

Kosmologia i Supernowe a neutrino

Wykład XII
18.V.2005 r.

Na podstawie wykładów Georga Raffelta:
<http://wwwth.mppmu.mpg.de/members/raffelt/pages/talks.html>

O czym będzie mowa:

Część pierwsza:

- Czym się zajmuje kosmologia?
- Standardowy model kosmologiczny
- “Epoka precyzyjnej kosmologii”
- Co to ma wspólnego z neutrinami?

Część druga:

- Co to są SuperNowe i skąd się biorą?
- obserwacje SN – astronomia neutrinowa
- SN 1987 A oraz przyszłość

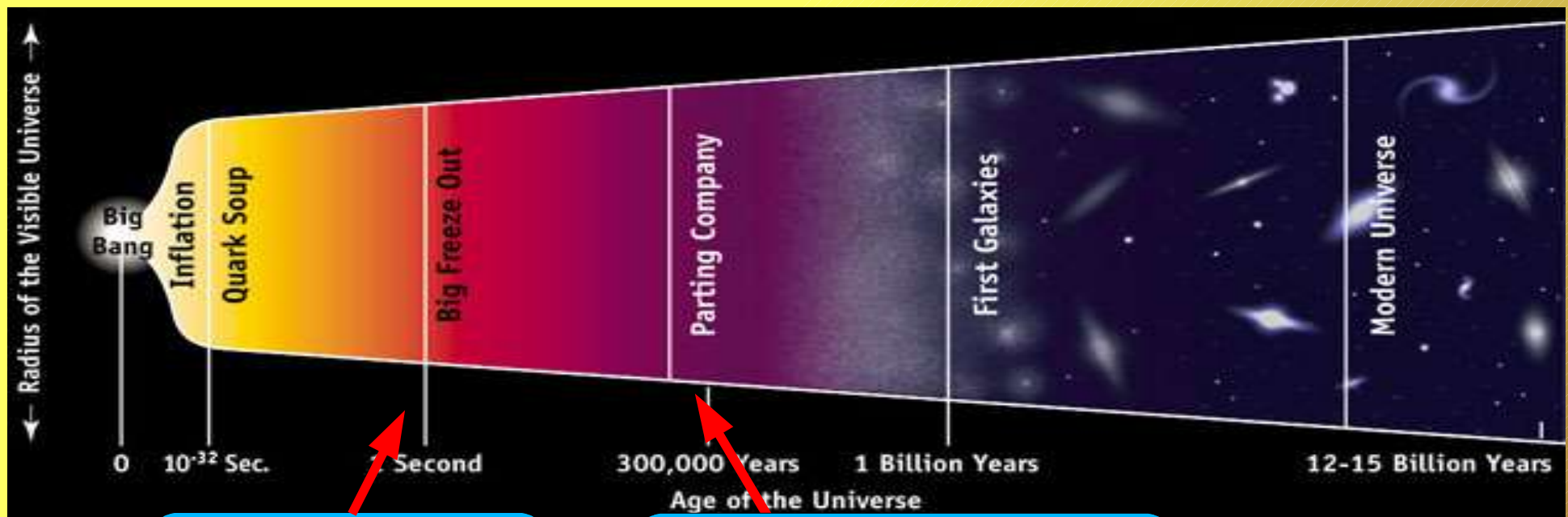
Kosmologia

-nauka zajmująca się Wszechświatem wielkoskalowym

- Zaczęła być “interesująca” dopiero w XXw.
(powstanie Teorii Względności i równań Friedmana)
- Pomysł gorącego początku Wszechświata
- Do niedawna nie było możliwości eksperymentalnego potwierdzenia hipotez kosmologicznych
- Ostatnie 20 lat to “lawina” eksperymentów kosmologicznych.

Co wiemy o Wszechświecie i jego historii?

Początkowo wszystkie cząstki w równowadze termodynamicznej, przy rozszerzaniu i ochładzaniu się plazmy, kolejne cząstki zostają “wymrożone”



Tu oddzielają się
neutrino

Powierzchnia ostatniego
rozpraszania ->
mikrofalowe
Promieniowanie tła

Notacja

$a(t)$ - tzw. współczynnik skali – zmienna w równaniach Friedmanna

$H_0 = \frac{\dot{a}}{a} = h \times 100 \text{ km/s/Mpc}$ - “Stała” Hubble'a, rządzi prędkością ekspansji Wszechświata.

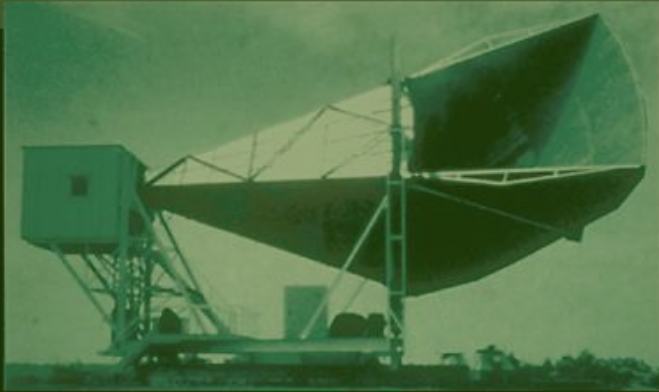
$\rho_{crit} = \frac{3 H_0^2}{8 \pi G}$ - gęstość krytyczna Wszechświata.

$\Omega = \frac{\rho}{\rho_{crit}}$ - Gęstość materii we Wszechświecie. Jeśli $=1$, to Wszechświat jest płaski.

$\Omega_x = \frac{\rho_x}{\rho_{crit}}$ - Gęstość składnika “x”, np. materii, lub neutrin.

$1 + z(t_0) = \frac{a(t)}{a(t_0)}$ Przesunięcie ku czerwieni, zwane potocznie “redshiftem”

1965 Mikrofalowe promieniowanie tła (1) Penzias and Wilson



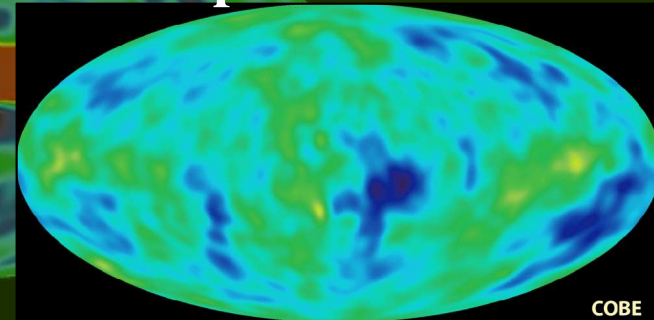
1948 – pierwsze przewidywania
(Alpher, Gamow, Hermann) $T \sim 5K$

1953 – zrewidowany model (Alpher,
Hermann, Follin)

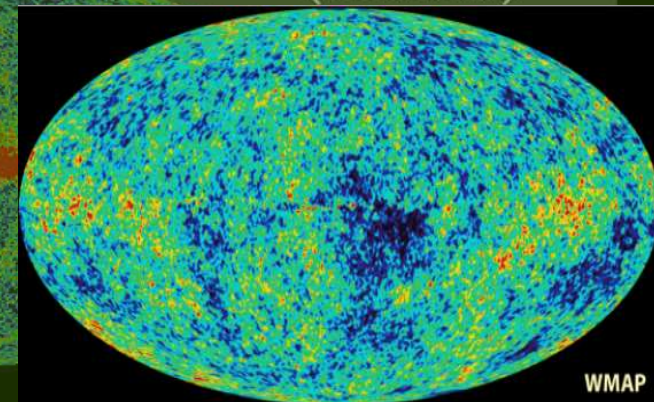
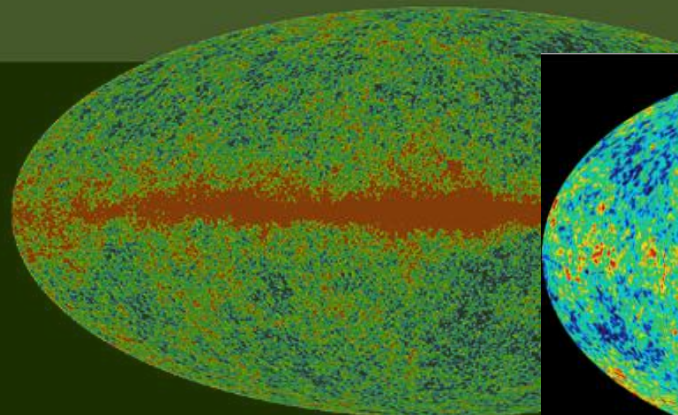
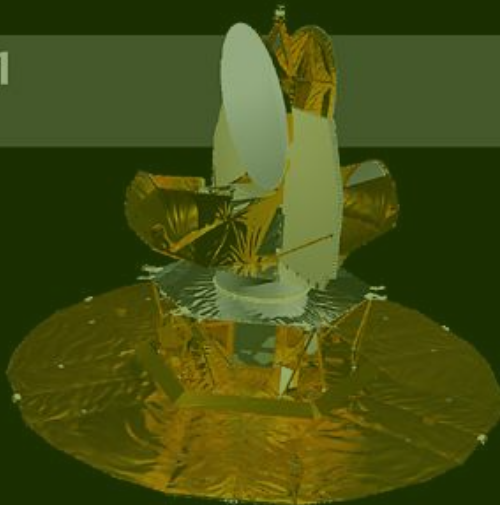
1964 – ponowne przewidywania CMB
(Zeldowicz, Peebles)

1965 – odkrycie CMB przez Penziasa i
Wilsona

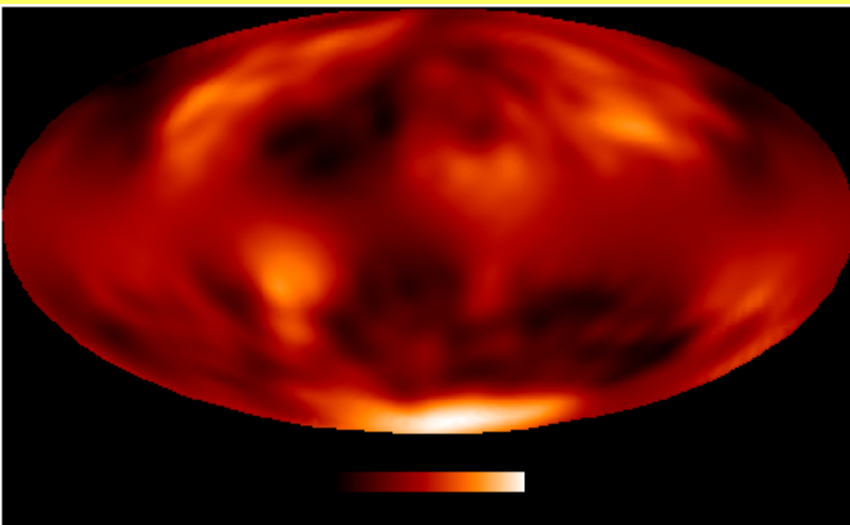
1992



2001



Mikrofalowe promieniowanie tła (2)



Ziemia widziana z COBE

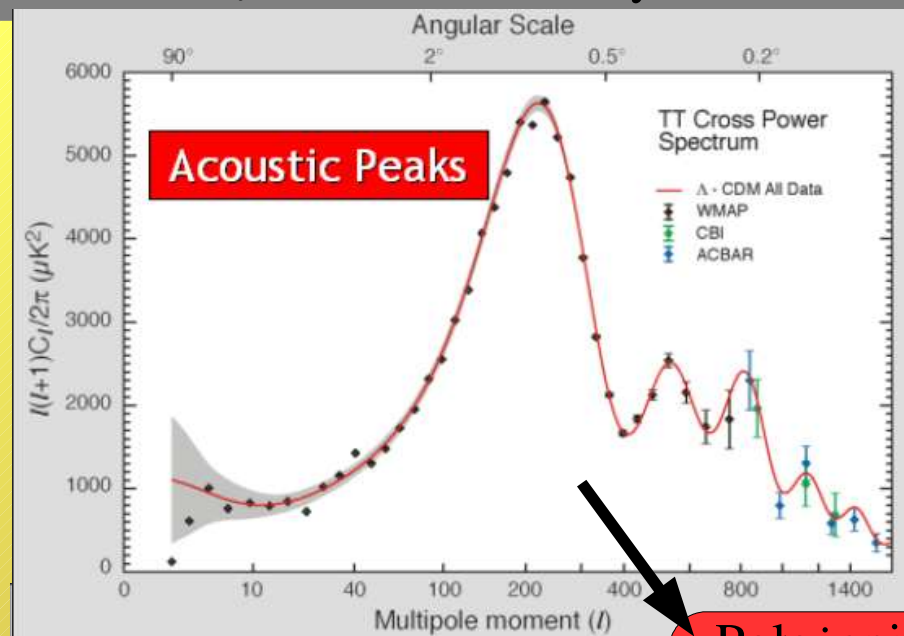
Obraz z COBE, miał zbyt małą rozdzielczość (7°), aby wyznaczyć parametry kosmologiczne. Ogromnie ważne było stwierdzenie, że CMB wykazuje fluktuacje i że są one na poziomie 10^{-5}K . Oznacza to, że są one za małe aby samodzielnie wyewoluować w struktury, które widzimy dzisiaj. Potrzebna jest:

CDM

Zimna Ciemna Materia

WMAP

Analiza danych polega na rozłożeniu fluktuacji na f. sferyczno-harmoniczne. Współczynniki rozkładu tworzą tzw. rozkład mocy CMB.



$$\Delta(\theta, \varphi) = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \varphi)$$

$$C_{\ell} = \langle a_{\ell m}^* a_{\ell m} \rangle = \frac{1}{2\ell+1} \sum_{m=-\ell}^{\ell} a_{\ell m}^* a_{\ell m}$$

Położenie pierwszego maksimum sugeruje płaski Wszechświat !!!

Pierwotna Nukleosynteza

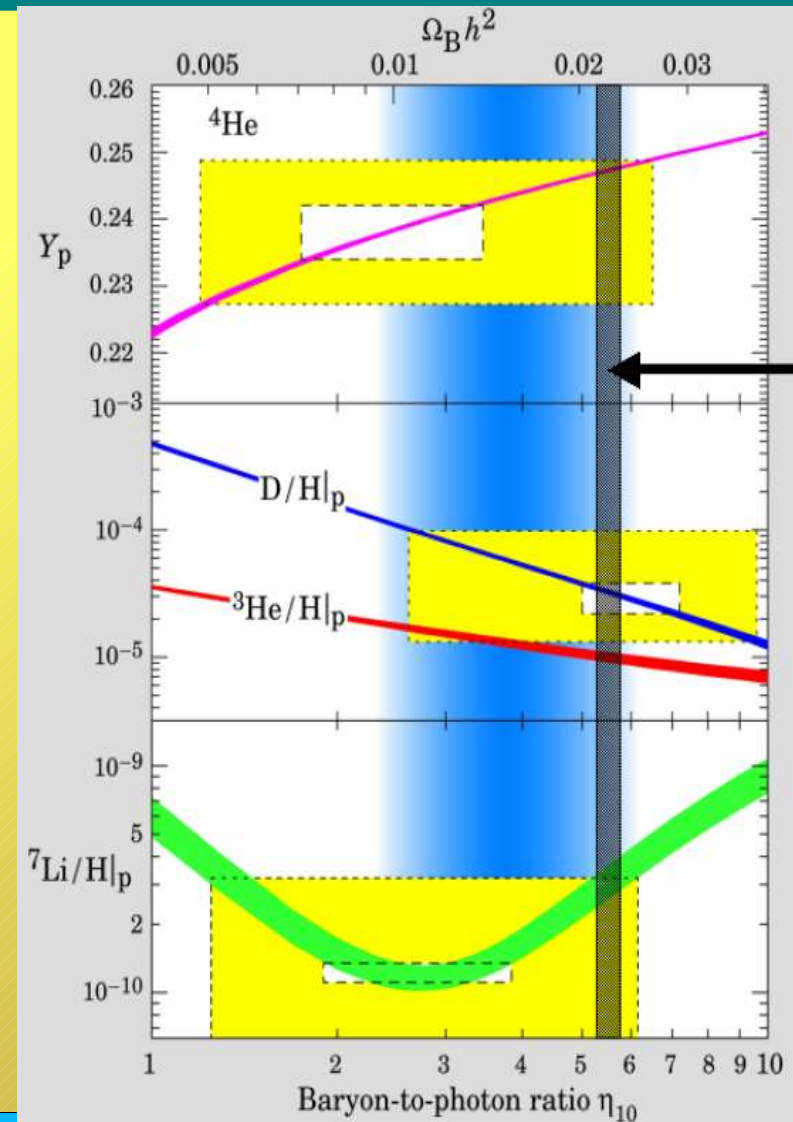
Większość znanej materii została wytworzona w ciągu pierwszych minut po Wielkim Wybuchu

- p i n wydzielają się z plazmy po 1 s
- nukleony łączą się w jądra Deuteru
- po ok. 100 sekundach zaczynają powstawać jądra ^4He .
- W ten sposób mogły powstać:
 ^1H , ^2D , ^3He , ^4He , ^7Li

Nukleosynteza pozwala na przewidywania zawartości tych pierwiastków w dzisiejszym Wszechświecie.

Jedynym parametrem jest $\eta = \frac{n_y}{n_B}$

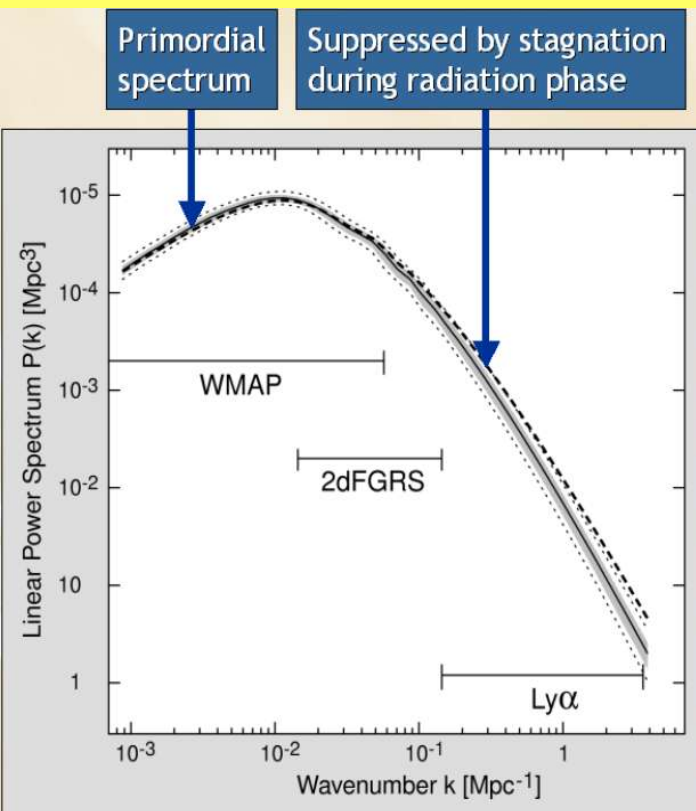
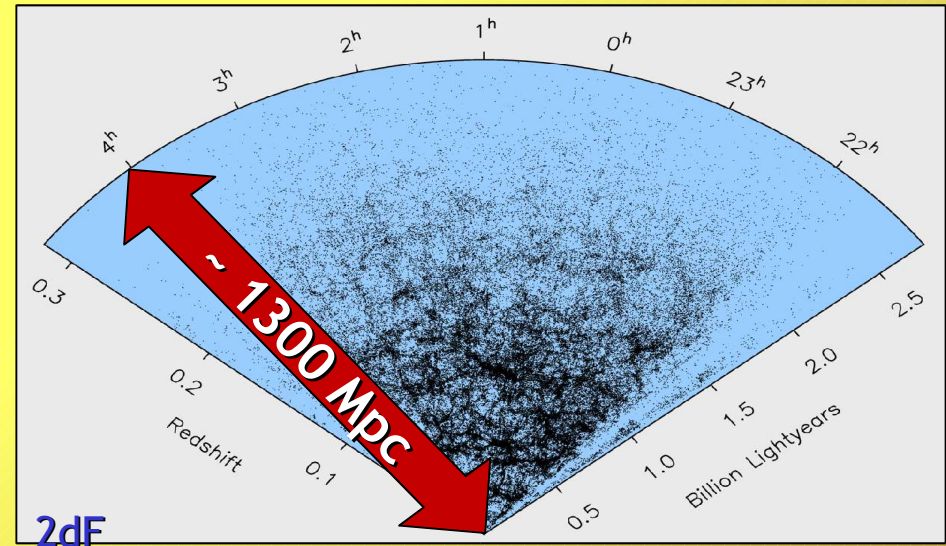
A. Szalc, Wykład nr 12, 18.V.05,



Pomiary częstości występowania pierwiastków pozwalają na wyznaczenie liczby barionów:
 $\Omega_B \leq 0.05$

Przeglądy nieba: SDSS i 2DFF

obserwacje polegające na zliczaniu obiektów kosmicznych i próbie stworzenia trójwymiarowej mapy:



Ważną informację niesie rozkład gęstości materii. Najczęściej analizuje się go poprzez tzw. spektrum mocy rozkładu gęstości:

$$\delta(x) = \frac{\delta(x)}{\bar{\rho}}$$

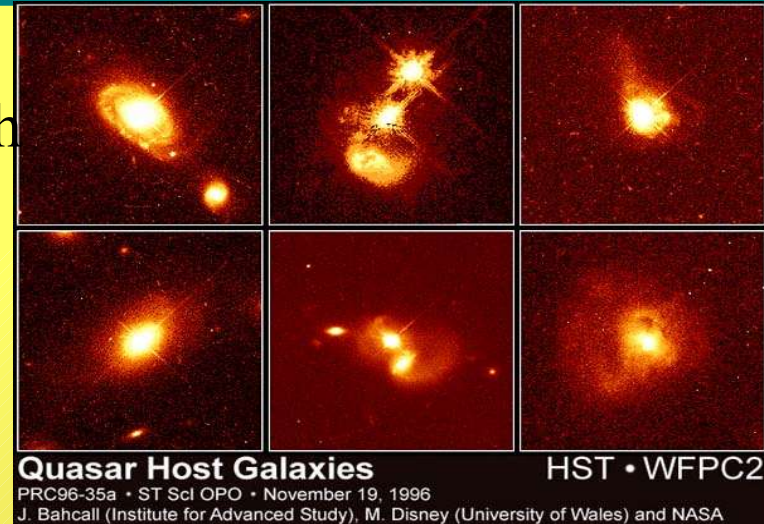
$$\delta_k = \int d^3x e^{-ik \cdot x} \delta(x)$$

$$\langle \delta_k \delta_{k'} \rangle = (2\pi)^3 \hat{\delta}(k - k') P(k)$$

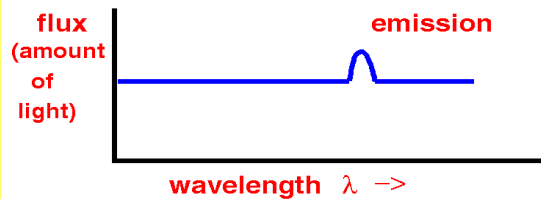
Ten sposób analizy jest szczególnie czuły na parametry kosmologiczne.

Lyman- α forest

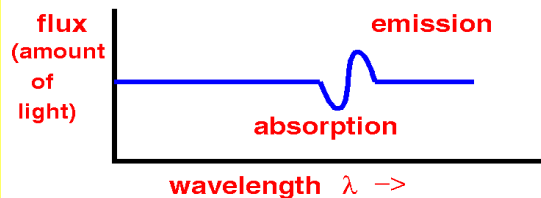
Kwazary (Quasar – QUASi stellAR object)
Jedne z najdziwniejszych i najodleglejszych obiektów Wszechświata. Wielkości układu słonecznego, emitują więcej energii niż galaktyki (1965)



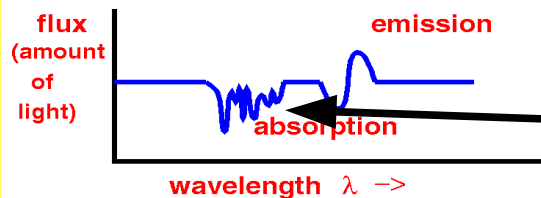
No absorbing clouds



One absorbing cloud close by



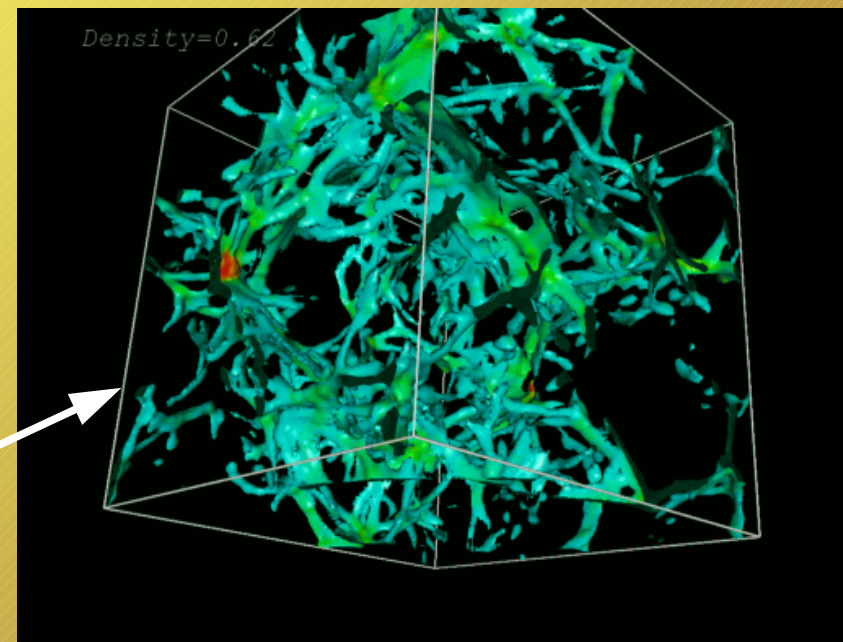
Several absorbing clouds



Oberwacze
kwazarów
pozwalają zajrzeć w
przeszłość i ocenić
ilość gazowego H,
w tzw. IGM.
(InterGalactic
Medium)

Forest?

V.05,



Standardowy model kosmologiczny

Przyjmuje się model Friedmana-Lemaitre'a-
-Robertsona-Walkera z następującymi parametrami:

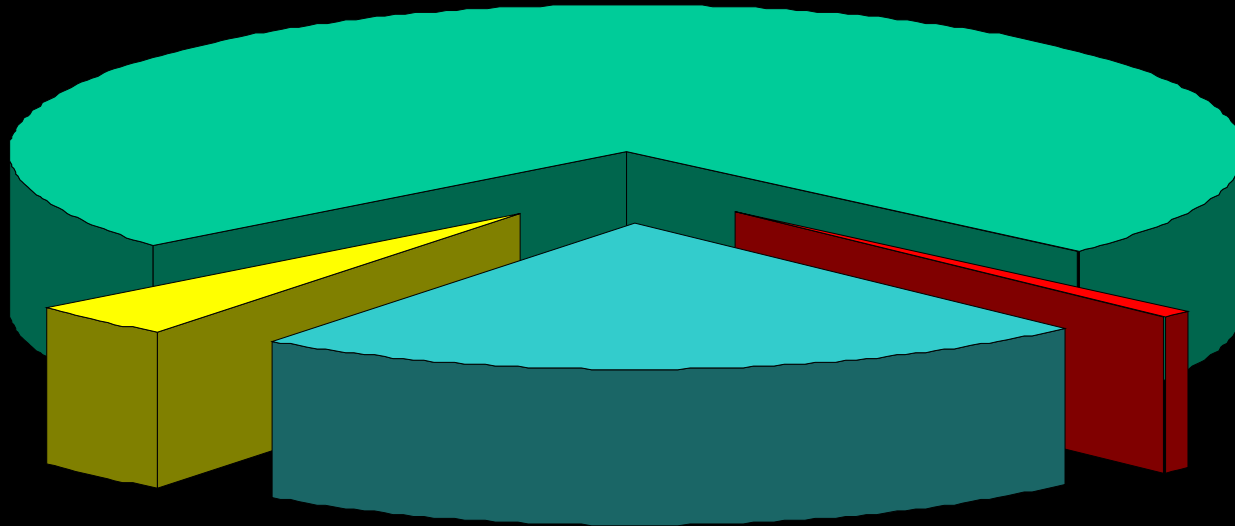
prędkość ekspansji	$H_0 = (72 \pm 4) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$	
Zakrzywienie	$ R_{\text{curv}} > 5H_0^{-1}$	$\Omega_{\text{tot}} = 1.02 \pm 0.02$
wiek Wszechświata	$t_0 = (13.7 \pm 0.2) \times 10^9 \text{ years}$	
Energia próżni	$\Omega_{\Lambda} = 0.73 \pm 0.04$	$\Omega_{\Lambda} + \Omega_M = 1.02 \pm 0.02$
Materia	$\Omega_M = 0.27 \pm 0.04$	
Materia barionowa	$\Omega_B = 0.044 \pm 0.004$	

Obserwowane fluktuacje wielkoskalowe oraz
promieniowania tła dobrze zgadzają się z
mechanizmem niestabilności grawitacyjnej z powyższymi
parametrami oraz skalowaniem potęgowym: $P(k) \sim k^n$

wykładnik n	$n = 0.93 \pm 0.03$
-------------	---------------------

Standardowy model kosmologiczny

Ciemna Energia 73%
(Stała kosmologiczna)



Zwykła materia 4%
(z tego świecąca to
tylko ok. 10%)

**Ciemna
Materia 23%**

Neutrino
0.1- 2%

neutrina kosmologiczne

-neutrinowe promieniowanie tła

neutrina oddzielają się przy
 $T \sim 1 \text{ MeV}$, czyli ok. 1 s po
Wielkim Wybuchu.

potrafimy oszacować parametry
neutrin reliktowych względem
promieniowania mikrofalowego...

$$n_{\nu\bar{\nu}}(1 \text{ flavor}) = \frac{4}{11} \times \frac{3}{4} \times n_\gamma = \frac{3}{11} n_\gamma \approx 115 \text{ cm}^{-3}$$
$$T_\nu = \left(\frac{4}{11}\right)^{1/3} T_\gamma \approx 1.95 \text{ K} \quad \text{for massless neutrinos}$$

Można też oszacować wkład
neutrin do całkowitego bilansu
masy Wszechświata:

$$\Omega_\nu h^2 = \sum \frac{m_\nu}{92.5 \text{ eV}} < 0.4$$

To pozwala na dość grube
oszacowanie masy neutrin:

$$m_\nu \lesssim 40 \text{ eV}$$

**For all
stable flavors**

Neutrino jako kandydat na Ciemną Materię

Neutrino były naturalnym kandydatem na rozwiązanie zagadki Ciemnej Materii. Mają tą przewagę, że niepotrzebne jest dodawanie egzotycznych cząstek.

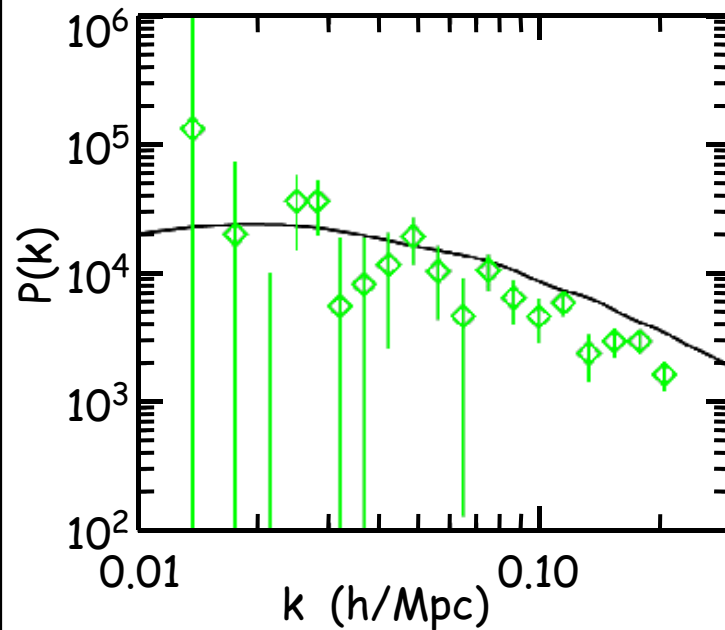
Neutrino przy oddzieleniu się, były jednak relatywistyczne – Hot Dark Matter.

Ilość HDM jest silnie ograniczona przez modele formowania struktur, gdyż nie tworzy potrzebnych zagęszczeń materii.

Cosmic Structure Modified by Hot Dark Matter

Galaxy
Distribution
(2dF, PSCz)

Scales
1–200 Mpc



$$\Omega_0 = 1$$

$$\Omega_\Lambda = 0.66$$

$$\Omega_B = 0.04$$

$$H_0 = 72$$

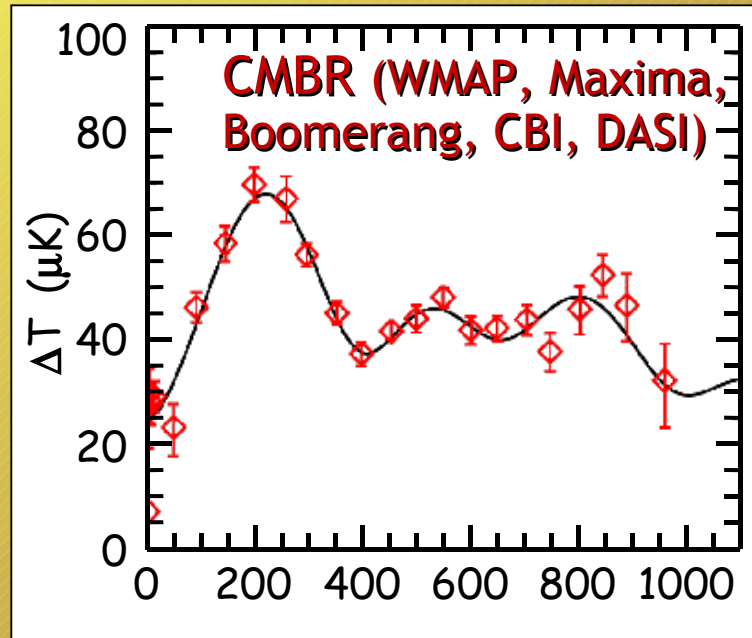
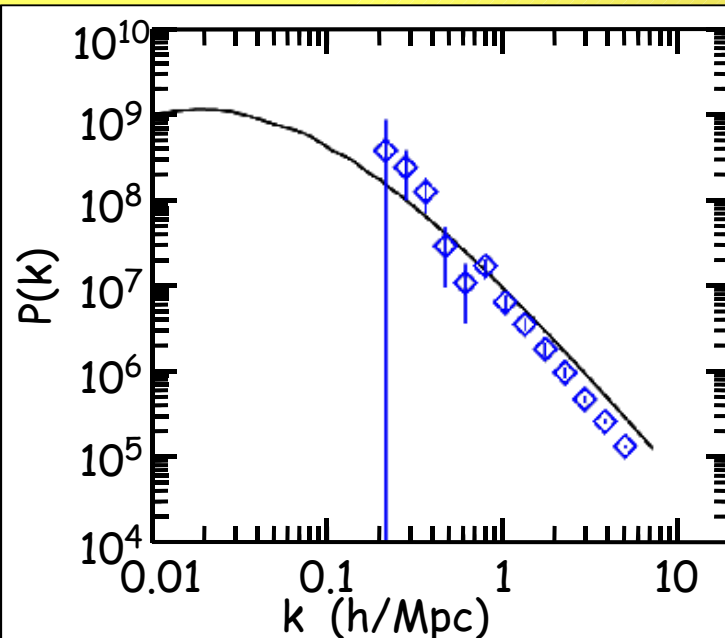
$$n_s = 0.94$$

$$\Omega_v = 0.00$$

Adapted
from
S.Hannestad

Lyman- α
forest
at large
redshift
 $\langle z \rangle = 2.72$

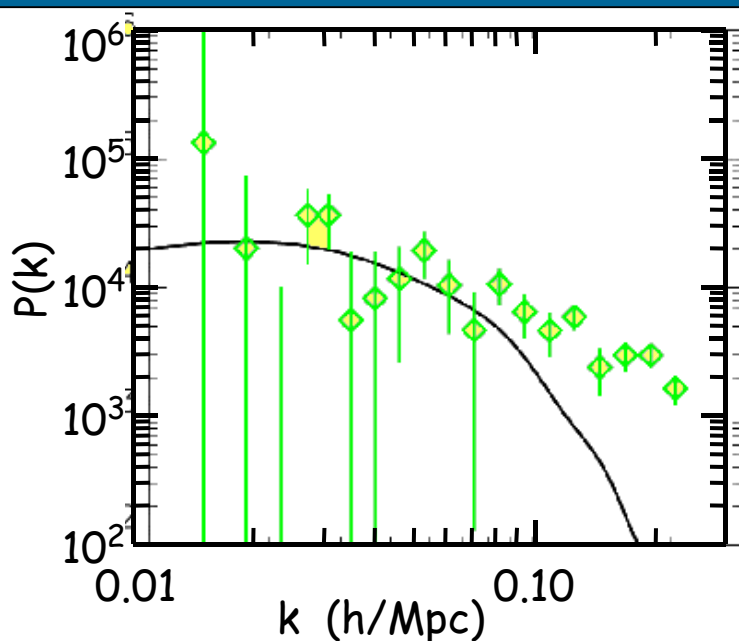
Scales
0.1–10 Mpc



Cosmic Structure Modified by Hot Dark Matter

Galaxy
Distribution
(2dF, PSCz)

Scales
1–200 Mpc



$$\Omega_0 = 1$$

$$\Omega_\Lambda = 0.66$$

$$\Omega_B = 0.04$$

$$H_0 = 72$$

$$n_s = 0.94$$

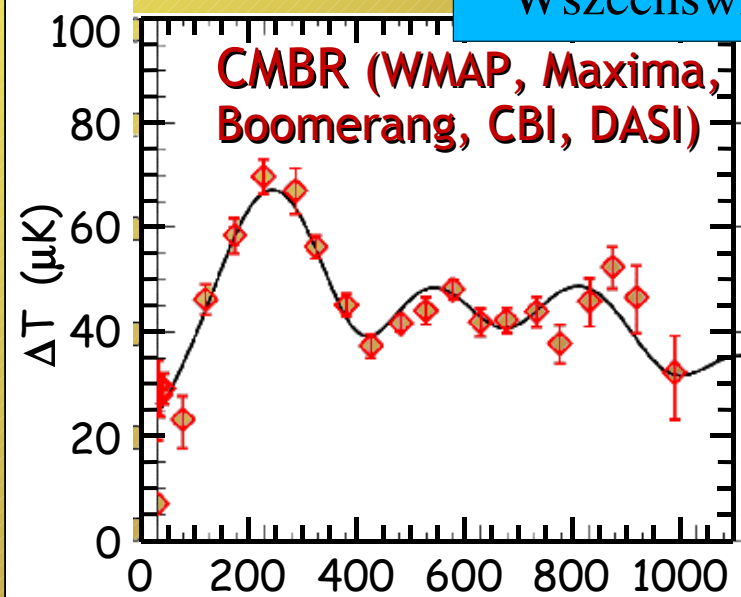
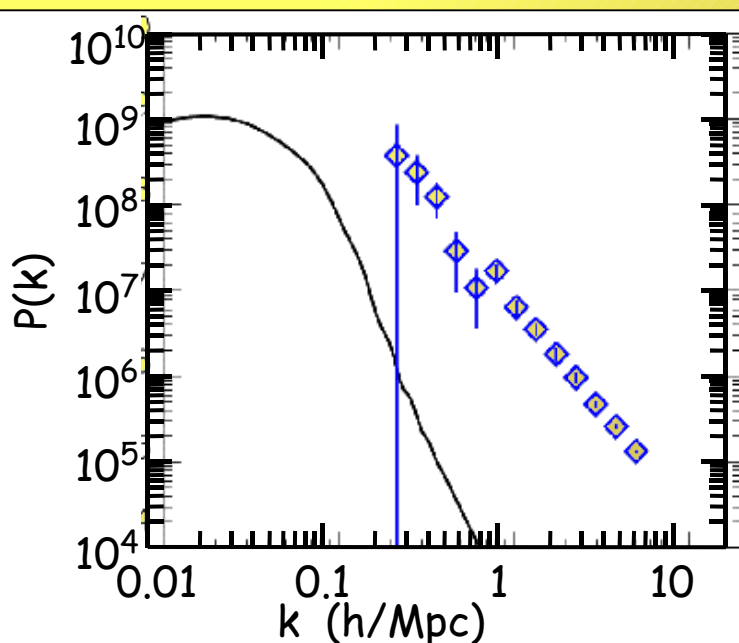
$$\Omega_\nu = 0.25$$

Adapted
from
S.Hannestad

Wyniki z eksp.
Lyman-alfa forest
bardzo silnie
ograniczają
wkład neutrin do
całkowitej gęstości
Wszechświata

Lyman- α
forest
at large
redshift
 $\langle z \rangle = 2.72$

Scales
0.1–10 Mpc



CMBR (WMAP, Maxima,
Boomerang, CBI, DASI)

co z tego wynika?

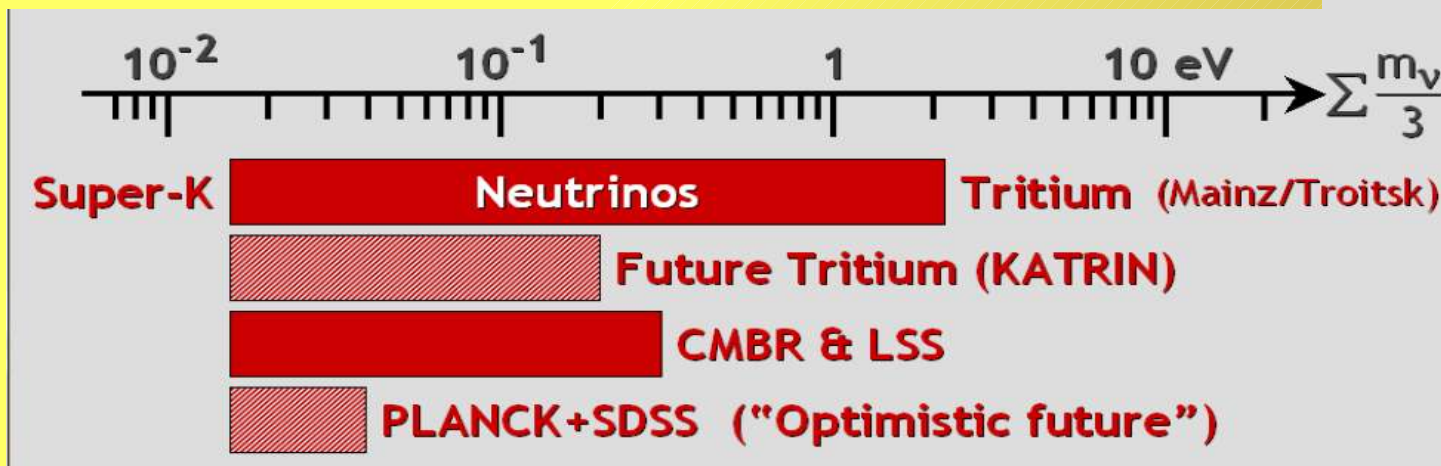
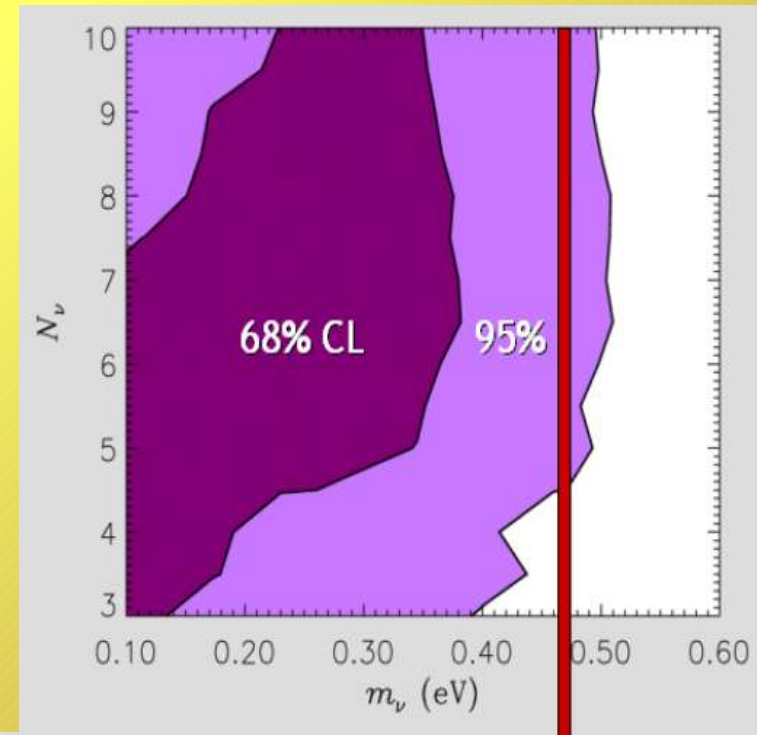
Połączenie wyników obserwacji
struktury materii daje o wiele lepsze
ograniczenie na masy neutrin:

WMAP+ SDSS $\rightarrow M_\nu < 1.7 \text{ eV}$

+ bias $\rightarrow M_\nu < 0.6 - 0.7 \text{ eV}$

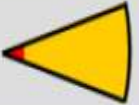
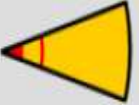
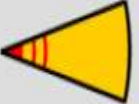
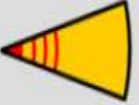
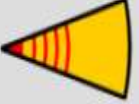
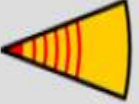
+Lyman alfa $\rightarrow M_\nu < 0.42 \text{ eV} (95\%)$

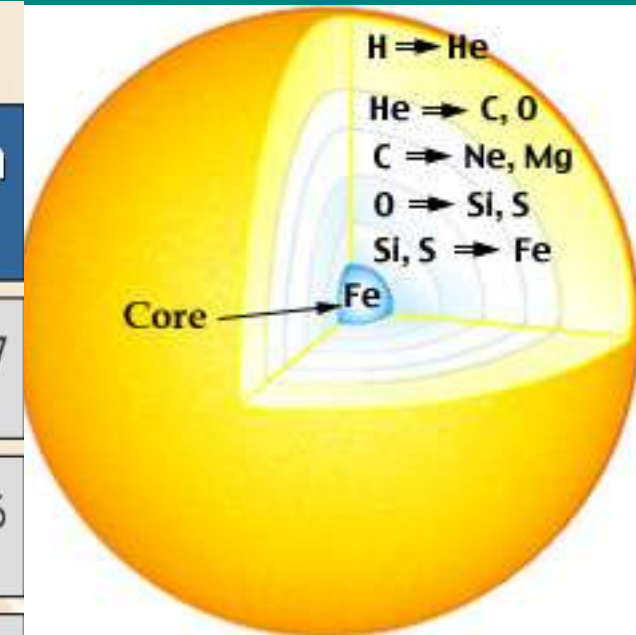
$$M_\nu = \sum_{\nu=1}^3 m_\nu$$



Neutrino z Supernowych

Sceny z życia gwiazd (masywnych).

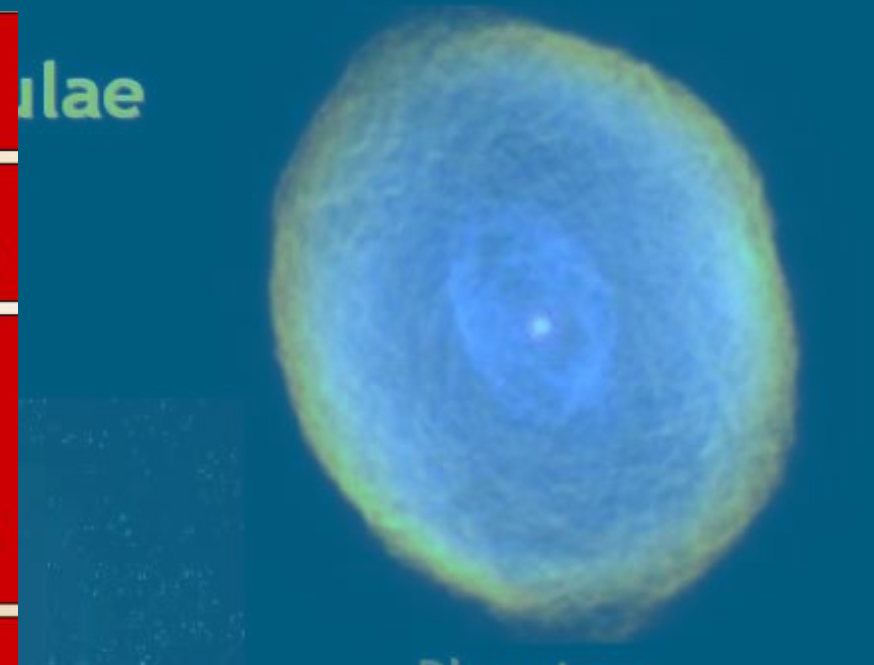
Burning Phase	Dominant Process	T_c [keV]	ρ_c [g/cm ³]	L_γ [$10^4 L_{\text{sun}}$]		Duration [years]	
					L_v/L_γ		
	Hydrogen	H → He	3	5.9	2.1	–	1.2×10^7
	Helium	He → C, O	14	1.3×10^3	6.0	1.7×10^{-5}	1.3×10^6
	Carbon	C → Ne, Mg	53	1.7×10^5	8.6	1.0	6.3×10^3
	Neon	Ne → O, Mg	110	1.6×10^7	9.6	1.8×10^3	7.0
	Oxygen	O → Si	160	9.7×10^7	9.6	2.1×10^4	1.7
	Silicon	Si → Fe, Ni	270	2.3×10^8	9.6	9.2×10^5	6 days



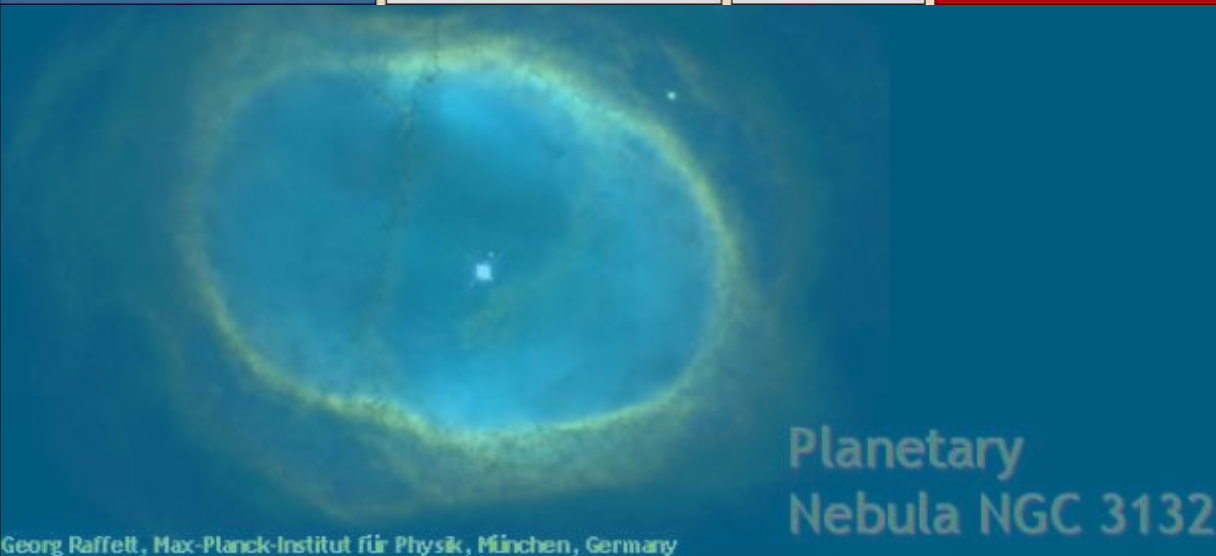
$$M_{\text{Ch}} = 1.457 M_{\text{sun}} (2Y_e)^2$$

Jeśli rdzeń gwiazdy jest cięższy od M_{Ch} to kontynuuje ona ewolucję, aż do wybuchu SN.

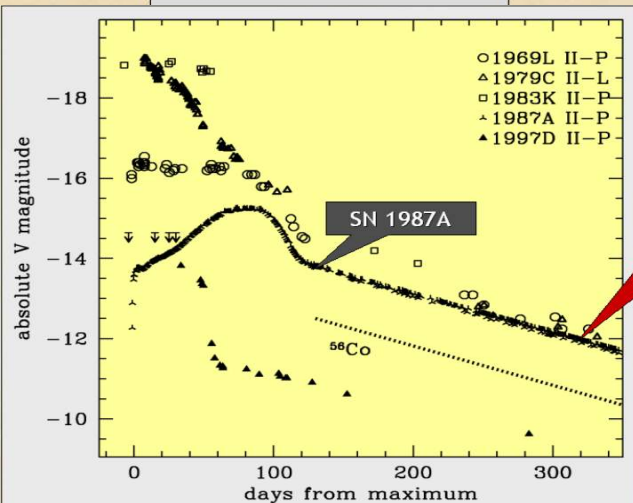
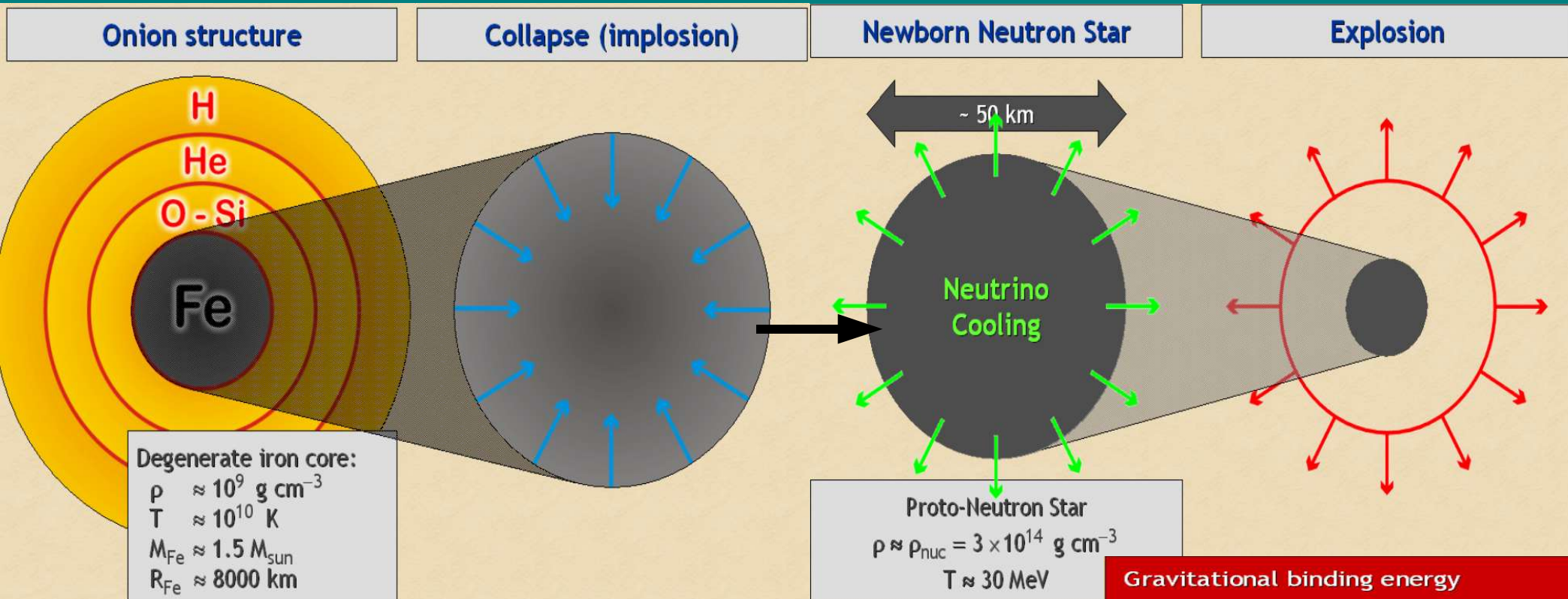
$M < 0.08 M_{\text{sun}}$	Never ignites hydrogen → cools (“hydrogen white dwarf”)	Brown dwarf
$0.08 < M \lesssim 0.8 M_{\text{sun}}$	Hydrogen burning not completed in Hubble time	Low-mass main-sequence star
$0.8 \lesssim M \lesssim 2 M_{\text{sun}}$	Degenerate helium core after hydrogen exhaustion	• Carbon-oxygen white dwarf
$2 \lesssim M \lesssim 5-8 M_{\text{sun}}$	Helium ignition non-degenerate	• Planetary nebula
$5-8 M_{\text{sun}} \lesssim M < ???$	All burning cycles → Onion skin structure with degenerate iron core	Core collapse supernova
		• Neutron star (often pulsar) • Sometimes black hole? • Supernova remnant (SNR), e.g. crab nebula



Spectral Type	Ia	Ib	Ic	II
Spectrum	No Hydrogen			Hydrogen
	Silicon	No Silicon		
		Helium	No Helium	
Physical Mechanism	Nuclear explosion of low-mass star	Core collapse of evolved massive star (may have lost its hydrogen or even helium envelope during red-giant evolution)		
Light Curve	Reproducible	Large variations		
Neutrinos	Insignificant	~ 100 × Visible energy		
Compact Remnant	None	Neutron star (typically appears as pulsar) Sometimes black hole ?		
Rate / h ² SNU	0.36 ± 0.11	0.14 ± 0.07		0.71 ± 0.34
Observed	Total ~ 2000 as of today (nowadays ~200/year)			



Wybuch Supernowej



neutrina, dla których zewnętrzne warstwy są bardziej przezroczyste, opuszczają gwiazdę wcześniej niż fotony.

Gravitational binding energy

$$E_b \approx 3 \times 10^{53} \text{ erg} \approx 17\% M_{\text{SUN}} c^2$$

This shows up as

99% Neutrinos
1% Kinetic energy of explosion
 (1% of this into cosmic rays)
0.01% Photons, outshine host galaxy

Neutrino luminosity

$$L_v \approx 3 \times 10^{53} \text{ erg} / 3 \text{ sec}$$

$$\approx 3 \times 10^{19} L_{\text{SUN}}$$

While it lasts, outshines the entire visible universe

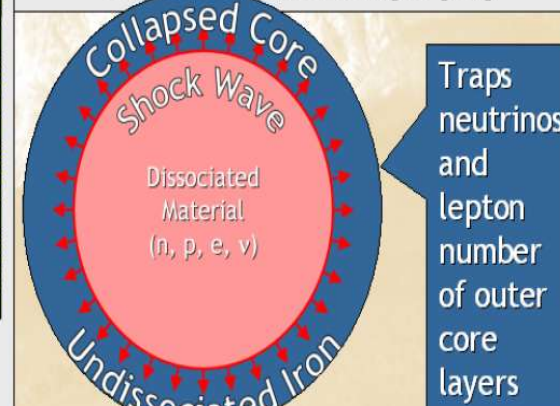
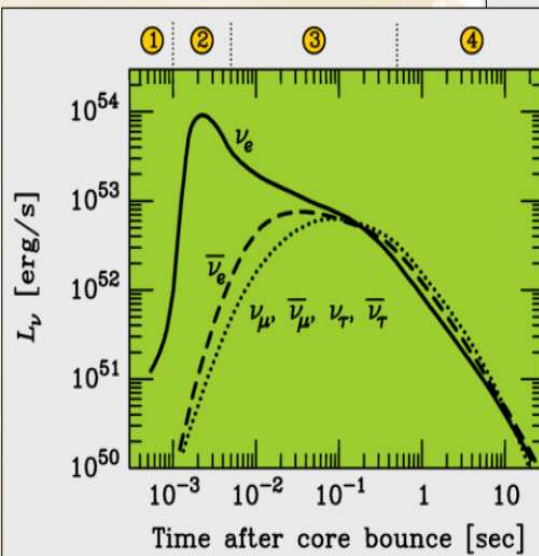
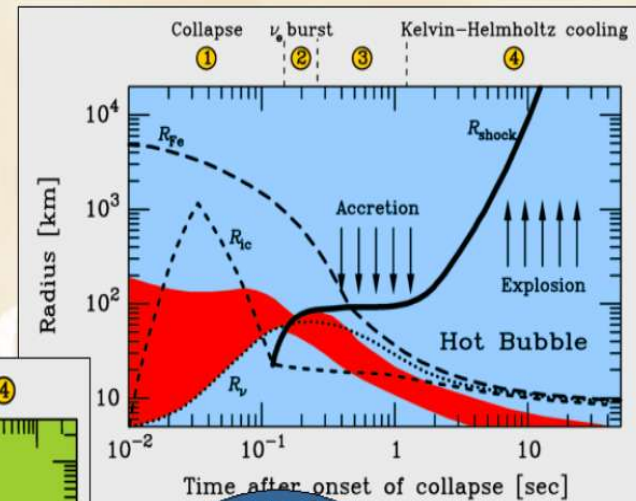
Co wiadomo o przebiegu wybuchu?

Main neutrino reactions	Electron flavor $\nu_e + n \rightarrow p + e^-$ $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ Other flavors $\nu + N \rightarrow N + \nu$
Neutral-current scattering cross section	$\sigma(\nu N \rightarrow N \nu) = \frac{C_V^2 + 3C_A^2}{\pi} G_F^2 E_\nu^2 \approx 2 \times 10^{-40} \text{ cm}^2 \left(\frac{E_\nu}{100 \text{ MeV}} \right)^2$
Nucleon density	$\eta_B = \frac{\rho_{\text{nuc}}}{m_N} \approx 1.8 \times 10^{38} \text{ cm}^{-3}$
Scattering rate	$\Gamma = \sigma \eta_B \approx 1.1 \times 10^9 \text{ s}^{-1} \left(\frac{E_\nu}{100 \text{ MeV}} \right)^2$
Mean free path	$\lambda = (\sigma \eta_B)^{-1} \approx 28 \text{ cm} \left(\frac{100 \text{ MeV}}{E_\nu} \right)^2$
Diffusion time	$t_{\text{diff}} \approx \frac{R^2}{\lambda} \approx 1.2 \text{ sec} \left(\frac{R}{10 \text{ km}} \right)^2 \left(\frac{E_\nu}{100 \text{ MeV}} \right)^2$

Istnieje wiele modeli opisujących ostatnie chwile życia gwiazdy. Żaden z nich nie działa zadowalająco.

Dopiero następne obserwacje, neutron z supernowych mogą dostarczyć informacji potrzebnych do udoskonalenia modeli.

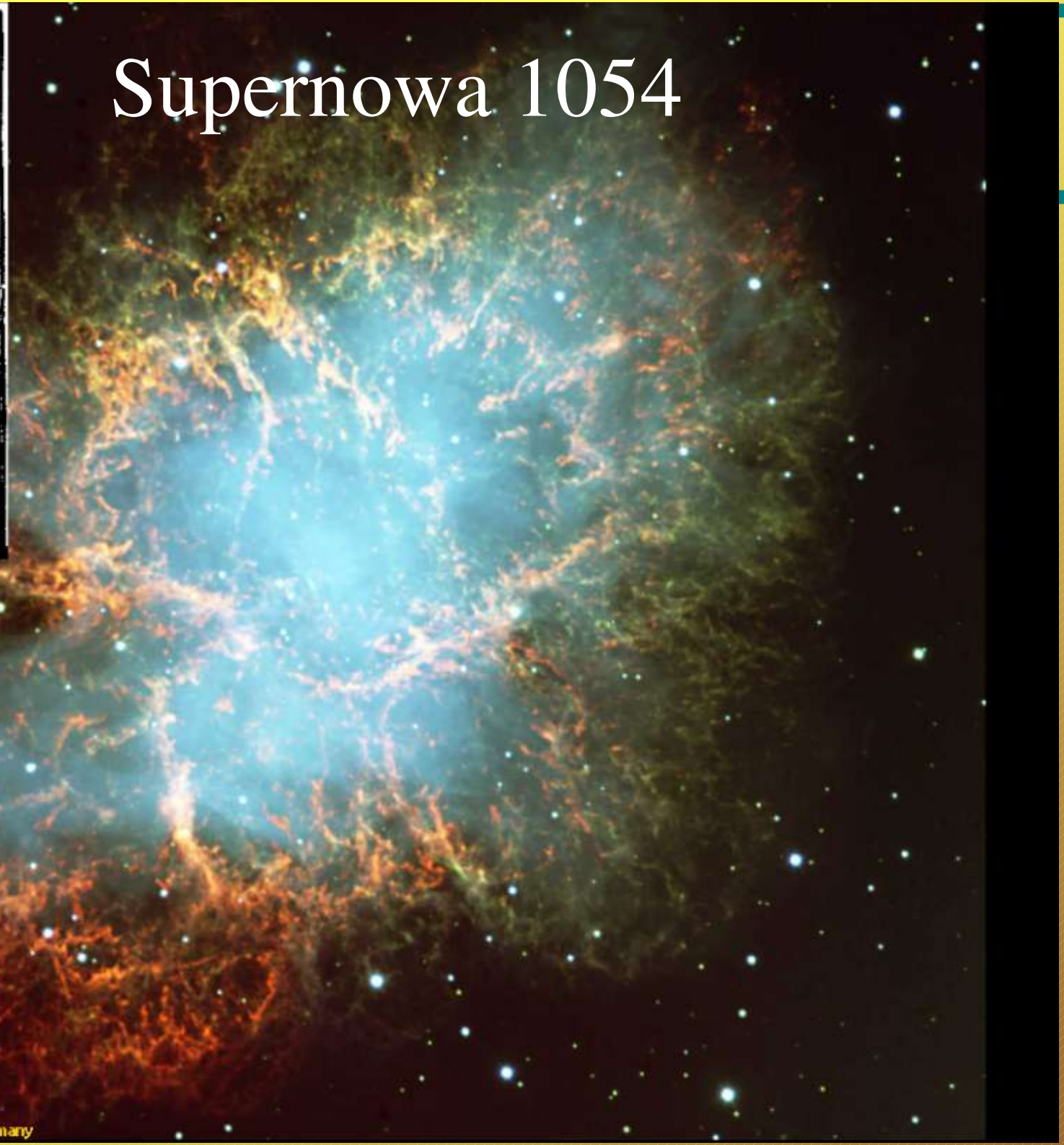
1. Collapse (infall phase)
2. Shock break out
3. Matter accretion
4. Kelvin-Helmholtz cooling



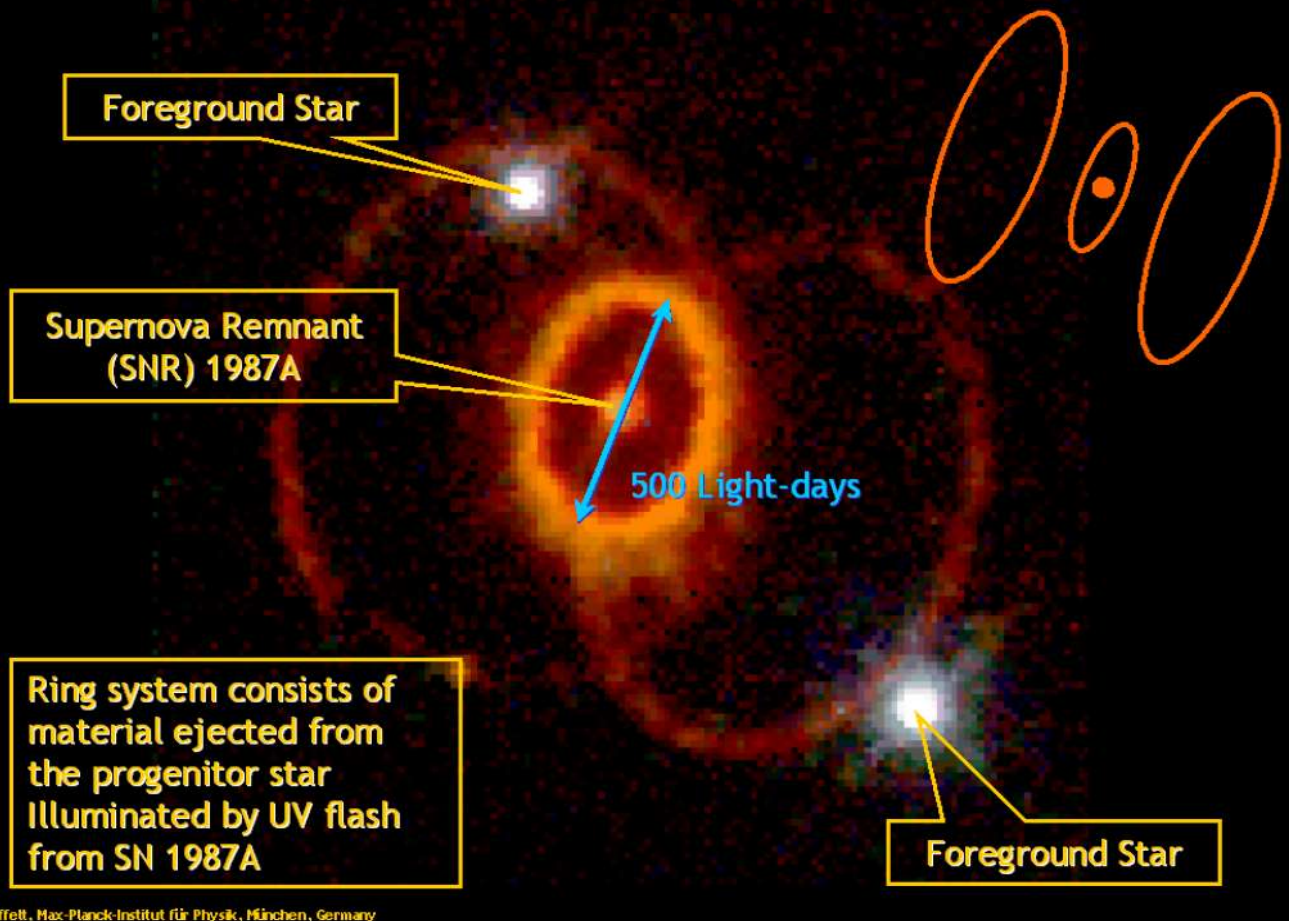
Supernova 1054

凡十一日没三年三月乙巳出東南方大中祥符四年正月丁丑見南斗魁前天禧五年四月丙辰出軒轅前星西北大如桃速行經軒轅太星入太微垣掩右執法犯次將歷屏星西北凡七十五日入濁没明道元年六月乙巳出東北方近濁有芒彗至丁巳凡十三日没至和元年五月己丑出天關東南可數寸歲餘稍没熙寧二年六月丙辰出箕度中至七月丁卯犯箕乃散三年十一月丁未出天囷元祐六年十一月辛亥出參度中犯掩側星壬子犯九游星十二月癸酉入奎至七年三月辛亥乃散紹興八年五月守婁

三才圖會
宋史志卷九
五



SN 1987A Rings (Hubble Space Telescope Picture)



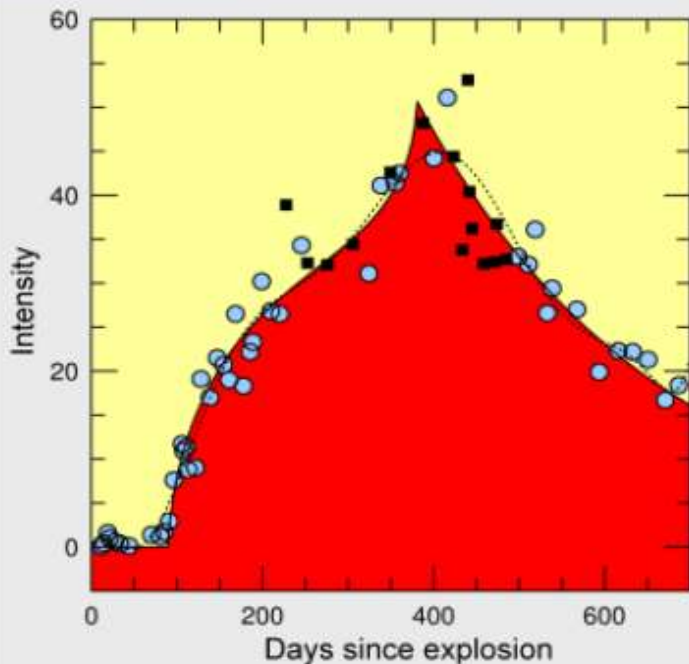
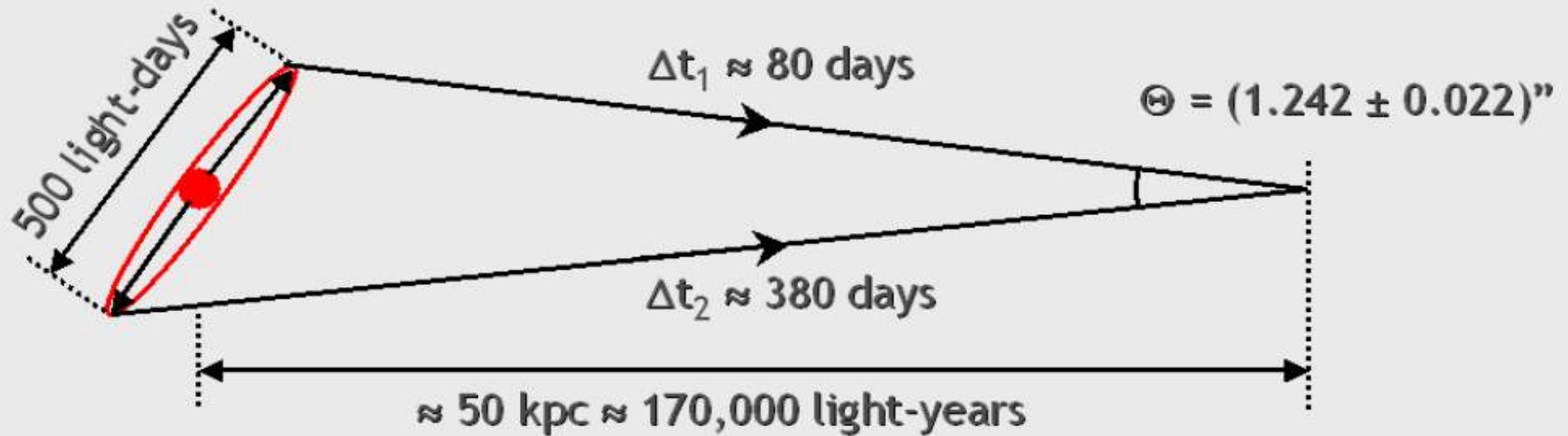
Raffelt, Max-Planck-Institut für Physik, München, Germany

Supernova 1987A

23 February 1987

SN 1987 A (LMC) jest jedynym przypadkiem pewnego zidentyfikowania progenitora

Parametry SN 1987A

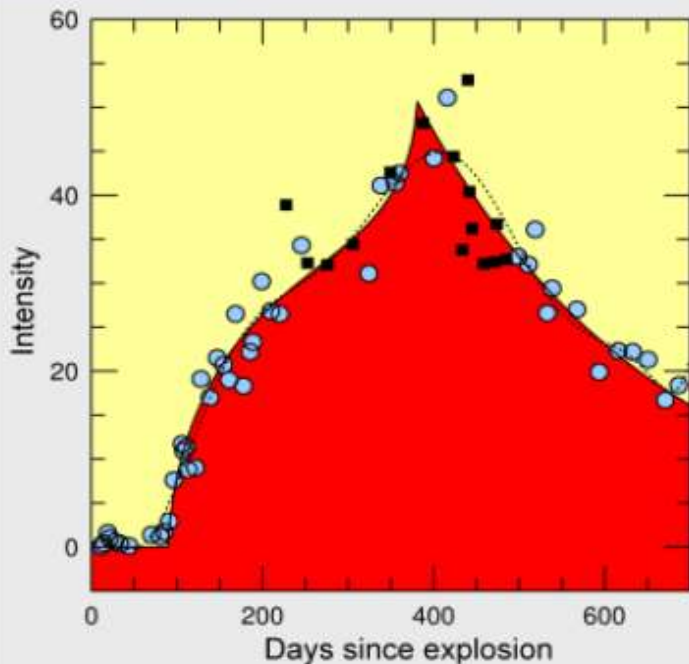
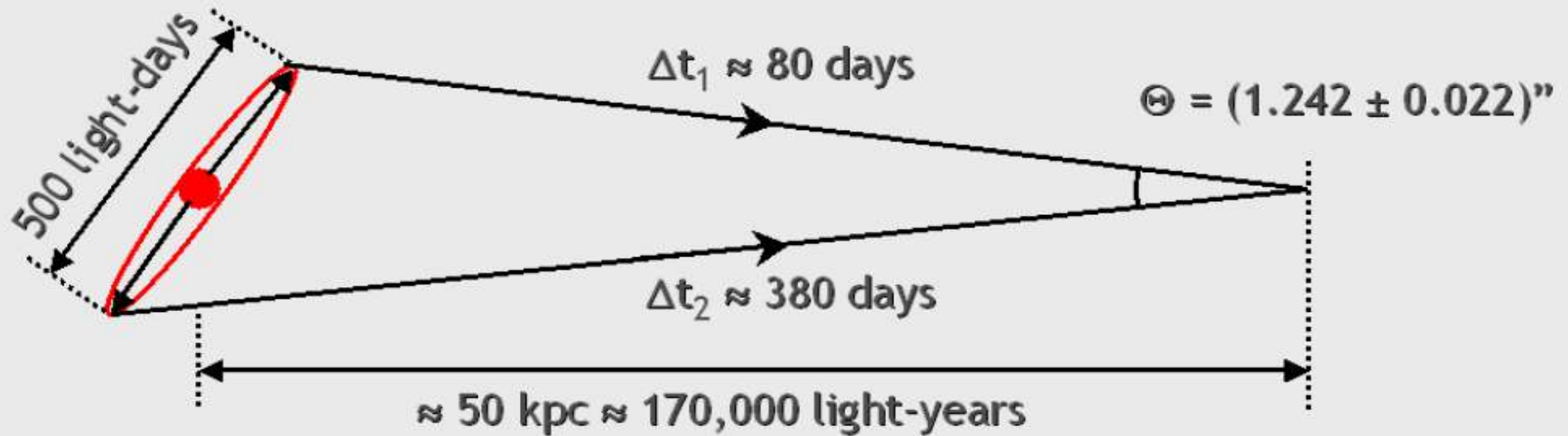


Angular diameter $\Theta_+ = (1.716 \pm 0.022)''$
measured by HST on 24-8-1990

Δt_1 and Δt_2 measured in UV by IUE satellite

Ni III] light curve SN 1987A ring, measured by IUE
[Sonneborn et al. ApJ 477 (1997) 848,
fit by Gould & Uza, ApJ 494 (1998) 118]

Parametry SN 1987A



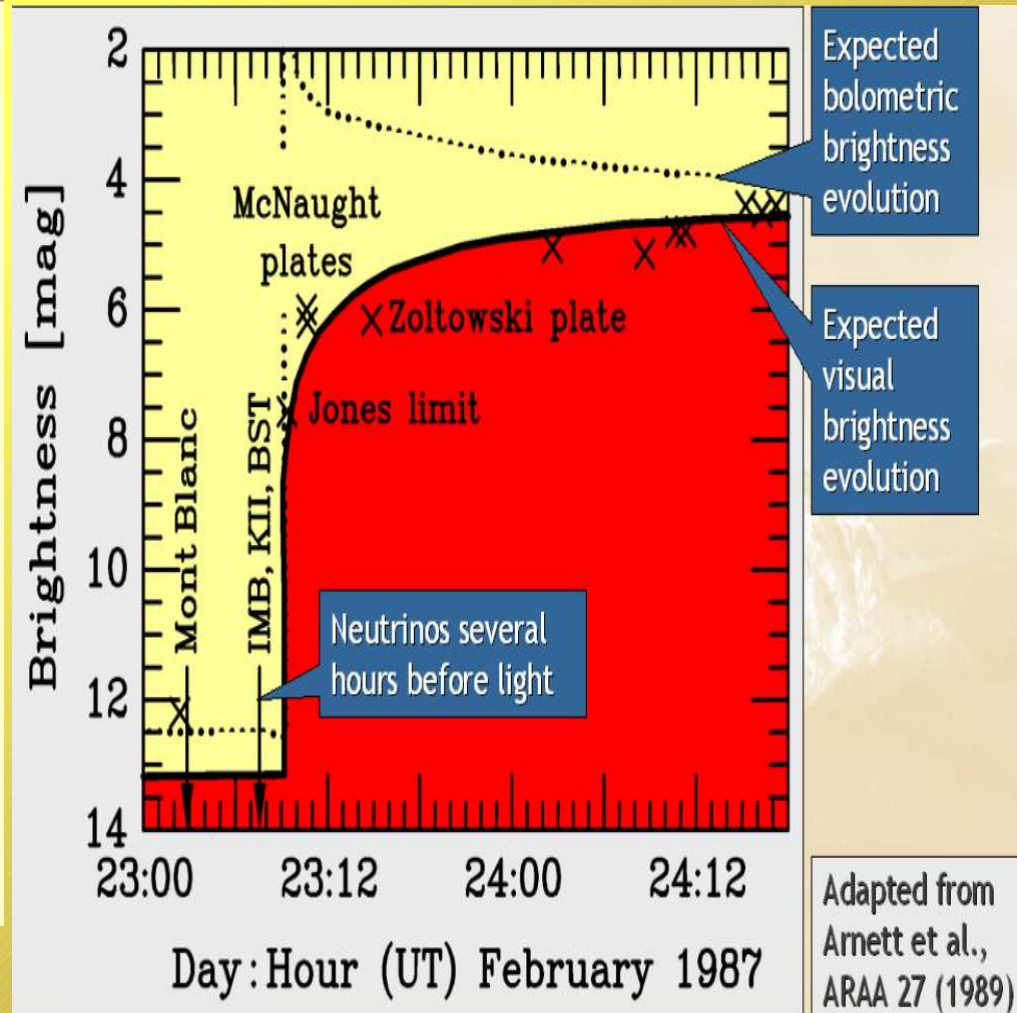
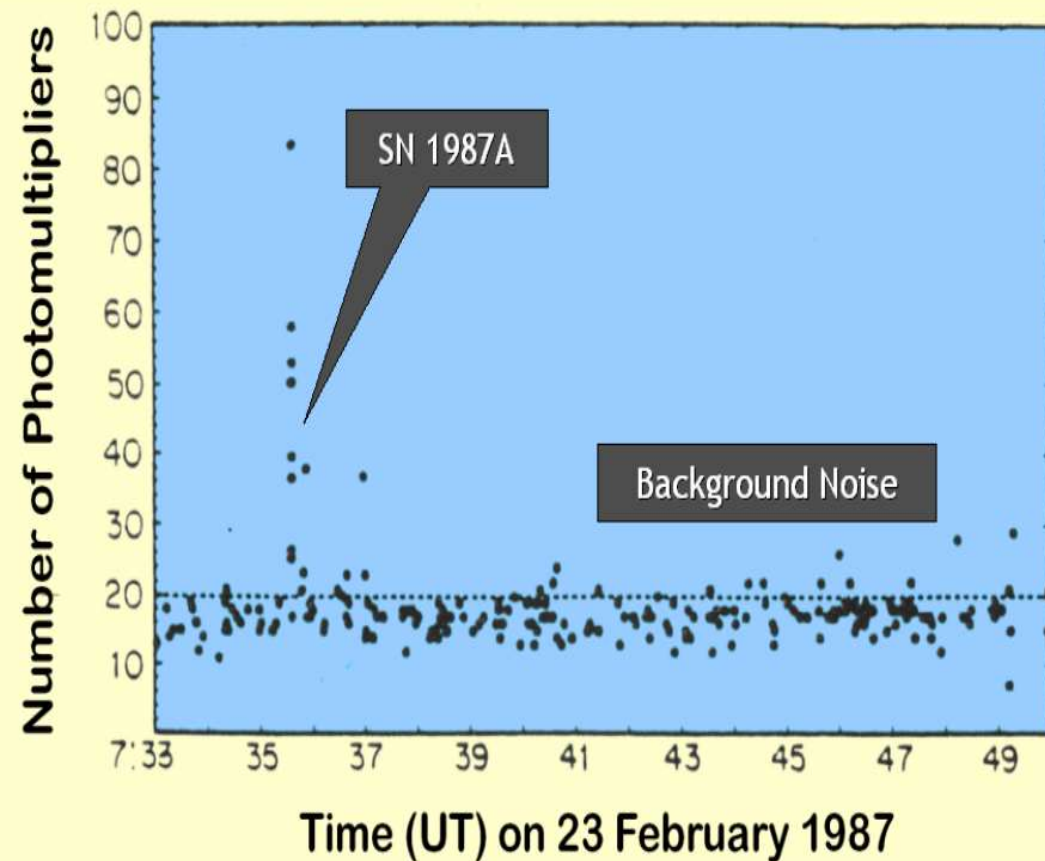
Distance to SN 1987A

$51.2 \pm 3.1 \text{ kpc}$	Panagia et al., ApJ 380 (1991) L23
$51.4 \pm 1.2 \text{ kpc}$	Panagia, IAU Symposium 190 (1999)
$47.2 \pm 0.9 \text{ kpc}$	Gould & Uza, ApJ 494 (1998) 118

Ni III] light curve SN 1987A ring, measured by IUE
[Sonneborn et al. ApJ 477 (1997) 848,
fit by Gould & Uza, ApJ 494 (1998) 118]

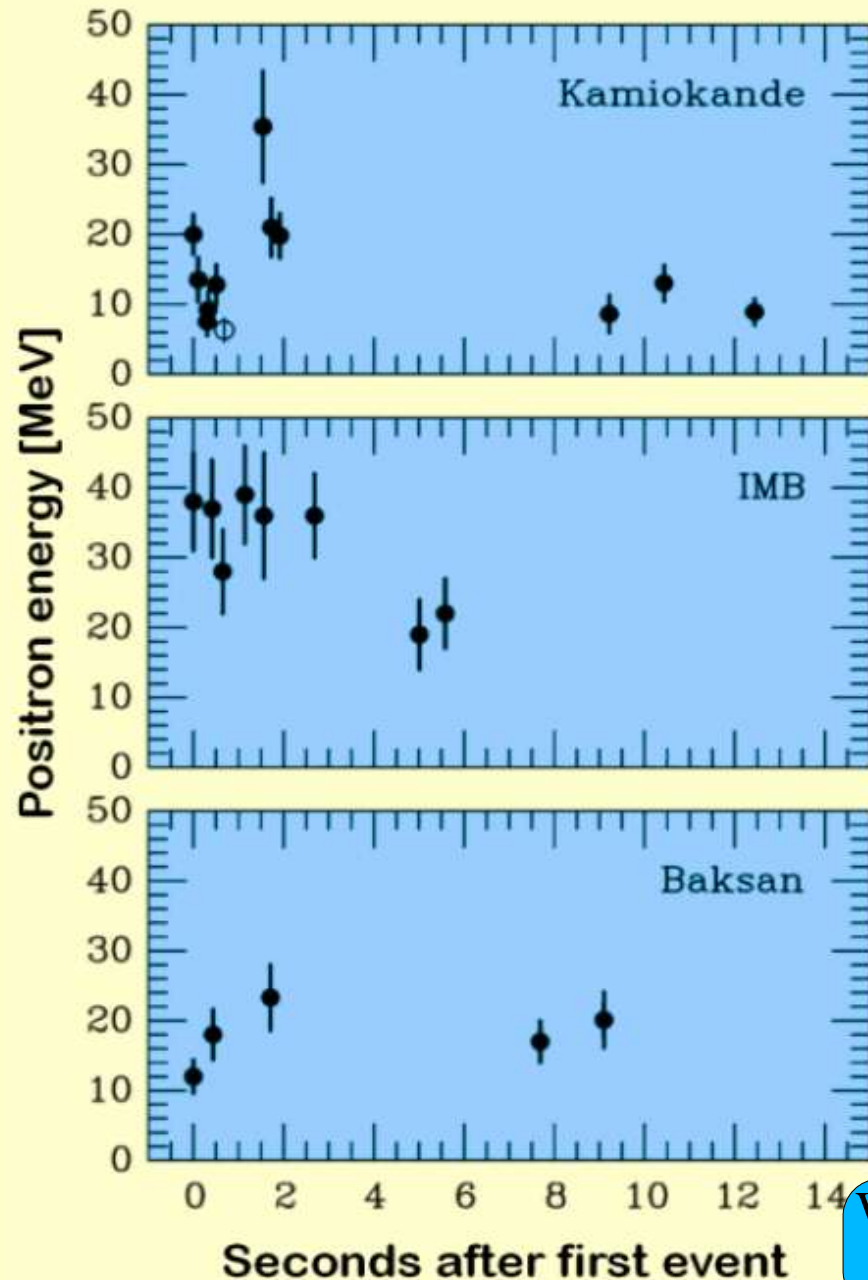
Sygnal neutrinowy

Kamiokande:



Adapted from
Arnett et al.,
ARAA 27 (1989)

Pomiar czasu dotarcia sygnału



Kamiokande,
Wodny
Czerenkow,
zegar:
+/- 1min.

Irvine-Michigan
-Brookhaven
Wodny
Czerenkow,
zegar:
+/- 50ms

Baksan
Scintillator
telescope
zegar:
+2/-54 s

Transit time for photons and neutrinos are equal to within ~ 3h

Total transit time ~ 5×10^{12} sec
→ Equal for photons and neutrinos
within ~ 2×10^{-9}

(Longo 1987, Stodolsky 1988)

$$\left| \frac{c_v - c_\gamma}{c_v + c_\gamma} \right| < 10^{-9}$$

Shapiro time delay for particles moving
through a gravitational potential

$$\Delta t_{\text{Shapiro}} = -2 \int_A^B U[r(t)] dt \approx 2 - 6 \times 10^6 \text{ sec}$$

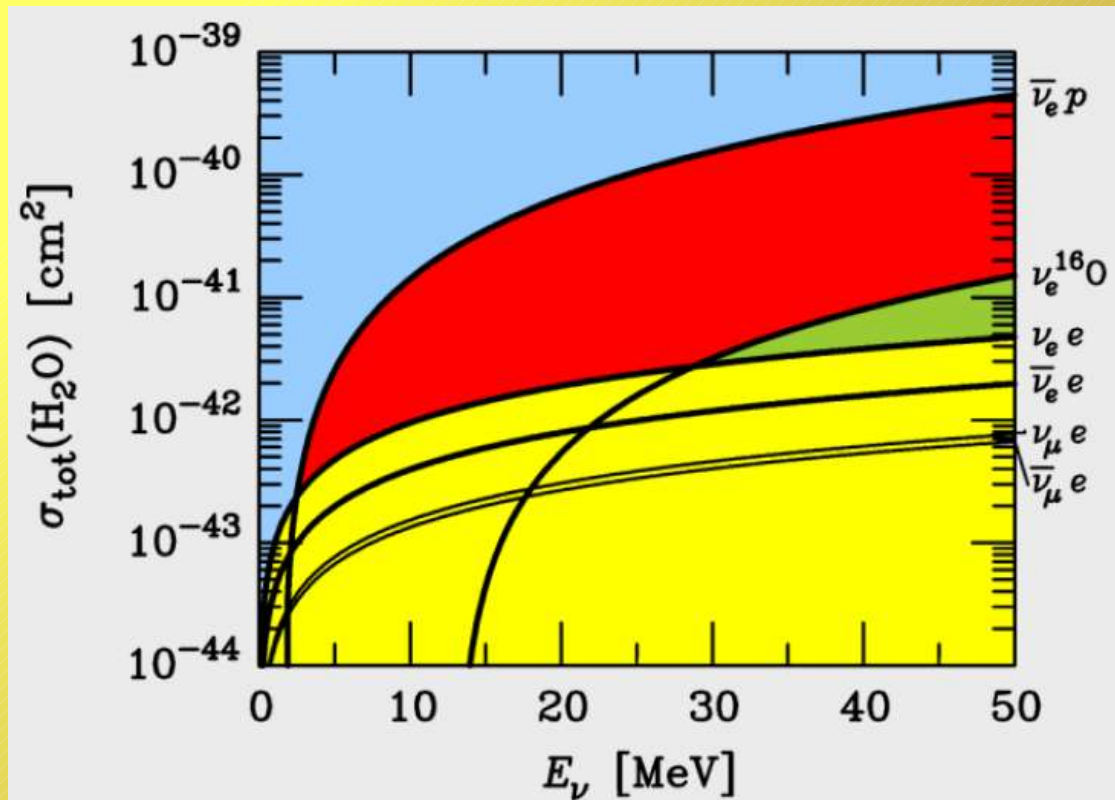
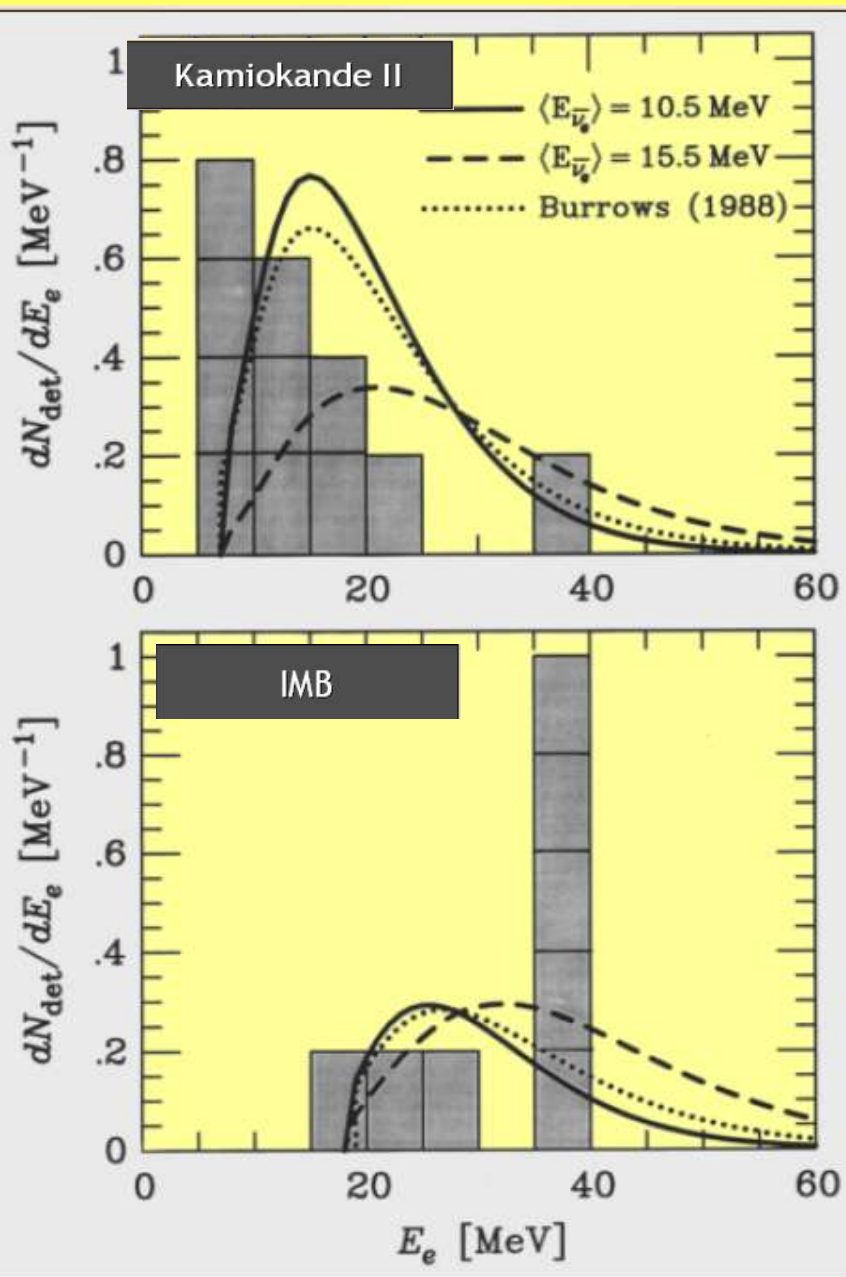
(Krauss & Tremaine 1988)

Equal within ~ $1 - 4 \times 10^{-3}$

- Provides limits on parameters of certain non-GR theories of gravitation
- Could be extended to neutrinos vs. anti-neutrinos or different flavors from signal of a future galactic SN

W granicach błędu sygnały
były równoczesne

Spektrum Energii



Main reactions: $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ dominates for SN
 $\nu_e + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{16}\text{F} + e^-$
 $\nu + e^- \rightarrow e^- + \nu$ dominates for Sun

fizyka neutrin po SN 1987A

Time of flight delay by neutrino mass

$$\Delta t = 2.57s \left(\frac{D}{50 \text{ kpc}} \right) \left(\frac{10 \text{ MeV}}{E_\nu} \right)^2 \left(\frac{m_\nu}{10 \text{ eV}} \right)^2$$

$$m_{\nu_e} \lesssim 20 \text{ eV}$$

- Detailed maximum-likelihood analysis yields similar limit
- At the time of SN 1987A competitive with tritium end-point limits, today $m_{\nu_e} < 2.2 \text{ eV}$
- Cosmological limit today $m_\nu \lesssim 0.4 \text{ eV}$

For “milli charged” neutrinos, path bent by galactic magnetic field, inducing a time delay

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{e_\nu^2 (B_\perp d_B)^2}{6E_\nu^2} < 3 \times 10^{-12}$$

$$\frac{e_\nu}{e} < 3 \times 10^{-17} \left(\frac{1 \mu\text{G}}{B_\perp} \right) \left(\frac{1 \text{ kpc}}{d_B} \right)$$

Assuming charge conservation in neutron decay yields a more restrictive limit of about $3 \times 10^{-21} e$

Future Galactic SN (Super-K)

$D \approx 10 \text{ kpc}$, Rise-time 0.01 s
Sensitivity approximately
[T.Totani, PRL 80 (1998) 2040]

$$m_\nu \sim 3 \text{ eV}$$

With Black Hole Formation

$D \approx 10 \text{ kpc}$, Cutoff “infinitely” fast
Sensitivity approximately
[Beacom et al., PRD 63 (2001) 073011]

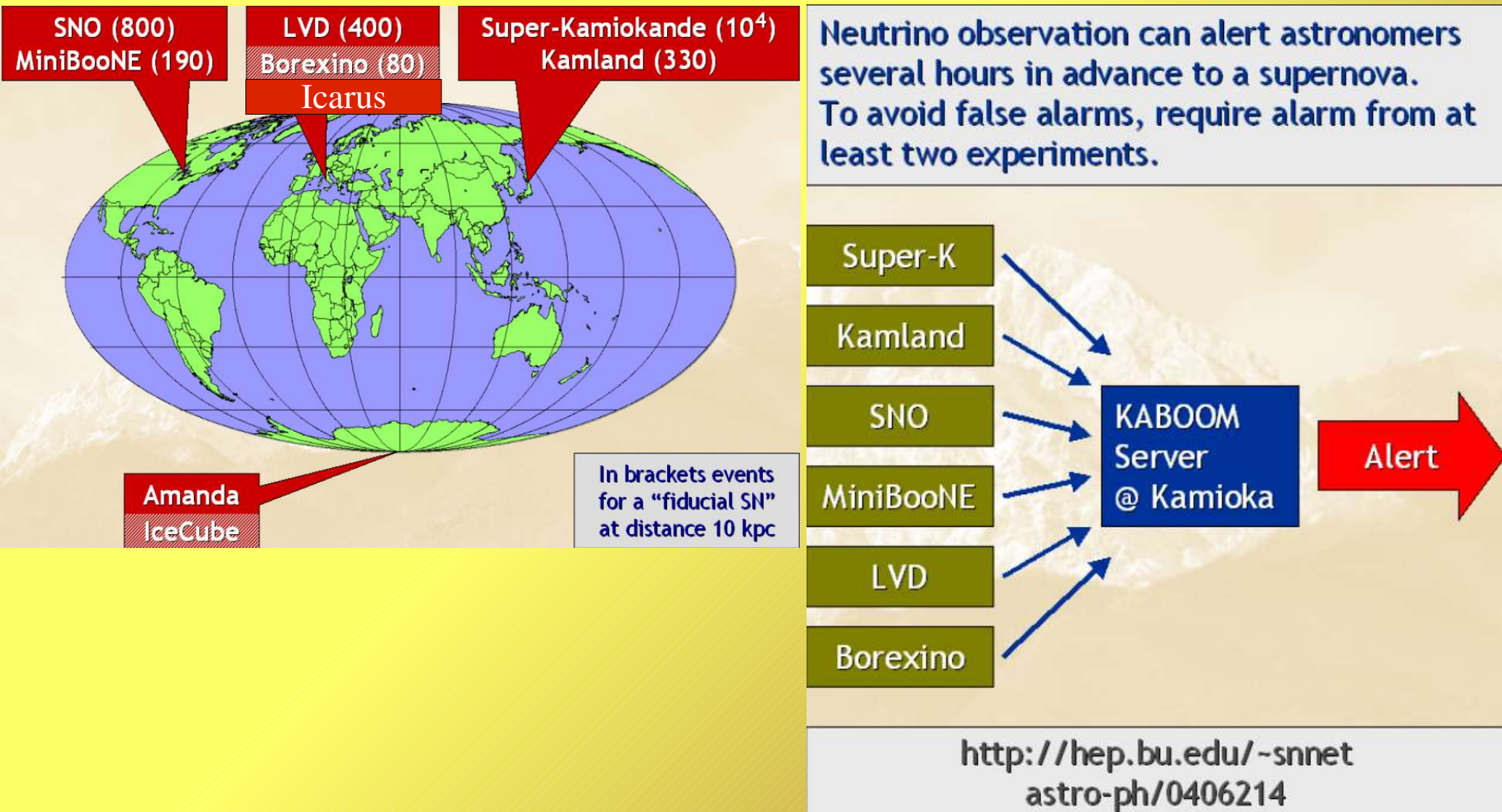
$$m_\nu \sim 2 \text{ eV}$$

Future SN in Andromeda (Megatonne)

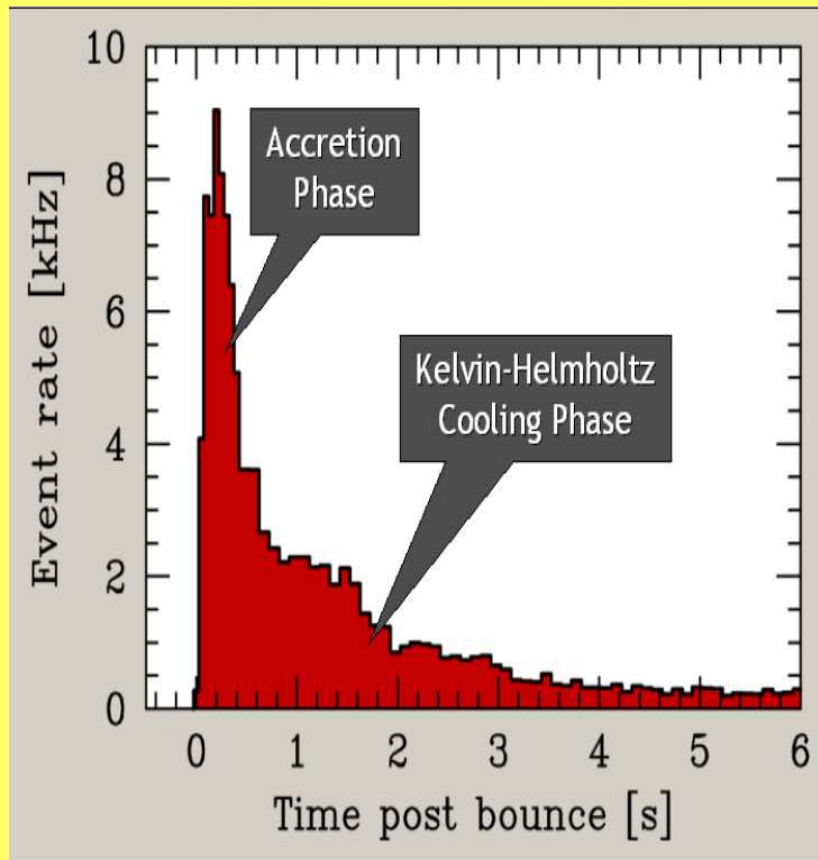
$D \approx 750 \text{ kpc}$, $\Delta t \approx 10 \text{ s}$
Sensitivity approximately

$$m_\nu \sim 1\text{--}2 \text{ eV}$$

SuperNova Early Warning System (SNEWS)

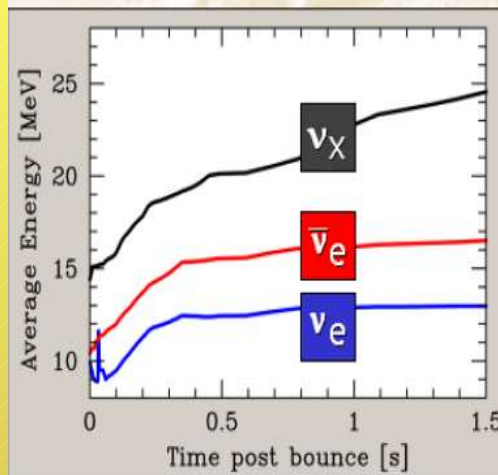
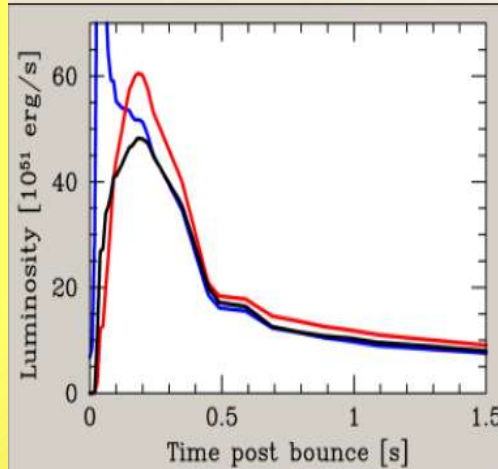


Przewidywany sygnał przyszłych SN

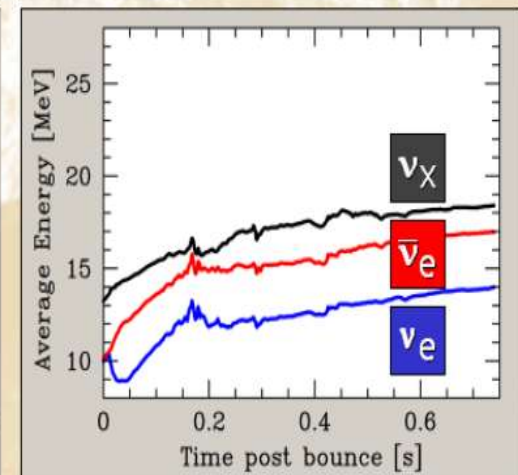
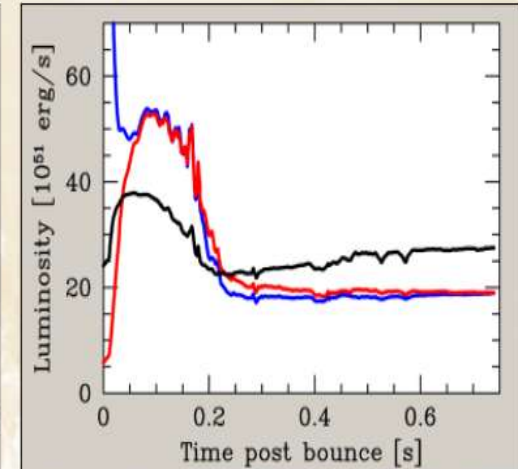


Simulation for Super-Kamiokande SN signal at 10 kpc,
based on a numerical Livermore model
[Totani, Sato, Dalhed & Wilson, ApJ 496 (1998) 216]

Livermore (traditional)
[ApJ 496 (1998) 216]



Garching (new microphysics)
[astro-ph/0303226]



Należy pamiętać, że modele SN są na razie niezweryfikowane.

reliktowe neutrino z SN

$$1 \text{ SNU} = 1 \text{ SN} / 10^{10} L_{\text{sun},B} / 100 \text{ years}$$

$$L_{\text{sun},B} = 0.54 L_{\text{sun}} = 2 \times 10^{33} \text{ erg/s}$$

$$E_{\nu} \sim 3 \times 10^{53} \text{ erg per core-collapse SN}$$

1 SNU $\sim 4 L_{\nu} / L_{\gamma,B}$
Average neutrino
luminosity of galaxies
 $\sim$ photon luminosity

- Photons come from nuclear energy
- Neutrinos from gravitational energy

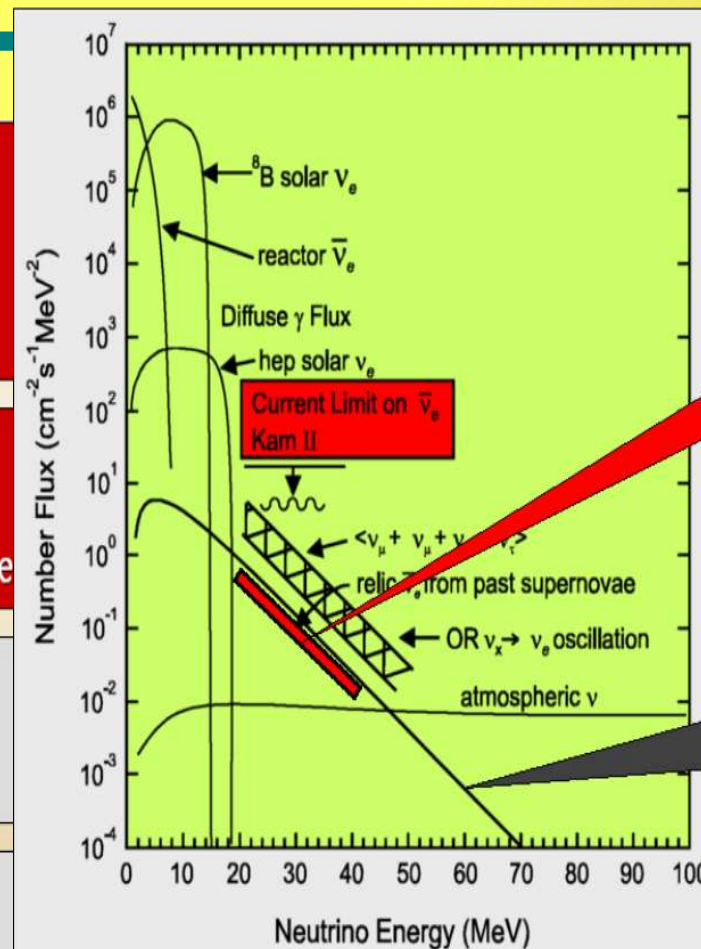
For galaxies, average
nuclear & gravitational
energy release comparable

Present-day SN rate of $\sim 1 \text{ SNU}$, extrapolated to the entire universe,
corresponds to ν_e flux of $\sim 1 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Realistic flux is dominated by much larger early star-formation rate

- Upper limit $\sim 54 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
[Kaplinghat et al., astro-ph/9912391]
- "Realistic estimate" $\sim 10 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
[Hartmann & Woosley, Astropart. Phys. 7 (1997) 137]

Measurement would tell us about early history of star formation



Super-K upper limit
 $29 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for
Kaplinghat et al. spectrum
[hep-ex/0209028]

Upper-limit flux of
Kaplinghat et al.,
astro-ph/9912391
Integrated $54 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Cline, astro-ph/0103138

Jeśli uda się je zmierzyć mogą
dostarczyć informacji o
formacji gwiazd we wczesnym
Wszechświecie

Neutrino z preSupernowej

A. Odrzywolek, M. Misiaszek, M. Kutschera, astro-ph/0311012

Detekcja par neutrin powstałych
podczas spalania Si.

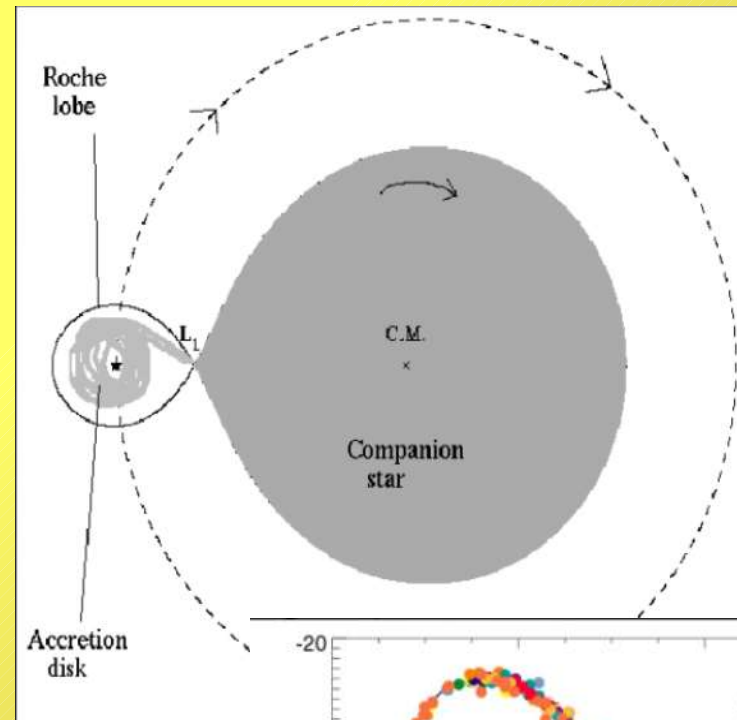
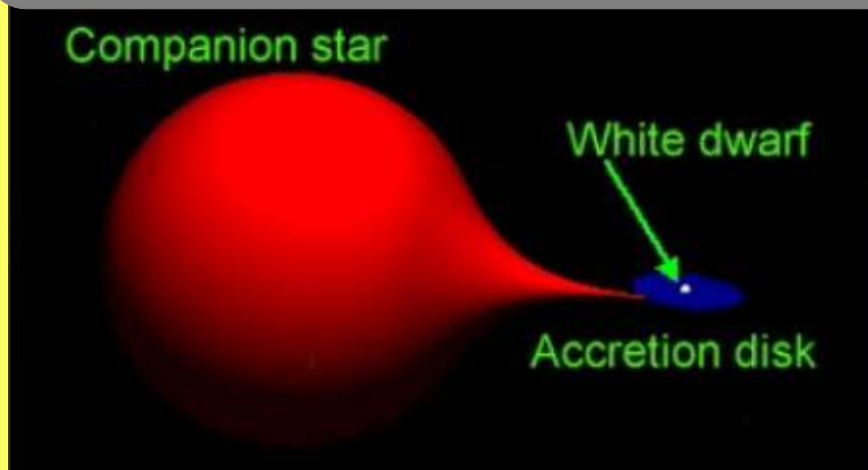
Możliwe tylko dla znajdujących
się “blisko” dużych gwiazd. np.
Betelgeza – 185pc mogłaby
dostarczyć nawet do 1000
przypadków dziennie w SK
domieszkowanym Gadolinem.

Można przewidzieć wybuch
SN, na kilka dni przed faktem.

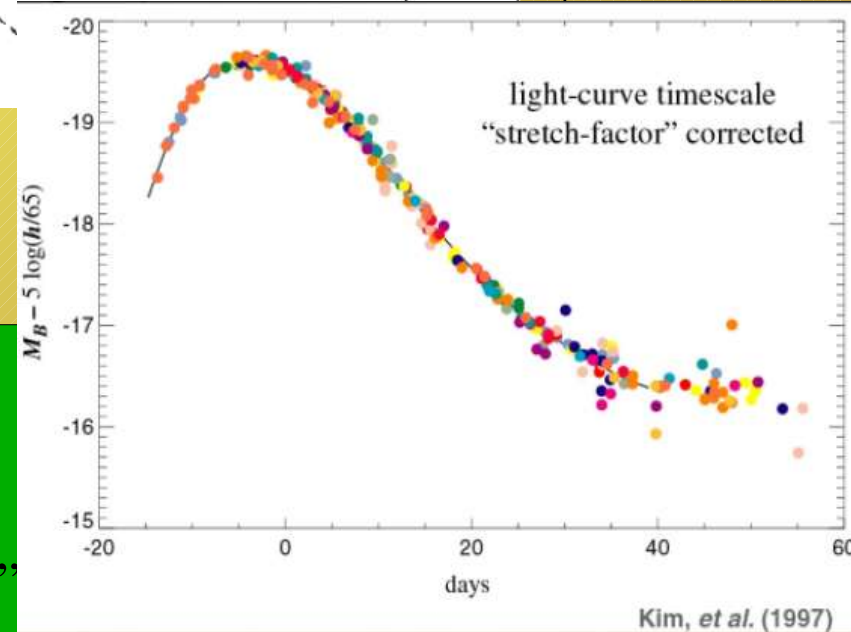
Slajdy “nadprogramowe”

Supernowe Ia

Układ podwójny Białego karła i masywnego towarzysza. Akrecja materii na B.K. powoduje wzrost masy i ponowne “zapalenie się” reakcji termojądrowych



wynik.

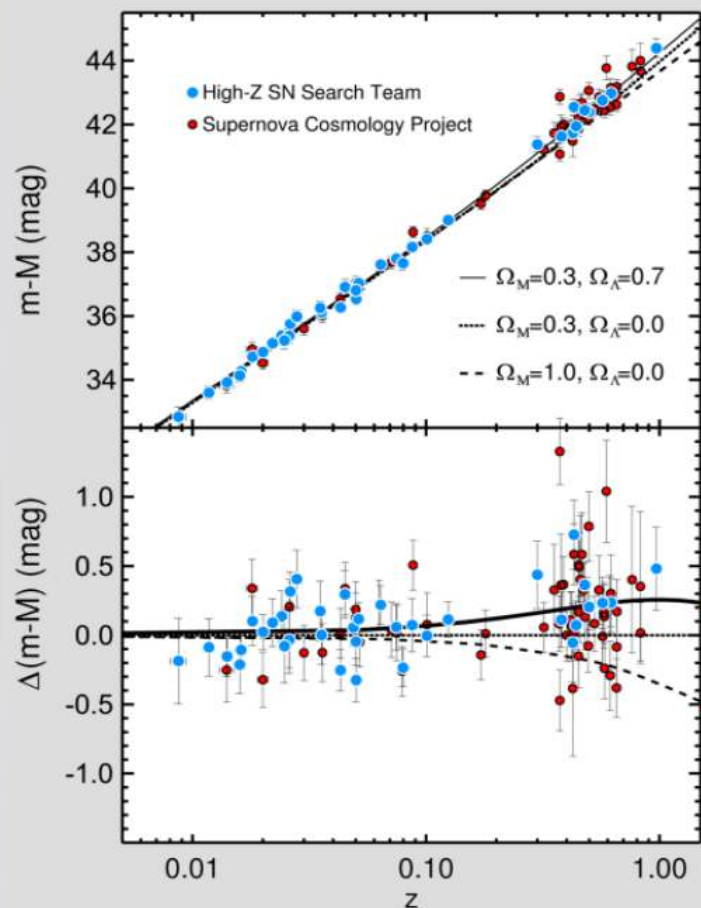


Kluczowe jest, to że wszystkie mają praktycznie takie same krzywe jasności, przez co mogą być stosowane jako tzw. “Świece Standardowe”

Stała kosmologiczna, czyli intuicja Einsteina

Obserwacje SN Ia, pozwalały na ocenę odległości w zależności od “redshiftu”. Gwiazdy najdalsze okazały się być ciemniejsze niż się spodziewano – oznacza to, że najprawdopodobniej Wszechświat coraz szybciej się rozszerza.

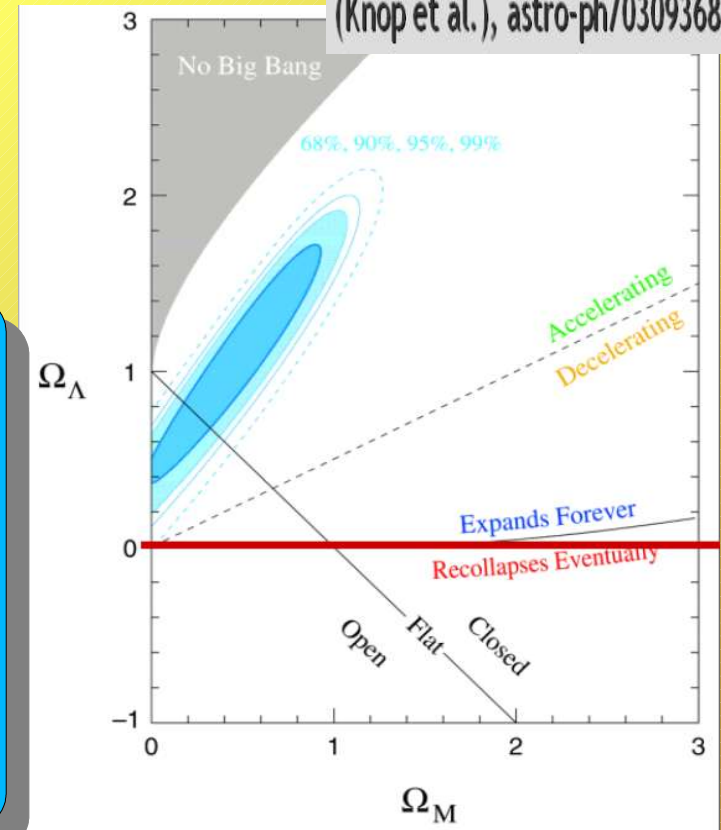
Cosmological Supernova Project
(Knop et al.), astro-ph/0309368



To z kolei oznacza, że w równaniach ewolucji Wszechświata pojawia się nowy gracz - Stała kosmologiczna - Λ

Accelerated expansion
($\Omega_M = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7$)

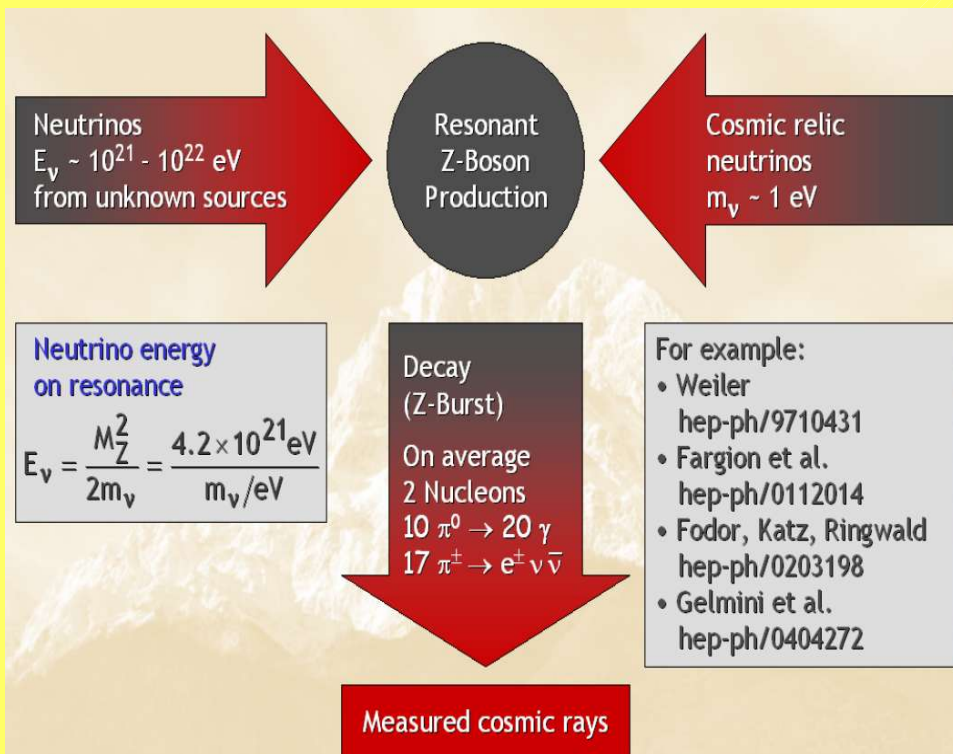
Decelerated expansion
($\Omega_M = 1$)



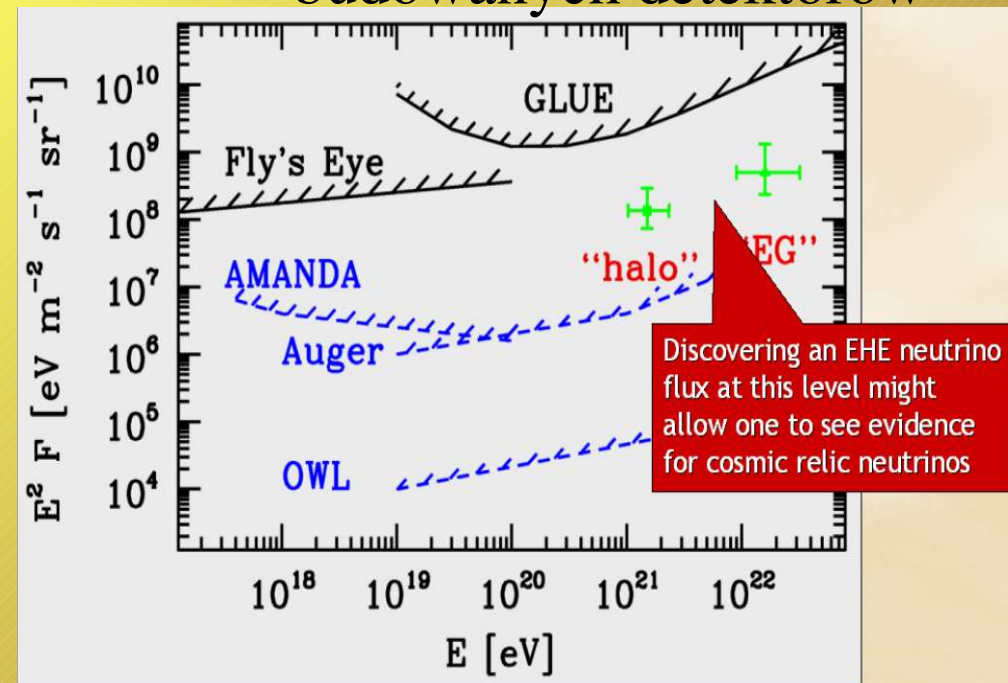
Einstein mylił się kiedy przyznawał się do największej pomyłki w życiu?

czy mozna je zobaczyc?

Bezpośrednia detekcja neutrin
reliktowych wydaje się niewiarygodnie
trudna. Można natomiast próbować
detekcji pośredniej, przez reakcję
podobną do efektu GZK:



detekcja powstałych w ten
sposób promieni
kosmicznych powinna być
w zasięgu obecnie
budowanych detektorów



Fodor, Katz & Ringwald, hep-ph/0203198

Czym się różni SN Ia od innych

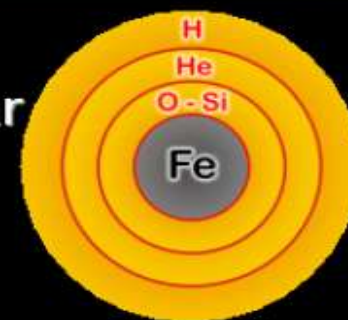
Type Ia

- Carbon-oxygen white dwarf (remnant of low-mass star)
- Accretes matter from companion



Core collapse (Type II, Ib/c)

- Degenerate iron core of evolved massive star
- Accretes matter by nuclear burning at its surface



Chandrasekhar limit is reached — $M_{\text{Ch}} \approx 1.5 M_{\text{sun}} (2Y_e)^2$
C O L L A P S E S E T S I N

Nuclear burning of C and O ignites
 → Nuclear deflagration
 (“Fusion bomb” triggered by collapse)

Collapse to nuclear density
 Bounce & shock
 Implosion → Explosion

Powered by nuclear binding energy

Powered by gravity

Gain of nuclear binding energy
 ~ 1 MeV per nucleon

Gain of gravitational binding energy
 ~ 100 MeV per nucleon
 99% into neutrinos

Comparable “visible” energy release of $\sim 3 \times 10^{51} \text{ erg}$