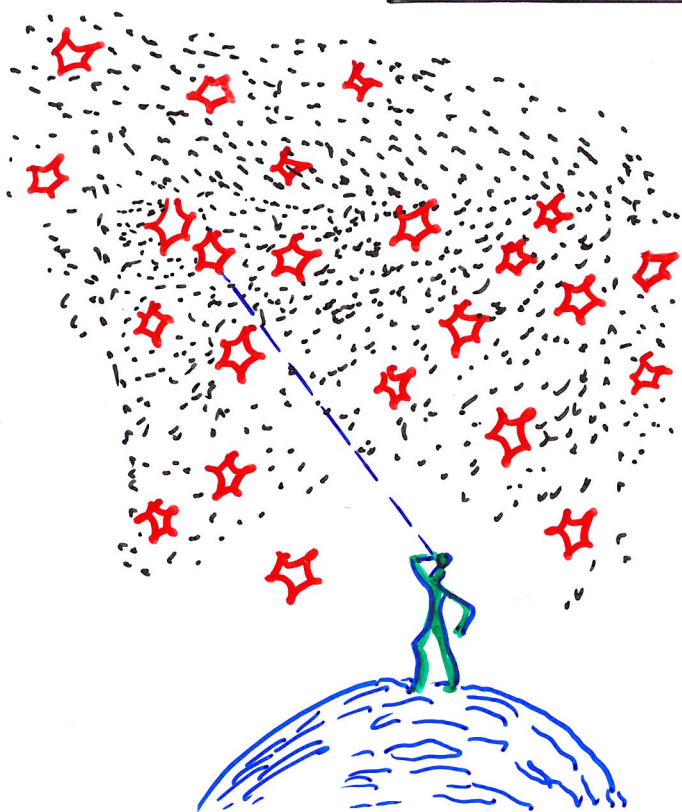


Temné stránky Vesmíru

- Temná noc - Kepler, Olbers
současná kosmologie (struktura a vývoj
Vesmíru v ~ 7 minutách)
- Temná hmota v galaxiích
černé díry v jádrech (Galaxie)
galaktická hala z temné hmoty
Růst a pád 'Machos' (Massive compact
halo objects)
WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)
x MOND (Modification of Newton Dynamics)
- Temná hmota v kupách galaxií
- Temná energie a zrychlená expanze Vesmíru
Nesnesitelná lehkost prostoročasu
(nepatrná Λ)-
Antropický princip, multiverza atd.
- Temná souvislost fundamentů
teoretické fyziky (obecná relativita a kvantová teorie)
- Budíž světlo! ? "Nature, and Nature's laws lay
(e) "hid in Night."
God said, Let Newton be! and all was light"

TEMNÉ NOCI



„Hledě dlouho do tmy
z prahu, stojí v pochybách
a v strachu,
dlouho snil jsem, jak si
nikdo netroufal snít
mimo mne...“

Krkavec

E. A. Poe Havran

(* 19. 1. 1809, † 7. 10. 1849)

200 let

160 let



Pád do
Maelströmu
„černá díra“

Jestliže Vesmír je prostoro ve nekonečný a hvězdy
jsou v něm rovnoměrně rozloženy až do nekonečna,
pohled v každém směru se musí nutně setkat
s povrchem nějaké hvězdy. Proč je v noci tma?

Kepler: „Rozprava s hvězdným poslem, kterého
ted' mezi smrtelníky vyslal Galileo Galilei,
padovský matematik“ Praha, 1610

Olbersův paradox (Heinrich Olbers, Brémy 1823):
neměly by být žádné tmavé mezery mezi hvězdami;
jistliže vš. hvězdy jako Slunce, každá část
oblohy by měla zářit jako sluneční disk!

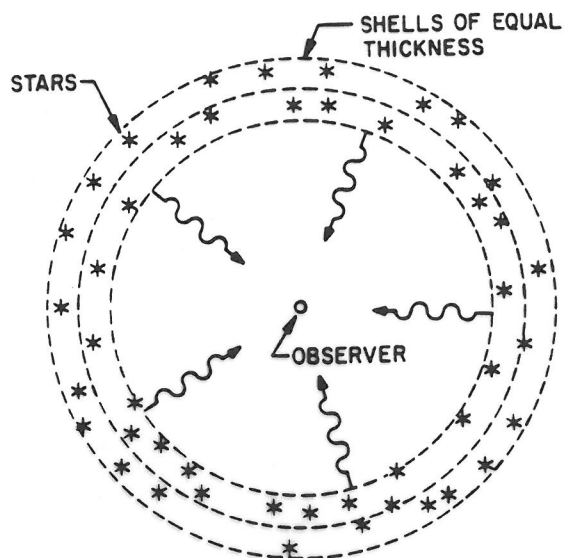


Figure 12.2. Shells of stars at all distances (only two shells are shown) with the observer at the center. The amount of light reaching the observer is the same from each shell. (With permission from E. R. Harrison, American Journal of Physics 45, 121, 1977.)

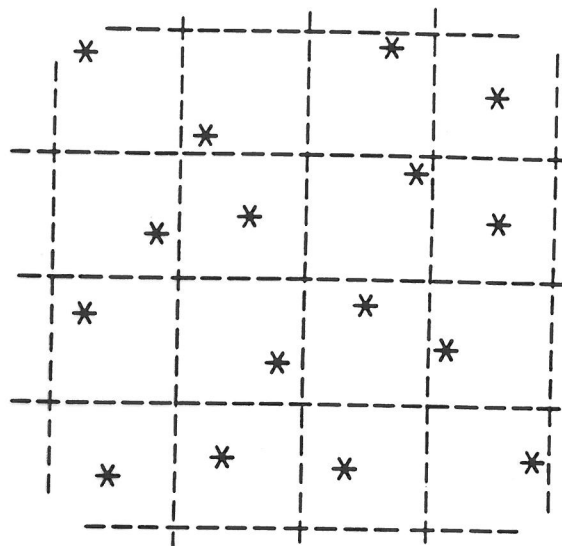


Figure 12.3. A forest in which each tree occupies an average area A . If each tree has a width w the lookout limit in the forest is A/w . In the Newtonian universe each star occupies an average volume V . If the cross section of each star is a (the area of its disk), the lookout limit in the universe is V/a . (With permission from E. R. Harrison, American Journal of Physics 45, 121, 1977.)

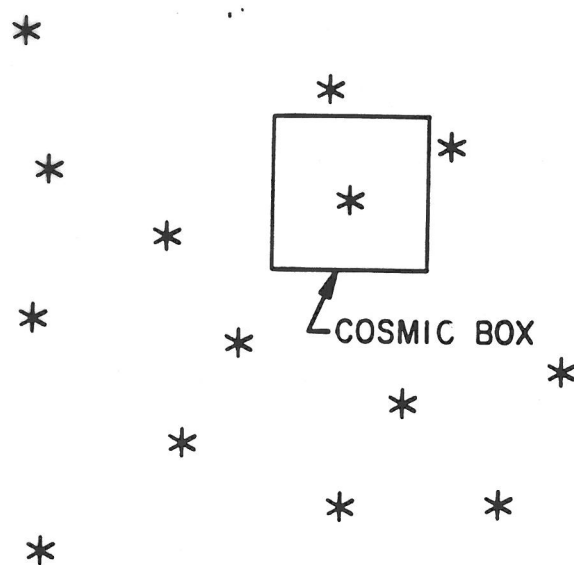


Figure 12.6. A star is surrounded by reflecting walls that form a box of the same volume V occupied by each star. The conditions for filling this cosmic box with radiation from a single star are the same as the conditions for filling the whole of space with radiation from all stars. (With permission from E. R. Harrison, American Journal of Physics 45, 123, 1977.)

T2, HFFUK

TF, Budejovice

Bratislava

US

August Klášter

Brno

Kateřina

72. list.

Chlum

u Trčeboně

Carolinum

Pohledy do minulosti

19.2.2008, 14.1.2009, 18.5.2009
30.4.2006, 3.5.2007, 4.12.2007
12.12.2002
5.4.2002
14.1.2002

8.12.2001

23.11.2000

17.4.2000

20.4.1995

21.2.1995

14.3.1993

21.11.1992

4.10.1991

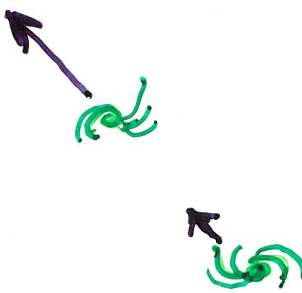


PKS 2000-330:

$$t_{em} \cong t_0 \text{ (9. října 1988) } - 11.5 \times 10^9 \text{ let}$$

$$t_{\oplus} \cong t_0 \text{ (— " —) } - 4.5 \times 10^9 \text{ let}$$

Stáří vesmíru



1929

Hubbleova
"konstanta"

$$v = H_0 l$$

km/s 1/s Mpc
(3 miliony sv. let)

$$H_0 = 50 - 100 \text{ km/s Mp}$$



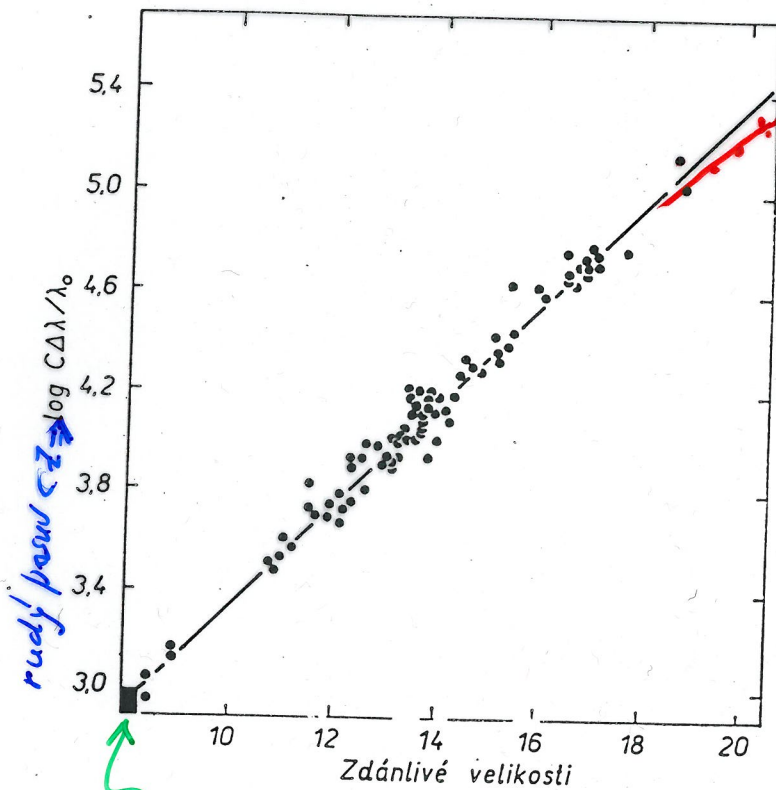
$$T_0 \cong \frac{1}{H_0} \cong (1 \div 2) 10^{10} \text{ let}$$

$$(8) \quad m = M + 25 - 5 \log H_0 [\text{km/sMpc}] + 5 \log cz [\text{km/s}] + 1,086 (1 - q_0) z + O(z^2)$$

tvořící základ observačního studia dynamiky vesmíru. Za předpokladu, že mezi galaxiemi lze vybrat „standardní svíčky“, tj. galaxie, jejichž vnitřní svítivosti (absolutní velikosti) jsou přibližně stejné, ze vztahu (7) v první aproximaci dostaneme

$$(9) \quad m = \text{konst} + 5 \log cz [\text{km/s}] .$$

Empiricky tento vztah našel poprvé Hubble v r. 1929 a z něho usoudil na svůj zákon (1). Jak je zvykem, budeme korelaci mezi rudým posuvem a zdánlivou velikostí



zrychlená expanze (2000-)

Obr. 2. Vztah mezi rudým posuvem a korigovanými zdánlivými velikostmi (Hubblův diagram) pro nejjasnější galaxie v 84 hnízdech galaxií. Přímka proložená daty je konstruována podle rovnice (9). Na ose y je v logaritmické stupnici vynešen rudý posuv vynásobený rychlostí světla. Zdánlivá velikost je korigována na aperturní efekt a na další jevy popsané v textu. Malý černý obdélník v levé spodní části vyznačuje rozsah vzdáleností, na němž Hubble demonstroval expanzi vesmíru v r. 1929. (Převzato z práce [15].)

Hubble

$$v = Hl$$

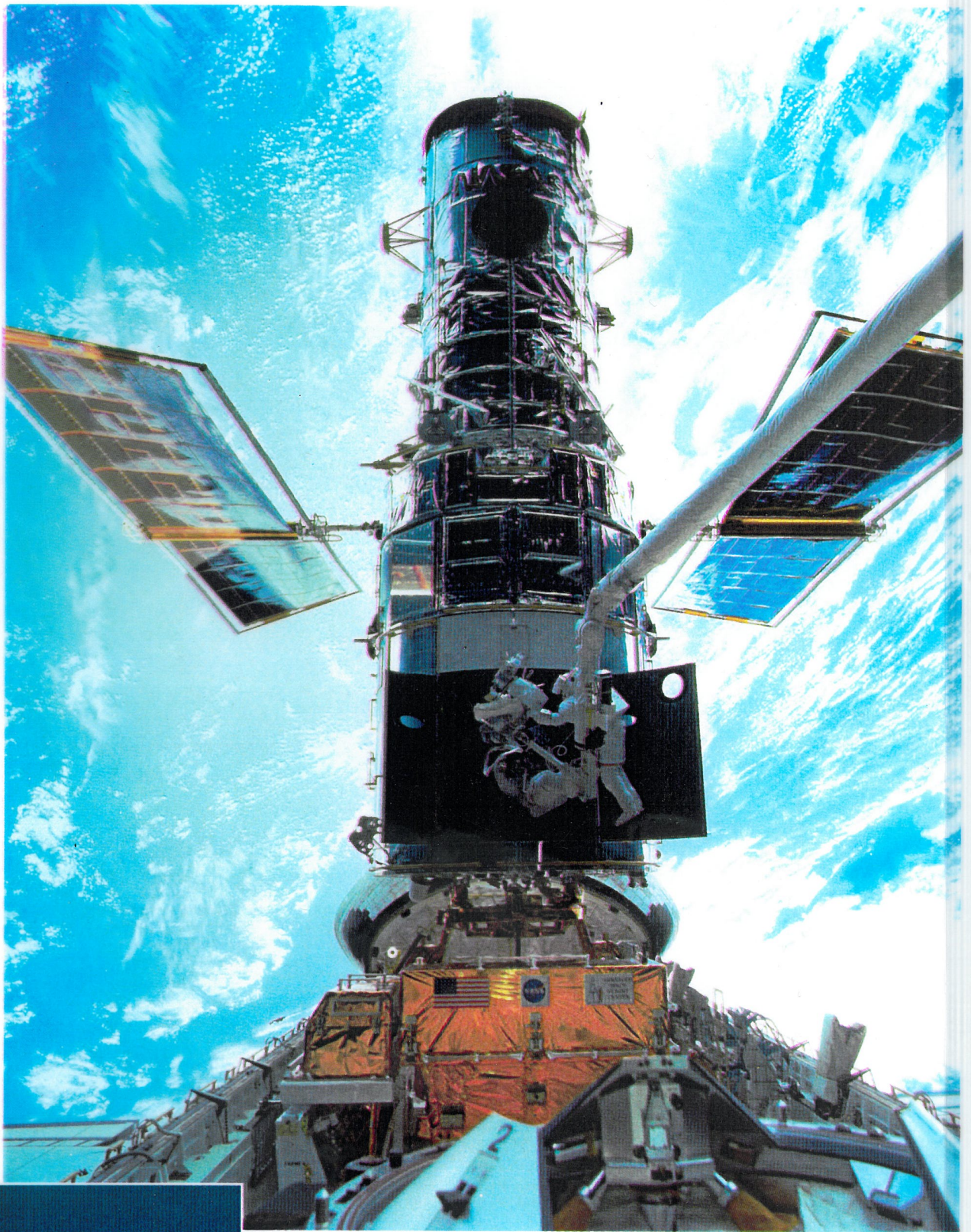
24. 4. 1990

2.4m

1993 - 2002 - NYNÍ

RADE

it observatory
ique among
it improves
nology would
ong mission,
shuttle astro-
lling newer,
ry few years.

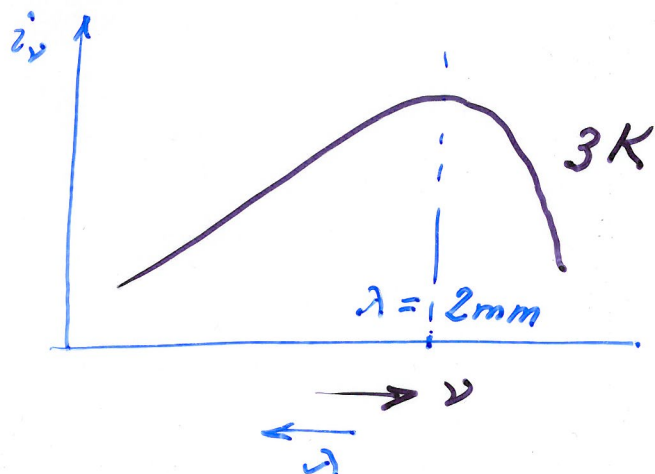


During the first servicing mission in 1993, Hubble received a new camera, additional optics to compensate for flaws in the original mirror, and improved solar arrays. During the second mission in 1997, Hubble gained an infrared camera and a much improved spectrometer for studying the

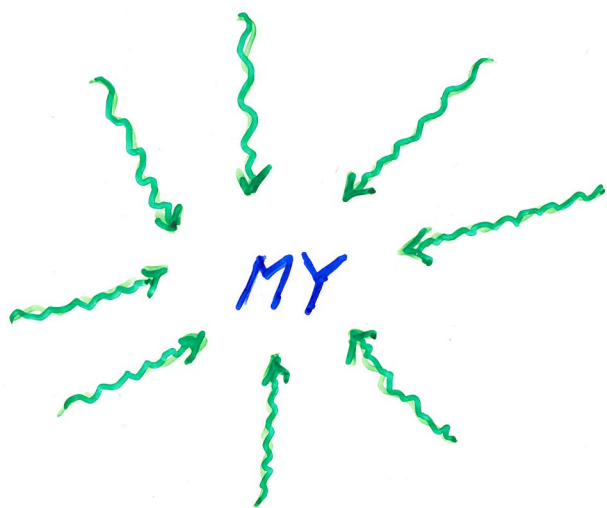
1965 Penzias & Wilson (Nobel 1978)
(Gamow, Dicke, Peebles, ...)

Reliktové kosmické elmag. záření
(kosmické "pozadí")
mikrovlnné

cosmic
microwave
background
CBR



Meziganalaktický
prostor není "chladný"!



3 K nad absol. nulou

~ 400 krát záření
(fotonů) v $1cm^3$

10^9 fotonů na 1 atom
ve vesmíru (?)
("funeos")

isotropie
 $3 \cdot 10^{-5} \dots 90^\circ - 10'$
 $10^{-2} \dots < 10'$

je "funeosní"

Planck (spacecraft)

From Wikipedia, the free encyclopedia

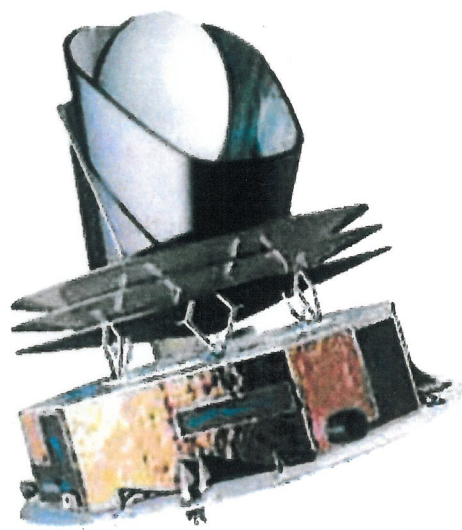
Planck is a space observatory designed to observe the anisotropies of the cosmic microwave background (CMB) over the entire sky, using high sensitivity and angular resolution. Planck was built in the Cannes Mandelieu Space Center and created as the third Medium-Sized Mission (M3) of the European Space Agency (ESA) Horizon 2000 Scientific Programme. The project—initially called COBRAS/SAMBA after its approval—is named in honour of the German scientist Max Planck (1858–1947), who won the Nobel Prize for Physics in 1918.

The mission will complement and improve upon observations made by the NASA WMAP probe, which has measured the anisotropies at larger angular scales and lower sensitivity than Planck. Planck will provide a major source of information relevant to several cosmological and astrophysical issues, such as testing theories of the early universe and the origin of cosmic structure.

Contents

- 1 Instruments
 - 1.1 Low Frequency Instrument
 - 1.2 High Frequency

Planck



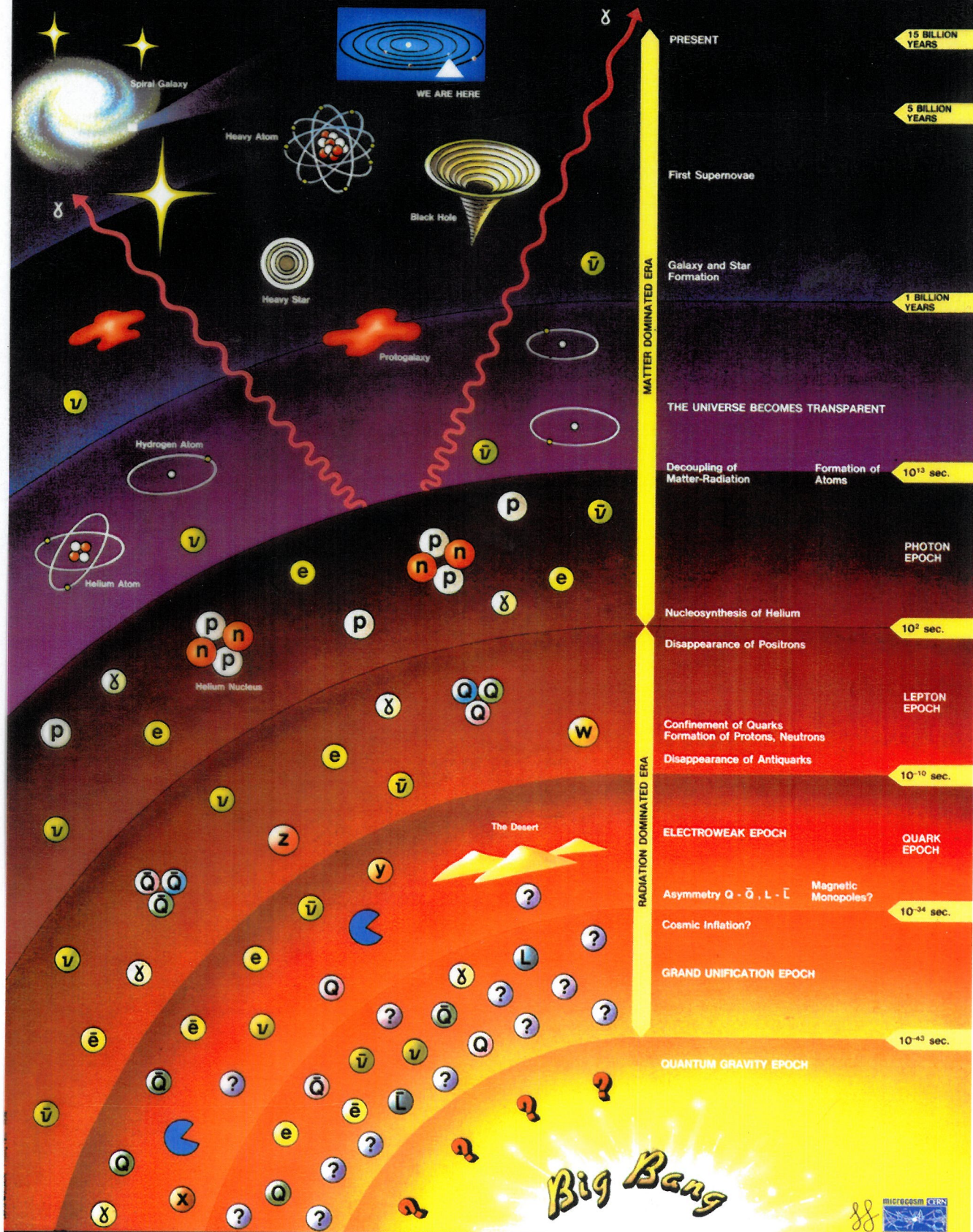
General information

Organization	European Space Agency
Launch date	<u>14 May 2009, 13:12 GMT</u>
Launched from	Guiana Space Centre French Guiana
Launch vehicle	Ariane 5
Location	1.5 million km (L2 Lagrangian point)
Wavelength	350 to 10,000 μm

Instruments

Low Frequency Instrument (LFI)	30–70 GHz receivers
High Frequency Instrument (HFI)	100–857 GHz receivers
Website	Planck Science Team Home (http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PLANCK)

History of the Universe



HISTORIE VESMÍRU (1.5×10^{10} let)

V ROCE

1. ledna Big Bang $\leftarrow$ Trorba D, He, Li (200sc)
1. 1. 0h 1min oddělení / záření od hmoty
(„decoupling“ - rekombinace)
5. 1. První hvězdy a současně černé díry
16. 1. nejstarší galaxie
27. 3. kvazary - maxim. aktivita
9. 9. vznik Slunce a Země
28. 9. život na Zemi „dnes“
16. - 19. 12. rostliny, první obratlovci
20. - 24. 12. lesy, ryby, plazy
25. 12. Ssavci
28. 12. vymření ještěrů
31. 12.
- 4 sek A.D.
- 0.2 sek MY
12. 1. Země příliš teplá pro život
7. 4. Slunce červený obr
16. 4. Andromeda pohltí Mléčnou dráhu
- 10^{40} let rozpad protonů
- do 10^{70} let rozpad (vypaření) gigant. černých děr

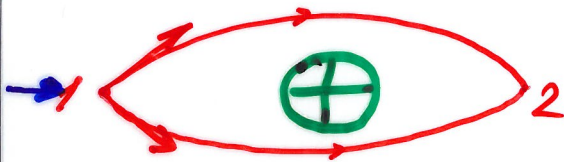
NE NEKONEČNOST
ALE VĚČNOST ANO

NEWTON:

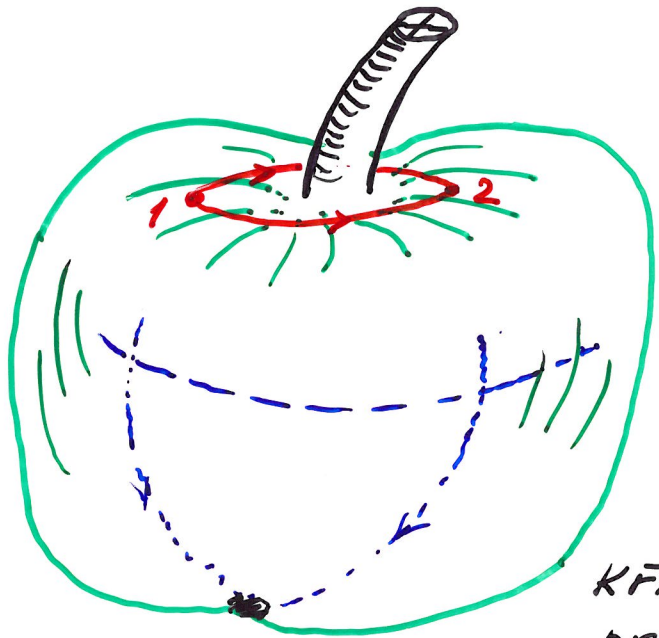


$$|\vec{F}| = \frac{GmM}{r^2}$$

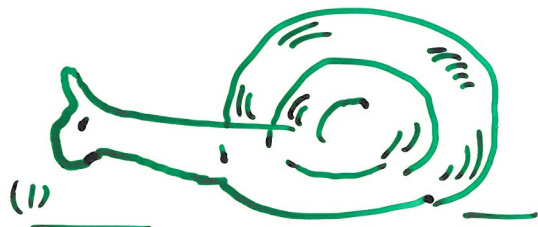
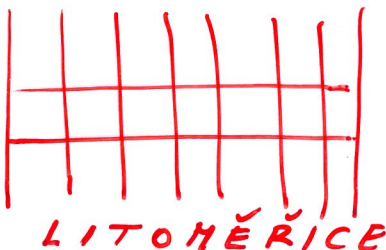
$\Rightarrow$ "Laplace" $\Delta \Phi = 4\pi G \rho$
 $\leftrightarrow R...$
 $\phi = -GM/r$ (gravitace) $\leftrightarrow T_{\mu\nu}$
 hustota hmoty



Daný "absolutní" prostor
(Newton)



Křivý
prostor
(Einstein)



ERNST MACH: $A \leftrightarrow B$

OBEČNÁ' TEORIE

RELATIVITY

anob

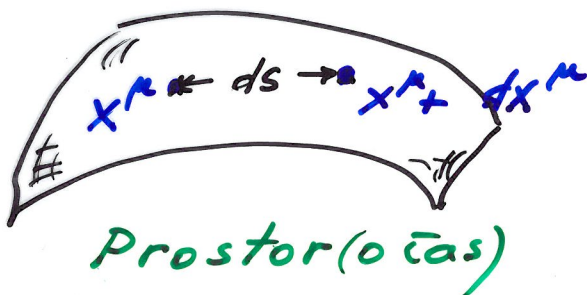
Einsteinova teorie gravitace

AE

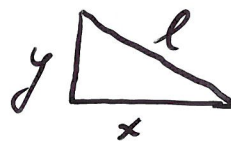
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Křivost $\equiv$ gravitace

Hmota
- energie



$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$
$$= g_{\mu\mu} (dx^\mu)^2 + \dots$$



$$l^2 = x^2 + y^2$$

$$R_{..} = g_{..} \partial\partial g + g (\partial g)^2 \dots$$

HMOTA ŘÍKÁ PROSTORU JAK SE ZAKŘIVOVAT
PROSTOR ŘÍKÁ HMOTĚ JAK SE POHYBOVAT

Bending of light, Prague 1911

898

4. Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes; von A. Einstein.

Die Frage, ob die Ausbreitung des Lichtes durch die Schwere beeinflusst wird, habe ich schon an einer vor 3 Jahren erschienenen Abhandlung zu beantworten gesucht.¹⁾ Ich komme auf dies Thema wieder zurück, weil mich meine damalige Darstellung des Gegenstandes nicht befriedigt, noch mehr aber, weil ich nun nachträglich einsehe, daß eine der wichtigsten Konsequenzen jener Betrachtung der experimentellen Prüfung zugänglich ist. Es ergibt sich nämlich, daß Lichtstrahlen, die in der Nähe der Sonne vorbeigehen, durch das Gravitationsfeld derselben nach der vorzubringenden Theorie eine Ablenkung erfahren, so daß eine scheinbare Vergrößerung des Winkelabstandes eines nahe an der Sonne erscheinenden Fixsternes von dieser im Betrage von fast einer Bogensekunde eintritt.

Es haben sich bei der Durchführung der Überlegungen auch noch weitere Resultate ergeben, die sich auf die Gravitation beziehen. Da aber die Darlegung der ganzen Betrachtung ziemlich unübersichtlich würde, sollen im folgenden nur einige ganz elementare Überlegungen gegeben werden, aus denen man sich bequem über die Voraussetzungen und den Gedankengang der Theorie orientieren kann. Die hier abgeleiteten Beziehungen sind, auch wenn die theoretische Grundlage zutrifft, nur in erster Näherung gültig.

§ 1. Hypothese über die physikalische Natur des Gravitationsfeldes.

In einem homogenen Schwerefeld (Schwerebeschleunigung g) befinde sich ein ruhendes Koordinatensystem K , das so orientiert sei, daß die Kraftlinien des Schwerefeldes in Richtung

1) A. Einstein, Jahrb. f. Radioakt. u. Elektronik IV, 4.

898 A. Einstein. Einfluß der Schwerkraft usw.

Nach Gleichung (4) erleidet ein an einem Himmelskörper vorbeigehender Lichtstrahl eine Ablenkung nach der Seite sinkenden Gravitationspotentials, also nach der dem Himmelskörper zugewandten Seite von der Größe

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\phi = -\frac{\pi}{2}}^{\phi = +\frac{\pi}{2}} \frac{kM}{r^2} \cos \varphi \cdot ds = \frac{2kM}{c^2 \Delta},$$

wobei k die Gravitationskonstante, M die Masse des Himmelskörpers, Δ den Abstand des Lichtstrahles vom Mittelpunkt des Himmelskörpers bedeutet. Ein an der Sonne vorbeigehender Lichtstrahl erleidet demnach eine Ablenkung vom Betrage $4 \cdot 10^{-8}$

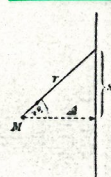


Fig. 3.

= 0,53 Bogensekunden. Um diesen Betrag erscheint die Winkeldistanz des Sternes vom Sonnenmittelpunkt durch die Krümmung des Strahles vergrößert. Da die Fixsterne der der Sonne zugewandten Himmelspartien bei totalen Sonnenfinsternissen sichtbar werden, ist diese Konsequenz der Theorie mit der Erfahrung vergleichbar. Beim Planeten Jupiter erreicht die zu erwartende Verschiebung etwa $\frac{1}{100}$ des angegebenen Betrages. Es wäre dringend zu wünschen, daß sich Astronomen der hier auf-

gerollten Frage annähmen, auch wenn die im vorigen gegebenen Überlegungen ungenügend fundiert oder gar abenteuerlich erscheinen sollten. Denn abgesehen von jeder Theorie muß man sich fragen, ob mit den heutigen Mitteln ein Einfluß der Gravitationsfelder auf die Ausbreitung des Lichtes sich konstatieren läßt.

Prag, Juni 1911.

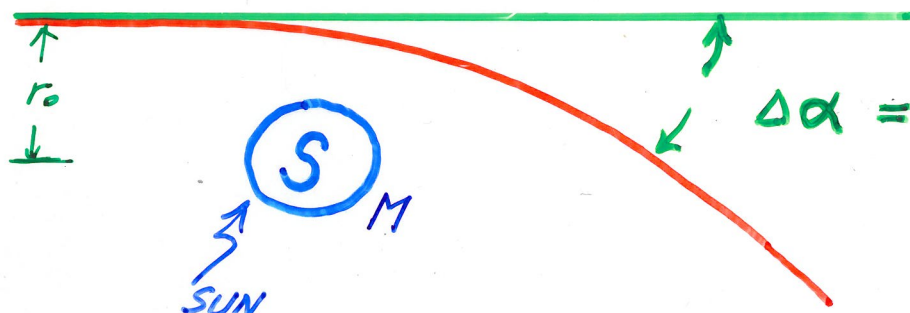
(Eingegangen 21. Juni 1911.)

The first and last pages of Einstein's paper "On the Influence of Gravity on the Propagation of Light" which was written in Prague in 1911 and marked the beginning of Einstein's systematic concentration on the construction of a relativistic theory of gravity; this ended only in 1915 when Einstein arrived at the final formulation of general relativity. Although the paper is best known for the prediction that the deflection of light due to the Sun is an observable effect, it is of even greater importance for the very foundation of the future theory of gravity. It contains what Eddington considered to be the original statement of the principle of equivalence, thus discounting Einstein's formulation of 1907, and about which Einstein's collaborator Bannesh Hoffmann says that "his argument [Einstein's principle of equivalence], particularly in its 1911 form, must rank as one of the most remarkable in the history of science".

Bending of light in grav. field of Sun

Equivalence principle :

$$c = c_0 \left(1 + \frac{\Phi}{c^2} \right)$$

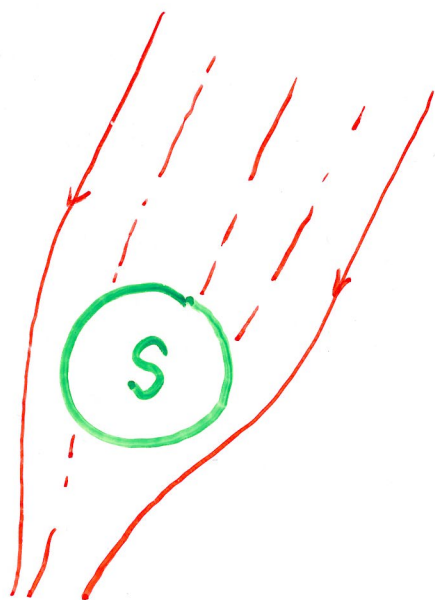


$$\Delta\alpha = \frac{2GM}{c^2 r_0} \approx 0.83''$$

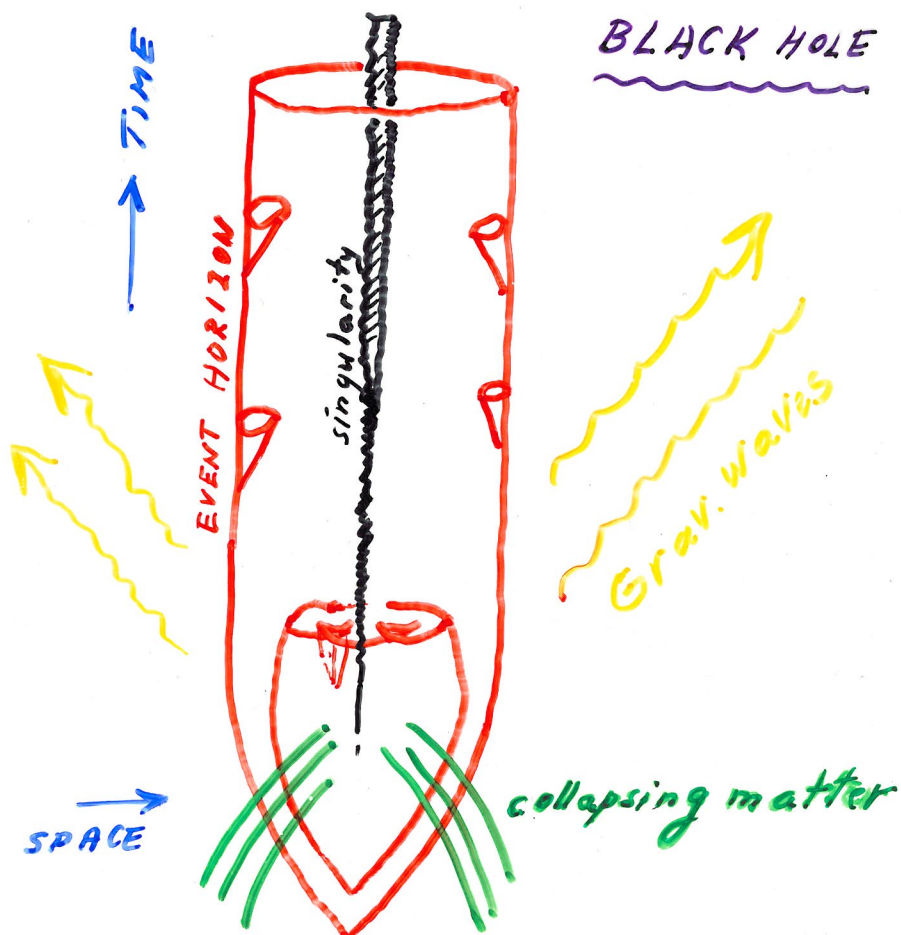
$$= \frac{1}{2} (\Delta\alpha_{GR})$$

Newton, Laplace, Soldner, Einstein
Eddington 1919

... QSO's VLBI (~~Brans Dicke~~)

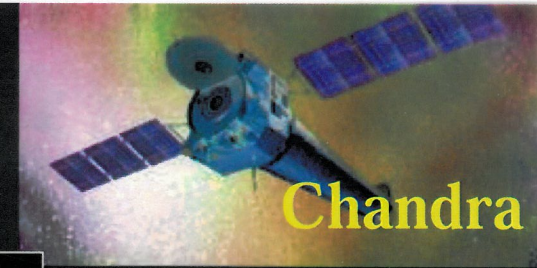


Prague 1911

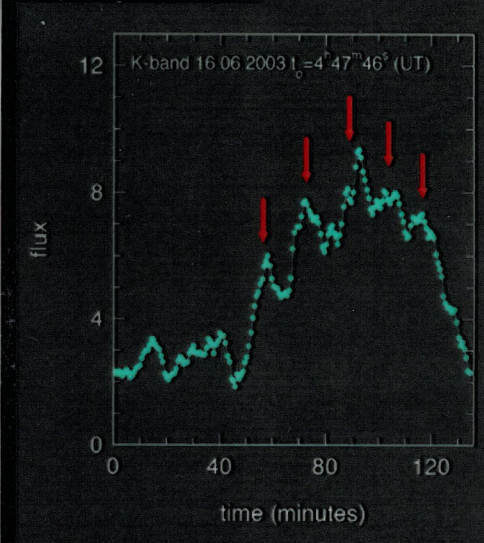
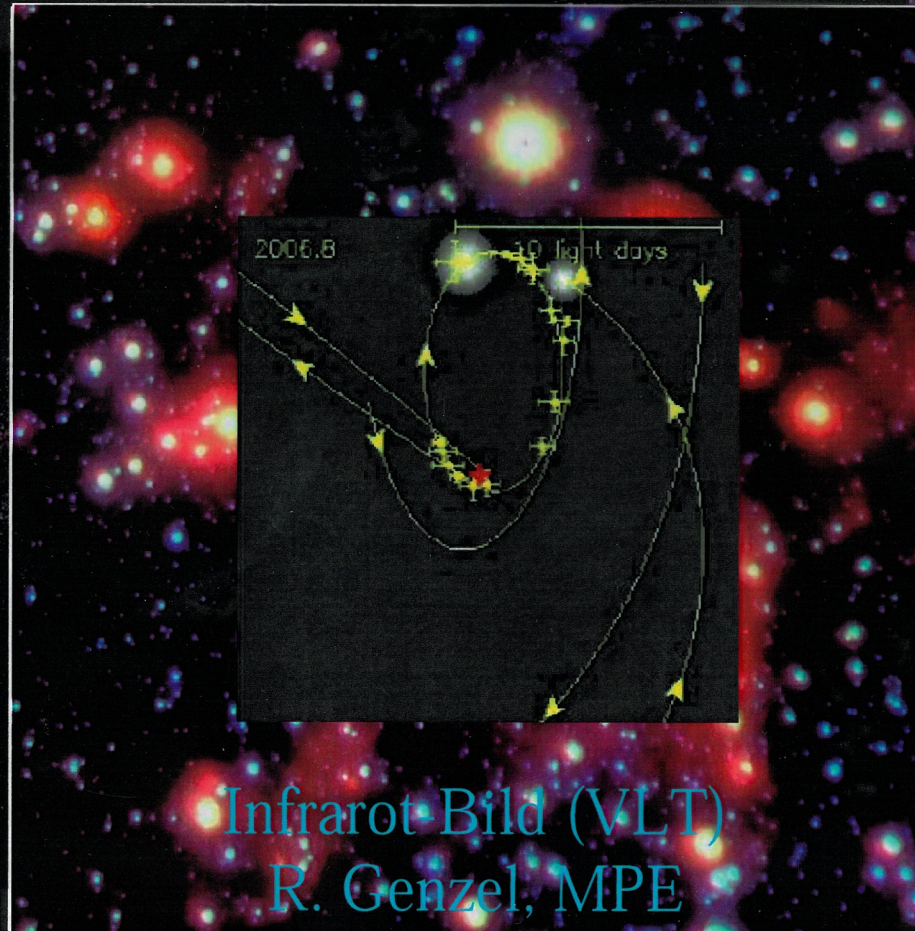


Collapsus pictus 2008

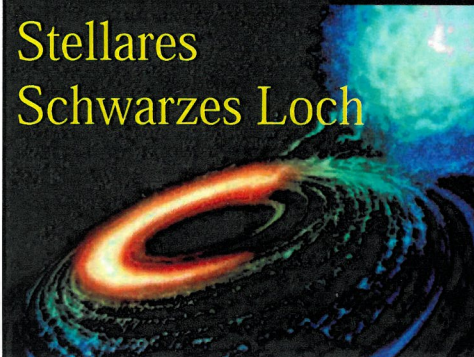
Unsere Milchstrasse



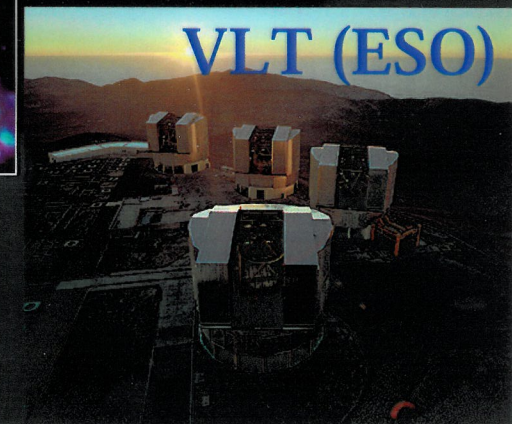
ROSAT



Stellares
Schwarzes Loch



Schnell rotierendes
Schwarzes Loch mit 2-3
Millionen Sonnenmassen

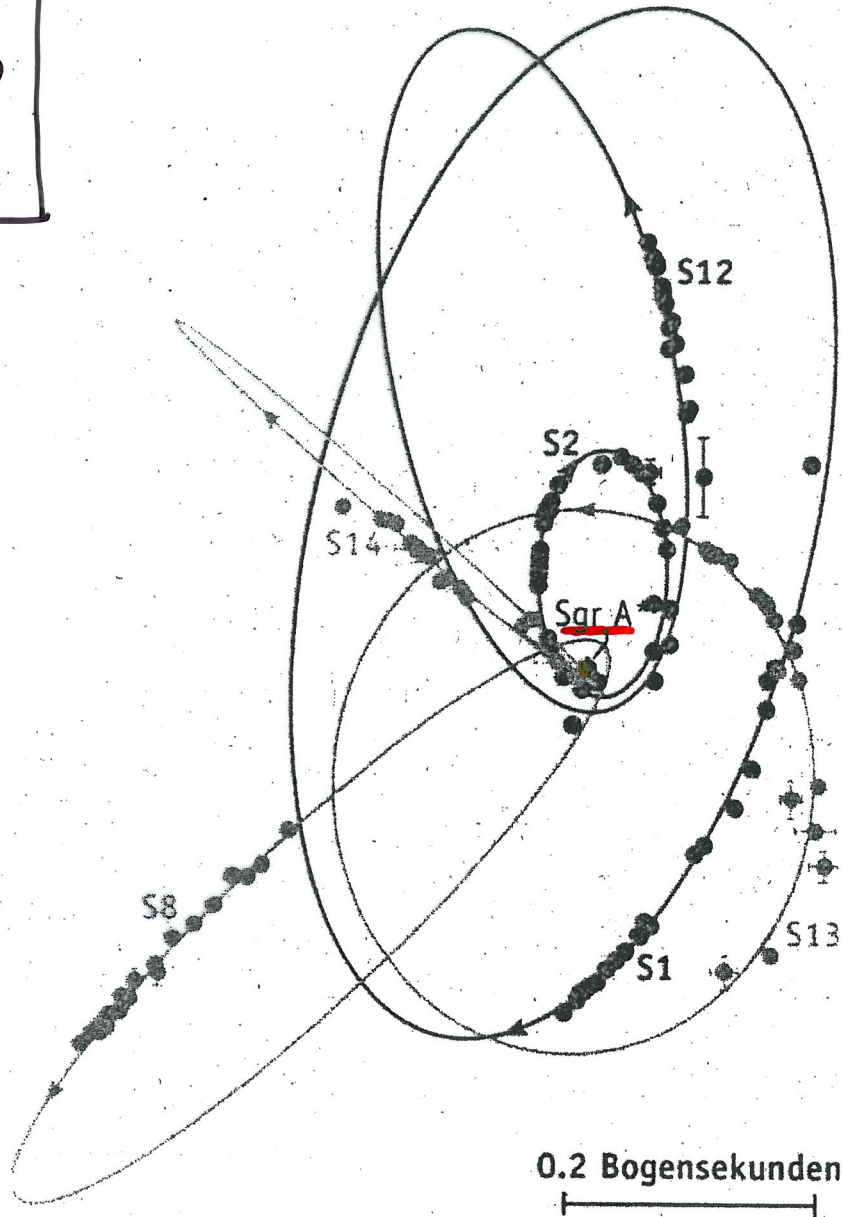


Schödel, Genzel, Ott, Eckart, Mouawad, Alexander: Ap. J. 526, (2004) 1015

Hvězda

S2 najatc 2002 $v \sim 10000 \text{ km/s}$ ve vzdál. ≈ 10 svět. hodin
od Sgr A - $T \sim 15 \text{ let}$ ($\sim 3 \times$ Slunce - Pluto)

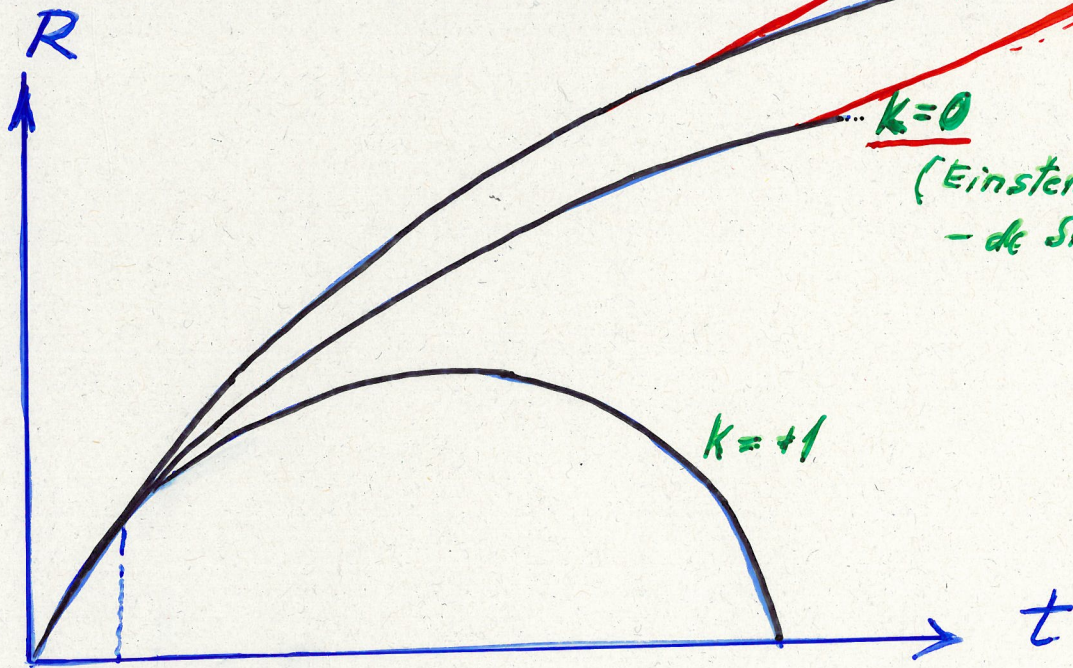
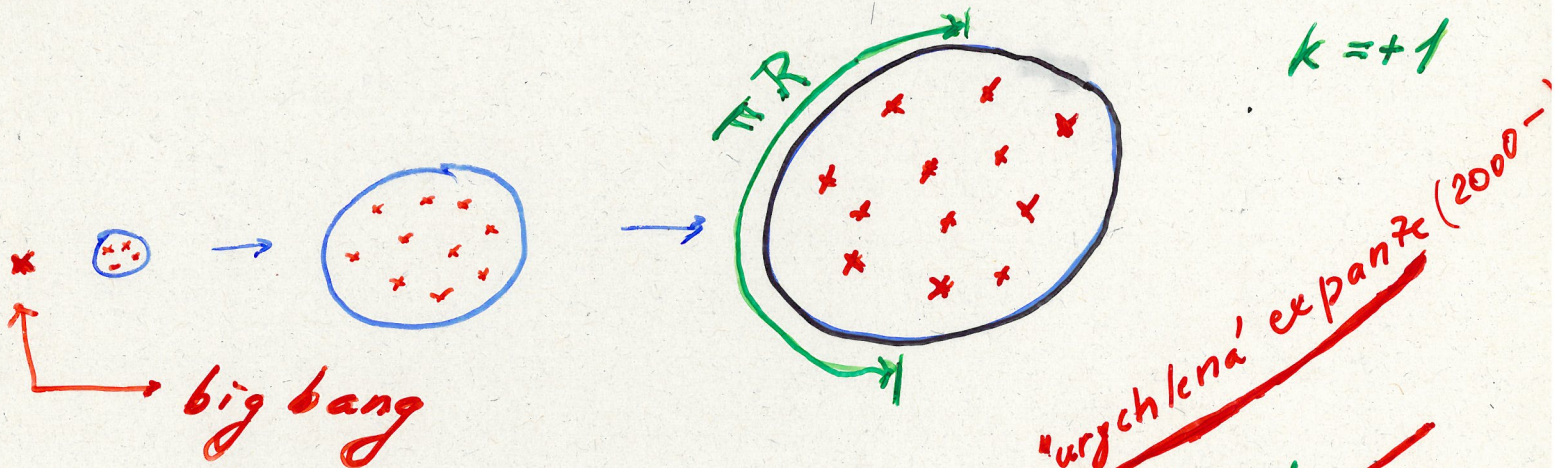
V centru:
ČERNÁ DÍRA
 $M \sim 3 \text{ miliony } M_{\odot}$



Gillessen & Genzel,
Sterne und Weltraum, Dezember 2006

Gen. relativity + isotropy & homog.

⇒ time evolution of the models



BB →

21.	11.	1992.
21.	2.	1995
15.	3.	1997
23.	4.	2002
12.	6.	2003
12.	12.	2004
14.	1.	2009

ρ_0, ρ_0

dark matter,

Hubble's relation

→ dark energy

mutual interconnections

$$K=0 \quad \rho_0 = \rho_{crit} = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

$$k=+1 \quad \rho > \rho_{crit}$$

$$-1 \quad \rho < \rho_{crit}$$

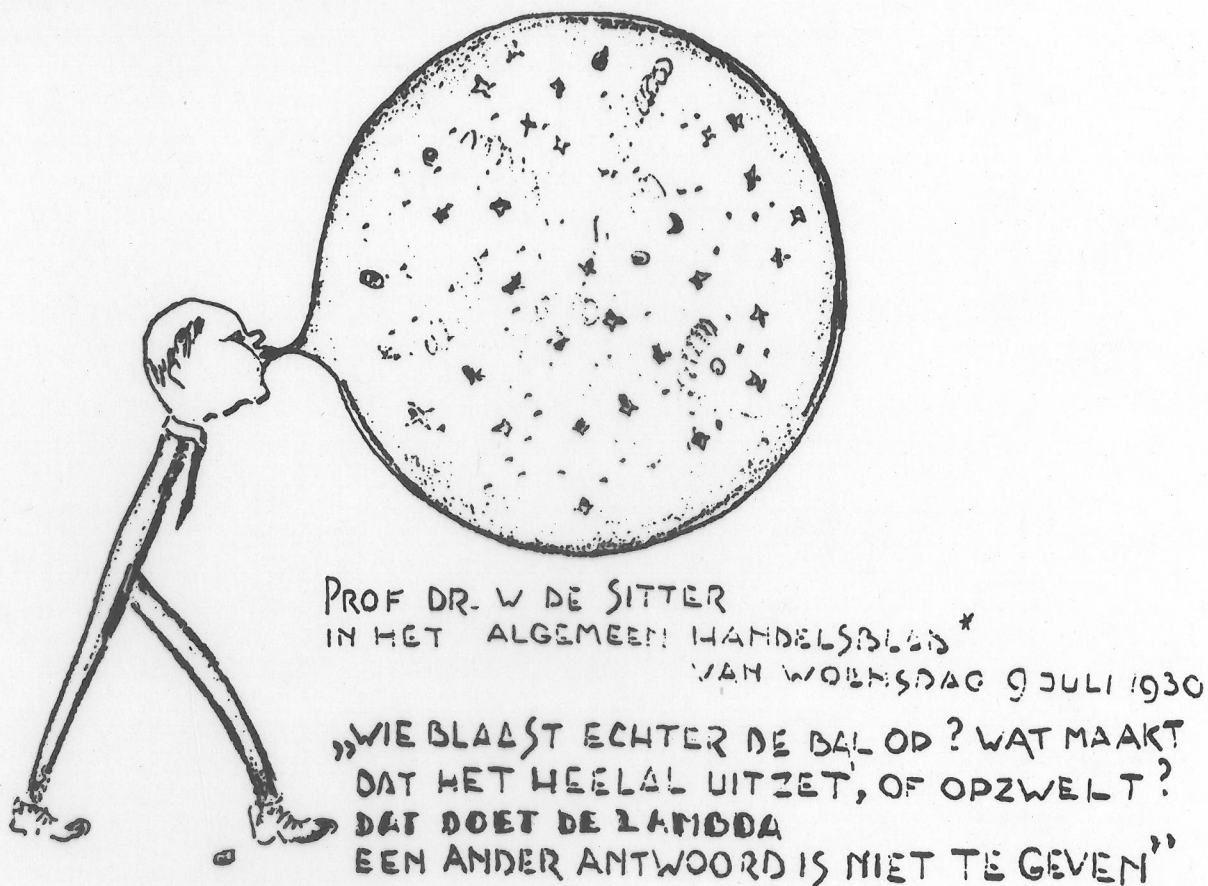


Figure 5.2. This sketch appeared following an interview of de Sitter published in a Dutch newspaper. The quote is translated by van der Laan as: “What, however, blows up the ball? What makes the universe expand or swell up? That is done by the Lambda. Another answer cannot be given.”

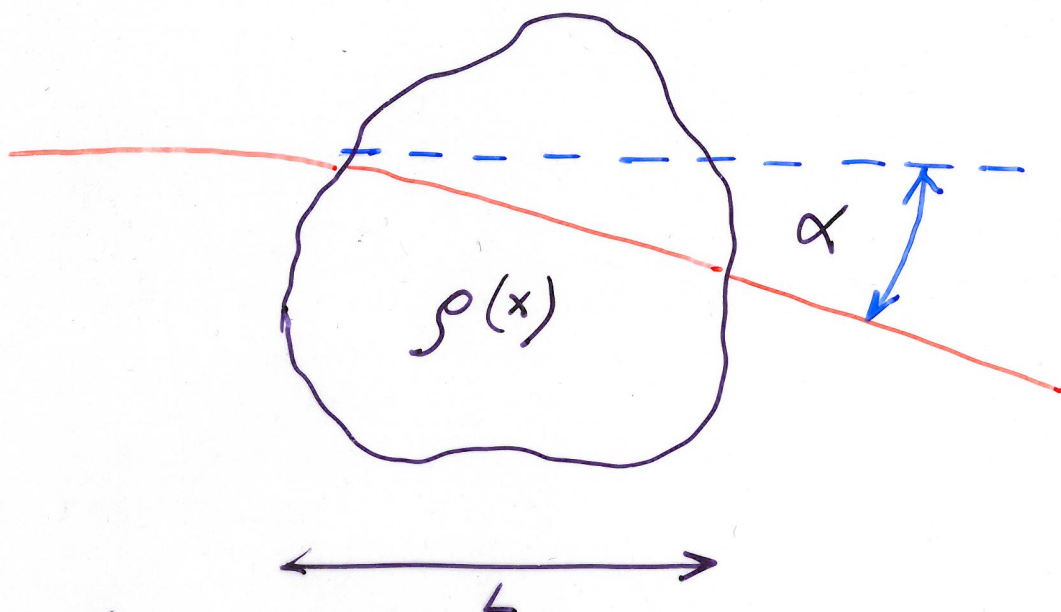
we need some other resolution to the mystery of what caused the universe to expand from whatever it was like before it was expanding, whatever that means. It is notable that in the most popular of the proposed solutions to the mystery, the inflation scenario discussed in section 17, the expansion of the very early universe was driven by a large effective cosmological constant, just as pictured in figure 5.2. The balloon analogy remains a standard device for explaining what the expansion of the universe means, and, in the inflation picture, even a reasonable approximation to what might have caused it.

The abrupt change in the accepted picture for the physical universe, from static to expanding, was a quiet revolution, for once the concept of expansion was generally recognized it was accepted with little organized resistance. Who dis-

Gravitační čočky

1936 A.E. "inspirován" českým ing. Mandlem

rozvoj v 80. letech, zvl. ~ 1989 - ...



↗ např. galaxie nebo kupa galaxií

prostorově omezená, transparentní grav. čočka

Limita slabého pole

$$ds^2 = -(1 + 2\Phi_N)dt^2 + (1 - 2\Phi_N)d\ell^2$$

(Euklid.)

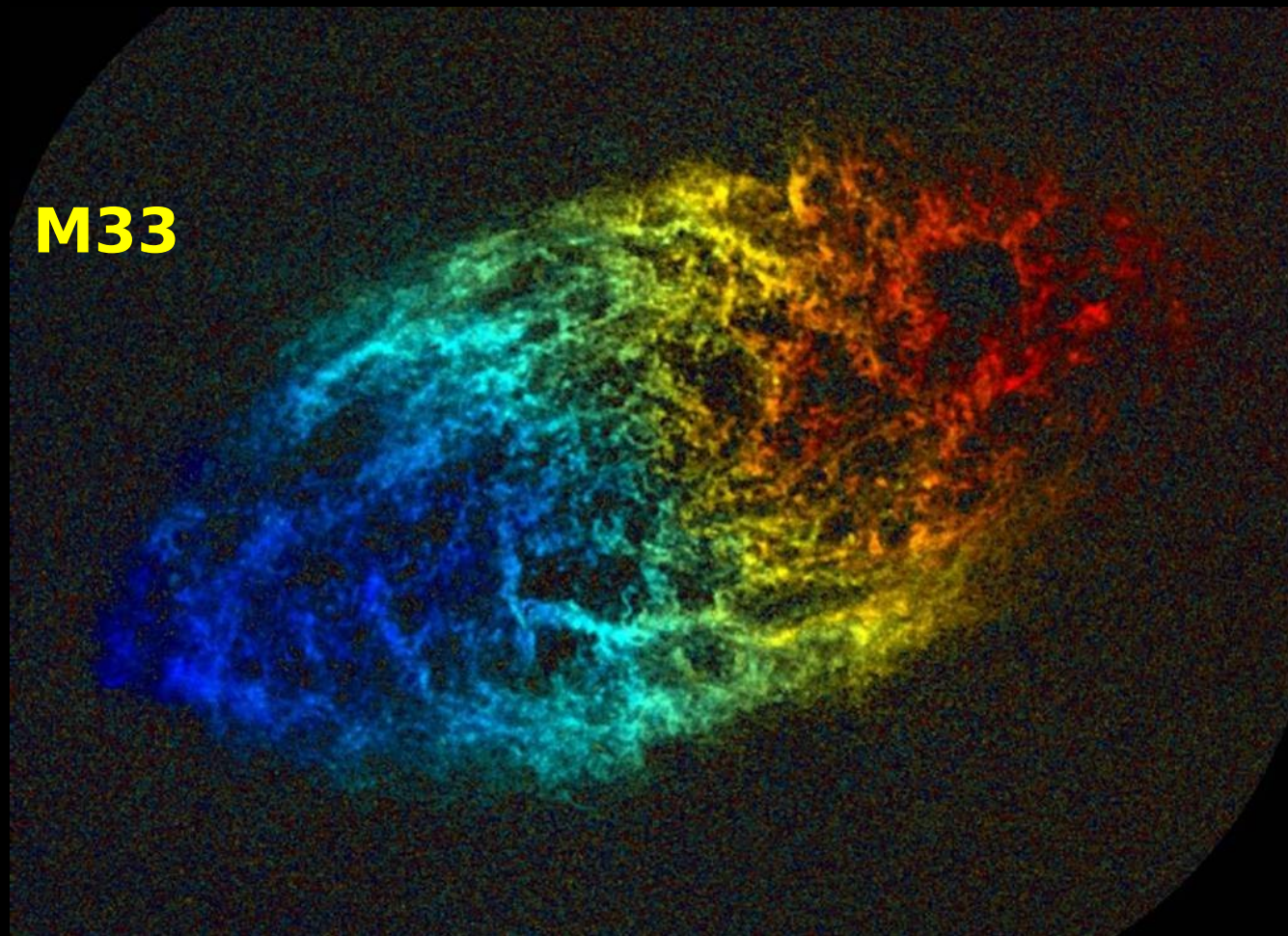
$$\Phi_N = -G \int d\vec{x}' \frac{\rho(\vec{x}')}{|\vec{x} - \vec{x}'|}$$

Pro $\alpha L \ll L$ ("vzdálenost" ~ galaxie $L \sim 30 \text{ kpc}$, $\alpha \sim 1''$)

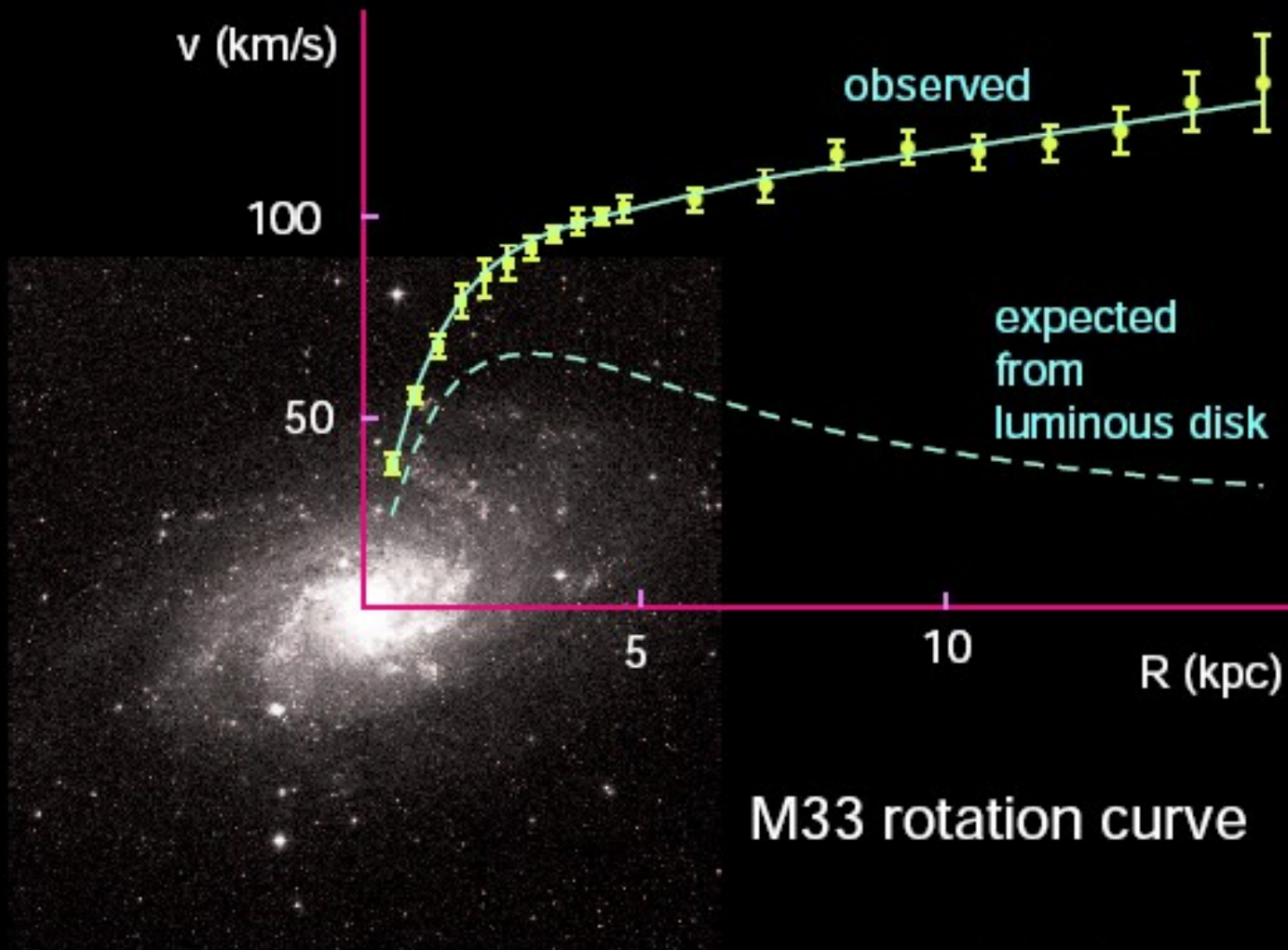
$$\Rightarrow \alpha L \sim 0.3 \text{ p} \ll 30 \text{ kpc}$$

integrace "přes zdroj" (Φ_N) po přímce

Mapování kinematiky pozorováním atomárního H (21 cm)



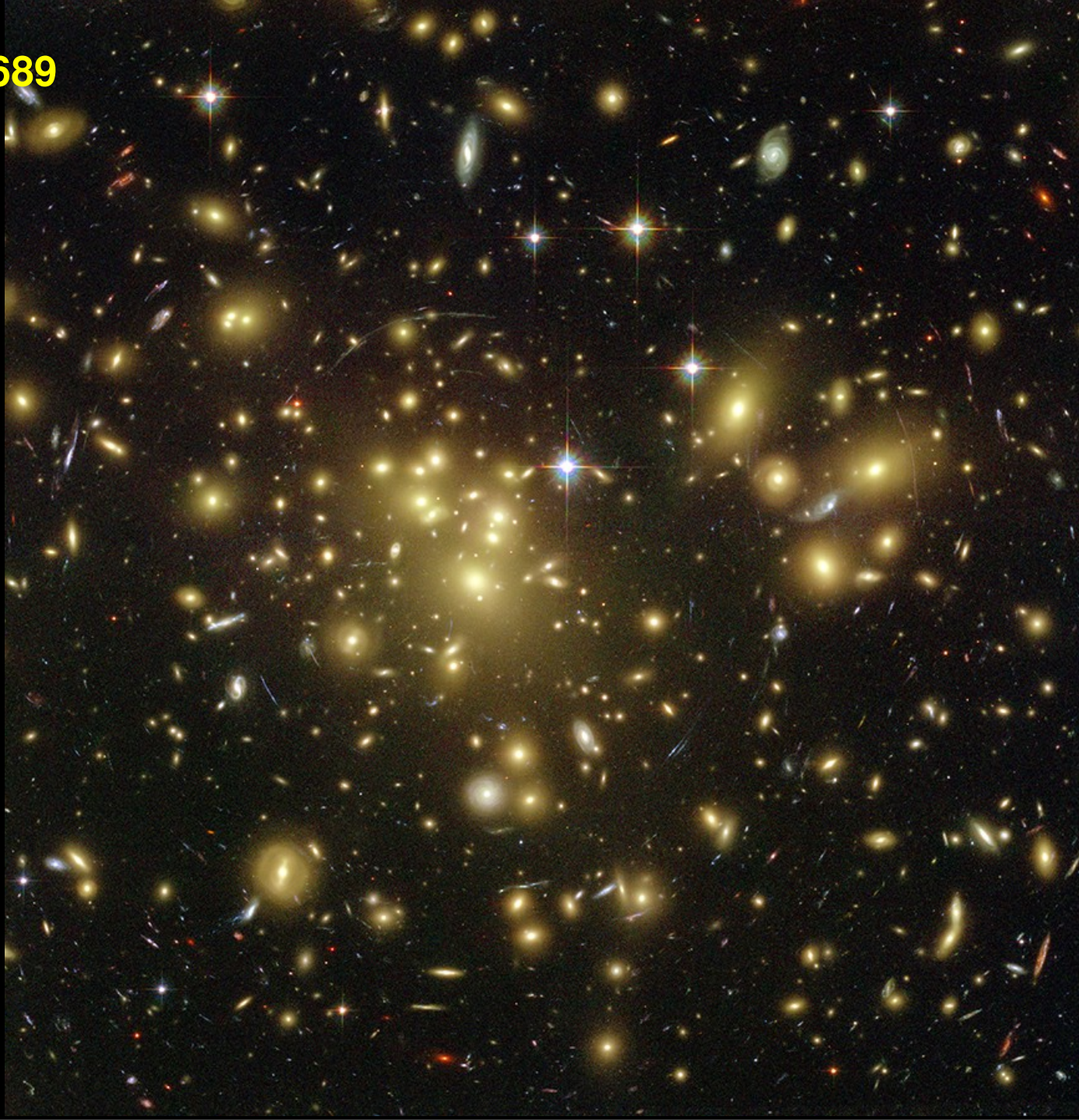
NRAO (2001)



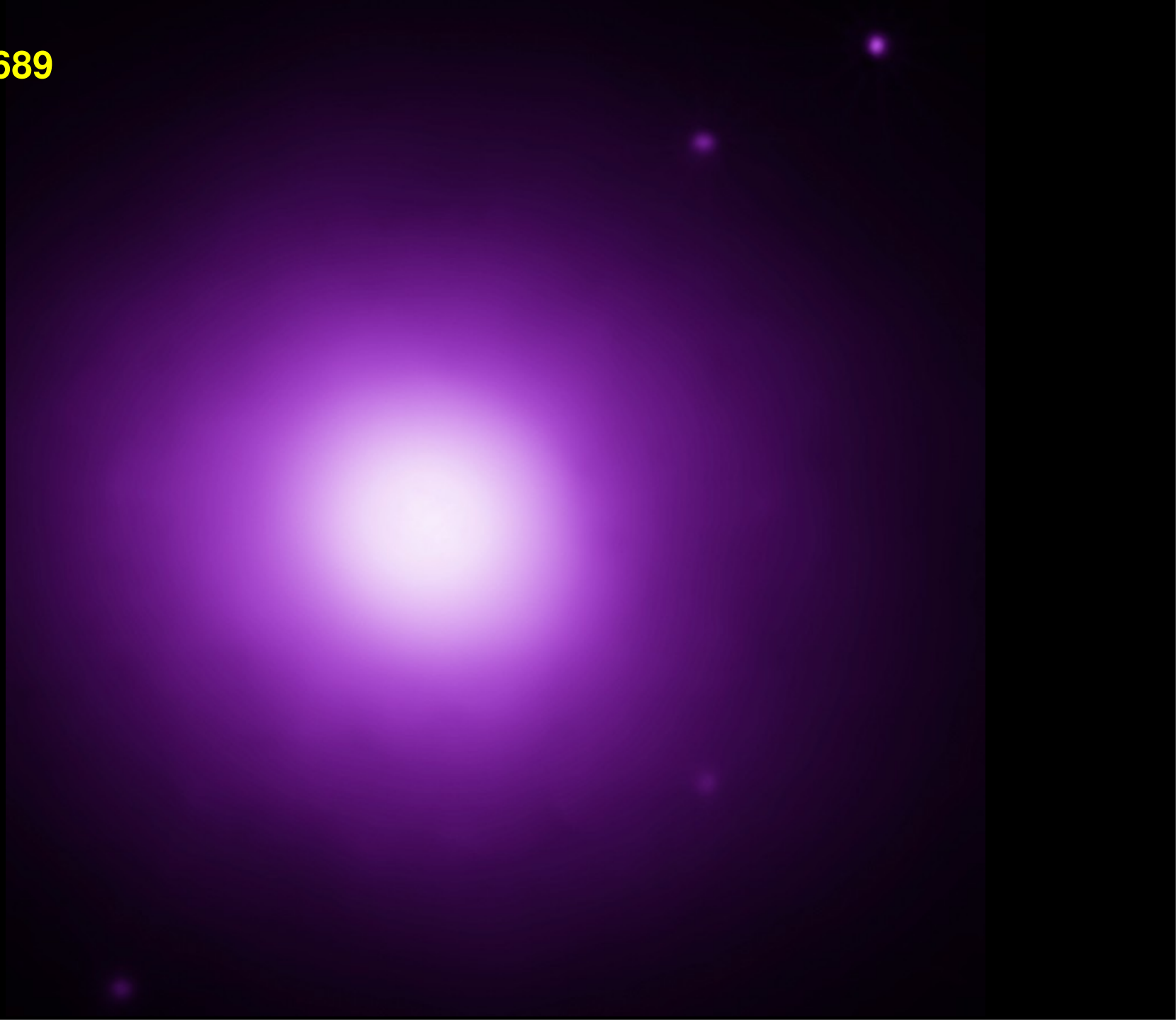
M33 rotation curve

Corbelli & Salucci (2000)

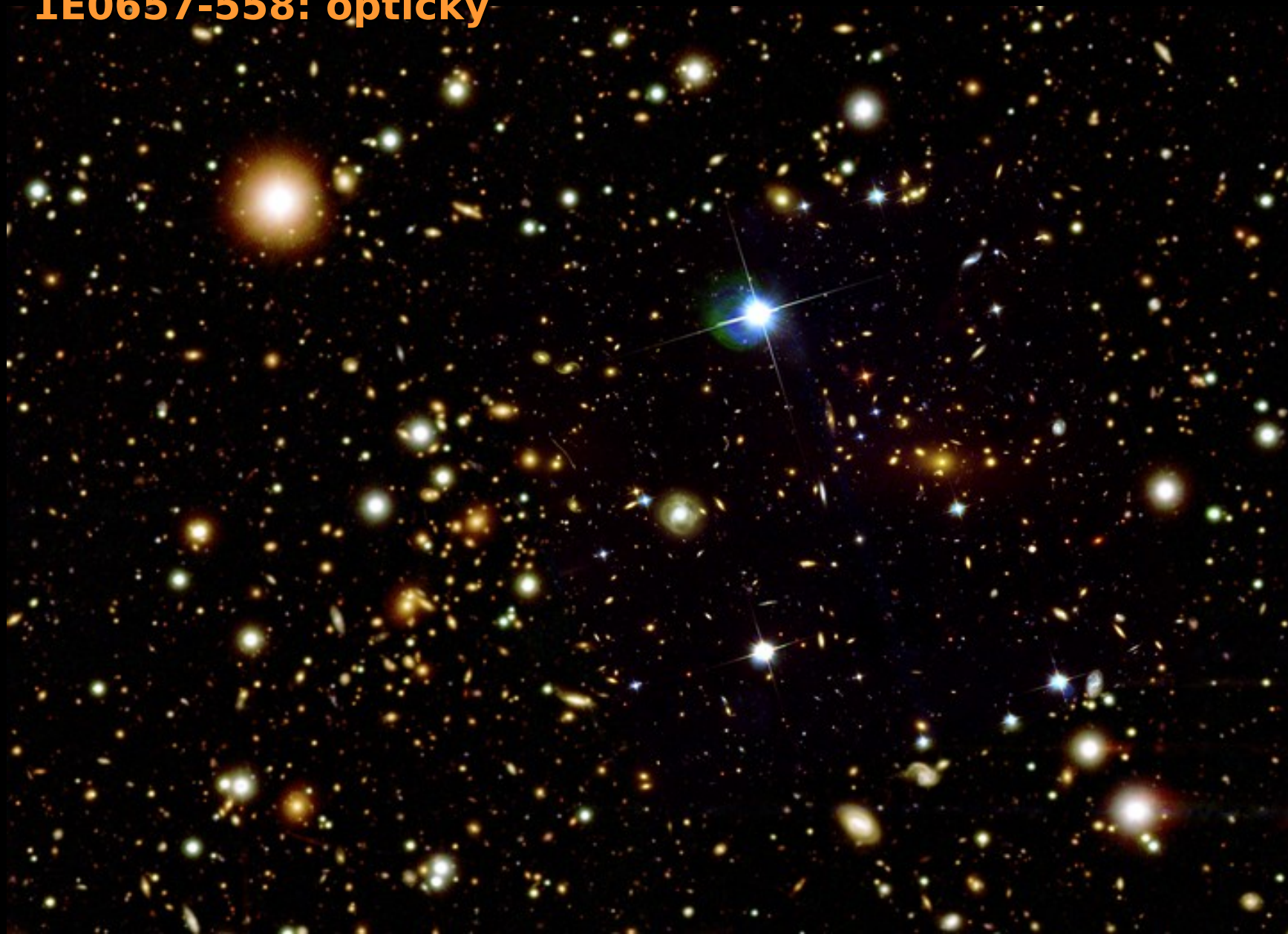
Abell 1689



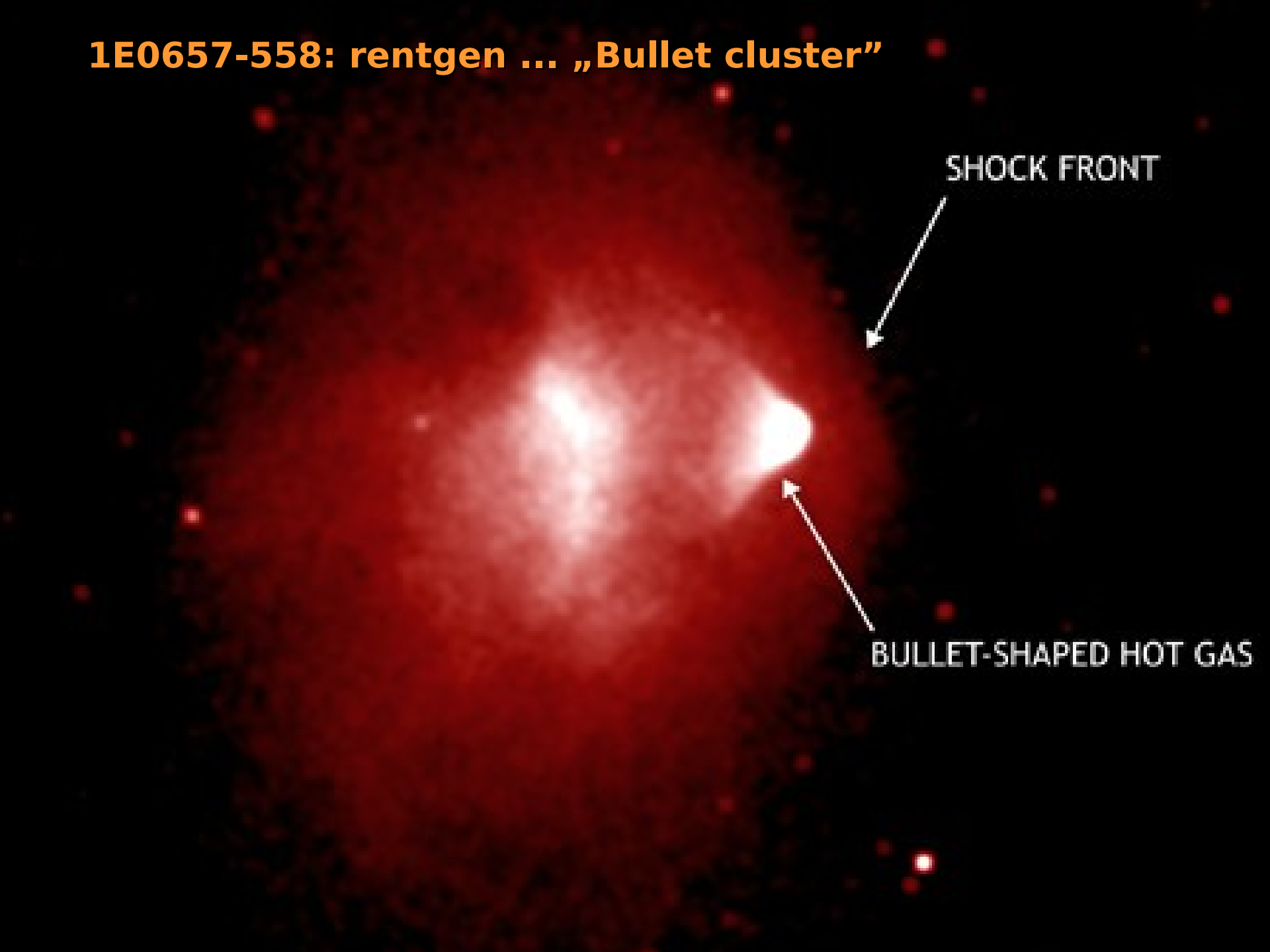
Abell 1689



1E0657-558: opticky

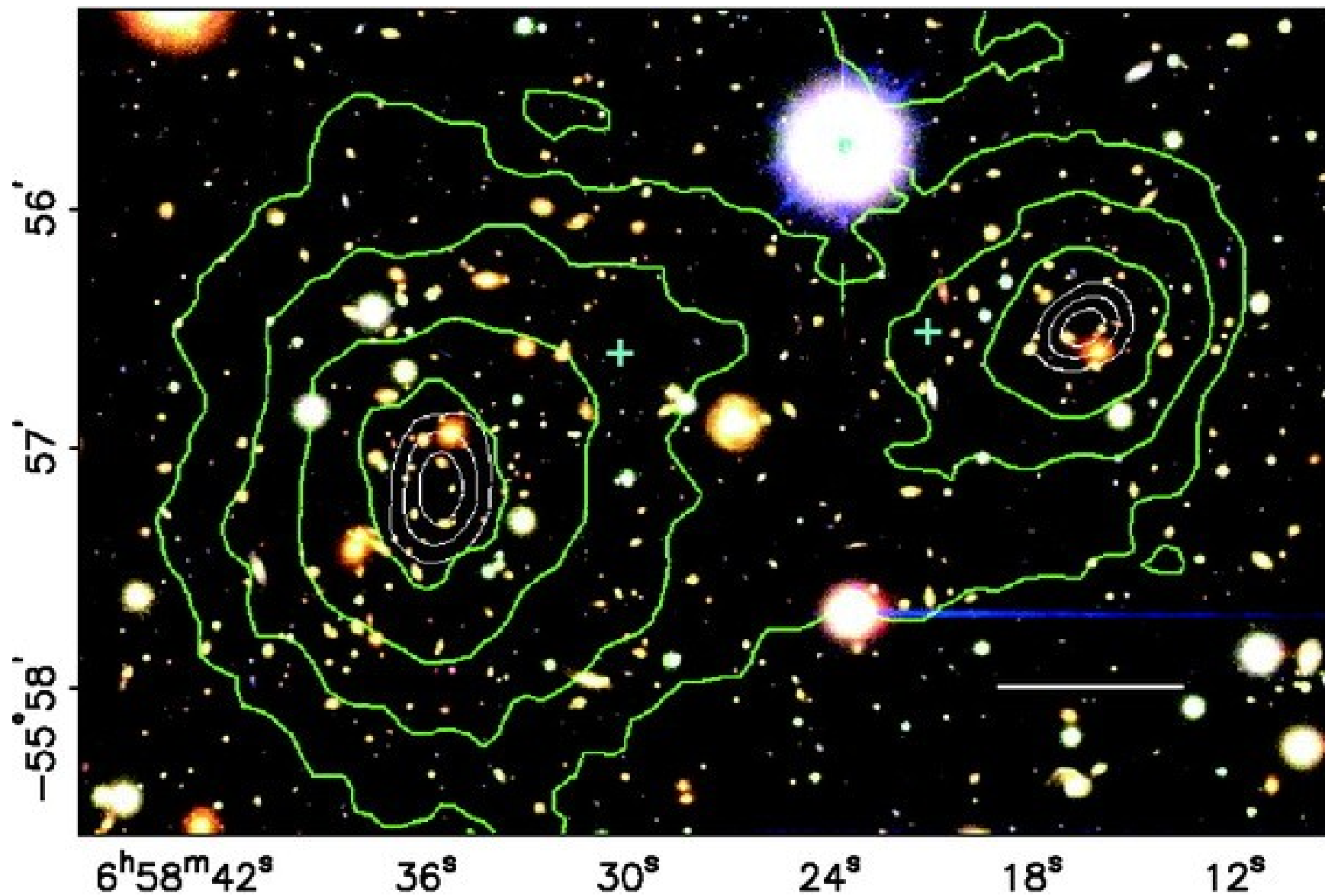


1E0657-558: rentgen ... „Bullet cluster”

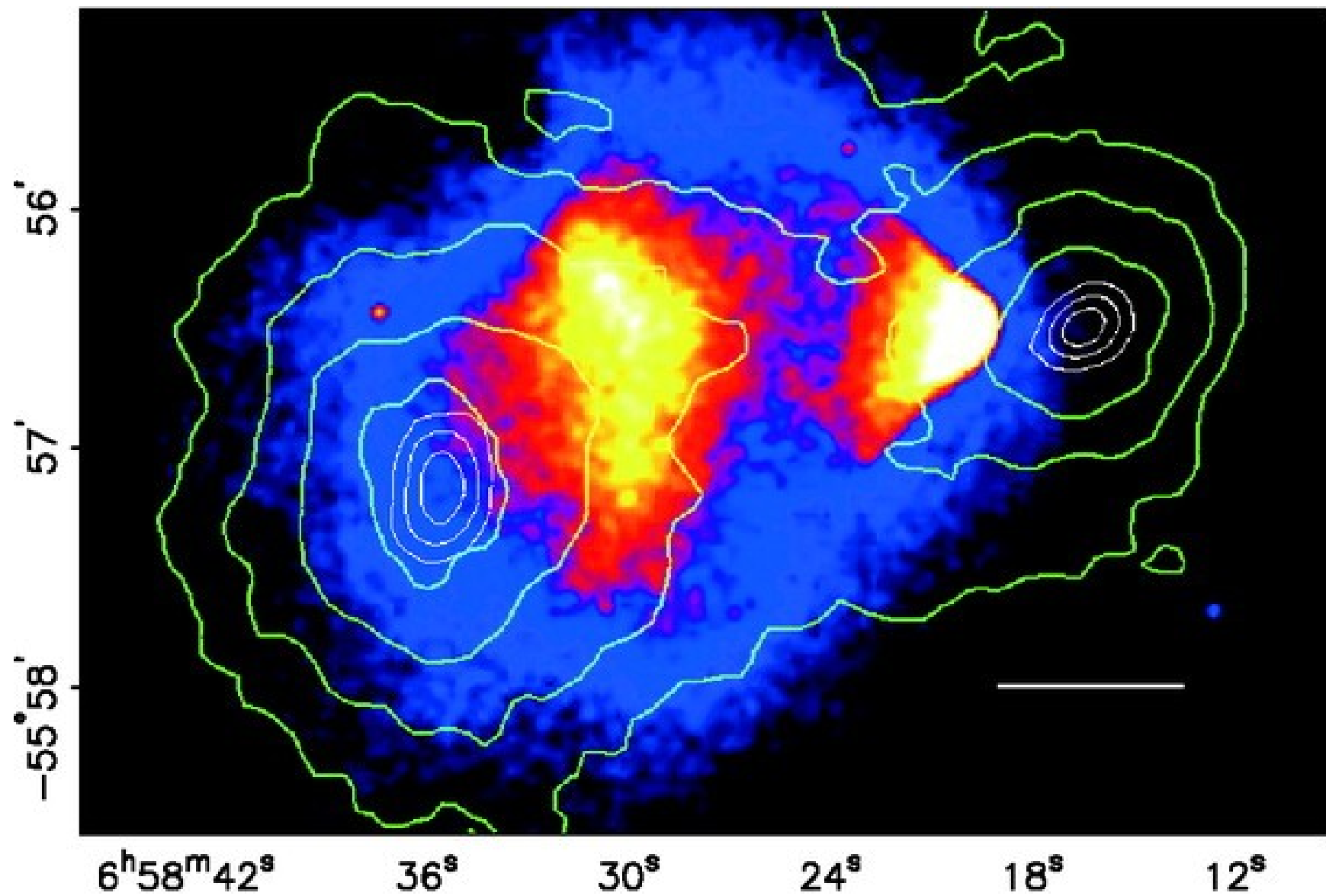


1E0657-558: opticky + rentgen

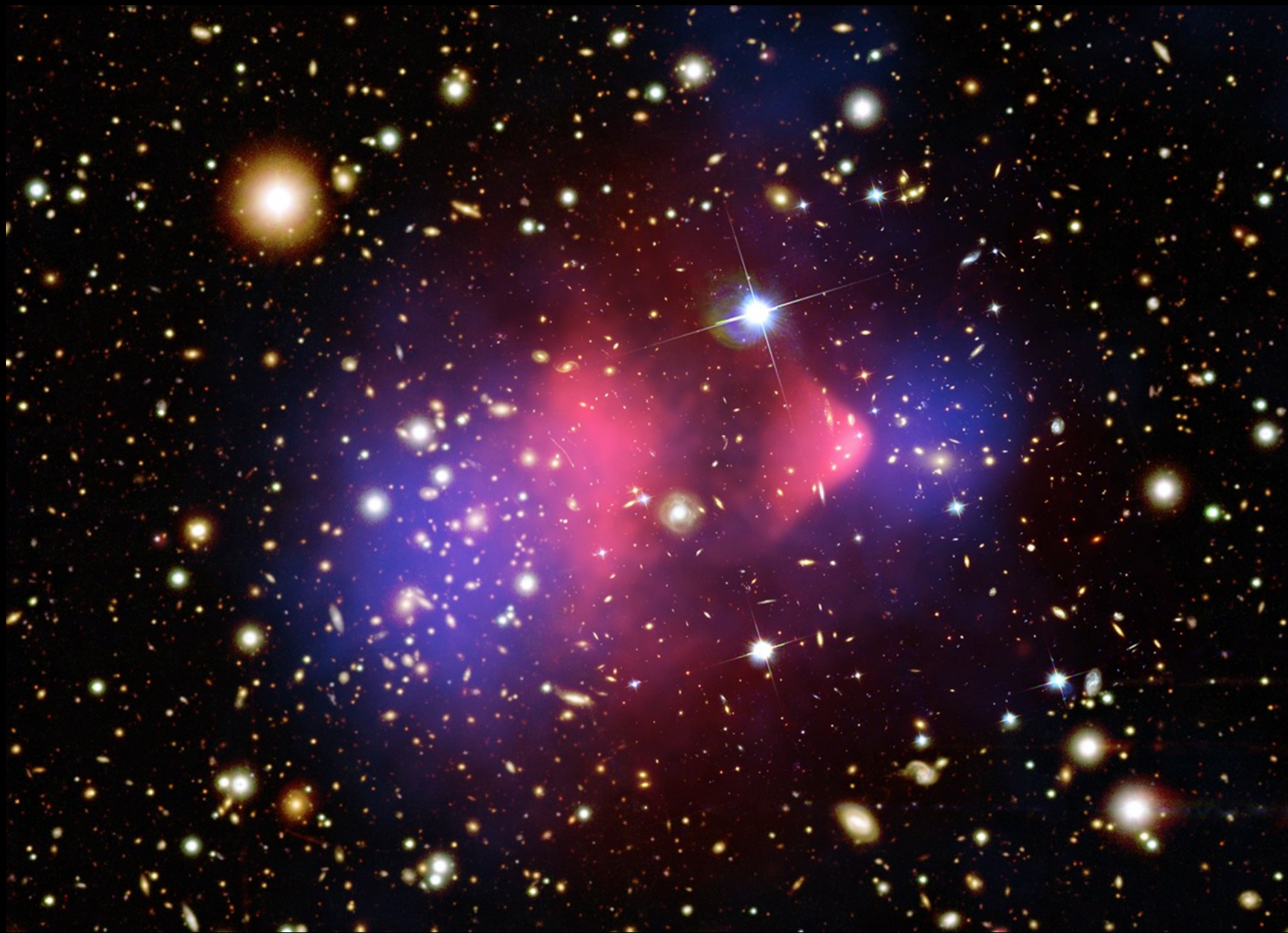




Clowe et al. (2006)

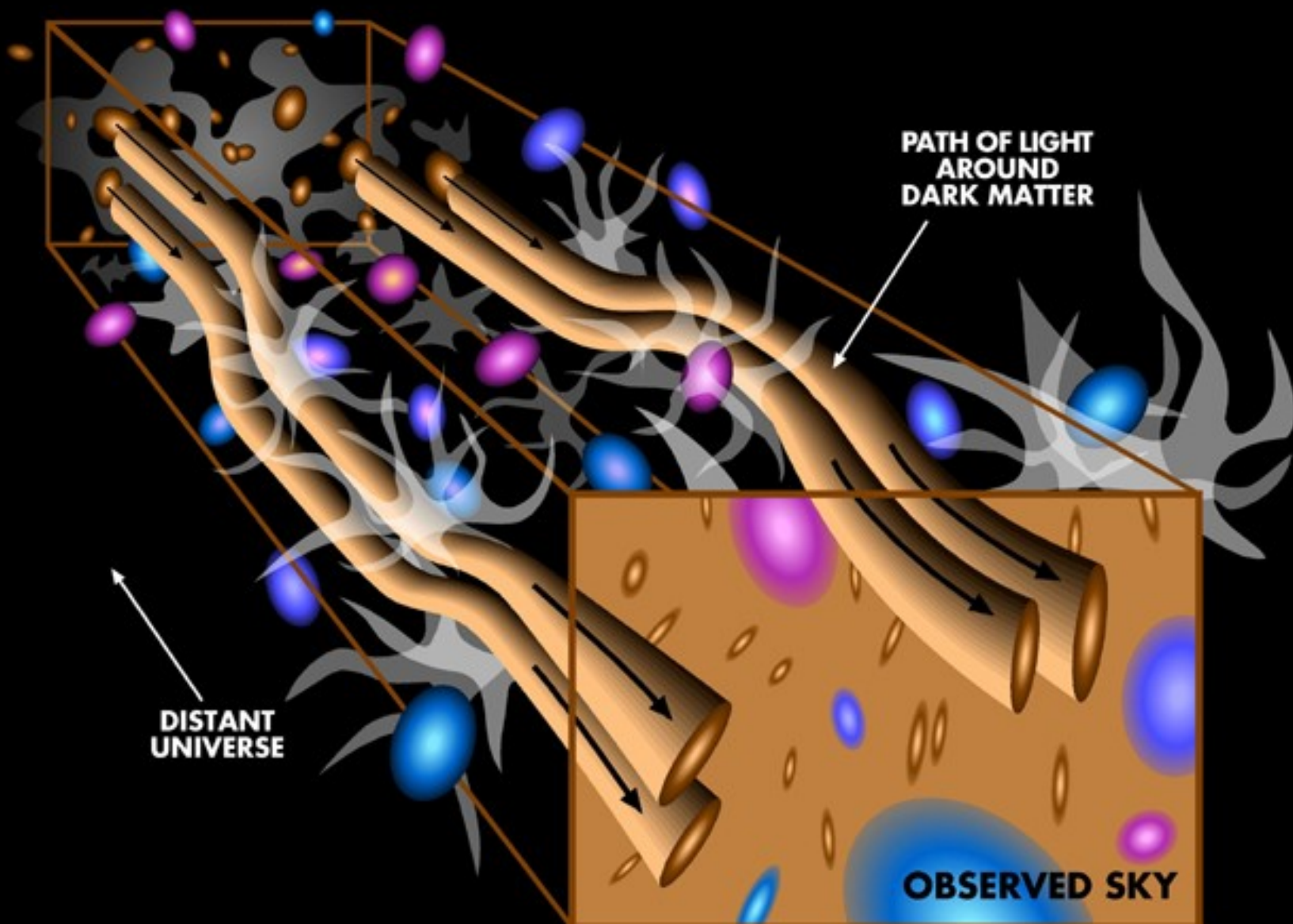


Clowe et al. (2006)

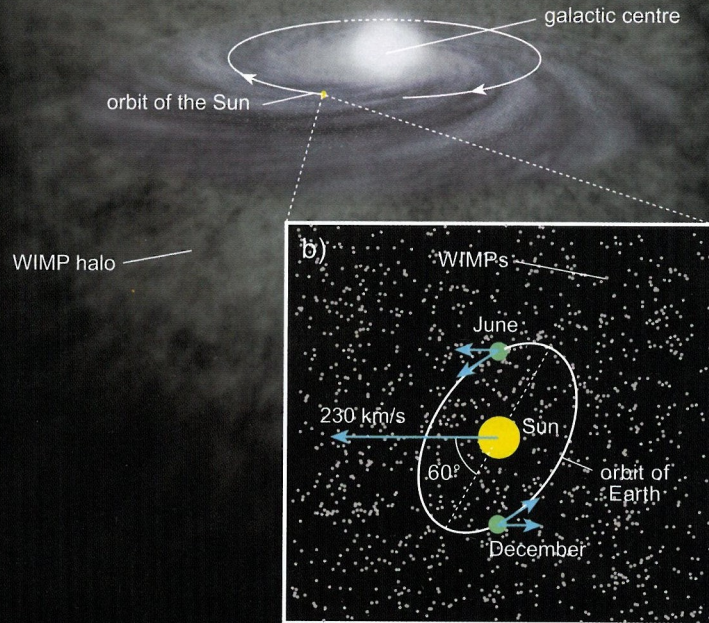


Cosmic shear

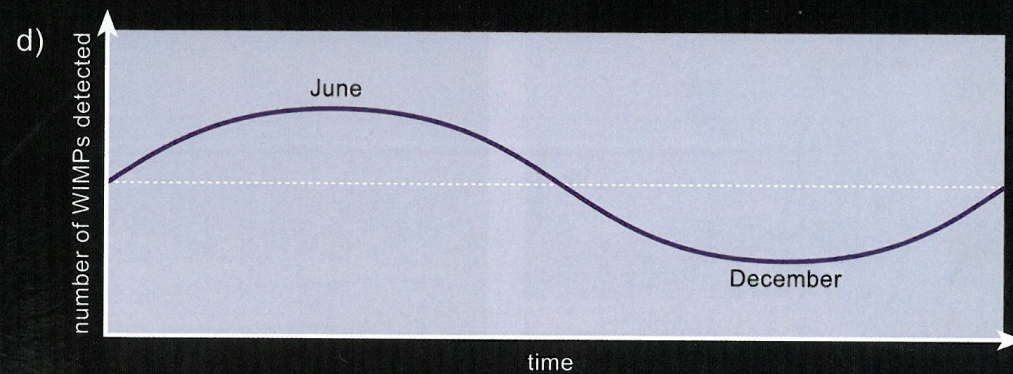
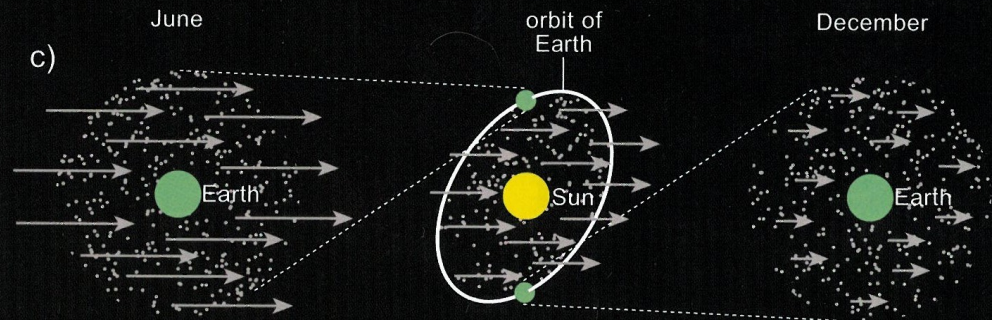
= slabé čočkování kosmologickým rozložením hmoty



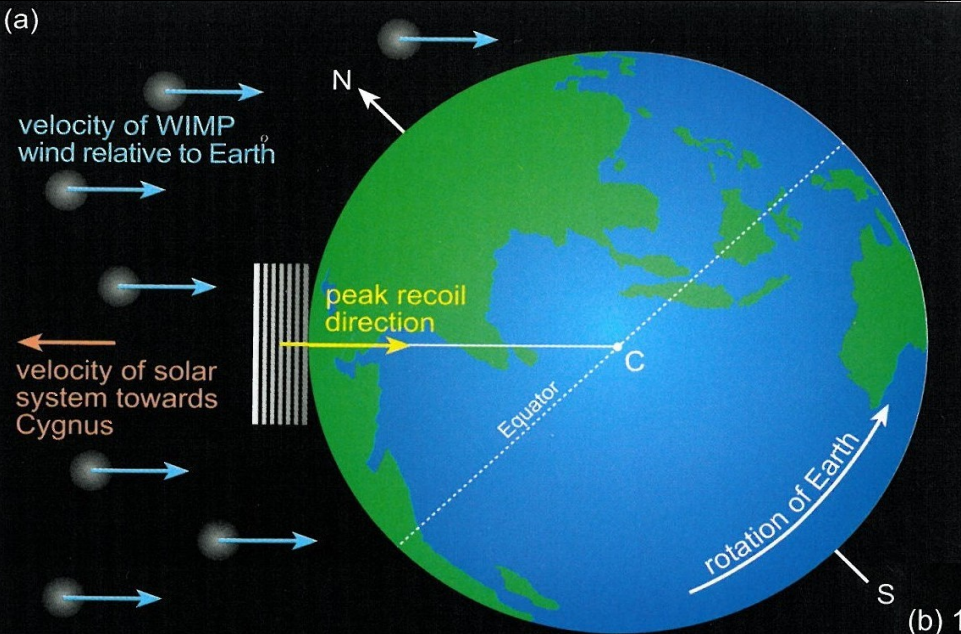
a)



Sezónní variace v detekci WIMPů

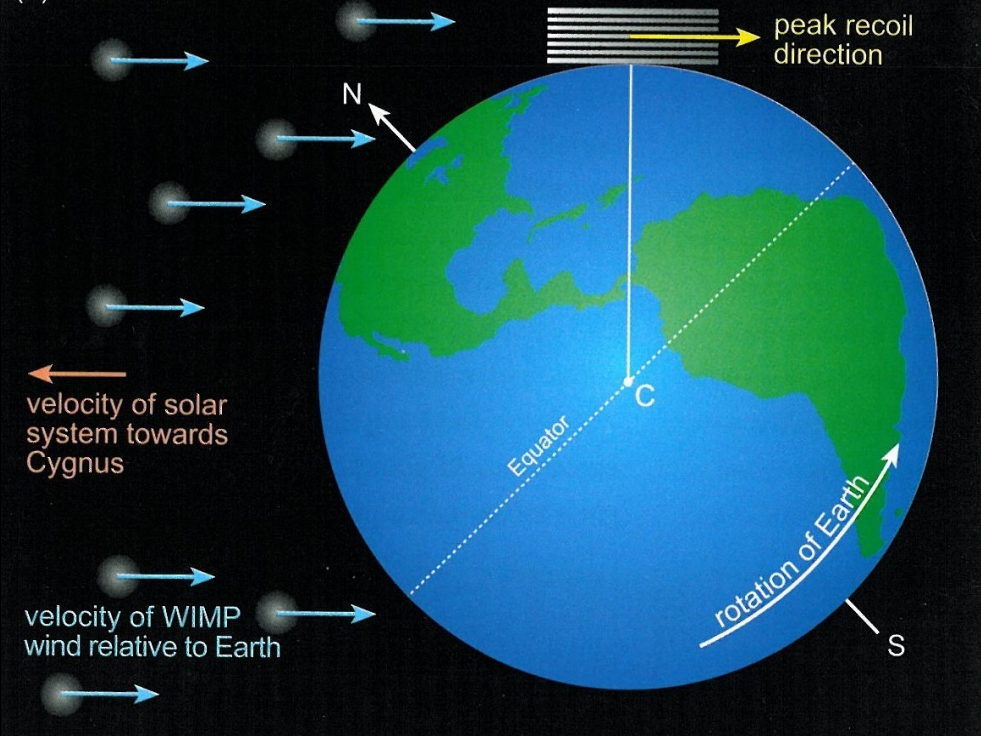


(a)



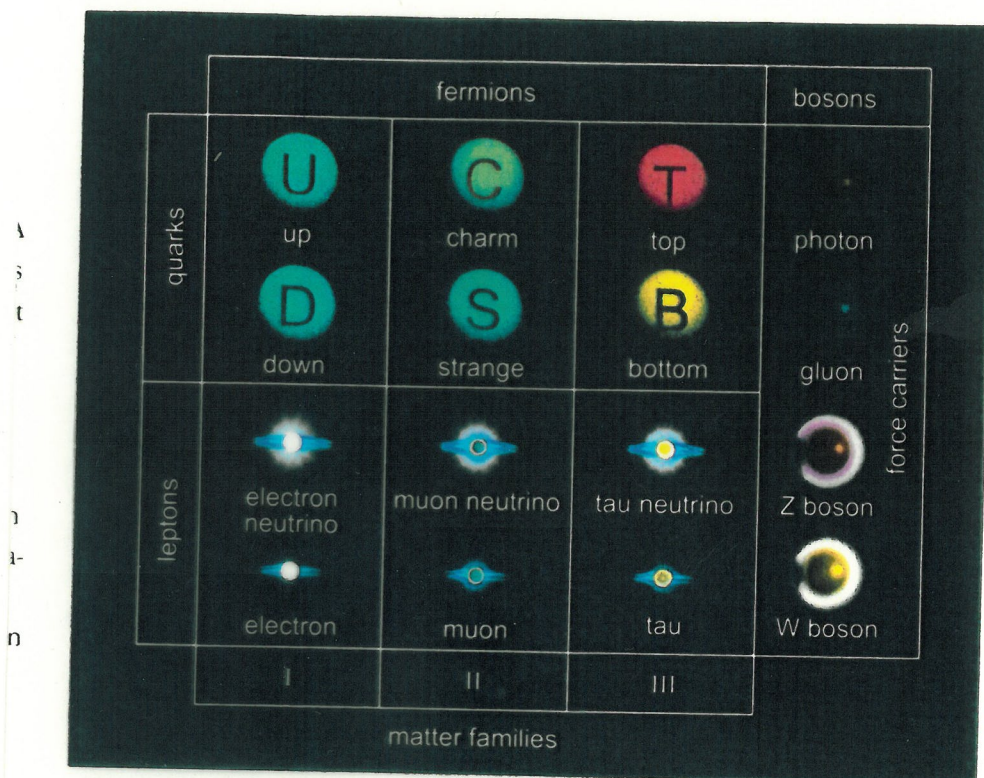
Denní variace v detekci WIMPů

(b) 12hrs later



MIKROSVĚT $\leftrightarrow$ MAKROSVĚT

LHC, Fermilab, ...
Cern Chicago



Temná hmota (v galaxiích, kupách...)

WIMPs Weakly Interacting Massive
Particles

supersymetrické částice (LSP = lightest sp)

NEUTRALINO $\sim 100 \times$ tížší než p, n

$\tilde{\chi}_i^0$; $i = 1, \dots, 4$ 4 stavy
kombinace

Zina (od Z bosonu), Higgšina (neutr. Higgs b.)
fotina (od fotonu)

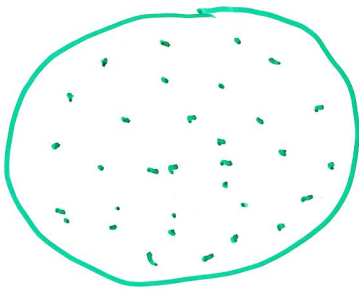
Kosmologická konstanta Λ - „temná energie“

gravitace
(křivost
prostoru)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

hmota

„repulze“ na kosmol.
škálách

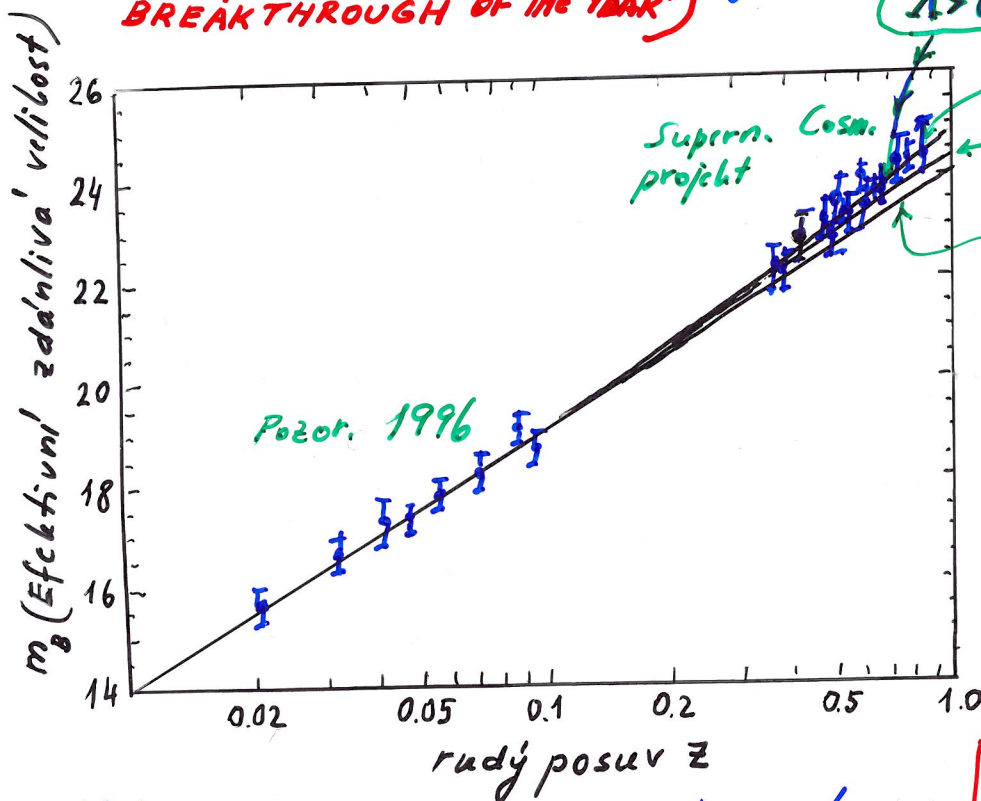


Einsteinův statický vesmír
(1917, F. X. Šalda 1928)
„gravitace kompenzována Λ “

Evidence pro $\Lambda > 0$ [Supernova Cosmology

(18.12.98 Science: the top „SCIENCE
BREAKTHROUGH OF THE YEAR“)

Project, 1998...2008...]



$\Lambda > 0$

$(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (0, 1)$
- - - = $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$

$\Lambda = 0$

Astrophys. J.
2000 - nyní

$$1+z = \frac{a(t_0)}{a(t_1)} \quad (v = cz \dots)$$

decelerační
parametr $q_0 = -\frac{\ddot{a}a}{\dot{a}^2} \Big|_0$

$q_0 = -0.58$
EXPANZE SE
URYCHLUJE

Supernovy typu Ia jako standardní svíčky

Ann. Rev. AA 2001

2 velké týmy

SCP "Supernova Cosmology Project" *)

HZT "High-Z Supernova Search Team"

... takřka ident. výsledky (Harvard)

*) <http://www-supernova.LBL.gov>

progenitori bílí trpaslíci v těsné dvojhvězdě
akrece — Chandras. met... zapálení C vnitru
→ šok — rozpad WD — v par
vteřinách do kobaltu a železa

Data ze 79 výbuchů SN Ia $\Rightarrow (m, z) \Rightarrow$

$(\Omega_M, \Omega_\Lambda)$ - diagram $\Omega_M = \frac{\rho_{matter}}{\rho_{crit}}$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\rho_\Lambda}{\rho_{crit}}$$

$$\Rightarrow \left| \Omega_\Lambda \approx 1.3\Omega_M + (0.3 \pm 0.2) \right|$$

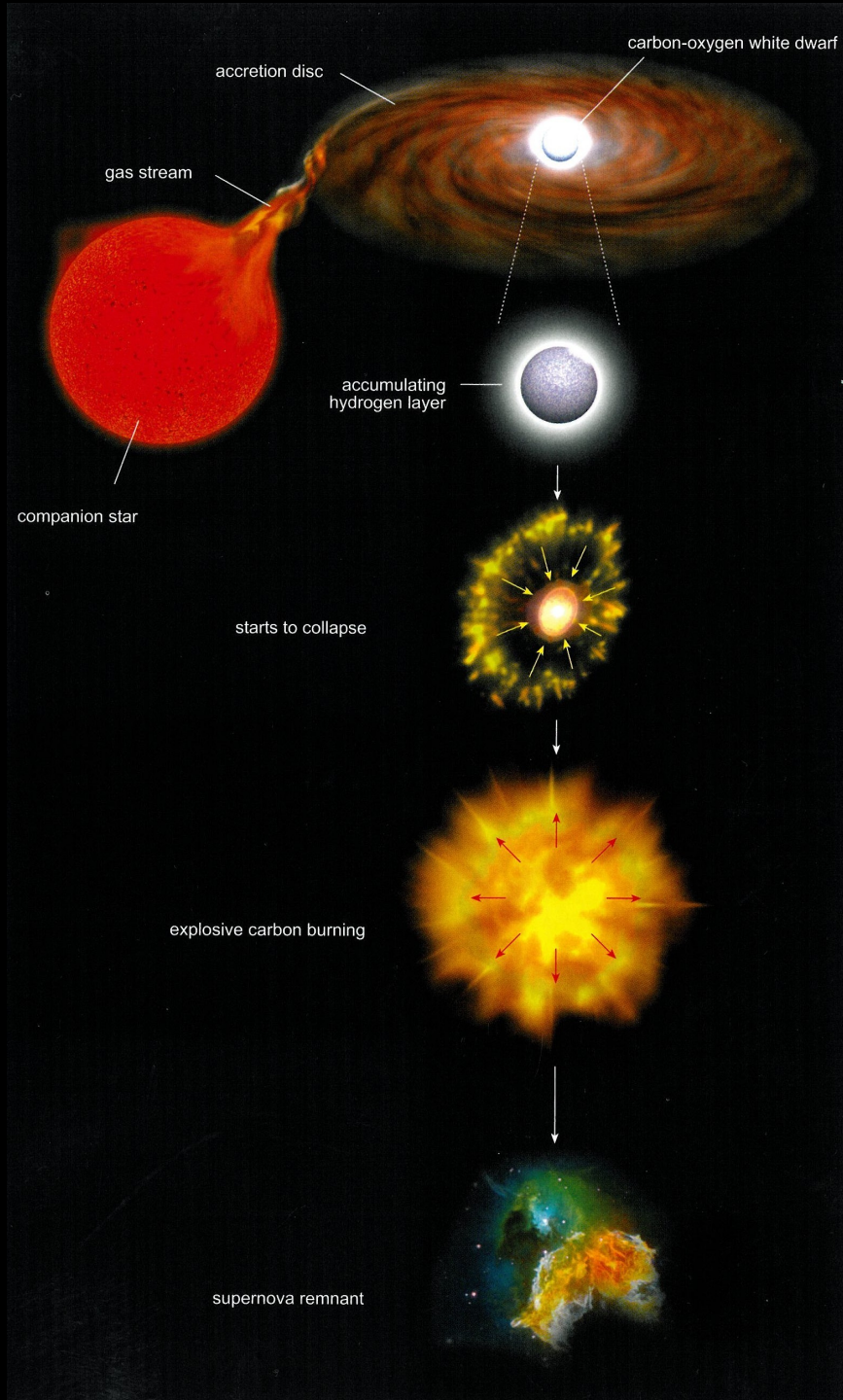
jisté $\Omega_\Lambda \neq 0$

nezávisle z CMB... $k \approx 0$

musí být asi 70% ρ ve formě ρ_Λ

kvintessence ... - Φ

Supernova



Power spectrum

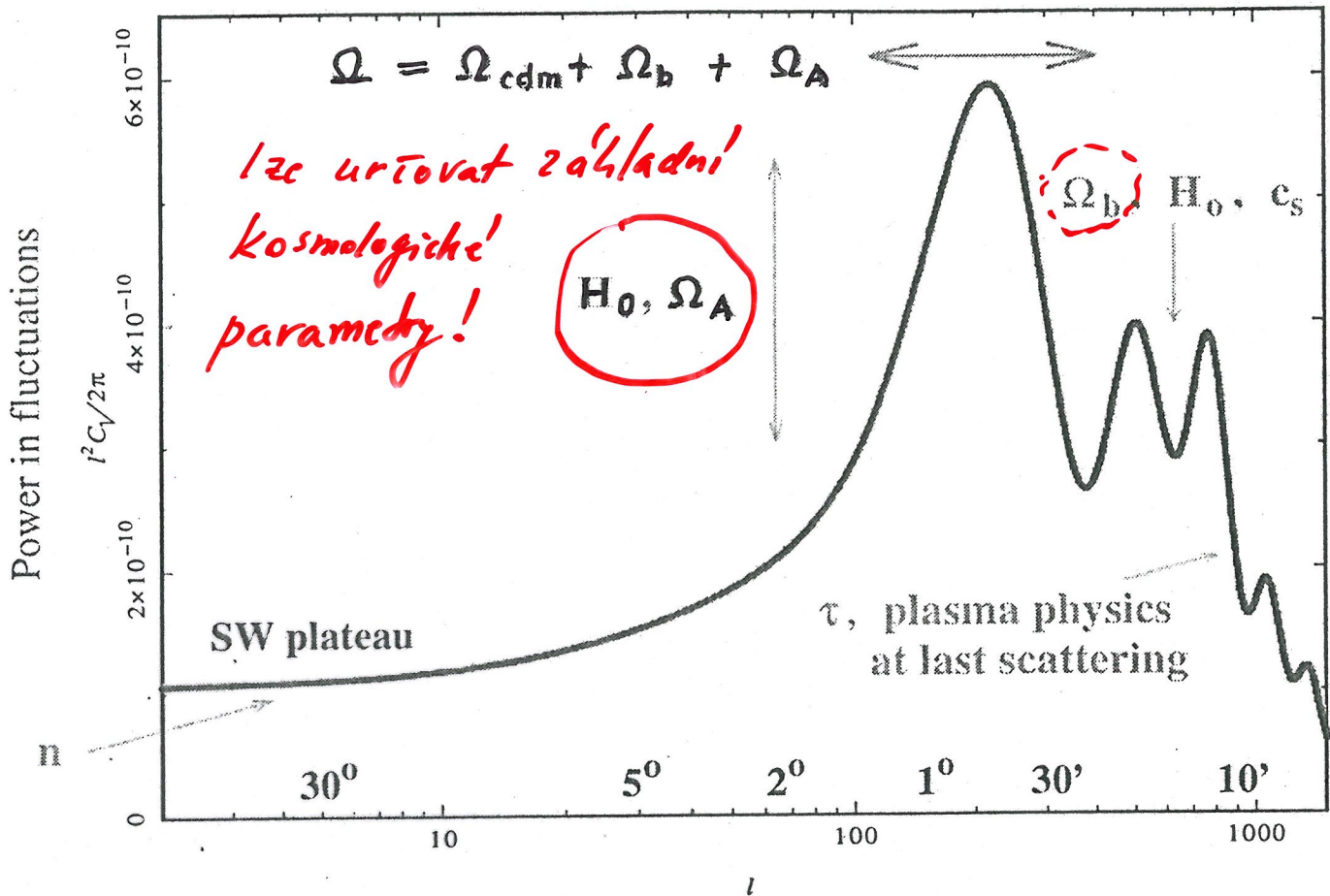


Figure 1. Schematic form of expected CMB power spectrum, showing important dependences.

$$\Omega_b = \frac{\rho_{\text{baryon}}}{\rho_{\text{crit}}}, \quad \Omega_{\text{cdm}} = \frac{\rho_{\text{cdm}}}{\rho_{\text{crit}}}$$

↑
"cold dark matter"

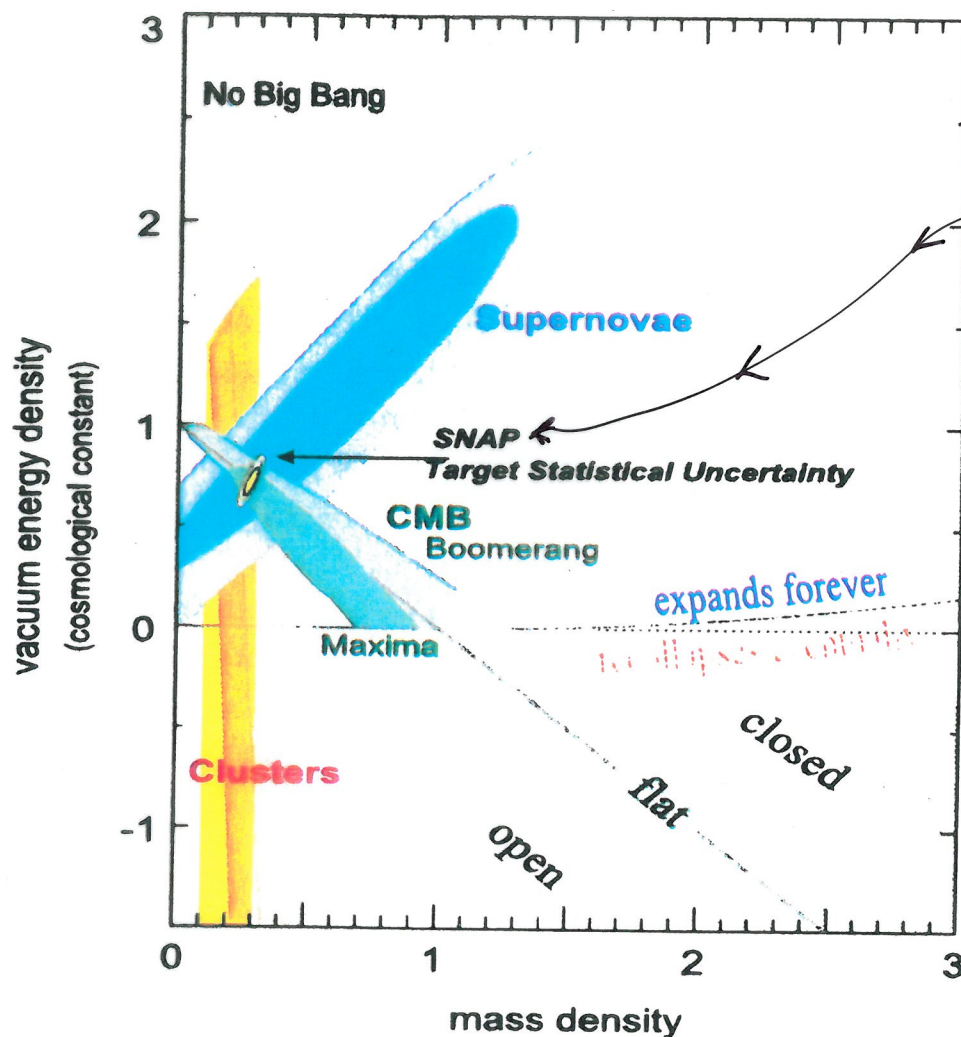
$$\Omega_\Lambda \equiv \Omega_A = \frac{\rho_\Lambda}{\rho_{\text{crit}}}$$

↑
"acceleration"

$$\frac{\Omega_b}{\Omega_{\text{cdm}}} \sim \frac{1}{6}$$

5% "normální" hmota
25% temná hmota, 70% Λ

"Kosmická harmonie":



SuperNova
Acceleration
Probe
2013-2020(?)

$$p = w \rho c^2$$

$$w = -1$$

$$\Rightarrow \Lambda$$

$$-\frac{1}{3} > w \geq -1$$

$$w < -1$$

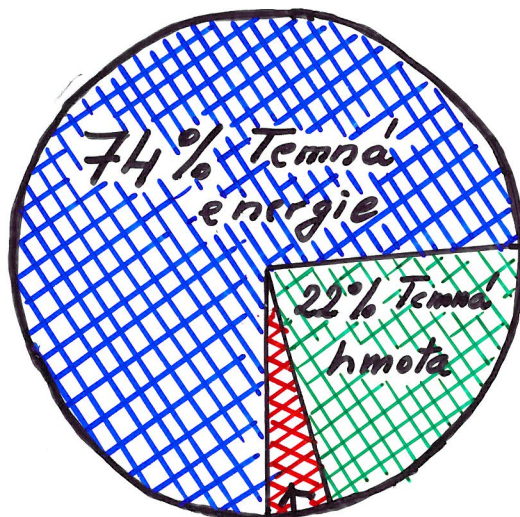
"BIG RIP"
(BR, VR)

FIG. 4: The $\Omega_m^{(0)} - \Omega_\Lambda^{(0)}$ confidence regions constrained from the observations of SN Ia, CMB and galaxy clustering. We also show the expected confidence region from a SNAP satellite for a flat universe with $\Omega_m^{(0)} = 0.28$. From Ref. [106].

"Známe" pouze

4% hmoty

(-5%)



4% Atomy (st. hm.)

Nesnesitelná lehkost prostoročasu

- Proč je pozorovaný kosmologický člen Λ tak malý ($\Lambda_{\text{poz}} \approx 10^{-55} \text{ cm}^{-2}$)?

- Proč hodnoty, které plynou přirozeně z fyz. teorií jsou o mnoho řádu větší

$$\tilde{\Lambda} = 10^{120} \Lambda_{\text{poz.}} \quad \text{!}$$

Obecná relativita:

všechny druhy energie vyvolávají gravitaci
V moderní fyzice vakuum má bohatou strukturu i hmotu - energii díky kvantovým fluktuacím

↔ odpovídají $\tilde{\Lambda}$

⇒ TEMNÁ ENERGIE

Pozorovaná vakuová energie je 'úžasně' nepatrná ^{„LEHKÁ“} z perspektivy mikrosvěta, ale důležitá z kosmologické perspektivy

PROBLÉM Λ

Proč vede ke zrychlené expanzi?

V OTR zdroj gravitace hustota + 3 $\frac{p_{\text{tlak}}}{c^2}$ ←

„TLAK Λ “ je záporný → „ANTIGRAVITACE“

Antropické principy a jejich smysl

I. Slabý antropický princip

Povaha vesmíru a naše umístění v něm jsou nutně ^{slučitelné} kompatibilní s naší existencí jako pozorovatelů

Selekční role - naše existence silně

ovlivňuje typ vesmíru, který můžeme pozorovat a dokumentovat;

fyzikální procesy a složení hmoty musí být takové, že pomalé evoluční procesy budou mít čas produkovat inteligenci z neživé hmoty (běžný fakt: bereme v úvahu meze dané našimi „měřicími přístroji“)

Antr. princ. sjednocuje různé poznatky - jery
FYZIKA - CHEMIE ... BIOLOGIE ... problém
existence života

Např. zajímavá otázka: jak můžeme měnit podmínky, aby "ještě" mohl vzniknout život

např. gravit. konstanta jen $G \rightarrow G \pm \frac{G}{10^{40}}$

Kvantová (teorie) gravitace

Obecná teorie relativity

(nejlepší teorie hmoty, gravitace, prostoru a času v terestrických, galaktických, kosmologických měřítkách)

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g sec}^2$$

gravit. konstanta

$$c = 2.99 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$

rychlost světla

Kvantová mechanika

(nejlepší teorie hmoty, polí v terestrických a (sub)atomárních měřítkách)

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-27} \text{ g cm}^2/\text{sec}$$

Planckova konst.

Obě „univerzální“; o spojení OTR a KM do jednotné, konzistentní teorie úsilí přes 1/2 století – Eugen Wigner

Planckova

$$\text{délka } \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.6 \times 10^{-33} \text{ cm}$$

$$\text{hmota } \sqrt{\hbar c/G} = 2 \times 10^{-5} \text{ g}$$

$$\text{hustota} = 5 \times 10^{93} \text{ g/cm}^3$$

$$\text{čas } \sqrt{\hbar G/c^5} = 5.3 \times 10^{-44} \text{ sec}$$

OBECNÁ RELATIVITA $\Rightarrow$ OBLASTI NEAPLIK.

Hlavní kandidáti posledních ~20 let:

a) TEORIE STRUN (STRING THEORY)

b) SMYČKOVÁ KVANTOVÁ GRAVITACE
(LOOP QUANTUM GR.)

ad a) částice i pole; inspirace matem. (Atiyah)

x závislost na „pozadí“ (background dep.)

nejednoznačnosti – vyšší dimenze

krajina (landscape) různých „vakuí“

10^{500} !! $\leadsto$ antropický princip

MULTIVERZUM

ad b) hlavní důraz na prostor a čas;

3+1 dimenze; formulace nezávislá

na pozadí

x teorie částic, pochopení klasické

limity (jak „obyčejný“ Minkowskiho

prostorčas speciální teorie relativity?)

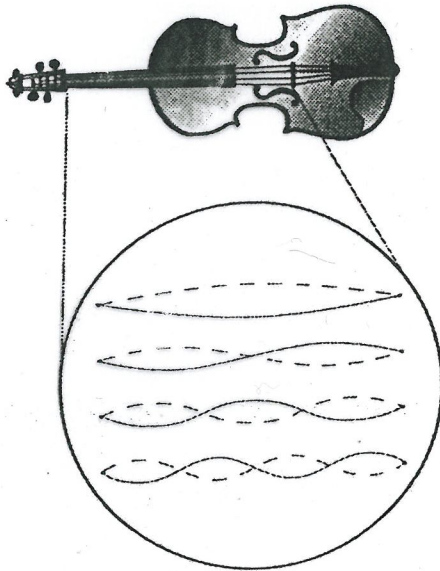
nejednoznačnosti matem. charakteru

Elementární objekty jsou 1-dim.

(Super)

Struny

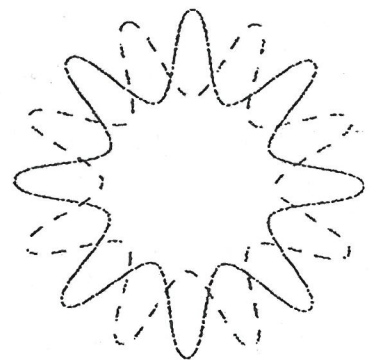
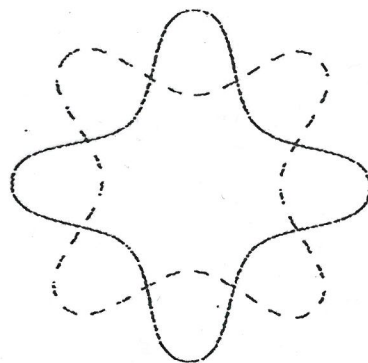
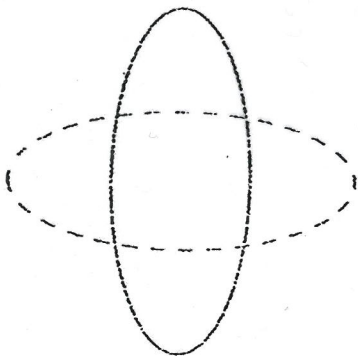
(nikoliv
bodové
částice)



Na houslích mohou struny kmitat
v určitých rezonančních formách

(počet maxim a minim přesně padne mezi konce)

V teorii strun smyčky mohou kmitat
v určitých rezonančních formách podobně
jako housle RŮZNÉ FORMY $\leftrightarrow$ RŮZNÉ ČÁSTICE



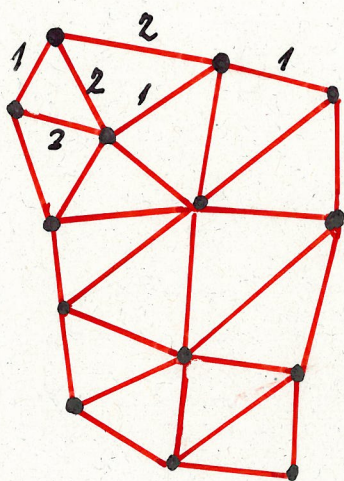
$\leftarrow L_{\text{Planck}} \rightarrow$

$$= \frac{\hbar}{M_{\text{Pl}} c} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 10^{-33} \text{ cm}$$

urychlovače : 10^{-16} cm

$\hbar$... Planckova
konstanta
 G ... gravitační k.
 c ... rychlost světla

Smyčková kvant. gravitace



spin network

reprezentuje "kvantový stav"
geometrie (gravitace)
na 3 dim nadploše

je to vlastní stav operátoru
plochy Σ , jeho vlastní hodnoty
jsou diskrétní

$$A_\Sigma = 8\pi \ell_{\text{Planck}}^2 \gamma \sum_i \sqrt{j_i(j_i+1)}$$

$\uparrow$
množ. průsečíků

spin-network a Σ

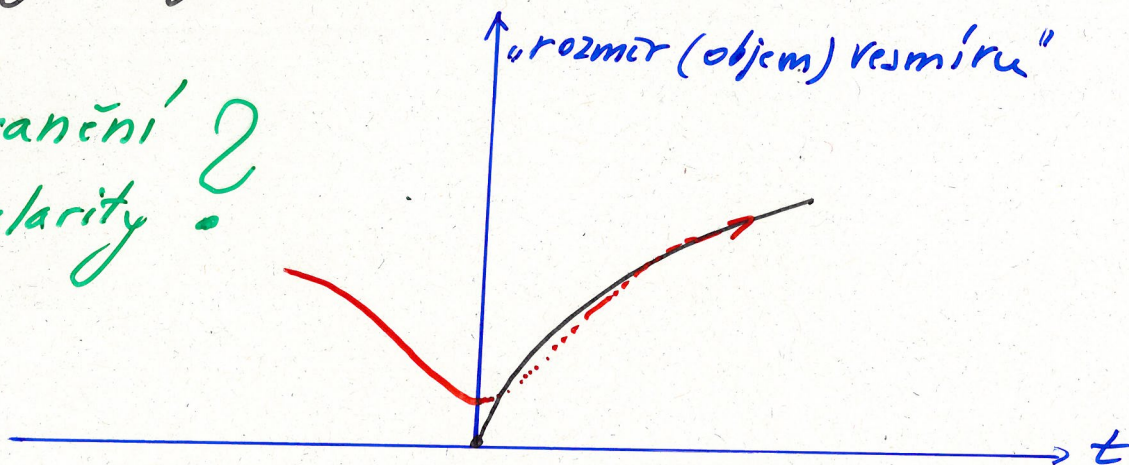
$$j_i = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$$

nejmenší možná plocha vyjde $\ell_{\text{Pl}}^2 \approx 10^{-66} \text{ cm}^2$

Smyčková kvantová kosmologie

2001: Bojowald aj. : Smyčková kvant. kosmologie
odstraňuje singularitu hmoty a křivosti
v big bang — vzniká bounce ("odraz, odskok")

odstranění
singularity?



" Vždy budou duchové...,
kteří budou usilovat, aby spojenou
moci poznání a snů, vědy a poezie,
vytvořili jednotný obraz vesmírného
dění, jenž by stejně odpovídal
věčnému prahnutí lidského ducha
po harmonii a kráse, i žití
srdce po spravedlnosti. "

Otokar Březina v dopise
prof. Františku Novotnému
7. 2. 1920