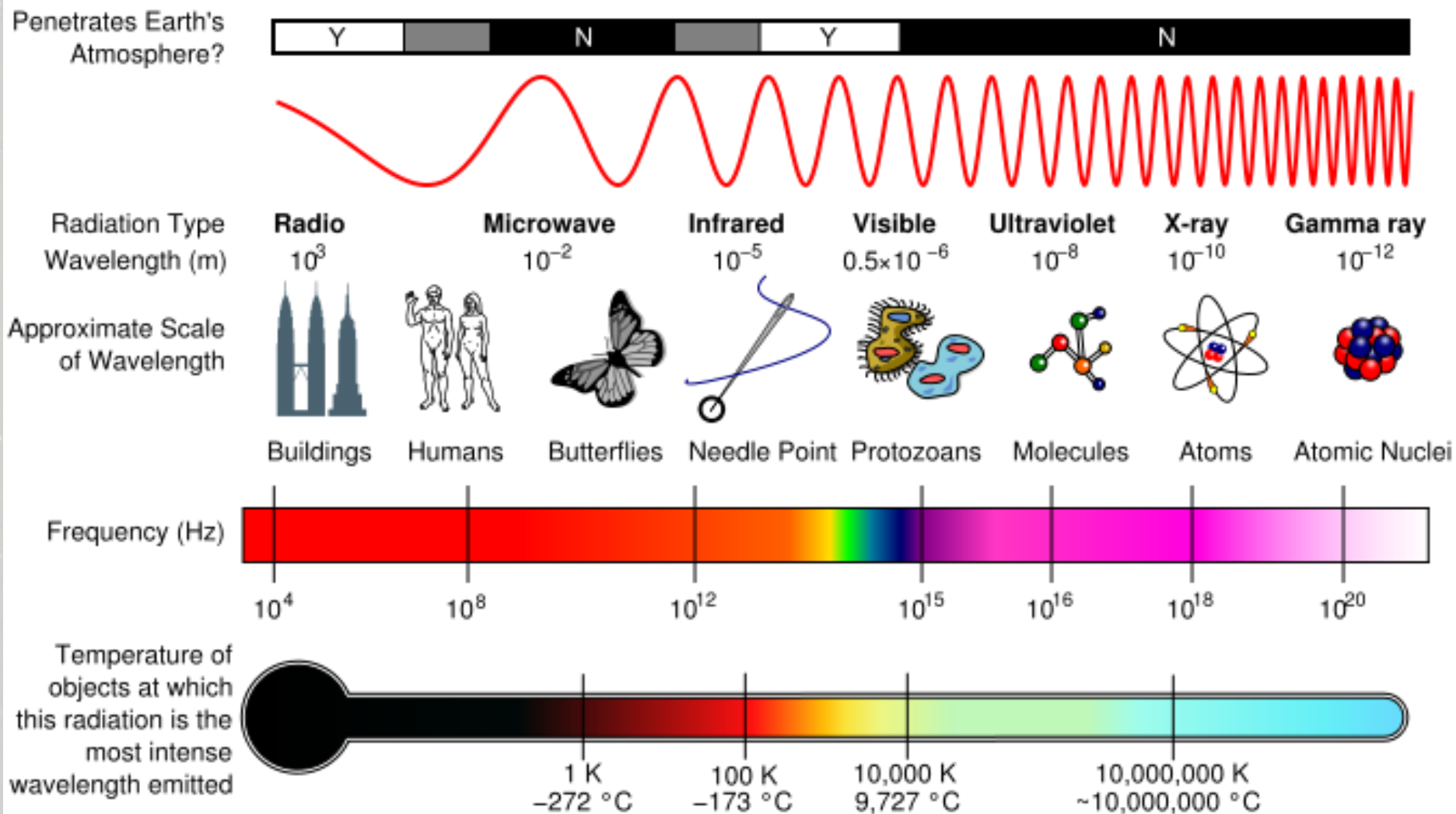


Ewolucja pod gwiazdami



Promieniowanie elektromagnetyczne



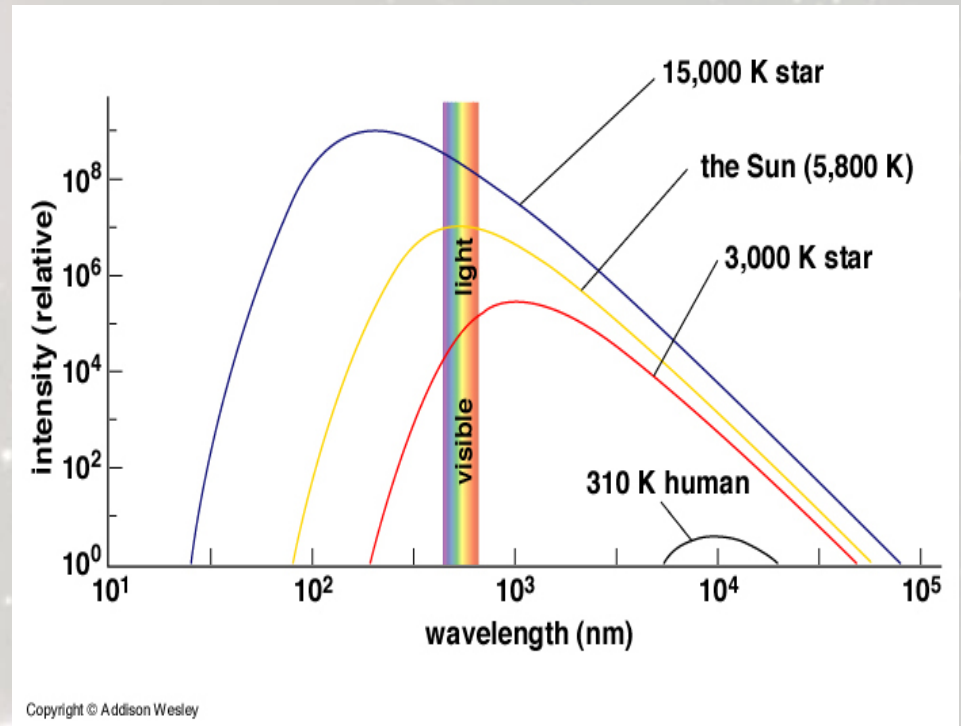
Ciało doskonale czarne (promiennik zupełny)



Tak świeci (widmo ciągłe) ciało znajdujące się w równowadze termodynamicznej

Gwiazdy gorące są niebieskie, a chłodne – czerwone

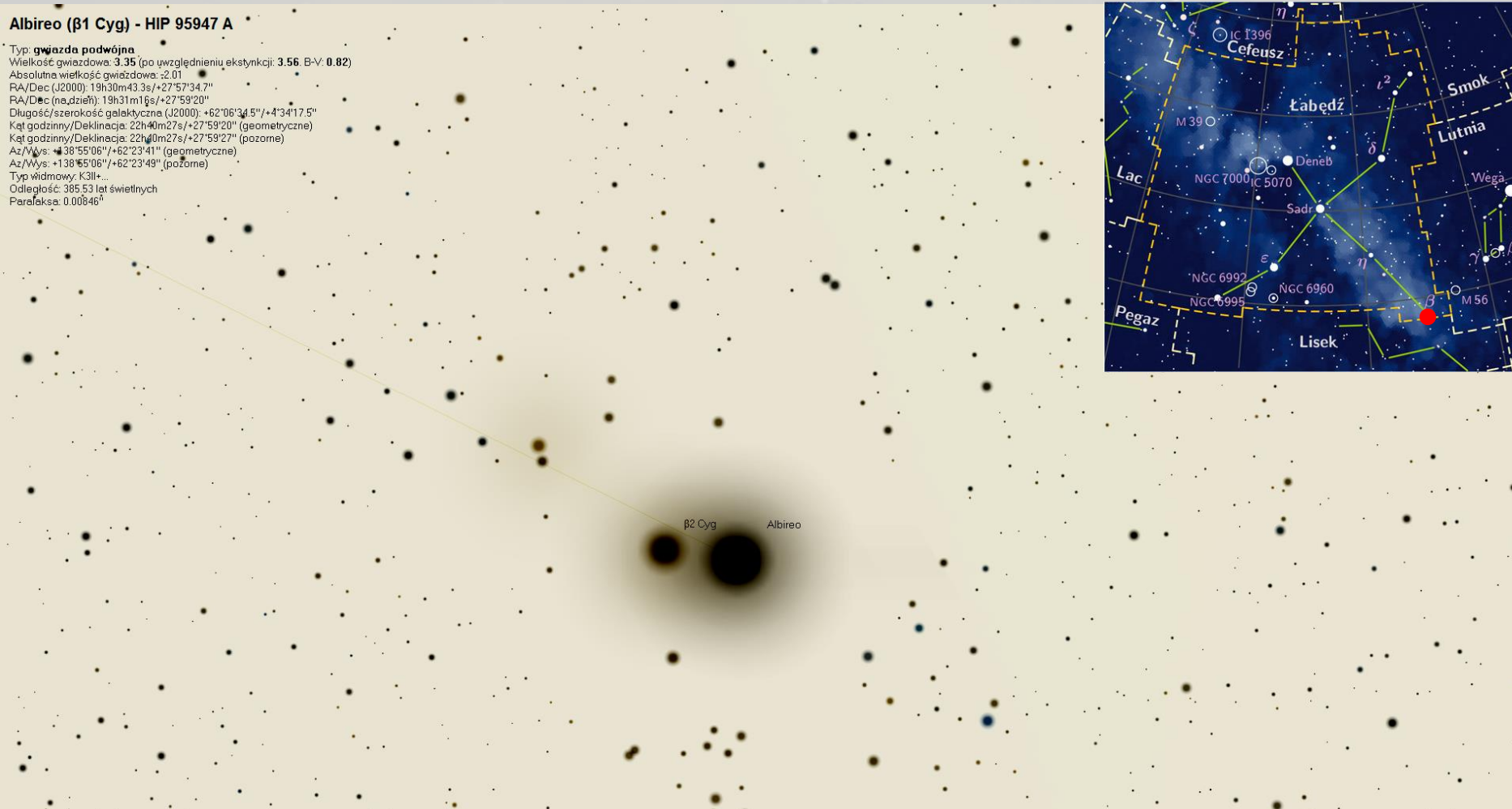
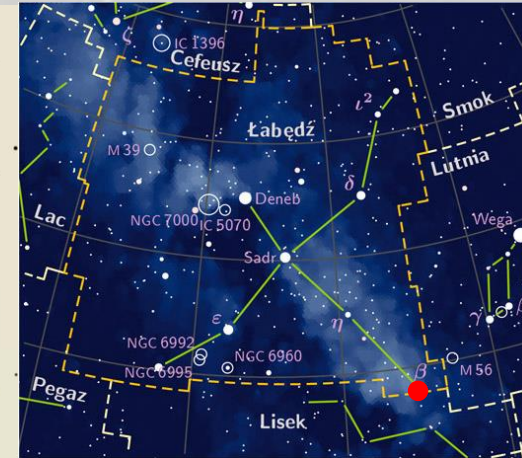
Aby zmierzyć temperaturę gwiazdy definiuje się tzw. wskaźniki barwy lub analizuje się linie widmowe



Barwa - temperatura

Albireo (β 1 Cyg) - HIP 95947 A

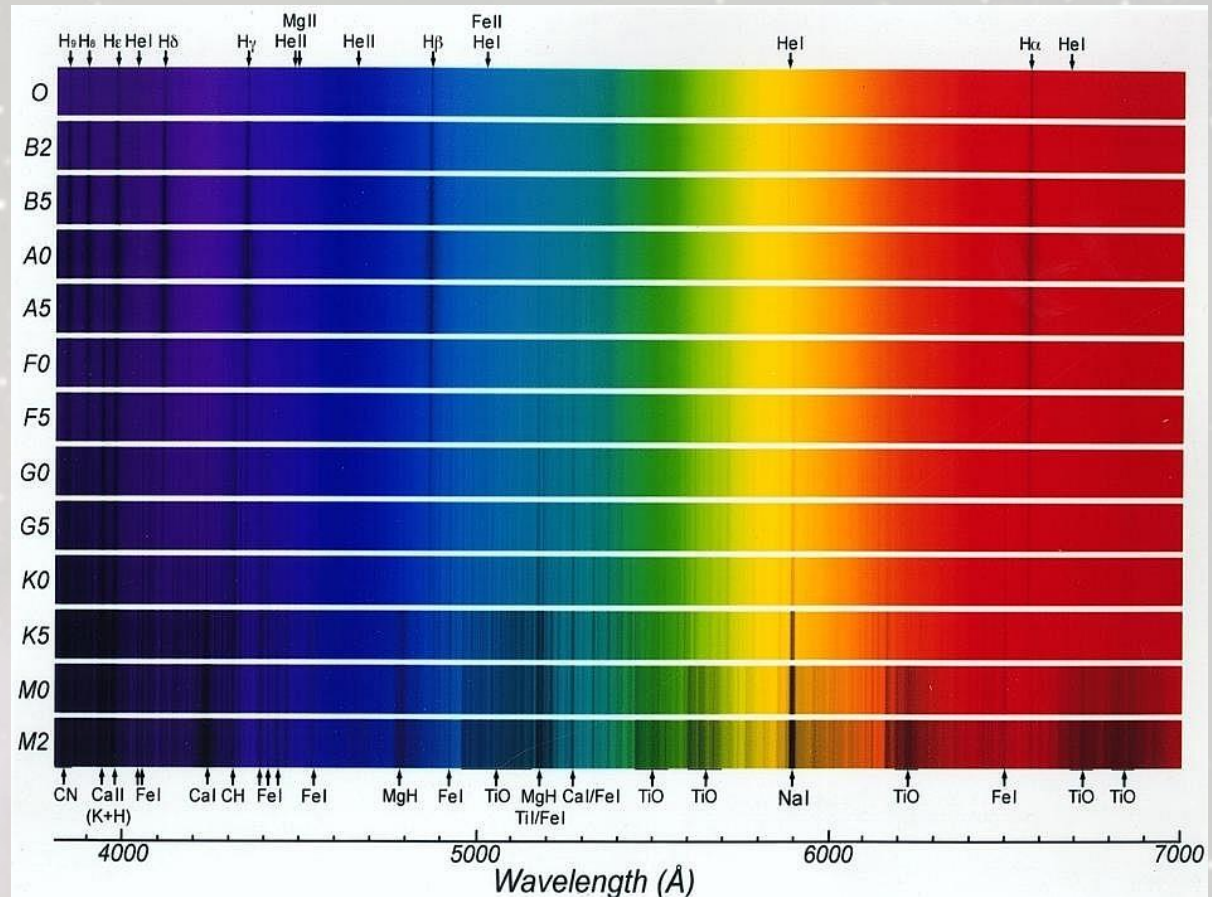
Typ: gwiazda podwójna
Wielkość gwiazdowa: 3.35 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 3.56, B-V: 0.82)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -2.01
RA/Dec (J2000): 19h30m43.3s/+27°57'34.7"
RA/Dec (na dziś): 19h31m16s/+27°59'20"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +62°06'34.5"/+4°34'17.5"
Kąt godzinny/Deklinacja: 22h40m27s/+27°59'20" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 22h40m27s/+27°59'27" (pozorne)
Az/Wys: +138°55'06"/+62°23'41" (geometryczne)
Az/Wys: +138°55'06"/+62°23'49" (pozorne)
Typ widmowy: K3III+...
Odległość: 385.53 lat świetlnych
Parafaksa: 0.00846¹



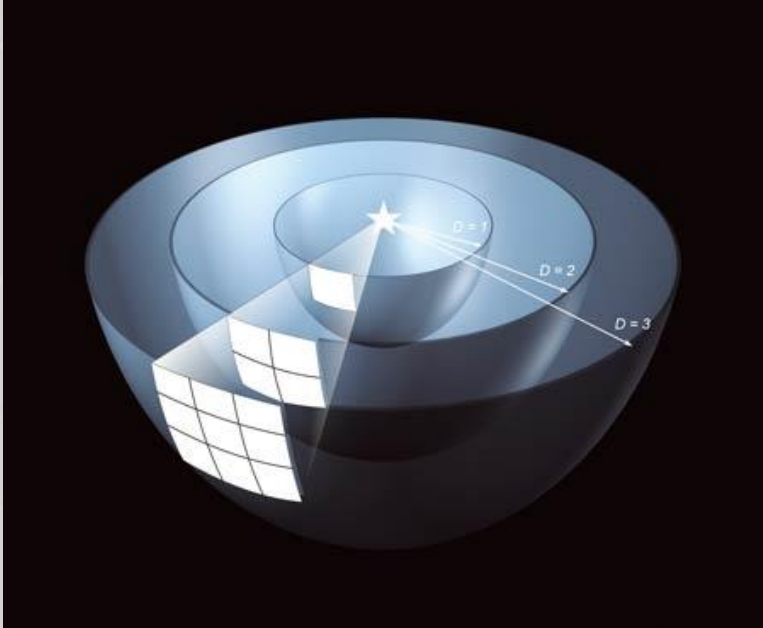
Albireo – w rzeczywistości układ potrójny. W teleskopie zwykle zobaczymy dwa składniki. Jeden z nich ma temperaturę około 4000 K, a drugi około 12000 K.

Klasyfikacja widm gwiazd

1872 – klasyfikacja
Harwardzka
typy O B A F G K M
(podtypy 0 – 9)



OH, BE A FINE GIRL, KISS ME



Gwiazda produkuje w ciągu sekundy pewną ilość energii – jest elektrownią termojądrową o określonej mocy

Ta energia jest wypromieniowana przez całą powierzchnię gwiazdy

Moc promieniowania gwiazdy: $L=4\pi R^2\sigma T^4$



Diagram H-R

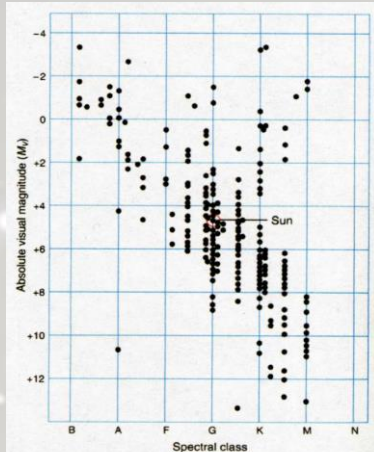
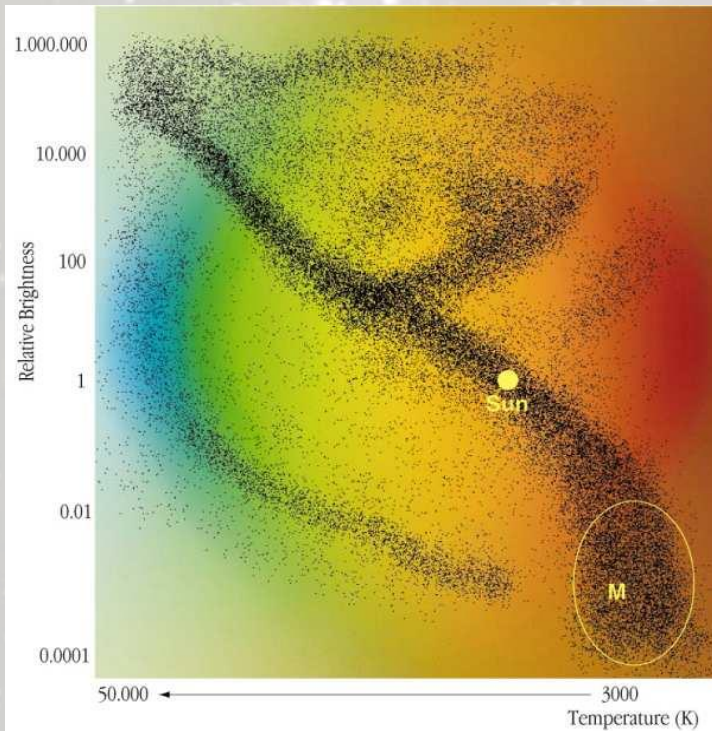
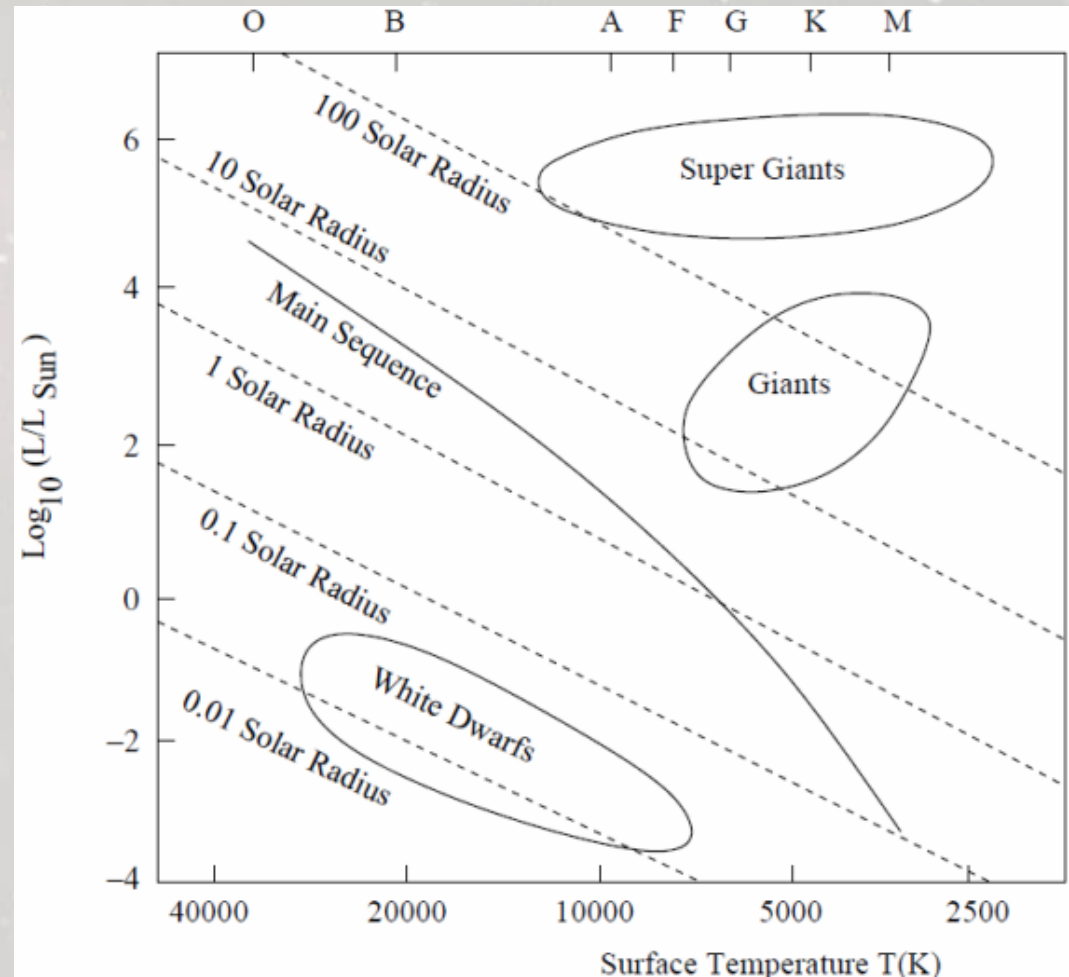


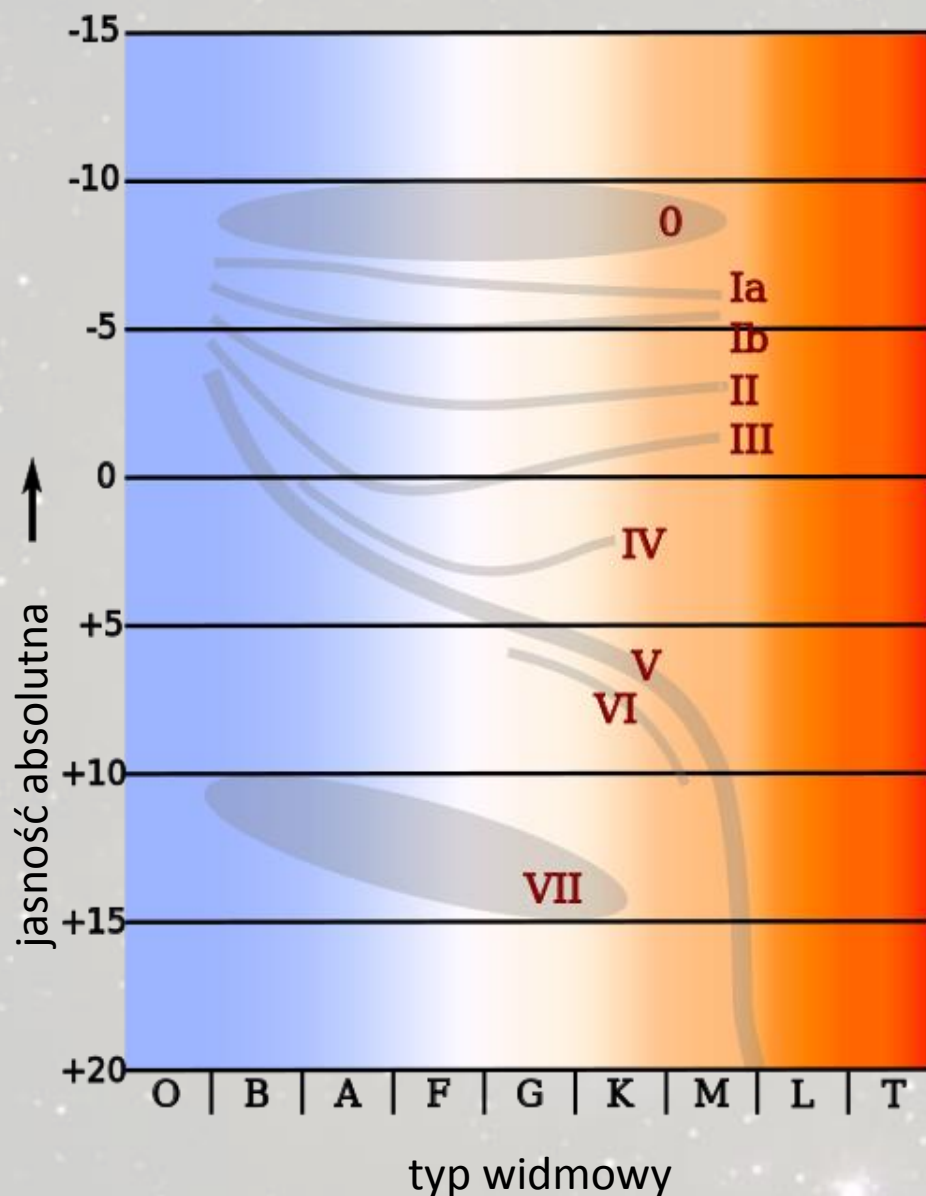
Figure 19.17 In Henry Norris Russell's original diagram, he plotted stars according to absolute visual magnitude and spectral class. The dwarf sequence (now called the main sequence), which includes the Sun, goes from lower right to upper left. The giant branch scatters out toward the upper right. One white dwarf sits at bottom left.

Przedstawiony w 1911 roku przez E. Hertzsprunga

Udoskonalony w 1913 roku przez H.N. Russella



Klasa jasności



0-Ia – hiperolbrzymy (P Cygni)

I – nadolbrzymy (Deneb, delta Cephei, mi Cephei)

II – jasne olbrzymy (Adhara, Rasalgethi)

III – olbrzymy (Arktur, Hadar, RR Lyrae, Thuban)

IV – podolbrzymy (Muphrid)

V – karły, gwiazdy ciągu głównego (Słońce, Wega, Altair)

VI – podkarły (Mu Cassiopeiae, Groombridge 1830)

VII – białe karły (centrum mgławicy pierścieni)

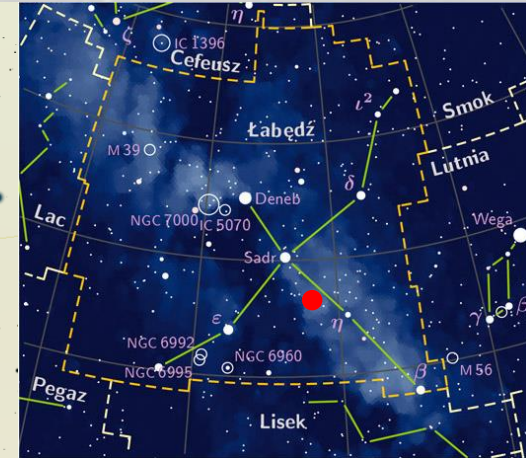
Klasy jasności nie należy mylić z jasnością, bo są wynikiem z cech widma

O-Ia – hiperolbrzymy

P Cygni

P Cyg - HIP 100044

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 4.75 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 4.97, B-V: 0.38)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -6.67
RA/Dec (J2000): 20h17m47.2s/+38°01'58.5"
RA/Dec (na dzień): 20h18m17s/+38°04'33"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +75°49'36.3"/+1°19'10.0"
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h53m26s/+38°04'33" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h53m26s/+38°04'37" (pozożone)
Az/Wys: +107°32'31"/+64°06'47" (geometryczne)
Az/Wys: +107°32'31"/+64°06'54" (pozożone)
Typ widmowy: B2pe
Odległość: 6272.24 lat świetlnych
Paralaksa: 0.00052"



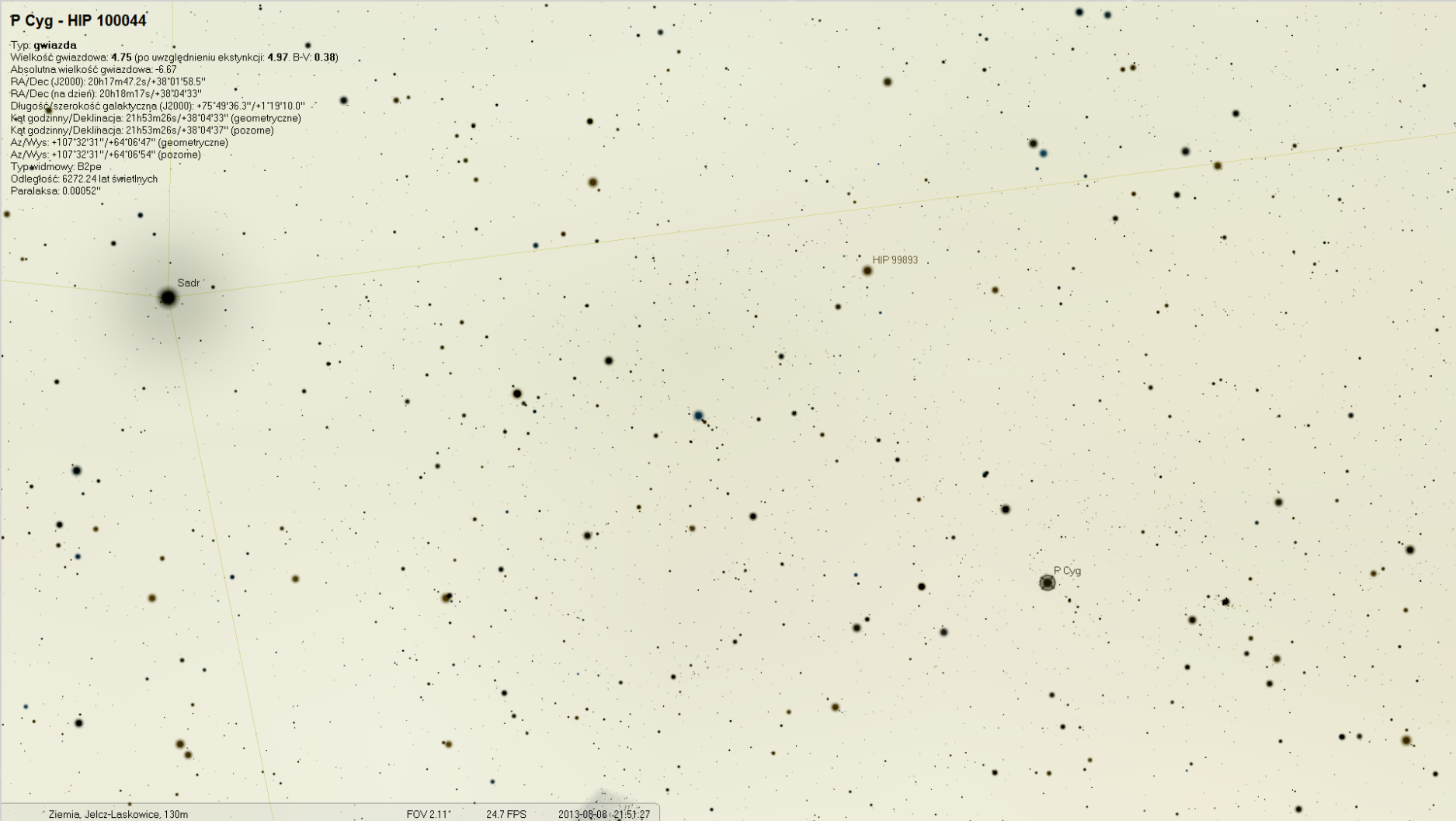
Masa	30 M_{\odot}
Promień	76 R_{\odot}
Moc promieniowania	610 000 L_{\odot}
Temperatura	18,700 K

Najjaśniejsze z gwiazd. Przykład:

P Cygni – należąca do typu „jasnych błękitnych zmiennych” (LBV). Pod koniec XVI w. pojaśniała do 3 mag. Obecnie zmiany jasności nie przekraczają 0.5 mag.

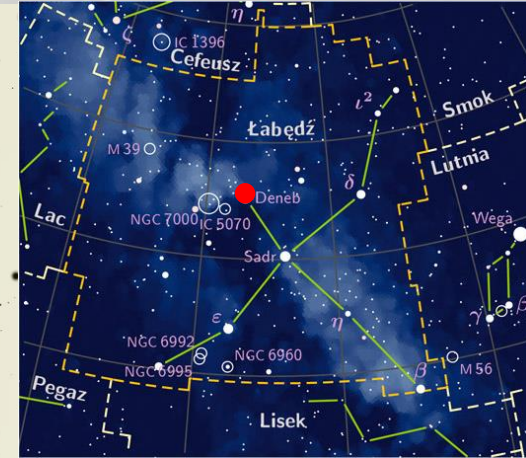
P Cyg - HIP 100044

Typ: **gwiazda**
Wielkość gwiazdowa: **4.75** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **4.97**, B-V: **0.38**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -6.67
RA/Dec (J2000): 20h17m47.2s/+38°01'58.5"
RA/Dec (na dzień): 20h18m17s/+38°04'33"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +75°49'36.3"/+1°19'10.0"
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h53m26s/+38°04'33" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h53m26s/+38°04'37" (pozorne)
Az/Wys: +107°32'31"/+64°06'47" (geometryczne)
Az/Wys: +107°32'31"/+64°06'54" (pozorne)
Typ widmowy: B2pe
Odległość: 6272.24 lat świetlnych
Paralaksa: 0.00052"



Deneb (α Cyg) - HIP 102098

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 1.25 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 1.47, B-V: 0.10)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -8.73
RA/Dec (J2000): 20h41m25.9s/+45°16'49.2"
RA/Dec (na dzień): 20h41m54s/+45°19'46"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +84°17'05.0"/+1°58'51.2"
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h29m50s/+45°19'46" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h29m50s/+45°19'49" (pozdorne)
Az/Wys: +87°56'13"/+64°26'26" (geometryczne)
Az/Wys: +87°56'13"/+64°26'33" (pozdorne)
Typ widmowy: A2Ia
Odległość: 3229.27 lat świetlnych
Paraleksa: 0.00101"



Masa	19 M_{\odot}
Promień	203 R_{\odot}
Moc promieniowania	200 000 L_{\odot}
Temperatura	8525 K

HIP 102827

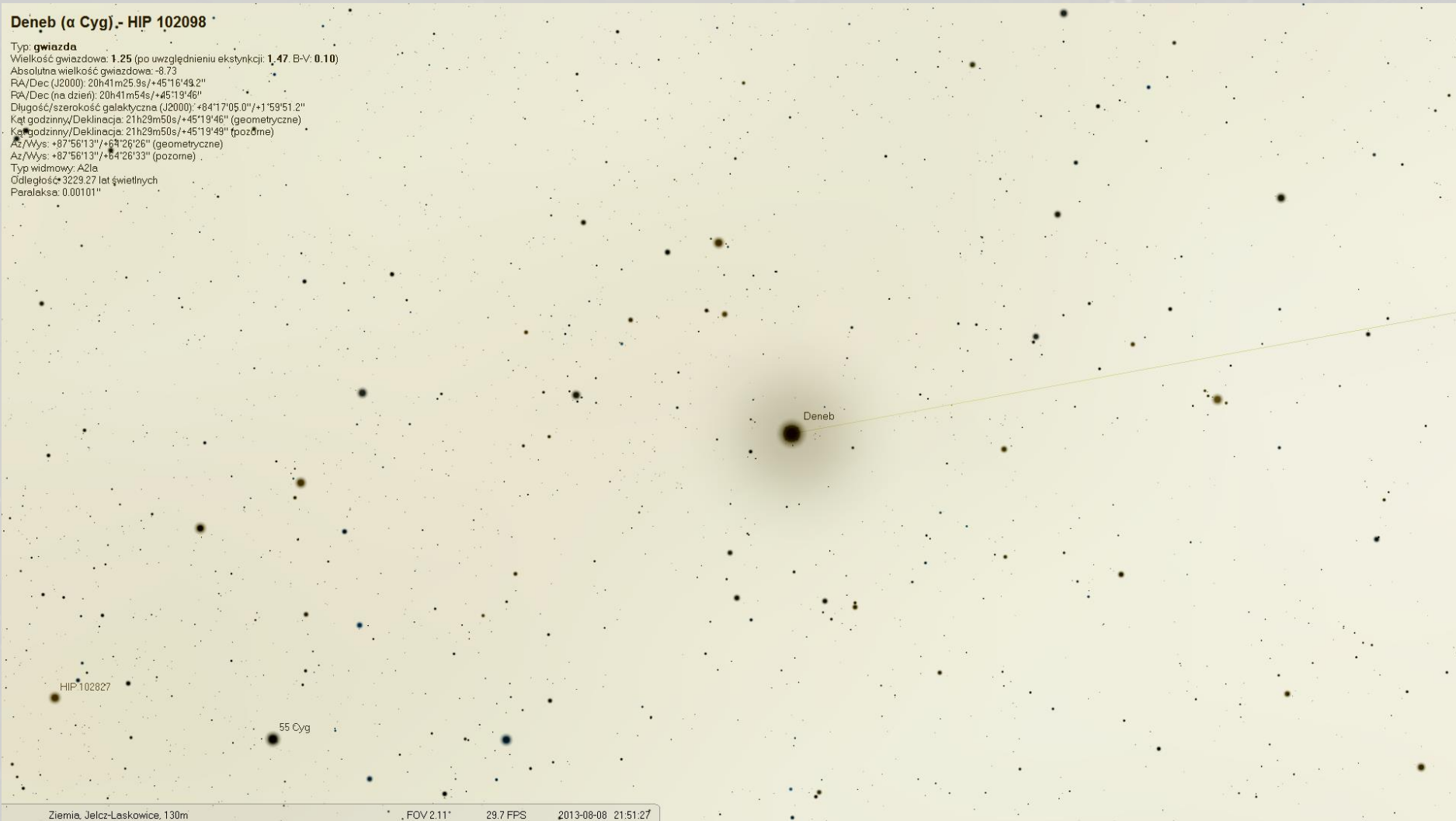
55 Cyg

Bardzo jasne i masywne gwiazdy przy końcu swojego życia. Przykład:

Deneb – odległa od nas o około 1500 l.św.. Najdalsza spośród 30 najjaśniejszych gwiazd na niebie. Należy do chińskiego gwiazdozbioru Niebiański Bród, który stanowił przeprawę przez Drogę Mleczną.

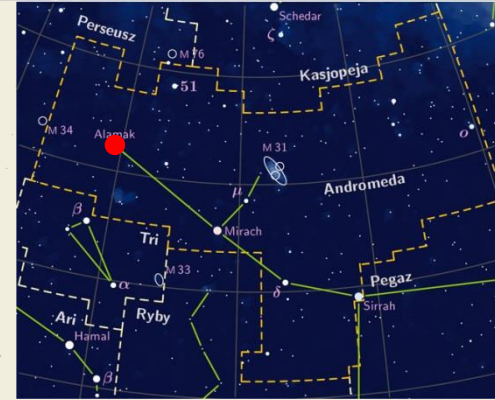
Deneb (α Cyg) - HIP 102098

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 1.25 (po uwzględnieniu ekstynkcji) 1.47 B-V: 0.10
Absolutna wielkość gwiazdowa: -8.73
RA/Dec (J2000): 20h41m25.9s/+45°16'49.2"
RA/Dec (na dzień): 20h41m54s/+45°19'46"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +84°17'05.0"/+1°58'51.2"
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h29m50s/+45°19'46" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 21h29m50s/+45°19'49" (pożorne)
Az/Wys: +87°56'13"/+64°26'26" (geometryczne)
Az/Wys: +87°56'13"/+64°26'33" (pożorne)
Typ widmowy: A2Ia
Odległość: 3229.27 lat świetlnych
Paraleksa: 0.00101"



Almaak (γ^1 And) - HIP 9640.A

Typ: gwiazda podwójna
 Wielkość gwiazdowa: 2.15 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 2.79. B-V: 1.42)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -3.03
 RA/Dec (J2000): 2h03m54.0s/+42°19'46.8"
 RA/Dec (na dzień): 2h04m44s/+42°23'40"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +136°57'52.9"/-18°33'32.5"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 16h06m59s/+42°23'40" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 16h07m8s/+42°26'02" (pozorne)
 Az/Wys: +42°53'34"/+17°35'44" (geometryczne)
 Az/Wys: +42°53'34"/+17°38'38" (pozorne)
 Typ widmowy: B8V
 Odległość: 354.90 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.00919"



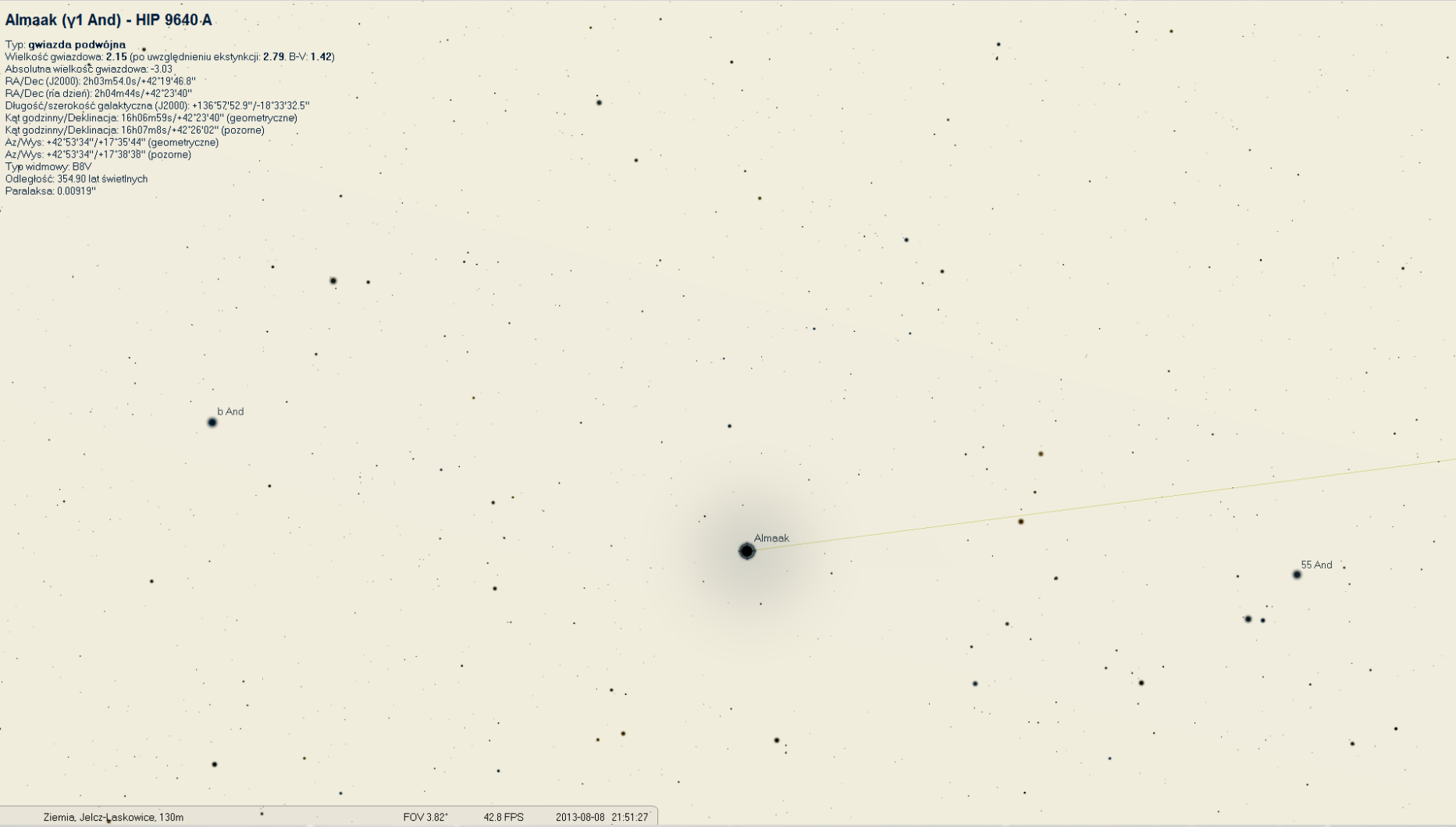
Masa	4.5 M_{\odot}
Promień	80 R_{\odot}
Moc promieniowania	2000 L_{\odot}
Temperatura	4500 K

Jasność pomiędzy olbrzymami a nadolbrzymami. Przykład:

Almach – układ poczwórny. Najjaśniejszy składnik (γ^1 And) jest jasnym olbrzymem. Odległość od nas – około 350 l.św.

Almaak (γ1 And) - HIP 9640-A

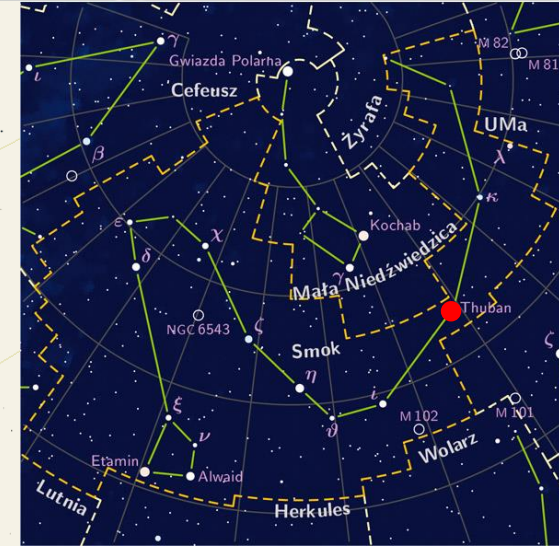
Typ: **gwiazda podwójna**
Wielkość gwiazdowa: **2.15** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **2.79**, B-V: **1.42**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -3.03
RA/Dec (J2000): 2h03m54.0s/+42°19'46.8"
RA/Dec (na dzień): 2h04m44s/+42°23'40"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +136°57'52.9"/-18°33'32.5"
Kąt godzinny/Deklinacja: 16h06m59s/+42°23'40" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 16h07m8s/+42°26'02" (pozone)
Az/Wys: +42°53'34"/+17°35'44" (geometryczne)
Az/Wys: +42°53'34"/+17°38'38" (pozone)
Typ widmowy: B8V
Odległość: 354.90 lat świetlnych
Paraleksa: 0.00919"



Thuban (α Dra) - HIP 68756

Typ: **gwiazda**
 Wielkość gwiazdowa: **3.65** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **3.89**, B-V: **-0.06**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: **-1.23**
 RA/Dec (J2000): 14h04m23.3s/+64°22'32.4"
 RA/Dec (na dzień): 14h04m46s/+64°18'40"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +110°31'25.3"/+50°57'32.2"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 4h49m36s/+64°18'40" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 4h49m33s/+64°18'45" (pozorne)
 Az/Wys: +318°18'51"/+51°39'38" (geometryczne)
 Az/Wys: +318°18'51"/+51°39'59" (pozorne)
 Typ widmowy: A0III_SB
 Odległość: 308.86 lat świetlnych
 Paralaksa: 0.01056"

Masa	3.85 M_{\odot}
Promień	6.75 R_{\odot}
Moc promieniowania	300 L_{\odot}
Temperatura	9500 K

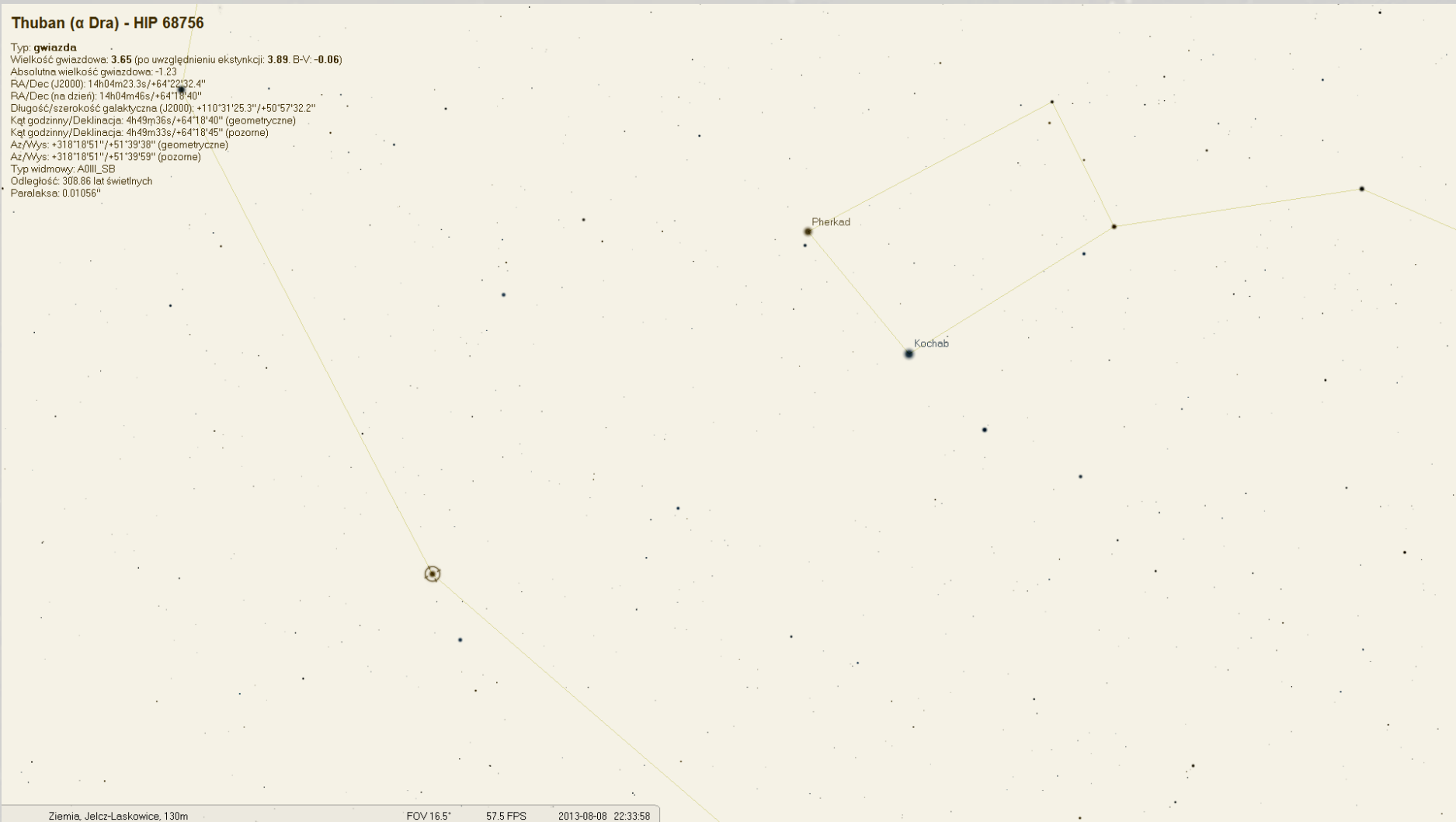


W większości są to niezbyt masywne gwiazdy przy końcu ich życia. Przykład:

Thuban – w starożytności była w okolicy bieguna świata (gwiazda polarna). Najbliżej, mniej niż 2.5 minuty łuku, znajdował się w roku 2787 p.n.e. W 20346 r. znów będzie gwiazdą polarną. Jest gwiazdą spektroskopowo podwójną.

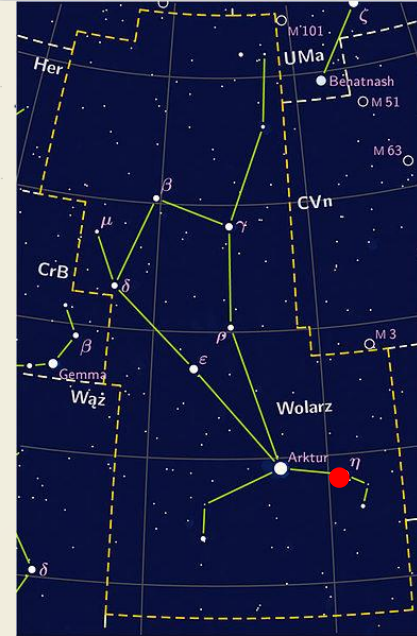
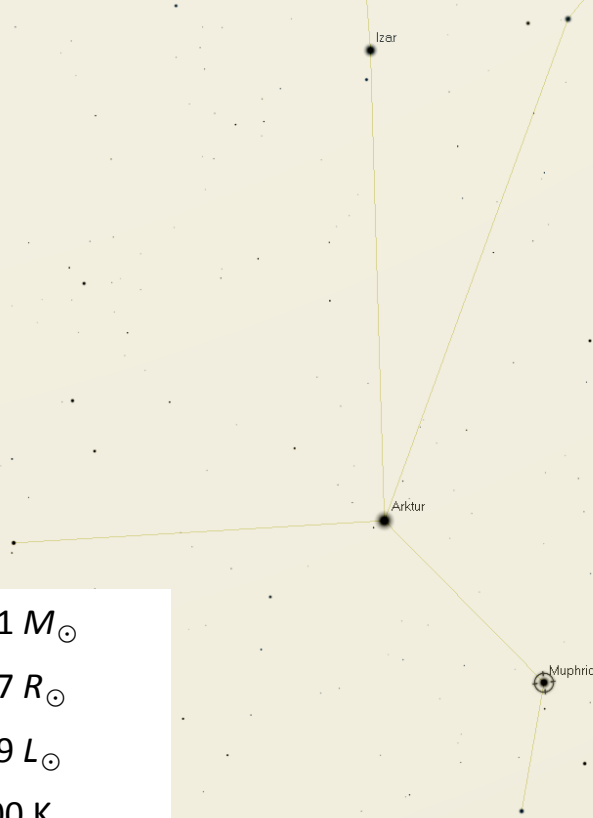
Thuban (α Dra) - HIP 68756

Typ: **gwiazda**
 Wielkość gwiazdowa: **3.65** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **3.89** B-V: **-0.06**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -1.23
 RA/Dec (J2000): 14h04m23.3s/+64°22'32.4"
 RA/Dec (na dzień): 14h04m46s/+64°18'40"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +110°31'25.3"/+50°57'32.2"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 4h49m36s/+64°18'40" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 4h49m33s/+64°18'45" (pozorne)
 Az/Wys: +318°18'51"/+51°39'38" (geometryczne)
 Az/Wys: +318°18'51"/+51°39'59" (pozorne)
 Typ widmowy: A0III_SB
 Odległość: 308.86 lat świetlnych
 Paralaksa: 0.01056"



Muphrid (η Boo) - HIP 67927

Typ: **gwiazda** -
 Wielkość gwiazdowa: **2.65** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **2.93**, B-V: **0.57**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: 2.38
 RA/Dec (J2000): 13h54m41.1s/+18°23'49.6"
 RA/Dec (na dzień): 13h55m20s/+18°19'53"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +51°7'12.4"/+73°01'47.8"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h08m26s/+18°19'53" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h08m24s/+18°20'27" (pozorne)
 Az/Wys: +246°04'12"/+40°46'11" (geometryczne)
 Az/Wys: +246°04'12"/+40°46'55" (pozorne)
 Typ widmowy: G0IV
 Odległość: 36.99 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.08817"



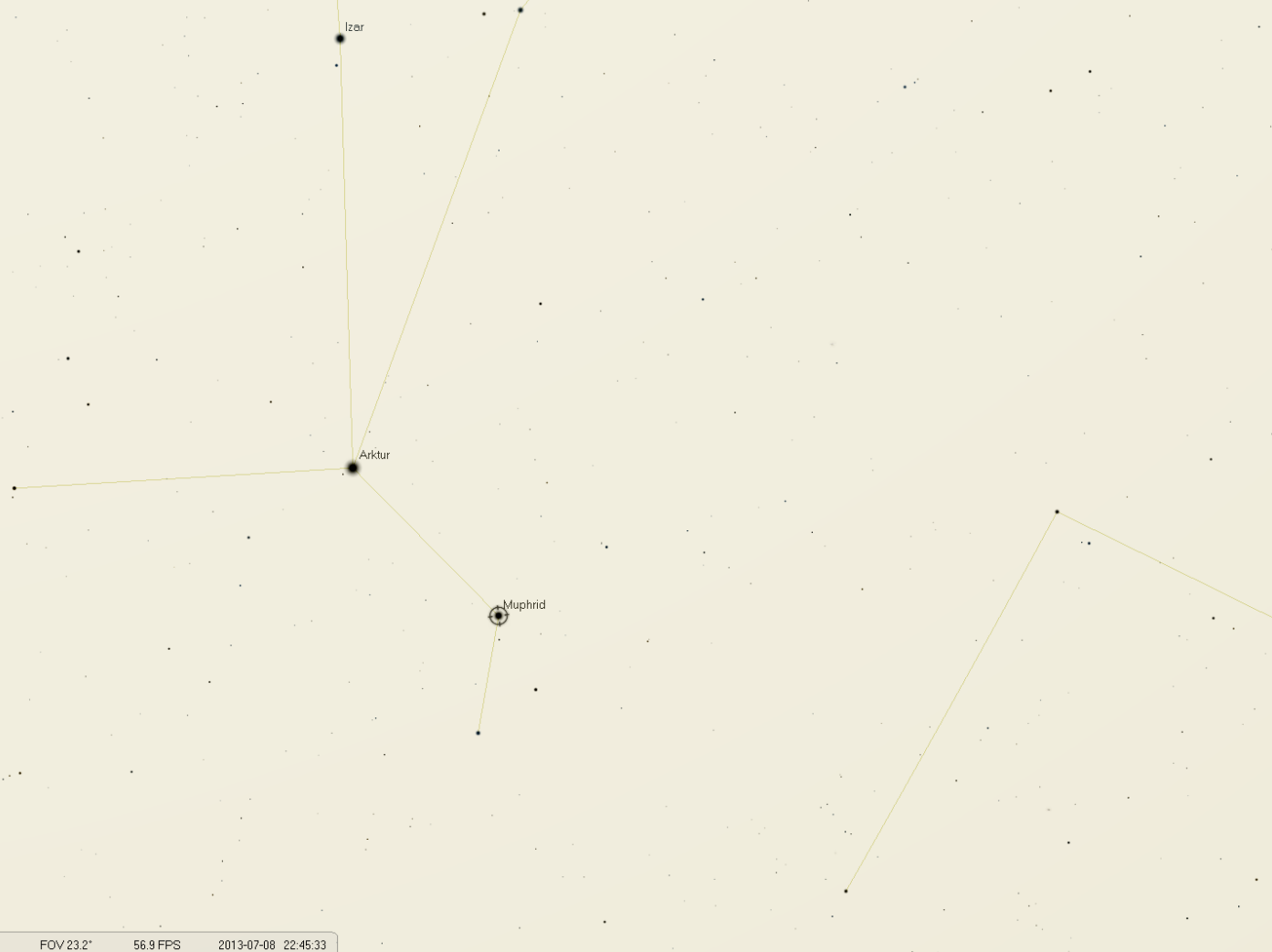
Masa	1.71 M_{\odot}
Promień	2.67 R_{\odot}
Moc promieniowania	8.89 L_{\odot}
Temperatura	6100 K

Zaczęły ewolucję do statusu olbrzymów lub nadolbrzymów. Przykład:

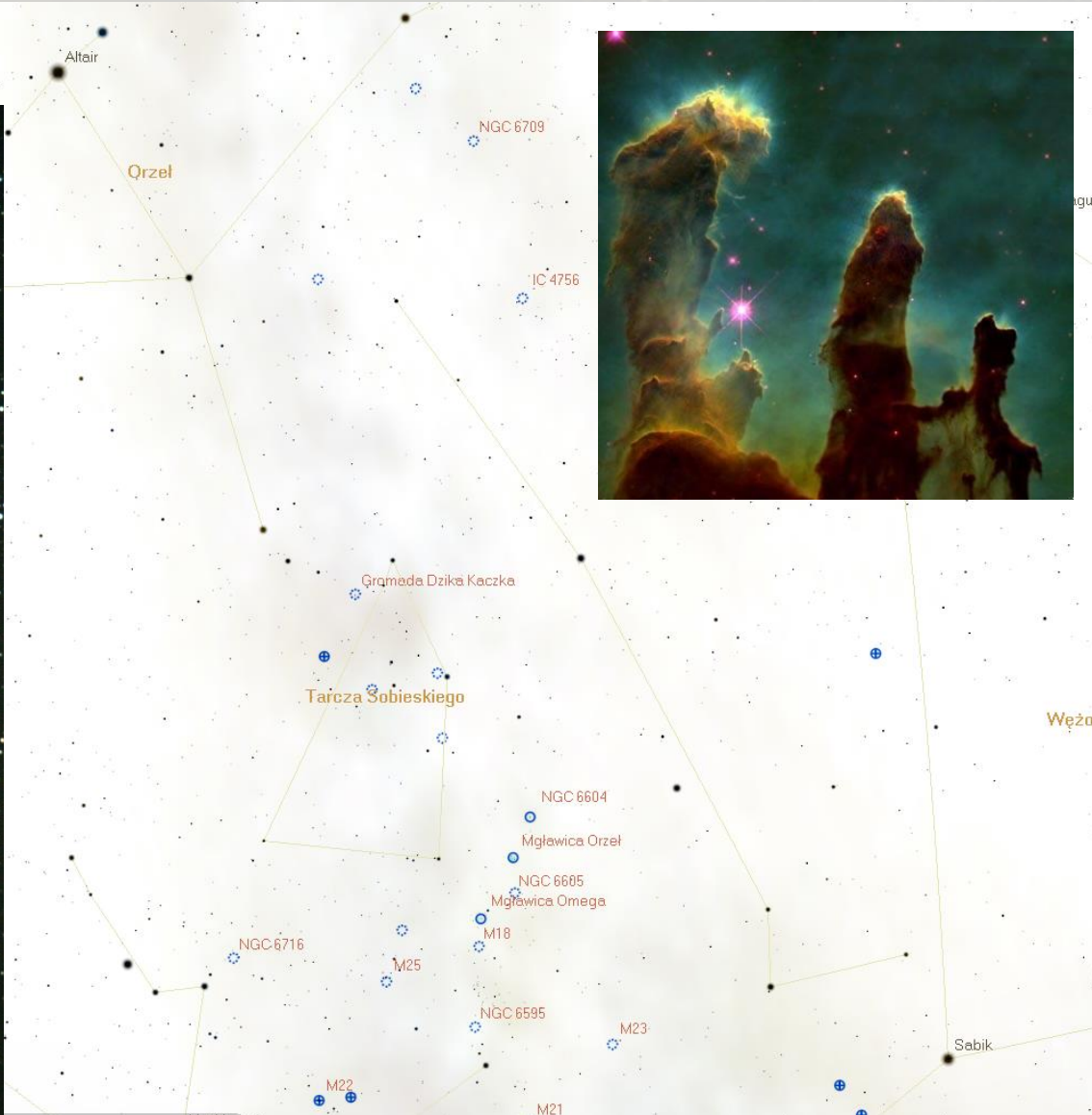
Muphrid – wiek tej gwiazdy to około 2.7 mld lat. Na niebie jest blisko Arktura. W rzeczywistości Arktur też jest blisko niej (3.24 l.św.). Jeżeli dookoła Muphrid krążą planety to Arktur świeci na ich niebie jako gwiazda o jasności około -5 mag.

Muphrid (η Boo) - HIP 67927

Typ: **gwiazda** -
Wielkość gwiazdowa: **2.65** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **2.93**, B-V: **0.57**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: 2.38
RA/Dec (J2000): 13h54m41.1s/+18°23'49.6"
RA/Dec (na dzień): 13h55m20s/+18°19'53"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +51°7'12.4"/+73°01'47.8"
Kąt godzinny/Deklinacja: 3h08m26s/+18°19'53" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 3h08m24s/+18°20'27" (pozorne)
Az/Wys: +246°04'12"/+40°46'11" (geometryczne)
Az/Wys: +246°04'12"/+40°46'55" (pozorne)
Typ widmowy: G0IV
Odległość: 36.99 lat świetlnych
Paraleksa: 0.08817"

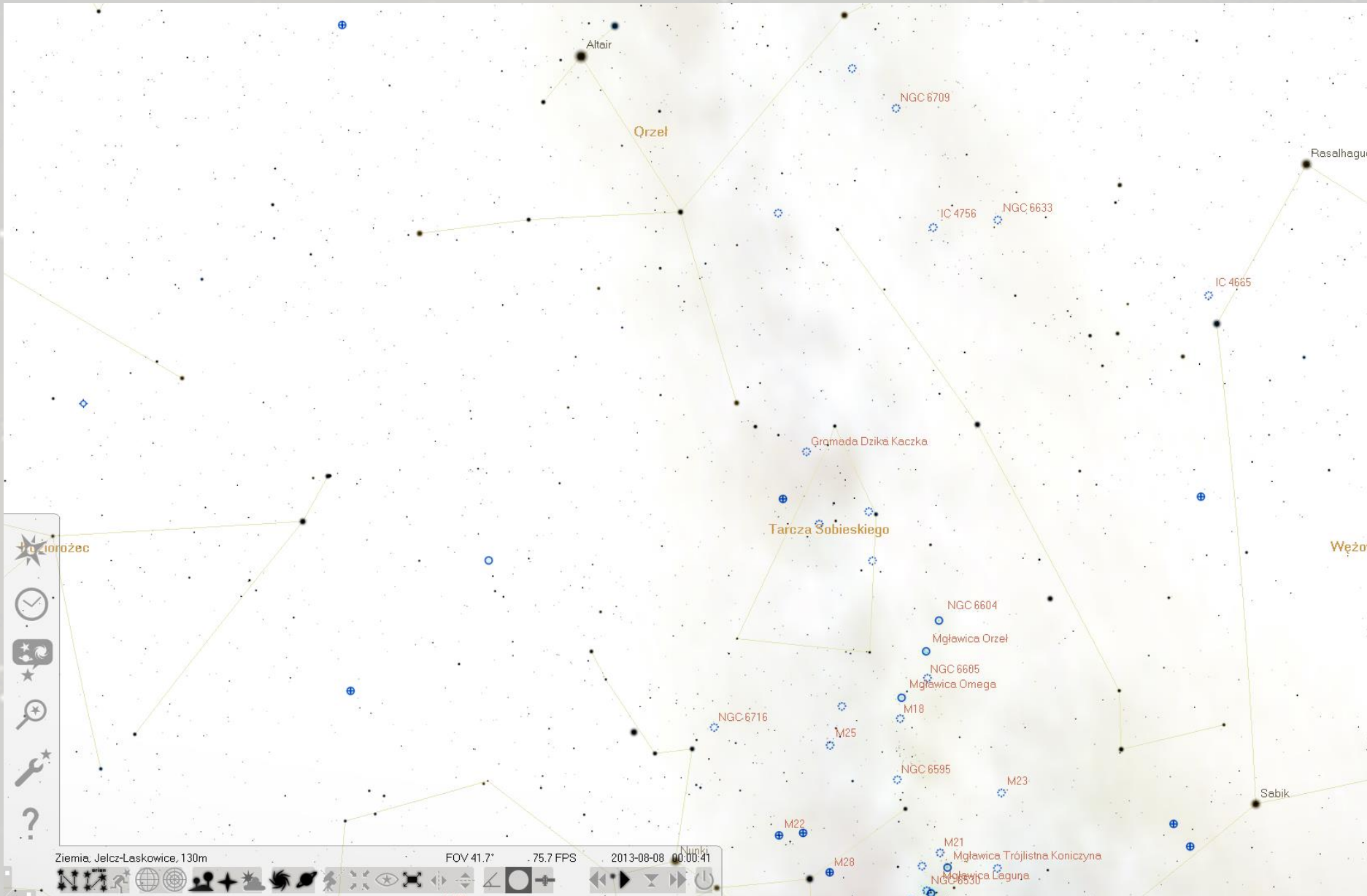


Narodziny



Mglawica Orzł (M16) – obszar, w którym powstają gwiazdy. Najśłynniejszy fragment to „słupy stworzenia” sfotografowane przez teleskop Hubble’a.

Narodziny



Łabędź

Orzeł

Rasalhagu

Wąż



Ziemia, Jelcz-Laskowice, 130m

FOV 41.7°

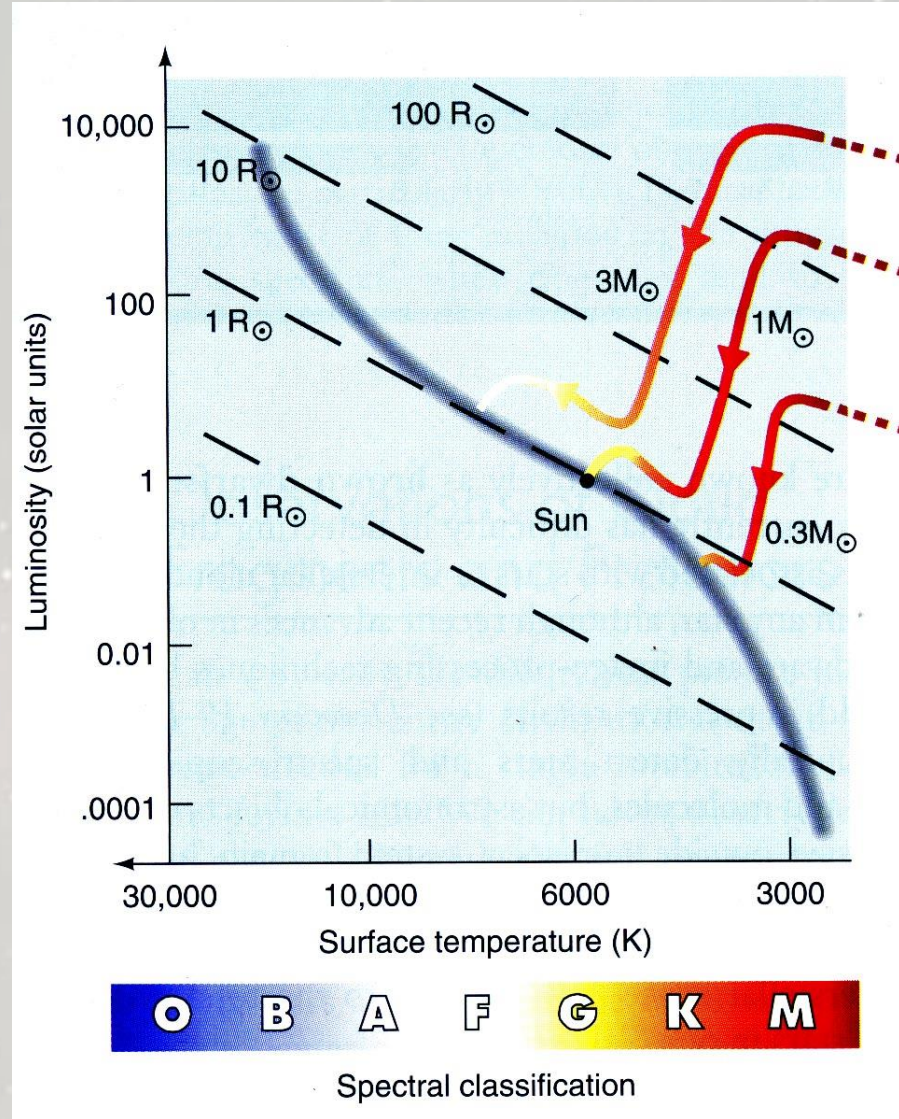
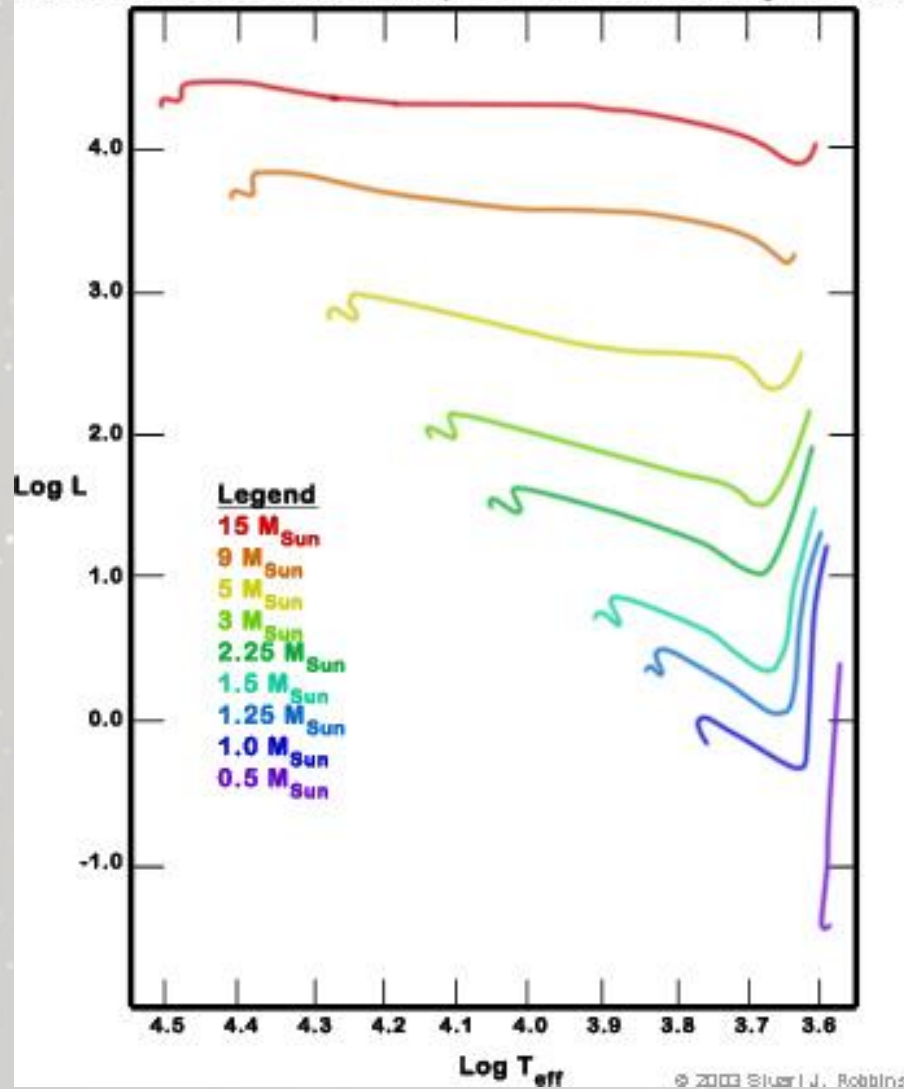
75.7 FPS

2013-08-08 00:00:41

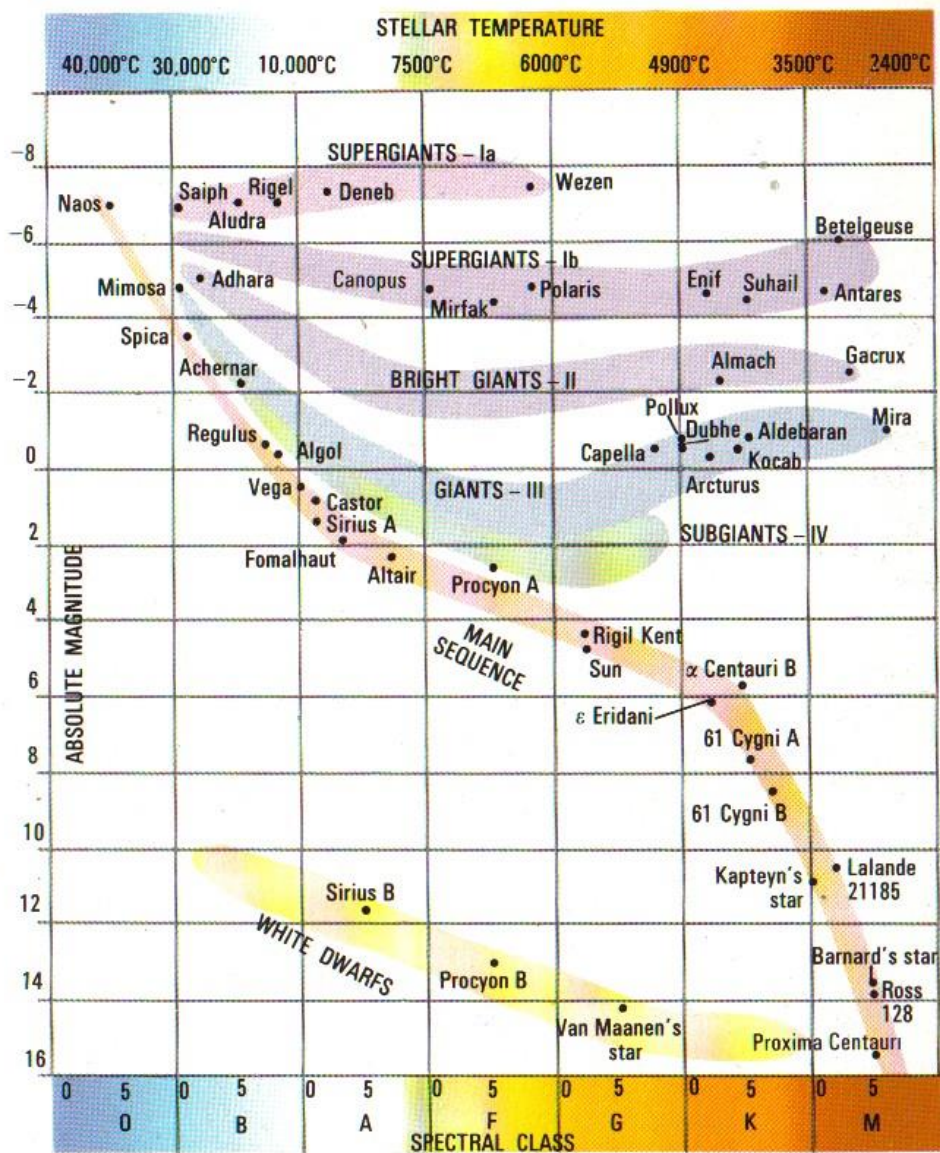
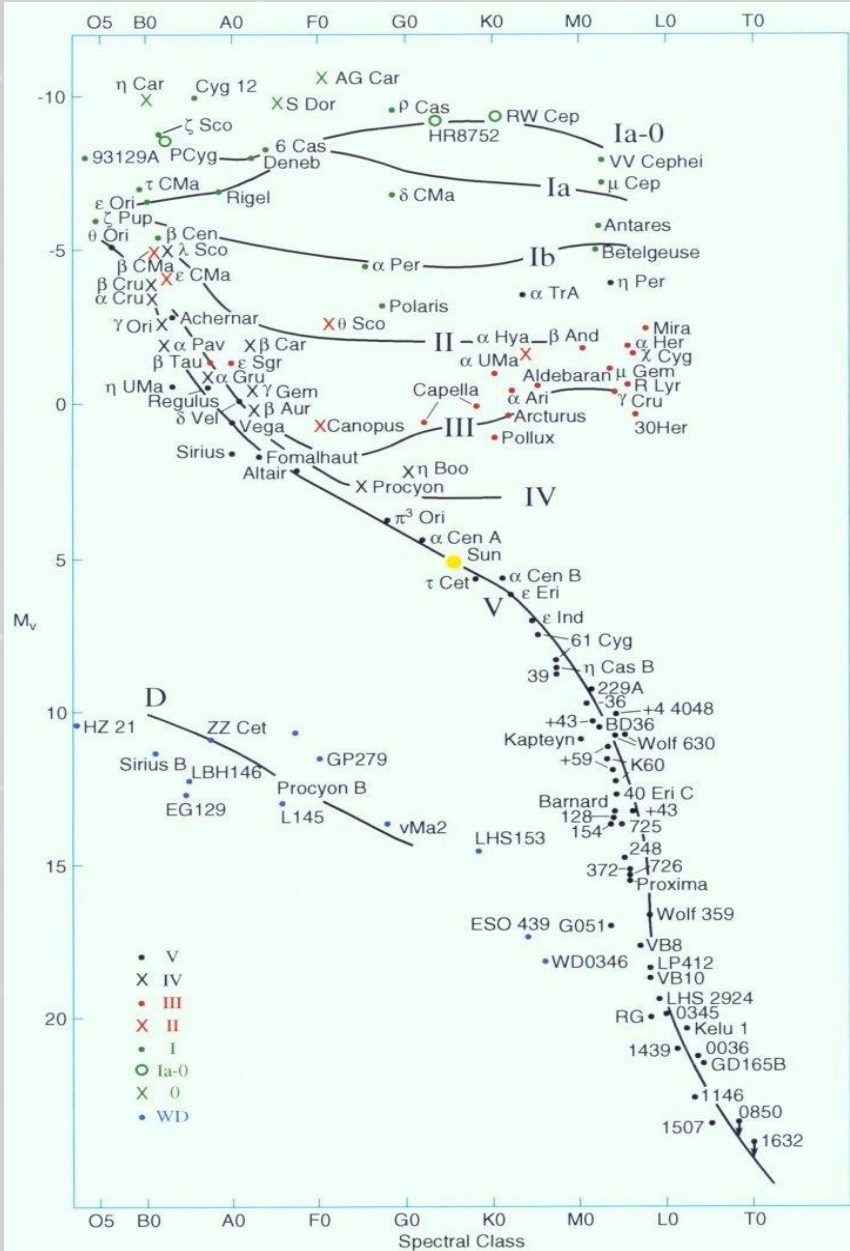


Narodziny

Theoretical Pre-Main Sequence Evolutionary Tracks



Przykłady gwiazd różnych typów

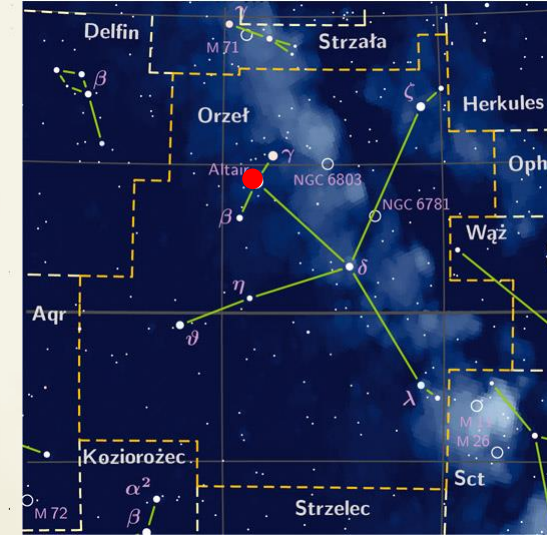
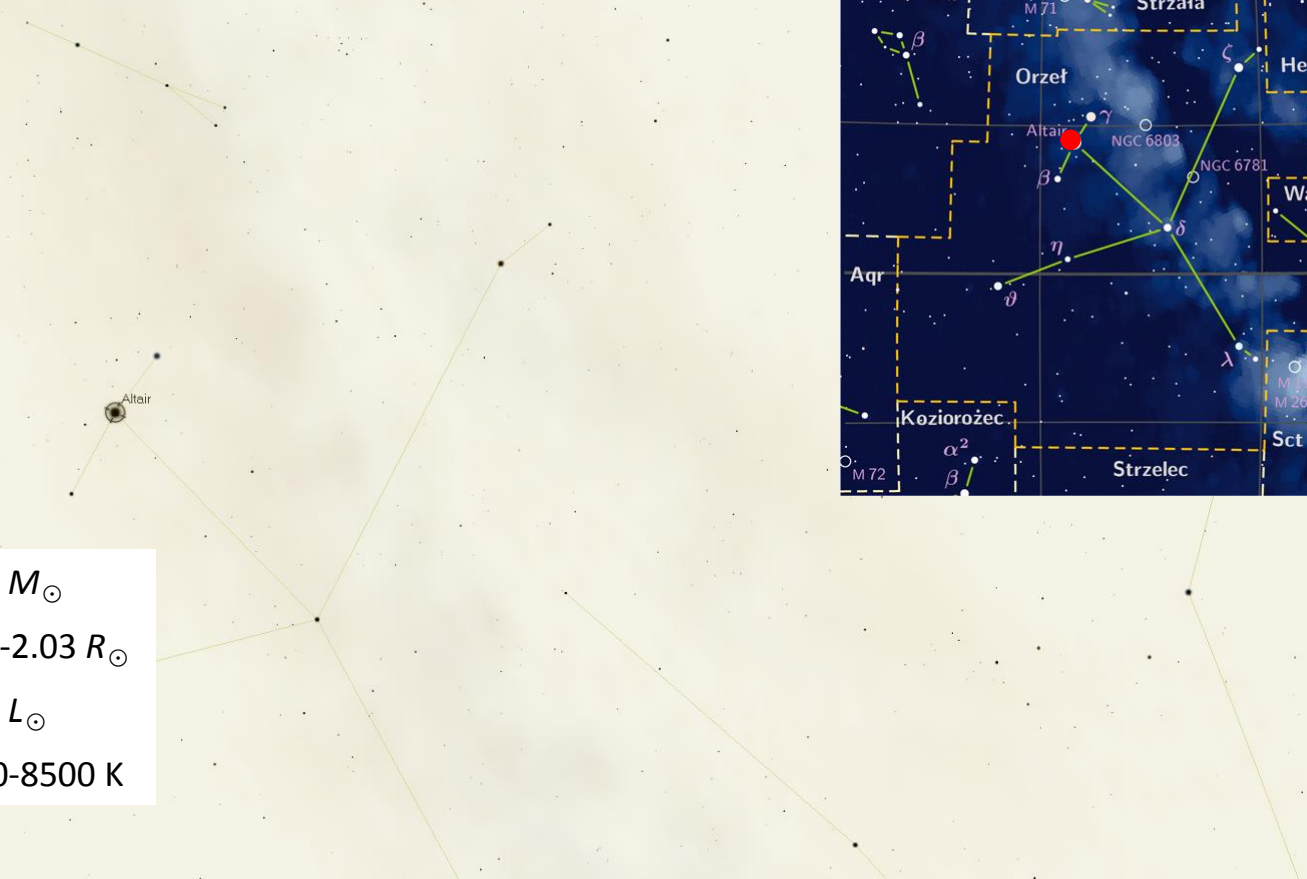


V – karty, gwiazdy ciągu głównego

Słońce, Wega, Altair

Altair (α Aql) - HIP 97649

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 0.75 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 1.02. B-V: 0.22)
Absolutna wielkość gwiazdowa: 2.19
RA/Dec (J2000): 19h50m47.2s/+8°52'07.9"
RA/Dec (na dzień): 19h51m26s/+8°54'14"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +47°44'41.9"/-8°54'34.5"
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h31m58s/+8°54'14" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h31m58s/+8°54'42" (pozorne)
Az/Wys: +169°18'38"/+47°26'46" (geometryczne)
Az/Wys: +169°18'38"/+47°27'14" (pozorne)
Typ widmowy: A7IV-V
Odległość: 16.77 lat świetlnych
Paraleksa: 0.19444"



Masa	1.79 M_{\odot}
Promień	1.63-2.03 R_{\odot}
Moc promieniowania	10.6 L_{\odot}
Temperatura	6900-8500 K

Gwiazdy spalające wodór w swoich wnętrzach. Przykład:

Altair – Rotuje niezwykle szybko (10,4 godz.). Pełen obrót wykonuje w mniej niż 9 godzin. Z tego powodu jest bardzo mocno spłaszczona, co udało się stwierdzić obserwacyjnie.

Altair (α Aql) - HIP 97649

Typ: **gwiazda**
Wielkość gwiazdowa: **0.75** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **1.02**, B-V: **0.22**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: 2.19
RA/Dec (J2000): 19h50m47.2s/+8°52'07.9"
RA/Dec (na dzień): 19h51m26s/+8°54'14"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +47°44'41.9"/-8°54'34.5"
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h31m58s/+8°54'14" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h31m58s/+8°54'42" (pozorne)
Az/Wys: +169°18'38"/+47°26'46" (geometryczne)
Az/Wys: +169°18'38"/+47°27'14" (pozorne)
Typ widmowy: A7IV-V
Odległość: 16.77 lat świetlnych
Paraleksa: 0.19444"



V – karty, gwiazdy ciągu głównego

Słońce, Wega, Altair

Wega (α.Lyr) - HIP 91262

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 0.00 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 0.18. B-V: 0.00)
Absolutna wielkość gwiazdowa: 0.55
RA/Dec (J2000): 18h36m56.3s/+38°47'03.4"
RA/Dec (na dzień): 18h37m24s/+38°47'47"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +67°26'55.5"/+19°14'15.3"
Kąt godzinny/Deklinacja: 0h37m27s/+38°47'47" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 0h37m27s/+38°47'48" (pożorne)
Az/Wys: +211°02'31"/+76°12'16" (geometryczne)
Az/Wys: +211°02'31"/+76°12'17" (pożorne)
Typ widmowy: A0Vvar
Odległość: 25.30 lat świetlnych
Paralaksa: 0.12893"

Masa	2.135 M_{\odot}
Promień	2.362 R_{\odot}
Moc promieniowania	40.12 L_{\odot}
Temperatura	9602 K



Gwiazdy spalające wodór w swoich wnętrzach. Przykład:

Wega – zaraz po Słońcu, pierwsza sfotografowana i pierwsza, dla której otrzymano widmo gwiazdy. Stanowi punkt zerowy skali jasności gwiazdowej. Za niecałe 12000 lat będzie gwiazdą polarną. Jedna z gwiazd Trójkąta Letniego.

Wega (α.Lyr) - HIP 91262

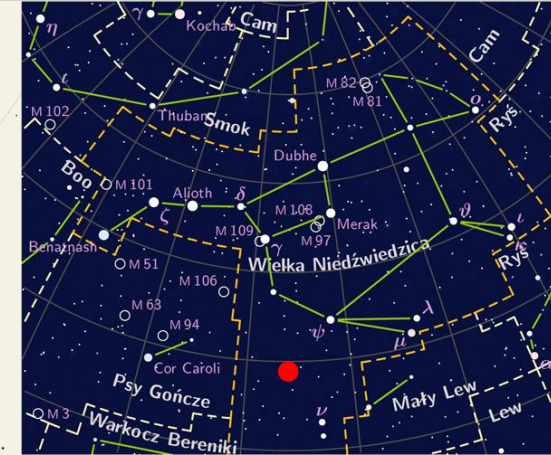
Typ: **gwiazda**
Wielkość gwiazdowa: **0.00** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **0.18**, B-V: **0.00**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: 0.55
RA/Dec (J2000): 18h36m56.3s/+38°47'03.4"
RA/Dec (na dzień): 18h37m24s/+38°47'47"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +67°26'55.5"/+19°14'15.3"
Kąt godzinny/Deklinacja: 0h37m27s/+38°47'47" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 0h37m27s/+38°47'48" (pozorne)
Az/Wys: +211°02'31"/+76°12'16" (geometryczne)
Az/Wys: +211°02'31"/+76°12'17" (pozorne)
Typ widmowy: A0Vvar
Odległość: 25.30 lat świetlnych
Paralaksa: 0.12893"



HIP 57939

Typ: **gwiazda**
 Wielkość gwiazdowa: **6.40** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **6.84**, B-V: **0.76**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: 6.59
 RA/Dec (J2000): 11h53m0.7s/+37°42'37.4"
 RA/Dec (na dzień): 11h53m43s/+37°38'07"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +168°32'28.4"/+73°47'18.2"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 6h10m56s/+37°38'07" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 6h10m50s/+37°39'17" (pozorne)
 Az/Wys: +297°24'42"/+26°58'05" (geometryczne)
 Az/Wys: +297°24'42"/+26°59'43" (pozorne)
 Typ widmowy: G8Vp
 Odległość: 29.87 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.10921"

Masa	0.66 M_{\odot}
Promień	0.68 R_{\odot}
Moc promieniowania	0.2 L_{\odot}
Temperatura	4759 K



Zimne podkarły to gwiazdy ciągu głównego o niskiej metaliczności. Gorące podkarły to wyewoluowane gwiazdy odrzucające swoją otoczkę. Przykład:

Groombridge 1830 – znajduje się w odległości około 10 parseków, co oznacza, że jej jasność widoma jest prawie równa absolutnej.

HIP 57939

Typ: gwiazda

Wielkość gwiazdowa: 6.40 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 6.84, B-V: 0.76)

Absolutna wielkość gwiazdowa: 6.59

RA/Dec (J2000): 11h53m0.7s/+37°42'37.4"

RA/Dec (na dzień): 11h53m43s/+37°38'07"

Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +168°32'28.4"/+73°47'18.2"

Kąt godzinny/Deklinacja: 6h10m56s/+37°38'07" (geometryczne)

Kąt godzinny/Deklinacja: 6h10m50s/+37°39'17" (pozorne)

Az/Wys: +297°24'42"/+26°58'05" (geometryczne)

Az/Wys: +297°24'42"/+26°59'43" (pozorne)

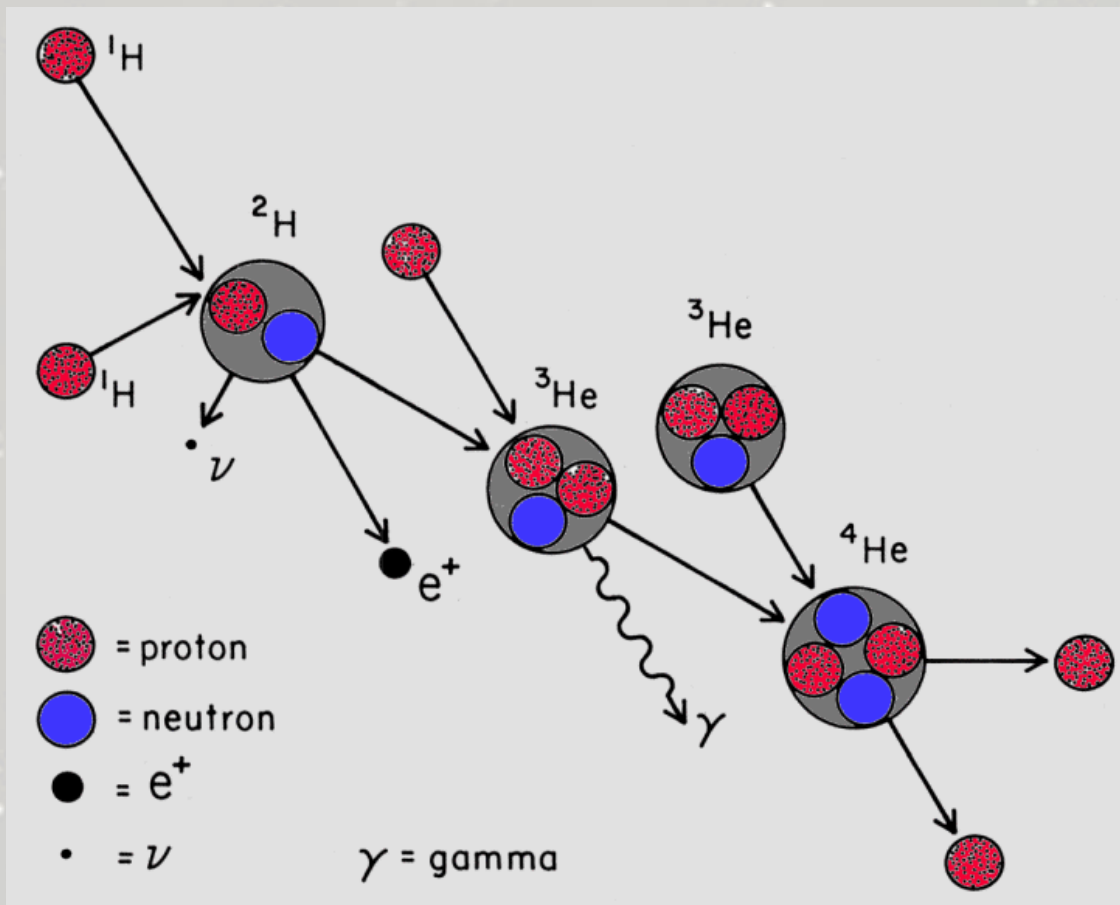
Typ widmowy: G8Vp

Odległość: 29.87 lat świetlnych

Paraleksa: 0.10921"

 ψ UMa

Reakcja p-p



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

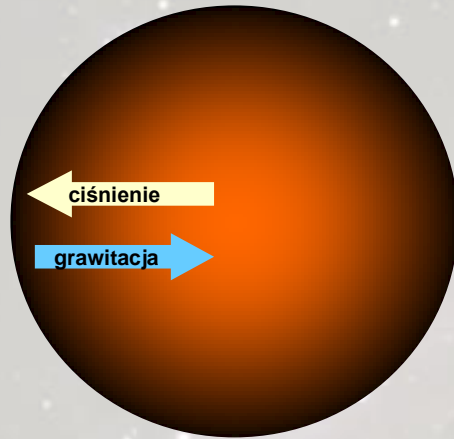
Gwiazda po „rozpaleniu” wnętrza osiąga stan równowagi.

Dla Słońca:

600 mln ton wodoru zamienia się w hel w każdej sekundzie

4 mln ton jest przekształcane w energię: $3.6 \cdot 10^{26}$ J

Gwiazda jest równowadze gdy grawitacja, która dąży do ściśnięcia gwiazdy jest powstrzymywana przez wytwarzane we wnętrzu ciśnienie:



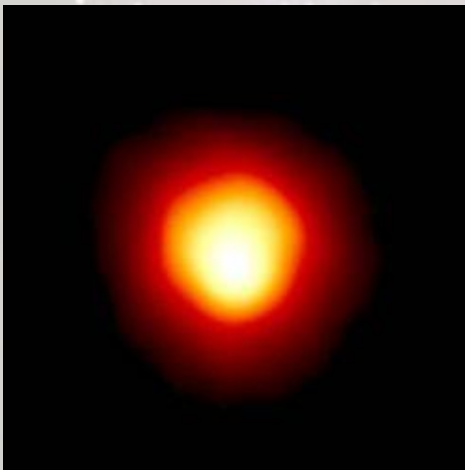
- gazu (jest duże, bo w centrum jest wysoka temperatura)
- promieniowania (bo wewnątrz zachodzą reakcje termojądrowe)

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

Maleje ciśnienie:

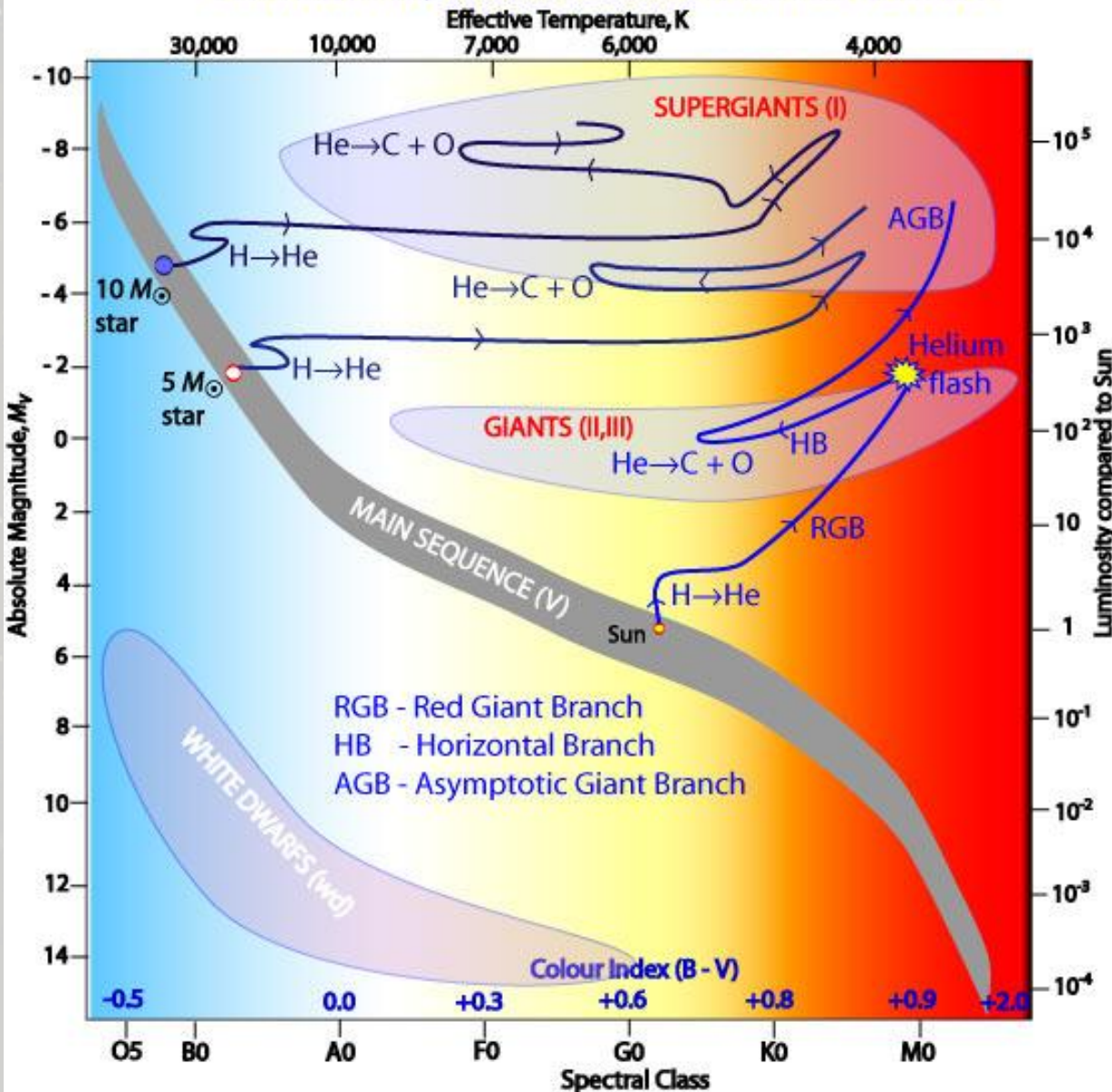
- gazu, bo jest mniej cząstek
- promieniowania, bo spada tempo reakcji termojądrowych

Czas po jakim nastąpi zachwianie równowagi zależy głównie od masy gwiazdy. Od masy zależą także dalsze losy gwiazdy...



Zależność masa-jasność

Evolutionary Tracks off the Main Sequence

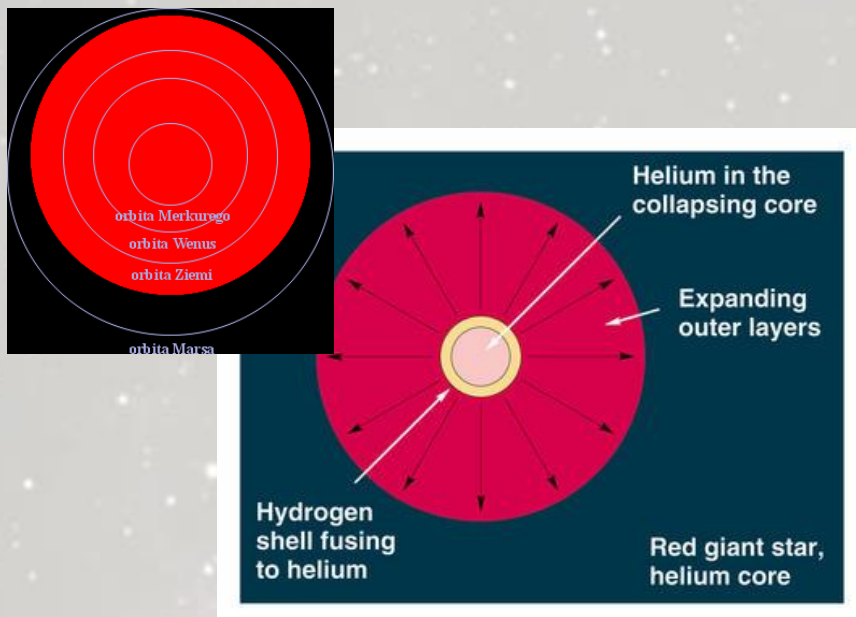


$$L \propto M^4$$

Gwiazda o masie $10 M_{\odot}$ wypromieniowuje 10000 razy więcej energii niż Słońce.

Jej zapas paliwa jest tylko 10 razy większy, co oznacza, że żyje 1000 razy krócej niż Słońce.

Czerwone olbrzymy



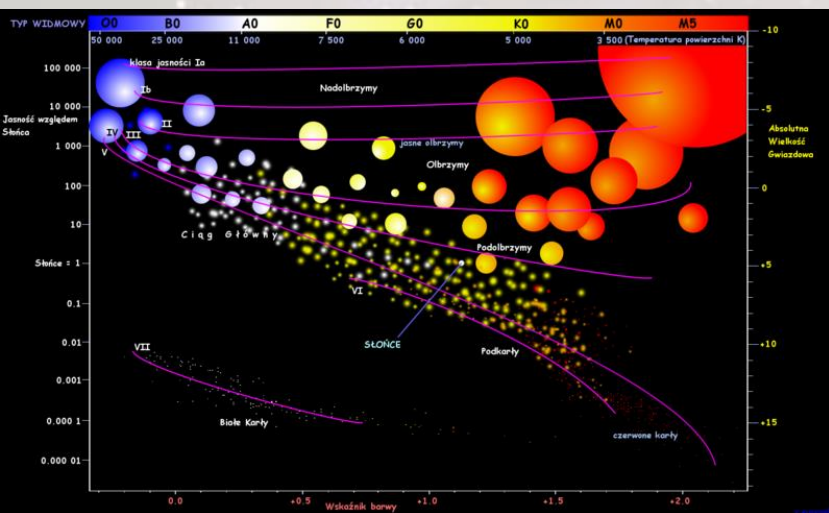
Po wypaleniu wodoru we wnętrzu gwiazda kurczy się i rozgrzewa w centrum do temperatury ponad 100 milionów kelwinów.

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.

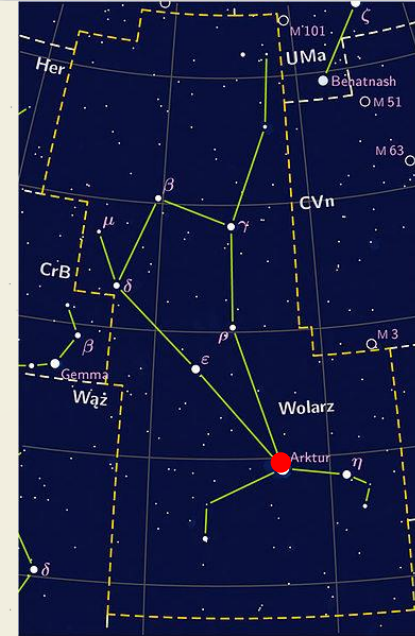
Ten etap pojawia się w czasie życia każdej gwiazdy poza tymi najmniej masywnymi.



Arktur (α Boo) - HIP. 69673 A

Typ: gwiazda podwójna
 Wielkość gwiazdowa: 0.15 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 0.49. B-V: 0.82)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -0.11
 RA/Dec (J2000): 14h15m39.4s/+19°10'44.2"
 RA/Dec (na dzień): 14h16m18s/+19°06'59"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +15°02'24.4"/+69°06'38.5"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h55m26s/+19°06'59" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h55m23s/+19°07'48" (pozorne)
 Az/Wys: +257°36'45"/+34°21'54" (geometryczna)
 Az/Wys: +257°36'45"/+34°22'58" (pozorne)
 Typ widmowy: K2IIIp
 Odległość: 36.71 lat świetlnych
 Paralaksa: 0.08885"

Masa	1.1 M_{\odot}
Promień	25.7 R_{\odot}
Moc promieniowania	170 L_{\odot}
Temperatura	4290 K

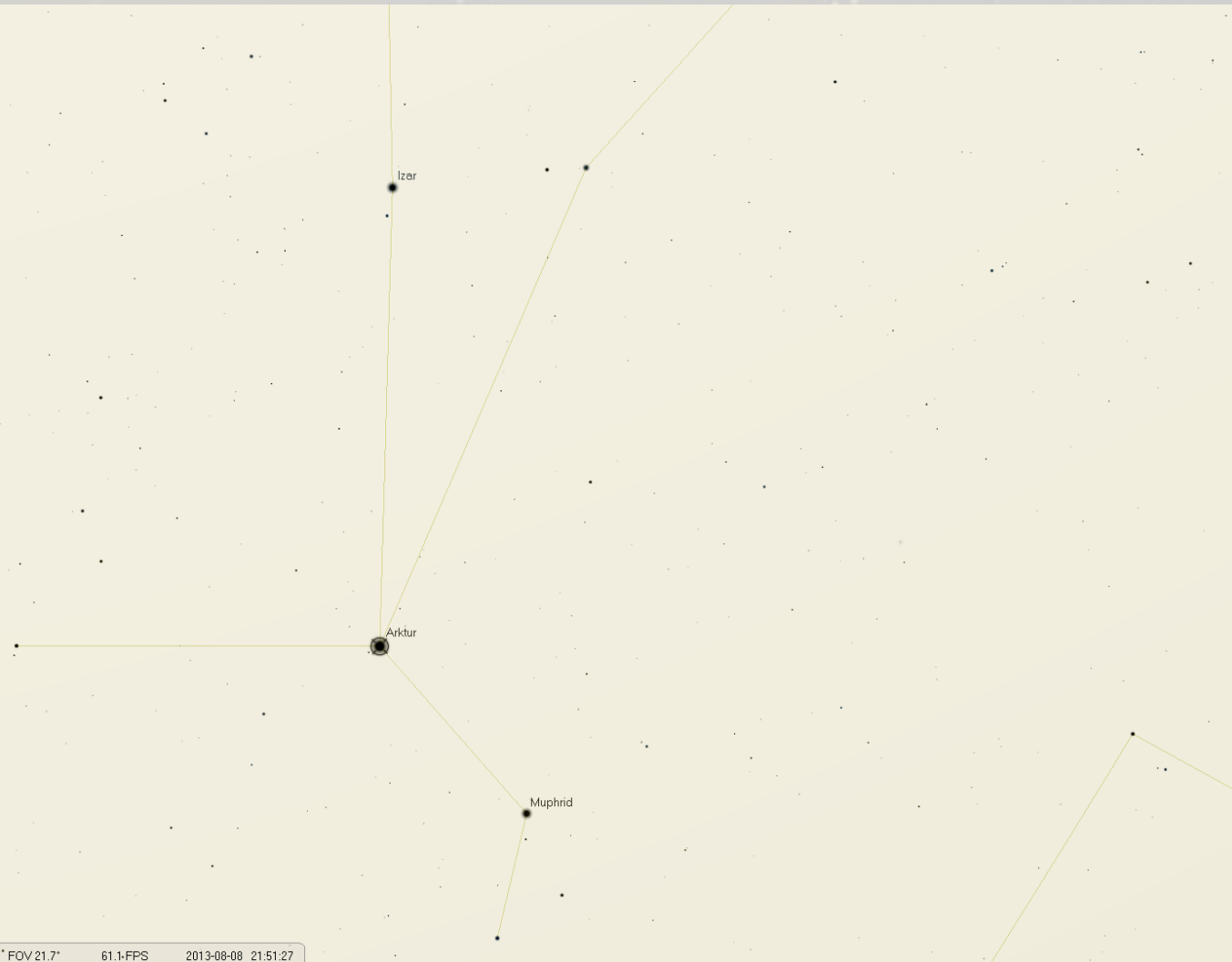


W większości są to niezbyt masywne gwiazdy przy końcu ich życia. Przykład:

Arktur – jedna z bliższych gwiazd. Odległy zaledwie o 36.7 l.św. Jest czwartą co do jasności gwiazdą na niebie (lub piątą uwzględniając Słońce). Pokazuje przyszłość naszej najbliższej gwiazdy.

Arktur (α Boo) - HIP. 69673 A

Typ: gwiazda podwójna
 Wielkość gwiazdowa: 0.15 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 0.49. B-V: 0.82)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -0.11
 RA/Dec (J2000): 14h15m39.4s/+19°10'44.2"
 RA/Dec (na dzień): 14h16m18s/+19°06'59"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +15°02'24.4"/+69°06'38.5"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h55m26s/+19°06'59" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 3h55m23s/+19°07'48" (pożorne)
 Az/Wys: +257°36'45"/+34°21'54" (geometryczne)
 Az/Wys: +257°36'45"/+34°22'58" (pożorne)
 Typ widmowy: K2IIIp
 Odległość: 36,71 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.08885"



HIP 95497

Typ: **gwiazda**
 Wielkość gwiazdowa: **7.90** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **8.10**, B-V: **0.44**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: 1.11
 RA/Dec (J2000): 19h25m27.8s/+42°47'01.0"
 RA/Dec (na dzień): 19h25m54s/+42°48'40"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +74°57'05.6"/+12°18'14.8"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 23h45m59s/+42°48'40" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 23h45m59s/+42°48'41" (pozorne)
 Az/Wys: +161°07'09"/+81°23'12" (geometryczne)
 Az/Wys: +161°07'09"/+81°23'12" (pozorne)
 Typ widmowy: A5.0-F7.0
 Odległość: 744.65 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.00438"



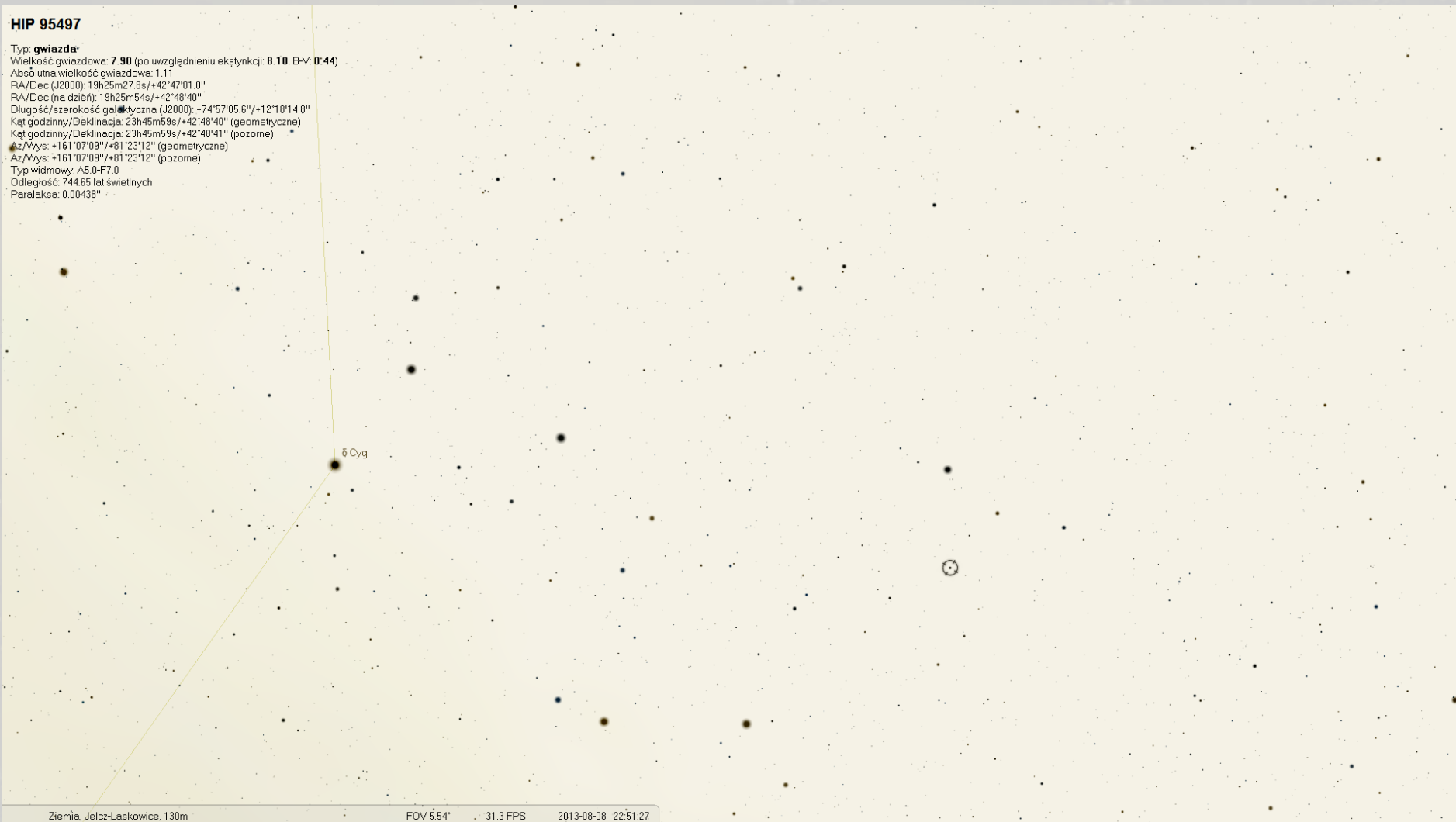
Masa	0.65 M_{\odot}
Promień	5.1-5.6 R_{\odot}
Moc promieniowania	49 L_{\odot}
Temperatura	6125 K

W większości są to niezbyt masywne gwiazdy przy końcu ich życia. Przykład:

RR Lyrae – w ciągu nieco ponad 13 godzin zmienia swoją jasność od 7.06 do 8.12 mag. Gwiazdy wykazujące zmienność typu RR Lyrae są świecami standardowymi. Należy do gwiazd Populacji II, które powstawały w stosunkowo młodym Wszechświecie, w którym brakowało pierwiastków cięższych od wodoru i helu.

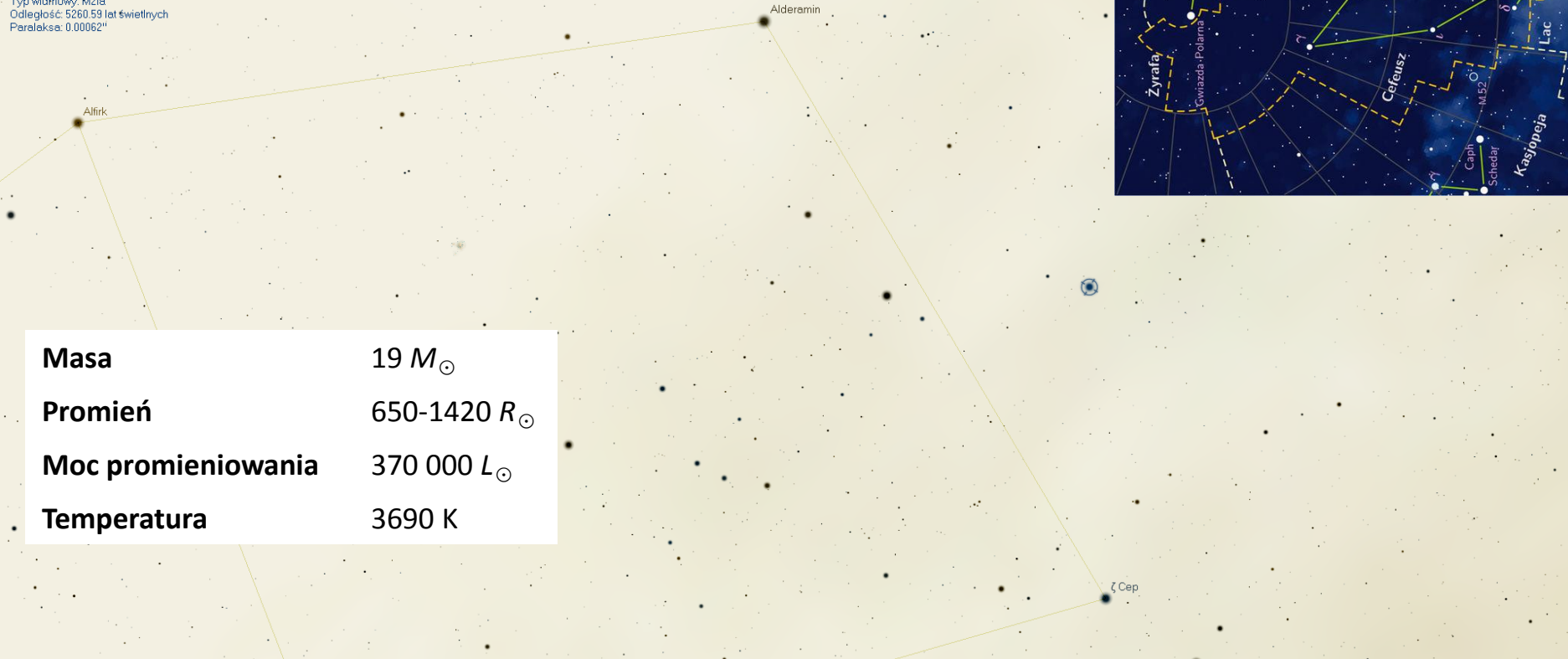
HIP 95497

Typ: **gwiazda**
 Wielkość gwiazdowa: **7.90** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **8.10**, B-V: **0.44**)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: 1.11
 RA/Dec (J2000): 19h25m27.8s/+42°47'01.0"
 RA/Dec (na dzień): 19h25m54s/+42°48'40"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +74°57'05.6"/+12°18'14.8"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 23h45m59s/+42°48'40" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 23h45m59s/+42°48'41" (pozorne)
 Az/Wys: +161°07'09"/+81°23'12" (geometryczne)
 Az/Wys: +161°07'09"/+81°23'12" (pozorne)
 Typ widmowy: A5.0-F7.0
 Odległość: 744.65 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.00438"



Gwiazda Granat (μ Cep) - HIP 107259

Typ: gwiazda
 Wielkość gwiazdowa: 4.20 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 4.41. B-V: 2.24)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -6.84
 RA/Dec (J2000): 21h43m30.5s/+58°46'48.1"
 RA/Dec (na dzień): 21h43m56s/+58°50'33"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +100°35'42.9"/+4°18'53.8"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 20h27m48s/+58°50'33" (geometyczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 20h27m49s/+58°50'35" (pozome)
 Az/Wys: +54°19'16"/+59°16'29" (geometyczne)
 Az/Wys: +54°19'16"/+59°16'40" (pozome)
 Typ widmowy: M2Ia
 Odległość: 5260.59 lat świetlnych
 Paraleksa: 0.00062"

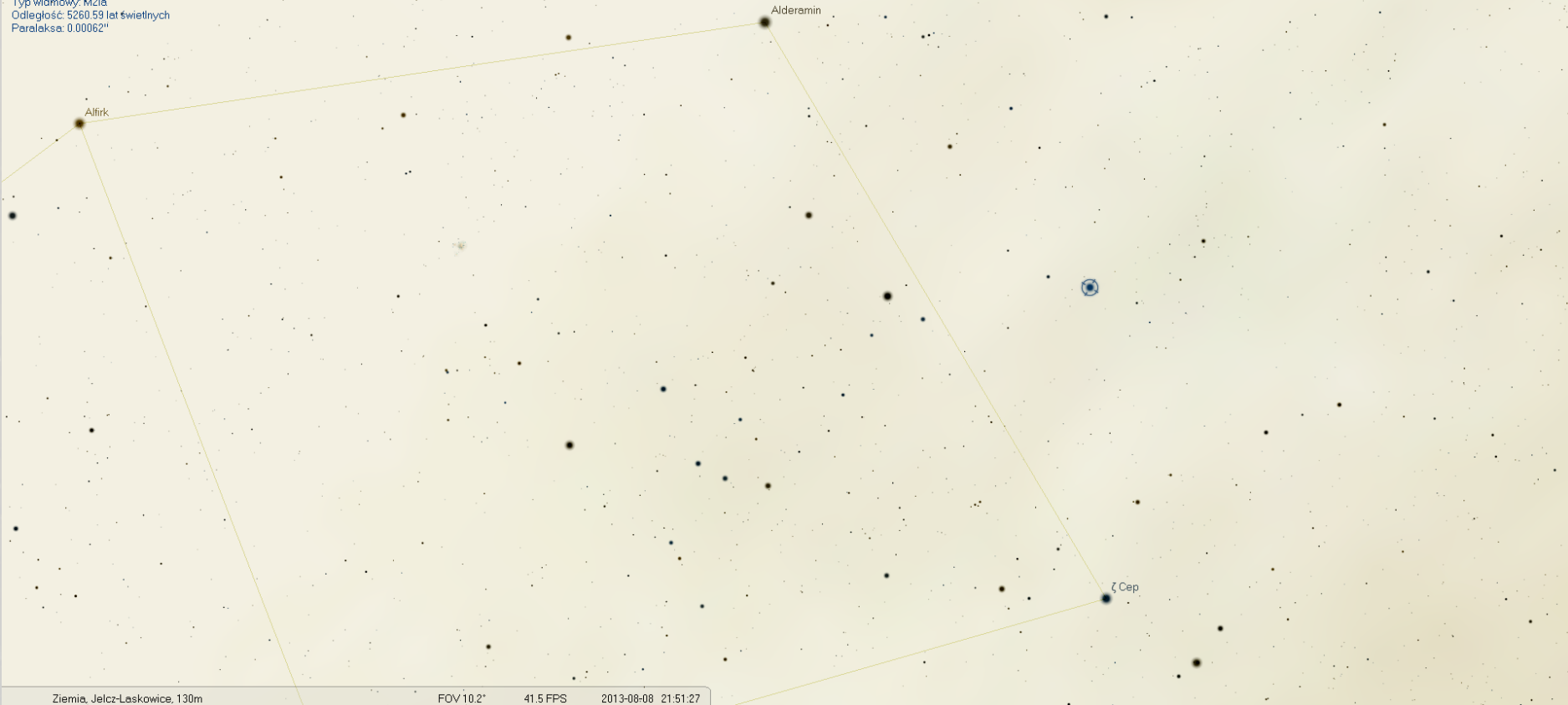


Masa	19 M_{\odot}
Promień	650-1420 R_{\odot}
Moc promieniowania	370 000 L_{\odot}
Temperatura	3690 K

Bardzo jasne i masywne gwiazdy przy końcu swojego życia. Przykład:
 Gwiazda Granat – nazwę nadał Wiliam Herschel ze względu na wyraźną czerwoną barwę. Zmienność od 3.45 do 5.1 mag. Przechodzi etap „palenia” helu.

Gwiazda Granat (μ Cep) - HIP 107259

Typ: gwiazda
Wielkość gwiazdowa: 4.20 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 4.41. B-V: 2.24)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -6.84
RA/Dec (J2000): 21h43m30.5s/+58°46'48.1"
RA/Dec (na dzień): 21h43m56s/+58°50'33"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +100°35'42.9"/+4°18'53.8"
Kąt godzinny/Deklinacja: 20h27m48s/+58°50'33" (geometyczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 20h27m49s/+58°50'35" (pozome)
Az/Wys: +54°19'16"/+59°16'29" (geometyczne)
Az/Wys: +54°19'16"/+59°16'40" (pozome)
Typ widmowy: M2Ia
Odległość: 5260.59 lat świetlnych
Paraleksa: 0.00062"



δ Cep - HIP 110991

Typ: gwiazda
 Wielkość gwiazdowa: 4.05 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 4.27, B-V: 0.79)
 Absolutna wielkość gwiazdowa: -3.34
 RA/Dec (J2000): 22h29m10.3s/+58°24'54.7"
 RA/Dec (na dzień): 22h29m41s/+58°29'06"
 Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +105°11'39.8"/+0°31'50.1"
 Kąt godzinny/Deklinacja: 19h42m3s/+58°29'06" (geometryczne)
 Kąt godzinny/Deklinacja: 19h42m5s/+58°29'11" (pozorne)
 Az/Wys: +52°29'33"/+53°24'32" (geometryczne)
 Az/Wys: +52°29'33"/+53°24'50" (pozorne)
 Typ widmowy: G2Ibvar
 Odległość: 982.40 lat świetlnych
 Paralaksa: 0.00332"



Masa	4.5 M_{\odot}
Promień	44.5 R_{\odot}
Moc promieniowania	2000 L_{\odot}
Temperatura	5500-6800 K

Bardzo jasne i masywne gwiazdy przy końcu swojego życia. Przykład:

δ Cephei – gwiazda podwójna. Zmienna pulsująca – prototyp cefeid. Zmiany jasności od 3.48 do 4.57 mag w ciągu nieco ponad 5 dni. Świece standardowe.

δ Cep - HIP 110991

Typ: **gwiazda**
Wielkość gwiazdowa: **4.05** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **4.27**, B-V: **0.79**)
Absolutna wielkość gwiazdowa: -3.34
RA/Dec (J2000): 22h29m10.3s/+58°24'54.7"
RA/Dec (na dzień): 22h29m41s/+58°29'06"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +105°11'39.8"/+0°31'50.1"
Kąt godzinny/Deklinacja: 19h42m3s/+58°29'06" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 19h42m5s/+58°29'11" (pożorne)
Az/Wys: +52°29'33"/+53°24'32" (geometryczne)
Az/Wys: +52°29'33"/+53°24'50" (pożorne)
Typ widmowy: G2Ibvar
Odległość: 982.40 lat świetlnych
Paraleksa: 0.00332"

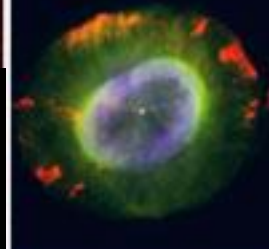


Różne rodzaje śmierci

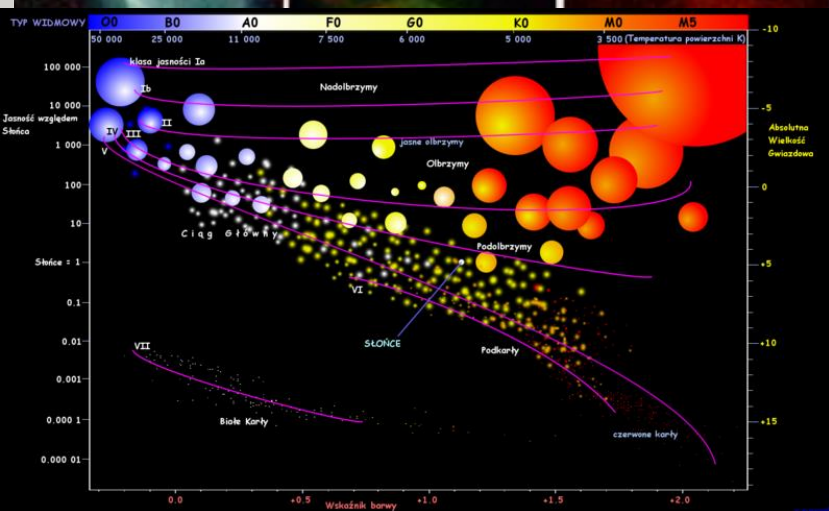


Gwiazda o masie porównywalnej z masą Słońca kończy życie jako stygnący biały karzeł, który nie może być bardziej masywny niż $1.4 M_{\odot}$

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



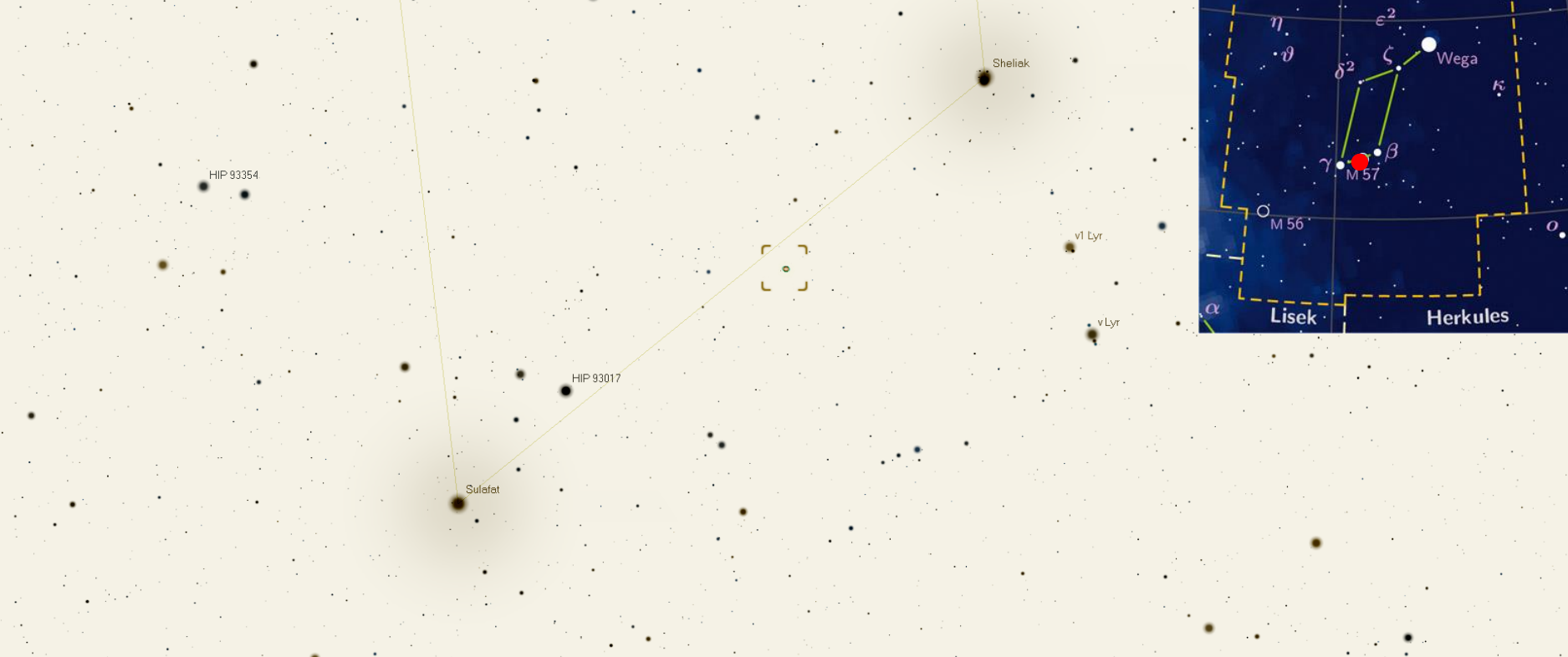
Przestaje świecić ale nie znika. Gaz ucieka w przestrzeń międzygwiazdową i może zasilić obłok, z którego powstaną nowe gwiazdy...



Mgławica Pierścień

Mgławica Pierścień (M 57 - NGC 6720)

Typ: **Mgławica planetarna**
Wielkość gwiazdowa: **9.00** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **9.21**)
RA/Dec (J2000): 18h53m36.0s/+33°02'00.0"
RA/Dec (na dzień): 18h54m6s/+33°03'03"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +63°10'31.3"/+13°58'36.7"
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h20m51s/+33°03'03" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h20m51s/+33°03'06" (późorne)
Az/Wys: +153°51'05"/+70°34'08" (geometryczne)
Az/Wys: +153°51'05"/+70°34'11" (późorne)
Rozmiar: +0°02'30"

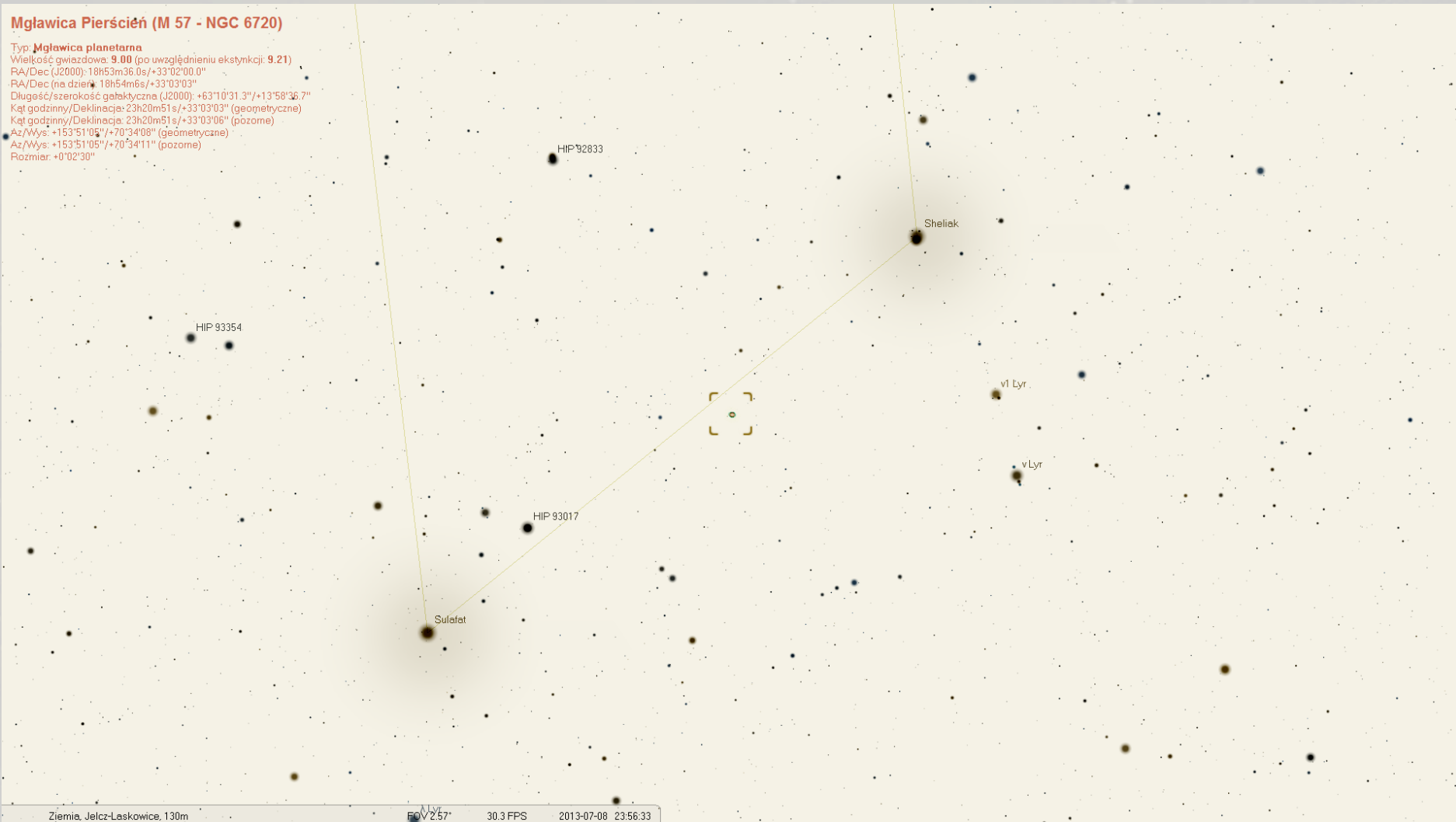


Mgławica Pierścień (M57) – znajduje się około 2300 l.św. od nas. Jej rozmiar zwiększa się około 1'' na stulecie. Aktualnie ma średnicę około 1'.

Mgławica Pierścień

Mgławica Pierścień (M 57 - NGC 6720)

Typ: **Mgławica planetarna**
Wielkość gwiazdowa: **9.00** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **9.21**)
RA/Dec (J2000): 18h53m36.0s/+33°02'00.0"
RA/Dec (na dzień): 18h54m6s/+33°03'03"
Długość/szerokość galaktyczna (J2000): +63°10'31.3"/+13°58'36.7"
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h20m51s/+33°03'03" (geometryczne)
Kąt godzinny/Deklinacja: 23h20m51s/+33°03'06" (późorne)
Az/Wys: +153°51'05"/+70°34'08" (geometryczne)
Az/Wys: +153°51'05"/+70°34'11" (późorne)
Rozmiar: +0°02'30"



Mgławica Hantle

Mgławica Hantle (M 27 - NGC 6853)

Typ: Mgławica planetarna

Wielkość gwiazdowa: 8.10 (po uwzględnieniu ekstynkcji: 8.34)

RA/Dec (J2000): 19h59m36.0s/+22°43'00.0"

RA/Dec (na dzień): 20h00m11s/+22°45'15"

Długość/szerokość geolektyczne (J2000): +60°49'53.5"/-3°41'50.8"

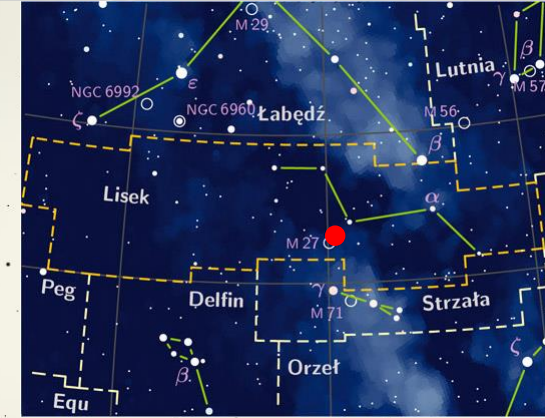
Kąt godzinny/Deklinacja: 22h21m43s/+22°45'15" (geometryczne)

Kąt godzinny/Deklinacja: 22h21m44s/+22°45'28" (pozorne)

Az/Wys: +136°25'17"/+55°47'17" (geometryczne)

Az/Wys: +136°25'17"/+55°47'32" (pozorne)

Rozmiar: +0°15'12"



Mgławica Hantle (M27) – leży w odległości około 1300 l.św. Gwiazda centralna ma rozmiar około $0.055 R_{\odot}$ i jest największym znanym białym karłem.

Mgławica Hantle

Mgławica Hantle (M 27 - NGC 6853)

Typ: **Mgławica planetarna**

Wielkość gwiazdowa: **8.10** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **8.34**)

RA/Dec (J2000): 19h59m36.0s/+22°43'00.0"

RA/Dec (na dzień): 20h00m11s/+22°45'15"

Długość/szerokość geodezyjne (J2000): +60°49'53.5"/-3°41'50.8"

Kąt godzinny/Deklinacja: 22h21m43s/+22°45'15" (geometryczne)

Kąt godzinny/Deklinacja: 22h21m44s/+22°45'28" (pozorne)

Az/Wys: +136°25'17"/+55°47'17" (geometryczne)

Az/Wys: +136°25'17"/+55°47'32" (pозorne)

Rozmiar: +0°15'12"



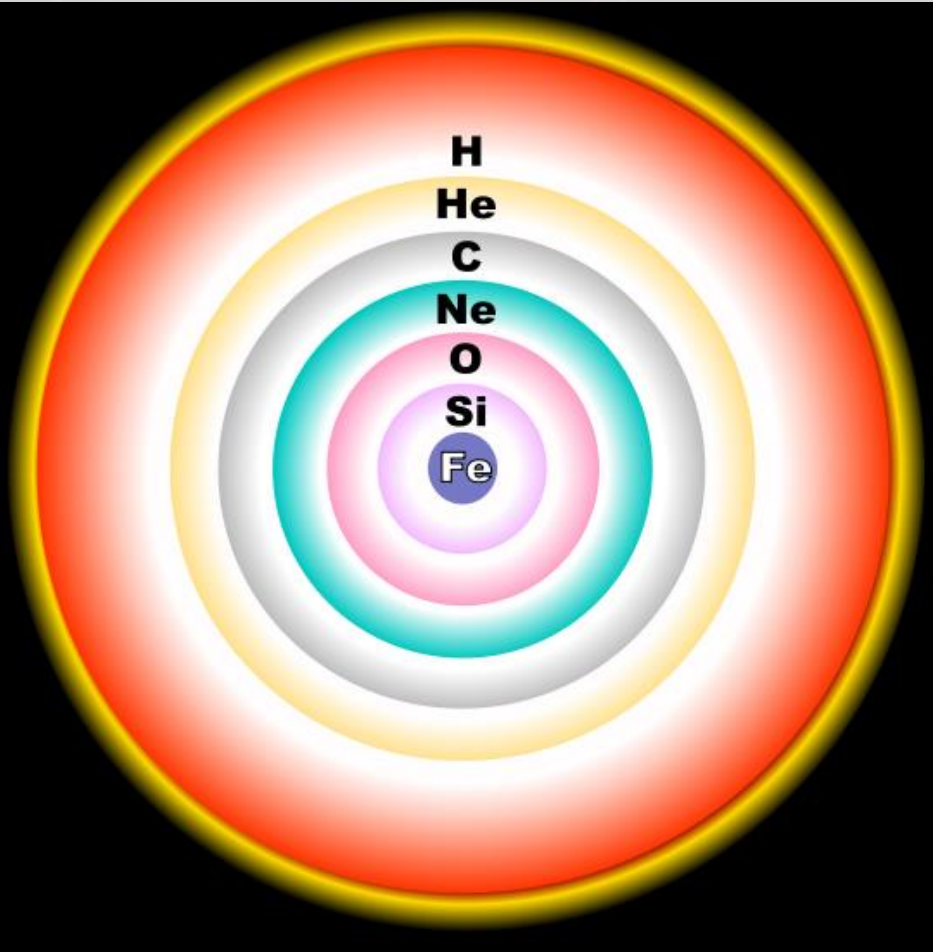
γ Sge

δ Sge

Sham

β Sge

Droga do supernowej



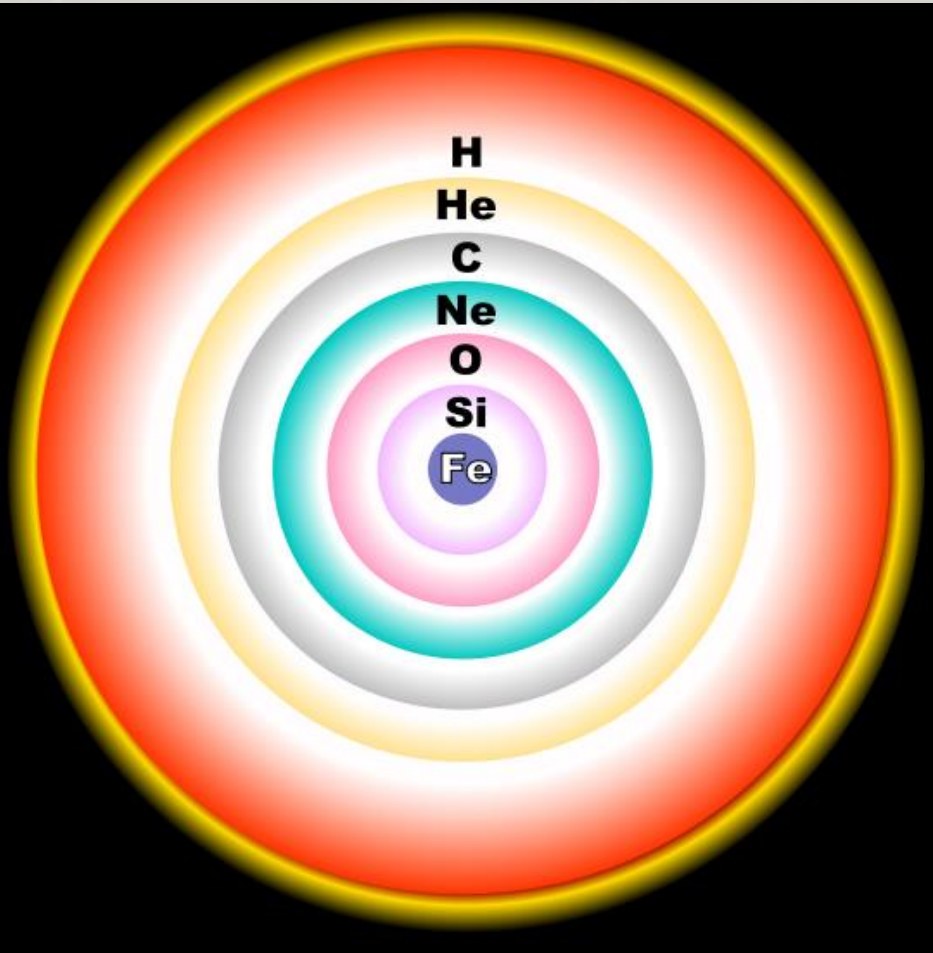
Początkowo masywne gwiazdy ewoluują podobnie jak te o mniejszych masach tylko szybciej

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”

Droga do supernowej



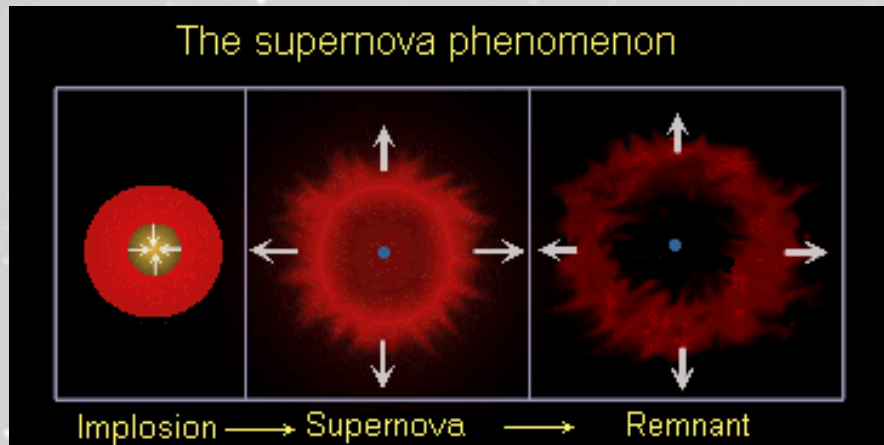
Dalsza ewolucja zależy od tego jak masywne jest jądro.

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.

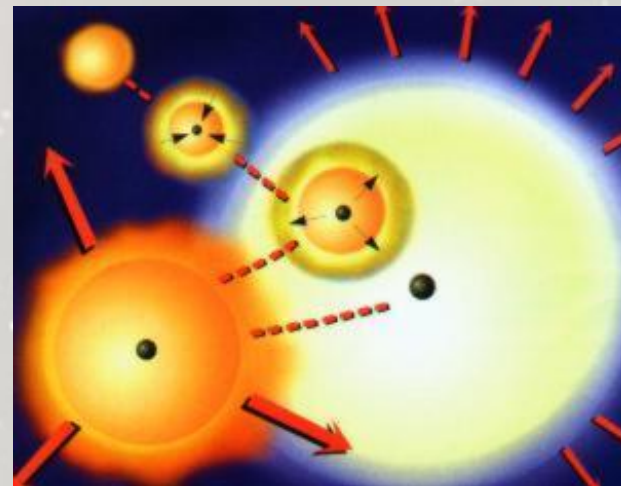
Droga do supernowej



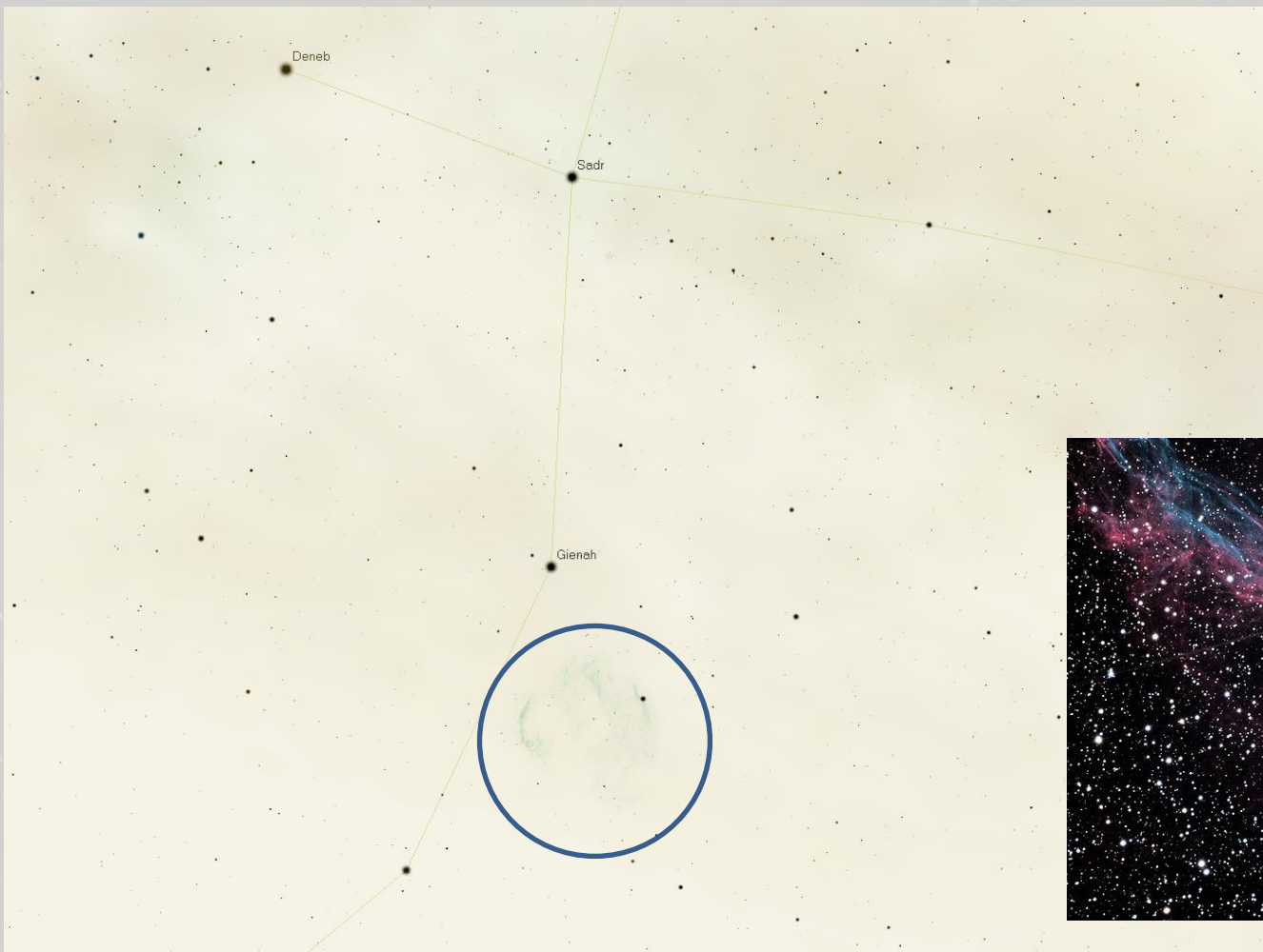
Wybuch supernowej 1987 w LMC

Podczas kurczenia centrum gwiazdy zapadają się także warstwy zewnętrzne.

Gwiazda neutronowa pojawia się bardzo szybko i towarzyszy jej ogromny strumień neutrin – są one przyczyną gwałtownych reakcji termojądrowych w zewnętrznych warstwach – następuje wtedy synteza pierwiastków cięższych od żelaza



NGC 6960, NGC 6992, NGC 6995, NGC 6974, NGC 6979 – Mgławica Welon, Pętla Łabędzia

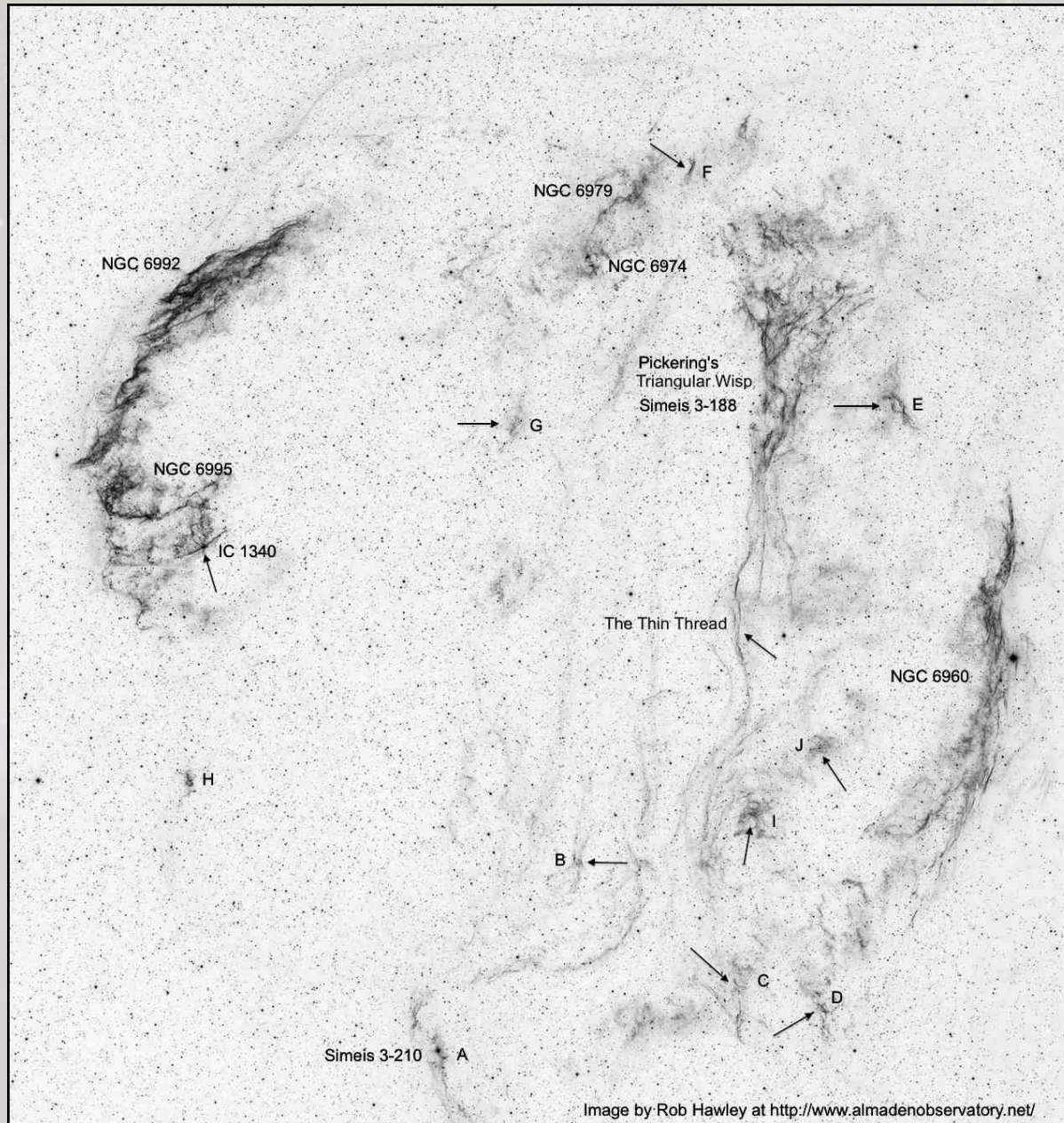


Mgławica Welon – pozostałość po supernowej, która wybuchła około 5000-8000 lat temu w odległości około 1500 l.św. Obecnie zajmuje obszar około 3° czyli jej średnica jest 6 razy większa niż Księżyc (na niebie). Najjaśniejszy fragment to NGC 6960 – Mgławica Miotła Wiedźmy.

NGC 6960, NGC 6992, NGC 6995, NGC 6974, NGC 6979 – Mgławica Welon, Pętla Łabędzia



NGC 6960, NGC 6992, NGC 6995, NGC 6974, NGC 6979 – Mgławica Welon, Pętla Łabędzia



Na gruzach powstaje życie

