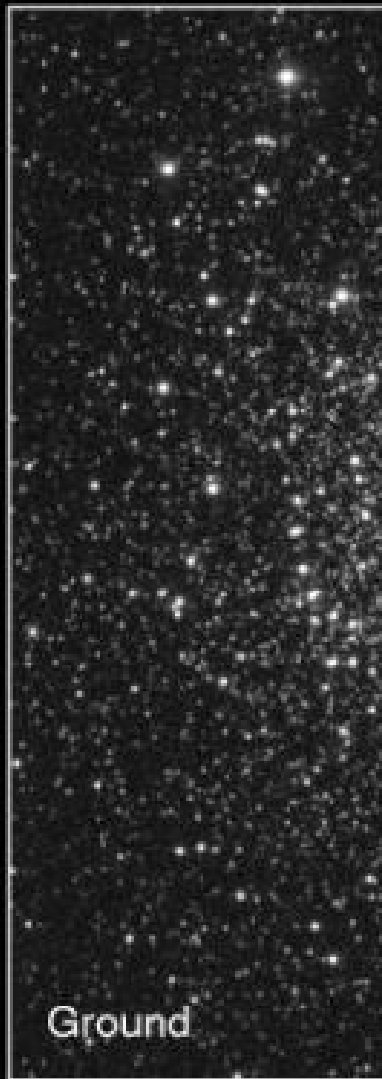
HST · WFPC2

PRC95-32 · ST ScI OPO · August 28, 1995 · H. Bond (ST ScI), NASA

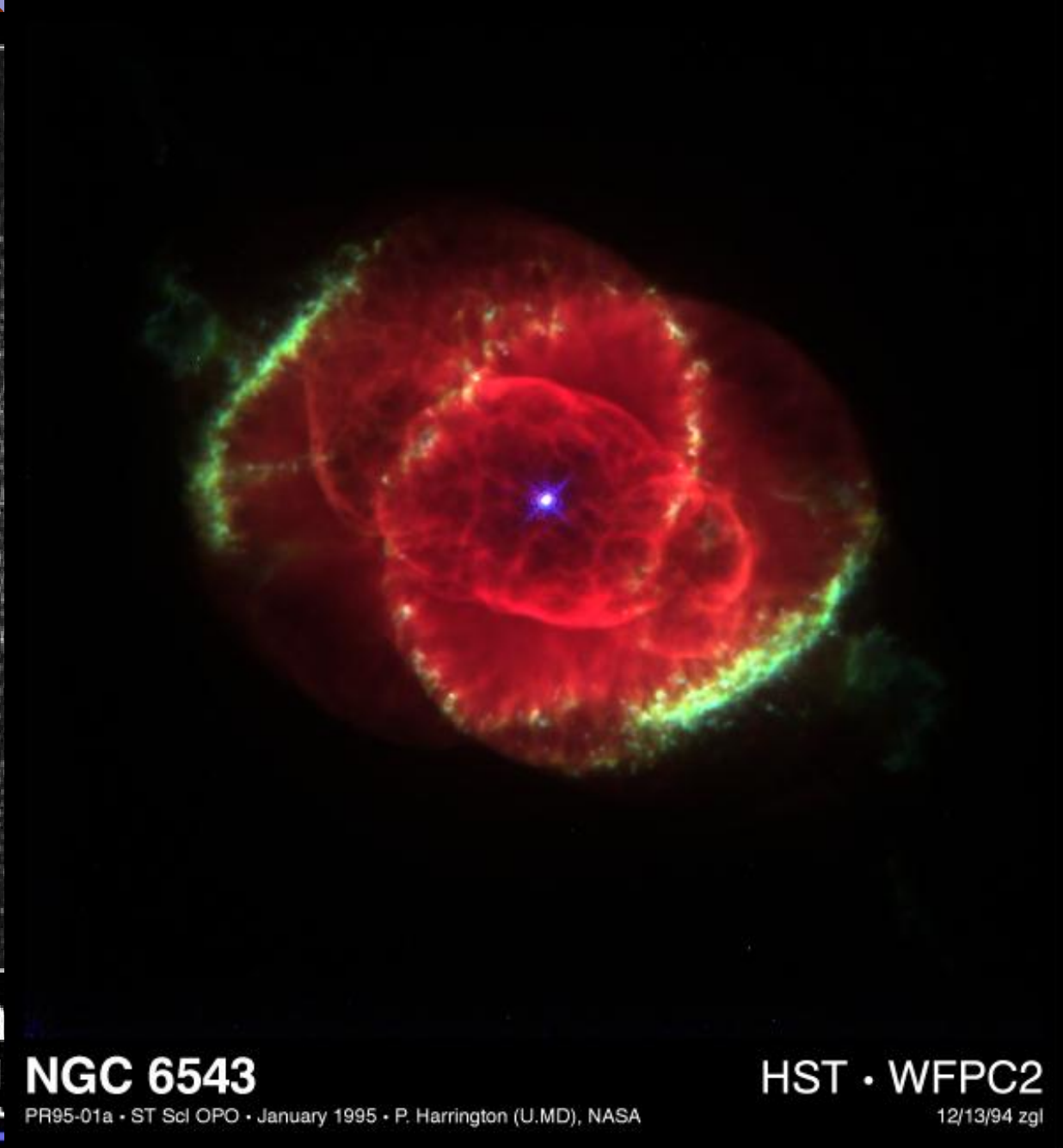
Artist's conception of edge-on view of galaxy M47

(100,000 light years)

STÁŘÍ A PUDOUČNOST VE SMÍRU



Ground



White Dwarf

PRC95-32 · ST ScI

NGC 6543

PR95-01a · ST ScI OPO · January 1995 · P. Harrington (U.MD), NASA

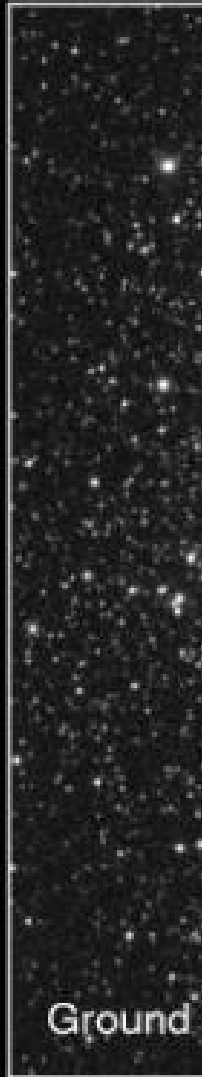
HST · WFPC2

12/13/94 zgl



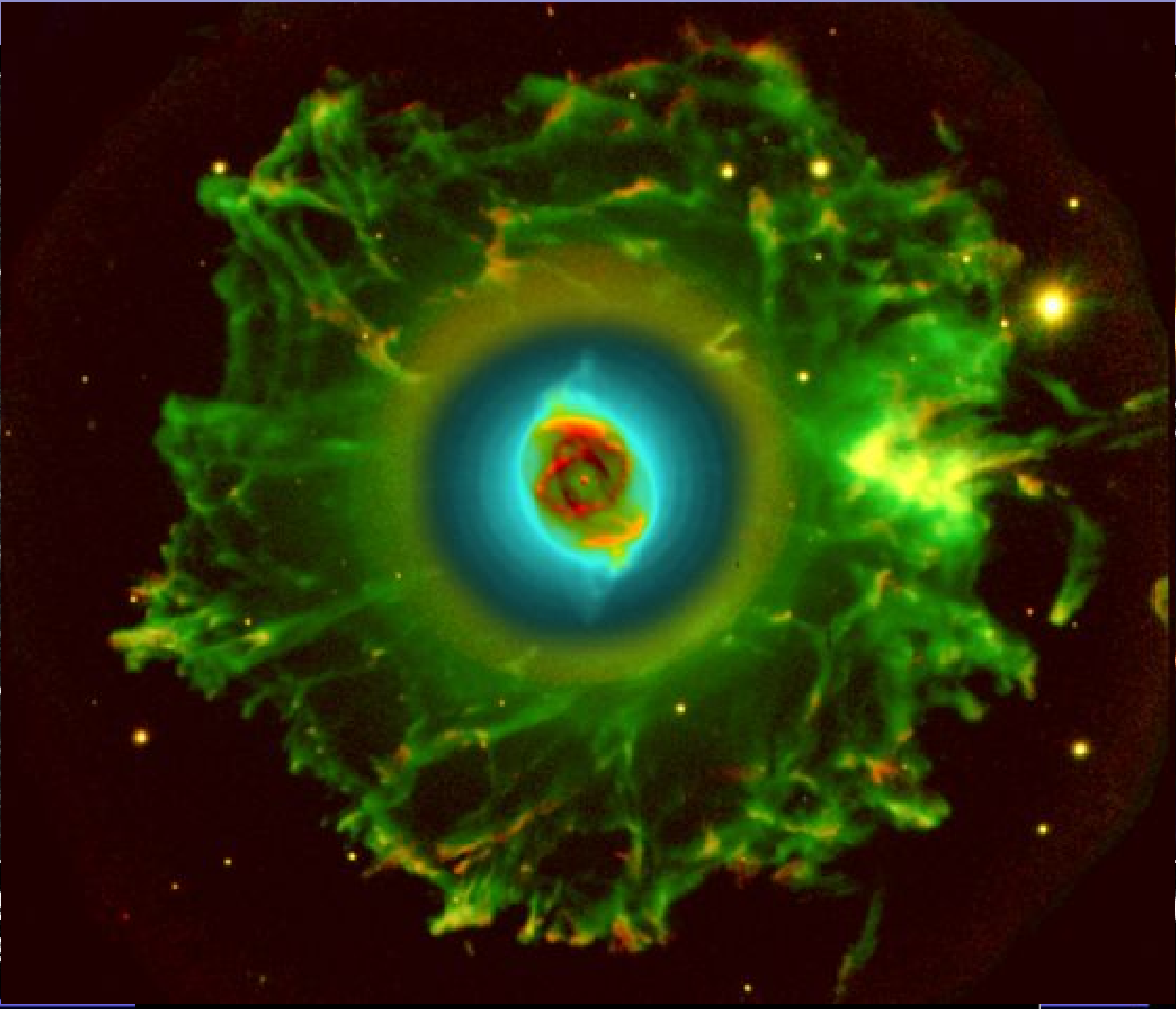
ST · WFPC2

(100,000 light years)



Ground

White
PRC95-32



WFPC2

(100,000 light years)

Methods of Age-Dating the Universe

Traditional



Expansion rate of the universe

Distance to nearby galaxies

Distance to nearby stars

White-dwarf—cooling



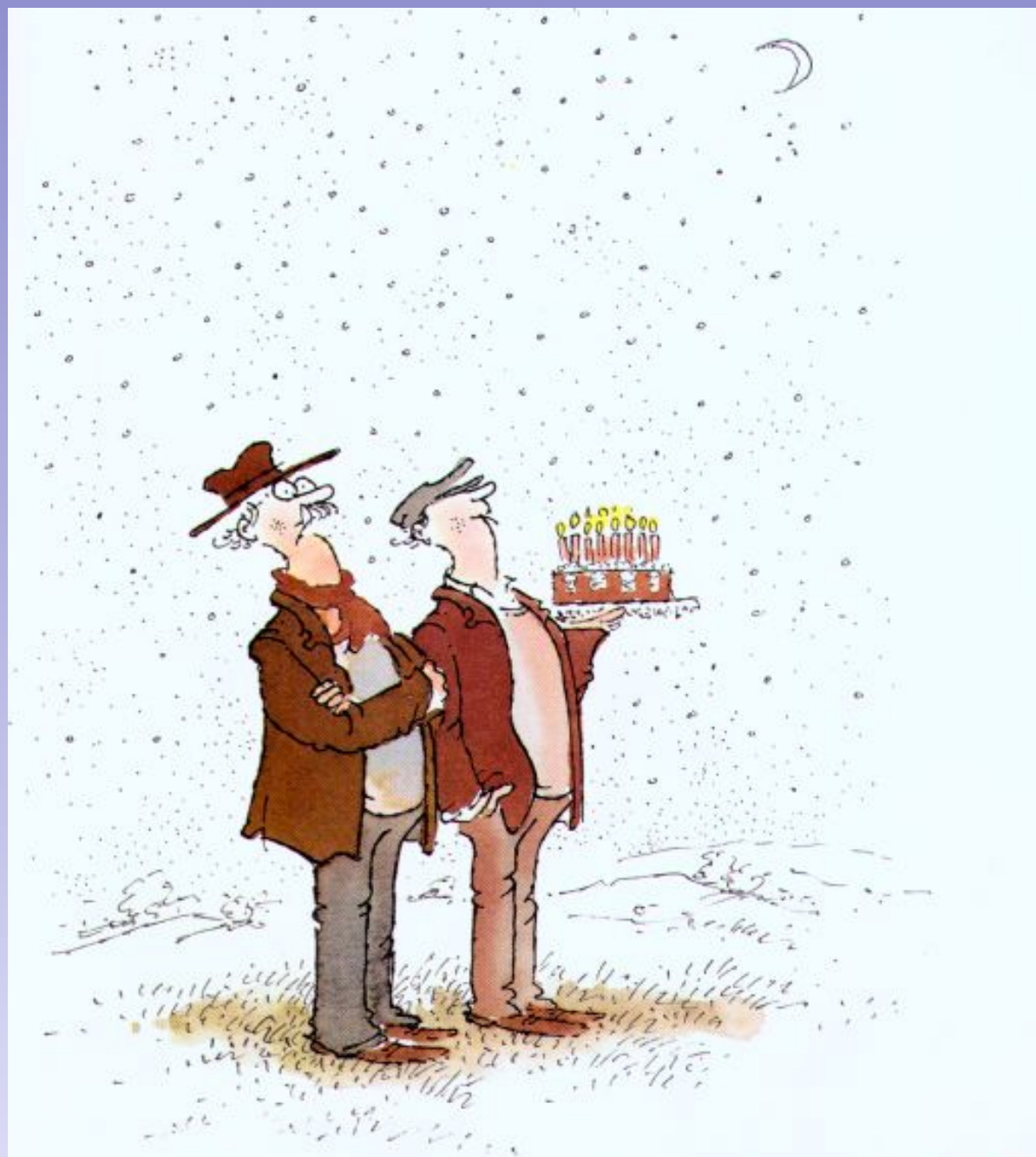
Faintest white dwarf

HST globular cluster images

Structure of white dwarf star

Ground

White
PRC95-32



UTÍKÁ TO, UTÍKÁ. JE TO NEUVĚŘITELNÉ, ŽE JE VESMÍRU DNES UŽ OSMNÁCT MILIARDY LET.

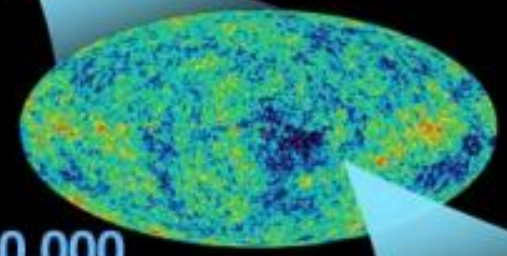
**DAWN
OF
TIME**

**tiny fraction
of a second**



inflation

**380,000
years**



**13.7
billion
years**



*Proč jsou věci
takové jaké jsou?*
Antropický princip

*Proč jsou věci
takové jaké jsou?*
Antropický princip

Jsem, nevím čím.
Přicházím, nevím odkud.
Jdu, nevím kam.
Jsem překvapen, že jsem tak šťasten.

Angelus Silesius (Johannes Scheffler)
(1624–1677)

