

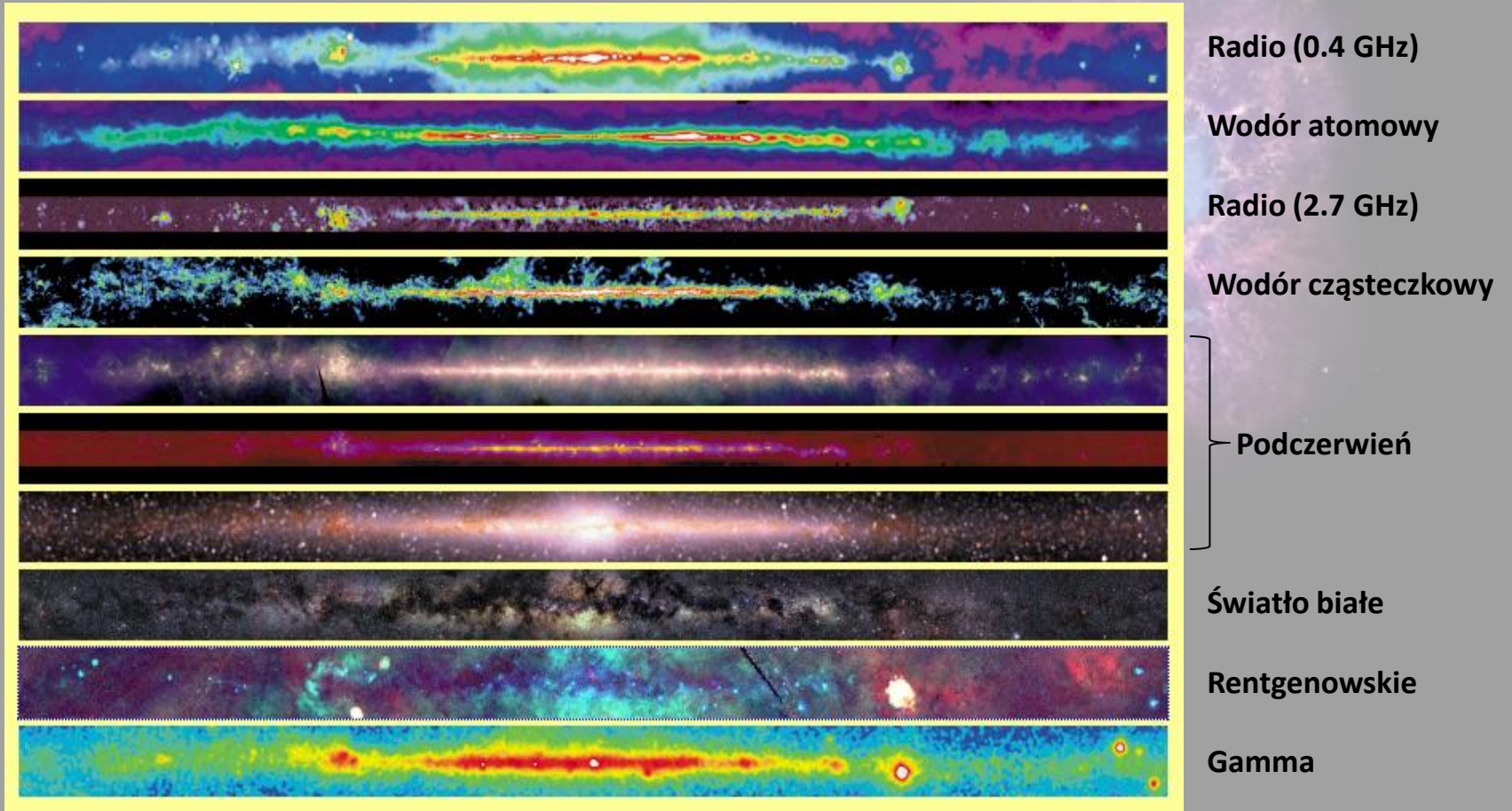
# Niespokojne oblicze Wszechświata.

10 lat obserwacji teleskopem *Chandra*



Tomasz Mrozek  
Instytut Astronomiczny  
Uniwersytet Wrocławski

# Promieniowanie elektromagnetyczne

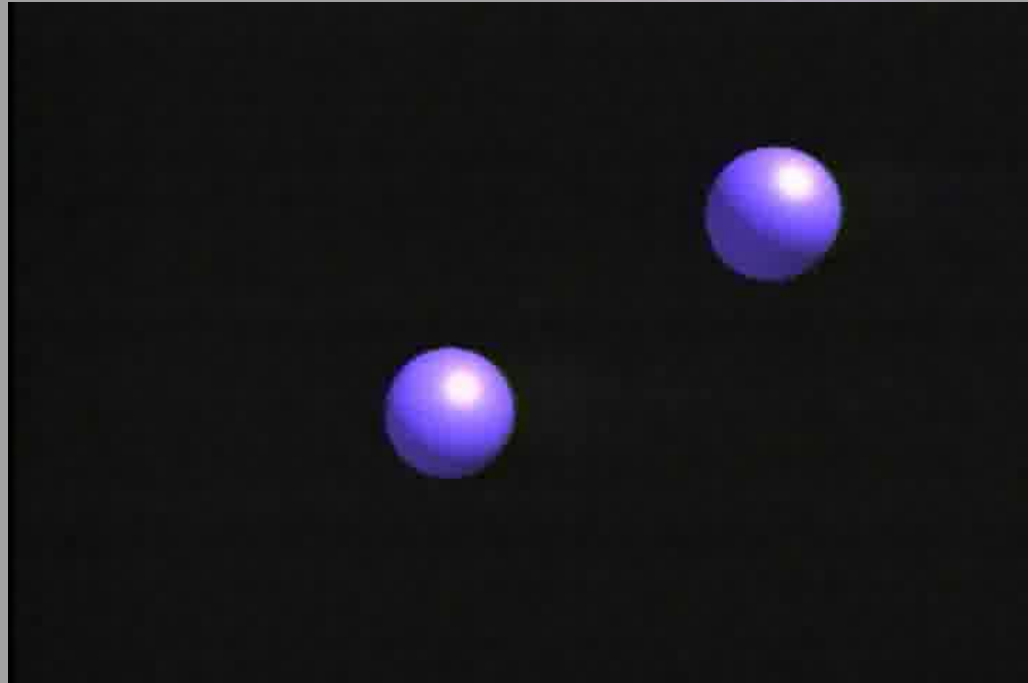


# Promieniowanie rentgenowskie

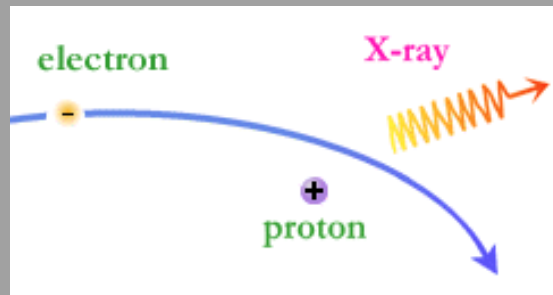


Wilhelm Röntgen

27.03.1845 r. - 10.02.1923 r.

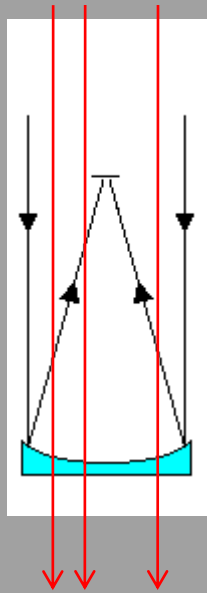
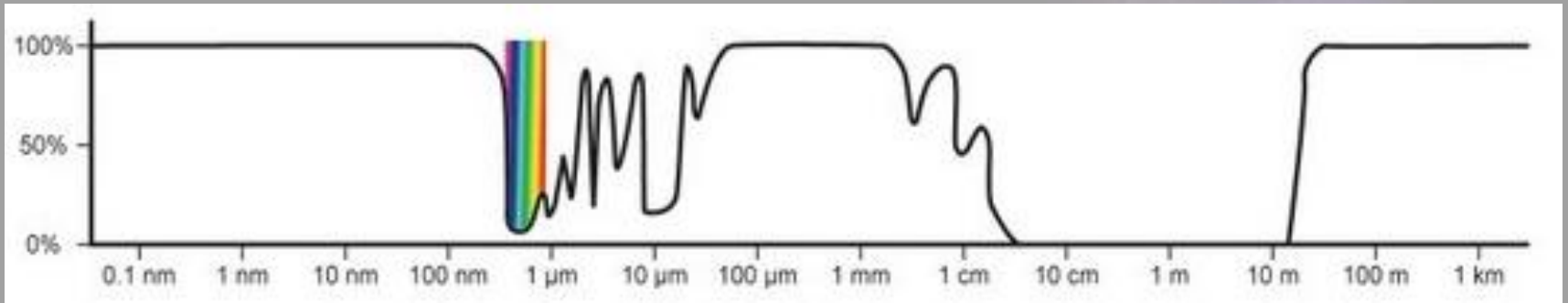


promieniowanie rentgenowskie:

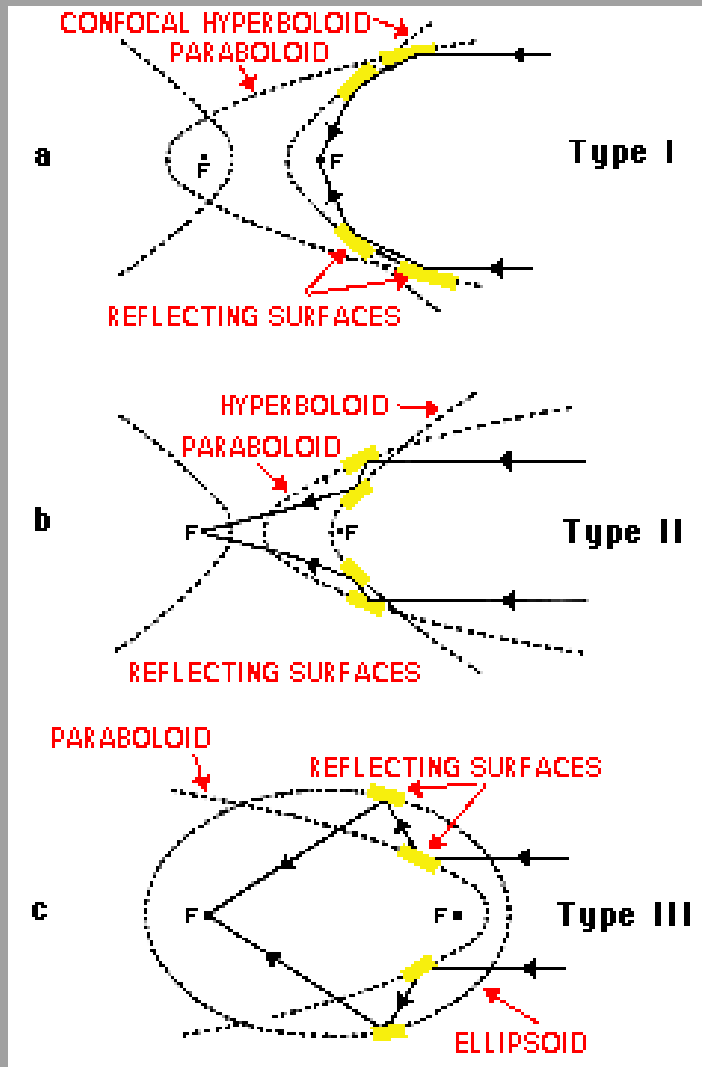


- termiczne
- hamowania
- synchrotronowe
- charakterystyczne

# Czym obserwować?



# Teleskop Woltera

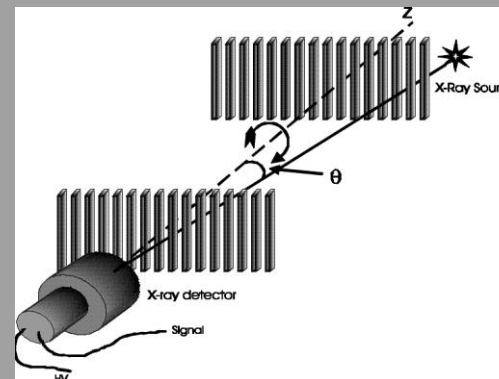


Kwantów promieniowania rentgenowskiego nie da się odbić od żadnej powierzchni, ale można pozwolić im się ślizgać.

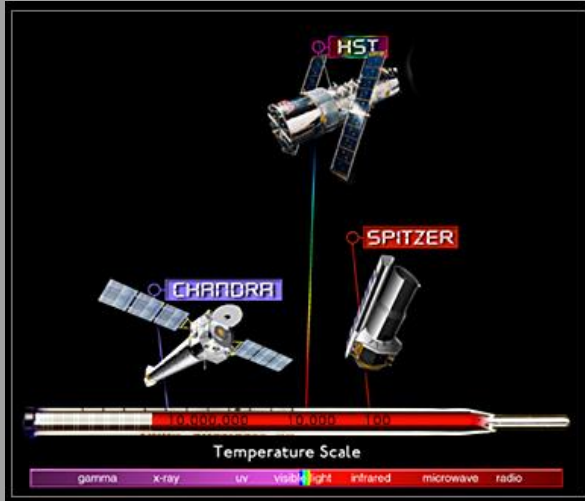
Taką ideę przedstawił w roku 1951 Hans Wolter.

Inne metody obrazowania:

- macierz kolimatorów (SMM)
- obrazowanie fourierowskie (RHESSI)

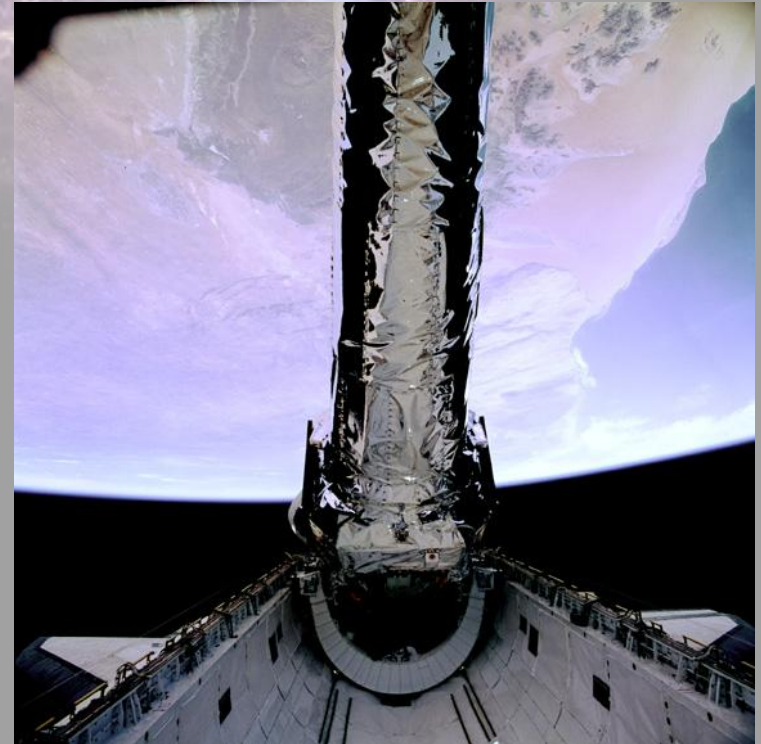


# Teleskop Chandra

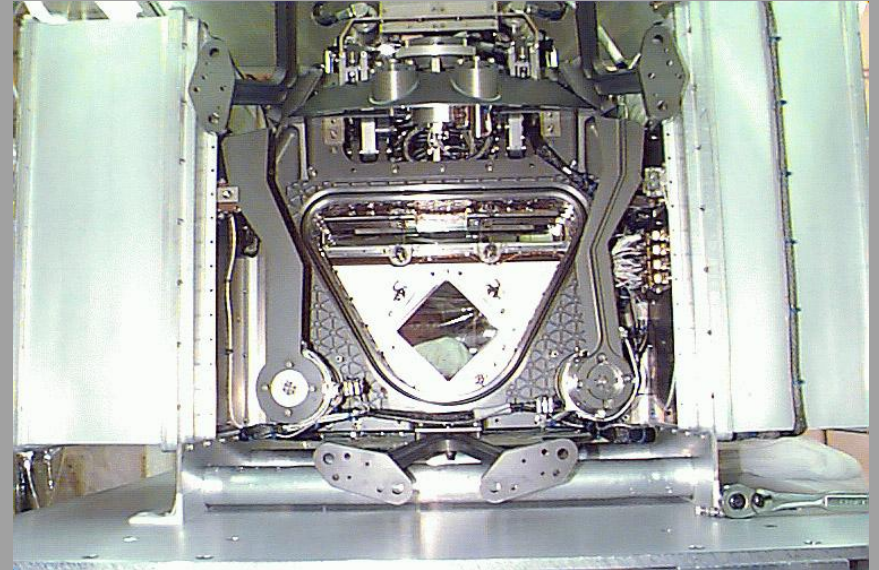
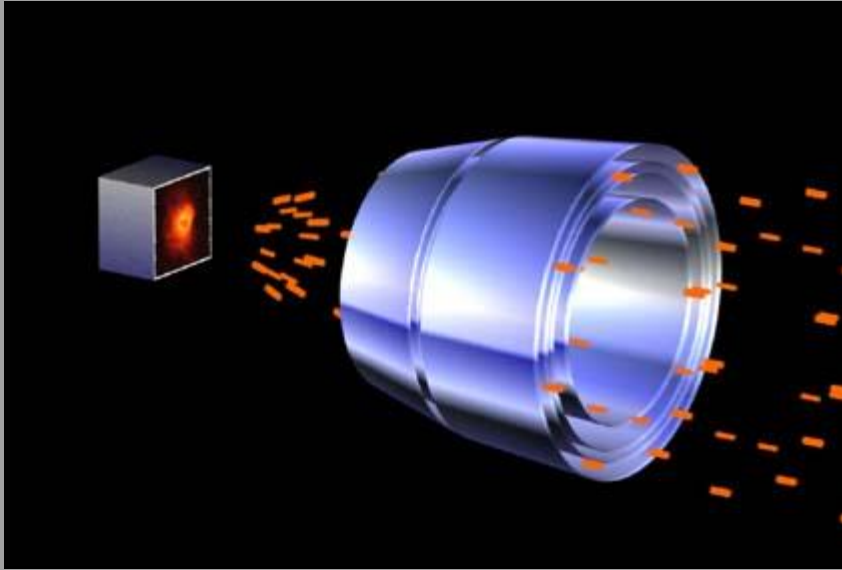


## Chandra

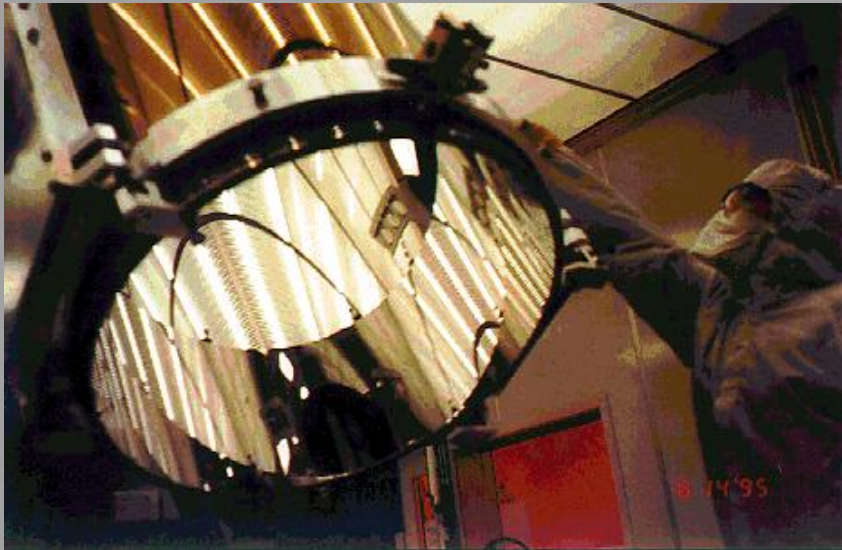
- jedno z tzw. Wielkich Obserwatoriów NASA
- wyniesiony na orbitę 23 lipca 1999 r. za pomocą wahadłowca Columbia
- eliptyczna orbita – odległość od Ziemi zmienia się od 16000 do około 139000 km



# Teleskop Chandra



**HRC – High Resolution Camera**



**Idealnie gładkie lustra pokryte warstwą irydu**

**Rozdzielczość ~ 0.25 arc sec**

# Ewolucja gwiazd w skrócie

Carina Nebula



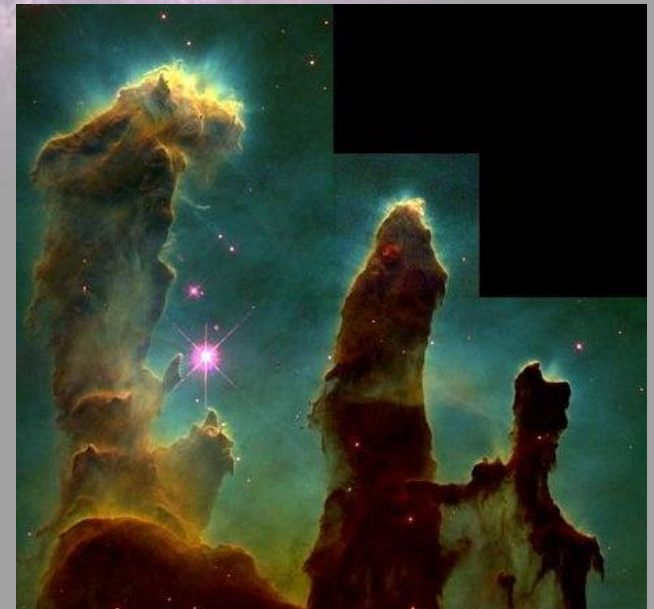
Hubble  
Heritage



Aby w obłoku rozpoczęły się procesy gwiazdotwórcze potrzebna jest jego odpowiednia masa.

Jednak obłok nie może zacząć zapadania samoistnie.

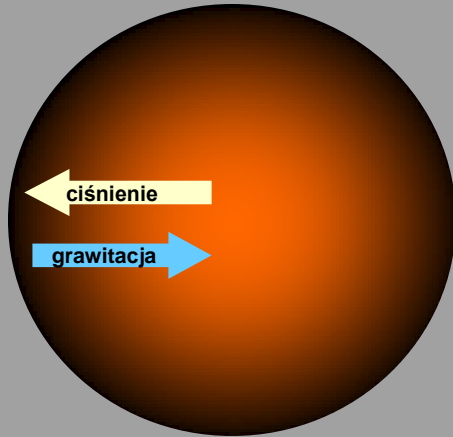
Potrzebne jest jakieś zaburzenie. Może to być np. fala związana z wybuchem supernowej.



M 16 - mgławica w gwiazdozbiore Orła  
- widoczne obszary, gdzie powstają gwiazdy



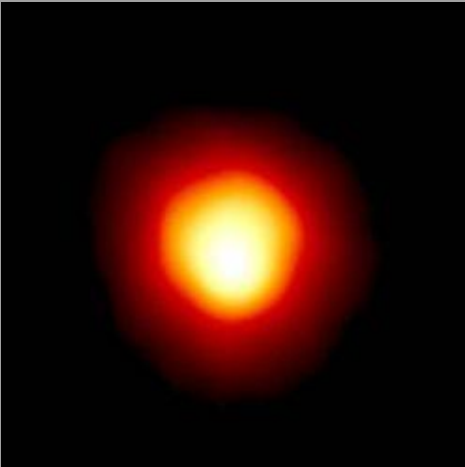
# Ewolucja gwiazd w skrócie



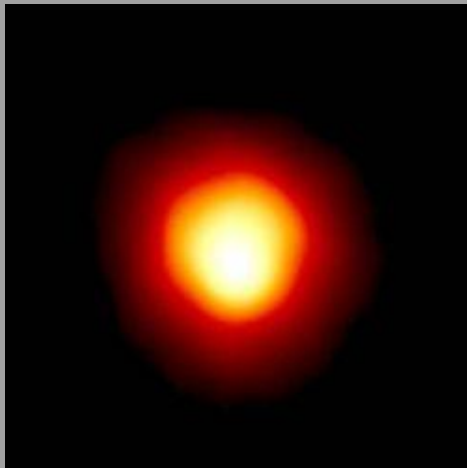
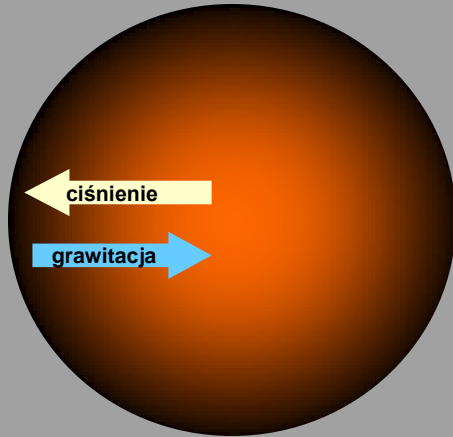
## Gwiazda w równowadze:

grawitacja, która dąży do ściśnięcia gwiazdy jest powstrzymywana przez ciśnienie wytwarzane we wnętrzu.

to ciśnienie składa się z ciśnienia gazu (jest duże, bo w centrum jest wysoka temperatura) oraz ciśnienia promieniowania związanego z reakcjami termojądrowymi, które zachodzą we wnętrzu.



# Ewolucja gwiazd w skrócie



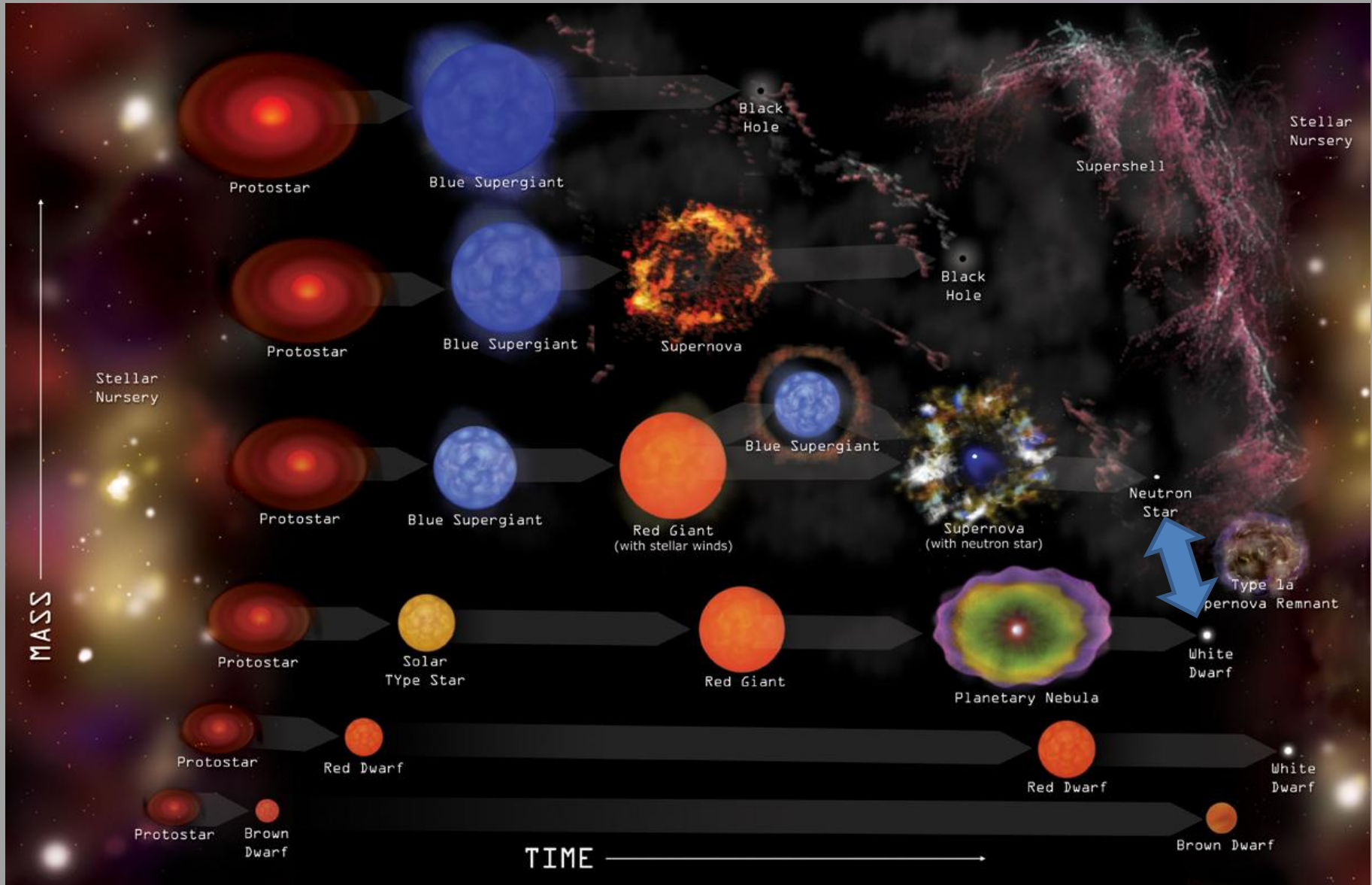
Równowaga zostaje zaburzona kiedy kończy się paliwo (wodór) we wnętrzu.

Ciśnienie maleje, bo jest mniej cząstek (mniejsze ciśnienie gazu) oraz maleje tempo reakcji termojądrowych (maleje ciśnienie promieniowania)

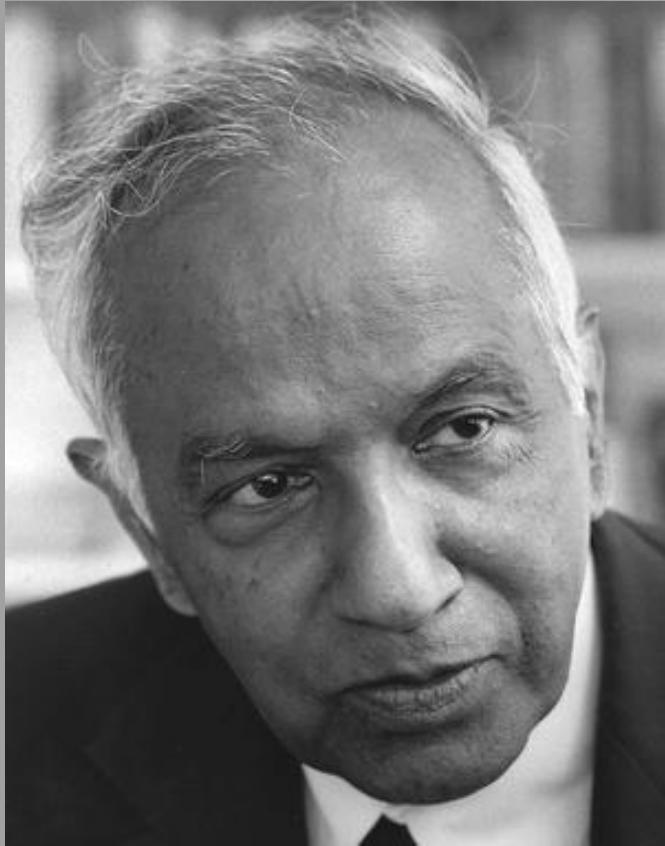
Czas po jakim nastąpi zachwianie równowagi zależy głównie od masy gwiazdy.

Od masy zależą także dalsze losy gwiazdy...

# Ewolucja gwiazd w skrócie



# Subrahmanyan Chandrasekhar (Chandra)

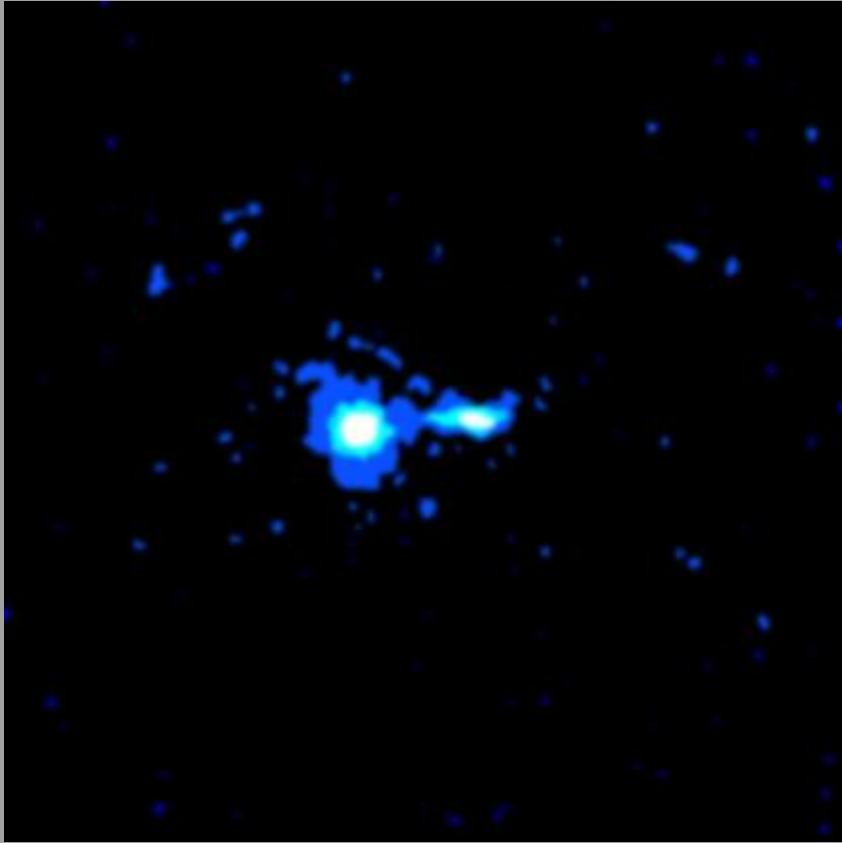


19.10.1910 r. – 21.08.1995 r.

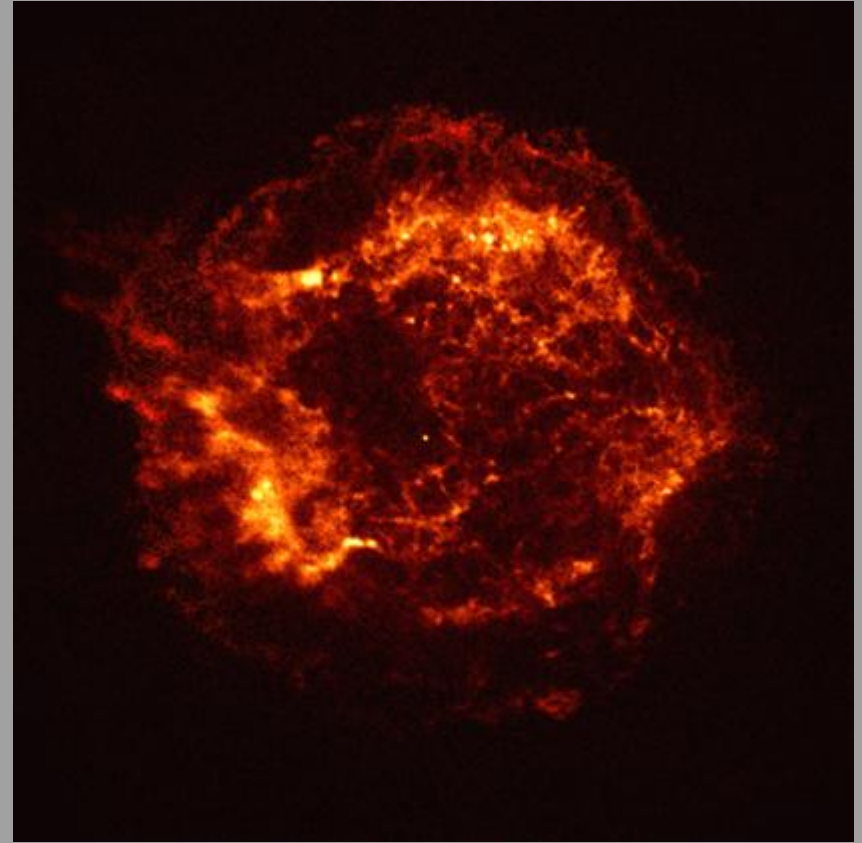
Górny limit na masę białego karła:  $\sim 1.4 M$



## Pierwsze obrazy z teleskopu Chandra: sierpień 1999 r.



PKS 0637-752 – kwazar odległy o 6 mld lat św.



Cassiopeia A – pozostałość po supernowej

Mgławica Oriona (M42)

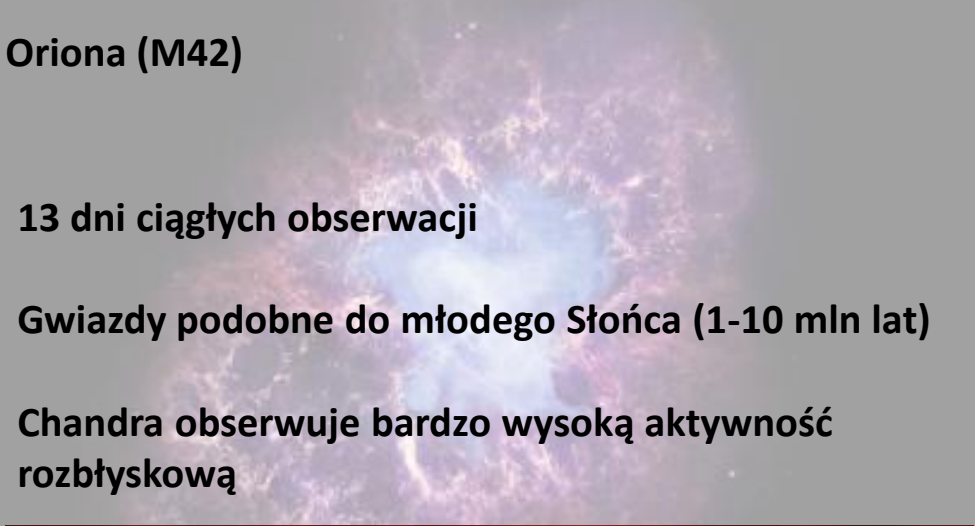


# Młode gwiazdy

## Mgławica Oriona (M42)



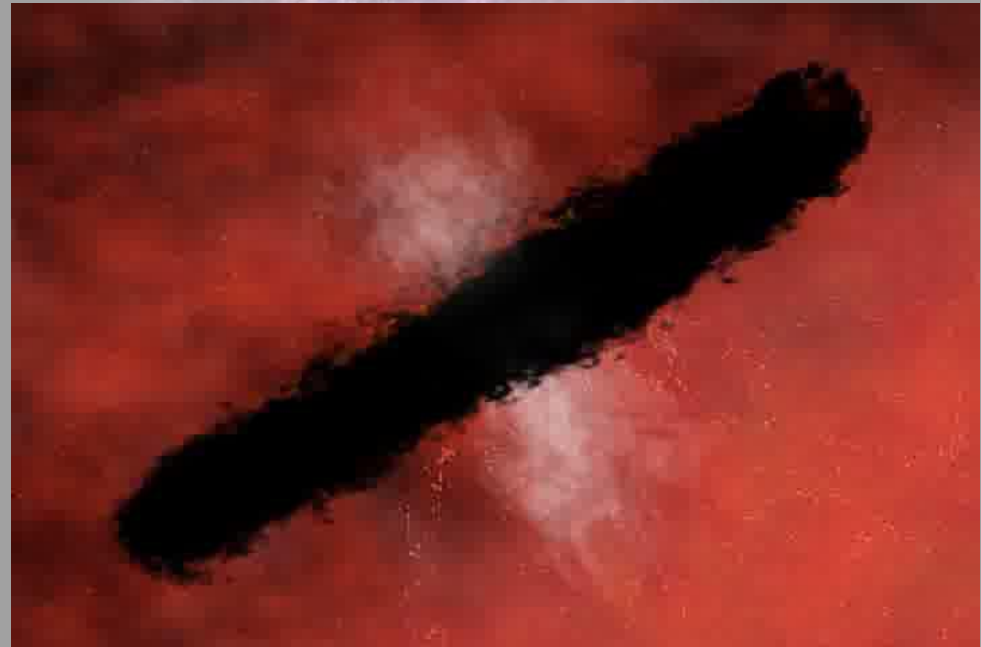
Credit: NASA/CXC/Penn State/E.Feigelson & K.Getman et al.



**13 dni ciągłych obserwacji**

**Gwiazdy podobne do młodego Słońca (1-10 mln lat)**

**Chandra obserwuje bardzo wysoką aktywność  
rozbłyskową**



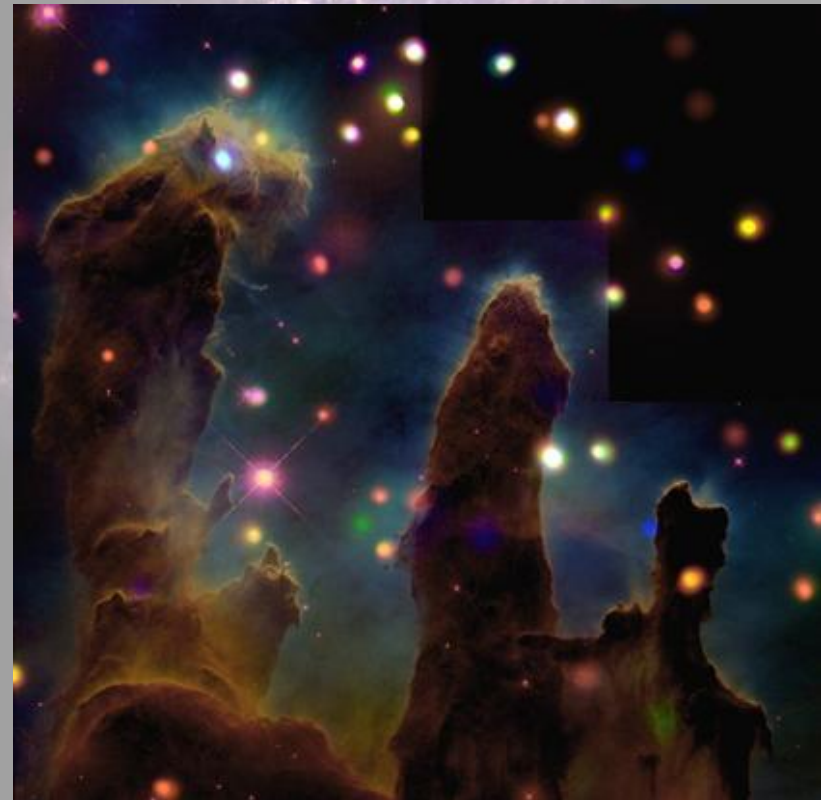
# Młode gwiazdy

## Mgławica Orzeł (M16)



Większość obiektów świecących w zakresie rentgenowskim to młode gwiazdy.

Bardzo niewiele spośród nich znajduje się w pyłowych słupach uważanych za miejsca, w których powstają gwiazdy.



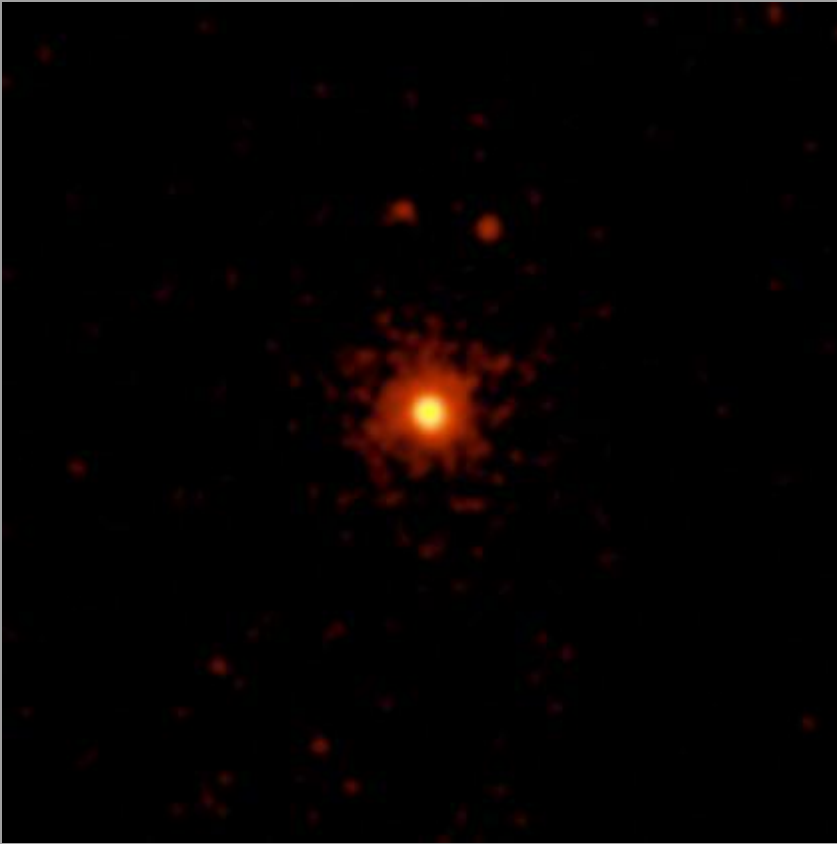
Credit: X-ray: NASA/CXC/U.Colorado/Linsky et al.; Optical: NASA/ESA/STScI/ASU/J.Hester & P.Scowen.



# Gwiazdy

## Proxima Centauri

Bardzo silna aktywność rozbłyskowa



Credit: NASA/CXC/SAO

## Beta Ceti

Olbrzym palący hel we wnętrzu



Credit: NASA/CXC

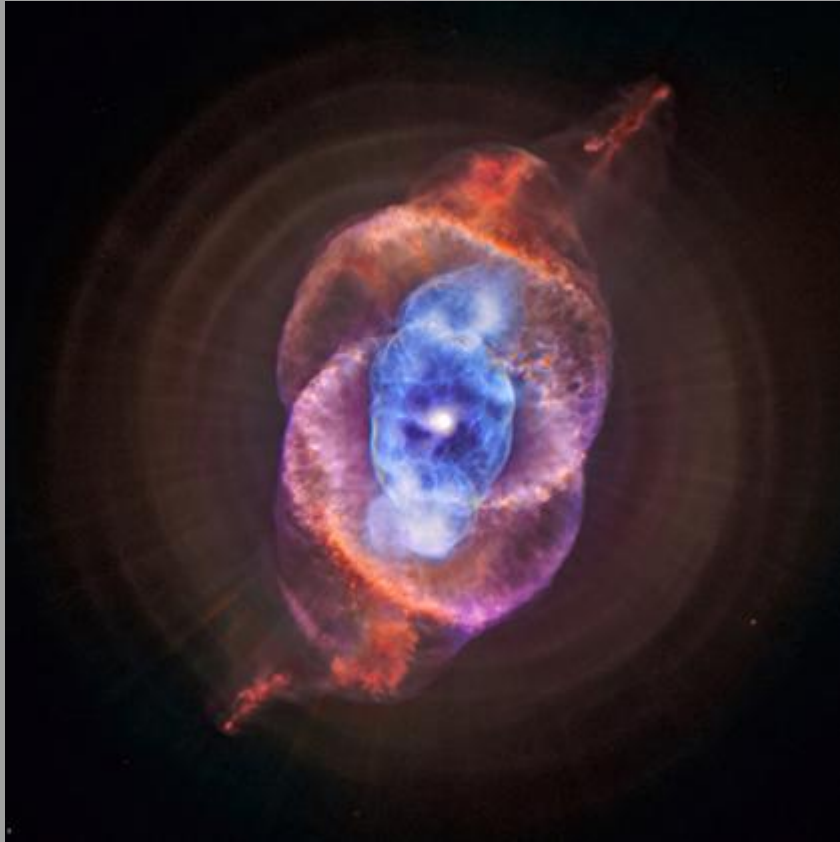
# Mgławice planetarne

Ostatni etap życia gwiazd o masach zbliżonych do Słońca

kolor niebieski – obserwacje Chandra

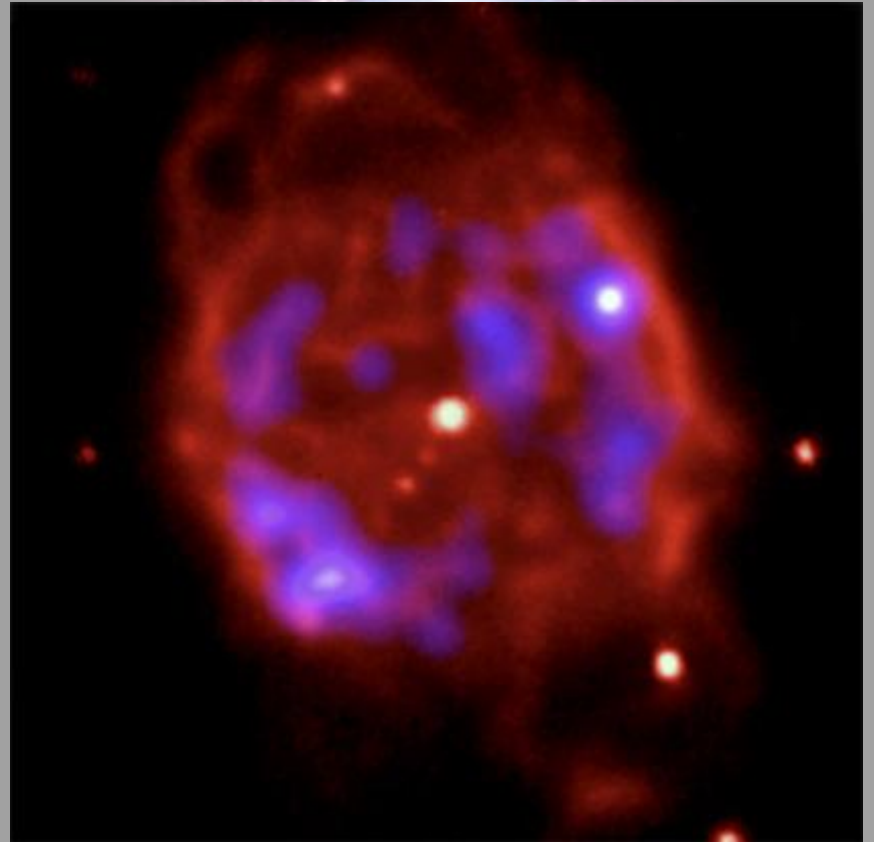
pozostałe kolory – obserwacje w zakresie widzialnym

NGC 6543



Credit: X-ray: NASA/CXC/SAO; Optical: NASA/STScI

NGC 40

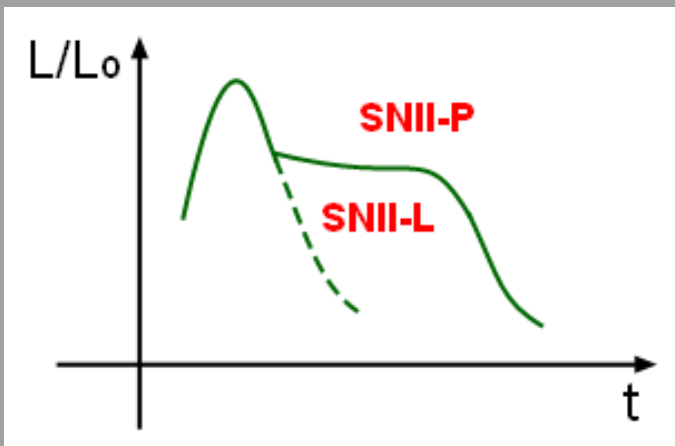


Credit: X-ray: NASA/CXC/RIT/J.Kastner & R.Montez.;  
Optical: NSF/AURA/NOAO/WIYN

# Supernowe



Credit: NASA/ESA

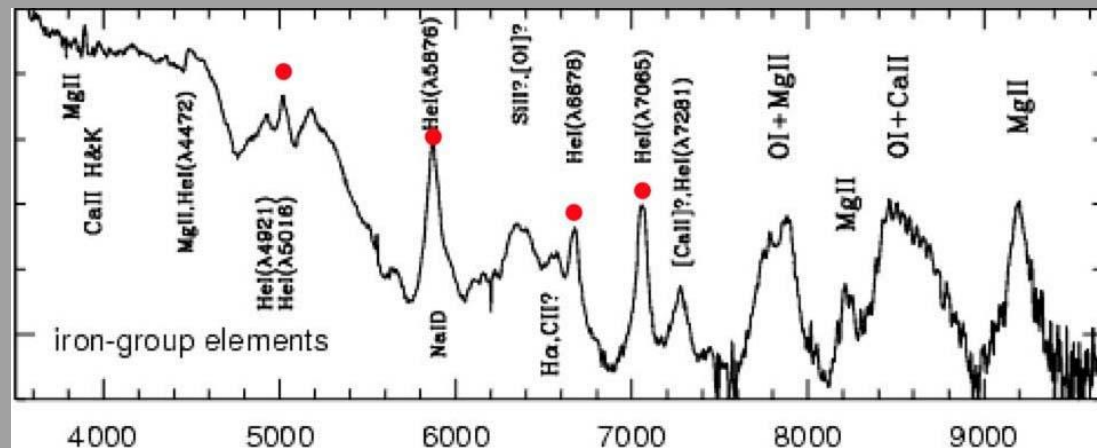


## Typ I – brak linii wodoru

- 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



irfu.cea.fr

# Supernowe: typ Ia

## The progenitor of a Type Ia supernova

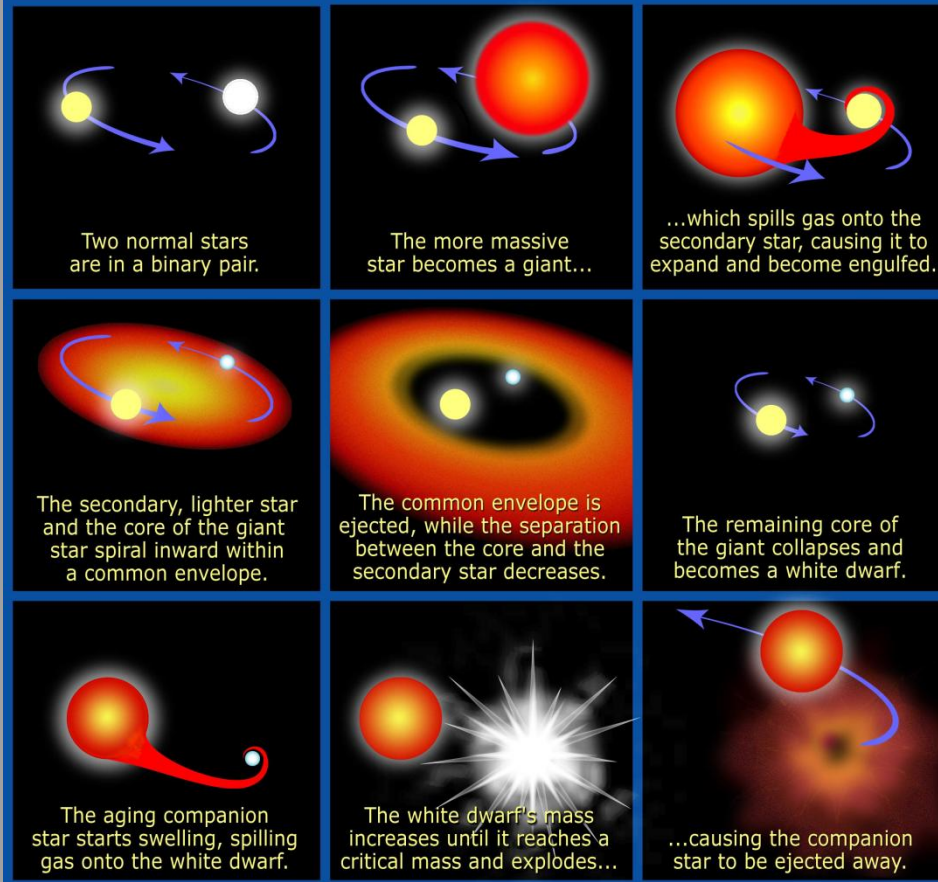


Illustration credit: NASA, ESA and A. Feild (STScI)

Eksplodujące białe karły, które gwałtownie przekraczają granicę Chandrasekhara

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

## White Dwarf Deflagration

Resolution: 6 km

Initial Bubble Radius: 18 km

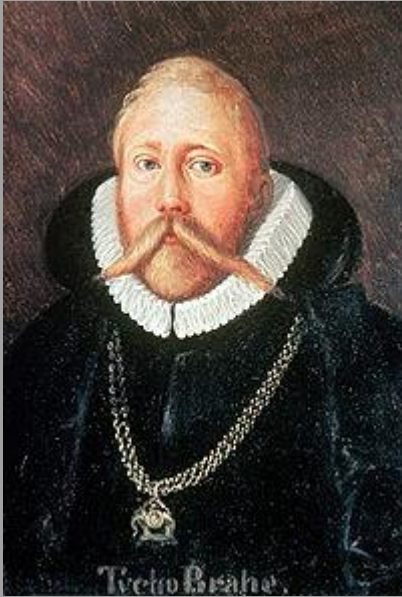
Ignition Offset: 42 km

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

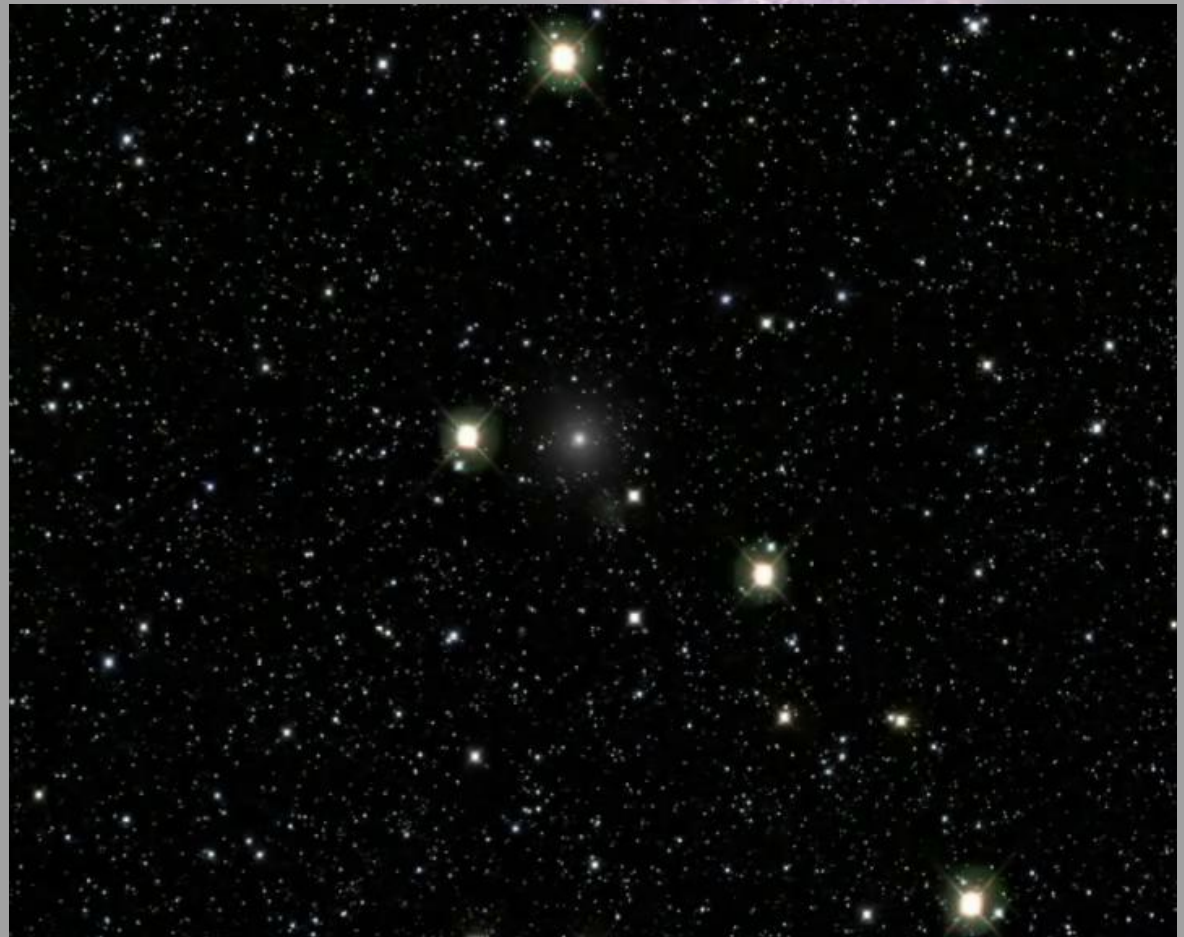
Variable 2: Reaction Progress [0.0 - 1.0]

# Pozostałości po supernowych: typ Ia

11 listopada 1572 r.

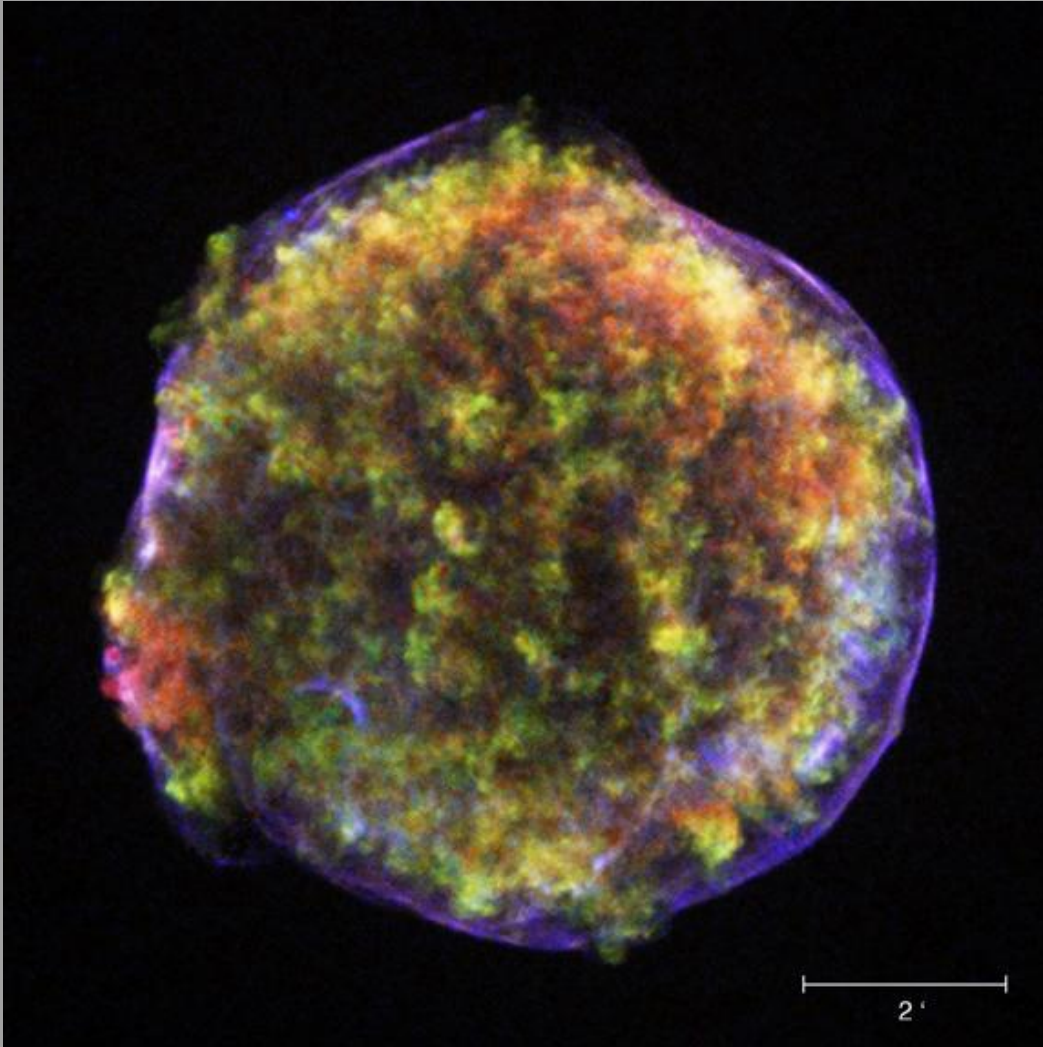


**Tycho Brahe**  
14.12.1546 r. – 24.10.1601 r.



(Oliver Krause, MPIA)

## Pozostałości po supernowych: typ Ia



Dwie fale uderzeniowe wędrujące na zewnątrz i do wewnątrz pozostałości

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

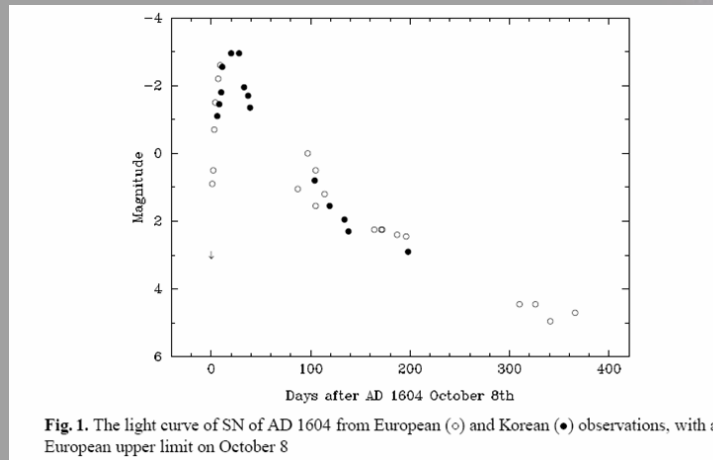
Wytłumaczeniem tego faktu może być transfer energii frontu fali uderzeniowej na przyspieszenie cząstek do wysokich energii.

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

# Pozostałości po supernowych: typ Ia

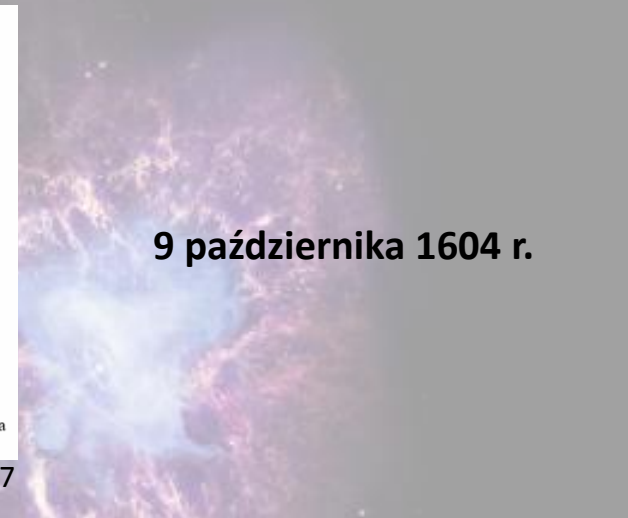


**Johannes Kepler**  
27.12.1571 r. – 15.11.1630 r.

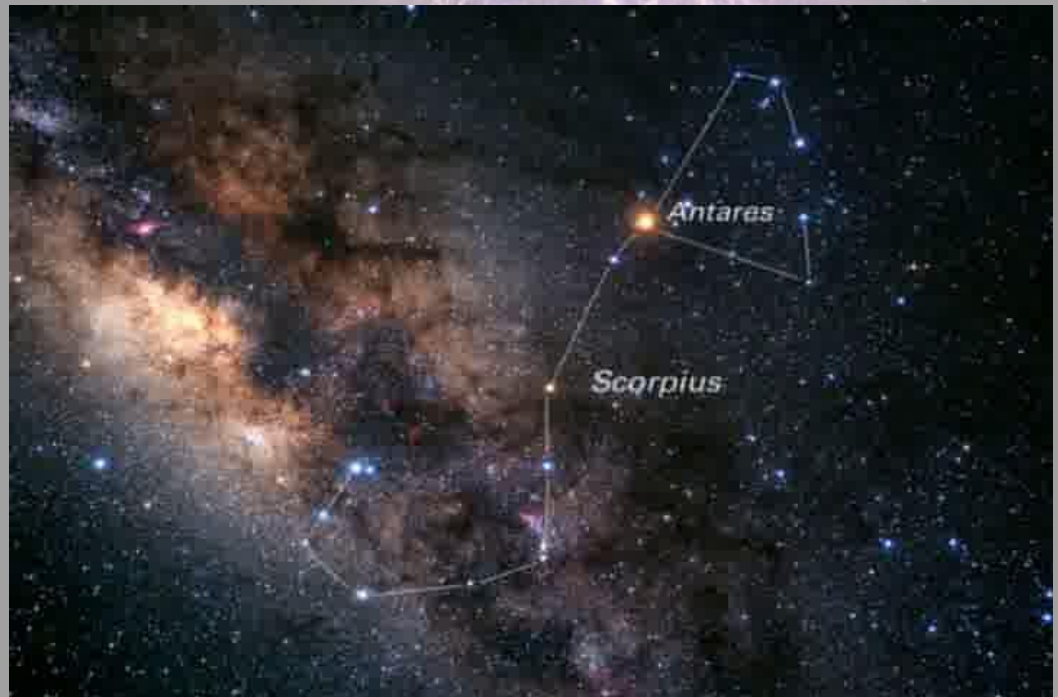


**Fig. 1.** The light curve of SN of AD 1604 from European (○) and Korean (●) observations, with a European upper limit on October 8

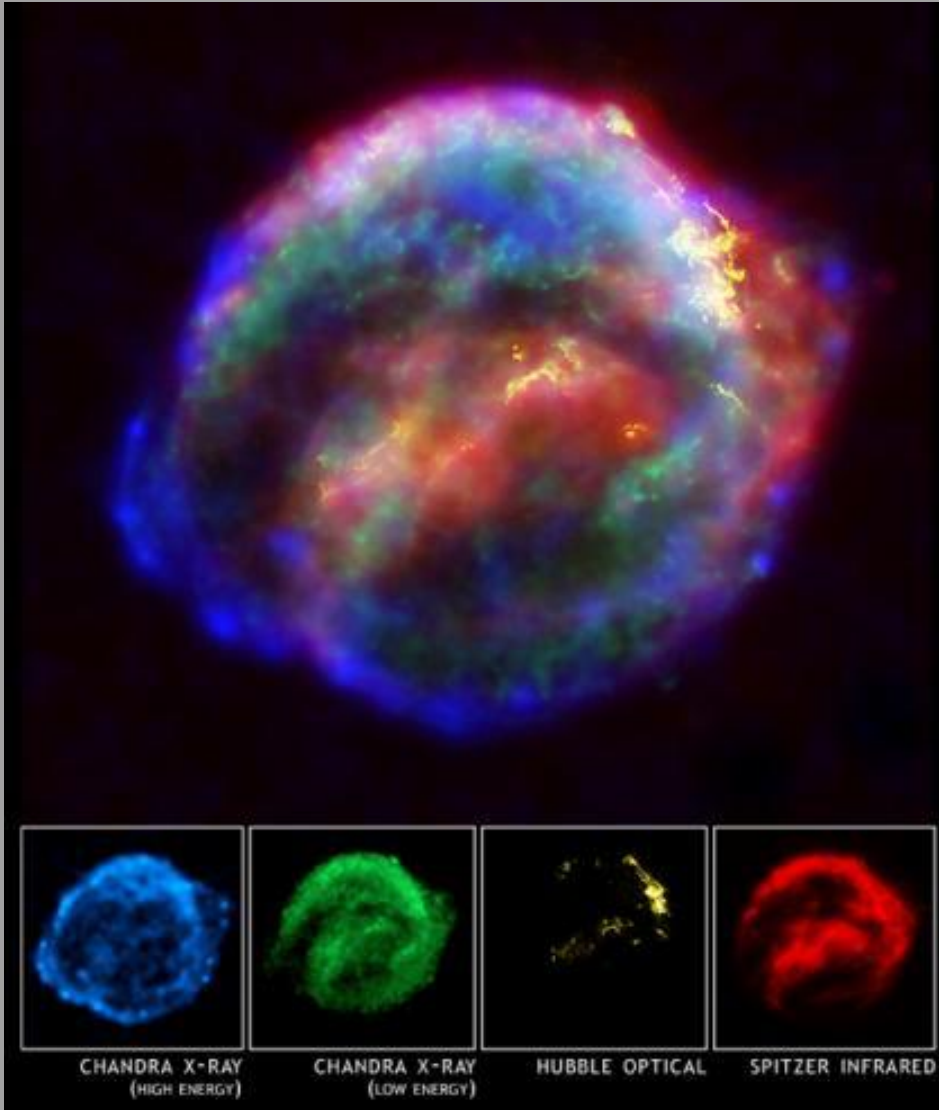
Green i Stephenson 2003, Lecture Notes in Physics 598, 7



9 października 1604 r.



## Pozostałości po supernowych: typ Ia



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.

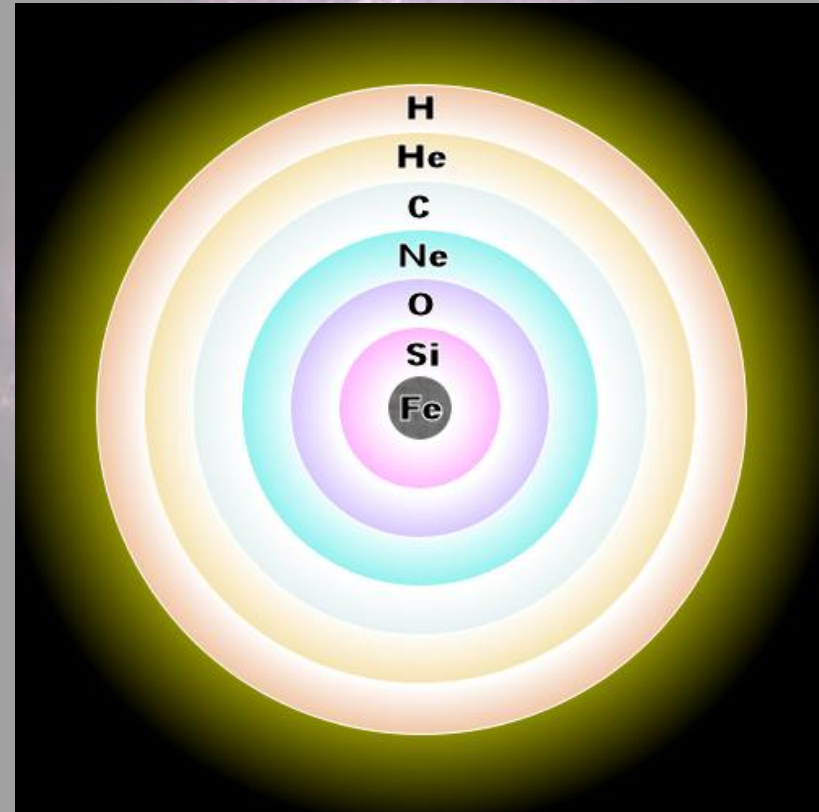
Nieco chłodniejsze obszary (kolor zielony) pochodzą od podgrzanej plazmy eksplodującej gwiazdy.

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



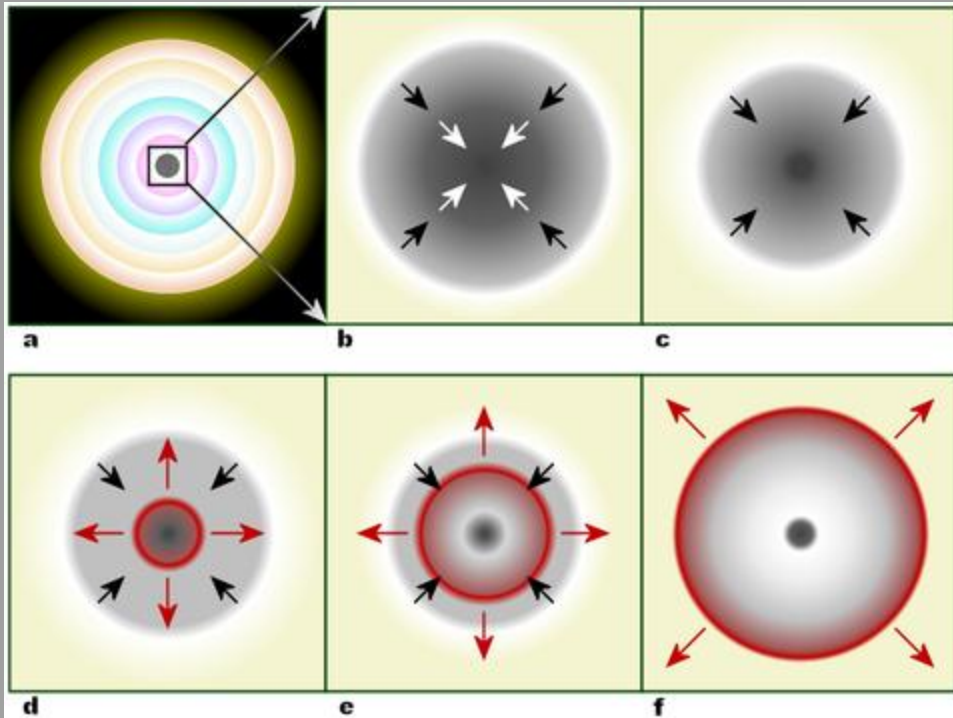
# Supernowe: typ Ib, Ic oraz II

Źródło energii	Główny produkt	Gwiazda o masie $25 M_{\odot}$		
		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: typ Ib, Ic oraz II

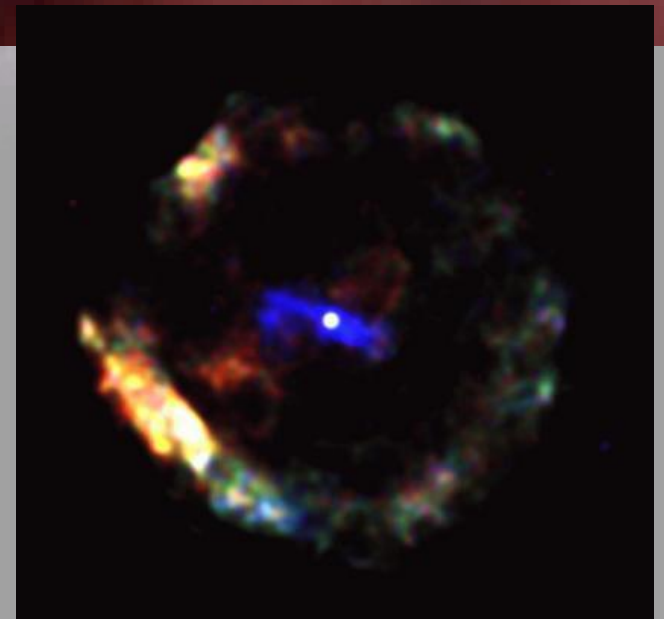


Author: R.J. Hall

Po utworzeniu jądra żelazowego reakcje w centrum ustają.

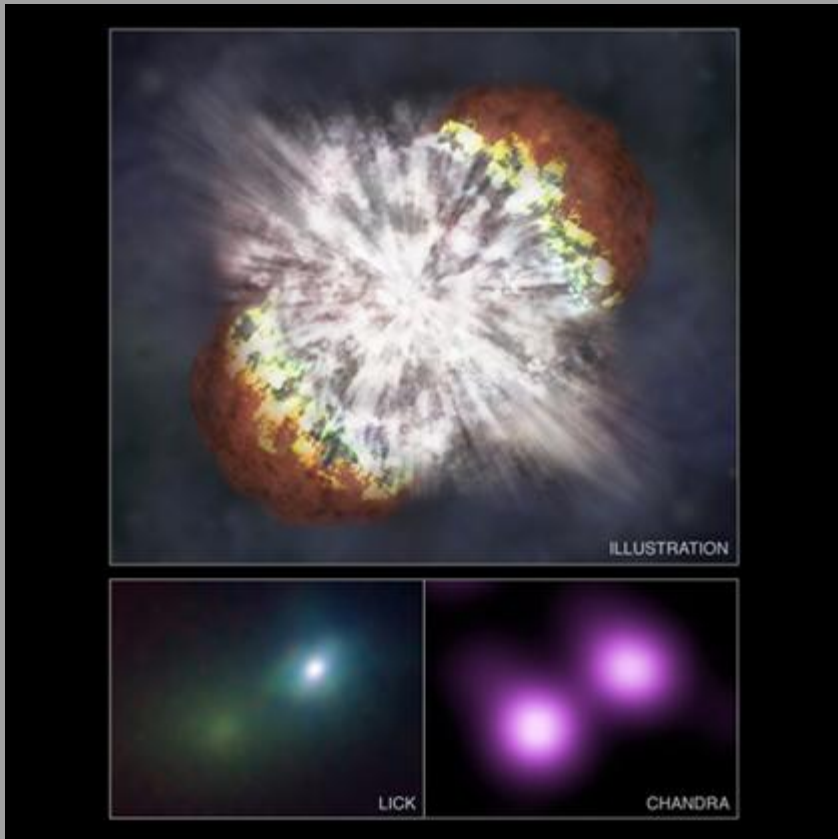
Jądro zapada się do gwiazdy neutronowej lub czarnej dziury.

Zewnętrzne warstwy odbijają się od sztywnego obiektu powstającego wewnątrz (jak odbić się od czarnej dziury?)



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

## Pozostałości po supernowych: typ Ib, c oraz II



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



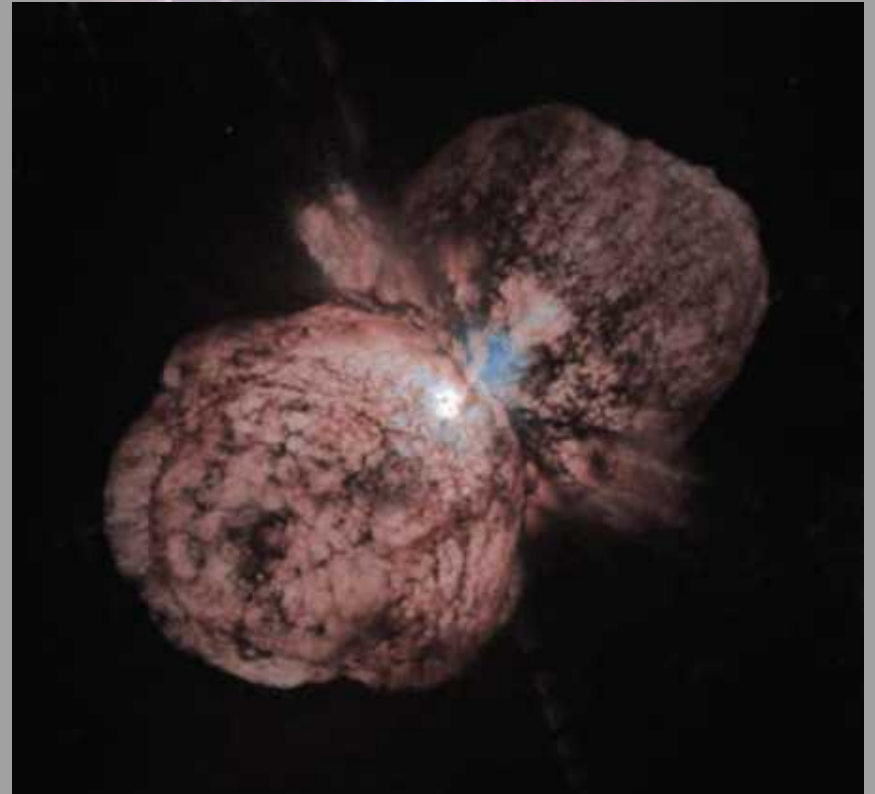
Credit: X-ray: NASA/CXC/GSFC/M.Corcoran et al.; Optical: NASA/STScI



Niebieski – HST  
Żółty - Chandra

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

Bardzo podobna do gwiazdy, która  
ekspłodowała jako SN2006GY



# Pozostałości po supernowych: typ Ib, c oraz II

## Cassiopeia A

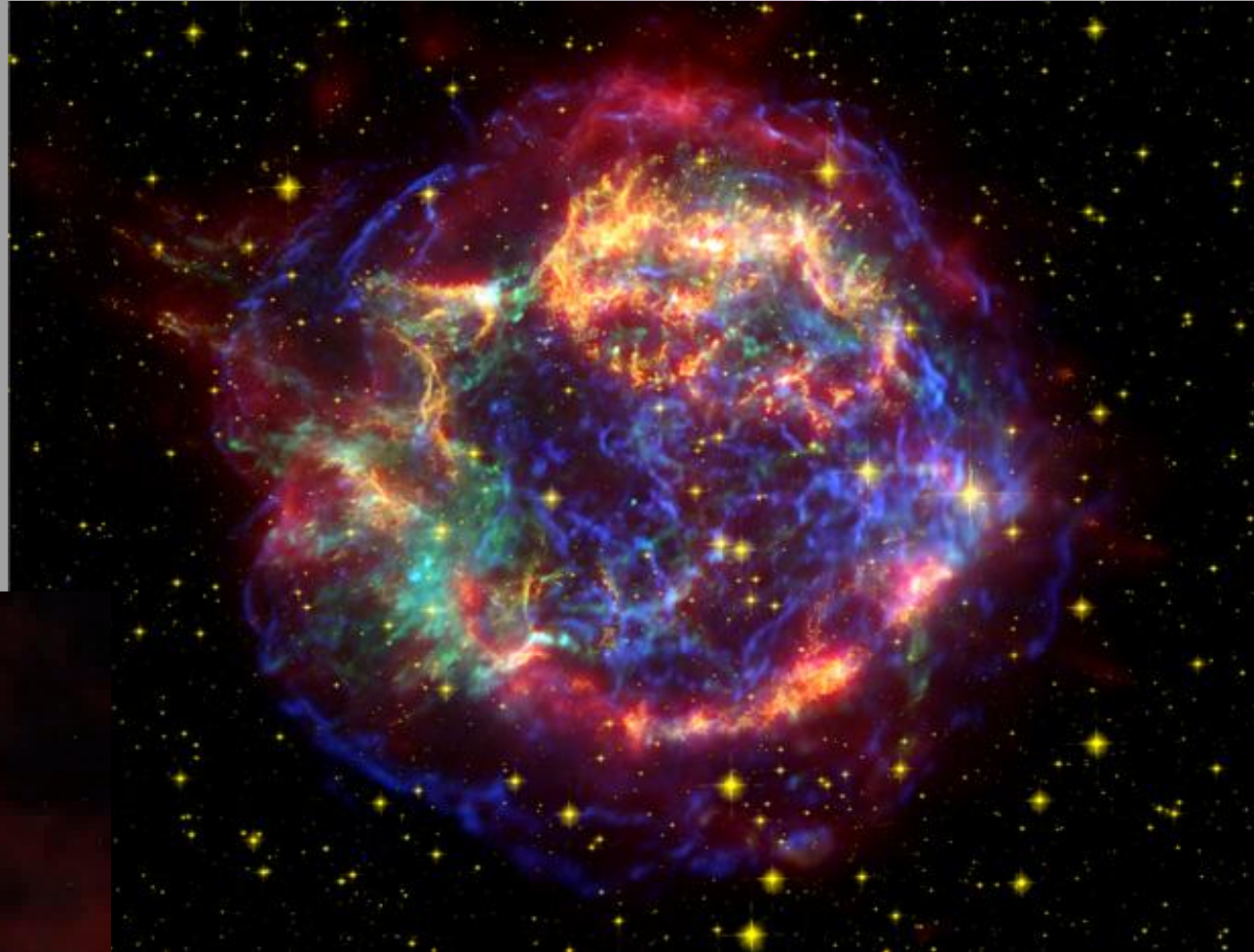
Wybuch masywnej gwiazdy, który nastąpił ok. 300 lat temu

Kolory:

czerwony – Spitzer (~280 K)

żółty – HST (10 000 K)

zielony i niebieski – Chandra (10<sup>6</sup> K)



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

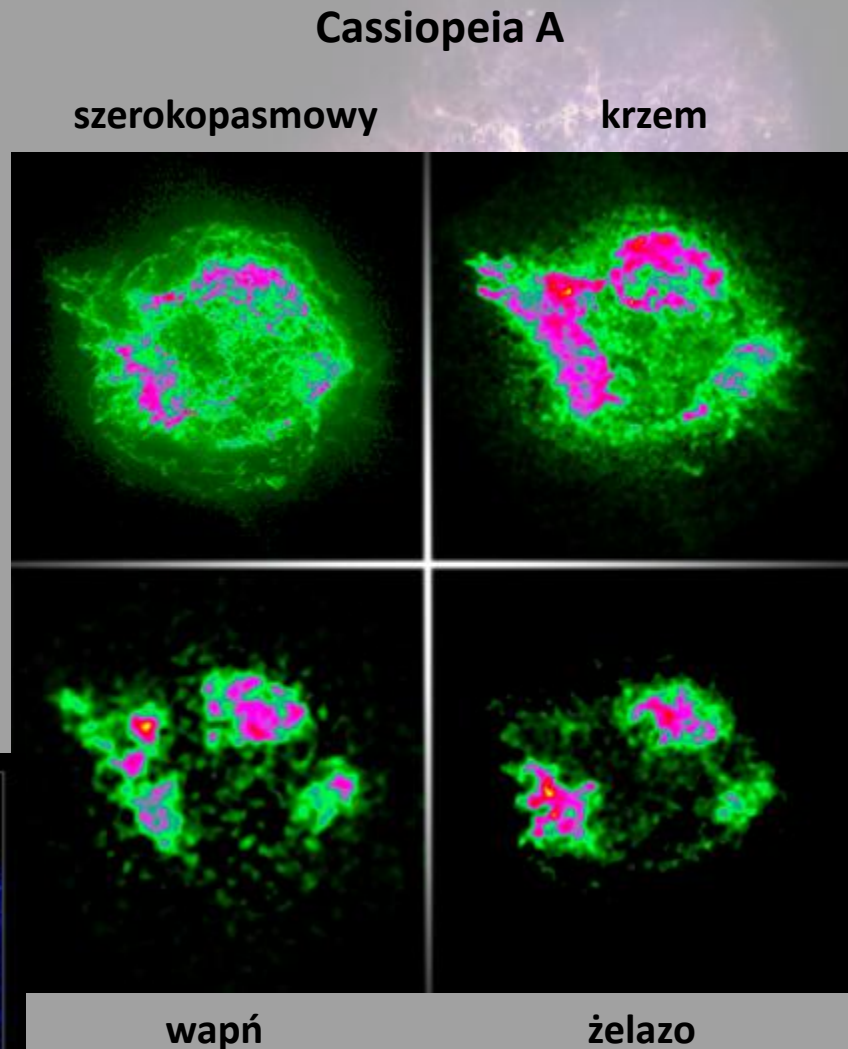
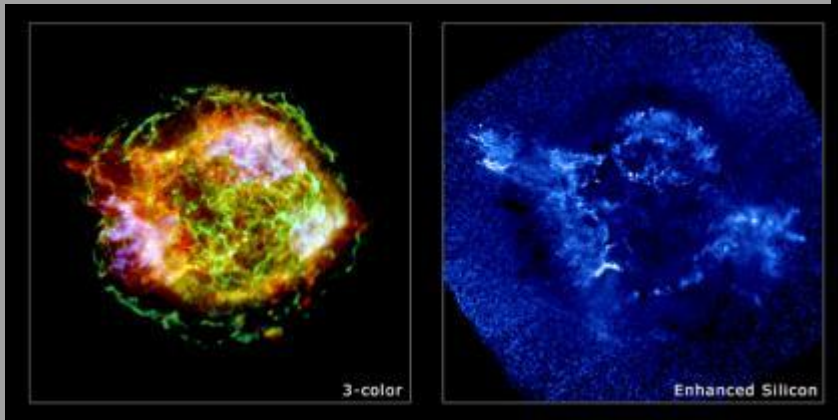
# Pozostałości po supernowych: typ Ib, c oraz II

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

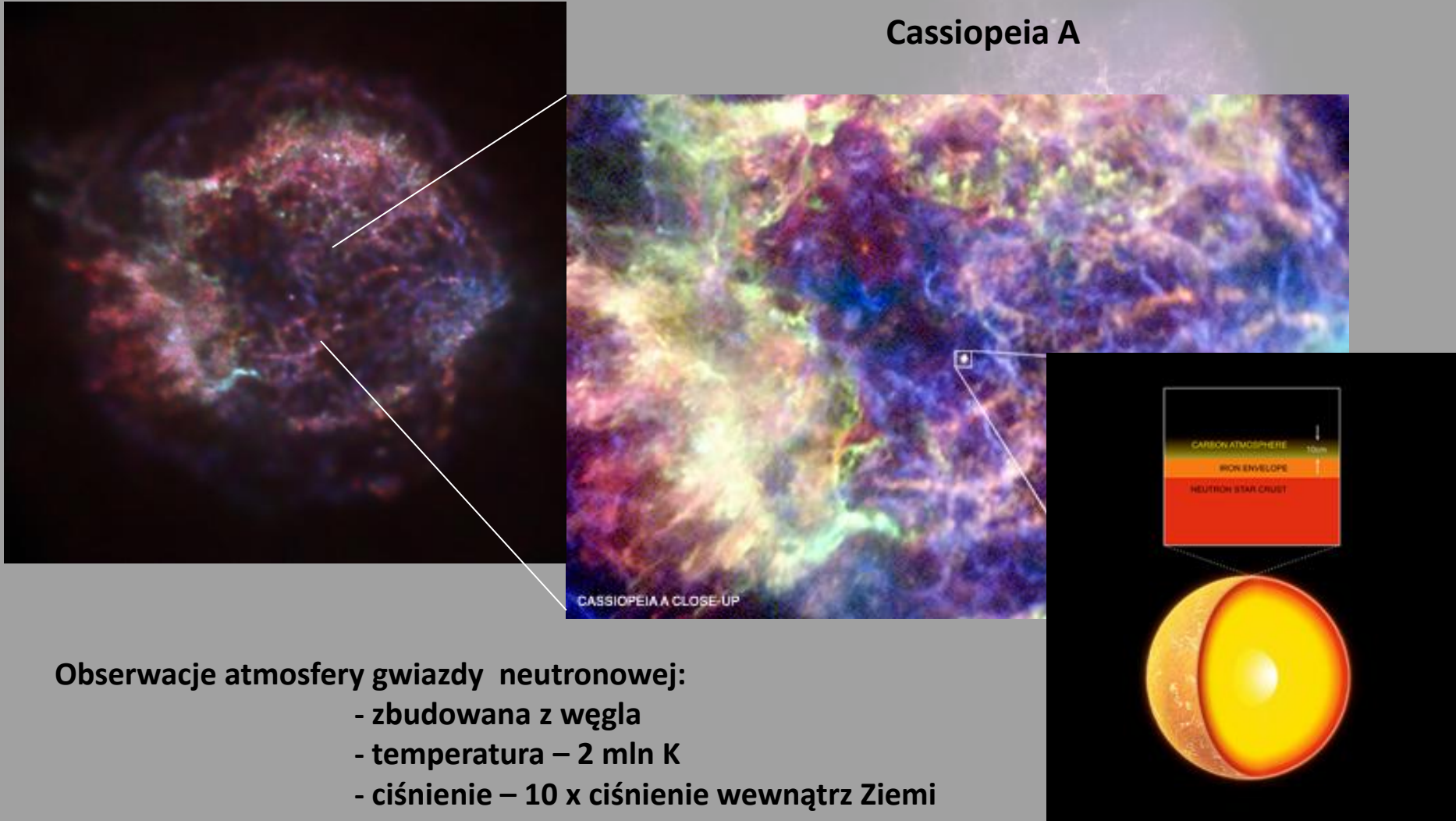
Obraz „wapniowy” jest podobny

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



# Pozostałości po supernowych: typ Ib, c oraz II

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



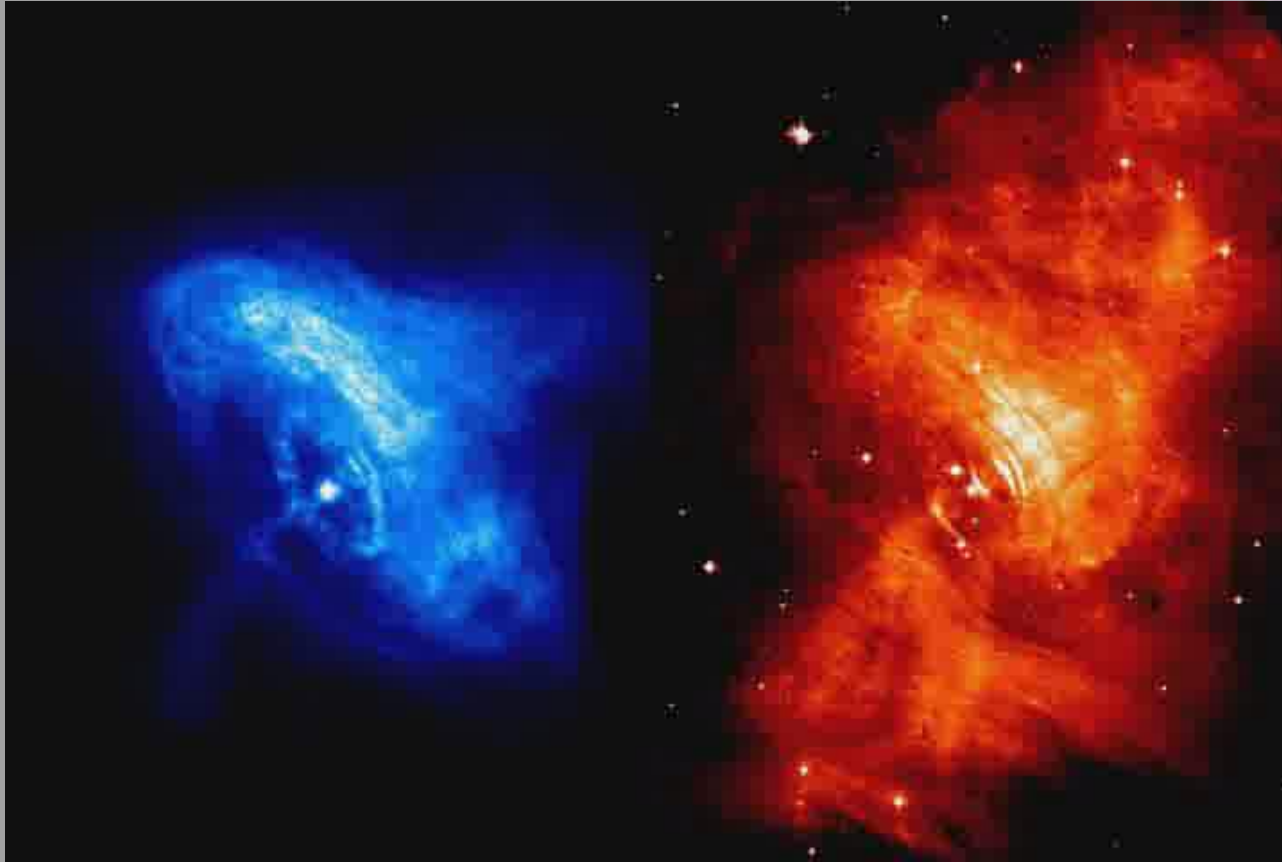
Supernowa obserwowana w 1054 r. przez astronomów arabskich i chińskich

W centrum widoczny jest pulsar





# Mgławica Krab

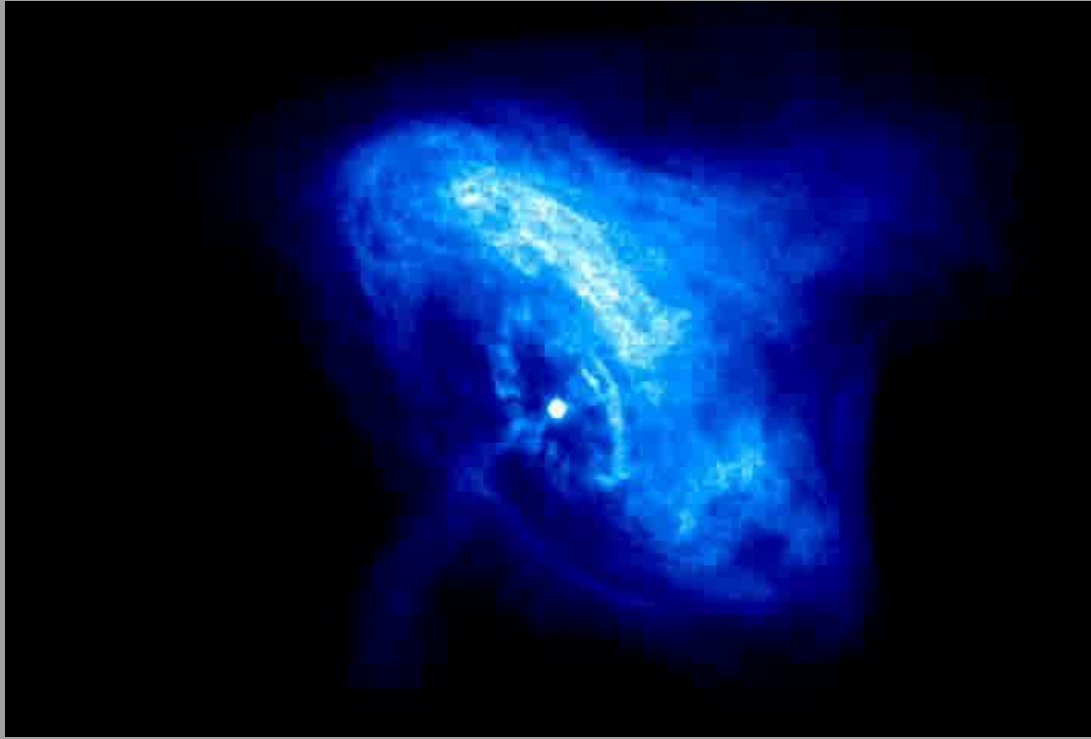


Niebieski – Chandra  
Czerwony – HST

Rozmiar wewnętrznego  
kręgu ~ 1 rok św.

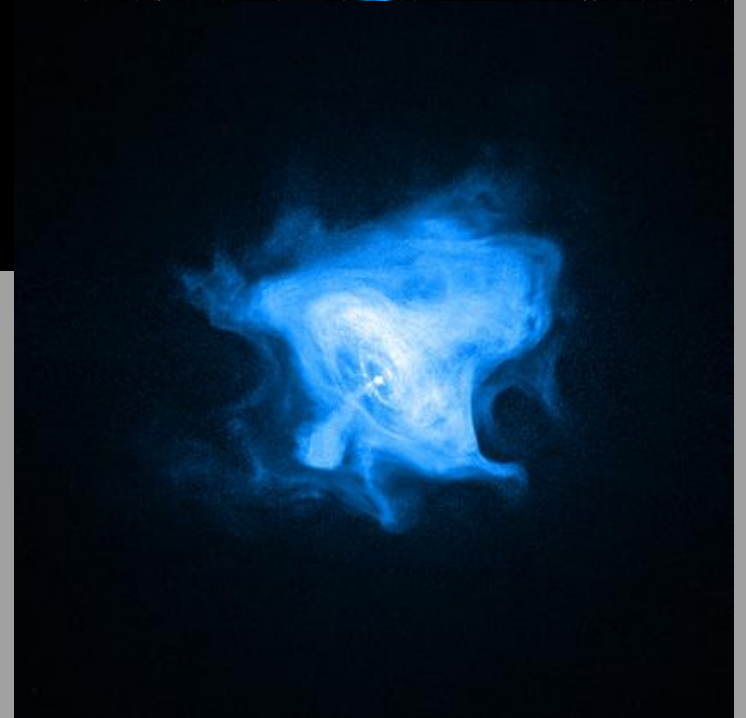
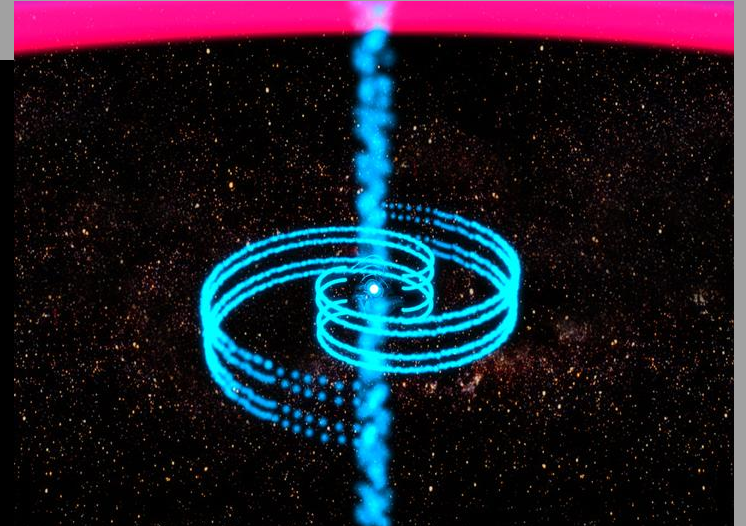
X-ray: NASA/CXC/SAO/;Optical: NASA/ESA/ASU/

# Mgławica Krab



Szybko rotujący pulsar jest bardzo efektywnym akceleratorem cząstek

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



# Inne pulsary

## PSR B1509-58

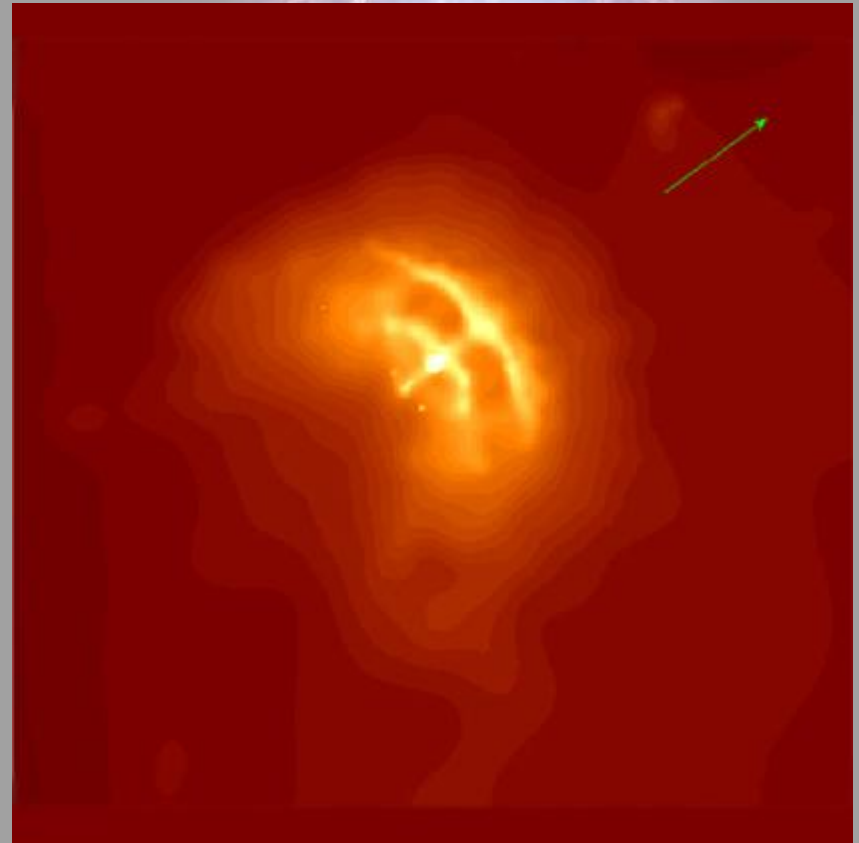
powstał około 1700 lat temu  
odległość od Ziemi – 17000 lat św.



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

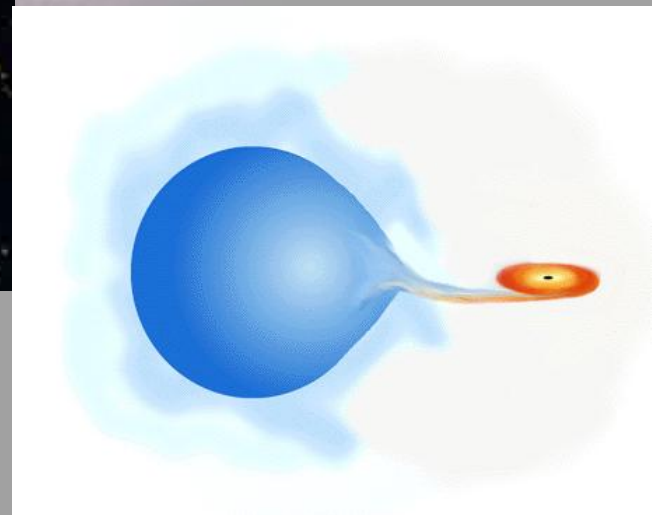
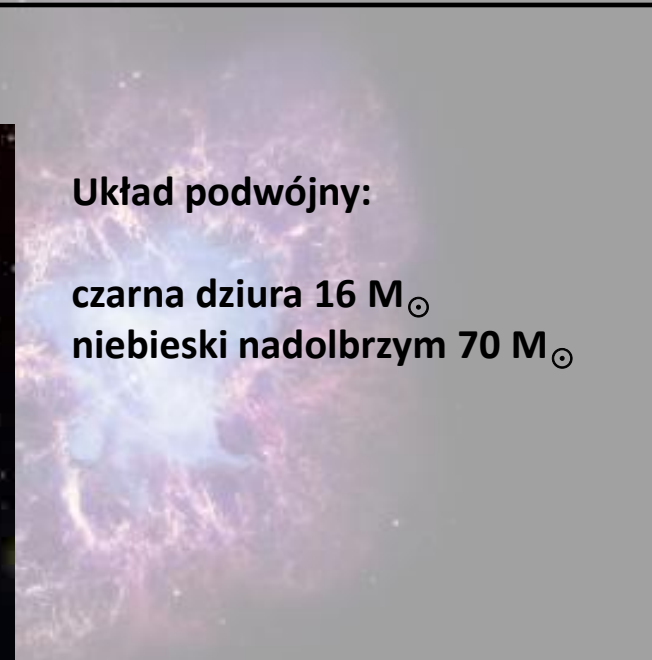
## Vela pulsar

podobne struktury jak w przypadku M1



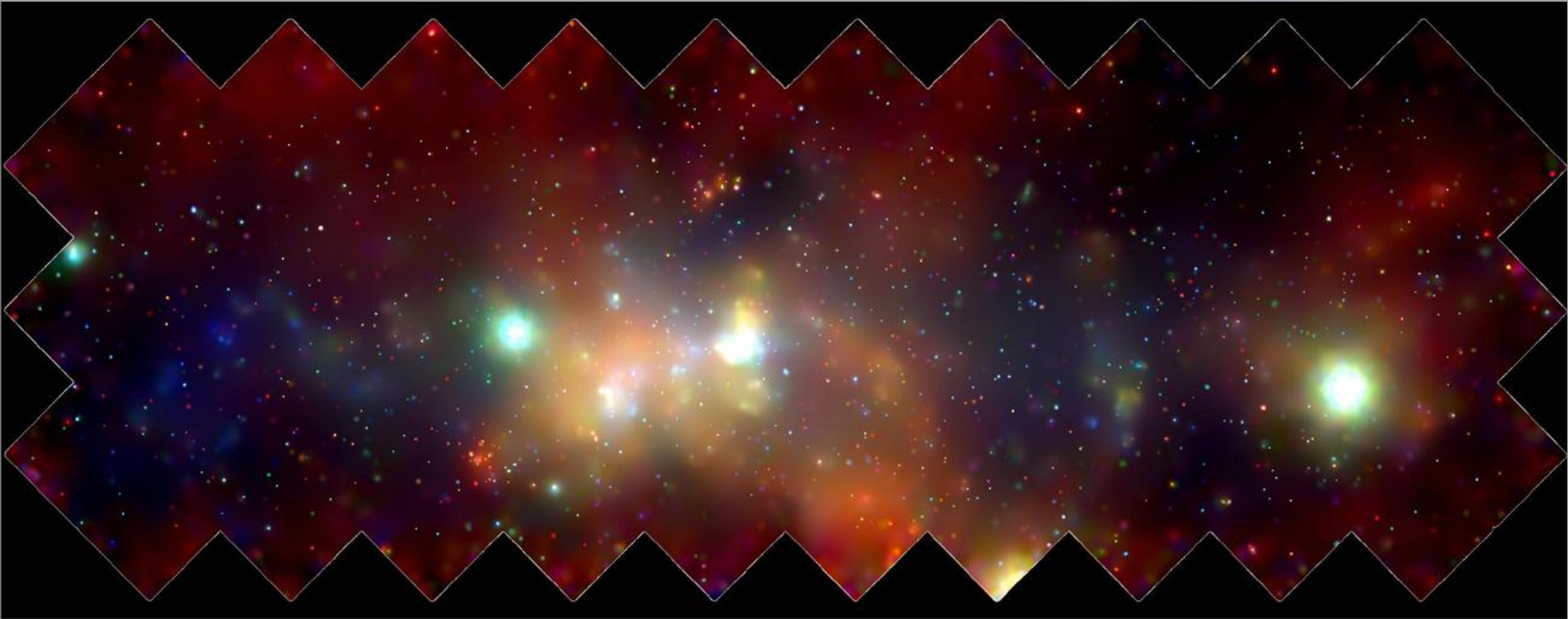
Credit: NASA/PSU/G.Pavlov et al.

# Gwiazdowe czarne dziury (M33 X-7)



Credit: Kitt Peak: NOAO/AURA/NSF/T.A.Rector; Gemini: AURA/Gemini Obs./SDSU/J.Orosz et al.; HST: NASA/STScI/SDSU/J.Orosz et al.; Chandra: NASA/CXC/CfA/P.Plucinsky et al.

# Centrum Drogi Mlecznej



Credit: NASA/UMass/D.Wang et al.

**Kolory odpowiadają promieniowaniu rentgenowskiemu o różnych energiach:**

- niskie (czerwony)
- pośrednie (zielony)
- wysokie (niebieski)

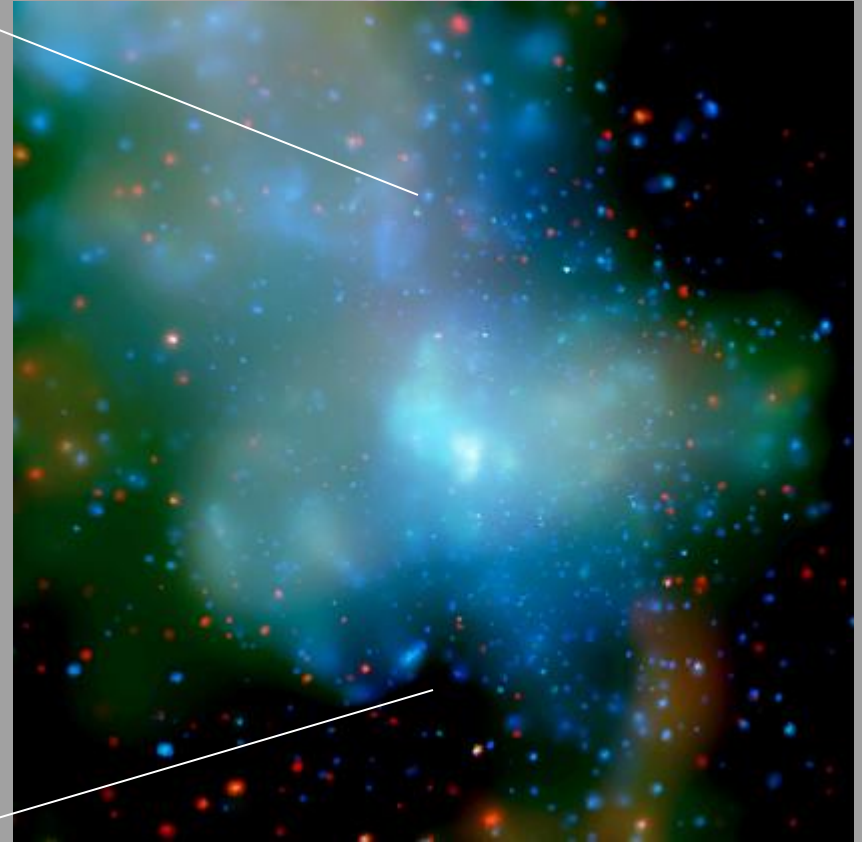
# Centrum Drogi Mlecznej

6 stycznia 2003



Credit: NASA/CXC/MIT/F.K.Baganoff et al.

13 czerwca 2003

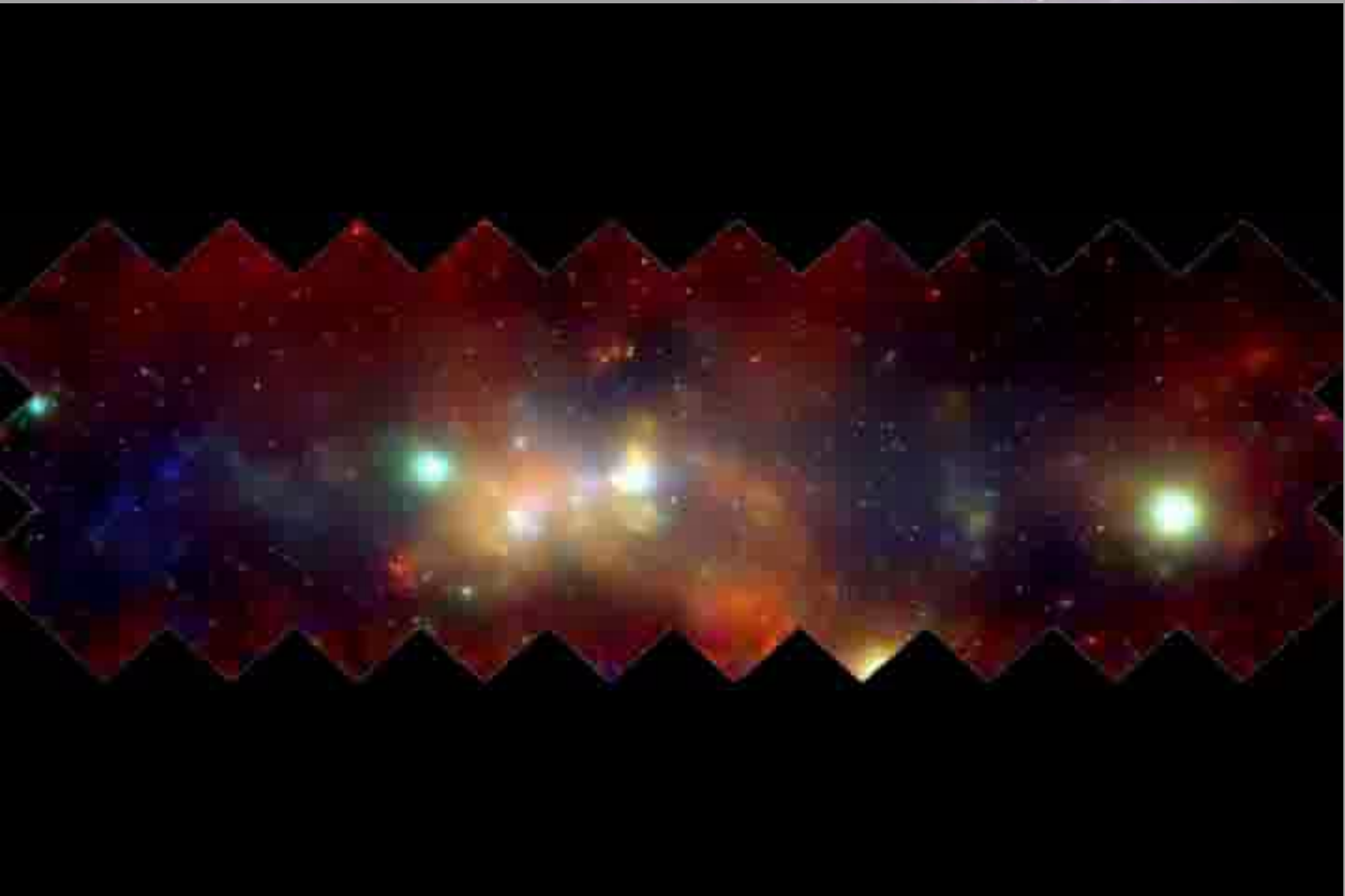


Credit: NASA/CXC/UCLA/MIT/M.Muno et al.

**Gaz o temperaturze 10 mln K jest podgrzewany przez fale uderzeniowe od supernowych**

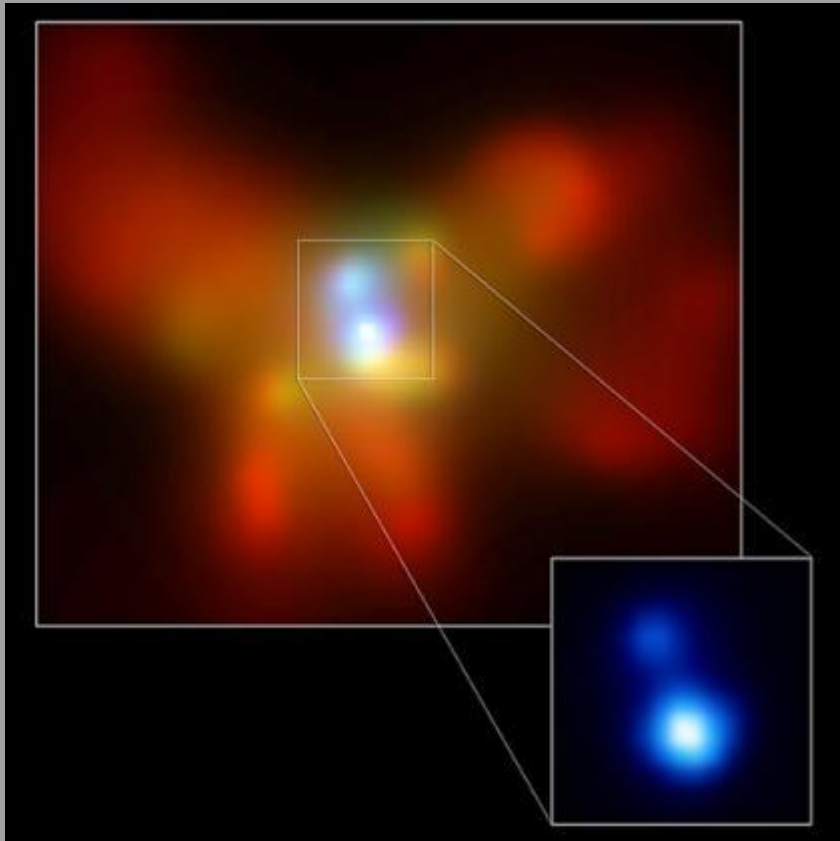
**Zaobserwowano dużą liczbę rozbłysków blisko czarnej dziury**

# Centrum Drogi Mlecznej



# NGC 6240

W centrum odkryto układ podwójny super-masywnych czarnych dziur (separacja – 3000 l.św.)



Credit: NASA/CXC/MPE/S.Komossa et al.



Credit: X-ray: NASA/CXC/MIT/C.Canizares, M.Nowak; Optical: NASA/STScI



# NGC 6240



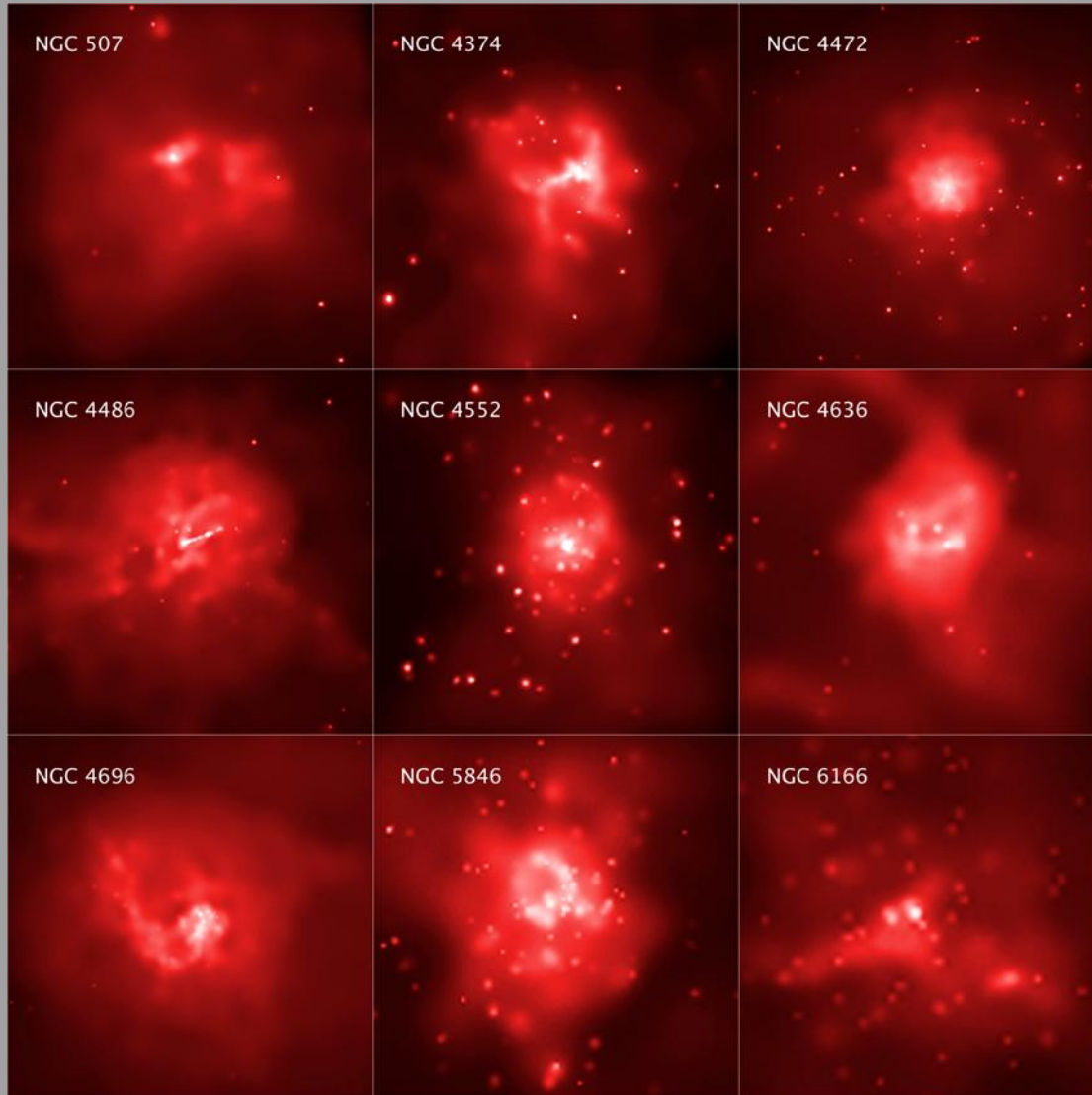
**Zderzenie może nastąpić  
w ciągu kilkadziesiąt  
lub kilkaset milionów lat**

**Podczas łączenia następuje  
bardzo silna emisja  
fal grawitacyjnych**

Animation: NASA/CXC/A. Hobart

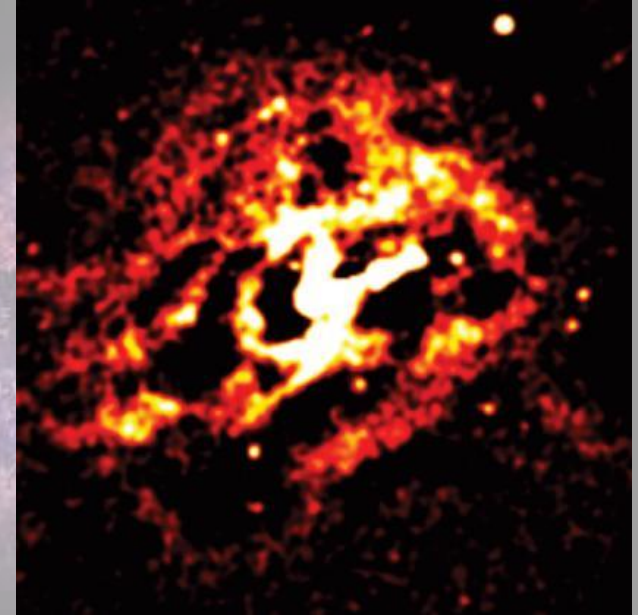
Simulation: Josh Barnes (U. of Hawaii)/John Hibbard (NRAO)

# Aktywność dookoła czarnych dziur

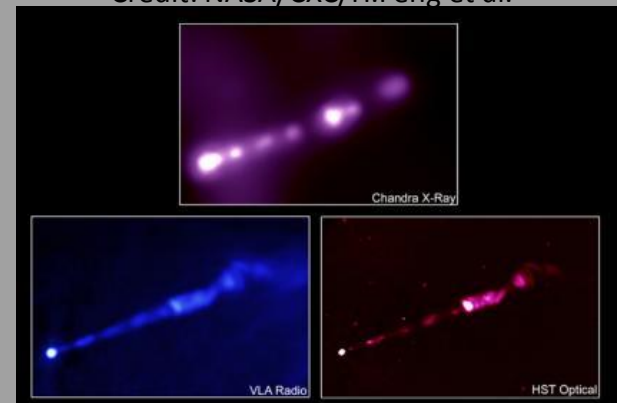


Credit: NASA/CXC/Stanford U./S.Allen et al.

## M 87



Credit: NASA/CXC/H.Feng et al.



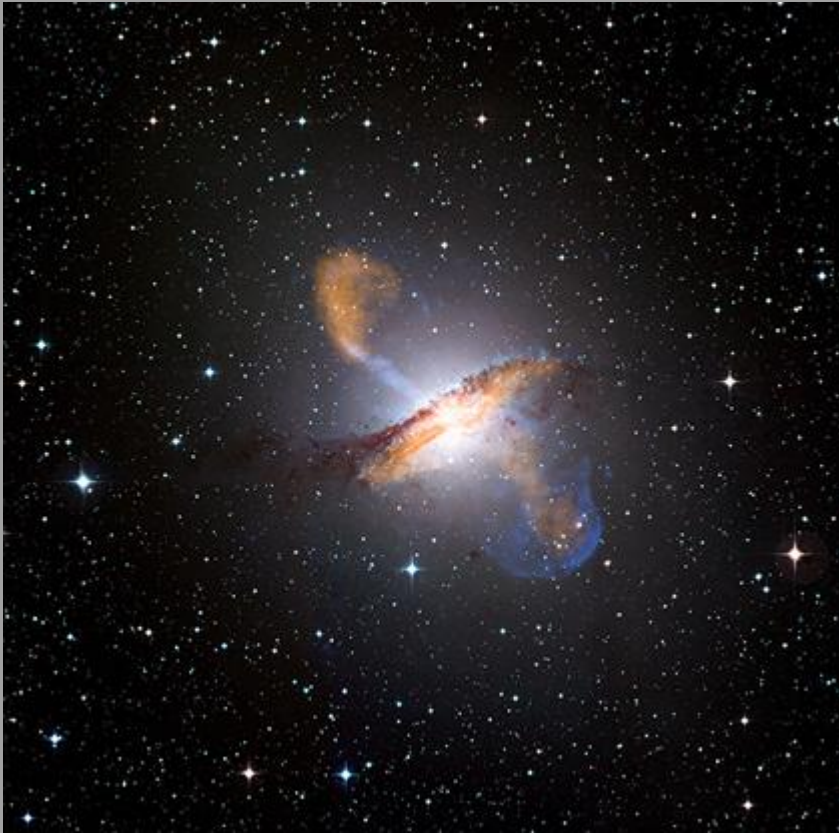
Credit: X-ray: NASA/CXC/MIT/H.Marshall et al.  
Radio: F. Zhou, F.Owen (NRAO), J.Biretta (STScI)  
Optical: NASA/STScI/UMBC/E.Pearlman et al

# Galaktyki aktywne

Centaur A

M 87

widoczne struktury są efektem istnienia masywnej czarnej dziury w centrum galaktyki



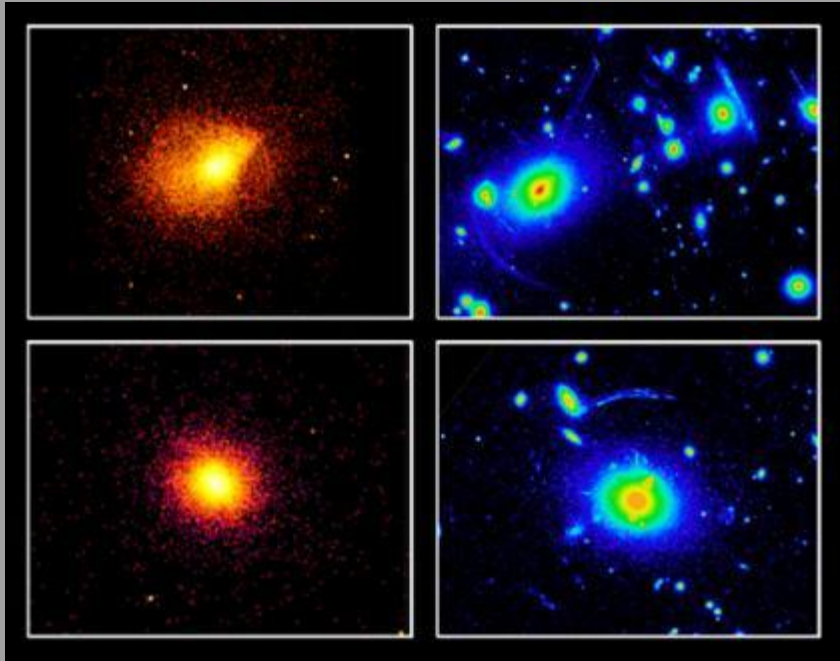
Credit: X-ray: NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al.; Submillimeter: MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al.; Optical: ESO/WFI



Credit: X-ray: NASA/CXC/CfA/W.Forman et al.; Optical: DSS

# Gromady galaktyk

Abell 2390 (górá)  
MS2137.3-2353 (dóť)



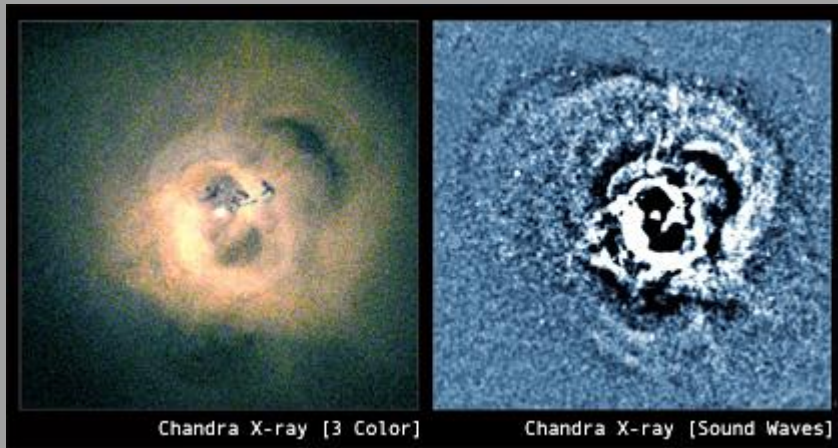
Credit: X-ray: NASA/IOTA/S.Allen et al. Optical: HST

Abell 2125



Credit: NASA/CXC/UMass/Q.D.Wang et al.

# Gromady galaktyk



Credit: NASA/CXC/IoA/A.Fabian et al.

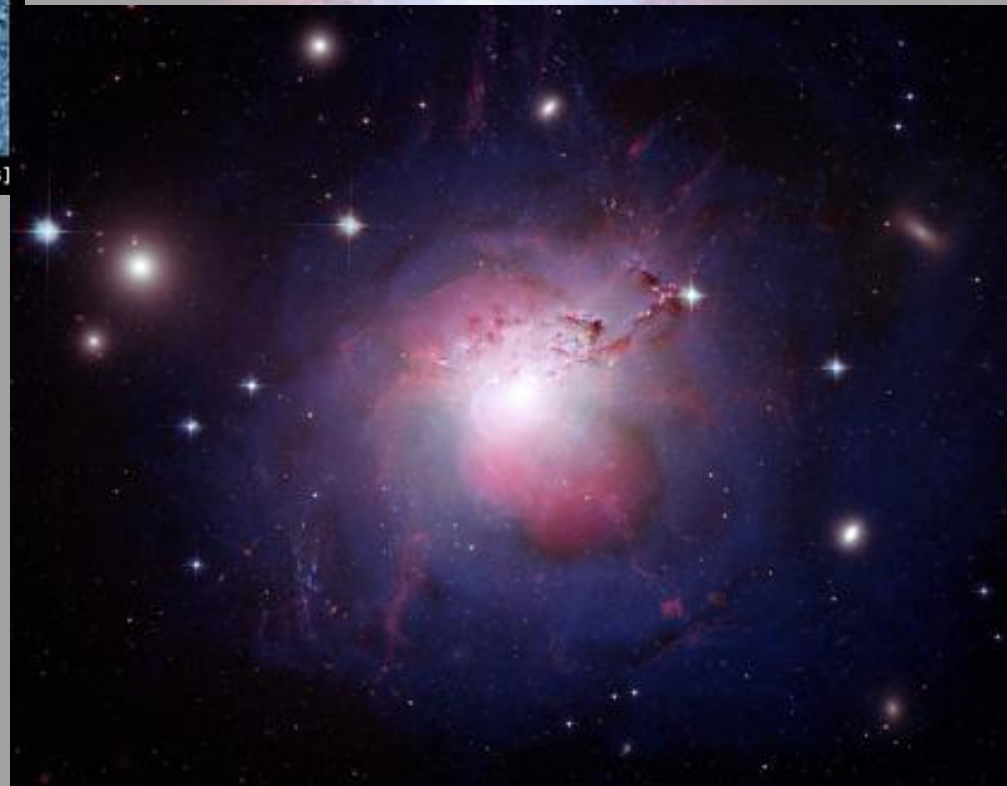
**Fale generowane przez zjawiska aktywne zachodzące dookoła czarnej dziury.**

**Odpowiadają one za ciągłe podgrzewanie ośrodka do temperatur sięgających milionów K.**

**Dzięki temu centralne obszary nie wychłodziły się przez 10 miliardów lat i nie utworzyły gwiazd**

## Gromada galaktyk w Perseuszu

**Kompozycja złożona z obrazów uzyskanych w zakresie rentgenowskim, widzialnym i radiowym:**



Credit: X-ray: NASA/CXC/IoA/A.Fabian et al.; Radio: NRAO/VLA/G. Taylor; Optical: NASA/ESA/Hubble Heritage (STScI/AURA) & Univ. of Cambridge/IoA/A. Fabian



# CHANDRA X-RAY OBSERVATORY

CXC OPERATED FOR NASA BY SAO



[ABOUT CHANDRA](#) | [EDUCATION](#) | [FIELD GUIDE](#) | [PHOTO ALBUM](#) | [PRESS ROOM](#) | [RESOURCES](#) | [MULTIMEDIA](#) | [PODCASTS](#)

### Chandra Mission

[Where is Chandra located right now?](#)

### Chronicle

Deep Impact – Chandra Top Ten (Plus One) in Ten [\[More\]](#) (06 October 09))

### Chandra Blog

Supernova Explosions Stay In Shape [\[More\]](#) (17 Dec 09))


### Desktop of the Week



[RCW 86](#)

### Video of the Week

## G292.0+1.8: SUPERNOVA EXPLOSIONS STAY IN SHAPE



A new study of supernova remnants allowed scientists to categorize the explosion that created them based on their shape [\[more\]](#) (17 Dec 09)

FEATURED STORIES

### Image Highlights



Crab Nebula: The Crab Nebula: A Cosmic Icon

### Featured Highlights



[Wish all your loved ones a very Happy Holidays.](#)



[Constellations: Wonders Within](#)

This series of posters represents some of the most dramatic images.

Subscribe to Updates

### PHOTO ALBUM:

 View Chandra images by date:  
['09](#) | ['08](#) | ['07](#) | ['06](#) | ['05](#) | ['04](#) | ['03](#) | ['02](#) | ['01](#) | ['00](#) | ['99](#);  
Visit the Chandra images organized by [category](#) or plotted on the [sky map](#).

### PRESSROOM:

 Supernova Explosions Stay In Shape [\[More\]](#) (17 Dec 09))  
View releases by date:  
[\[ '09 | '08 | '07 | '06 | '05 | '04 | '03 | '02 | '01 | '00 | '99 | '98 | '97 \]](#) [Status Reports](#)

### NEW AND NOTEWORTHY:

 Print your own [2010 Chandra calendar](#) with spectacular images from the past year.

### CHANDRA SPECIAL FEATURES:

 Explore this fun new [Second Life](#) world with Chandra.

ABOUT CHANDRA