

# Supernowe



# Wybuch

Typowe energie [J]:

- granat	$4-8 \times 10^5$
- bomba konwencjonalna (1 t)	$4 \times 10^9$
- bomba atomowa (Little Boy)	$6 \times 10^{13}$
- bomba Car	$2 \times 10^{17}$
- światowy arsenał atomowy	$2 \times 10^{19}$
- wulkan Toba (Sumatra)	$10^{20}$
- rozbłysk słoneczny	$10^{26}$
- supernowa	$10^{44}$



## Pierwsze obserwacje

185 r. w gwiazdozbiore Centaura Widoczna przez około 20 miesięcy.

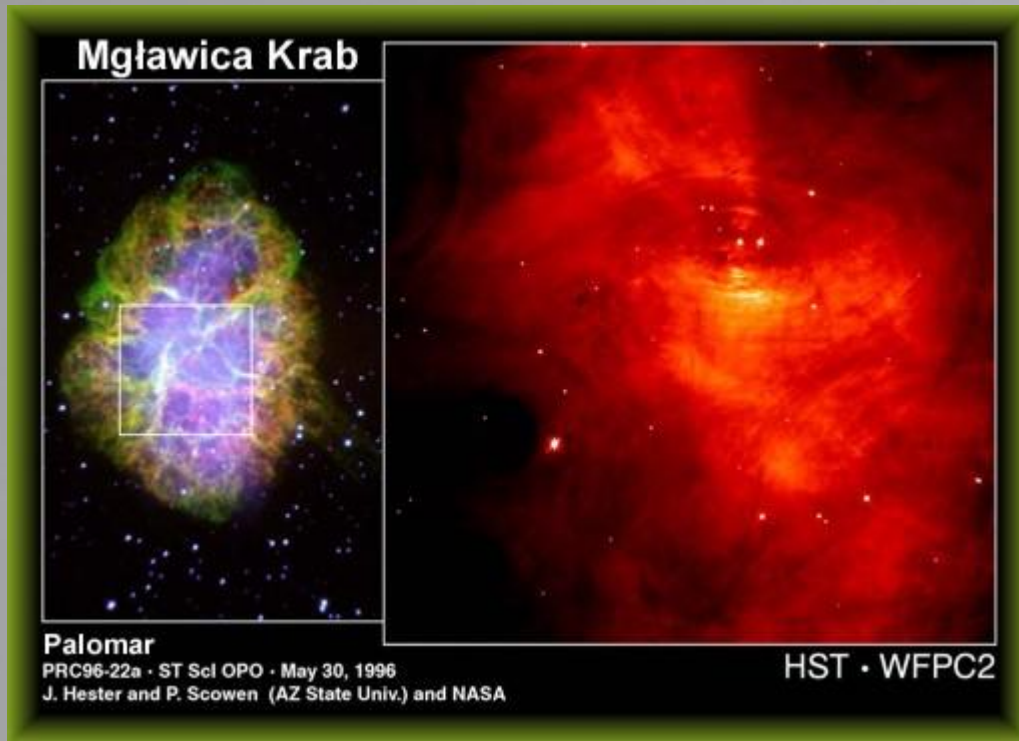
Kolejne obserwacje w latach 386 i 392

W roku 1006 pojawiła się supernowa o jasności 1/10 Księżyca w pełni



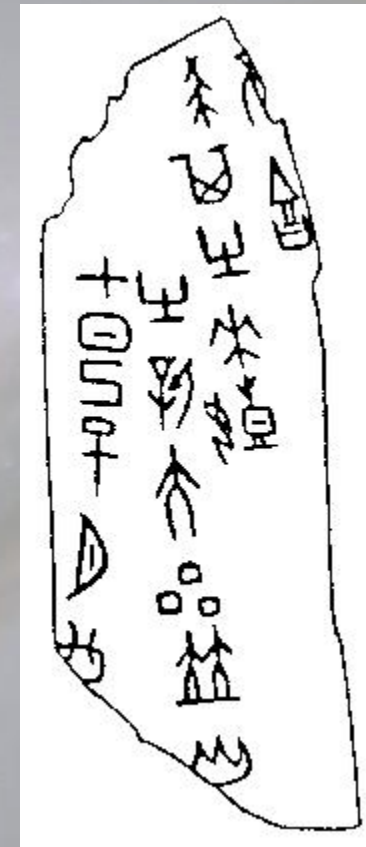
Ernst Hartwig, 20 sierpnia 1885 roku

SN1885 – pierwsza supernowa odkryta w innej galaktyce (M31).



1054 r. w gwiazdozbiorze Byka

Wykorzystywane do dziś np. do planowania obserwacji ROSAT.

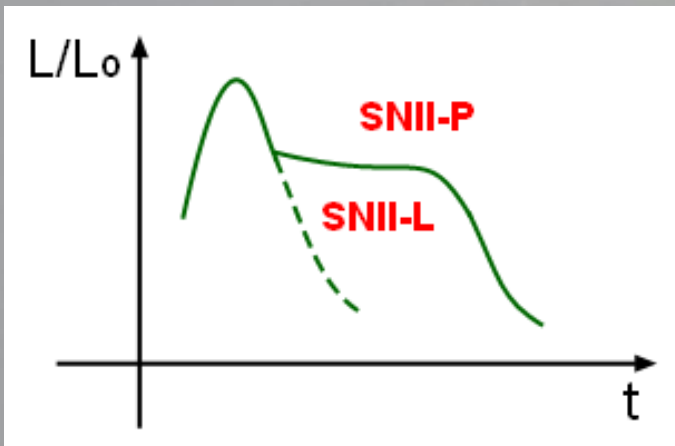


„W dniu Jisi, siódmym dniu miesiąca, wielka nowa gwiazda pojawiła się obok gwiazdy Ho (14 wiek p.n.e.)”

Ho - Antares



Credit: NASA/ESA

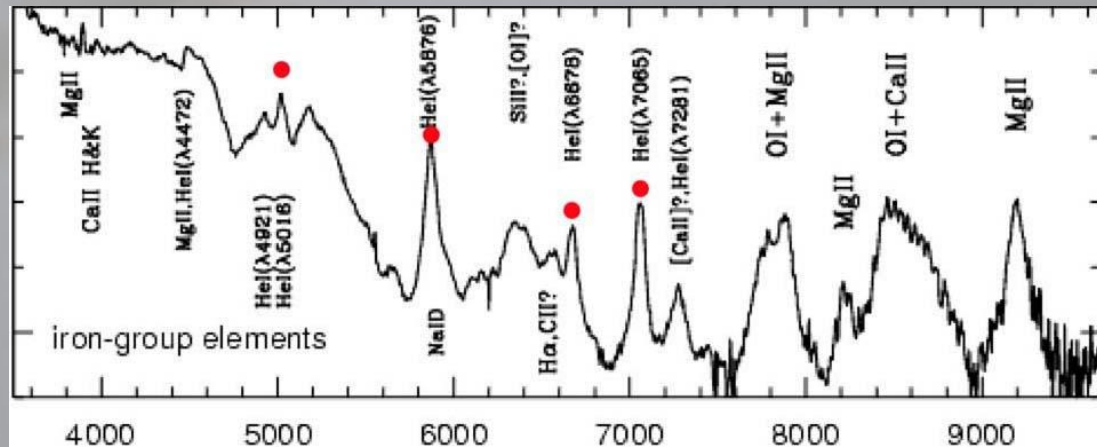


## Typ I – brak linii wodoru

- Typ Ia Linia krzemu (Si II) na 615.0 nm
- Typ Ib Linia helu (He I) na 587.6 nm brak linii absorpcyjnej krzemu w okolicy 615 nm
- Typ Ic Słabe lub brak linii helu, brak silnej absorpcji krzemu

## Typ II – obecne linie wodoru

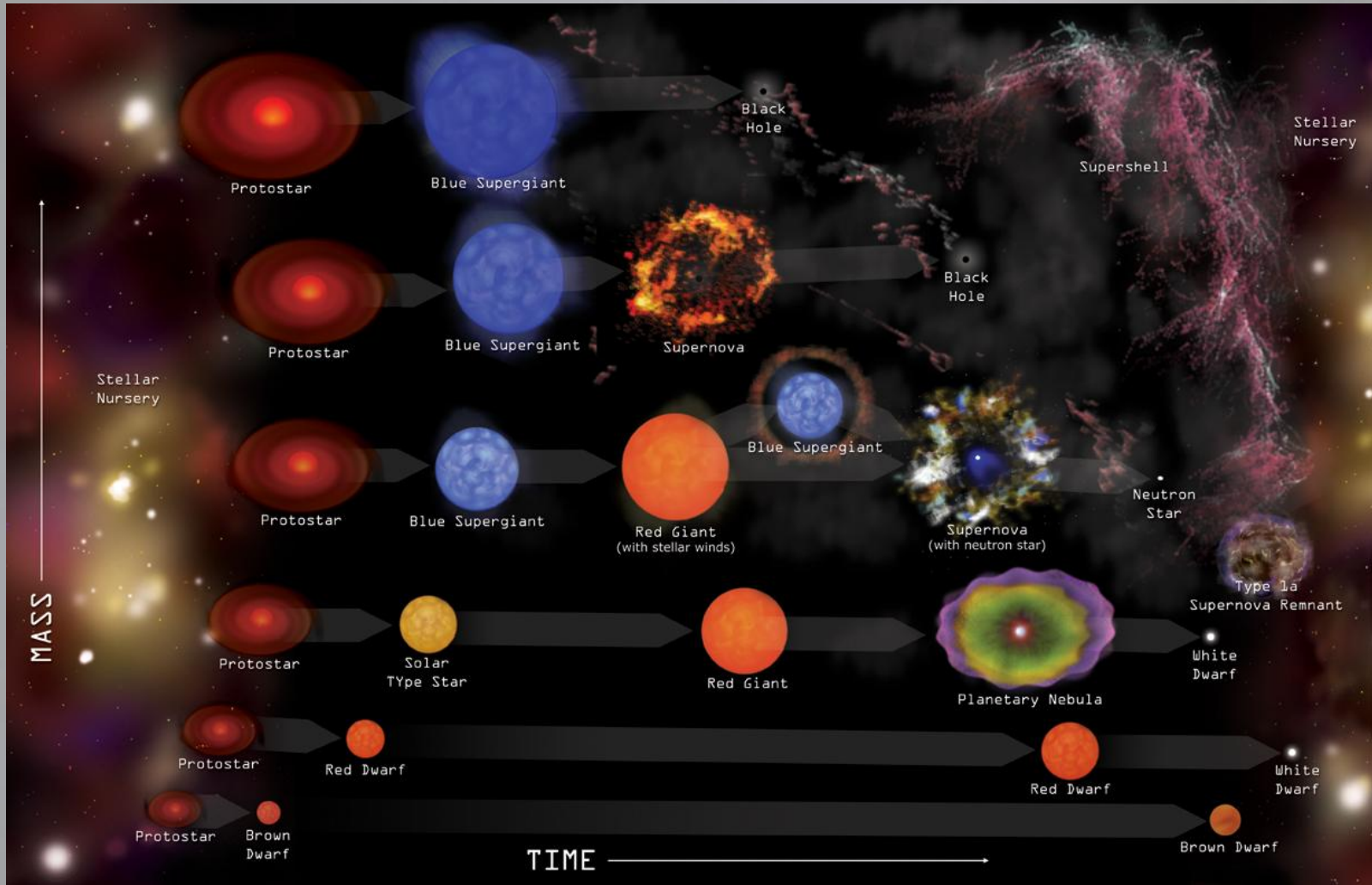
- Typ IIP Widoczne plateau na krzywej blasku
- Typ IIL Widoczna faza liniowego spadku jasności

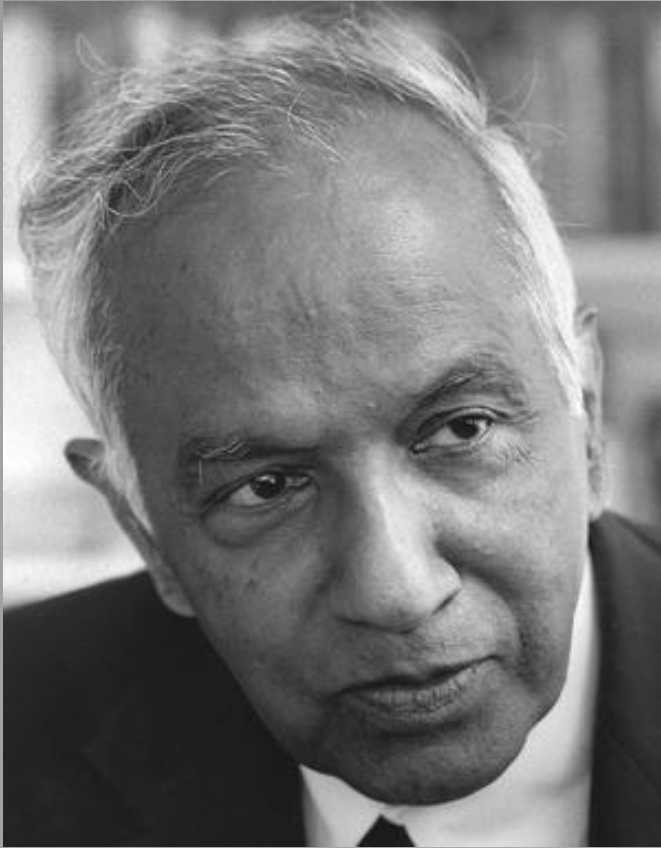


# Klasyfikacja (nowa)

Istotny jest mechanizm wybuchu:

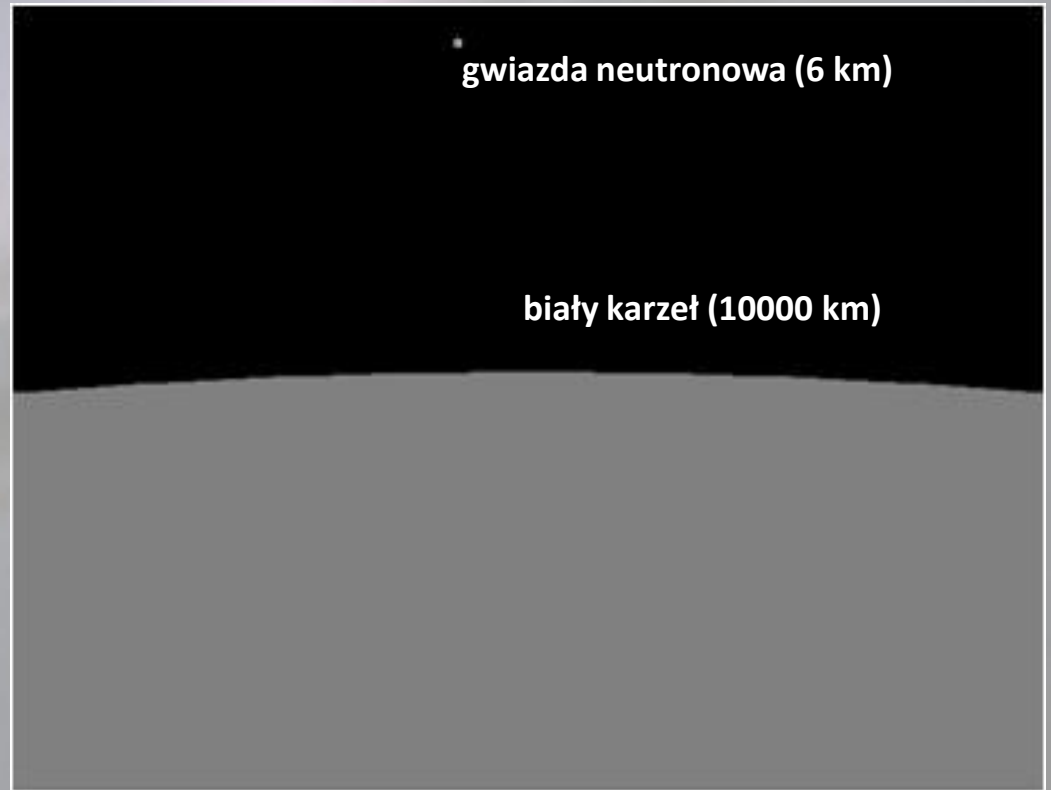
- eksplodujące białe karły (Ia)
- wybuchające gwiazdy masywne (Ib, Ic, II)





**19.10.1910 r. – 21.08.1995 r.**

**Górny limit na masę białego karła:  $\sim 1.4 M$**



## The progenitor of a Type Ia supernova

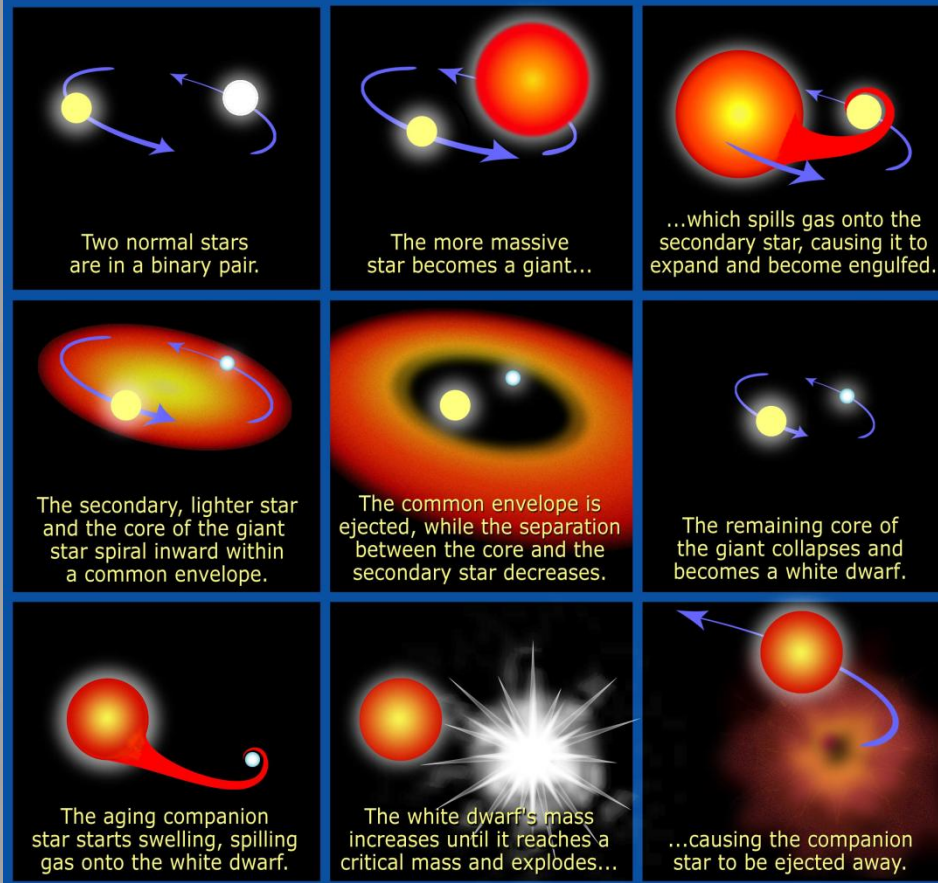


Illustration credit: NASA, ESA and A. Feild (STScI)

Eksplodujące białe karły, które mają masę prawie dokładnie równą granicy Chandrasekhara

Podobne masy eksplodujących białych karłów → podobne jasności supernowych → świece standardowe

## White Dwarf Deflagration

Resolution: 6 km

Initial Bubble Radius: 18 km

Ignition Offset: 42 km

Variable 1: Density [1.5e+07 - 2.0e+07]

Variable 2: Reaction Progress [0.0 - 1.0]



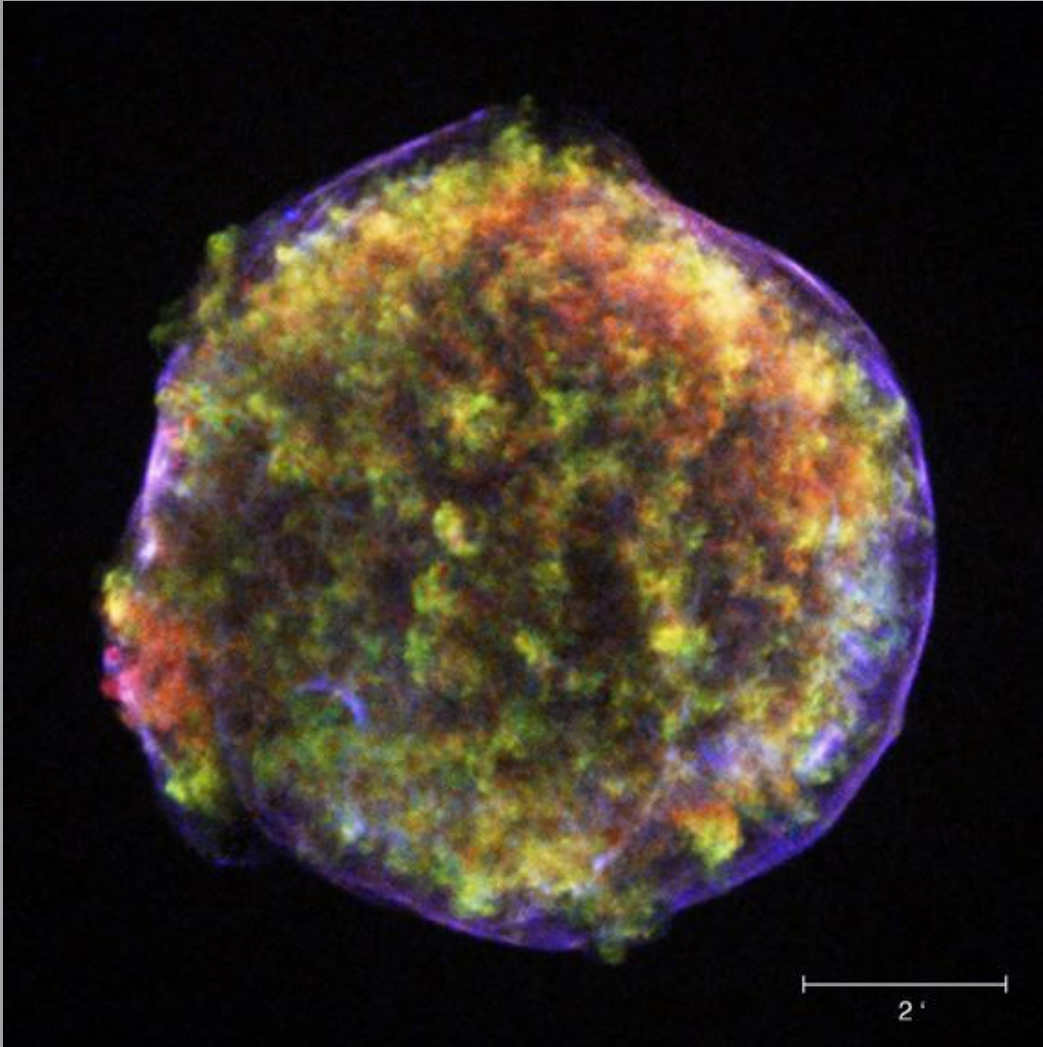
11 listopada 1572 r.



**Tycho Brahe**  
14.12.1546 r. – 24.10.1601 r.



(Oliver Krause, MPIA)



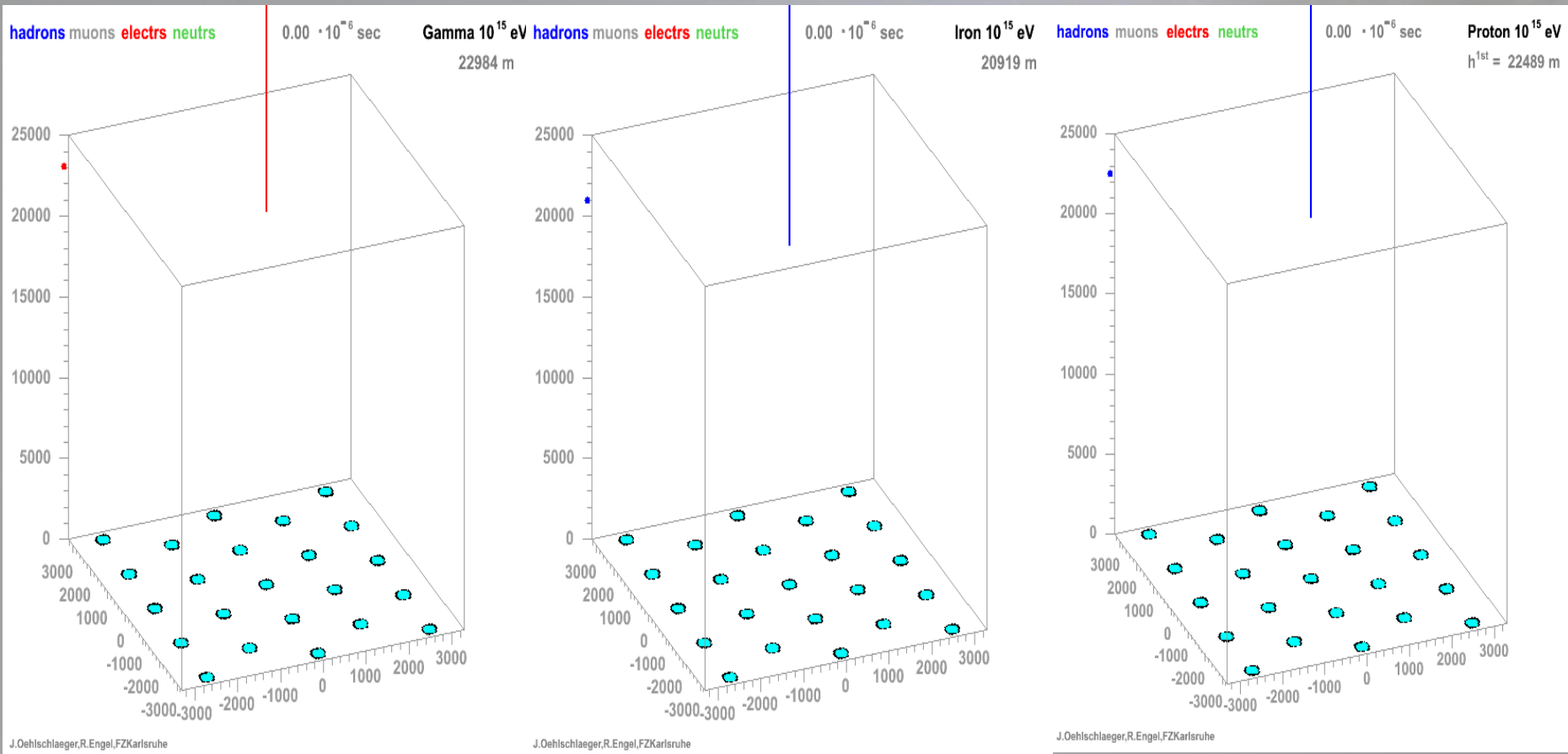
**Dwie fale uderzeniowe wędrujące na zewnątrz i do wewnątrz pozostałości**

**Front zewnętrznej fali powinien być oddalony o około 2 l. św., a obserwacje teleskopu Chandra pokazują, że jest w odległości jedynie 0.5 l. św.**

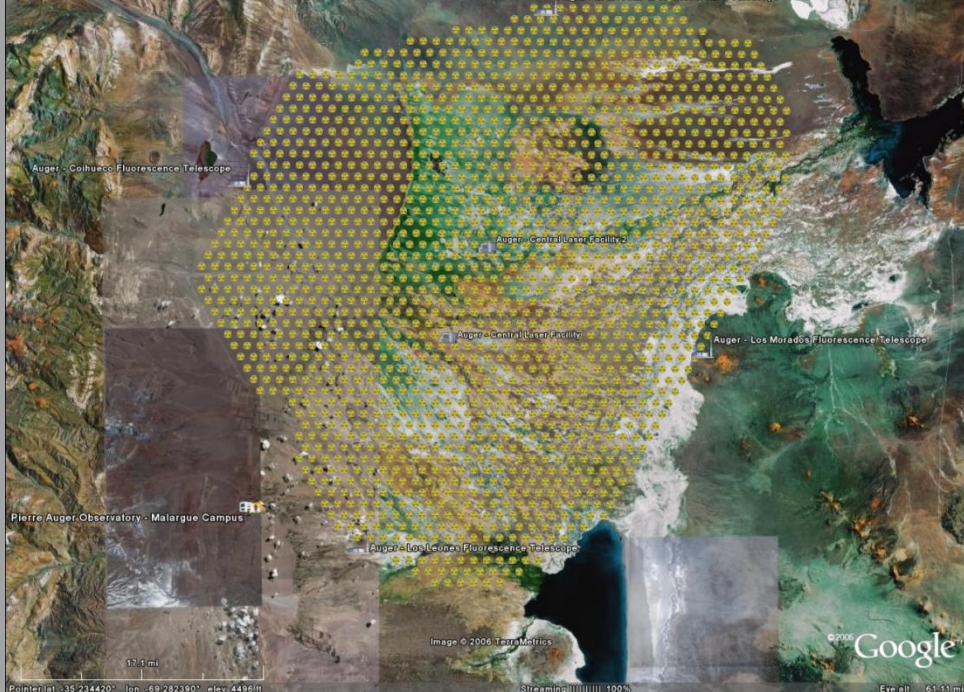
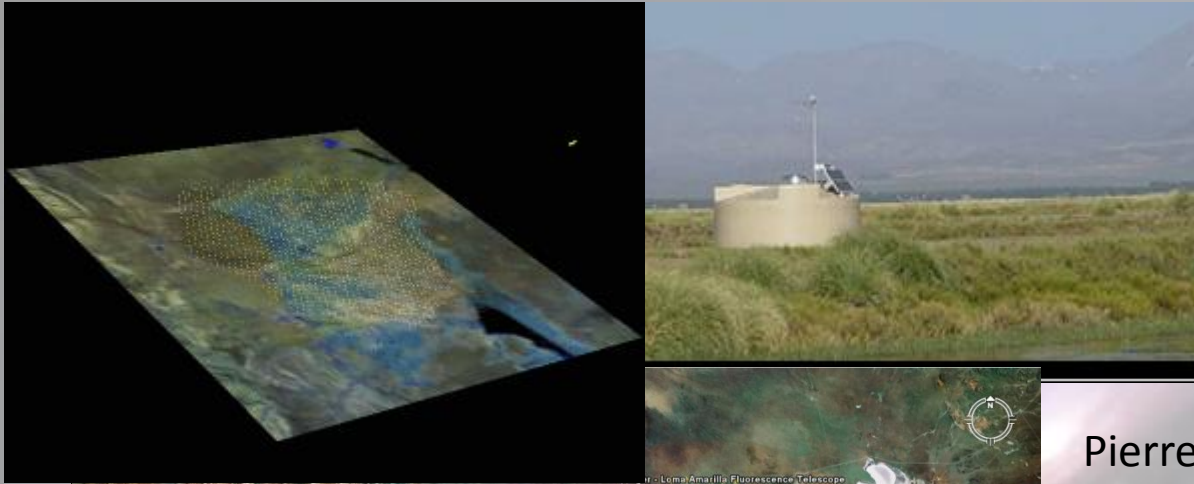
**Wytłumaczeniem tego faktu może być transfer energii frontu fali uderzeniowej na przyspieszenie cząstek do wysokich energii.**

**Obserwacje Chandra wskazują, że źródłem wysokoenergetycznego promieniowania kosmicznego mogą być wybuchy supernowych**

Wielkie pęki powstają kiedy cząstki pr. kosmicznego wpadają w atmosferę ziemską



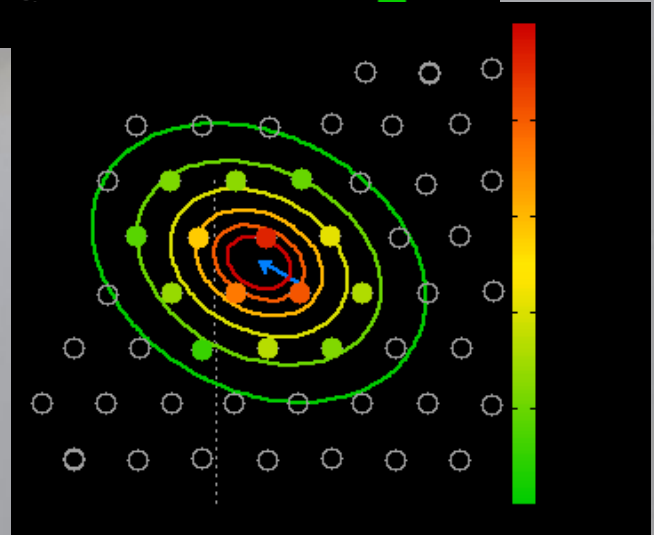
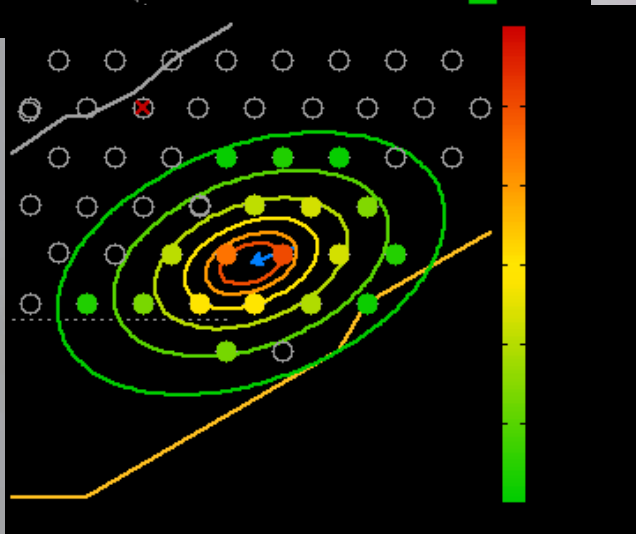
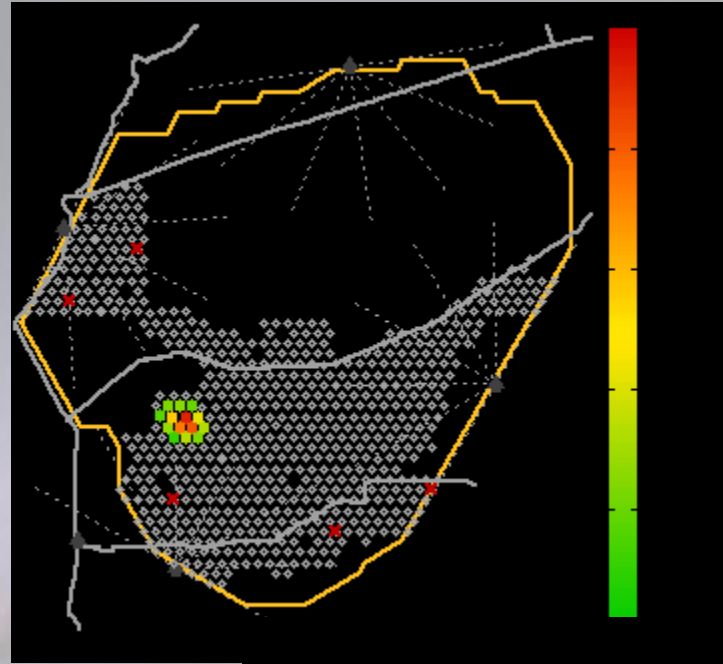
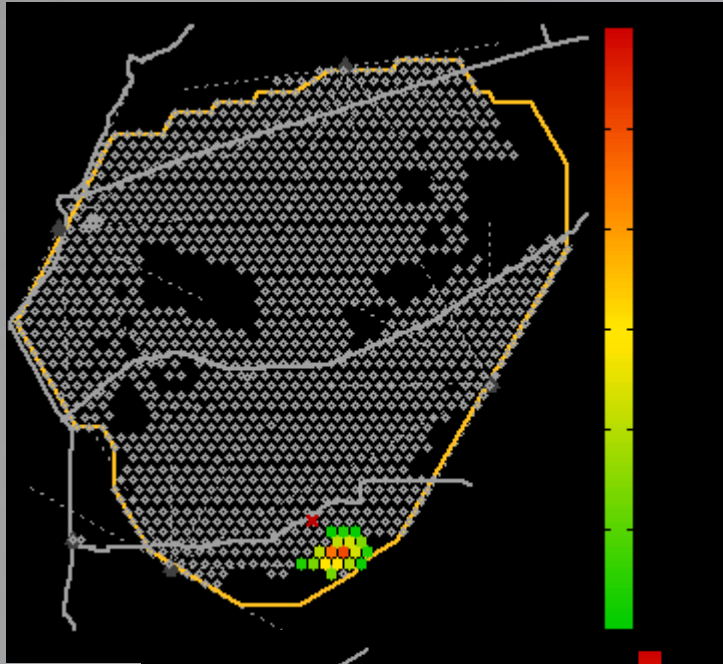
# Pierre Auger Observatory



Pierre Auger Observatory składa się z 1600 zbiorników z wodą (12 000 litrów) rozmieszczonych co 1.5 kilometra

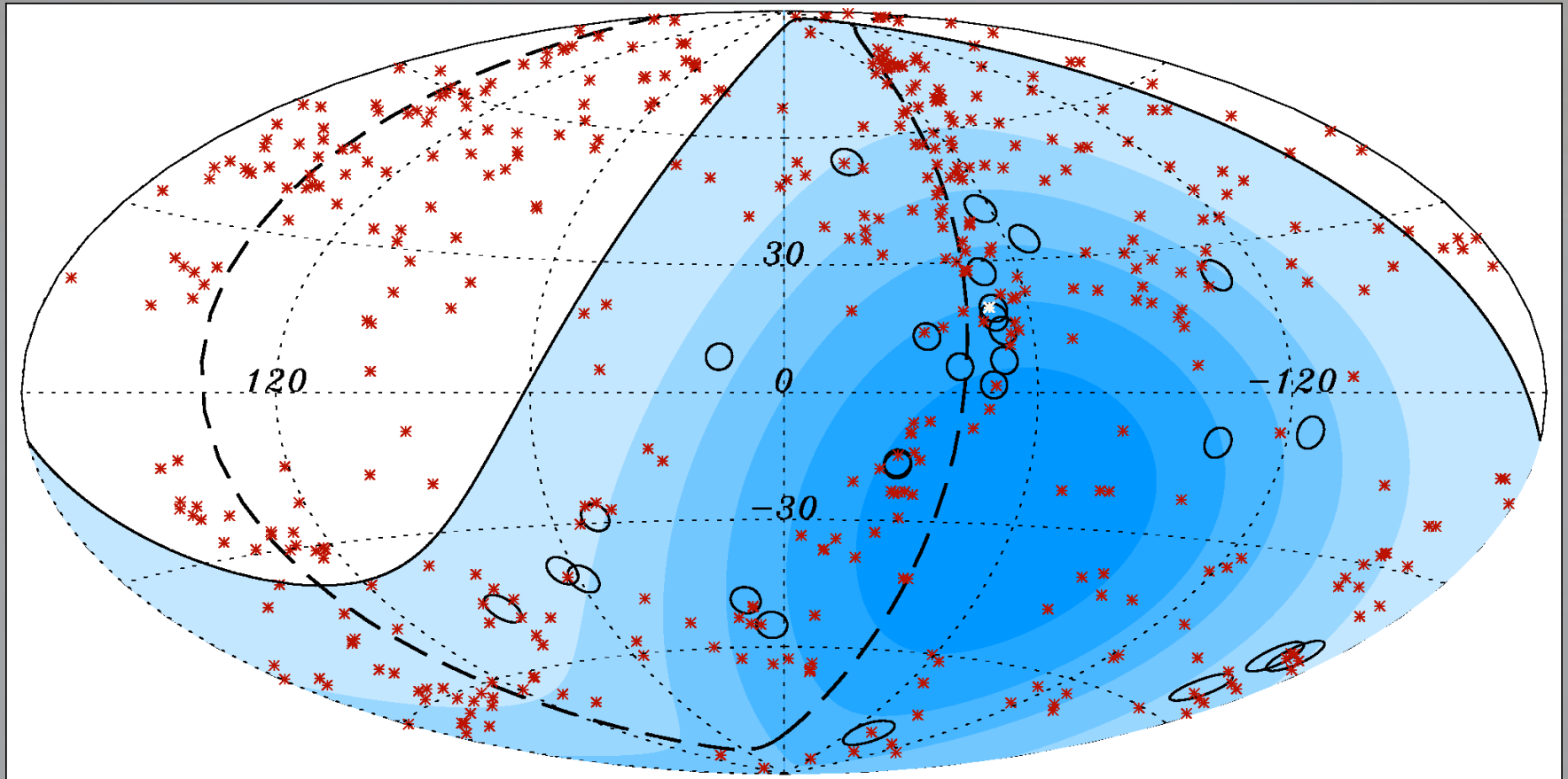
Cząstki z wielkich pęków wpadające do zbiornika poruszają się z prędkością większą niż prędkość światła w wodzie.

Emitowane wtedy promieniowanie Czerenkowa jest rejestrowane przez fotonowielacze



Oct 30 11:14:14 2007 (41 EeV)

Mar 5 15:54:48 2005 (37 EeV)



Czerwone gwiazdki – położenia AGN do odległości 75 Mps

Odcienie Błękitu – pole widzenia dla obserwatorium

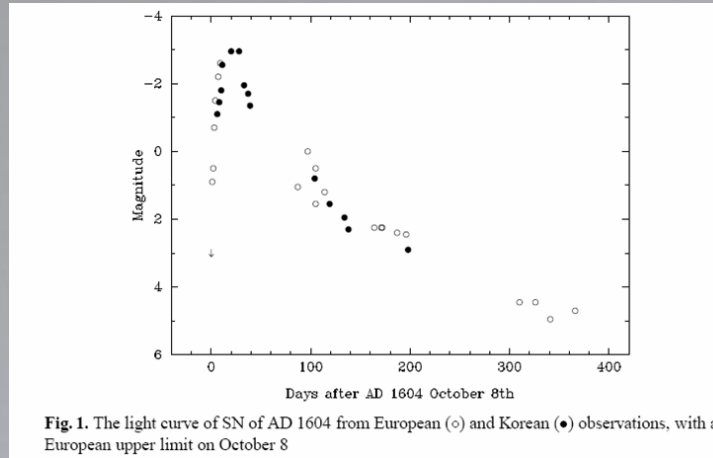
Biała gwiazdka – Centaur A

Kontury – kierunki dla 27 najbardziej energetycznych zdarzeń (powyżej  $57 \times 10^{18}$  eV )

# Pozostałości po supernowych Ia



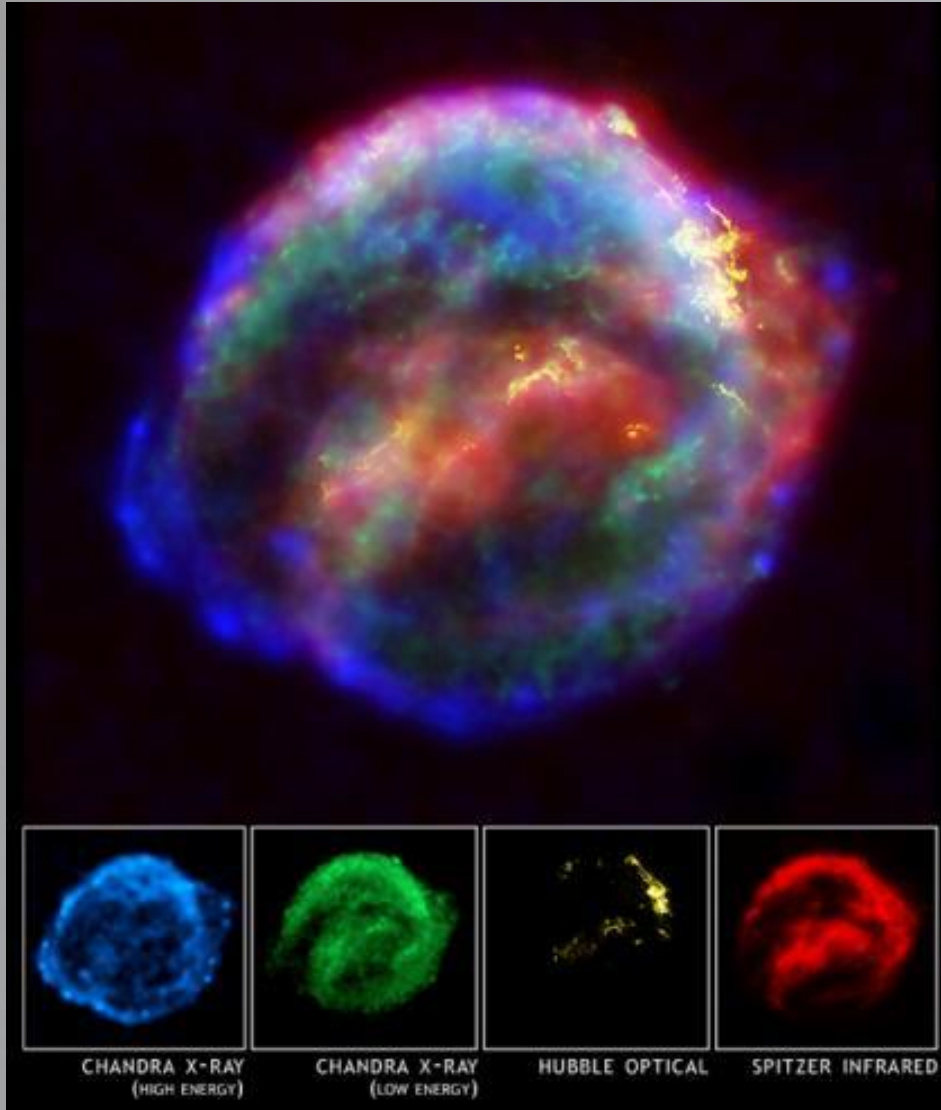
Jan Kepler



Green i Stephenson 2003, Lecture Notes in Physics 598, 7

9 października 1604 r.





Obserwacje HST pokazują miejsca gdzie front fali uderzeniowej spotyka gęsty ośrodek.

Spitzer pokazuje promieniowanie podczerwone pochodzące od pyłu podgrzanego przez front fali uderzeniowej.

Najgorętszy ośrodek (kolor niebieski) znajduje się tuż za frontem fali uderzeniowej. Związany jest z cząstkami przyspieszonymi na froncie fali uderzeniowej, które wirują dookoła linii sił pola magnetycznego.

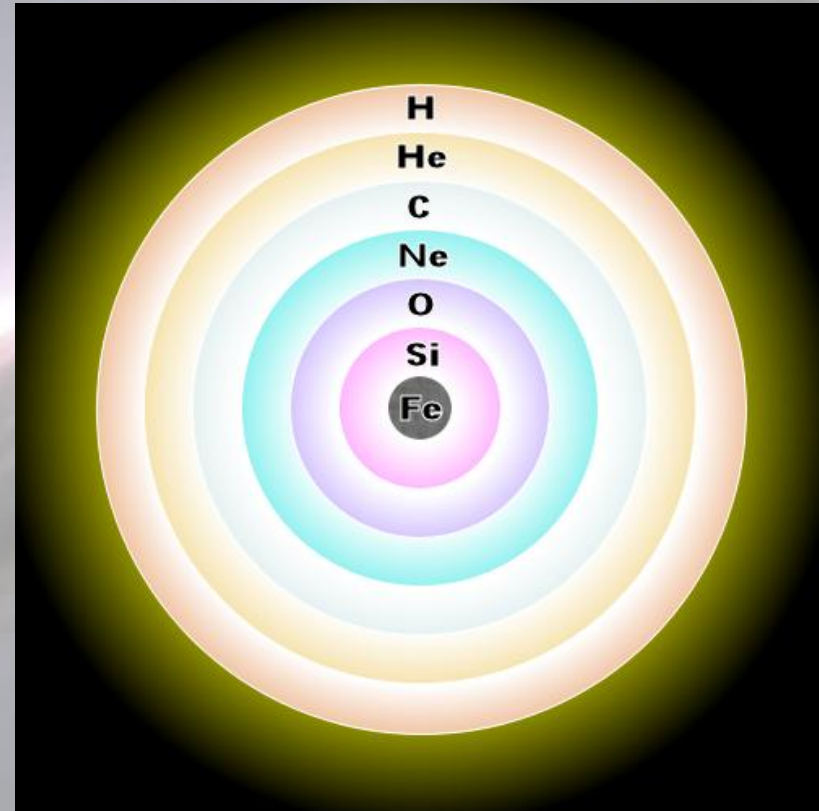
Nieco chłodniejsze obszary (kolor zielony) pochodzą od podgrzanej plazmy eksplodującej gwiazdy.

Dokładna analiza obfitości pierwiastków w pozostałościach (Chandra) wskazuje, że była to supernowa typu Ia



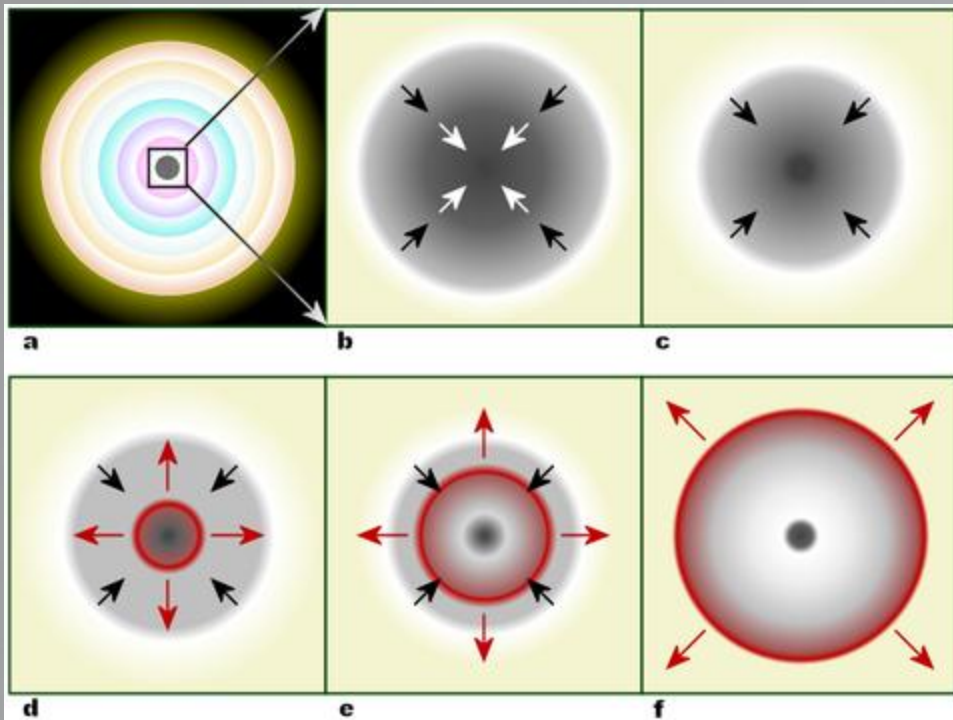
# Supernowe Ib, Ic, II

Gwiazda o masie $25 M_{\odot}$				
Źródło energii	Główny produkt	Temperatura [K]	gęstość (g/cm <sup>3</sup> )	trwanie
palenie wodoru	hel	$7 \times 10^7$	10	$10^7$ lat
reakcja $3\alpha$	węgiel, tlen	$2 \times 10^8$	2000	$10^6$ lat
palenie węgla	Ne, Na, Mg, Al	$8 \times 10^8$	$10^6$	$10^3$ lat
palenie neonu	O, Mg	$1.6 \times 10^9$	$10^7$	3 lata
palenie tlenu	Si, S, Ar, Ca	$1.8 \times 10^9$	$10^7$	0.3 roku
palenie krzemu	nikiel (rozpadający się do żelaza)	$2.5 \times 10^9$	$10^8$	5 dni



Author: R. J. Hall

## Supernowe Ib, Ic, II

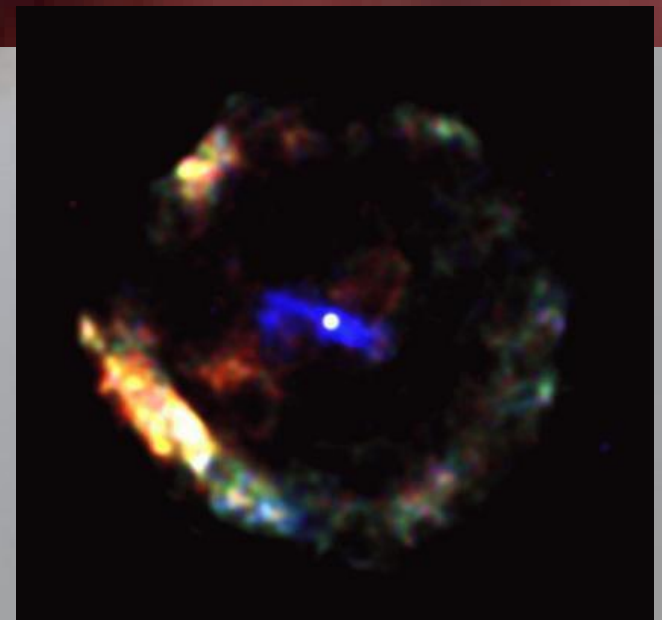


Author: R.J. Hall

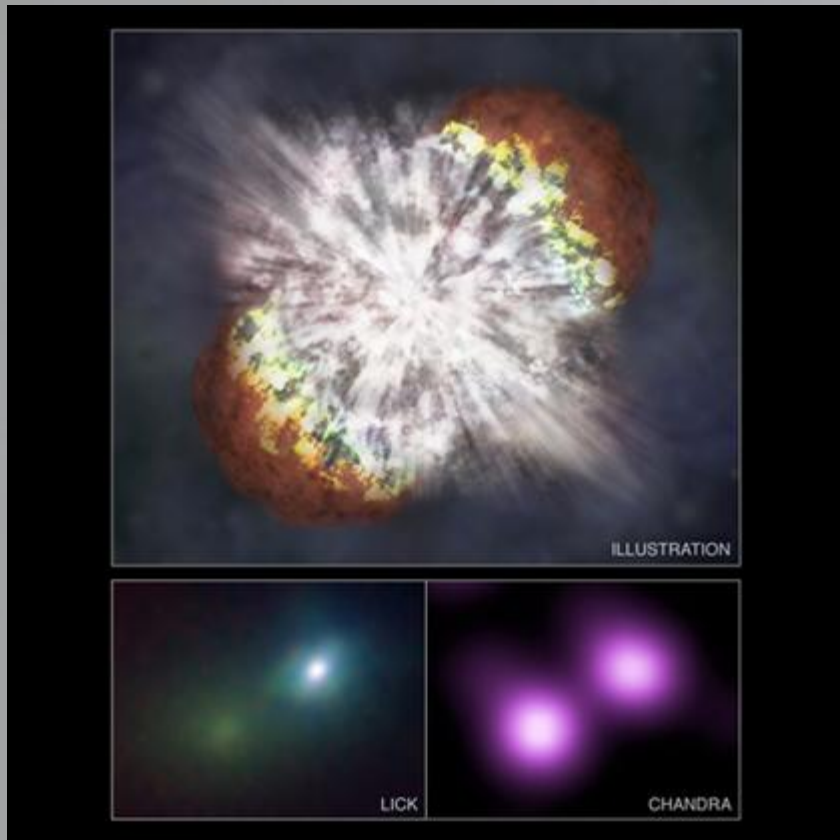
Po utworzeniu jądra żelazowego reakcje w centrum ustają.

Jądro zapada się do gwiazdy neutronowej lub czarnej dziury.

Powstaje olbrzymi strumień neutrin napędzających reakcje termojądrowe w zewnętrznych warstwach.



Credit: NASA/McGill/V.Kaspi et al.



NGC1260 w podczerwieni

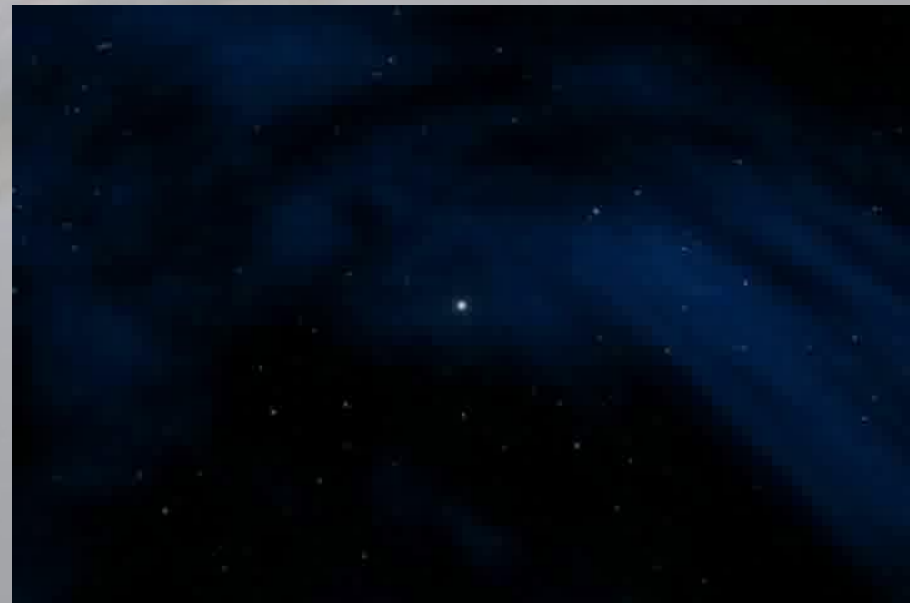
Słabe źródło to centrum galaktyki, a jasne to supernowa

### SN2006GY

Jedna z najjaśniejszych supernowych kiedykolwiek obserwowanych

Obserwacje rentgenowskie pozwoliły stwierdzić, że eksplodowała bardzo masywna gwiazda, a nie biały karzeł (świeciła zbyt słabo w zakresie rentgenowskim)

Masa ok.  $150 M_{\odot}$  – typ supernowych, które były bardziej powszechne w młodym Wszechświecie



# *Eta Carinae*



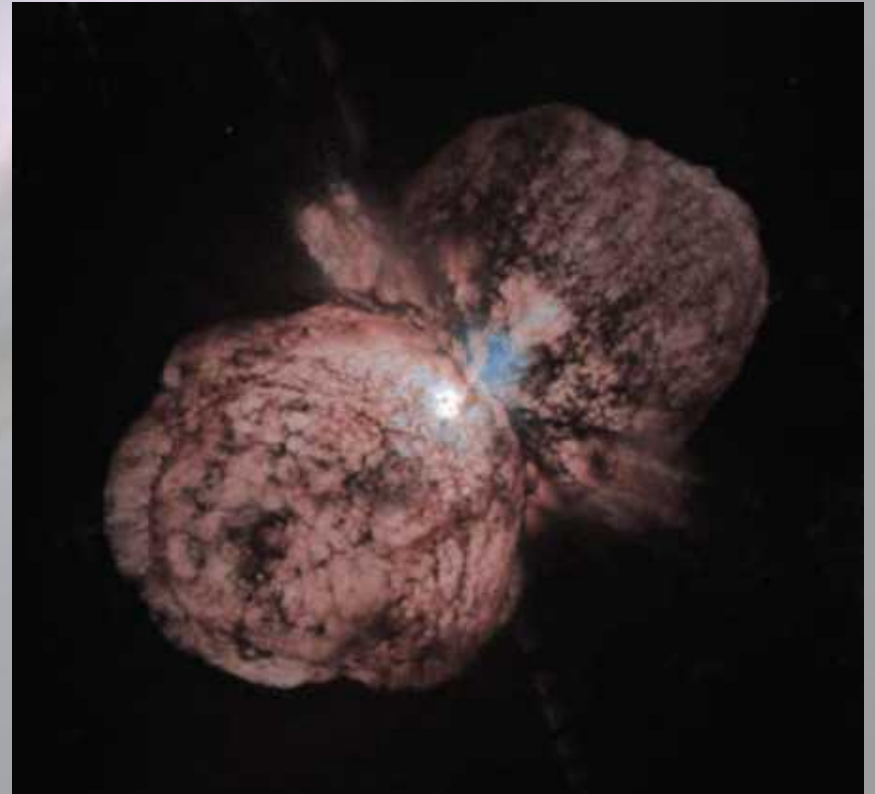
Credit: X-ray: NASA/CXC/GSFC/M.Corcoran et al.; Optical: NASA/STScI



Niebieski – HST  
Żółty - Chandra

Masa od 100 do 150  $M_{\odot}$

Bardzo podobna do gwiazdy, która  
ekspłodowała jako SN2006GY



## Pozostałości po supernowych Ib, Ic, II

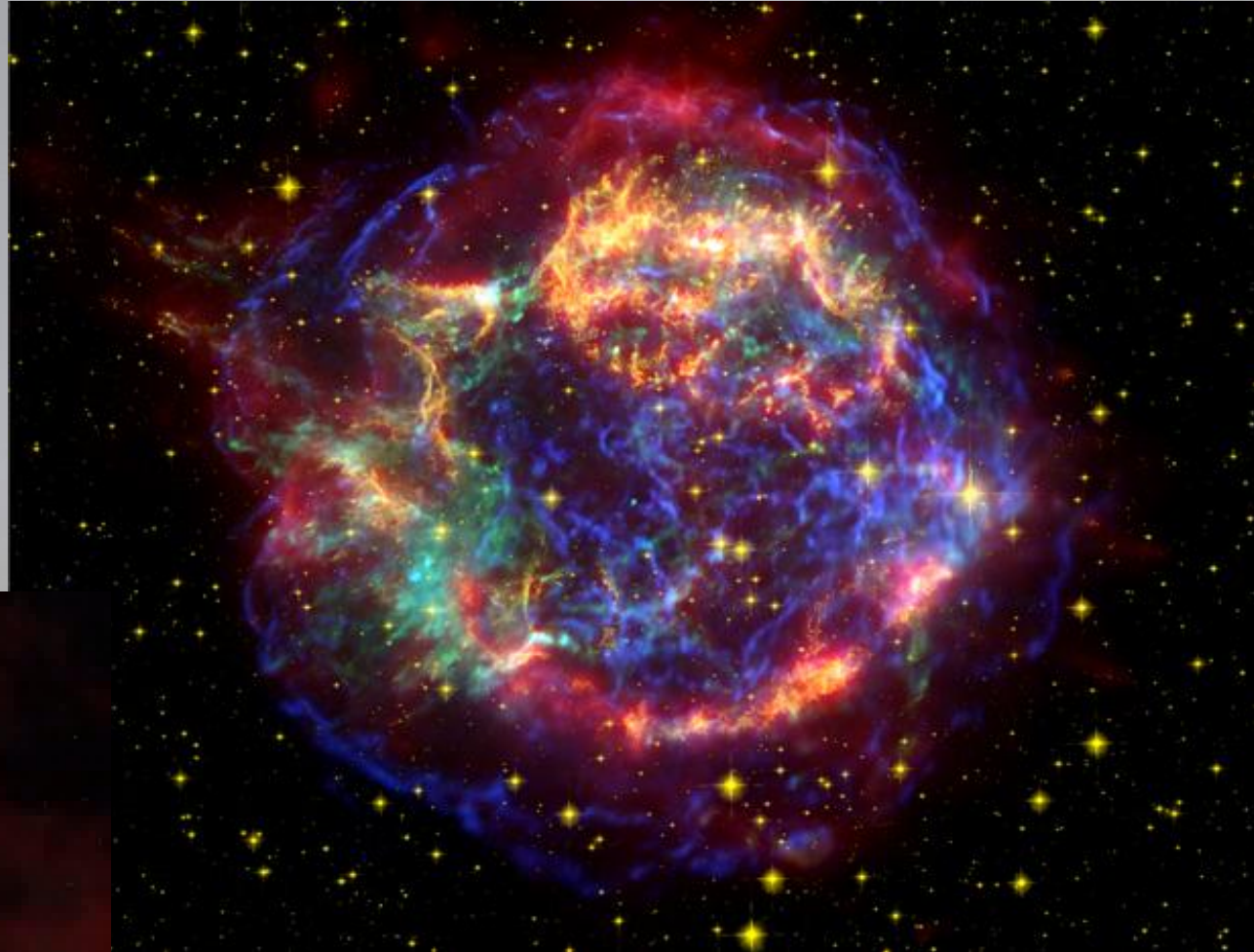
Wybuch masywnej  
gwiazdy, który nastąpił  
ok. 300 lat temu

Kolory:

czerwony – Spitzer (~280 K)

żółty – HST (10 000 K)

zielony i niebieski – Chandra  
( $10^6$  K)



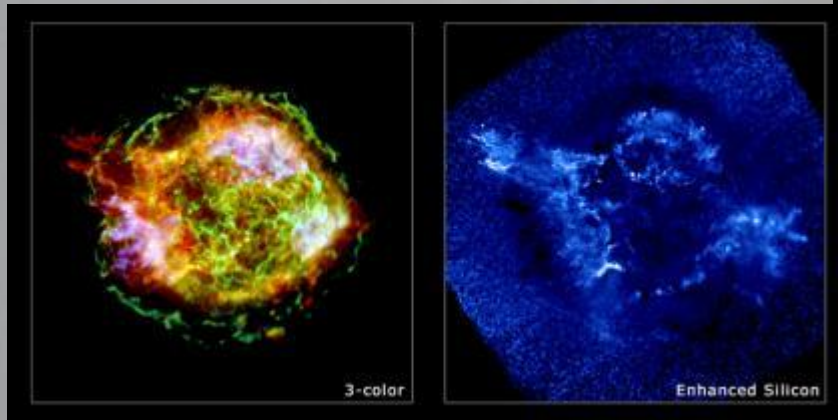
Credit: X-ray: NASA/CXC/SAO; Optical: NASA/STScI;  
Infrared: NASA/JPL-Caltech/Steward/O.Krause et al.

Obraz wykonany w szerokim zakresie widma jest najbardziej symetryczny – widoczna emisja to promieniowanie synchrotronowe

Krzem: wyraźny dżet (górny lewy róg) i słabe strugi po przeciwnej stronie wskazują na asymetrię eksplozji

Obraz „wapniowy” jest podobny

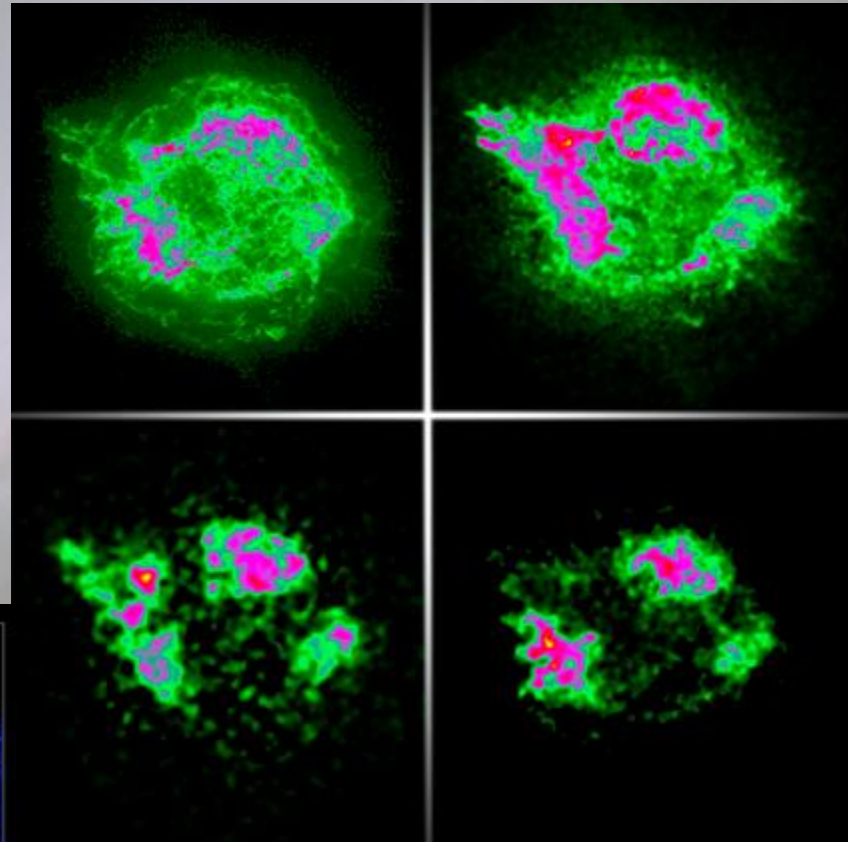
Żelazo – kierunek ruchu prawie prostopadły do kierunku dżetu widocznego w linii krzemu i wapnia



## Cassiopeia A

szerokopasmowy

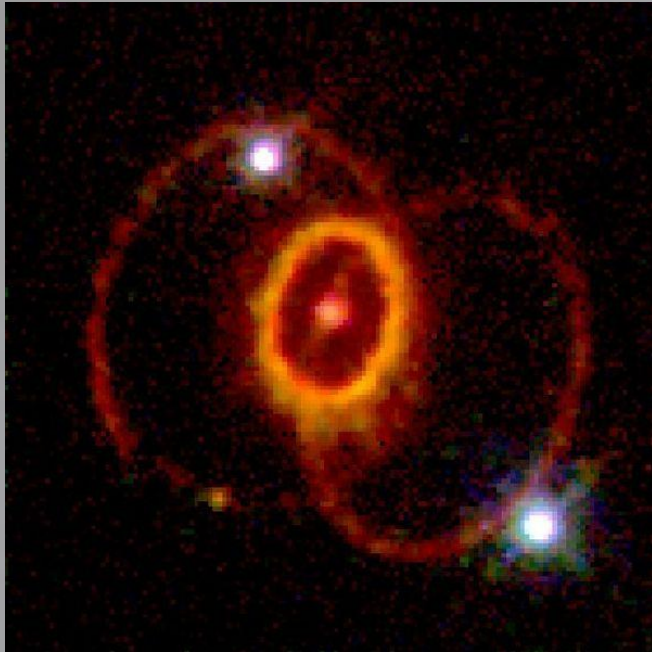
krzem



wapń

żelazo

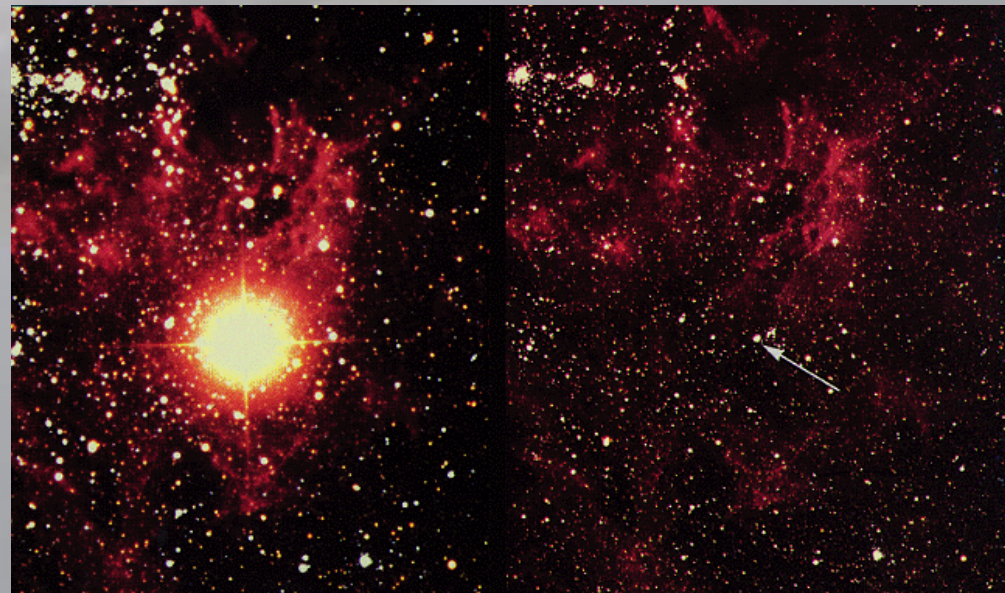
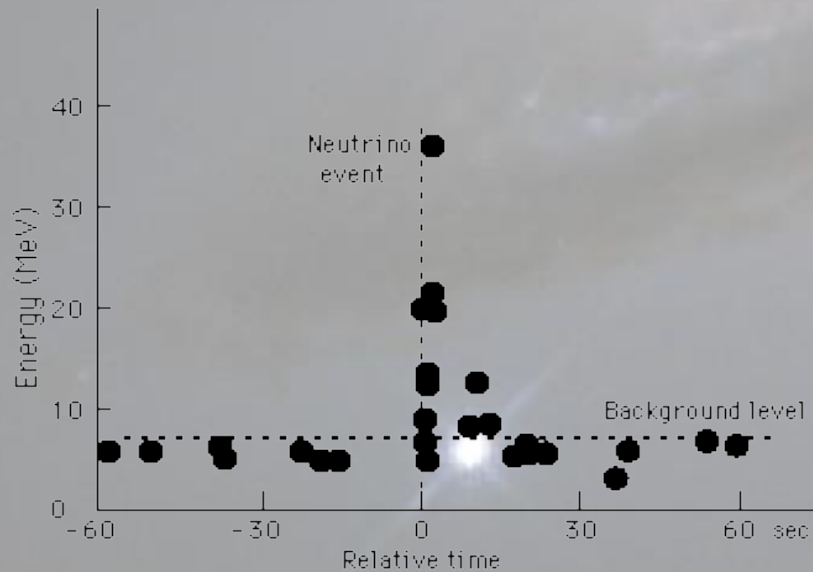
# SN 1987A – pierwsza detekcja neutrin od supernowej



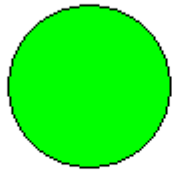
23 lutego 1987 w Wielkim Obłoku Magellana

Najjaśniejsza od prawie 400 lat

Gwiazda miała masę  $35 \pm 5 R_{\odot}$



## Rozpad beta



**NEUTRON**

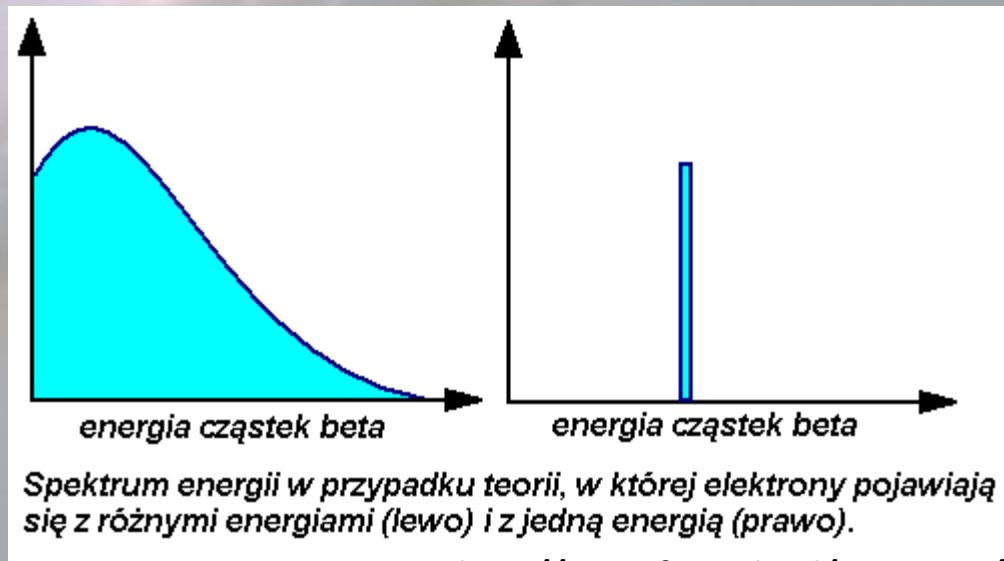
<http://www.fuw.edu.pl/~neutrino/>



Fred Reines i Clyde Cowan (1955)

Ponieważ widmo elektronów powstających w rozpadzie beta ma rozkład ciągły więc musi istnieć cząstka unosząca pozostałą energię

*"Zrobiłem straszną rzecz. Zapostulowałem istnienie cząstek, które nie mogą być odkryte..." - W. Pauli*



Spektrum energii w przypadku teorii, w której elektrony pojawiają się z różnymi energiami (lewo) i z jedną energią (prawo).

<http://www.fuw.edu.pl/~neutrino/>

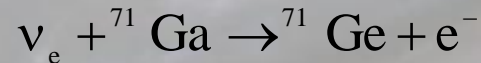


## Metoda radiochemiczna

Odwrotna przemiana  $\beta$ :

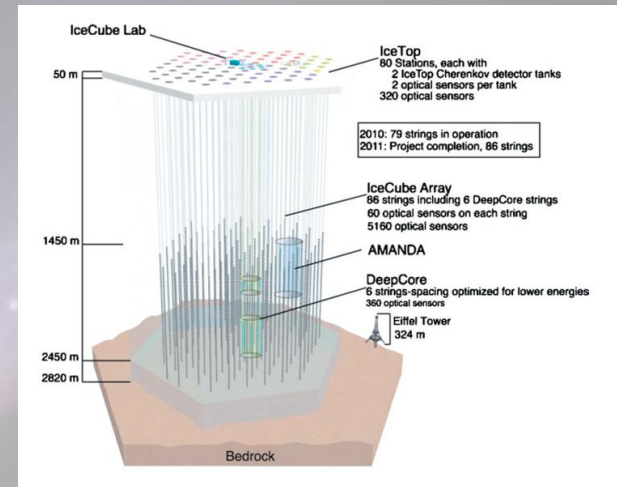


Przykłady wykorzystania:



minimalna energia: 0.81 MeV

minimalna energia: 0.23 MeV



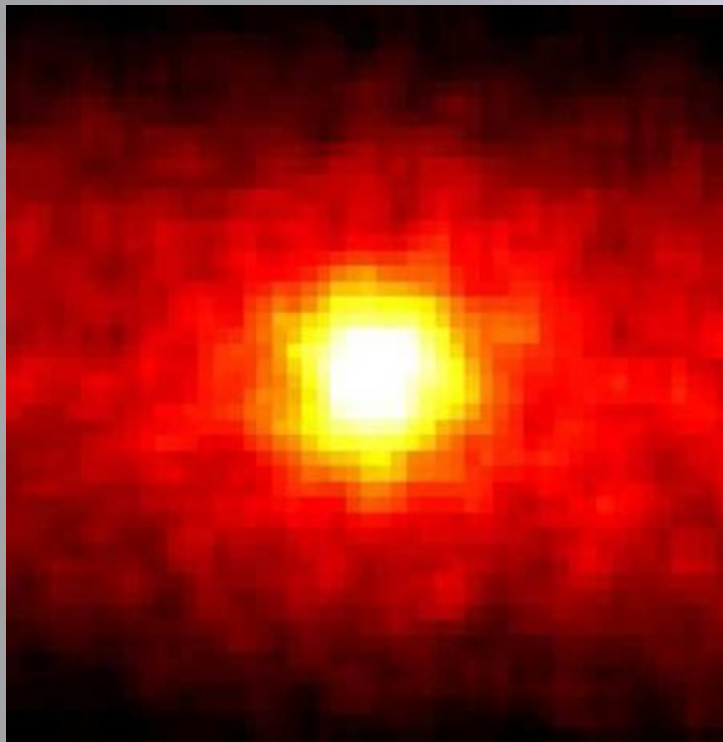
Ice Cube Observatory

W wyniku otrzymujemy liczbę reagujących cząstek. Brak informacji o energii, czasie zjawiska i kierunku.

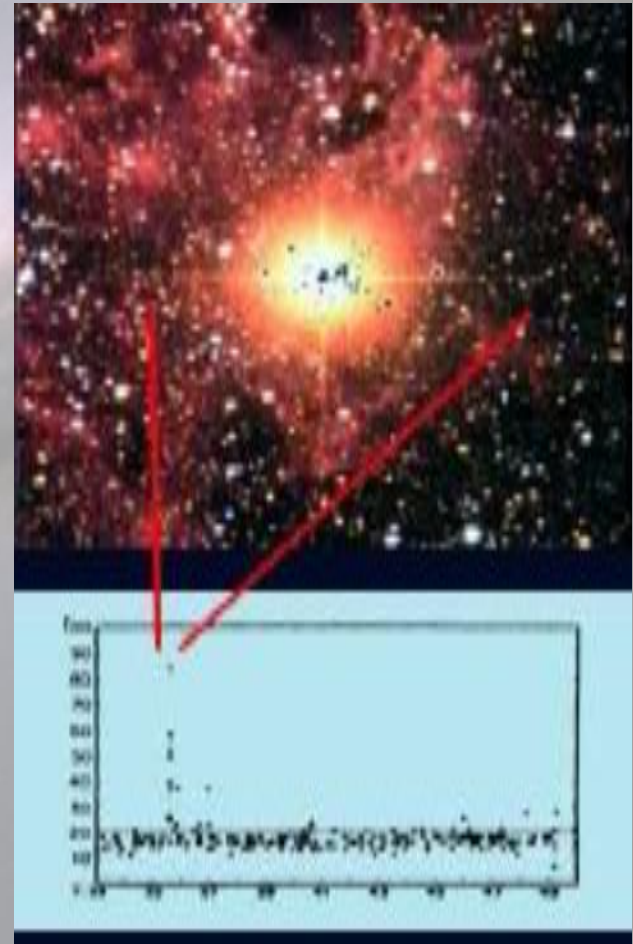
Podziemne – Fermilab, SNO, FREJUS, HELLAZ, NOE, BOREXINO, DAMA, GALLEX, ICARUS, LVD, MACRO, Homestake, IMB, SAGE, SOUDAN-2, SuperKamiokande

Podwodne – NESTOR, BAIKAL, DUMAND

Podlodowe – AMANDA, RAND

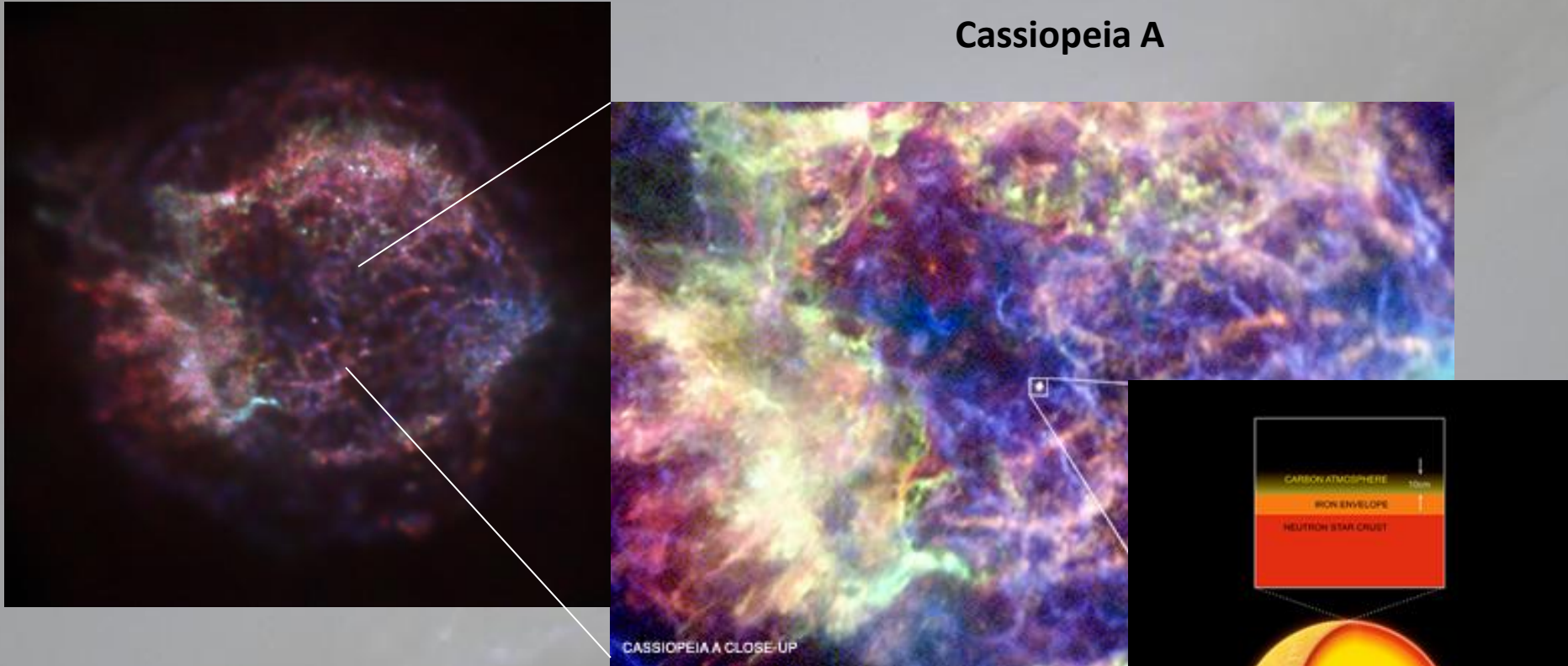


Słońce



SN 1987A

## Cassiopeia A



### Obserwacje atmosfery gwiazdy neutronowej:

- zbudowana z węgla
- temperatura – 2 mln K
- ciśnienie – 10 x ciśnienie wewnątrz Ziemi
- grubość – 10 cm
- przyspieszenie grawitacyjne –  $10^{11}$  g
- gęstość – porównywalna z gęstością diamentu

# Mgławica Krab (M1)

rentgenowskie

widzialne

podczerwone

radiowe

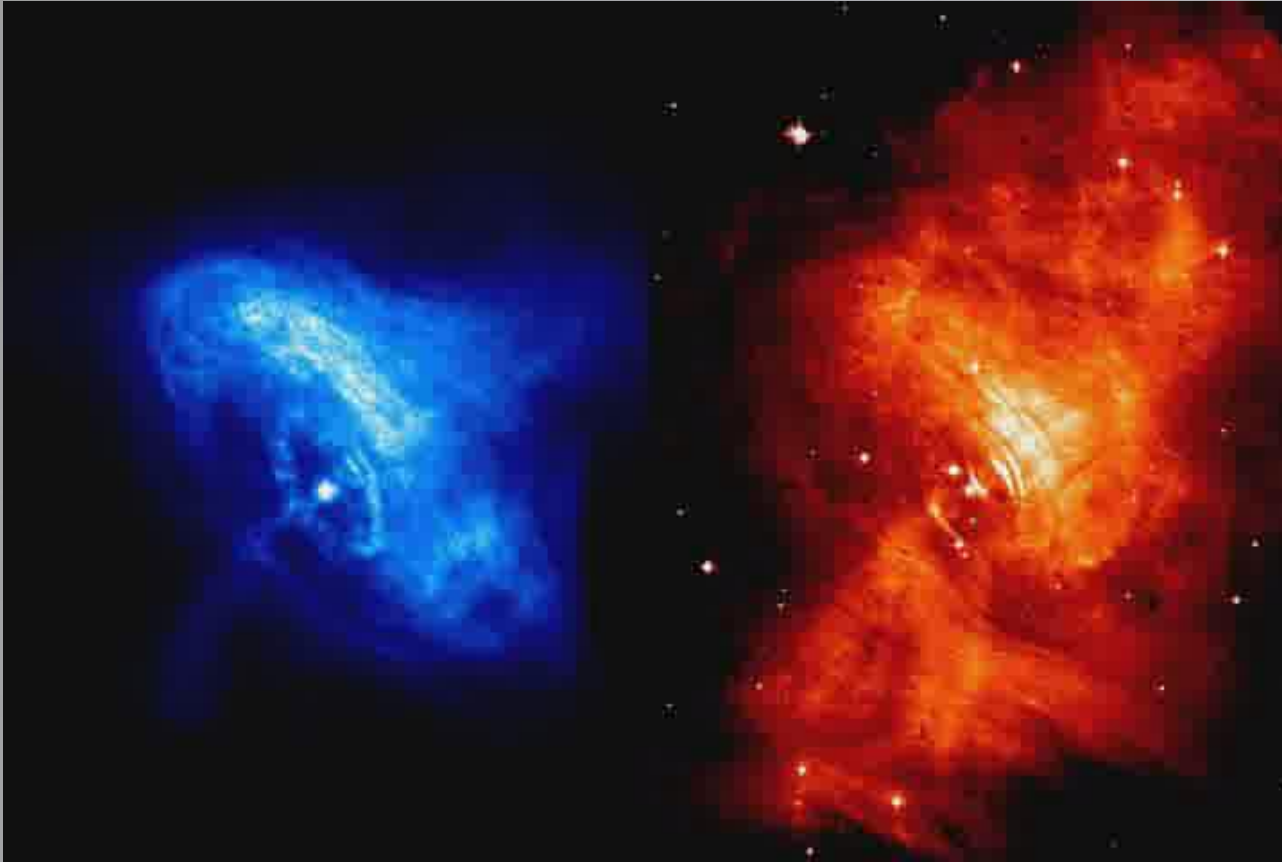


Supernowa obserwowana w 1054 r. przez astronomów arabskich i chińskich

W centrum widoczny jest pulsar



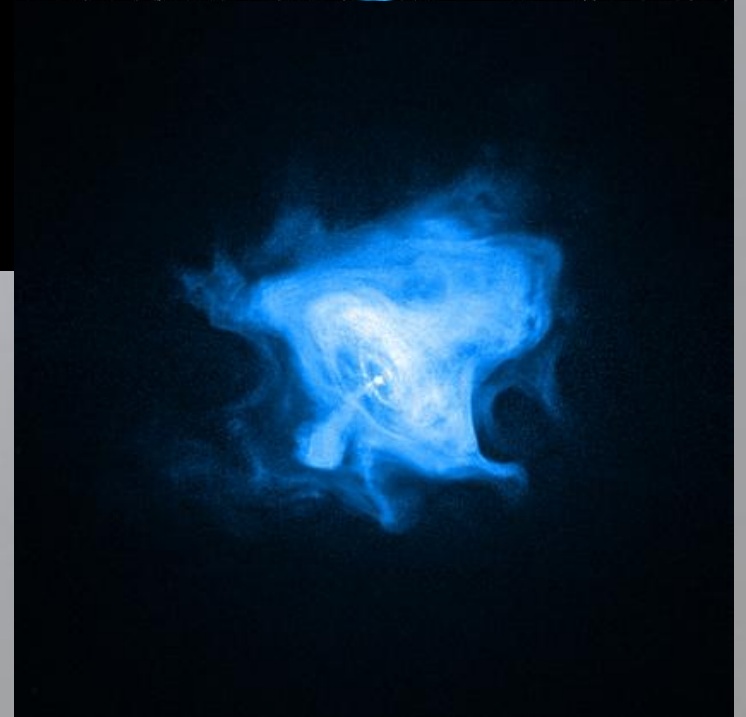
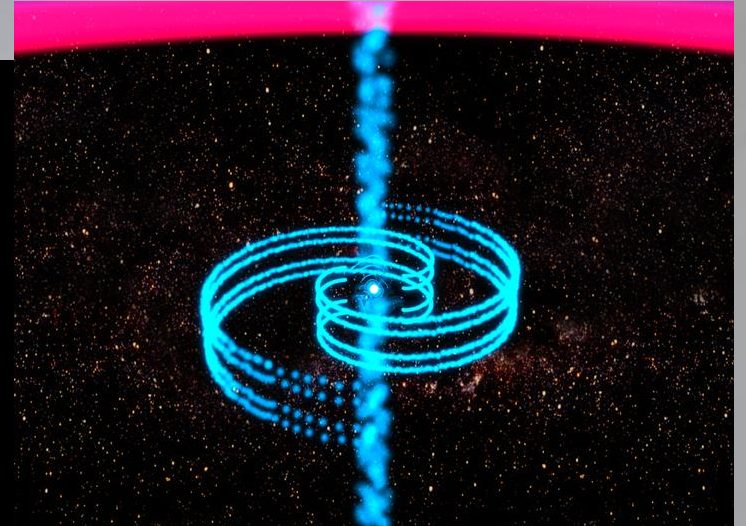
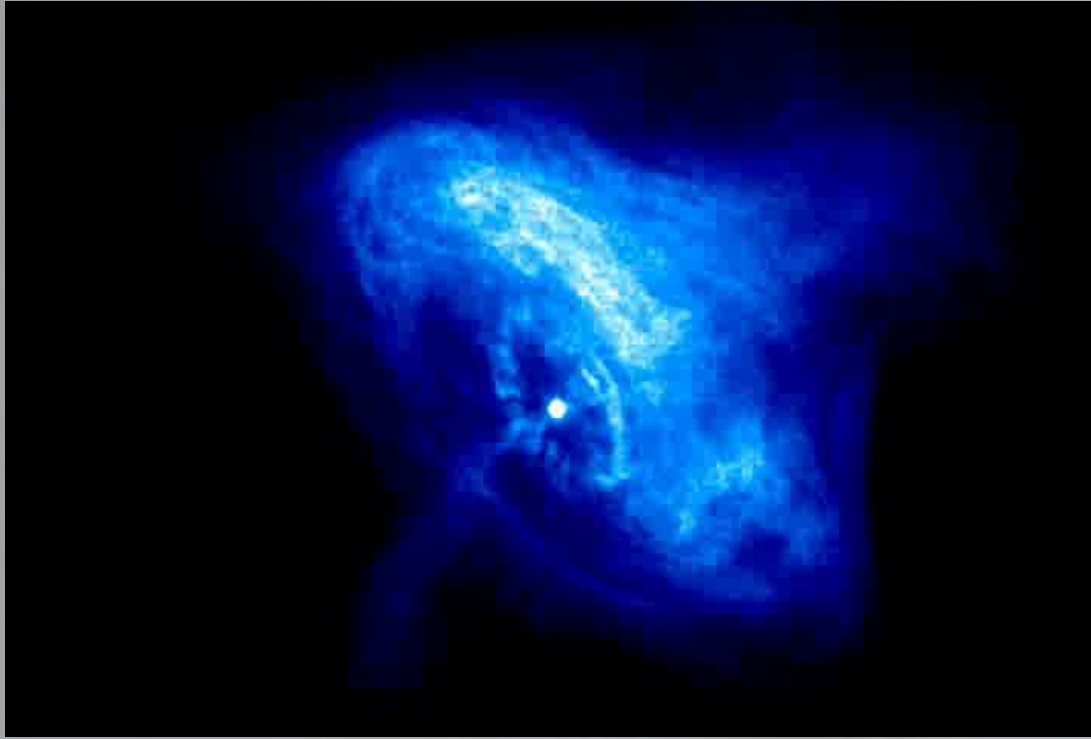
## Mgławica Krab (M1)



Niebieski – Chandra  
Czerwony – HST

Rozmiar wewnętrznego  
kręgu ~ 1 rok św.

X-ray: NASA/CXC/SAO/;Optical: NASA/ESA/ASU/



**Szybko rotujący pulsar jest bardzo efektywnym akceleratorem cząstek**

**Wewnętrzny krąg wskazuje miejsce, w którym rozpędzone cząstki zderzają się z ośrodkiem otaczającym pulsara**

**PSR B1509-58**

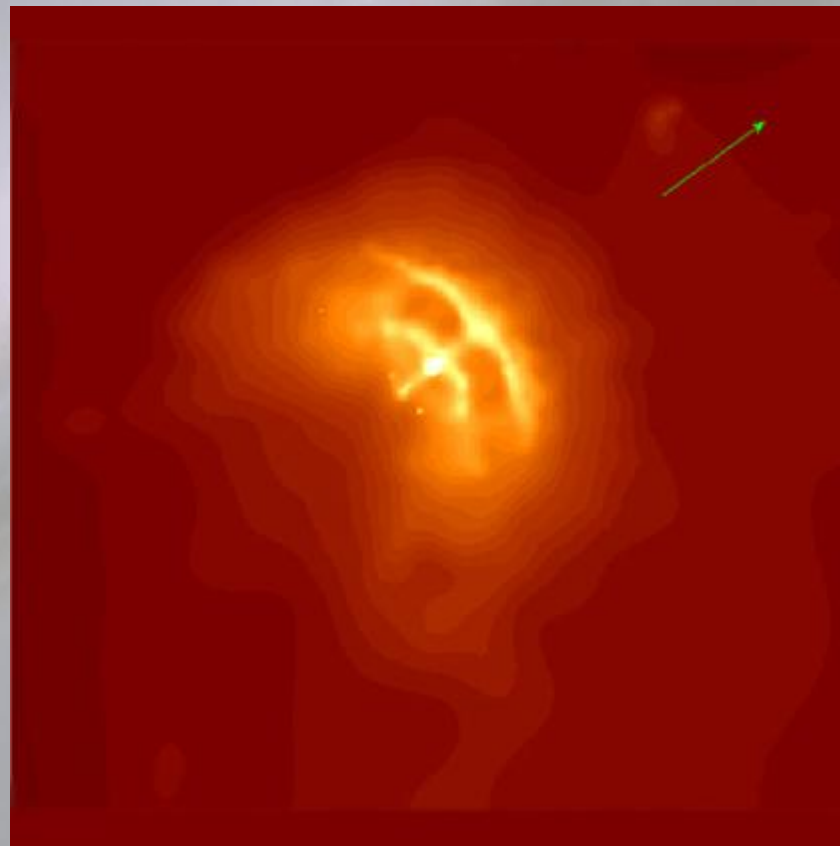
powstał około 1700 lat temu  
odległość od Ziemi – 17000 lat św.



Credit: NASA/CXC/SAO/P.Slane, et al.

**Vela pulsar**

podobne struktury jak w przypadku M1



Credit: NASA/PSU/G.Pavlov et al.

## Czy są groźne?



Silne supernowe:

czas

odległość w  
parsekach

44 000

110

37 000

180

32 000

160

22 000

250

Betelgeza ( $\alpha$  Ori):

- czerwony nadolbrzym
- 14-15  $M_{\odot}$
- 430 +/- 95 lat. św

