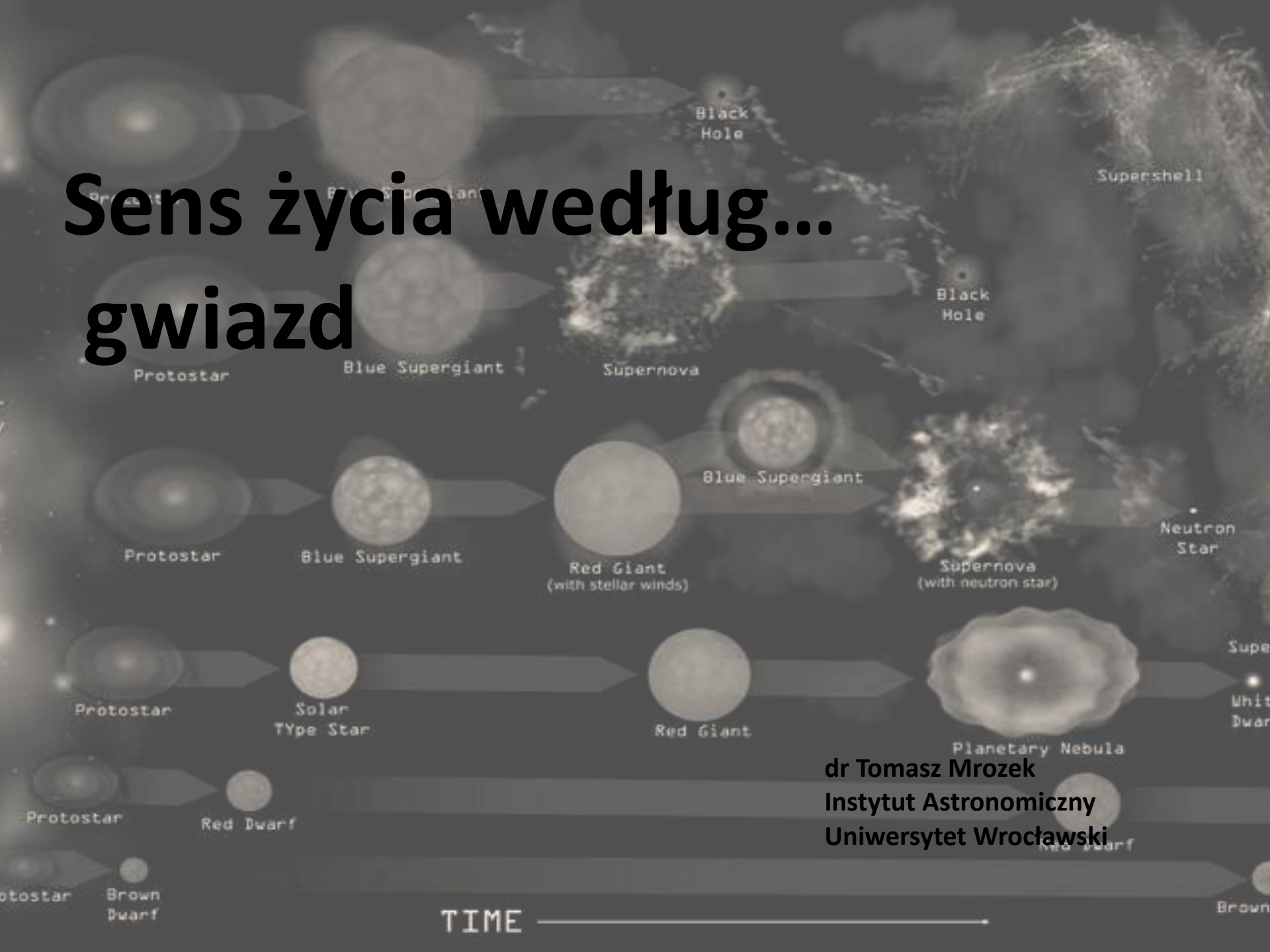
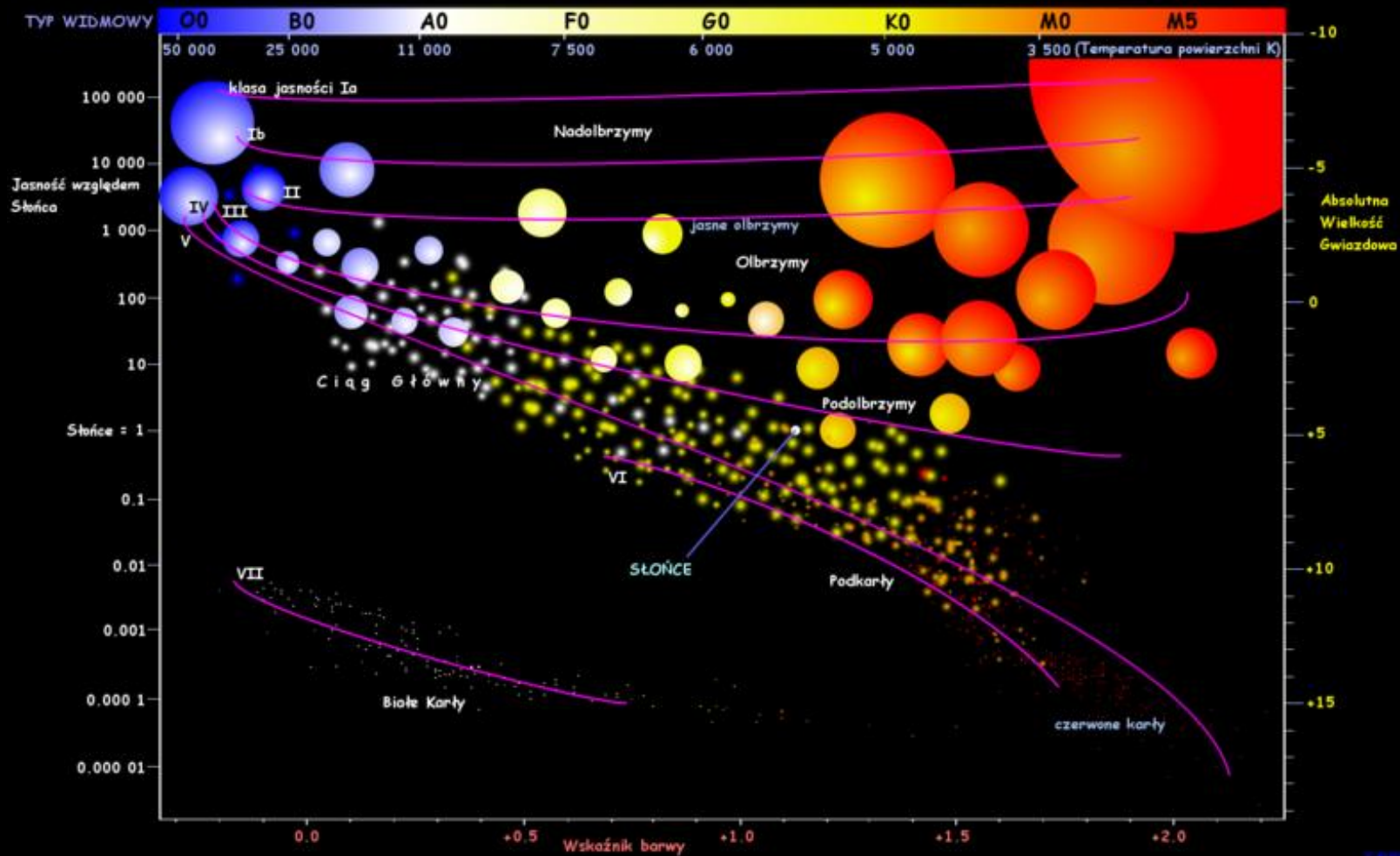


Sens życia według... gwiazd



dr Tomasz Mrozek
Instytut Astronomiczny
Uniwersytet Wrocławski

Diagram H-R



Materia międzygwiazdowa



Składa się z gazu i pyłu

**Typowa gęstość to kilka (!)
atomów na cm^3**

**Zasilana przez gwiazdy
(np. wiatr gwiazdowy,
wybuchy supernowych)**

**W odpowiednio gęstym i
masywnym obłoku materii
międzygwiazdowej
powstają nowe gwiazdy**

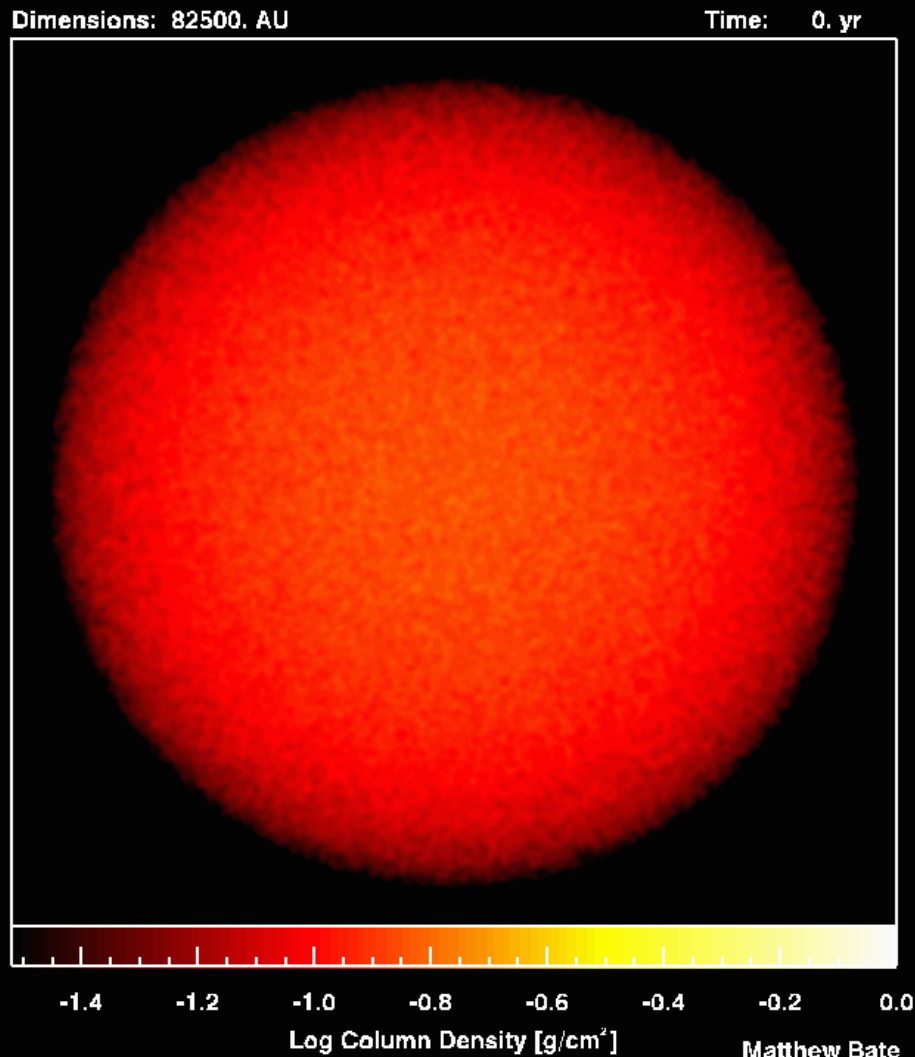
Materia międzygwiazdowa

Carina Nebula



Hubble
Heritage

Narodziny gwiazd – model



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. Inny rodzaj zaburzenia jest związany z rotacją galaktyki (np. gwiazdy powstające w ramionach spiralnych)

Narodziny gwiazd – obserwacje



Narodziny gwiazd – obserwacje



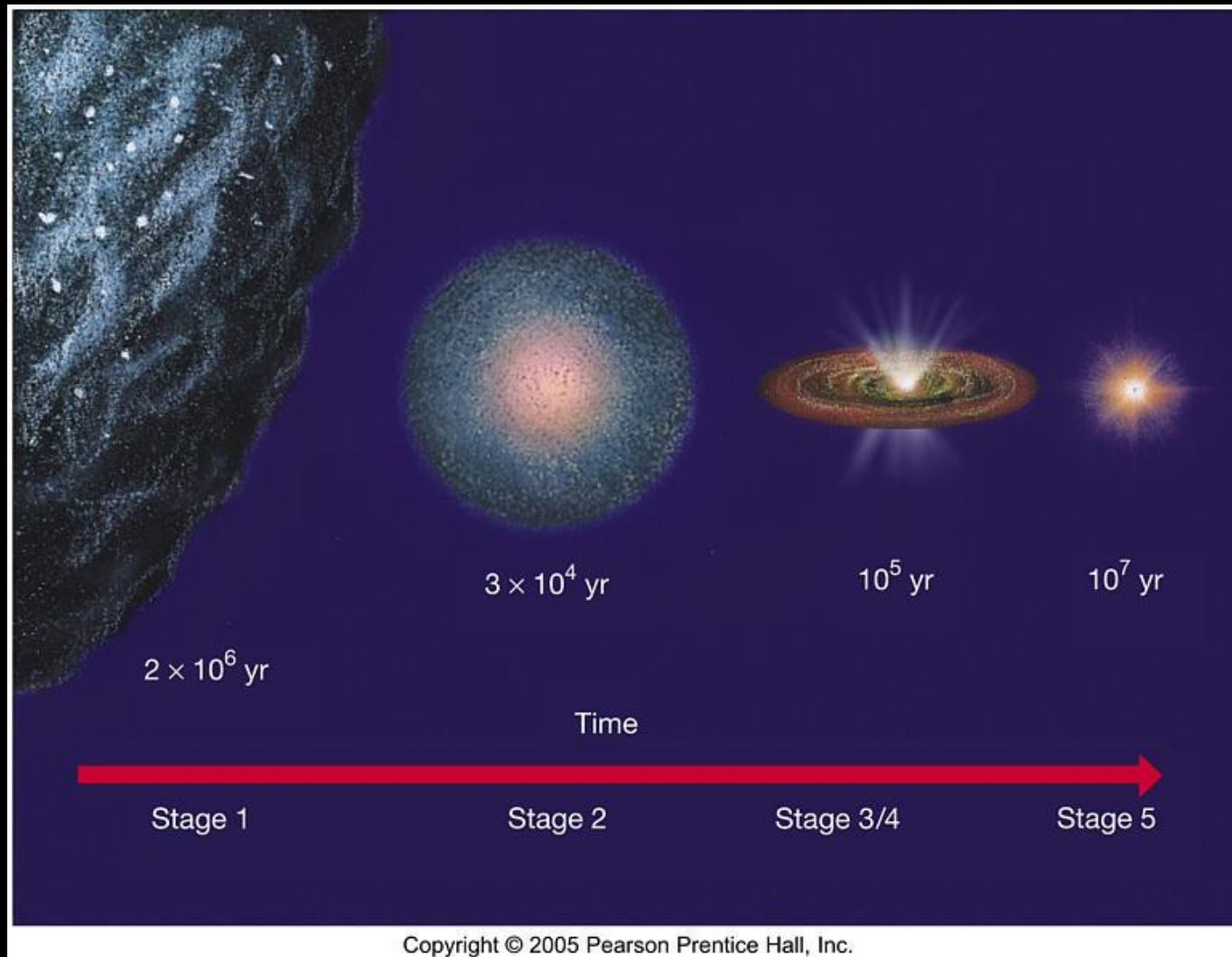
Narodziny gwiazd – obserwacje



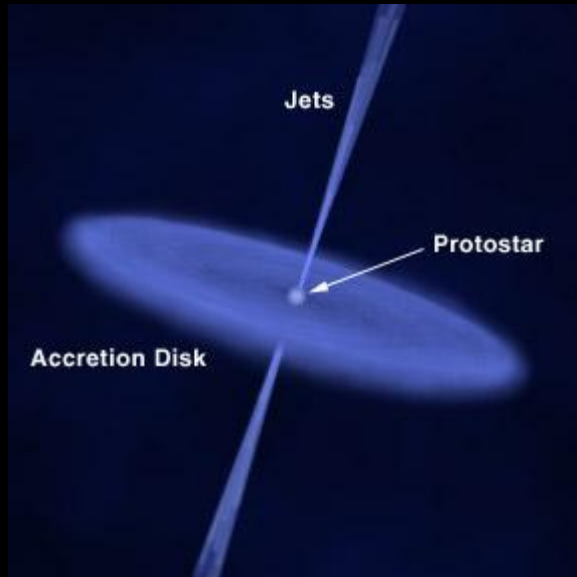
*M 16 - mgławica w gwiazdozborze Orła
- widoczne obszary, gdzie powstają
gwiazdy*



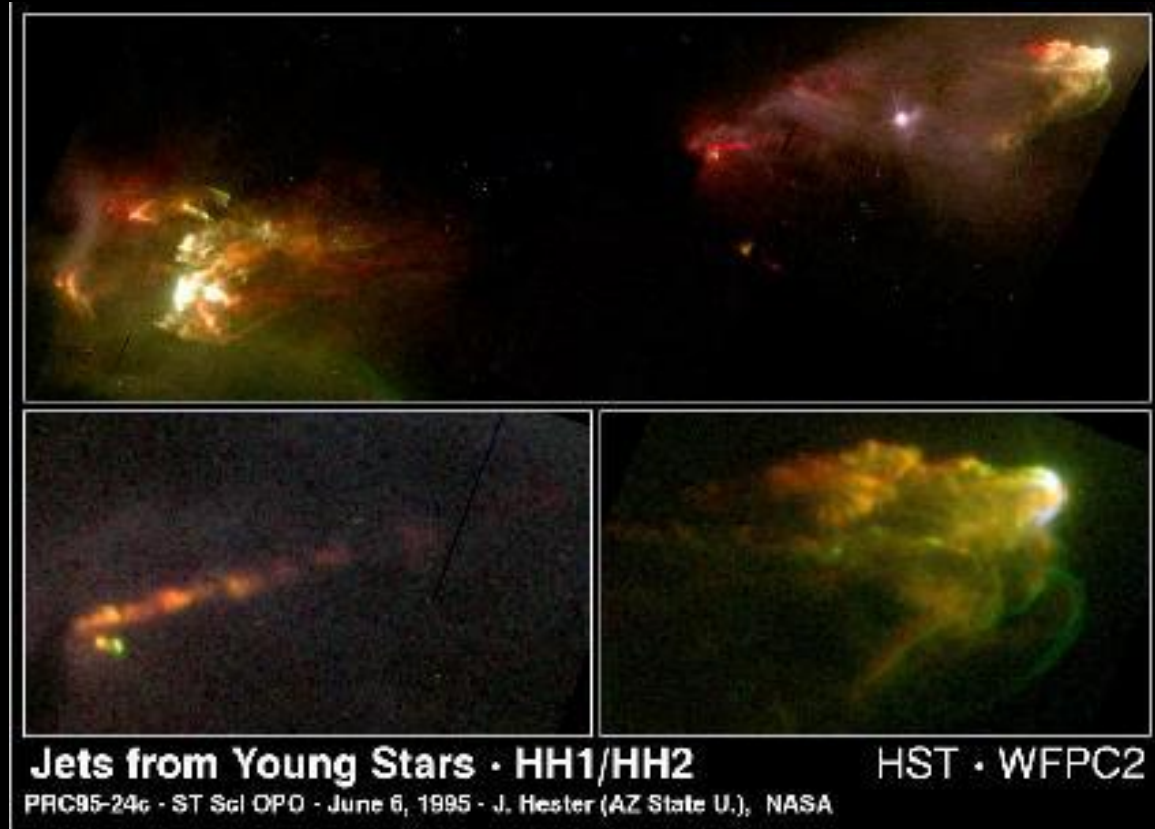
Narodziny gwiazd – model



Narodziny gwiazd – obserwacje



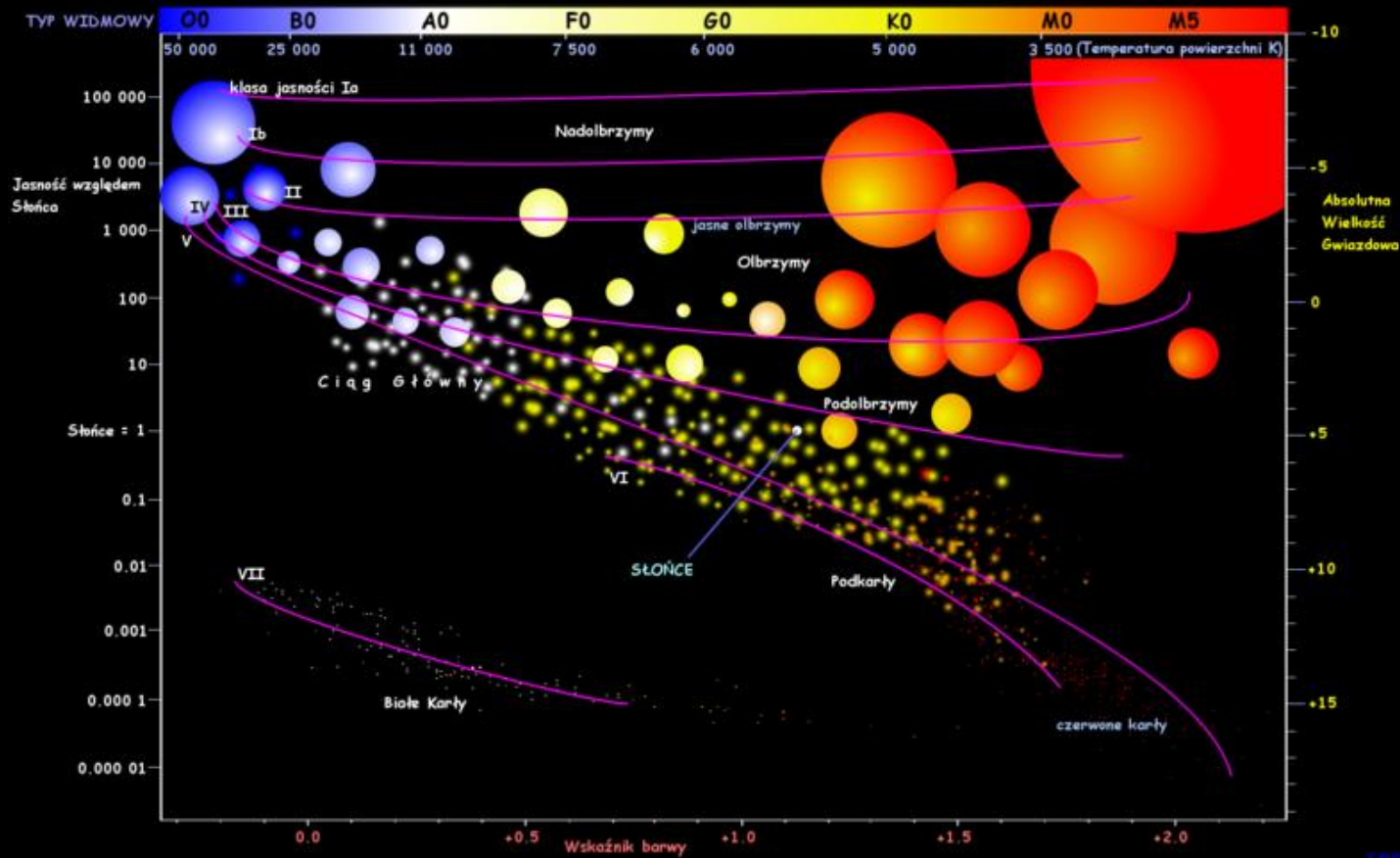
Z młodą gwiazdą związane są charakterystyczne struktury – strugi (dżety) cząstek. Podobne są także obserwowane w okolicach pulsarów, galaktyk aktywnych



Narodziny gwiazd – model



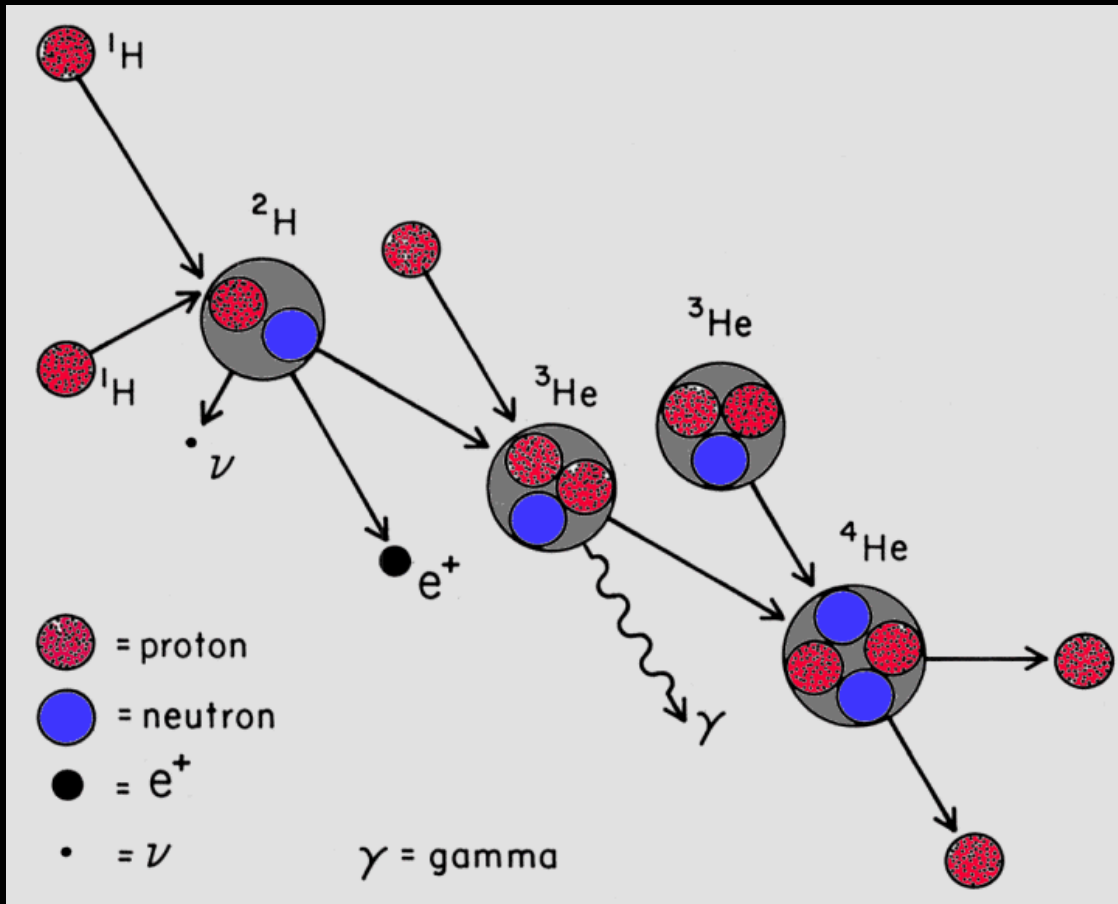
Życie na ciągu głównym



W gwiazdzie zaczynają się reakcje syntezy i zaczyna się najspokojniejszy okres jej życia. Mówimy, że gwiazda „lądzuje” na ciągu głównym. To, w którym miejscu ciągu głównego znajdzie się młoda gwiazda zależy od jej masy.

Życie na ciągu głównym

Reakcja p-p

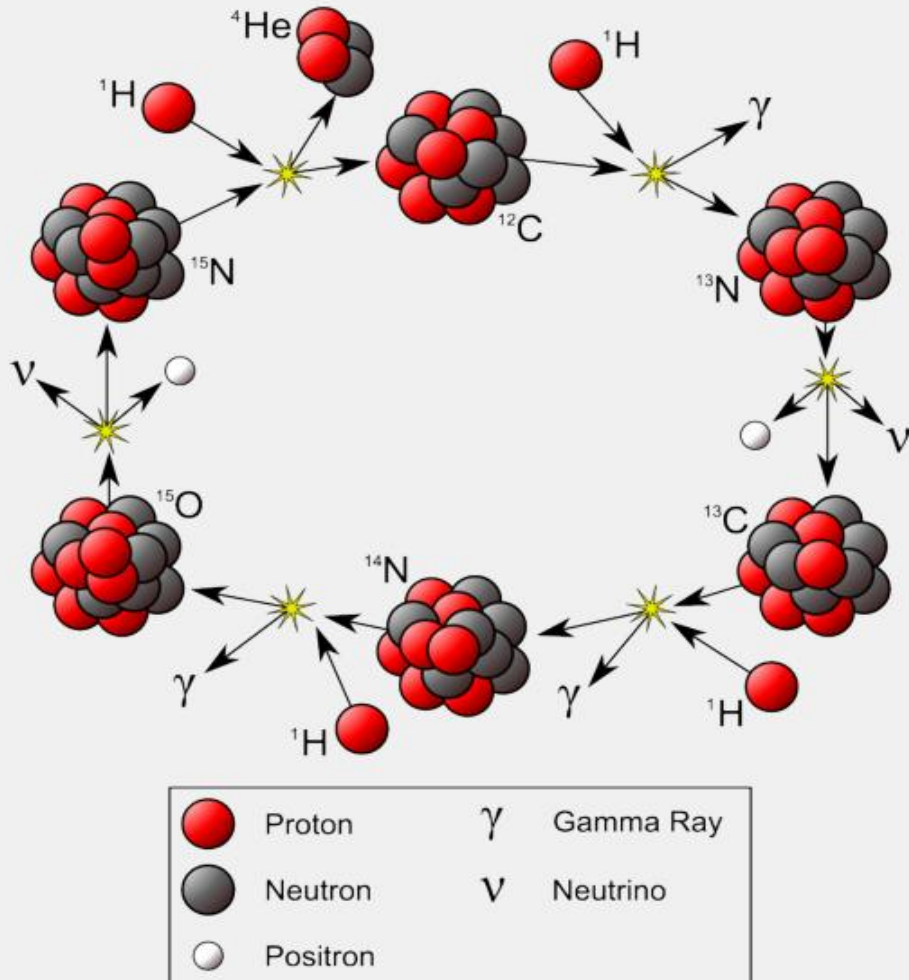


Typowa (ale nie jedyna) reakcja syntezy wodoru w hel zachodząca w gwiazdzie znajdującej się na ciągu głównym.

Gwiazda po „rozpaleniu” wnętrza osiąga stan równowagi.

Życie na ciągu głównym

Reakcja CNO

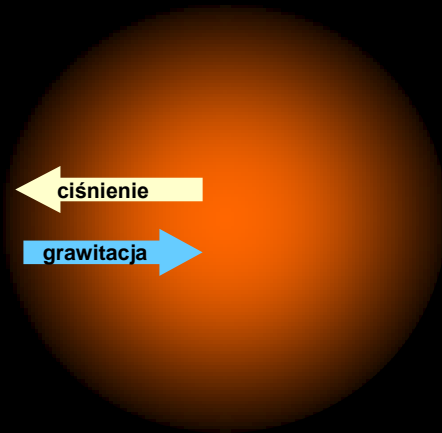


Inny rodzaj reakcji syntezy.

We wnętrzu Słońca panują warunki odpowiednie dla tej reakcji jednak jądro słoneczne jest zdominowane przez wodór i prawie cała energia pochodzi z reakcji p-p.

Ta reakcja staje się istotna dla gwiazd, które spaliły prawie cały wodór w jądrze oraz dla gwiazd bardzo masywnych

Życie na ciągu głównym

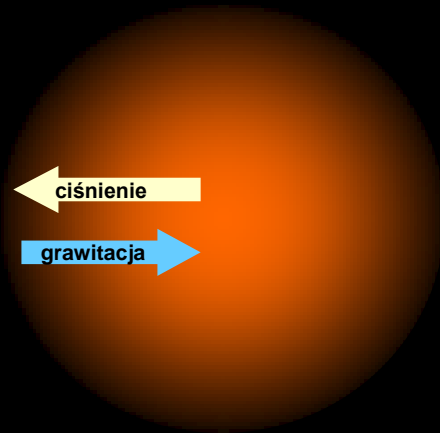


Gwiazda w równowadze:

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.

Życie na ciągu głównym



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

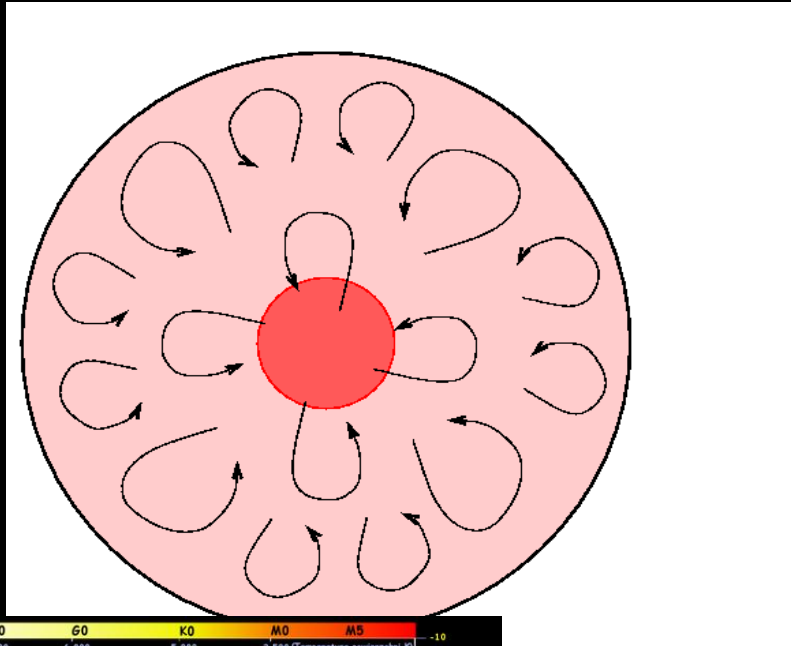
Ciśnienie maleje, bo jest mniej cząstek (mniejsze ciśnienie gazu) oraz maleje tempo reakcji termojądrowych (maleje ciśnienie promieniowania)

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

Od masy zależą także dalsze losy gwiazdy...



Gwiazdy o bardzo małej masie

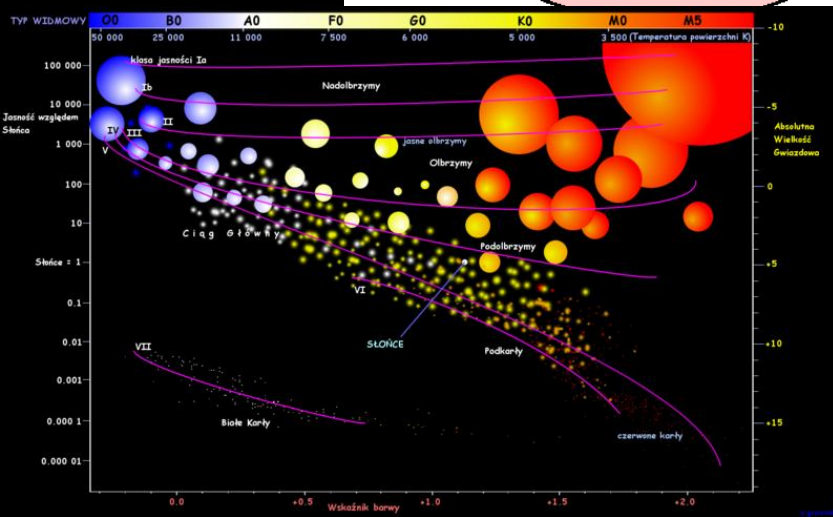


Są to gwiazdy o masach mniejszych niż około $0.4 M_{\odot}$

Cała gwiazda jest konwektywna, a więc materia jest ciągle mieszana i cały wodór zostaje wypalony.

Gwiazda kurczy się ale nie osiąga w centrum temperatury odpowiedniej do przemiany helu w cięższe pierwiastki.

W związku z tym kończy jako mała kula (rozmiarów Ziemi), która stopniowo robi się coraz chłodniejsza.



Gwiazdy o małej masie



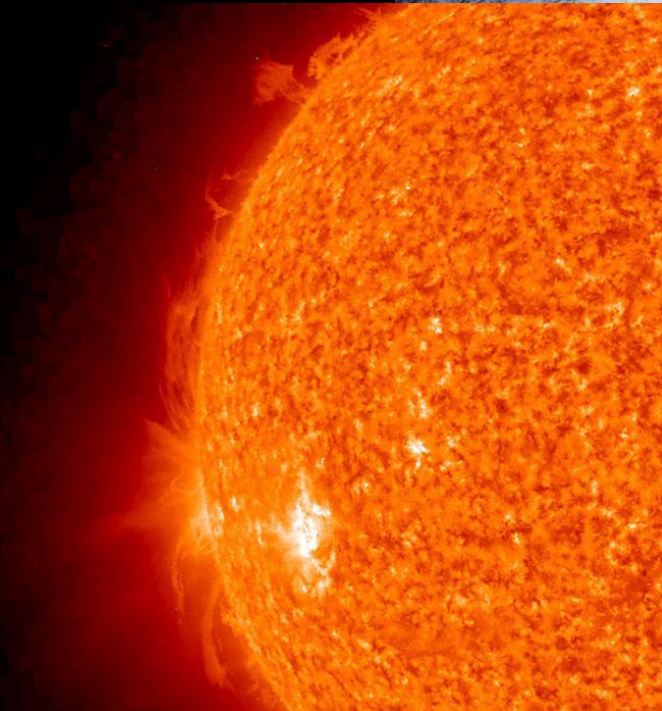
Gwiazdy o masie:

$$0,4 M_{\odot} < M < 1.5 M_{\odot}$$

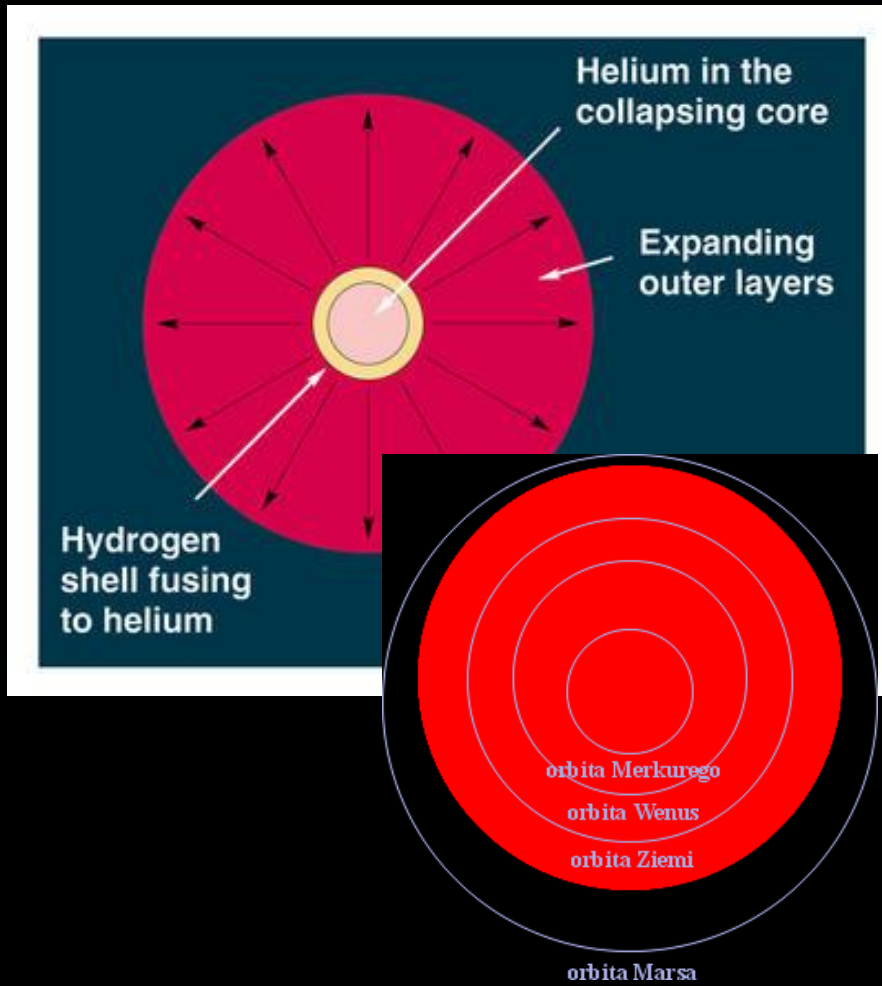
**Typowym przykładem jest
nasze Słońce**

**Życie takich gwiazd jest nieco
ciekawsze.**

**Po wypaleniu wodoru we wnętrzu
gwiazda kurczy się i rozgrzewa w
centrum do temperatury ponad
100 milionów kelwinów.**



Gwiazdy o małej masie



Zanim jednak centrum osiągnie odpowiednią temperaturę gwiazda przechodzi przez etap „czerwonego olbrzyma”-na diagramie H-R przesuwa się w prawo i w górę

Jądro gwiazdy powoli zapada się. Wewnątrz nie ma już paliwa (wodoru). Temperatura jądra rośnie i zaczyna się spalanie wodoru w cienkiej warstwie wokół jądra.

Jednocześnie zewnętrzne warstwy gwiazdy rozduwiają się i chłodzą – gwiazda robi się wielka i czerwona.

Ten etap pojawia się w czasie życia każdej gwiazdy poza tymi najmniej masywnymi.

Słońce za 5 miliardów lat

Gwiazdy o małej masie

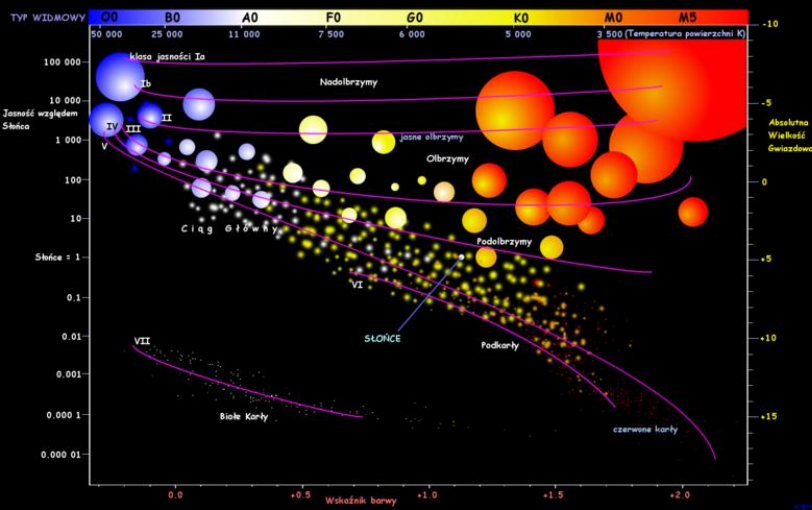


Zanim jednak centrum osiągnie odpowiednią temperaturę gwiazda przechodzi przez etap „czerwonego olbrzyma”-na diagramie H-R przesuwa się w prawo i w górę

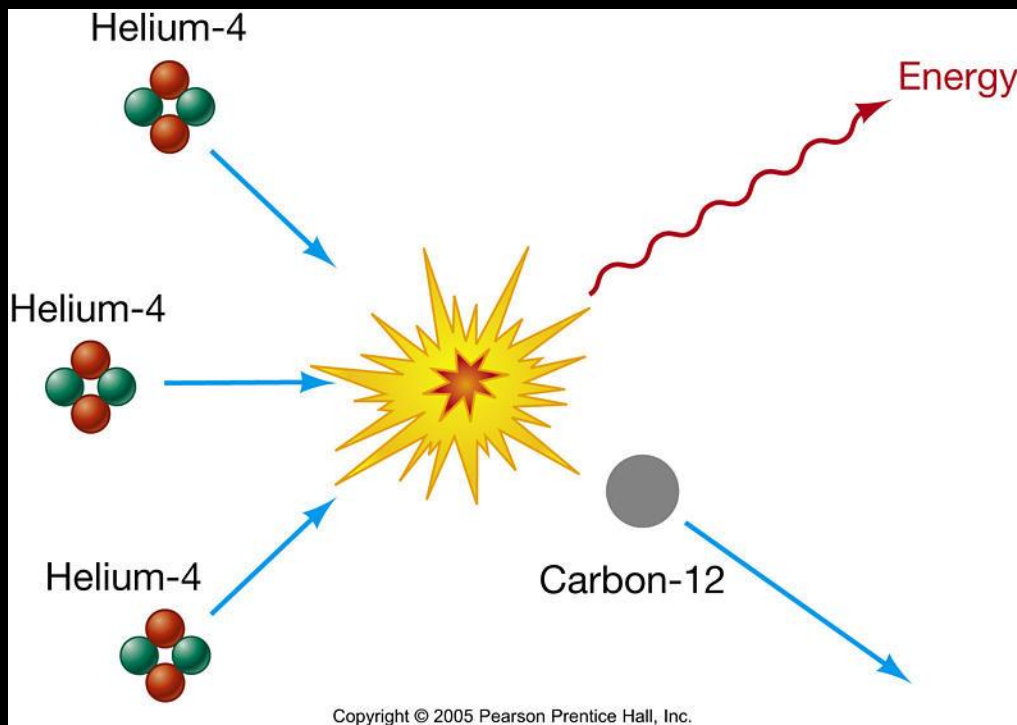
Jądro gwiazdy powoli zapada się. Wewnątrz nie ma już paliwa (wodoru). Temperatura jądra rośnie i zaczyna się spalanie wodoru w cienkiej warstwie wokół jądra.

Jednocześnie zewnętrzne warstwy gwiazdy rozdymają się i chłodzą – gwiazda robi się wielka i czerwona.

Ten etap pojawia się w czasie życia każdej gwiazdy poza tymi najmniej masywnymi.



Gwiazdy o małej masie

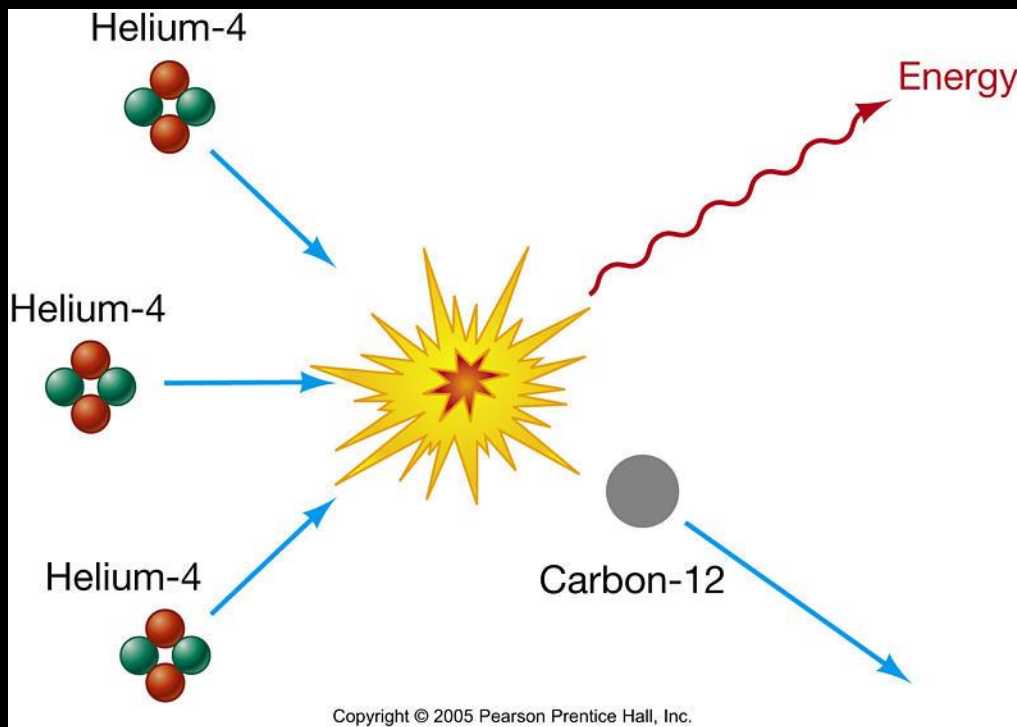


Kiedy jądro osiągnie odpowiednią temperaturę następuje tzw. błysk helowy – wewnątrz rozpoczyna się nagle przemiana helu w węgiel, a gwiazda gwałtownie jaśnieje

Ta reakcja nazywa się reakcją 3α ponieważ z trzech atomów helu (cząstek α) powstaje jeden atom węgla.

Po zapaleniu helu gwiazda znów jest w stanie równowagi. Ten stan nie trwa jednak długo.

Gwiazdy o małej masie



Reakcja 3α jest bardzo wrażliwa na zmiany temperatury. Objawia się to tym, że po gwałtownym zapaleniu helu jądro rozszerza się i chłodzi. Reakcje ustają. Jądro znów się kurczy, temperatura wzrasta i następuje gwałtowny wzrost tempa reakcji. Jądro znów się rozszerza.

Taki niespokojny etap trwa jakiś czas. Podczas kolejnych eksplozji i zapadania jądra następuje odrzucanie zewnętrznych warstw gwiazdy.

Gwiazdy o małej masie



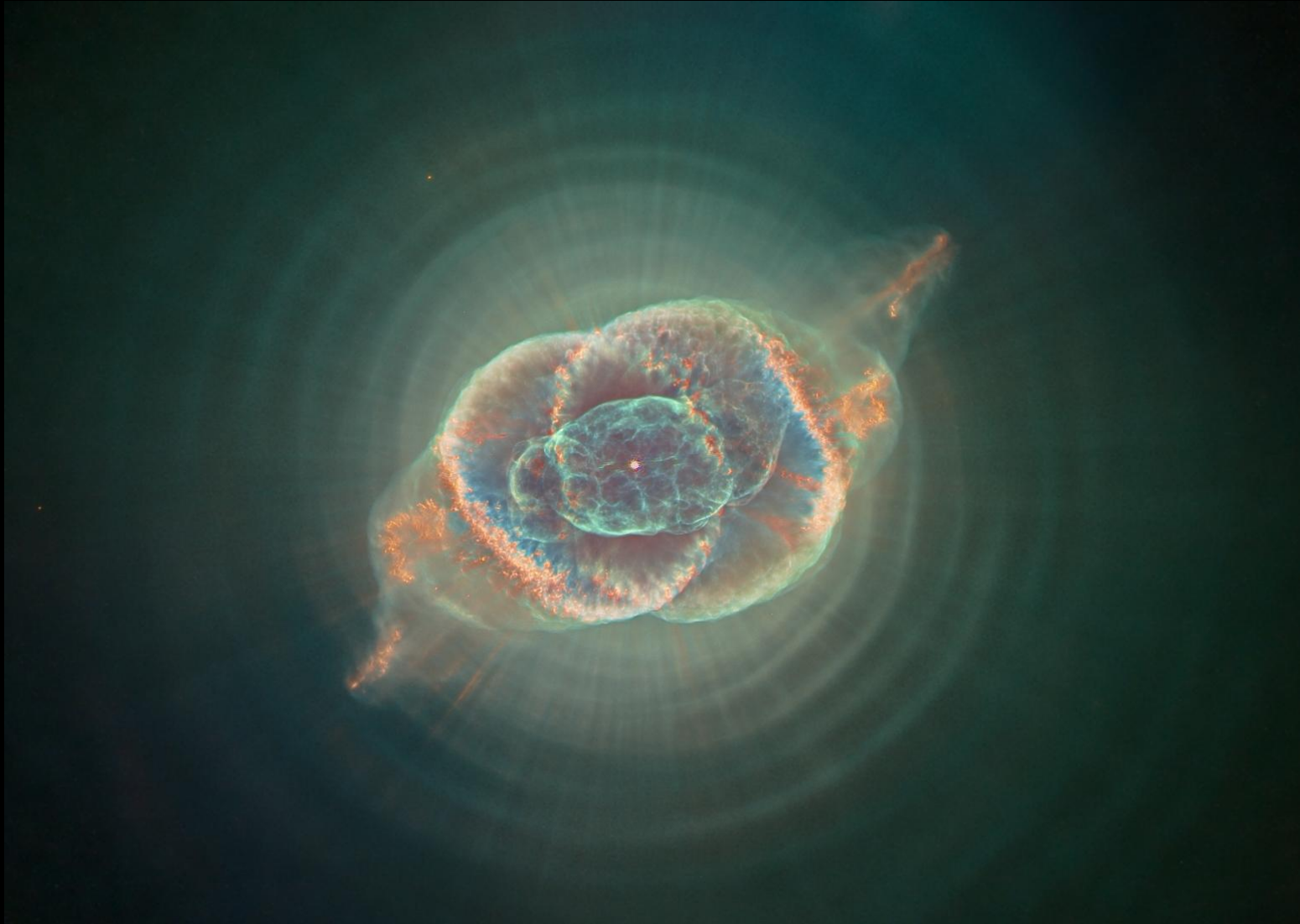
NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-07

W pewnym momencie kończy się hel i zapadanie jądra trwa aż do etapu białego karła.

Biały karzeł jest jądrem gwiazdy, które ma ogromną temperaturę i wielką gęstość.

A co z zewnętrznymi warstwami? Oddalają się od jądra i w pewnym momencie rozświetlają dzięki promieniowaniu ultrafioletowemu pochodzącemu od gorącego białego karła – obserwujemy tzw. mgławice planetarne.

Mgławice planetarne

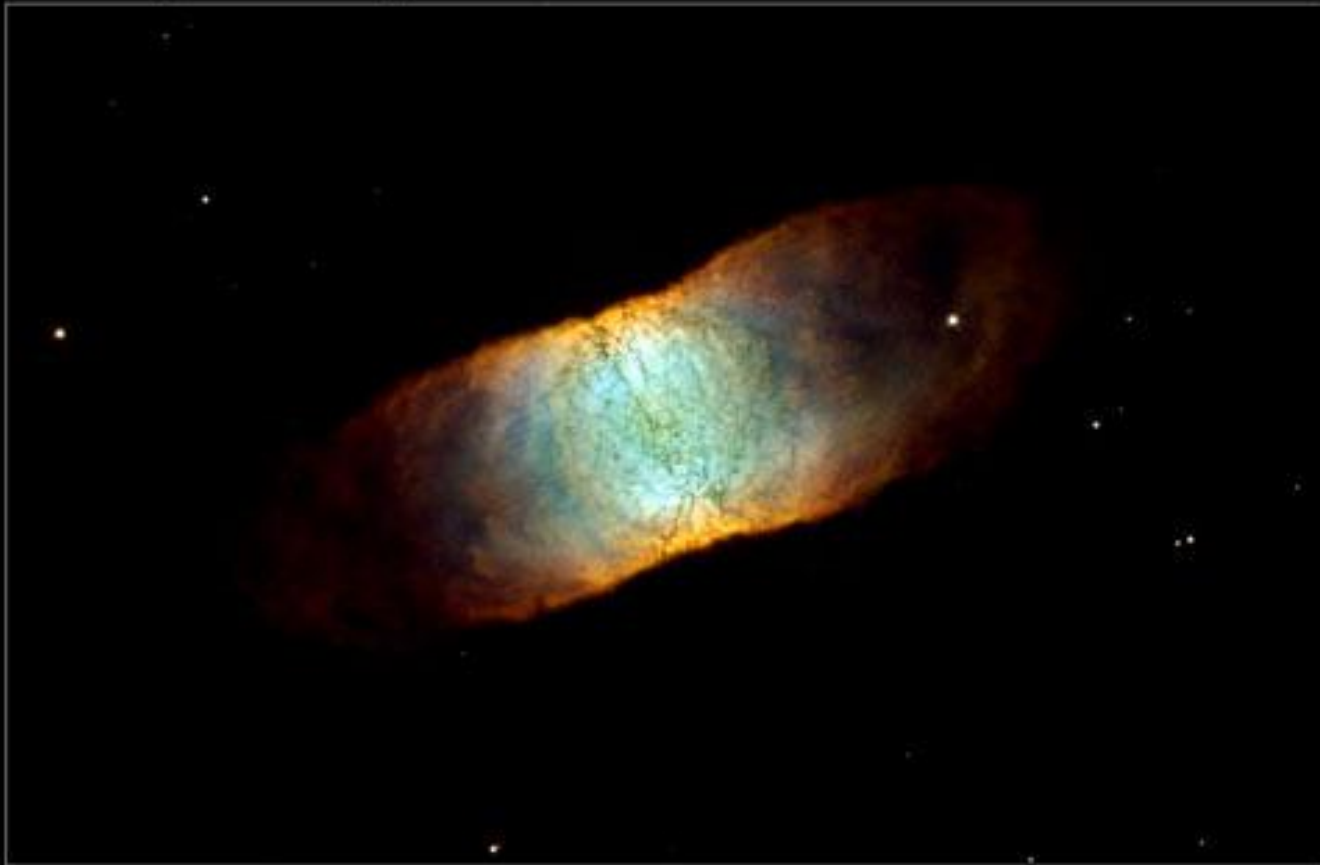


Mgławice planetarne



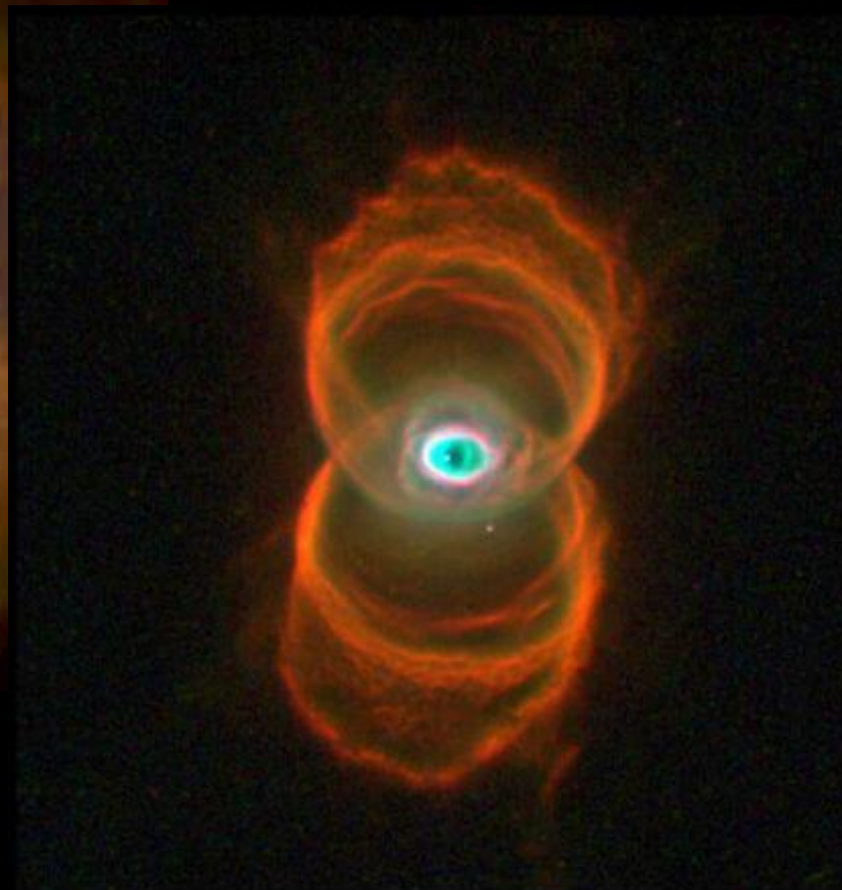
Mgławice planetarne

Planetary Nebula IC 4406

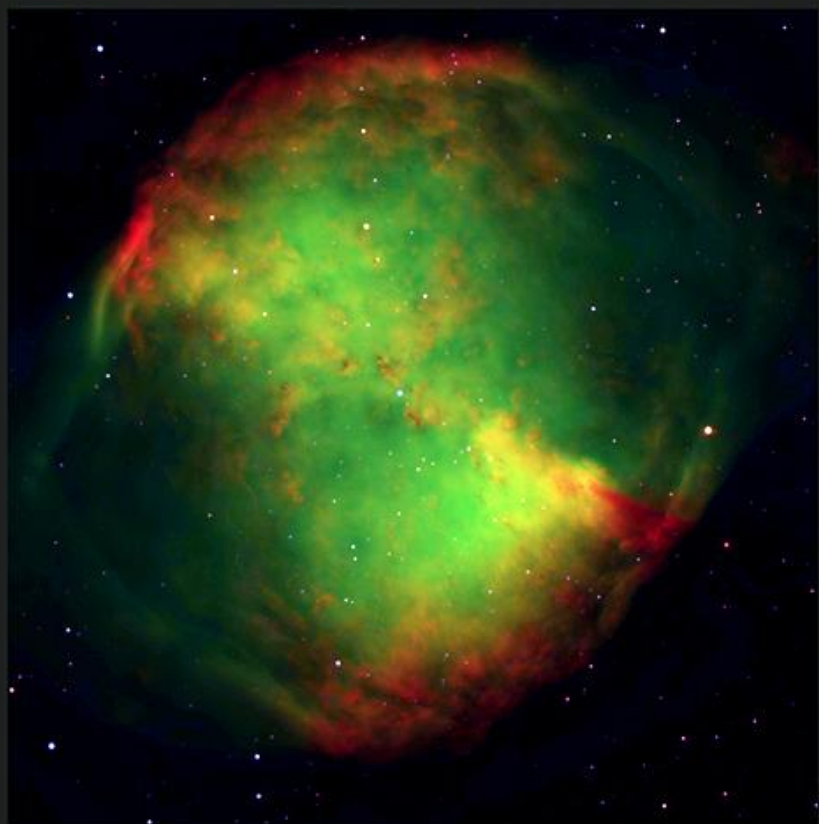


Hubble
Heritage

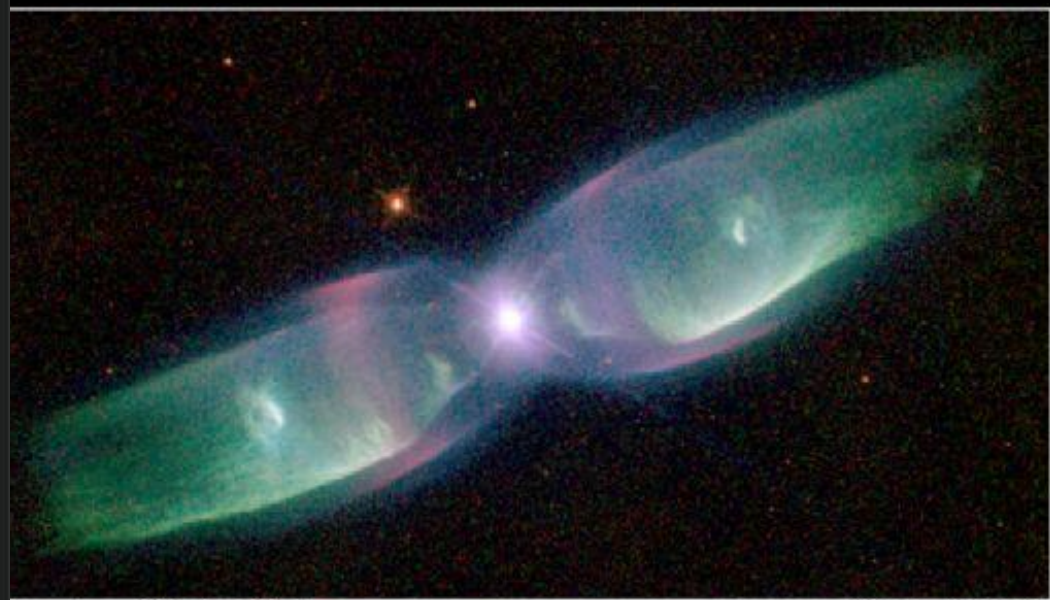
Mgławice planetarne



Mgławice planetarne



Planetary Nebula NGC 6853 (M 27) - VLT ANTU+FORIS



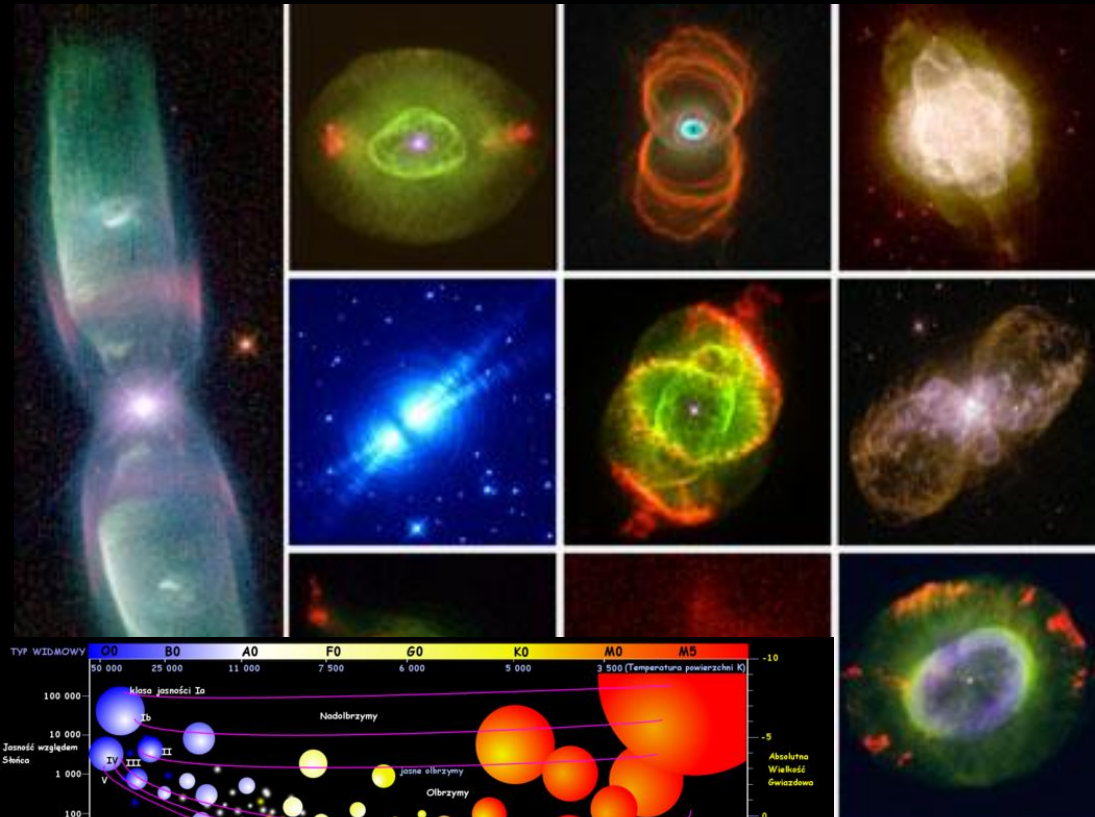
Planetary Nebula M2-9

RC97-38a • ST ScI OPO • December 17, 1997

J. Balick (University of Washington) and NASA

HST • WFPC2

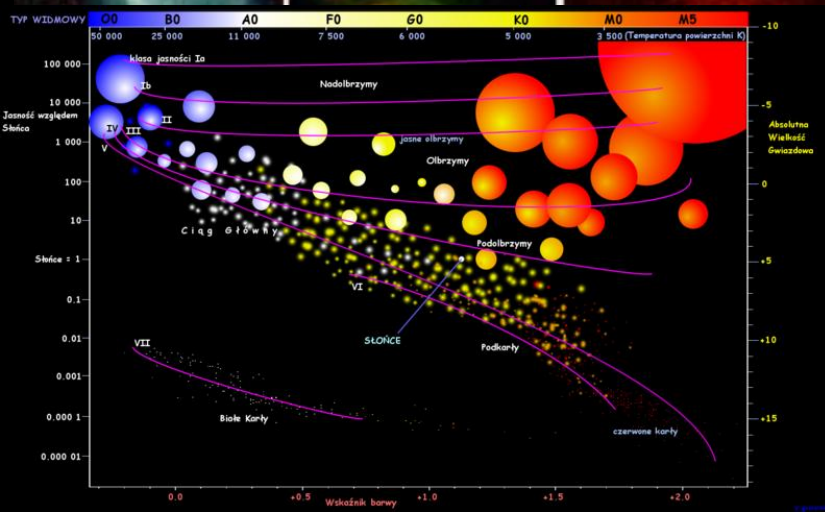
Gwiazdy o małej masie



Gwiazda o masie porównywalnej z masą Słońca kończy życie jako stygnący biały karzeł, który nie może być bardziej masywny niż $1.4 M_{\odot}$

Piękna otoczka w postaci mgławicy planetarnej przestaje świecić po około 10 000 lat

Przestaje świecić ale nie znika. Gaz ucieka w przestrzeń międzygwiazdową i może zasilić obłok, z którego powstaną nowe gwiazdy...



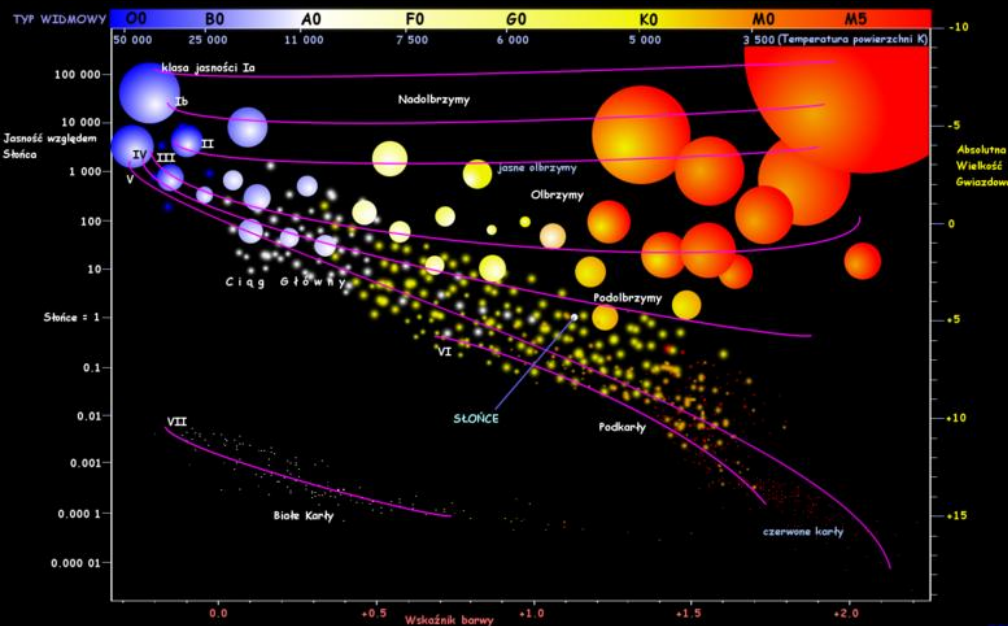
Gwiazdy masywne

Początkowo ewoluują podobnie jak gwiazdy o mniejszych gwiazdach

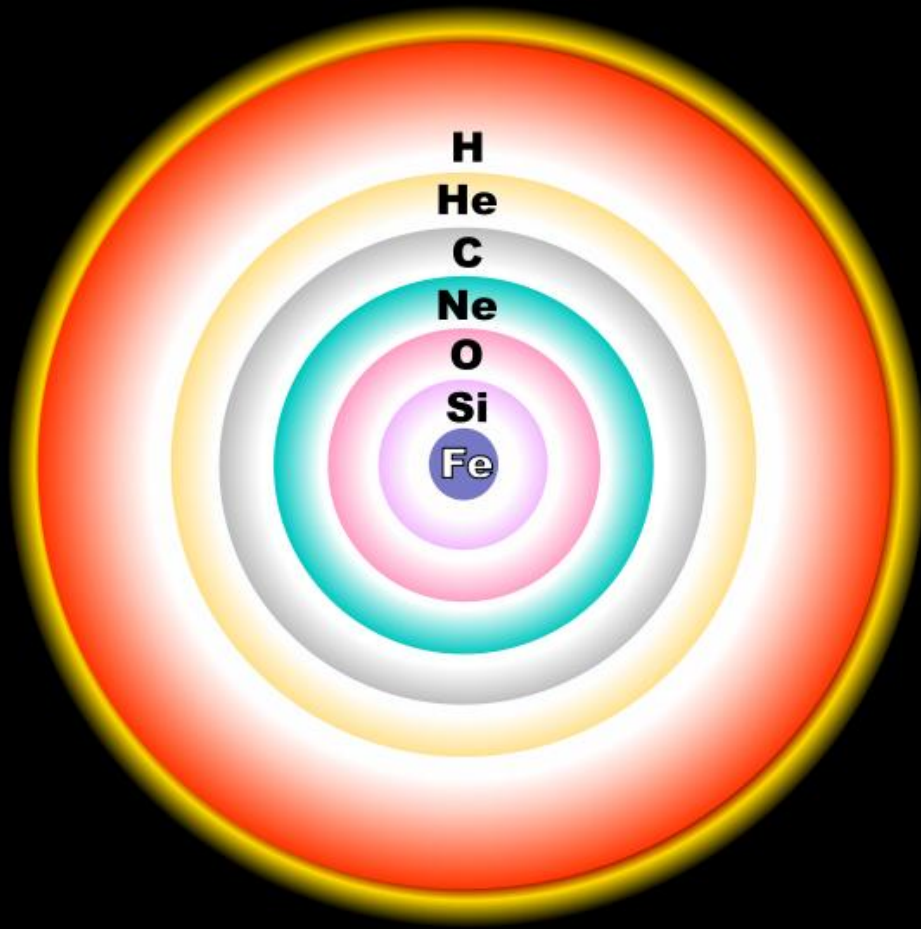
Po wypaleniu wodoru i helu gwiazda ma na tyle dużą masę, że po zapadnięciu się jądra temperatura może wzrosnąć do wartości umożliwiającej zapalenie węgla i przemianę neon przemienia się w tlen, tlen w krzem, a krzem w żelazo.

Żelazo nie może być już spalane w reakcjach termojądrowych.

Oczywiście spalane są też pozostałości lżejszych pierwiastków znajdujące się w zewnętrznych warstwach. Gwiazda osiąga charakterystyczny etap „cebuli”



Gwiazdy masywne



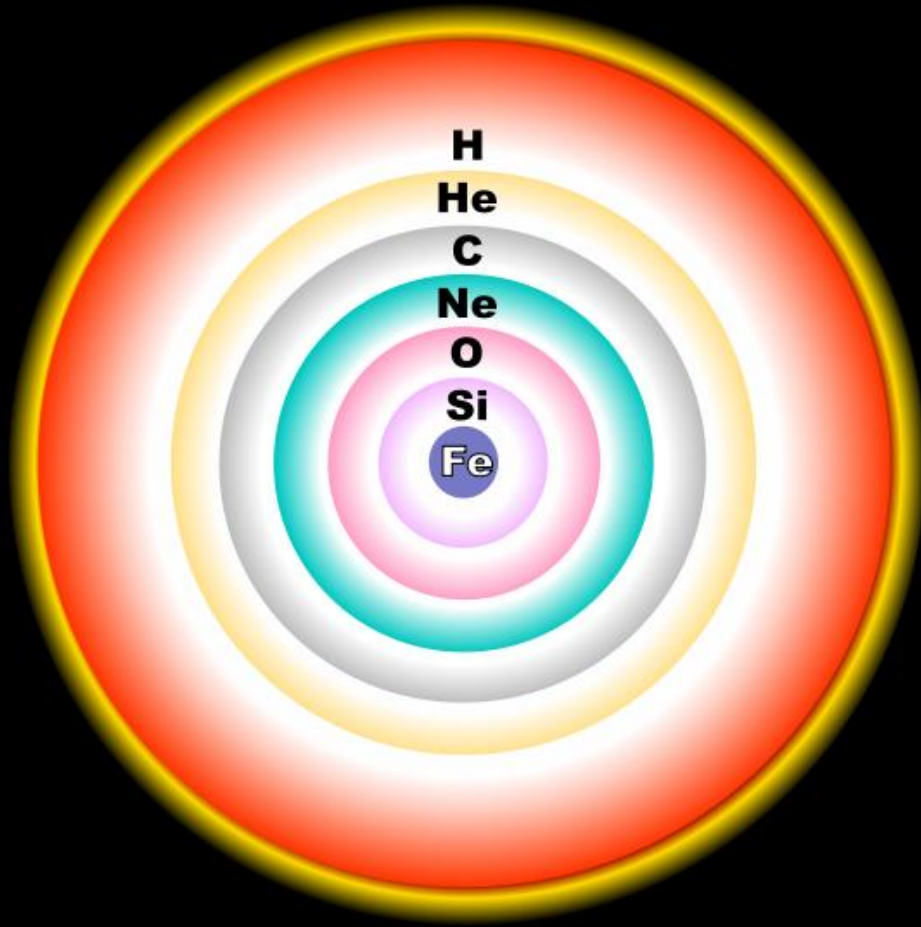
Początkowo ewoluują podobnie jak gwiazdy o mniejszych gwiazdach

Po wypaleniu wodoru i helu gwiazda ma na tyle dużą masę, że po zapadnięciu się jądra temperatura może wzrosnąć do wartości umożliwiającej zapalenie węgla i przemianę w neon, następnie (po kolejnym zapadaniu) neon przemienia się w tlen, tlen w krzem, a krzem w żelazo.

Żelazo nie może być już spalane w reakcjach termojądrowych.

Oczywiście spalane są też pozostałości lżejszych pierwiastków znajdujące się w zewnętrznych warstwach. Gwiazda osiąga charakterystyczny etap „cebuli”

Gwiazdy masywne



Dalsza ewolucja zależy od tego jak masywne jest jądro.

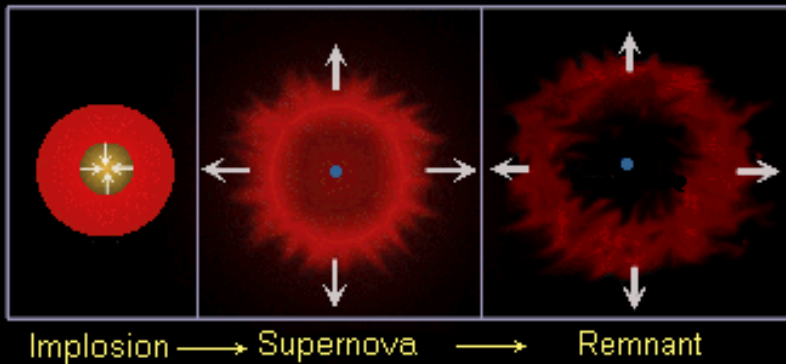
Jeżeli jego masa nie przekracza $1.4 M_{\odot}$ to gwiazda kończy jako biały karzeł.

Gdy masa jądra jest większa to jego kurczenie nie jest zatrzymywane przez degenerację materii i kurczenie trwa aż do momentu gdy elektrony zostaną „wciśnięte” w jądra atomów żelaza.

W wyniku tego powstaje gwiazda zbudowana z samych neutronów – gwiazda neutronowa.

Gwiazdy masywne

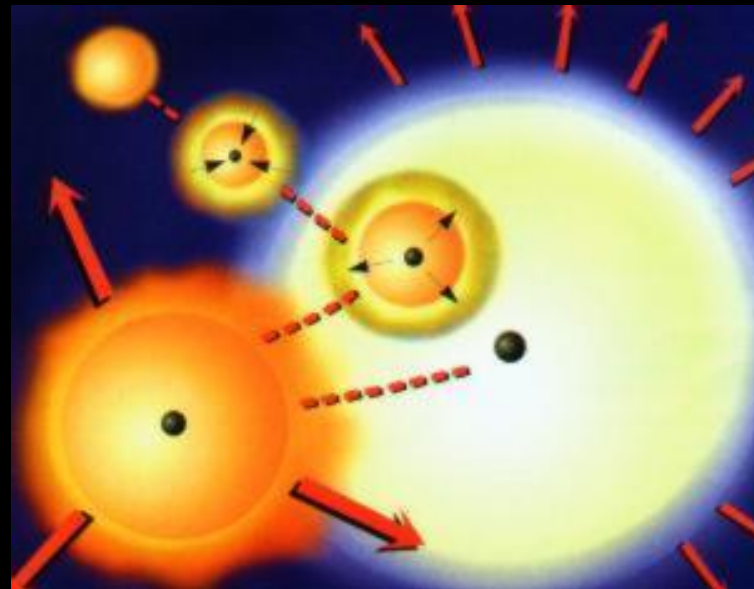
The supernova phenomenon



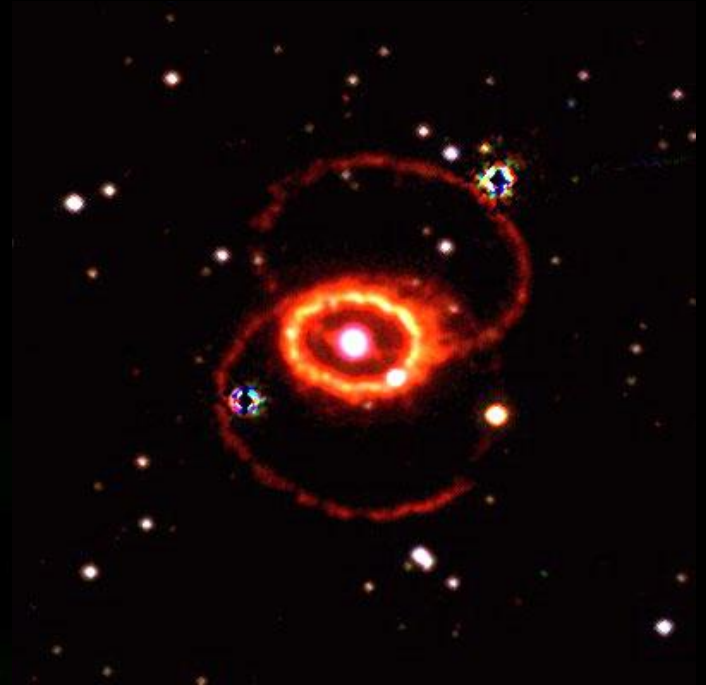
Wybuch supernowej 1987 w LMC

Podczas kurczenia centrum gwiazdy zapadają się także warstwy zewnętrzne.

Utworzona gwiazda neutronowa jest obiektem bardzo sztywnym. Spadające warstwy zewnętrzne odbijają się od niej i obserwujemy wybuch supernowej.



Gwiazdy masywne



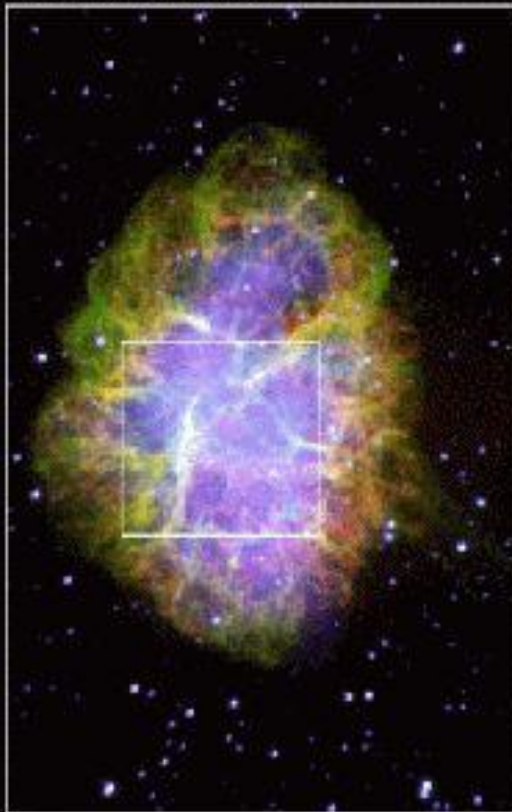
Gwiazdy masywne



Mgławica Krab – pozostałość po wybuchu supernowej w 1054 r.

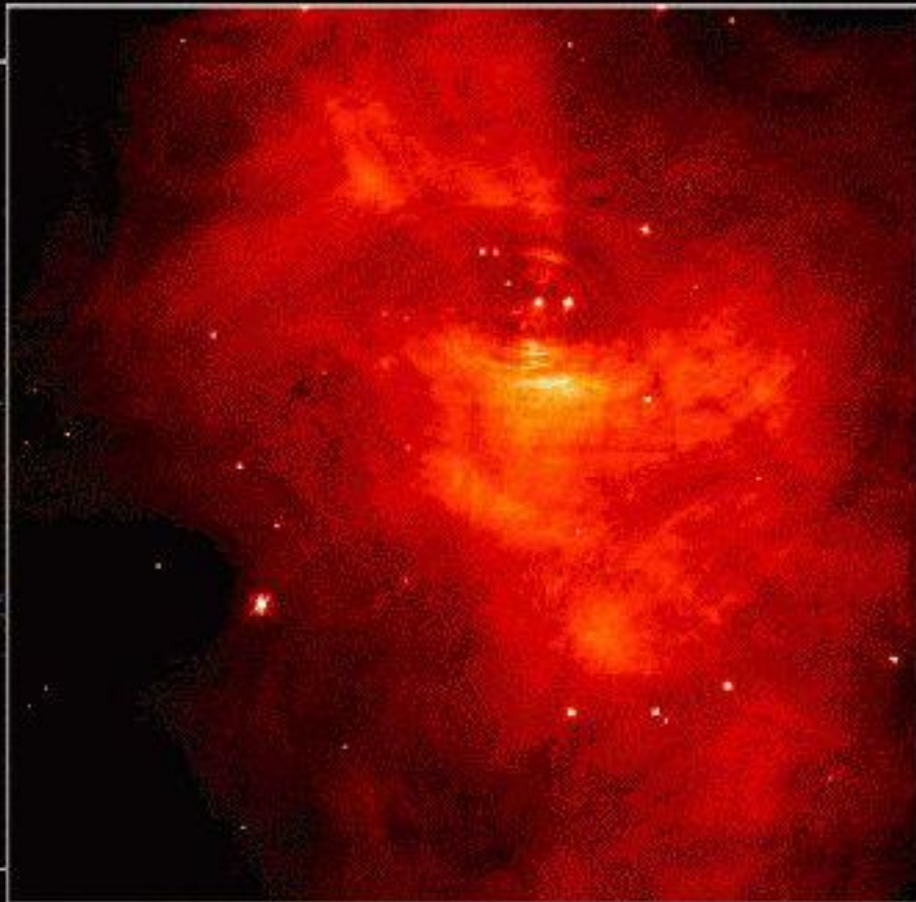
Gwiazdy masywne

Crab Nebula



Palomar

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



HST · WFPC2

Gwiazdy masywne

Neutron Star

Mass ~ 1.5 times the Sun
~12 miles in diameter

Solid crust
~1 mile thick

Heavy liquid interior
Mostly neutrons,
with other particles

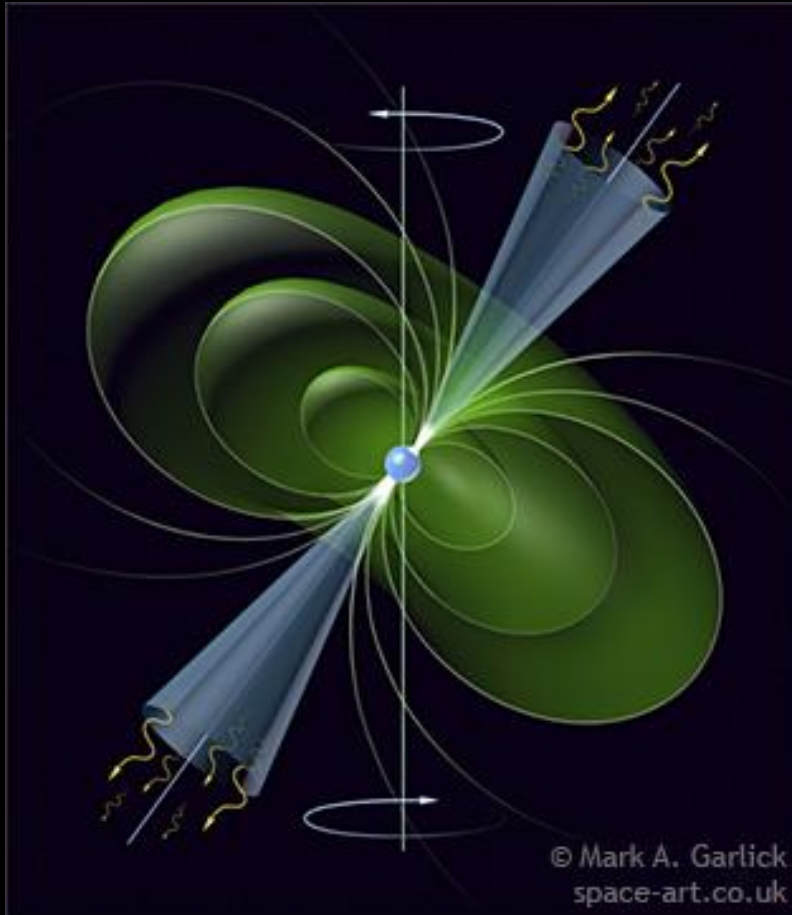
Wybuchy supernowych obserwowane były w przeszłości i widzimy pozostałości w postaci charakterystycznych obiektów mgławicowych.

Jednak po supernowej powinna zostać jeszcze gwiazda neutronowa.

Jak zaobserwować taki dziwny obiekt?

Kluczem do tej zagadki okazało się pole magnetyczne gwiazdy neutronowej

Gwiazdy masywne



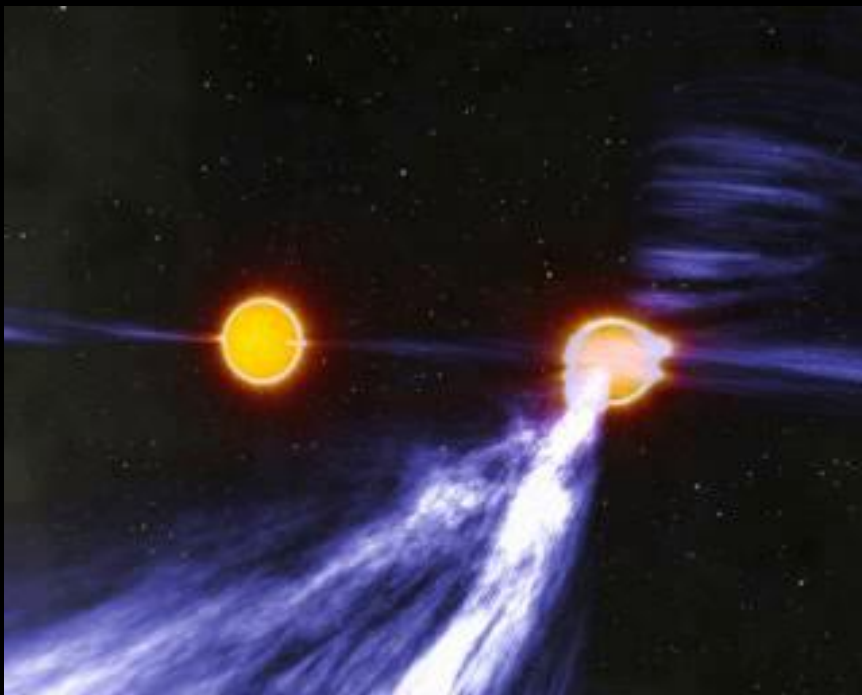
Pole magnetyczne gwiazdy neutronowej jest bardzo dobrym akceleratorem cząstek.

Cząstki rozpędzone do ogromnych prędkości zderzają się z zewnętrznymi warstwami gwiazdy neutronowej w okolicach biegunów magnetycznych.

W wyniku zderzeń produkowane jest promieniowanie, które możemy rejestrować.

Po raz pierwszy dokonała tego Jocelyn Bell w 1967 roku.

Gwiazdy masywne



Promieniowanie związane z gwiazdą neutronową ma postać bardzo krótkich impulsów rejestrowanych głównie w zakresie radiowym.

Związane jest to z tym, że oś rotacji pulsara nie pokrywa się z osią pola magnetycznego

Stąd nazwa tych obiektów – pulsary.

Pulsary rotują niewiarygodnie szybko.

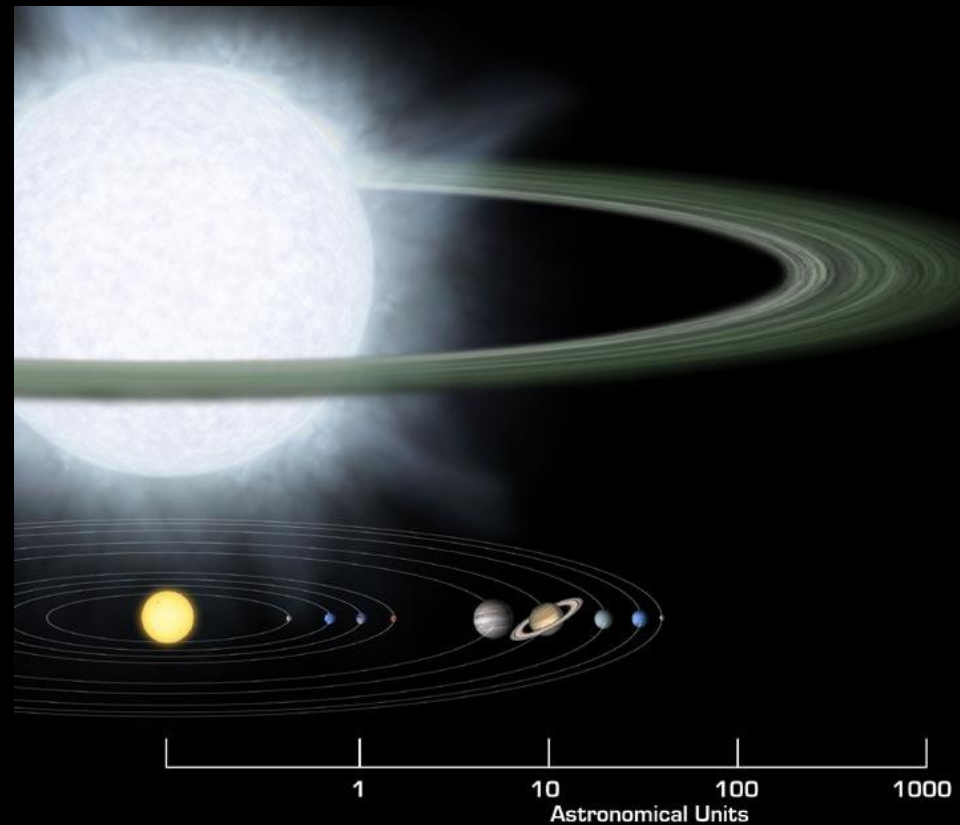
Typowe okresy obrotu (odległości między kolejnymi pulsami) są rzędu 0.1 – 0.01 s! W takim czasie obiekt o rozmiarach rzędu kilkunastu kilometrów dokonuje pełnego obrotu wokół własnej osi.

Gwiazdy masywne

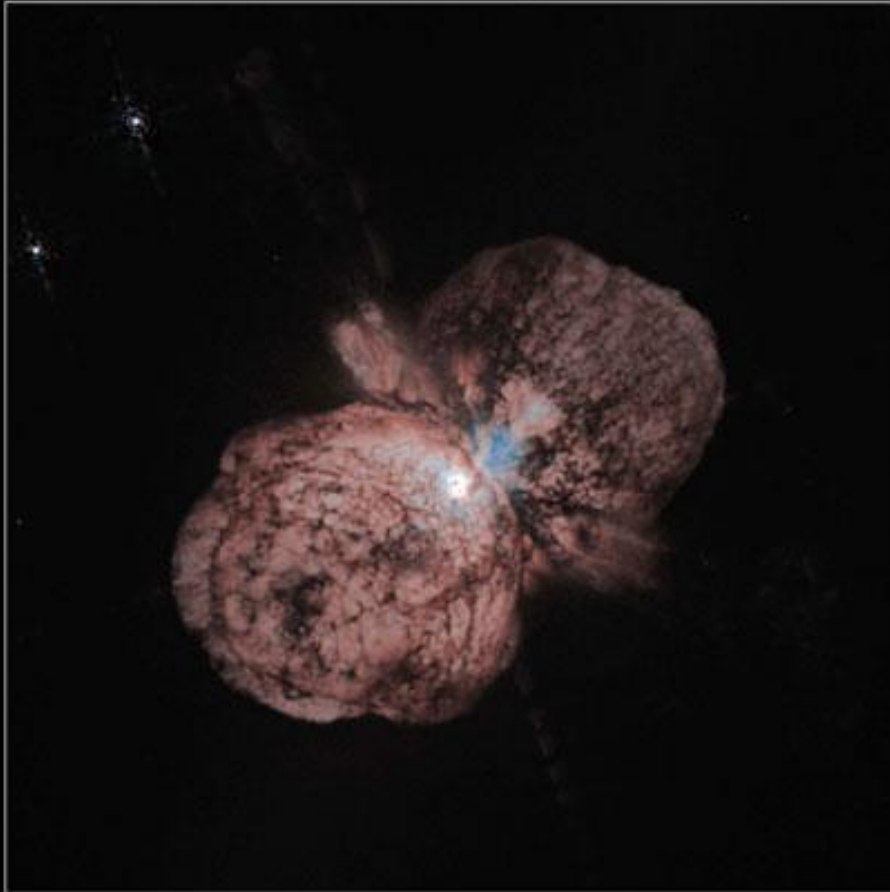
Najbardziej masywne gwiazdy nie kończą życia jako gwiazdy neutronowe.

Jeśli masa jądra gwiazdy znajdującej się w końcowej fazie ewolucji przekroczy $2.1 M_{\odot}$ to zapadanie jądra nie zostaje zatrzymane przez powstanie materii neutronowej.

Jądro zapada się dalej aż do punktu – powstaje czarna dziura.



Gwiazdy masywne



Eta Carinae

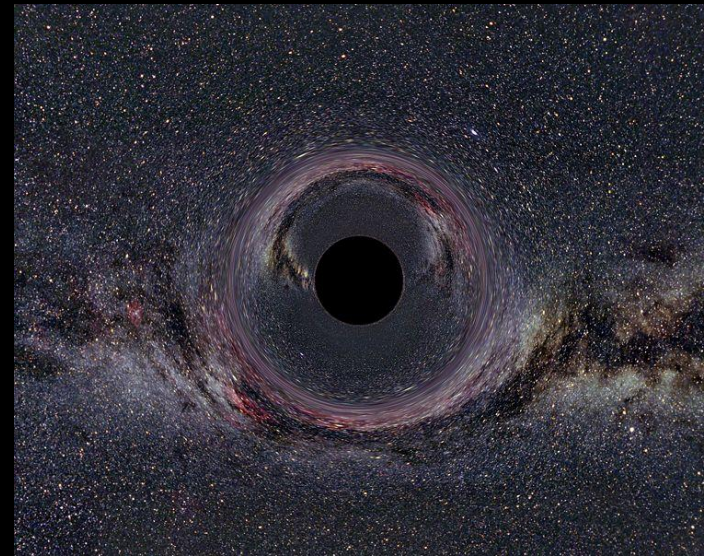
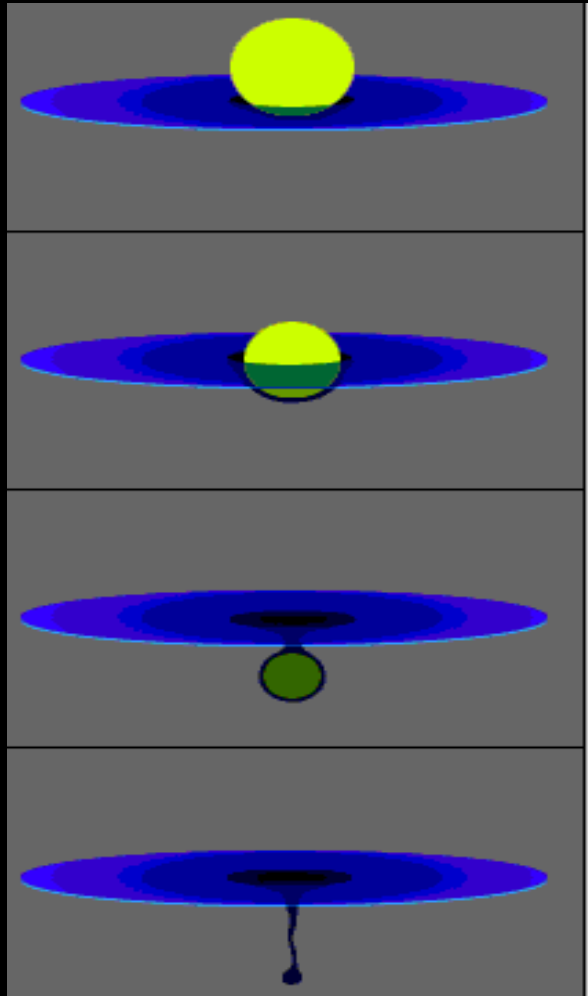
Hubble Space Telescope • WFPC2

Najbardziej masywne gwiazdy nie kończą życia jako gwiazdy neutronowe.

Jeśli masa jądra gwiazdy znajdującej się w końcowej fazie ewolucji przekroczy $2.1 M_{\odot}$ to zapadanie jądra nie zostaje zatrzymane przez powstanie materii neutronowej.

Jądro zapada się dalej aż do punktu – powstaje czarna dziura.

Gwiazdy masywne

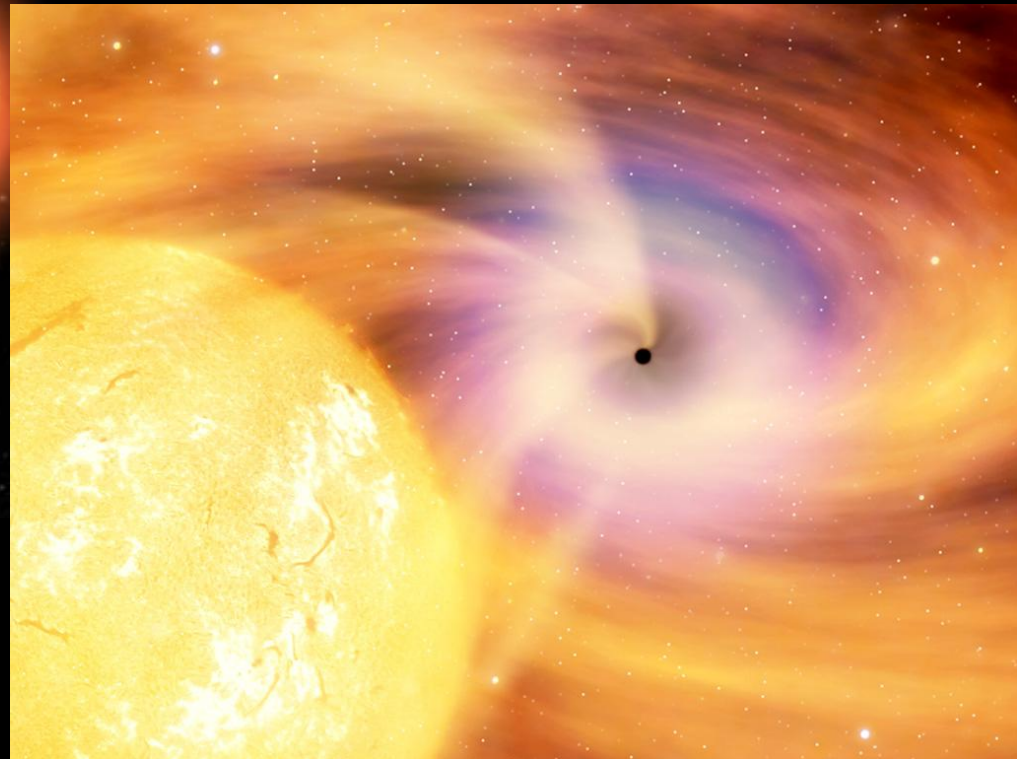


Tak może wyglądać czarna dziura.

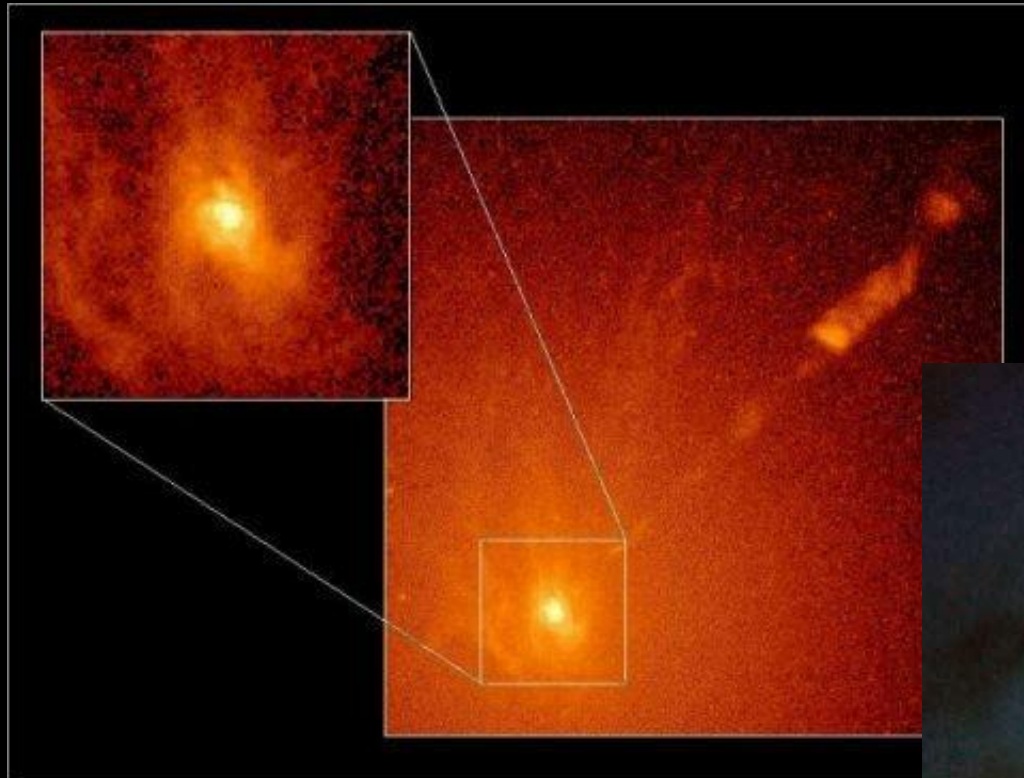
Zniekształcony obraz dookoła niej bierze się z zakrzywienia przestrzeni jakie wywołuje każdy obiekt posiadający masę, ale czarna dziura zakrzywia przestrzeń wyjątkowo silnie.

Gwiazdy masywne

Czarne dziury obserwujemy pośrednio – dzięki efektom jakie wywołują. Głównym źródłem informacji na ich temat są zjawiska obserwowane w otoczeniu tych niewidocznych obiektów.

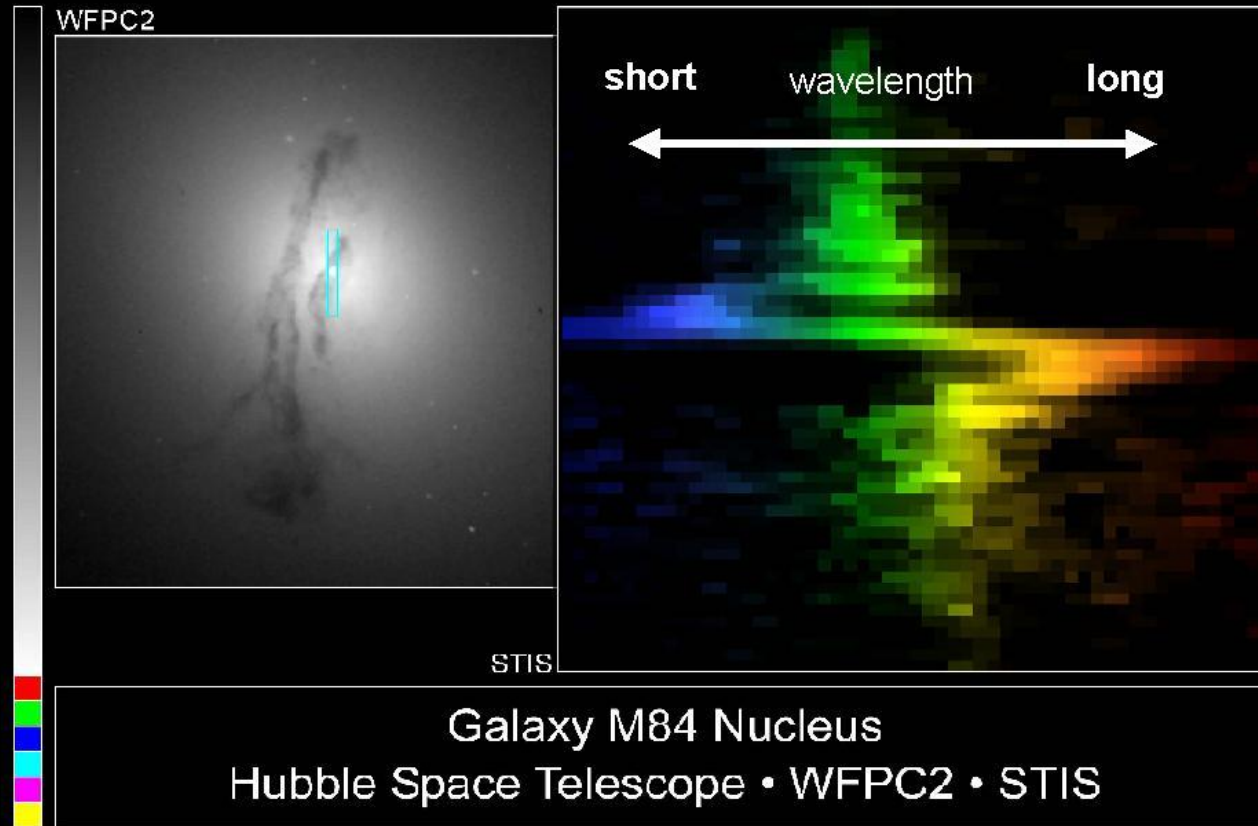


Gwiazdy masywne



Przykładowe obserwacje czarnych dziur

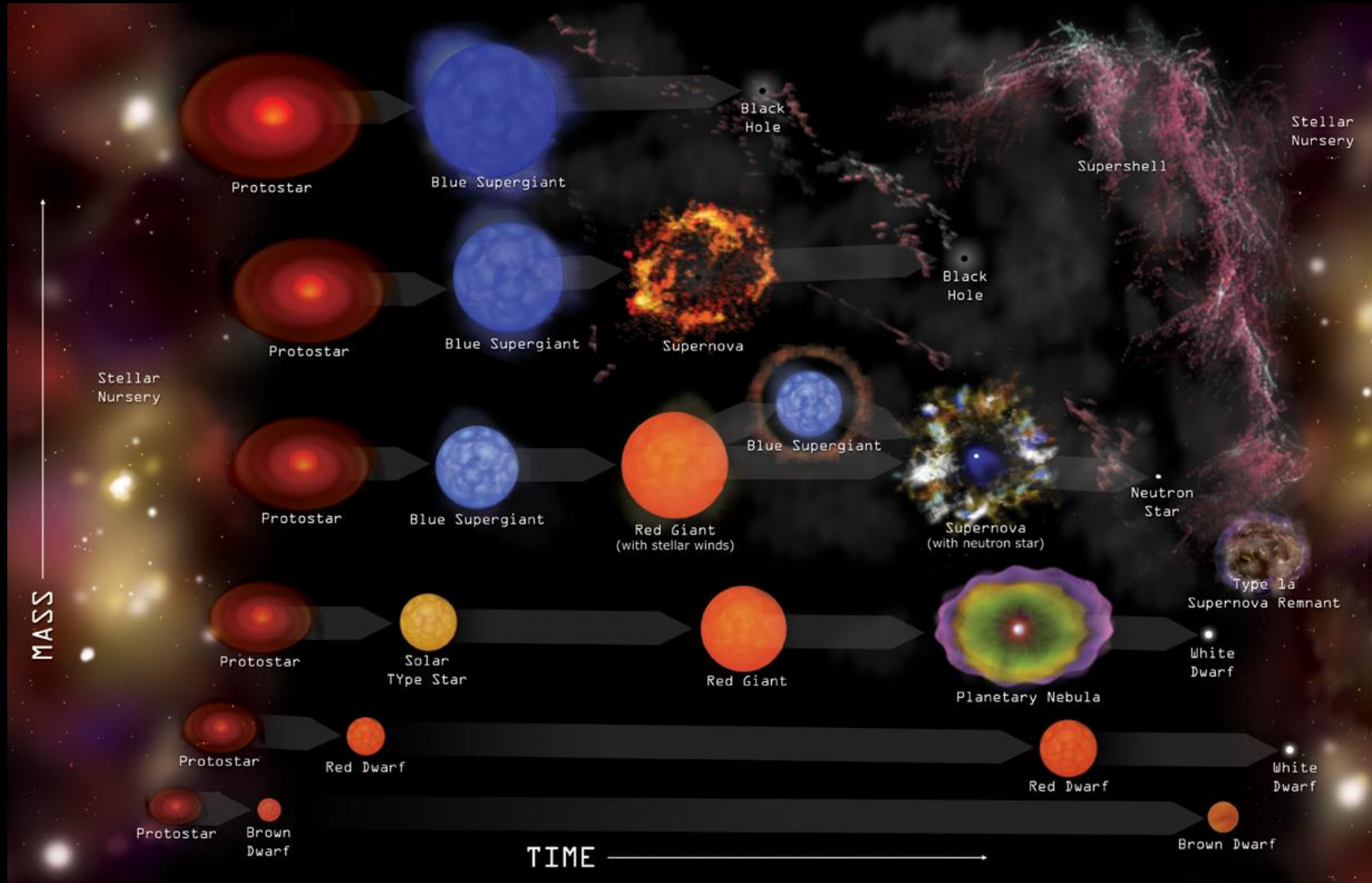
Gwiazdy masywne



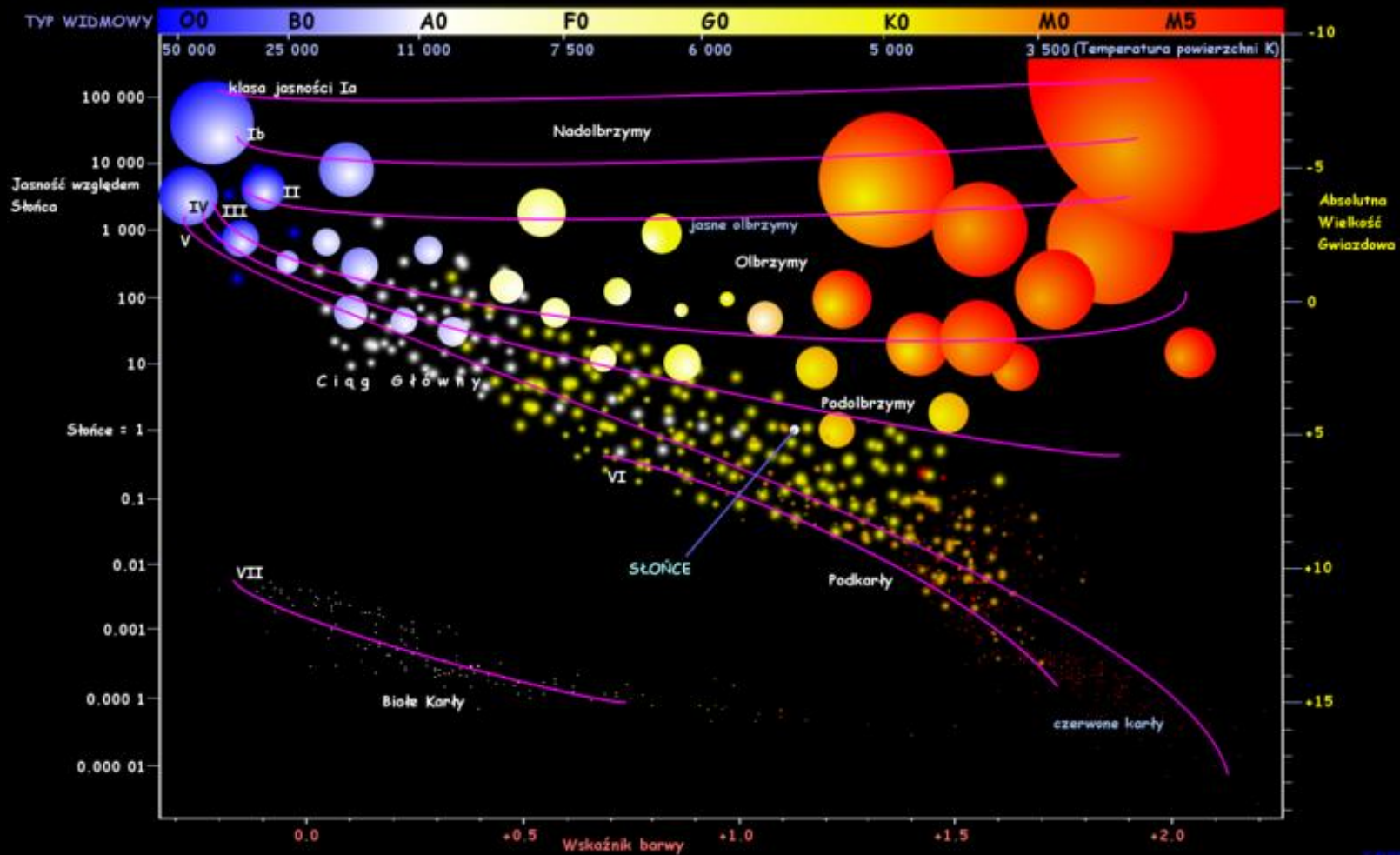
PRC07-12 • ST ScI OPO • May 12, 1007 • B. Woodgate (GSFC), G Bower (NOAO) and NASA

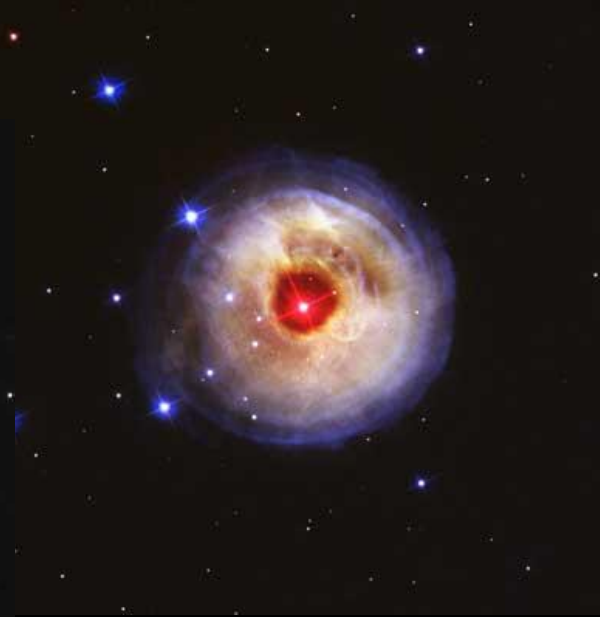
Przykładowe obserwacje czarnych dziur

Podsumowanie



Podsumowanie





KONIEC