

Ewolucja Wszechświata

Wykład 11

Magnetary, supernowe

Magnetary

5 marca 1979 r. sondy kosmiczne zarejestrowały silny impuls promieniowania gamma.

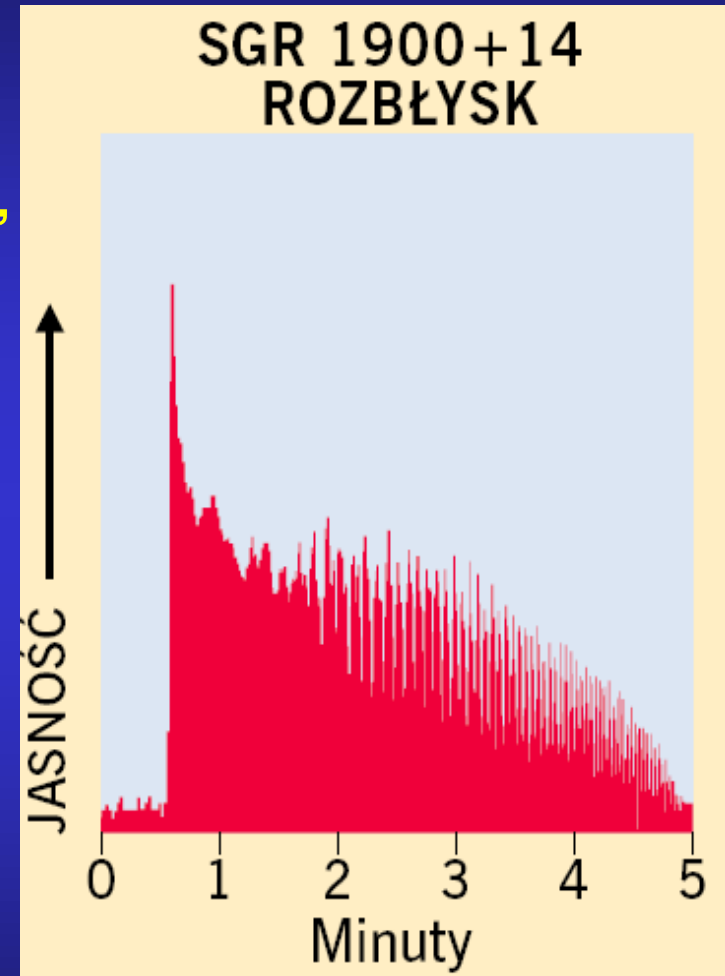
Impuls twardego promieniowania trwał 0,2 s, potem wystąpiło miękkie promieniowanie gamma i rentgenowskie, które stopniowo słabło w ciągu 5 minut.

W fazie wygasania jasność źródła oscylowała z okresem około 8 s.

14,5 godziny później w tym samym miejscu nieba pojawił się następny błysk promieniowania rentgenowskiego, zarejestrowano w sumie 16 błysków słabszych od pierwszego (ostatni 1983 r.)

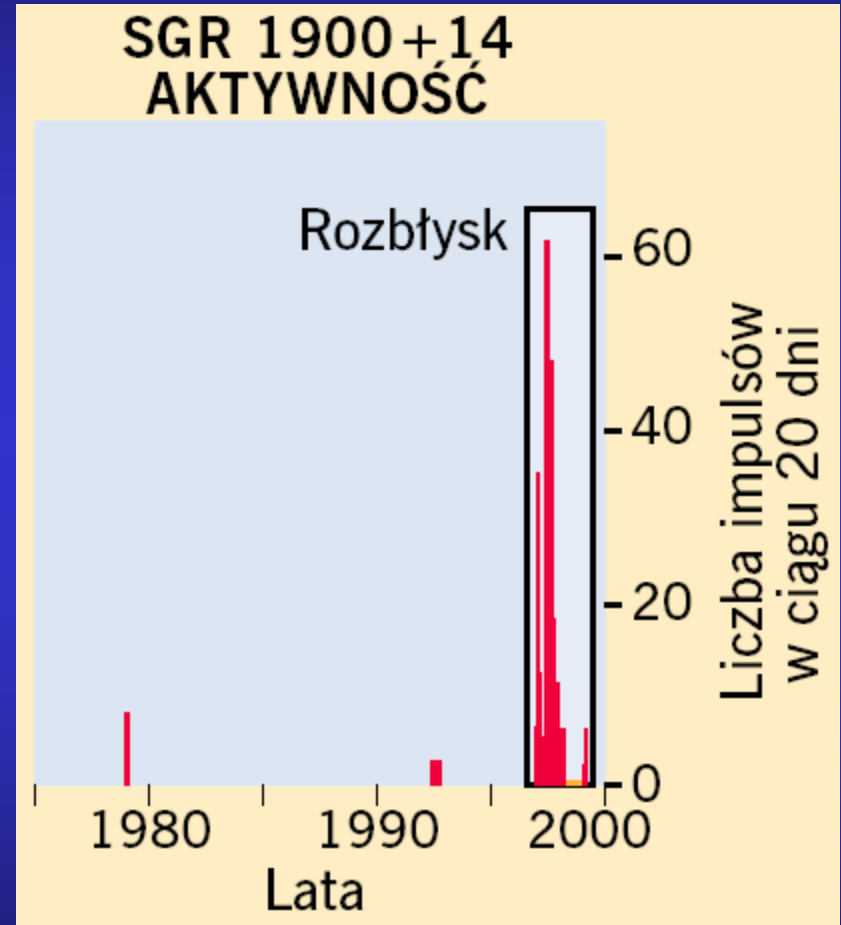
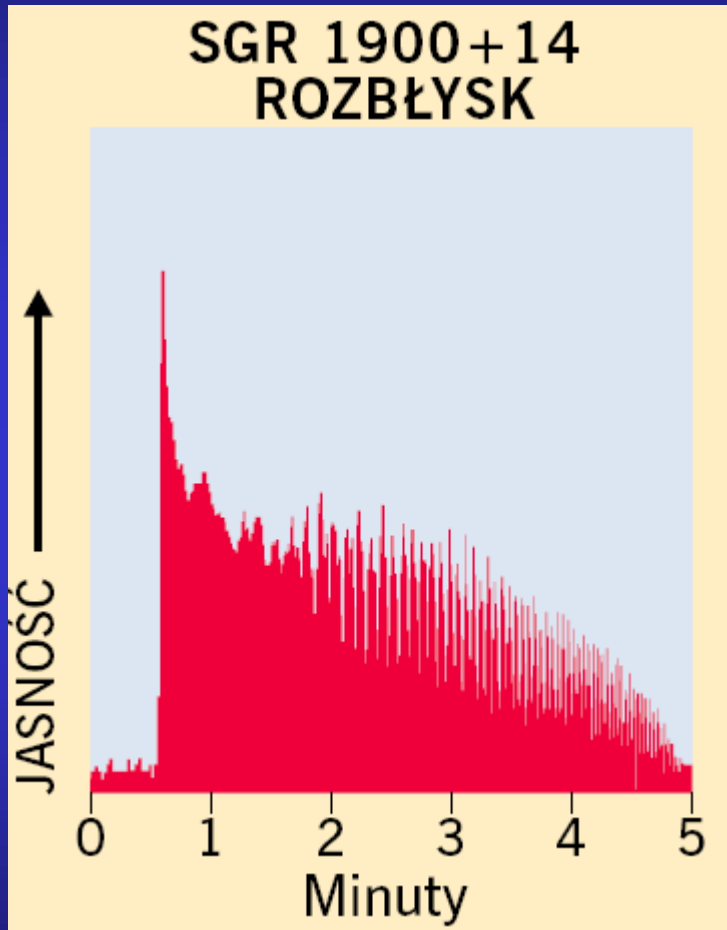
Nietypowy błysk gamma – zjawiska powtarzalne.

Soft Gamma Repeaters



Magnetary

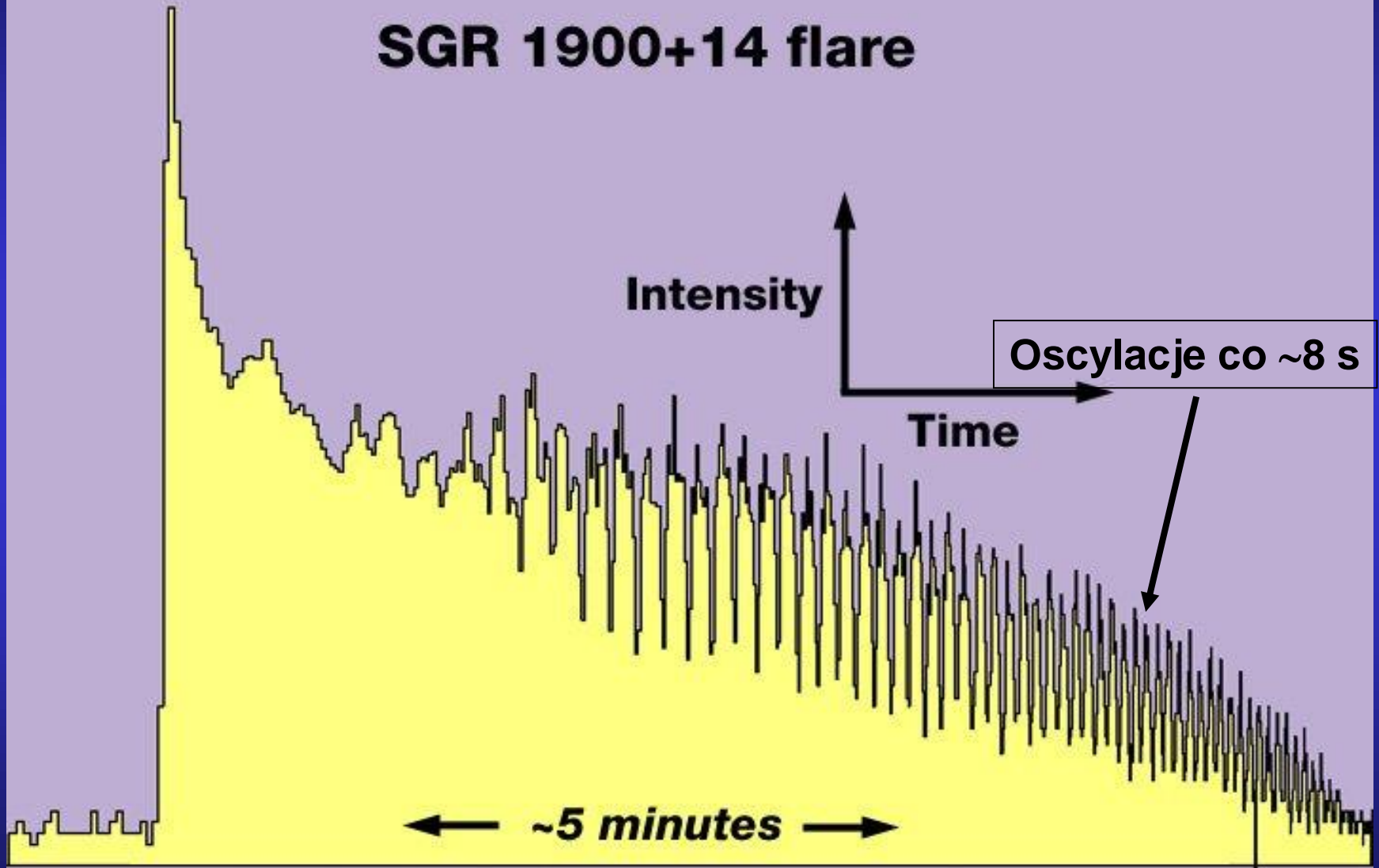
Gigantyczny rozbłysk w sierpniu 1998 roku...



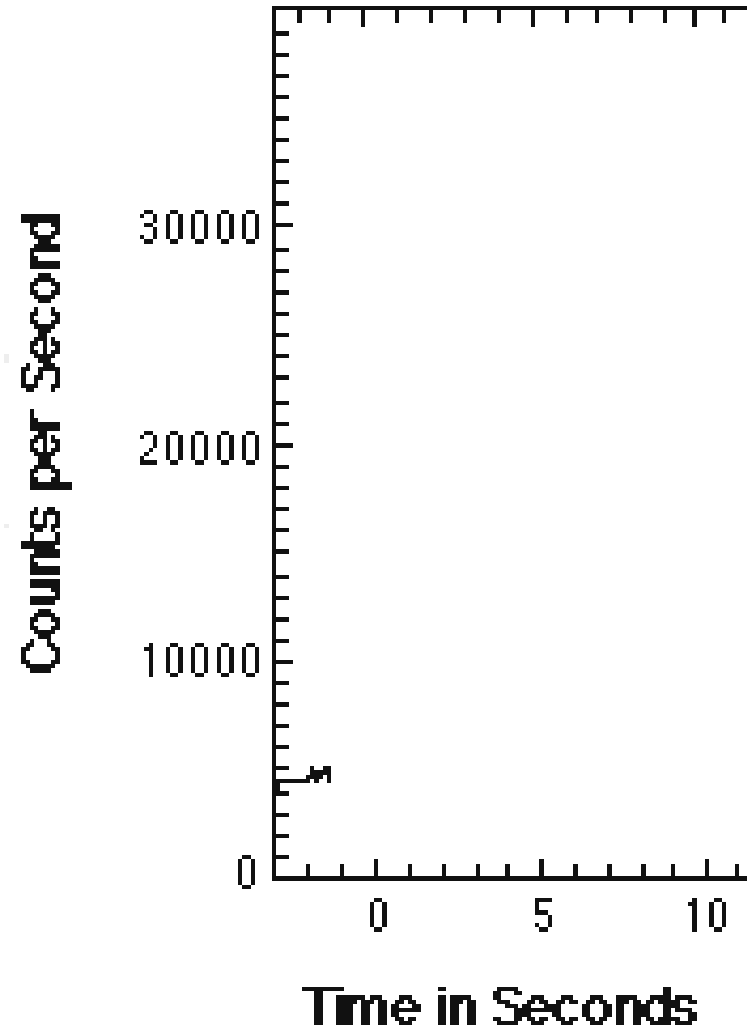
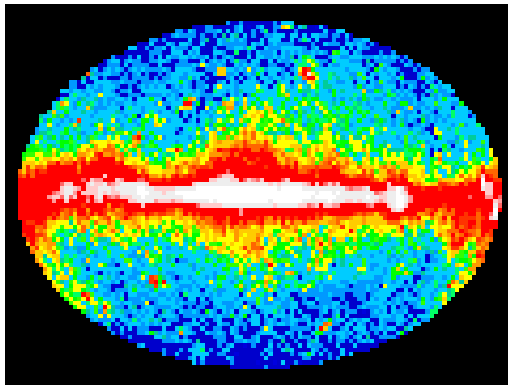
...był najsilniejszy od momentu odkrycia tego obiektu.

Magnetary

SGR 1900+14 flare



Magnetary



Magnetary

Jakie jest źródło tych błysków?

Kandydaci:

- czarne dziury – odpada ze względu na brak struktury wewnętrznej
- gwiazdy neutronowe o gigantycznych polach magnetycznych

Pole magnetyczne zwykłej gwiazdy neutronowej – $10^8 - 10^{12}$ Gs

Pole magnetyczne magnetara – 10^{15} Gs

1000 razy silniejsze!

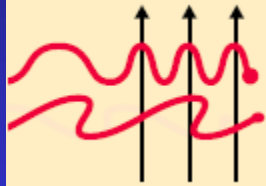
Pole powyżej wartości granicznej $4,414 \cdot 10^{13}$ Gs – dla takich pól elektrodynamika kwantowa przewiduje specjalne efekty.

Wartość graniczna $B = 4,414 \cdot 10^{13}$ G – częstość cyklotronowa elektronu pomnożona przez stałą Plancka równa jest jego masie spoczynkowej.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{q \cdot B}{m}$$

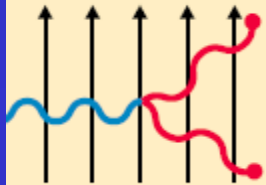
Magnetary

Pole magnetyczne w magnetarach zmienia właściwości promieniowania i materii.



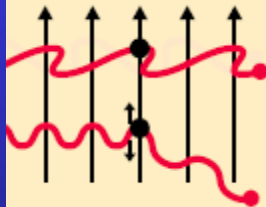
DWÓJŁOMNOŚĆ PRÓŻNI

Spolaryzowane światło (*pomarańczowy*) zmienia swą prędkość, a tym samym i długość fali w bardzo silnym polu magnetycznym (*ciemne linie*).



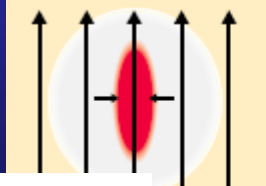
ROZSZCZEPIANIE FOTONÓW

Fotony promieniowania rentgenowskiego rozszczepiają się na dwa lub łączą ze sobą. Proces ten odgrywa istotną rolę w polach o natężeniu powyżej 10^{14} Gs.



ZANIK ROZPRASZANIA

Światło prześlizguje się po elektronach (*czarne kółka*) bez przeszkód, jeśli pole jest na tyle silne, że nie dopuszcza do drgań elektronów w takt fali.



DEFORMACJA ATOMÓW

Pole ściska orbitale elektronowe, nadając im kształt wąskich cygar. W polu o natężeniu 10^{14} Gs atom wodoru staje się 200 razy węższy.

Maksymalne pole magnetyczne $\sim 10^{17}$ Gs

Świat Nauki, marzec 2003

Krystyna Wosińska, WF PW

Magnetary

**Obecnie wiemy o istnieniu ponad 20 magnetarów,
podczas gdy pulsarów odkryliśmy ponad 2000.**

*Gdybyśmy umieścili magnetar w połowie drogi między
Ziemią i Księżycem, skasowałby on dane ze
wszystkich kart kredytowych na Ziemi.*

Magnetary

Jak powstają tak silne pola?

Efekt dynama: **Gaz wewnątrz gwiazdy podlega konwekcji**



Ruch zjonizowanego gazu generuje pole magnetyczne

Po przekształceniu jądra gwiazdy w gwiazdę neutronową konwekcja na krótko się nasila.

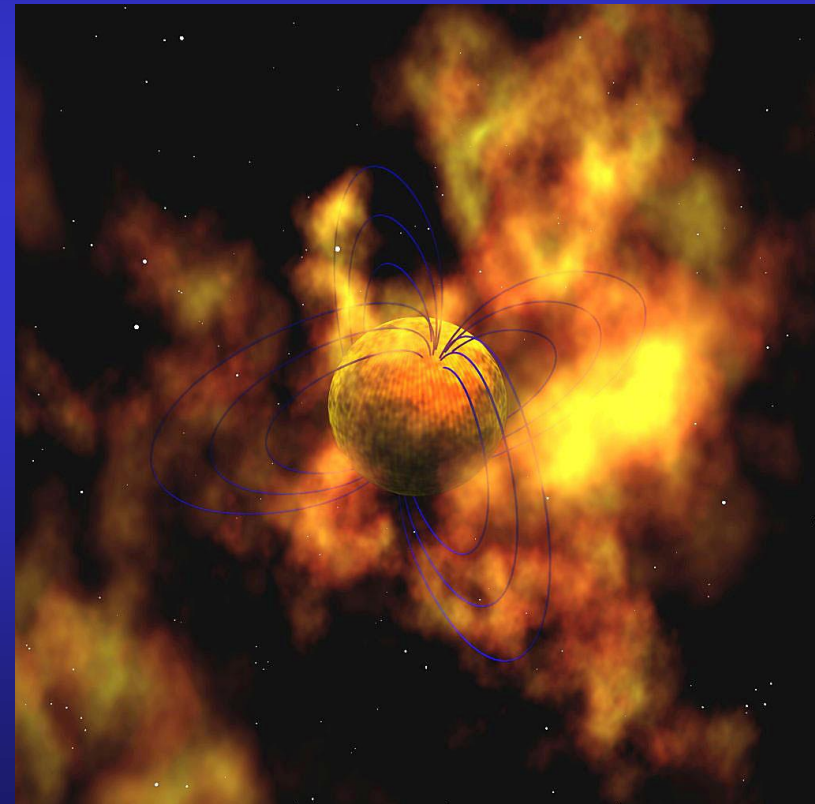
*Symulacje A. Burrowsa i J. M. Lattimera: **gorąca plazma w nowo powstałej gwiazdzie neutronowej dokonuje jednego obiegu konwekcyjnego w czasie ~ 10 ms. Po około 10 s gwałtowna konwekcja ustaje.***

Magnetary

Gwiazda neutronowa, która w momencie powstania rotuje z okresem dorównującym okresowi konwekcji 10 ms może spowodować powstanie pola magnetycznego $\sim 10^{15}$ Gs

Pulsary radiowe - gwiazdy neutronowe, w których nie doszło do wystąpienia efektu dynama w skali globalnej.

Przykład: pulsar w mgławicy Krab miał początkowy okres około 20 ms



Magnetary

Jak magnetar uzyskał ogromną prędkość kątową?
W układzie podwójnym!

Dla magnetaru CXOU J164710.2-455216, znajdującego się w młodej (3-5 mln lat) gromadzie otwartej Westerlund1, określono masę gwiazdy, z której powstał magnetar na 40 mas Słońca.



Czarna dziura?

Magnetar powstał w ciasnym układzie podwójnym dwóch masywnych gwiazd – A i B.



zwiększenie masy oraz
prędkości kątowej

Magnetary

B staje się bardziej masywna od A, szybciej wypala zapasy wodoru w jądrze i osiąga dalsze stadium ewolucji.



A z dużą prędkością wyrzucona z układu podwójnego w trakcie wybuchu.

B zmniejsza masę - po wybuchu jako supernowa formuje magnetar.

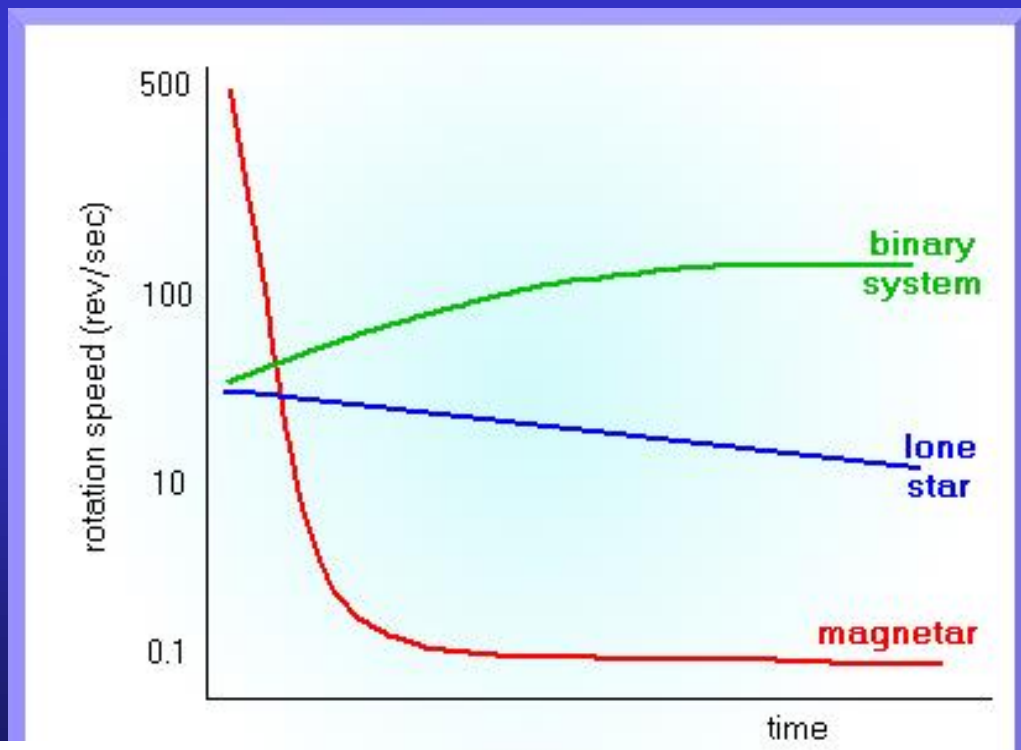
W wyniku prowadzonych obserwacji udało się zidentyfikować gwiazdę Westerlund 1-5. Jej szybki ruch własny oraz nietypowy skład chemiczny dają dobre podstawy do uznania jej za dawnego partnera CXOU J164710.2-455216.

Praca opublikowana w *Astronomy&Astrophysics*, May 12, 2014
przez zespół naukowców kierowany przez Simona Clarka z The
Open University w Milton Keynes

Magnetary

Pole magnetyczne silnie hamuje ruch obrotowy magnetara.

**W ciągu 5000 lat pole magnetyczne rzędu 10^{15} Gs
zmniejszy okres obrotu od 10 ms do 8 s.**



Gwiazda neutronowa w systemie podwójnym: powstanie dysku akrecyjnego może przyspieszać rotację gwiazdy

Samotna gwiazda neutronowa

Magnetar

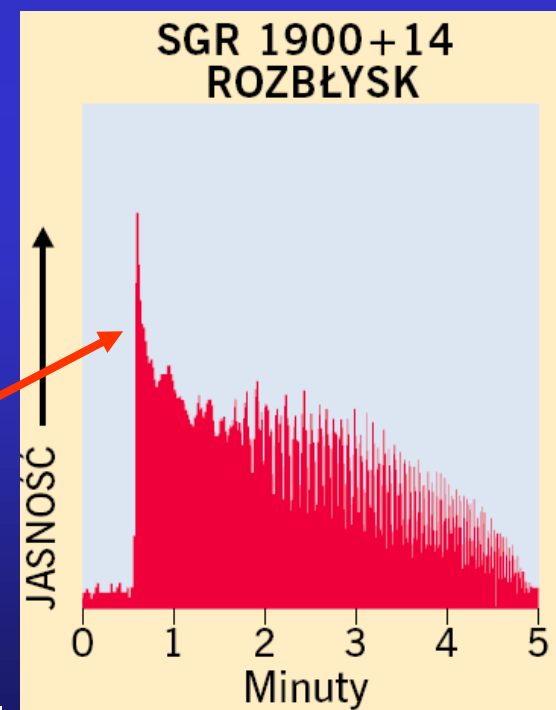
Magnetary

Zmniejszanie się prędkości kątowej



Pękanie skorupy – potężne „trzęsienie gwiazdy”

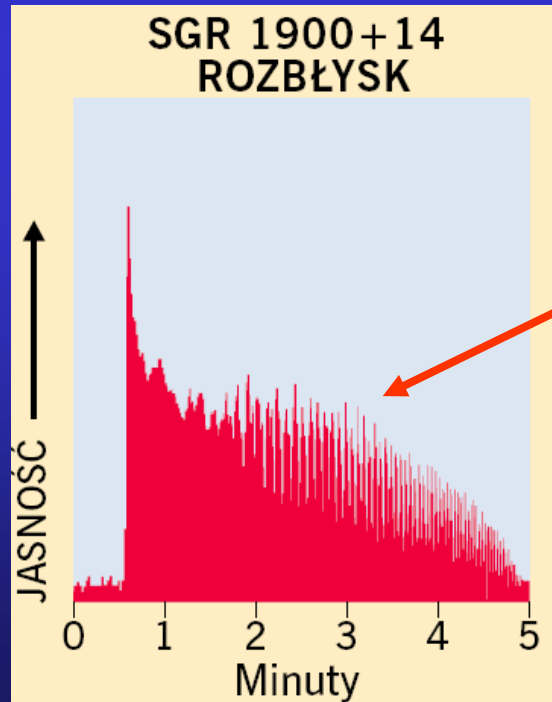
Gwałtowne uwolnienie energii magnetycznej powoduje powstanie gęstego obłoku elektronów i pozytonów i niezwykle silny błysk miękkiego promieniowania γ .



Magnetary

Kula plazmy jest uwięziona przez linie sił pola magnetycznego i przytrzymana blisko powierzchni gwiazdy.

Kula ognista stopniowo kurczy się i wyparowuje, emitując promieniowanie rentgenowskie.



Coraz słabsze impulsy wysyłane z okresem kilku sekund.

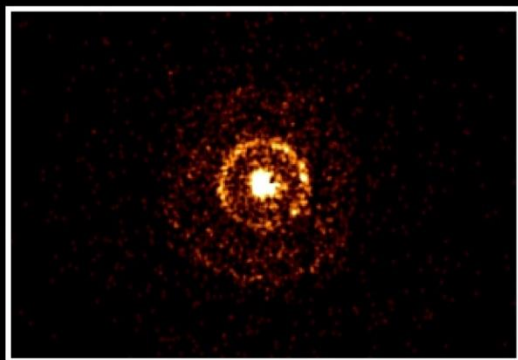
Magnetary

W 1996 roku naukowcy z Los Alamos Laboratory zwrócili uwagę, że powtarzalne źródła gamma są pod względem statystycznym podobne do trzęsień ziemi.

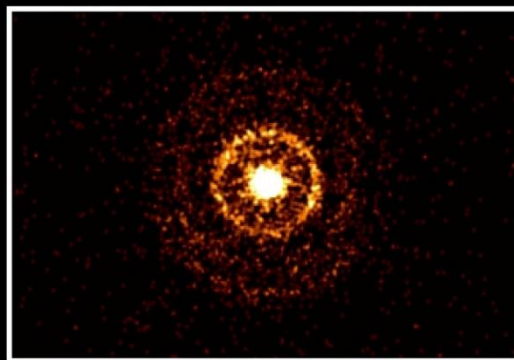
Zjawisko to możemy sobie wyobrazić następująco:

- przez dłuższy czas magnetar nie wykazuje żadnej aktywności, wywołane przez pole magnetyczne naprężenia w jego wnętrzu powoli narastają,
- **gdy naprężenia w skorupie przekroczą jej wytrzymałość to skorupa nagle pęka, rozpadając się przypuszczalnie na wiele małych kawałków,**
- wygenerowuje się silny impuls prądu elektrycznego, który zanikając, pozostawia gorącą kulę ognistą,
- **kula ognista szybko ochładza się, emitując ze swojej powierzchni regularne impulsy promieniowania rentgenowskiego i gamma i w ciągu kilku minut zanika.**

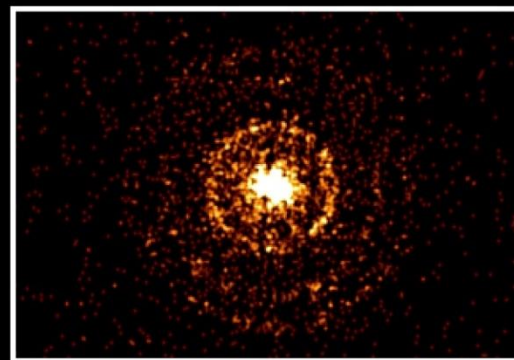
NASA's Swift observes X-ray echoes around SGR J1550-5418



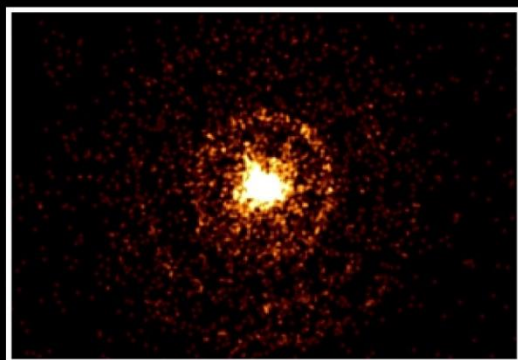
Jan. 23, 2009



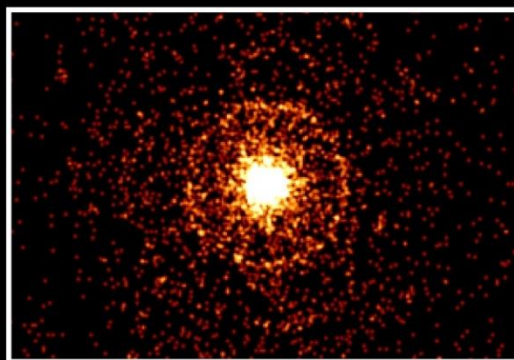
Jan. 24



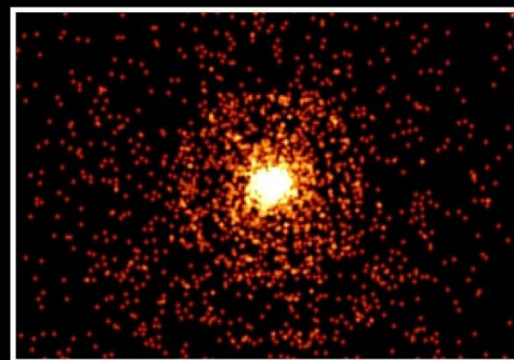
Jan. 25



Jan. 26



Jan. 27



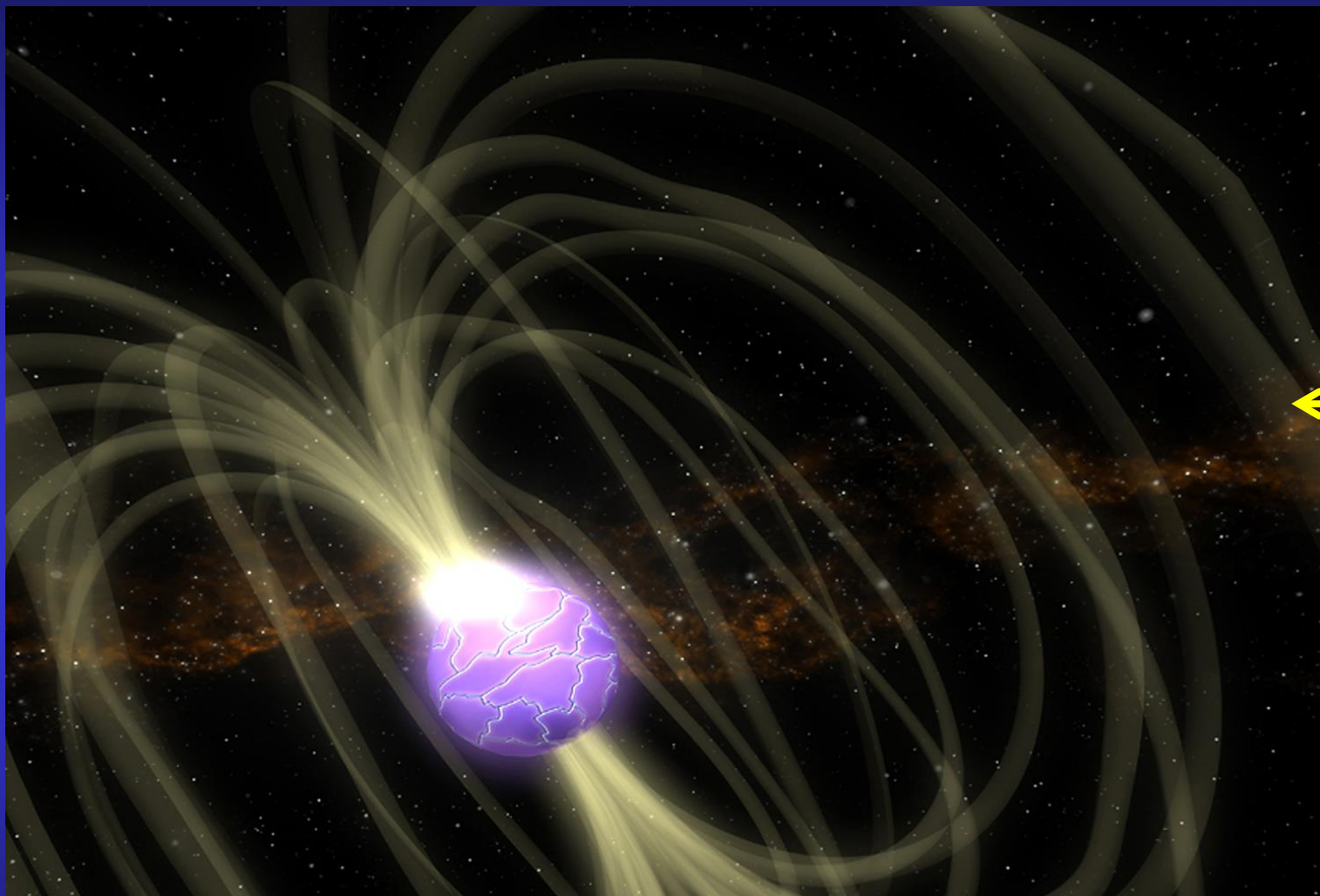
Jan. 28

Credit: NASA/Swift/Jules Halpern (Columbia Univ.)

animacja

Teleskop rentgenowski Swift zarejestrował powiększające się halo wokół błyskającego magnetara SGR J1550-5418 - rezultat rozpraszania prom. X na obłoku pyłowym.

Magnetary



animacja

Błysk promieniowania gamma pojawia się, gdy powierzchnia magnetara nagle pęka i uwalnia się energia gigantycznego pola magnetycznego.



Magnetary

Bryan Gaensler i współpracownicy (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) przypuszczają, że bardzo masywne gwiazdy mogą uformować gwiazdy neutronowe wirujące z prędkością 500 – 1000 obrotów na sekundę. Taka gwałtowna rotacja powinna napędzać dynamo i generować bardzo silne pole magnetyczne.

"Normalne" pulsary rodzą się rotując z prędkością 50-100 razy na sekundę, przez co dostarczają zbyt mało mocy i wytwarzają pole magnetyczne 1000 razy słabsze.

Magnetary

Gaensler i jego ekipa zbadali magnetar o nazwie: 1E 1048.1-5937, znajdujący się w przybliżeniu 9000 lat świetlnych od Ziemi w konstelacji Kil.

Badając gazową otoczkę wokół magnetara, określono górną granicę masy gwiazdy, z której powstał magnetar na 40 mas Słońca.

(dane z 2 radioteleskopów, w tym największego w Australii, 64-metrowego radioteleskopu Parkes).

Rozmiar otoczki i prędkość jej rozszerzania się w przestrzeni zależą od masy gwiazdy macierzystej.

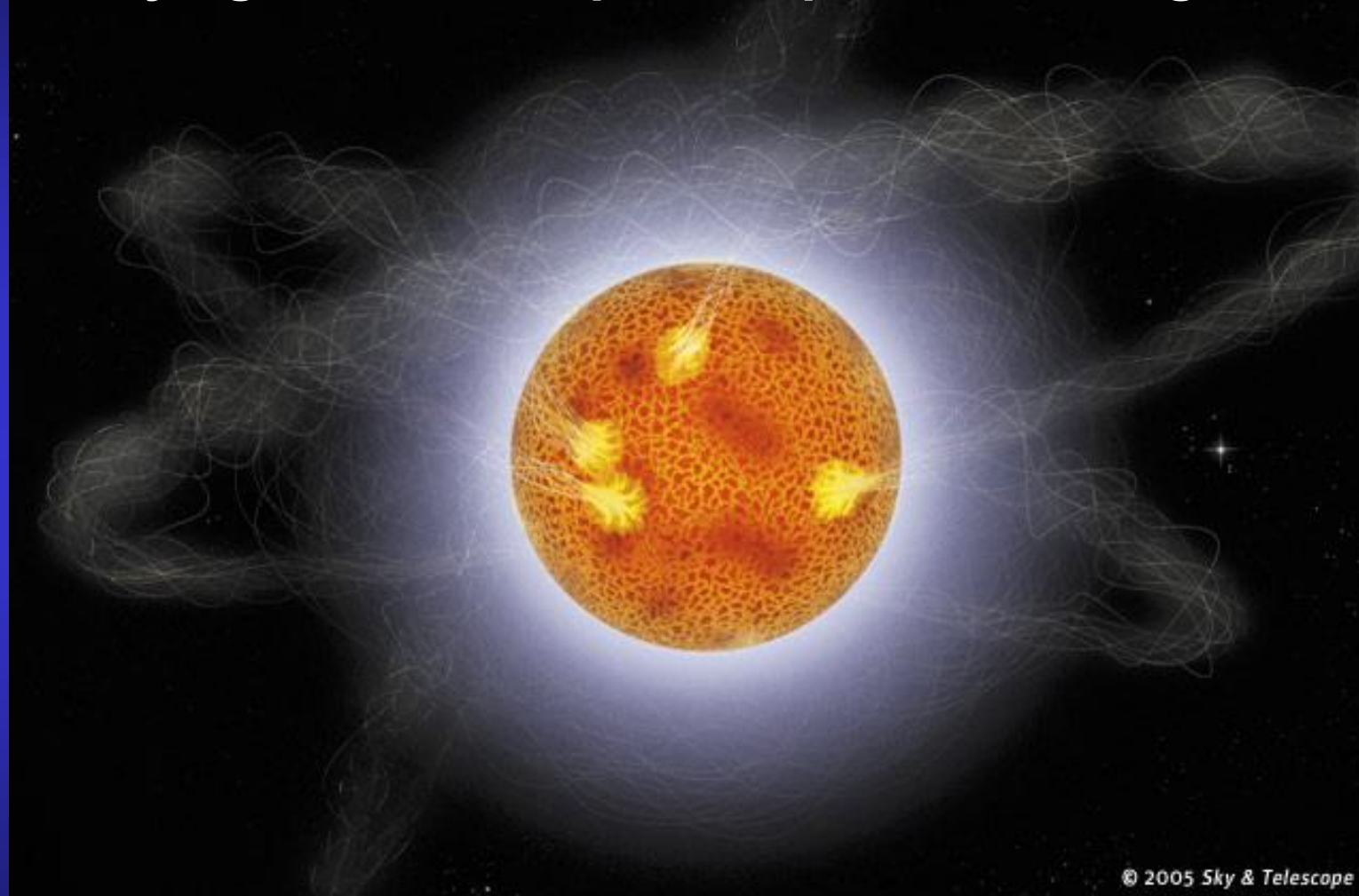
A Stellar Wind Bubble Coincident with the Anomalous X-ray Pulsar 1E 1048.1-5937: Are Magnetars Formed From Massive Progenitors?

B. M. Gaensler, N. M. McClure-Griffiths, M. S. Oey, M. Haverkorn, J. M. Dickey, A. J. Green

Comments: 4 pages + 1 EPS figure, in emulateaj style. ApJ Letters, in press

Journal-ref: Astrophys.J. 620 (2005) L95-L98

Tak mógłby wyglądać *magnetar*, gdybyśmy mogli zobaczyć go z bliska w paśmie promieni rentgena.



© 2005 Sky & Telescope

Ilustrację dla magazynu Sky & Telescope wykonał Gregg Dinderman.



Supernowe

Mgławica Tarantula w Wielkim
Obłoku Magellana
sfotografowana w 1984 roku...

...i w 1987 roku.



**Strzałka pokazuje gwiazdę, która wybuchła jako supernowa
– niebieskiego superolbrzyma.**

Supernowe

Znamy dwa typy supernowych:

Typ Ia

Jasność maleje w sposób regularny

Jaśniejsze (jaśniejsze od Słońca 2,5 miliarda razy)

Brak wodoru w ich składzie

Występują bardziej powszechnie: w galaktykach spiralnych (zarówno w centrum jak i w ramionach) i w galaktykach eliptycznych

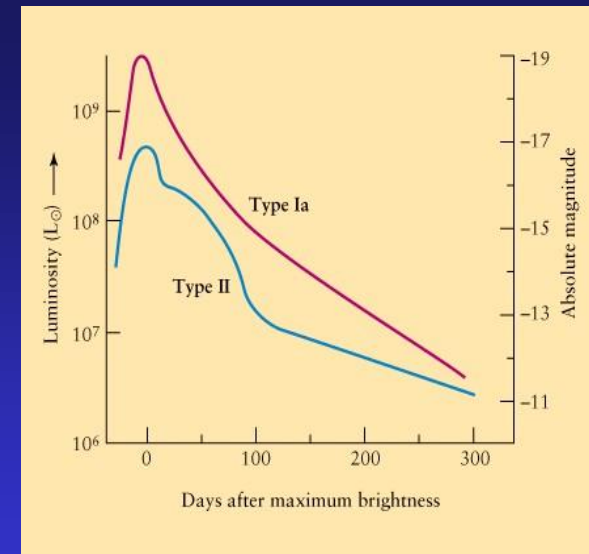
Typ II, Ib, Ic

Jasność maleje chaotycznie

Ciemniejsze (jaśniejsze od Słońca miliard razy)

Wodór występuje w dużych ilościach

Występują najczęściej w ramionach galaktyk spiralnych



Supernowe I typu

Brak wodoru i duże ilości pierwiastków takich, jak węgiel, tlen, czy neon.



Gwiazdy stare, w których wypalił się wodór.

Wybuchy supernowych I typu to eksplozje białych karłów.

Biały karzeł – pozostałość po ewolucji gwiazdy podobnej do Słońca. Składa się z jąder węgla i tlenu, a ciśnienie zdegenerowanego gazu elektronów równoważy grawitację.

$$R \propto \frac{1}{M^{\frac{1}{3}}}$$

Masa rośnie – promień maleje!

Pojedynczy biały karzeł po wielu miliardach lat ostygnie do postaci czarnego karła.

Co dzieje się z białym karłem w układzie podwójnym z inną gwiazdą?



Supernowe I typu

Gdy gwiazdy są odpowiednio blisko siebie, materia z większego partnera będzie mogła przepływać na białego karła.

Spływający gaz tworzy dysk akrecyjny, powiększając masę białego karła i powodując jego kontrakcję.

Gdy masa przekroczy 1,44 masy Słońca (granica Chandrasekhara) rosnąca temperatura zapoczątkuje reakcję termojądrową, syntezę węgla i tlenu w cięższe pierwiastki.

Reakcja termojądrowa przebiega gwałtownie powodując wybuch.

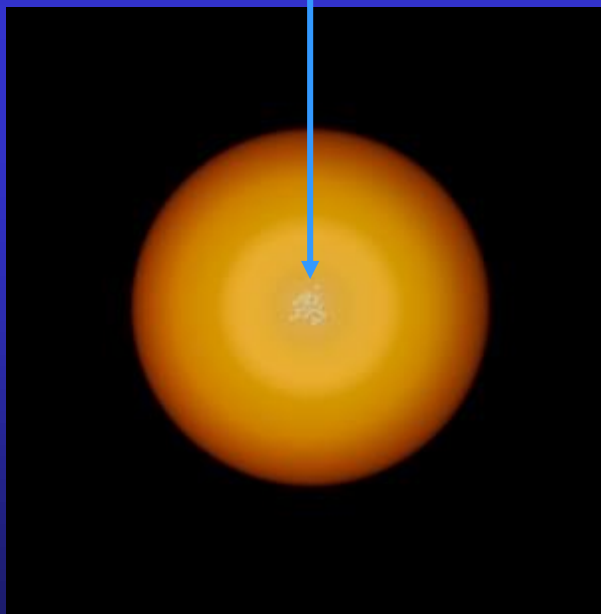
Z białego karła nie zostaje żadna pozostałość – cała materia rozprasza się w przestrzeni, wzbogacając Wszechświat w ciężkie pierwiastki.

Wybuch supernowej I typu

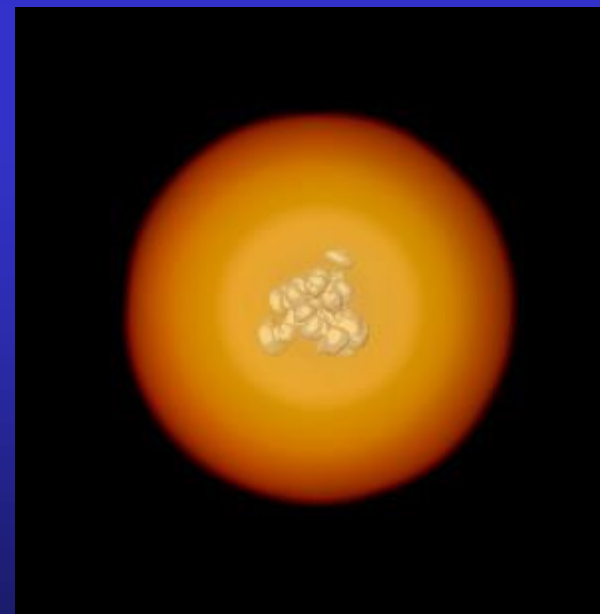
Symulacja komputerowa

(Friedrich Röpke and Wolfgang Hillebrandt)

Nukleosynteza zachodzi w cienkiej warstwie na powierzchni bąbla wypełnionego wypalonym materiałem.



Reakcja przesuwa się w kierunku powierzchni gwiazdy.



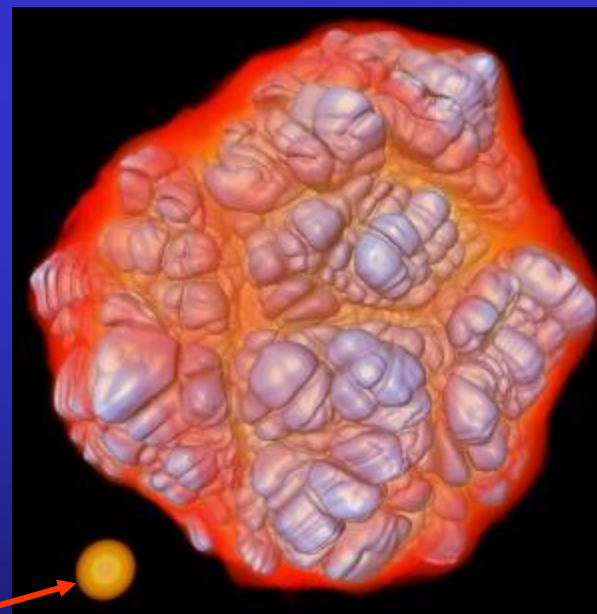
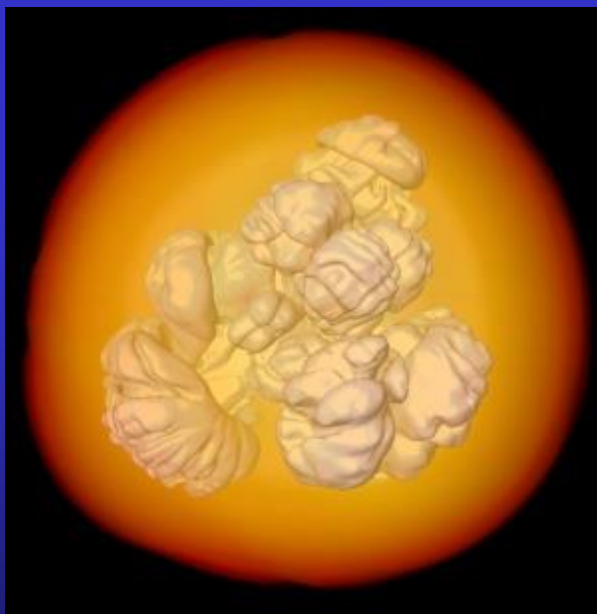
Wybuch supernowej I typu

Symulacja komputerowa

(Friedrich Röpke and Wolfgang Hillebrandt)

Wewnątrz bąbla jest wypalony gorący materiał, na zewnątrz zimne, gęste paliwo. Stan nierównowagi prowadzi do powstawania wirów i turbulencji.

Końcowa faza eksplozji. Większa część gwiazdy wypaliła się i gwałtownie wybucha.



Biały karzeł przed wybuchem

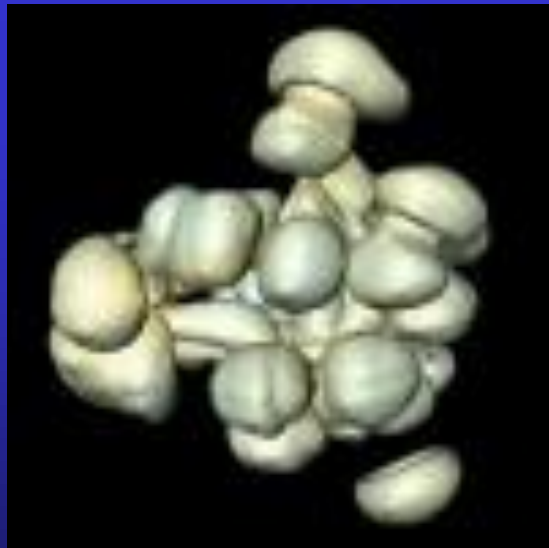
Wybuch supernowej I typu

Symulacja komputerowa

(Friedrich Röpke and Wolfgang Hillebrandt)

Wybuch zaczyna się zawsze ,
gdy masa gwiazdy osiągnie
wartość 1,44 masy Słońca.

Znajomość całkowitej energii
wyzwalanej w wybuchu pozwala
wykorzystać supernowe Ia do
wyznaczania odległości we
Wszechświecie. (Świece standardowe)



Kliknij



Film przedstawiający symulację
komputerową wybuchu białego
karła. Kolory pokazują zmieniającą
się prędkość propagacji płomienia.
Na górze kadru zmieniająca się
skala.



Supernowa Tycho Brahe

W listopadzie 1572 r. pojawiła się w Kasjopei nowa gwiazda o takiej jasności, że widoczna była za dnia. Opisał ją duński astronom Tycho Brahe w pracy „Stella Nova”



animacja



Materia z wybuchu przez około 400 lat utworzyła kulę gazu i pyłu o średnicy 20 lat świetlnych.

Dr Krause z Instytutu Maxa Plancka z zespołem zbadali widmo światła pochodzącego z czasu tuż po wybuchu, wykorzystując światło odbite od cząsteczek pyłu międzygwiazdowego.



To supernowa typu Ia.



animacja

Nature 456, 617-619 (4 December 2008)

„Here we report an optical spectrum of Tycho's supernova near maximum brightness, obtained from a scattered-light echo more than four centuries after the direct light from the explosion swept past the Earth. We find that SN 1572 belongs to the majority class of normal type Ia supernovae.”

Supernowe II typu

Supernowa II typu jest końcowym etapem ewolucji gwiazd o masach większych niż 3 masy Słońca.

Po wypaleniu paliwa jądrowego wewnątrz superolbrzymia tworzy się nieściśliwe jądro - gwiazda neutronowa.

Opadające na jądro zewnętrzne warstwy gwiazdy, gwałtownie odbijają się i następuje eksplozja.

Eksplodacja powoduje wysłanie fali uderzeniowej, która przemierza przestrzeń kosmiczną z prędkością 8 milionów km/h.

W czasie wybuchu wydziela się tyle energii, że możliwa staje się nukleosynteza ciężkich jąder (cięższych od żelaza).

Po wybuchu pozostaje gwiazda neutronowa (pulsar) lub czarna dziura.

Brak zadawalających modeli tego procesu.

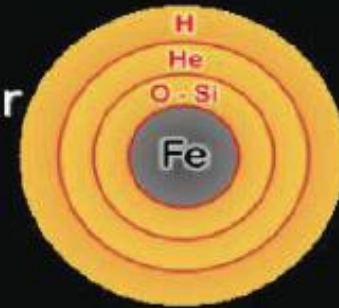
Type Ia

- 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

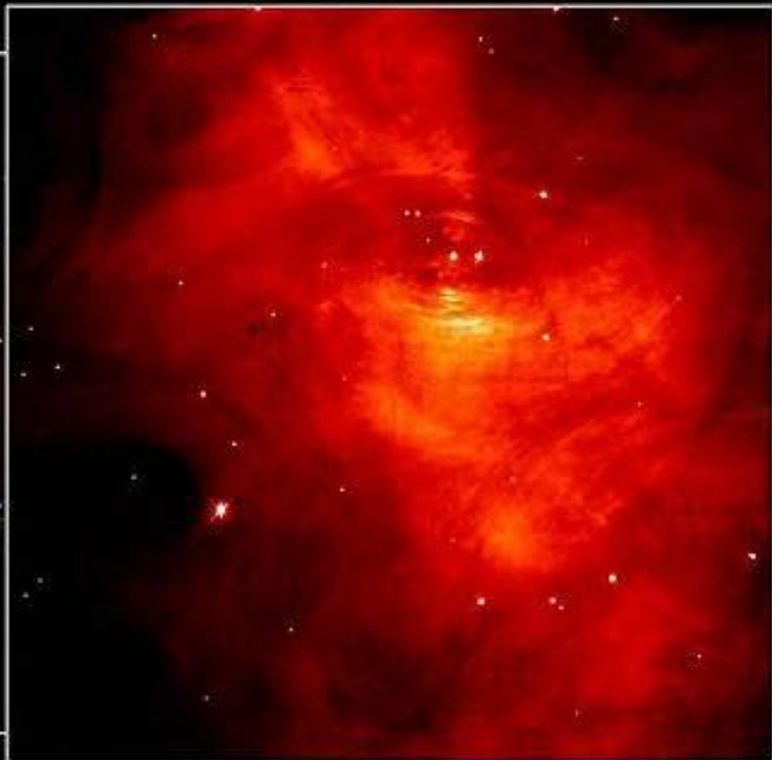
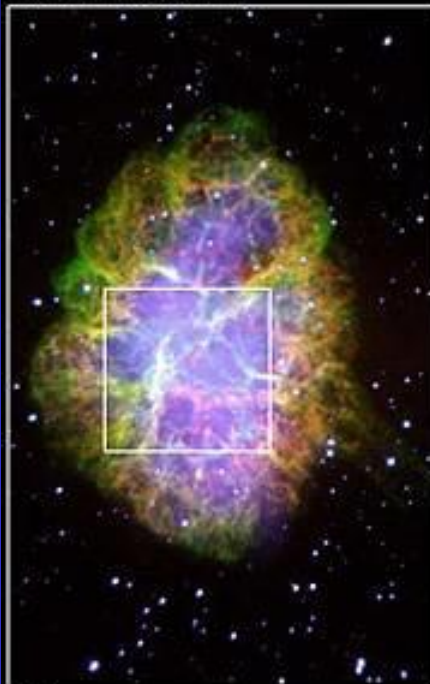


Chandrasekhar limit is reached – $M_{Ch} \approx 1.5 M_{sun} (2Y_e)^2$

COLLAPSE SETS IN

Supernowe II typu

Crab Nebula



Palomar

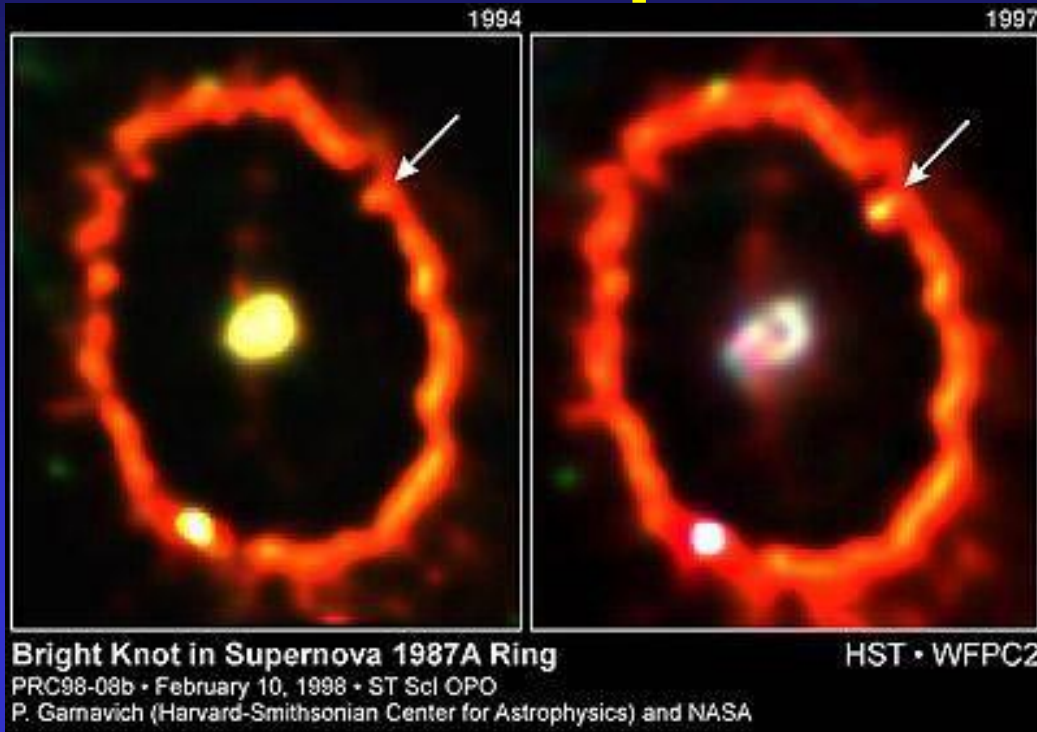
PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.) and NASA

HST · WFPC2

W centrum mgławicy Krab odkryto pulsara, obracającego się z częstotliwością 30 razy na sekundę.

Mgławica Krab stworzona z pozostałości po supernowej z 1054 roku. Opisana przez chińskich astronomów jako nagle pojawiające się jasne światło, widziane w gwiazdozbiornie Byka, intensywnie jasne przez długi czas, widzialne nawet w ciągu dnia.

Supernowe II typu

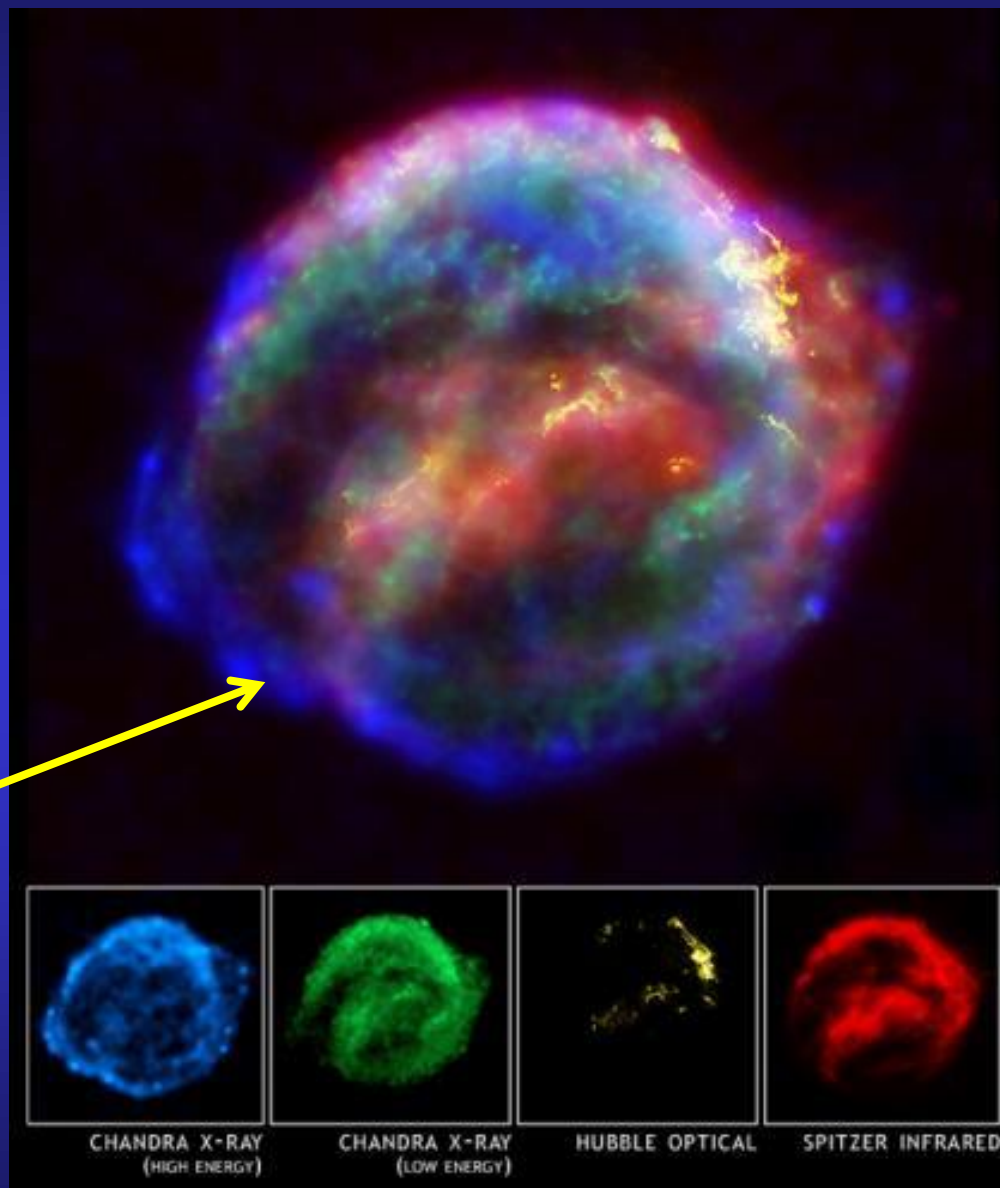


W lutym 1987 odkryto najjaśniejszą supernową od 500 lat SN1987A (leżącą w Wielkim Obłoku Magellana). 167000 lat temu gwiazda po kolapsie jądra eksplodowała w ciągu kilku sekund.

Wizualne zmiany w wyglądzie tej supernowej zaobserwowano w ciągu dekady: Na lewym zdjęciu zrobionym w 1994 przez HST silny podmuch wiatru wyniósł pierścień gazu na odległość 162 milionów km. Na obrazie z 1997 centralna gwiazda uległa zmianom. Pojawiły się też nowe dzęty. Supernowa ta jest silnym źródłem promieniowania X, UV i fal radiowych

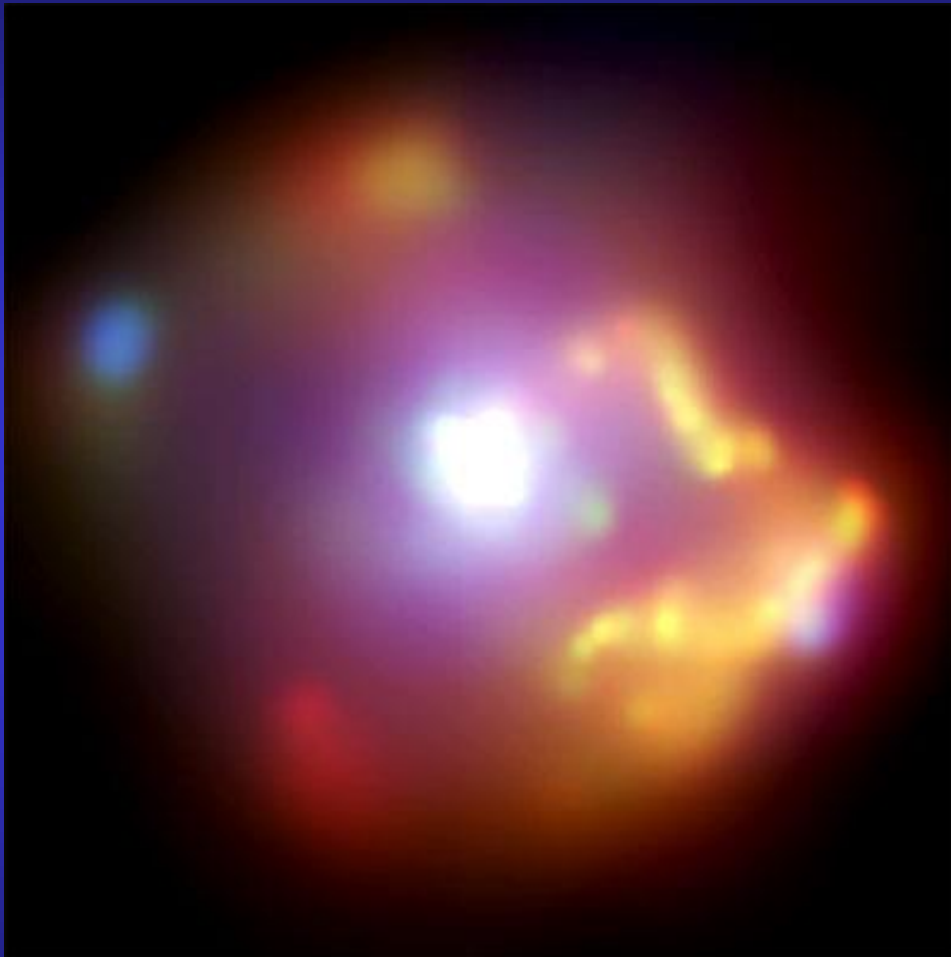
Supernowe II typu

8 października 1604 roku Kepler zaobserwował w Drodze Mlecznej wybuch gwiazdy supernowej. Obraz powstały przez złożenie obrazów w różnych zakresach fal elektromagnetycznych.



Najgorętszy gaz emitujący promieniowanie X o największej energii tuż za falą uderzeniową.

Supernowe II typu



Zdjęcie ukazuje w centrum jarzącą się biel o rozmiarze około 3 lat świetlnych stworzoną przez wysokoenergetyczne cząsteczki pochodzące z szybko rotującej gwiazdy neutronowej. Otaczająca biały obszar powłoka gorącego gazu ma średnicę 40 lat świetlnych co wskazuje na postępującą falę uderzeniową powstałą po wybuchu supernowej.

Supernowa



kliknij

Animacja przedstawia wybuch supernowej i kształtowanie się z niej mgławicy NGC 7293.

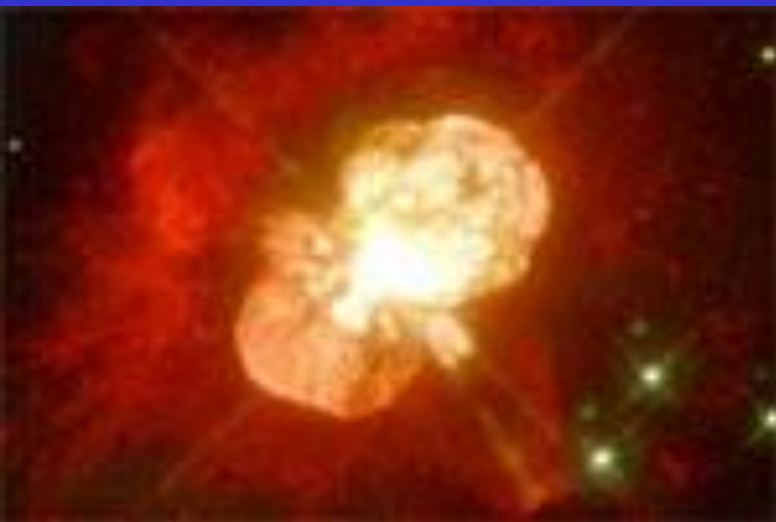
<http://gallery.astronet.pl/index.cgi?218#zdjecia>



Supernowa SN 2006 GY

Zaobserwowana 19 sierpnia 2006 roku w galaktyce
NGC 1260 w gwiazdozbiorze Perseusza

Odległa o 240 milionów lat świetlnych
Masa około 150 razy większa od Słońca

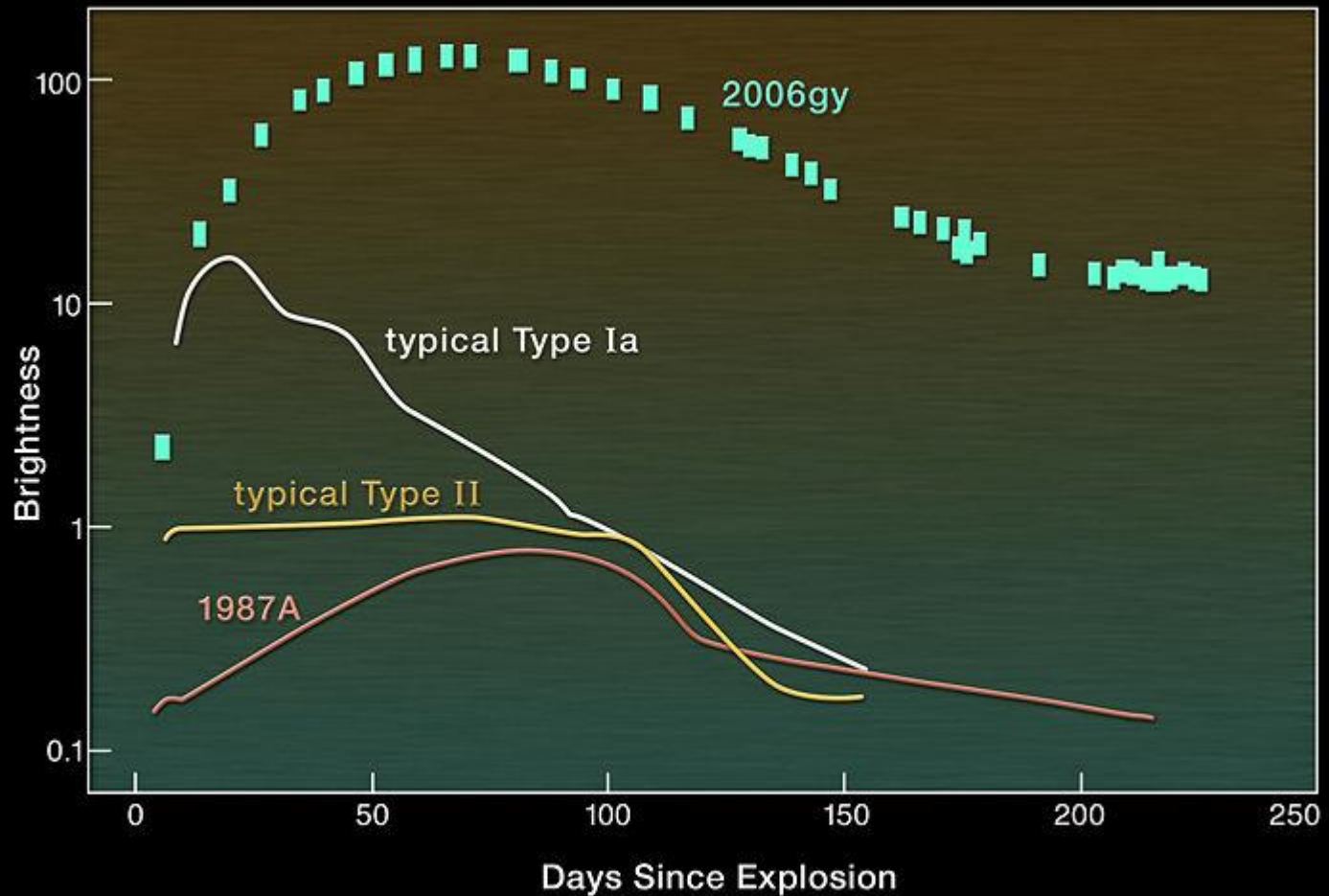


Największa eksplozja gwiazdy,
jaką kiedykolwiek mieliśmy
możliwość obserwować.

Nie pasuje do żadnego znanego typu.



Supernova SN 2006 GY

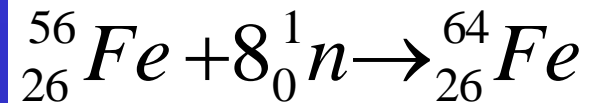


Proces r

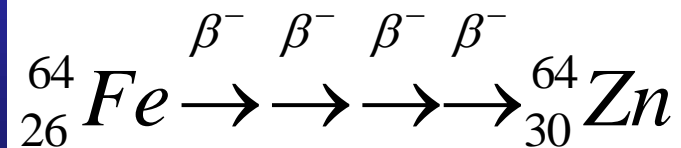
Podczas wybuchu supernowej powstają jądra cięższe od żelaza w procesie r (rapid neutron captures proces)

Szybki wychwyt przez jądro wielu neutronów i powstaniu niestabilnego nuklidu bogatego w neutrony.

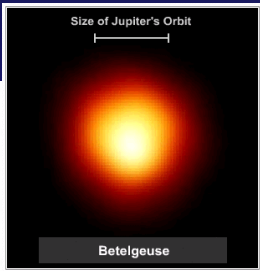
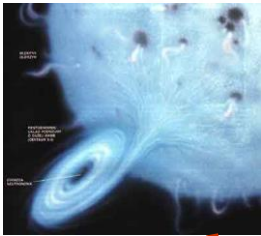
Przykład:



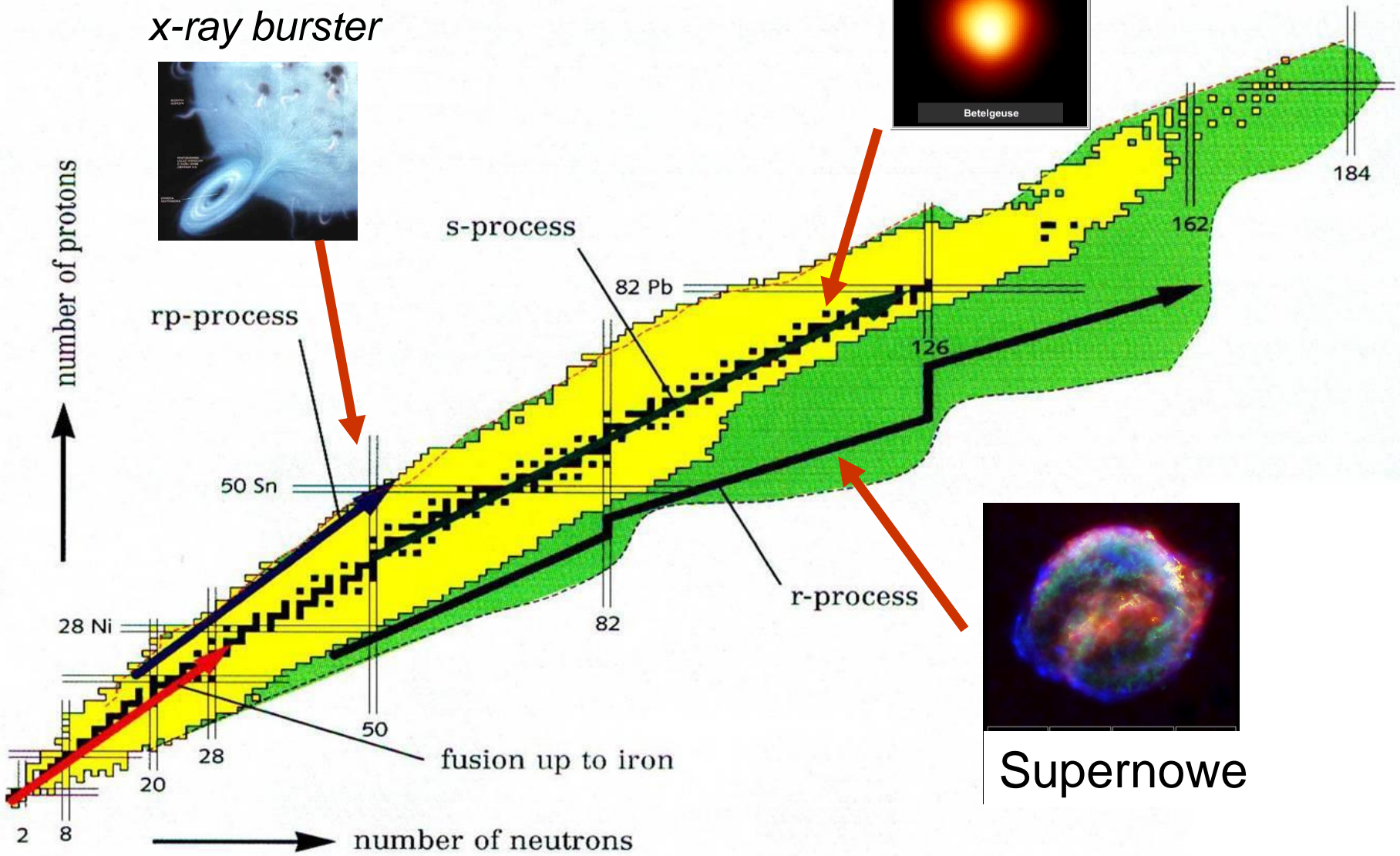
Seria spontanicznych rozpadów β^- prowadzących do powstania stabilnego nuklidu.



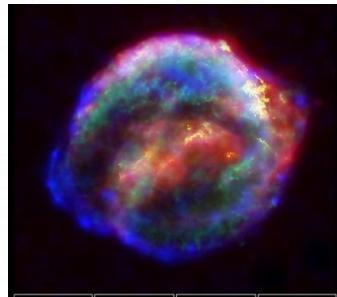
x-ray burster



number of protons



number of neutrons



Supernowe

Gwiazdy zmienne

Cefeidy - rzadkie i bardzo jasne gwiazdy o regularnych zmianach blasku.

Gwiazda delta-Cephei w konstelacji Cefeusza była pierwszą odkrytą gwiazdą zmienną tego typu.



W 1912 r. astronom - Henrietta Leavitt zaobserwowała 20 gwiazd zmiennych - cefeid w Małym Obłoku Magellana.

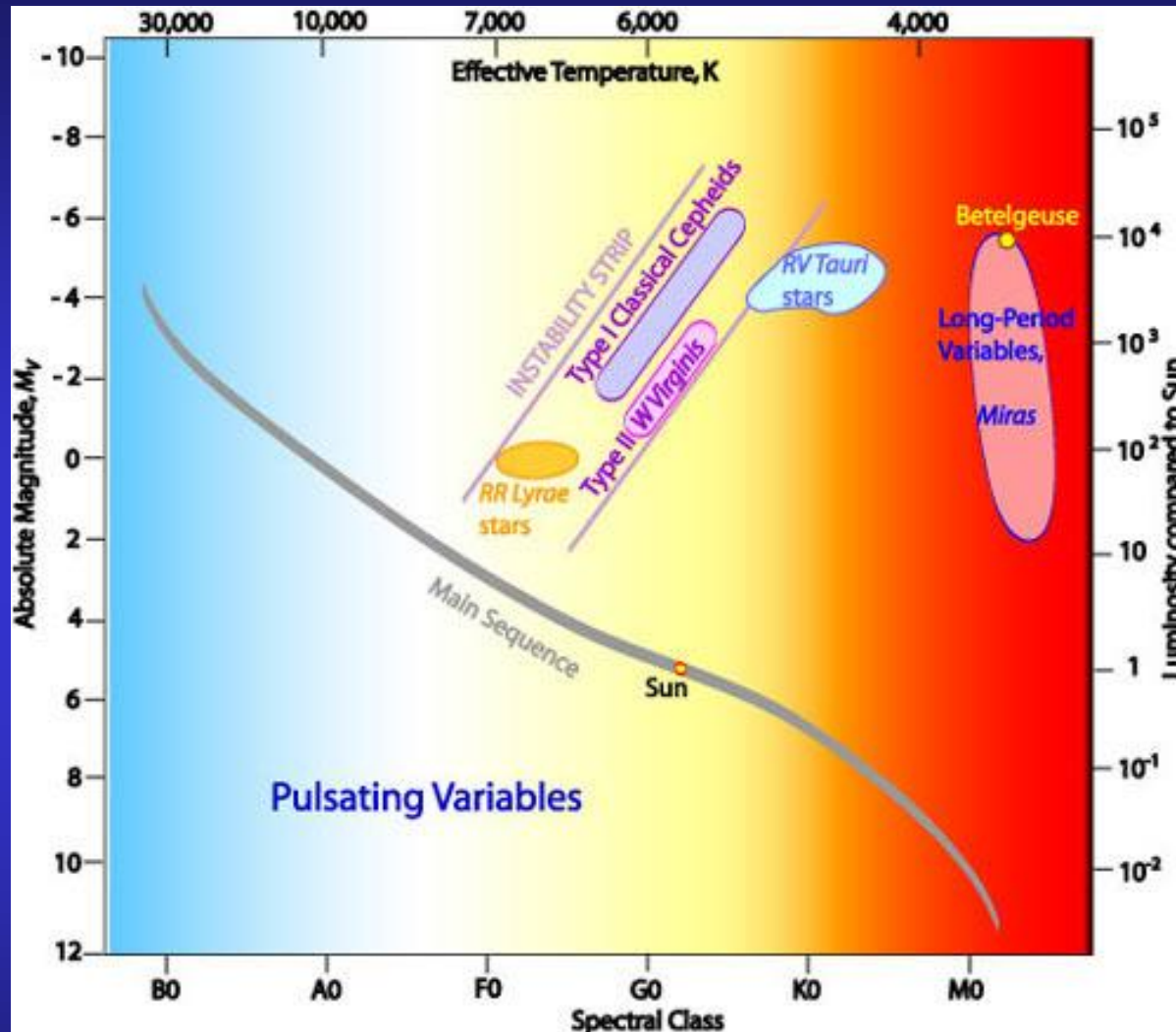
Relacja pomiędzy jasnością rzeczywistą, a okresem pulsacji cefeid:

Jaśniejsze cefeidy mają dłuższe okresy zmienności.

Cefeidy – świece standardowe.



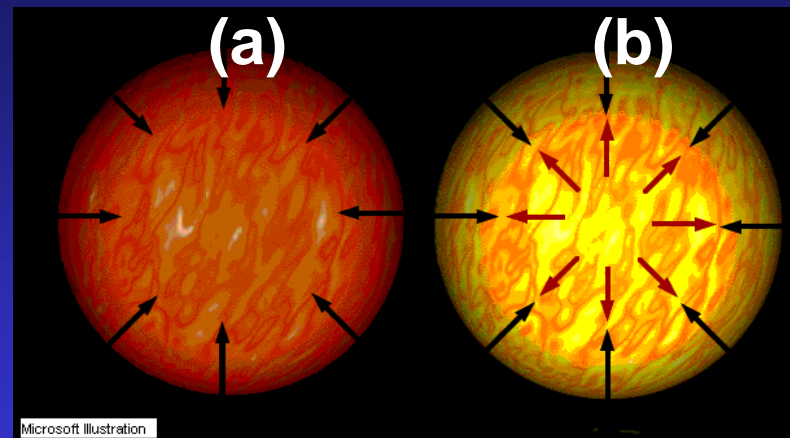
Gwiazdy zmienne



**Gwiazdy zmienne - pulsujące jasne olbrzymy i nadolbrzymy
przeważnie typów widmowych F i G**

Gwiazdy zmienne

Za regularne zmiany rozmiarów, a co za tym idzie - temperatury i jasności gwiazd - odpowiedzialna jest warstwa jonizacji helu.



Strumień fotonów płynący z jądra nie może przedostać się przez warstwę zjonizowanego helu.



Naruszona równowaga pomiędzy grawitacją a ciśnieniem promieniowania.

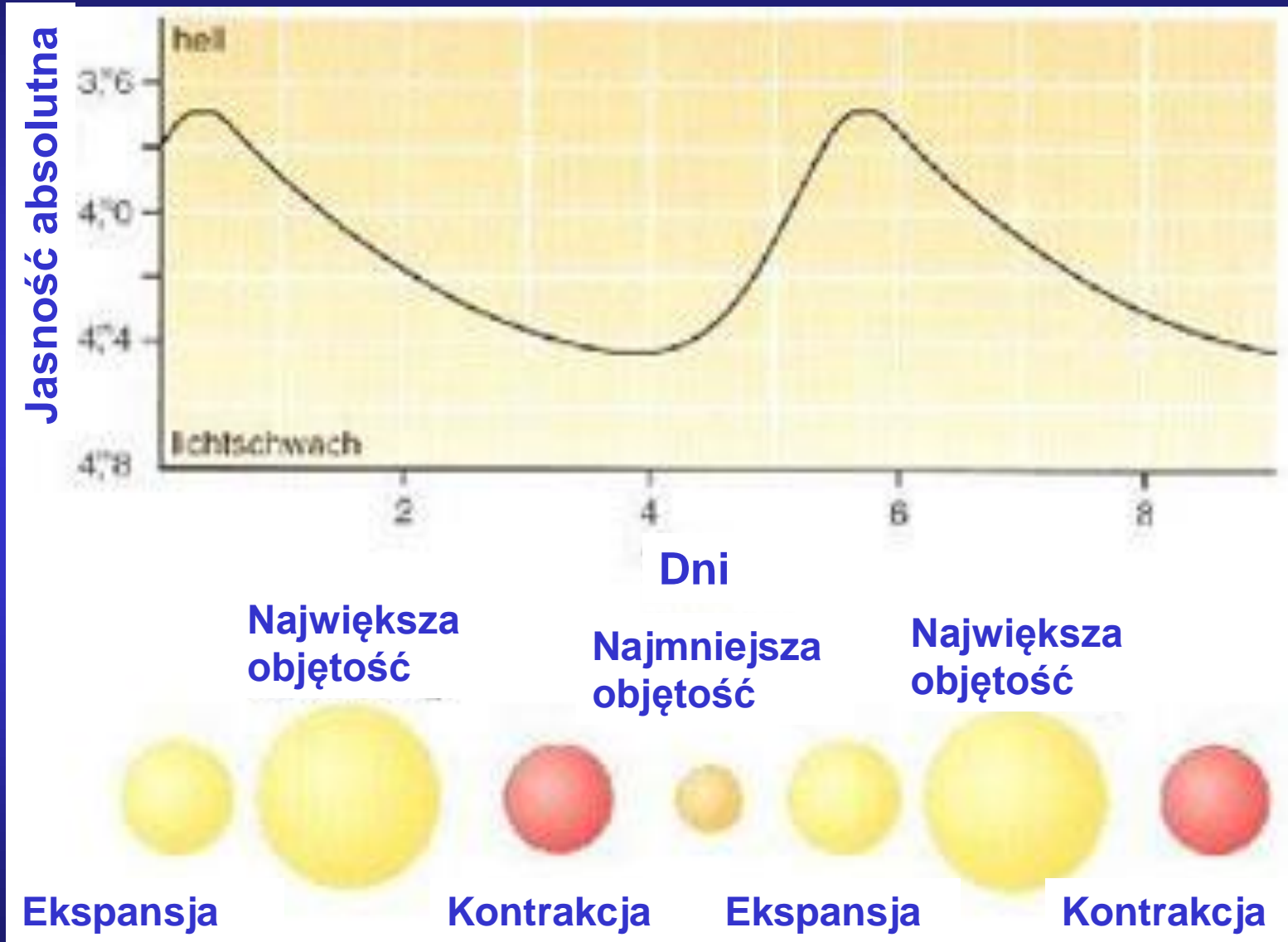
Gwiazda rozszerza się (b), aż do chwili, gdy wskutek ekspansji gęstość materii zmaleje tak, że fotony swobodnie przepłyną.



Grawitacja przeważa i gwiazda kurczy się (a).

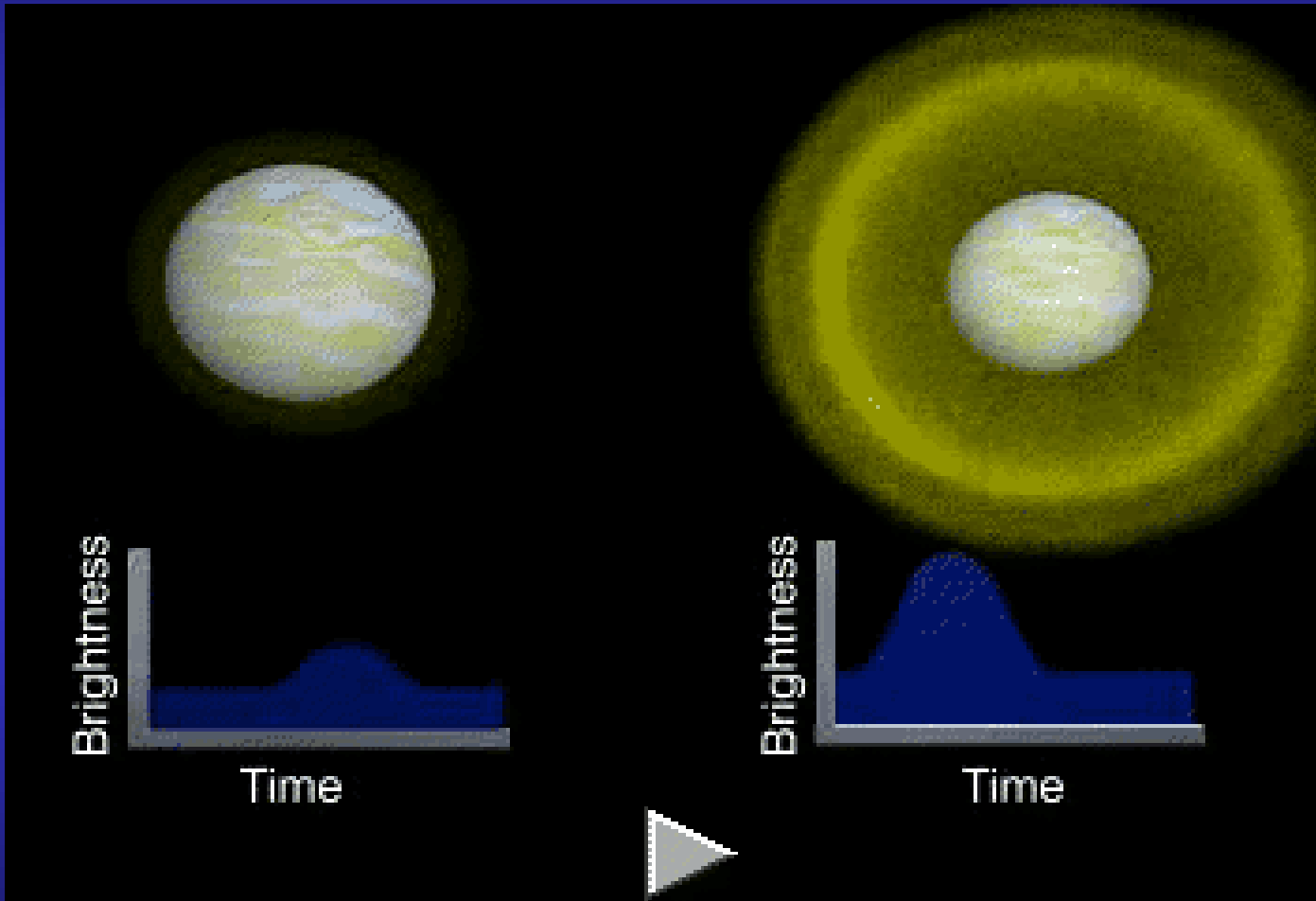
Cykl powtarza się.

Gwiazdy zmienne



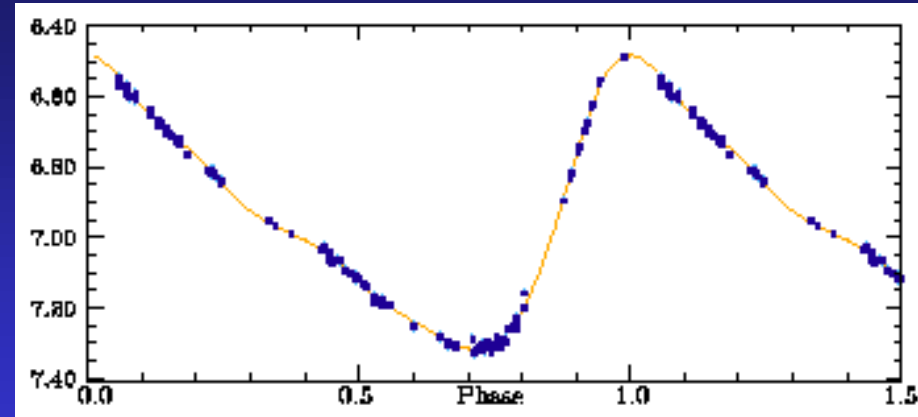
Gwiazdy zmienne

kliknij



Klasyczne cefeidy

- Duże amplitudy zmian blasku rzędu 1–2 mag., choć zdarzają się i amplitudy znacznie mniejsze, około 0,1 mag.



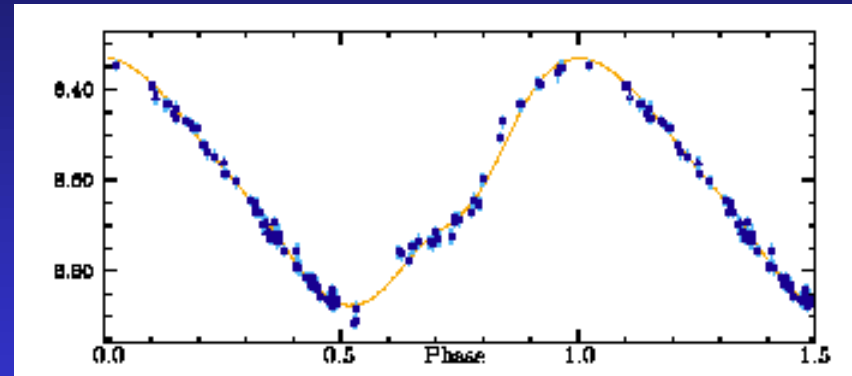
- Najczęściej spotykane okresy zawierają się w przedziale od 3 do 30 dni.

- Dzięki dużej jasności absolutnej (-2 do -6 mag.), stosunkowo dużej amplitudzie zmian blasku oraz dobrze określonej zależności okres–jasność absolutna, gwiazdy te odgrywają kluczową rolę w wyznaczaniu odległości galaktyk.

Gwiazdy młode - należą do gwiazd I populacji (większość cefeid obserwujemy blisko płaszczyzny Galaktyki).

Gwiazdy zmienne typu W Virginis

Podobne do cefeid okresy i amplitudy zmian jasności, ale inny kształt krzywych zmian blasku (z garbami).



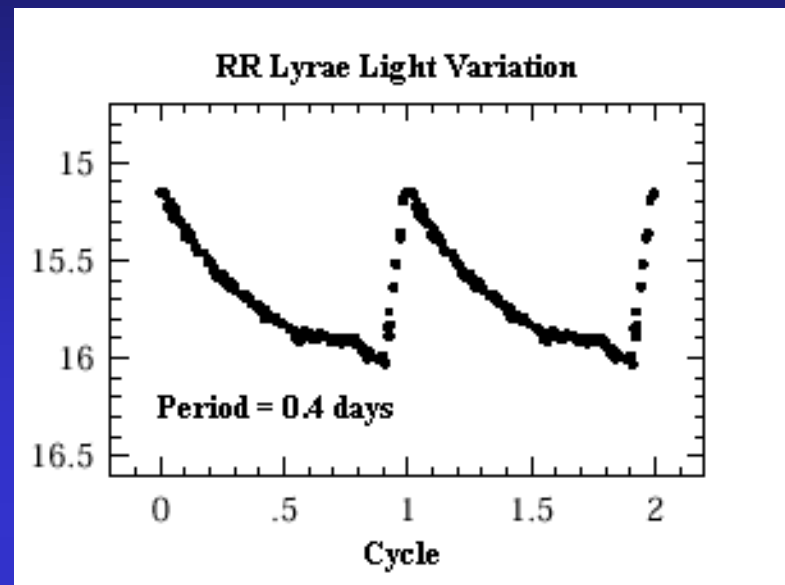
Należą do starej populacji gwiazd (dawna nazwa – cefeidy II populacji).

Występują w dużych odległościach od płaszczyzny Galaktyki, a także w gromadach kulistych.

Gwiazdy typu RR Lyrae

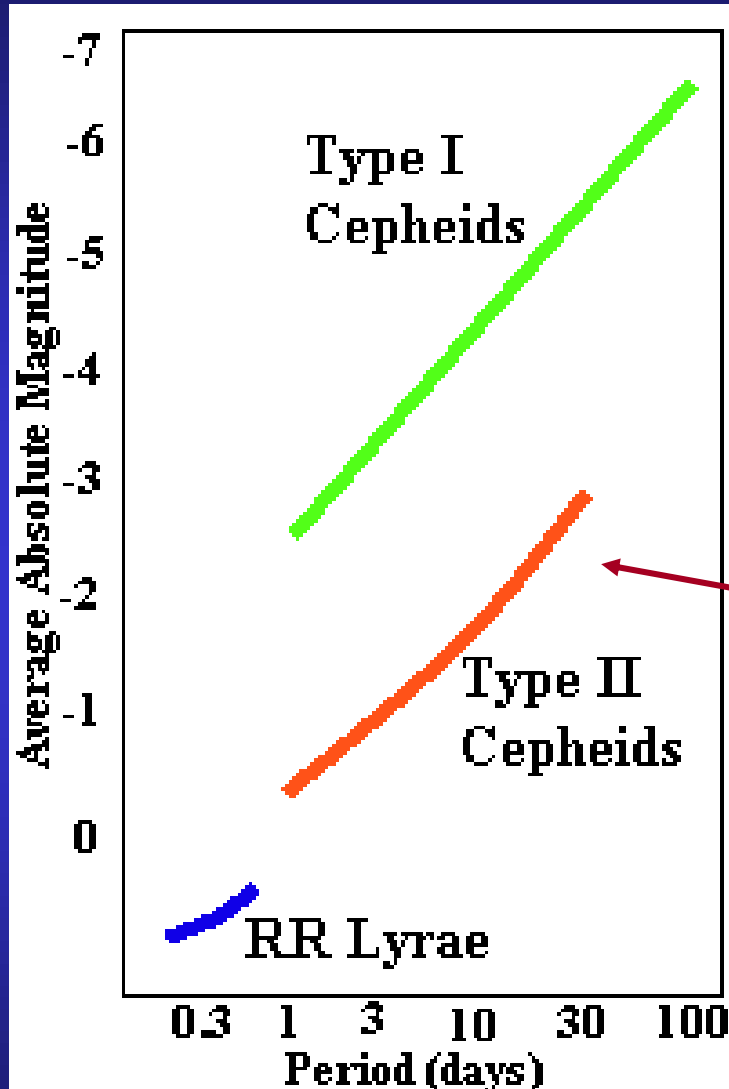
Cefeidy krótkookresowe.

Okresy zawierają się w większości w przedziale 0,2–1 dnia



Rozkład przestrzenny oraz częsta obecność w gromadach kulistych dowodzą przynależności do populacji II.

Gwiazdy zmienne



Zależność okres – jasność absolutna dla klasycznych cefeid (gwiazdy I populacji) i gwiazd typu W Virginis i RR Lyrae (gwiazdy II populacji).

Gwiazdy typu W Virginis

Nachylenie zależności dla gwiazd typu W Virginis jest mniejsze niż dla cefeid, a jasności absolutne są dla tych samych okresów o 1–2 mag. słabsze.