

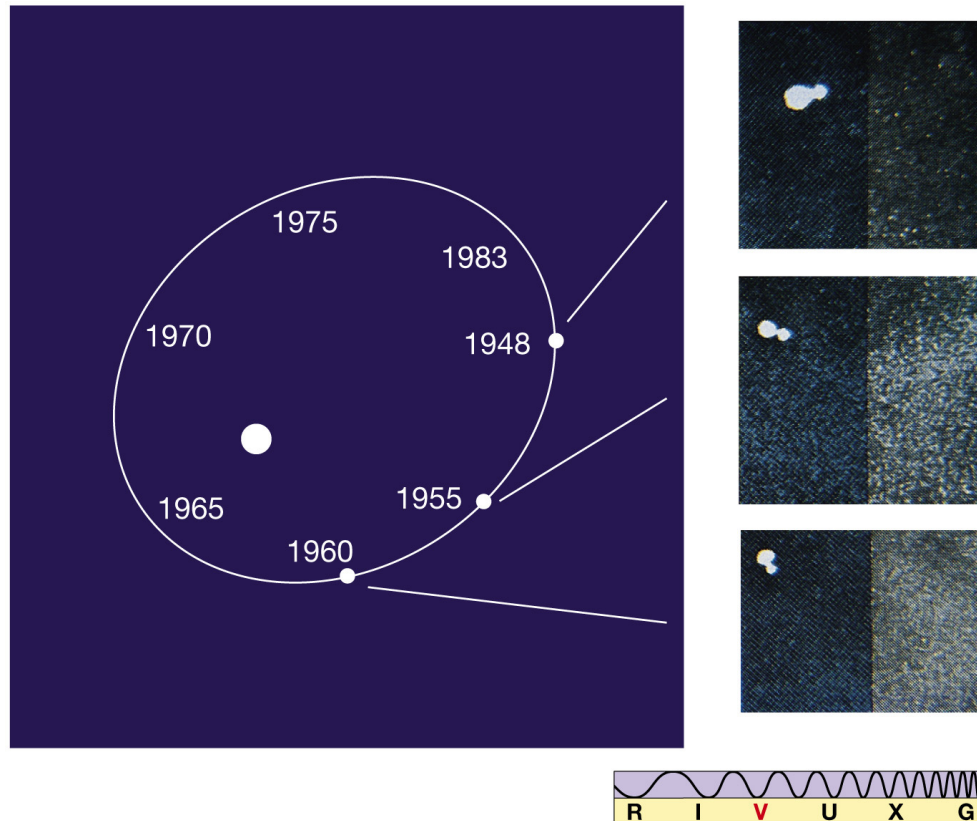
Masy gwiazd i diagram Hertzsprunga-Russella

Masa jest najważniejszym parametrem gwiazdy. Może być wyznaczona z zachowania się układów binarnych.

Gwiazdy klasyfikujemy według ich jasności i temperatury.

Układy podwójne

- Ponad 60% gwiazd to układy podwójne - dwie gwiazdy orbitujące wokół siebie pod wpływem sił grawitacji: układ wizualny



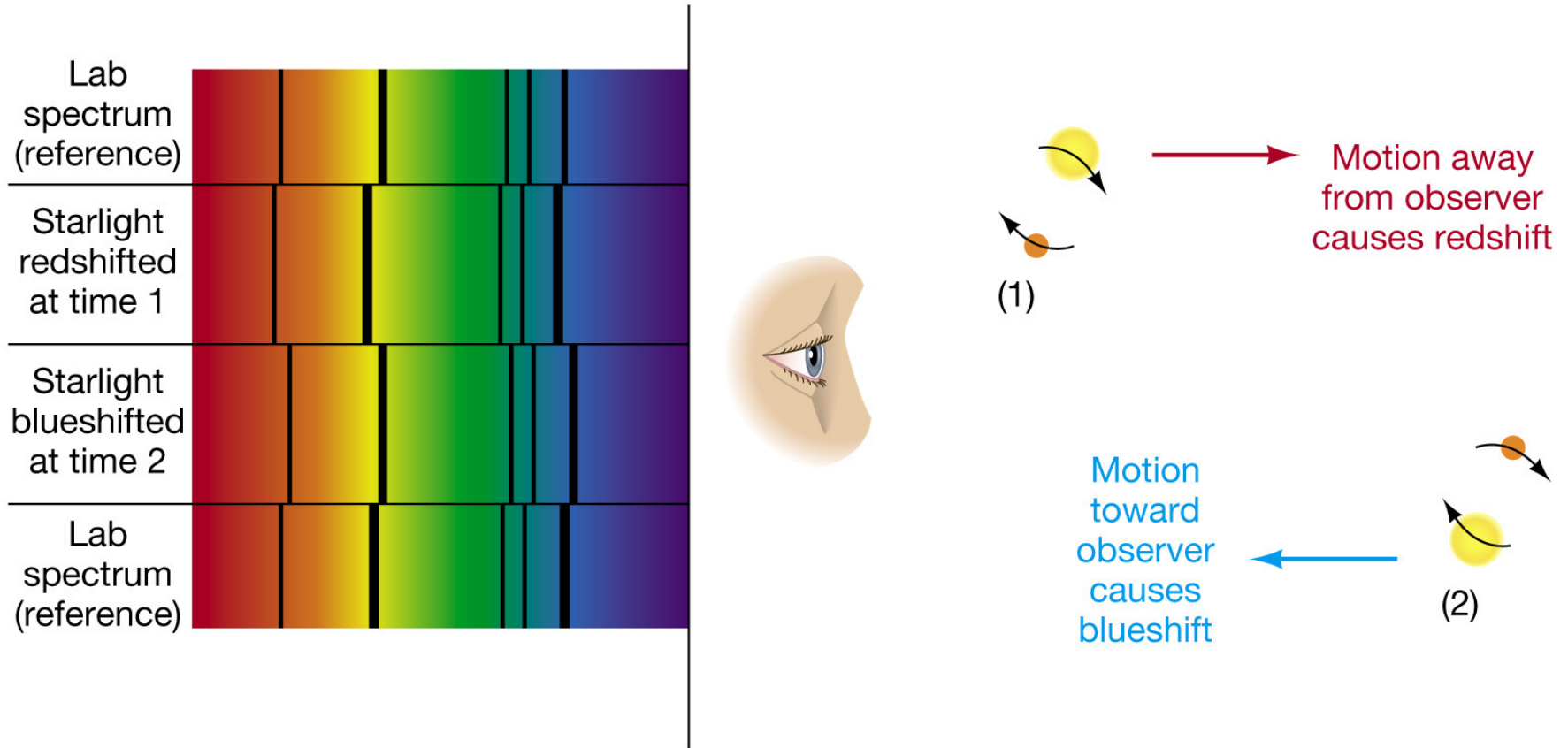
Klasyfikacja układów podwójnych (UP)

- Mylące — układy podwójne optycznie — bliskie na niebie lecz odseparowane i nie związane grawitacyjnie
- Prawdziwe — grawitacyjnie związane — częste — bliskie
 - Obserwowalne teleskopowo lub naocznie
 - Podwójne interferometrycznie — bliskie
 - Podwójne o złożonym widmie. Widmo pokazuje dwie wypukłości co związane jest z dwoma różnymi fotosferami gwiazd
 - Podwójne układy astrometryczne — obserwowany ruch falujący, wskazujący na niewidzialnego towarzysza, gwiazdę lub planetę

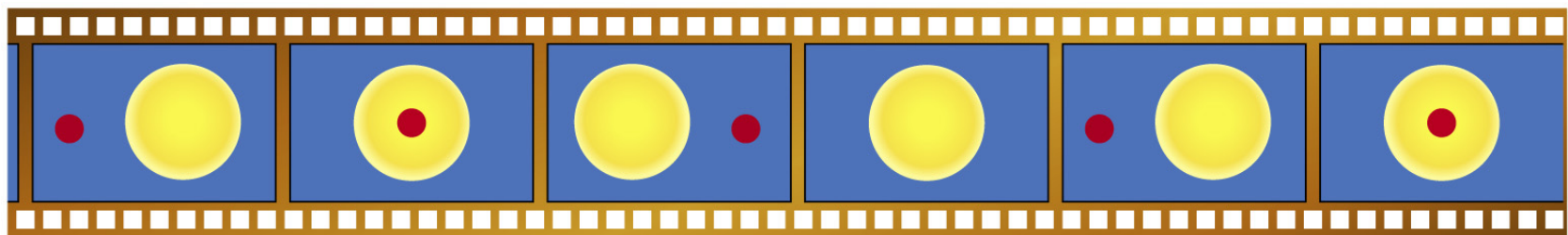
Najważniejsze typy UP

- 2g spektroskopowe — dwie klasy:
 - O pojedynczych liniach widmowych — widoczne linie widmowe jednej gwiazdy, przesunięte w stronę fal krótszych lub dłuższych, co pozwala wyznaczyć ruch słabszego składnika układu (gwiazdy lub planety)
 - O podwójnych liniach widmowych — widmo obu składników
- 2g zaćmieniowe — bliskie i leżące prawie w płaszczyźnie widzenia tak, że gwiazdy przekrywają się wzajemnie i KRZYWA JASNOŚCI posiada wgłębienia

UP O POJEDYNCZYCH LINIACH WIDMOWYCH



Zaćmieniowa krzywa jasności (UP)



#1

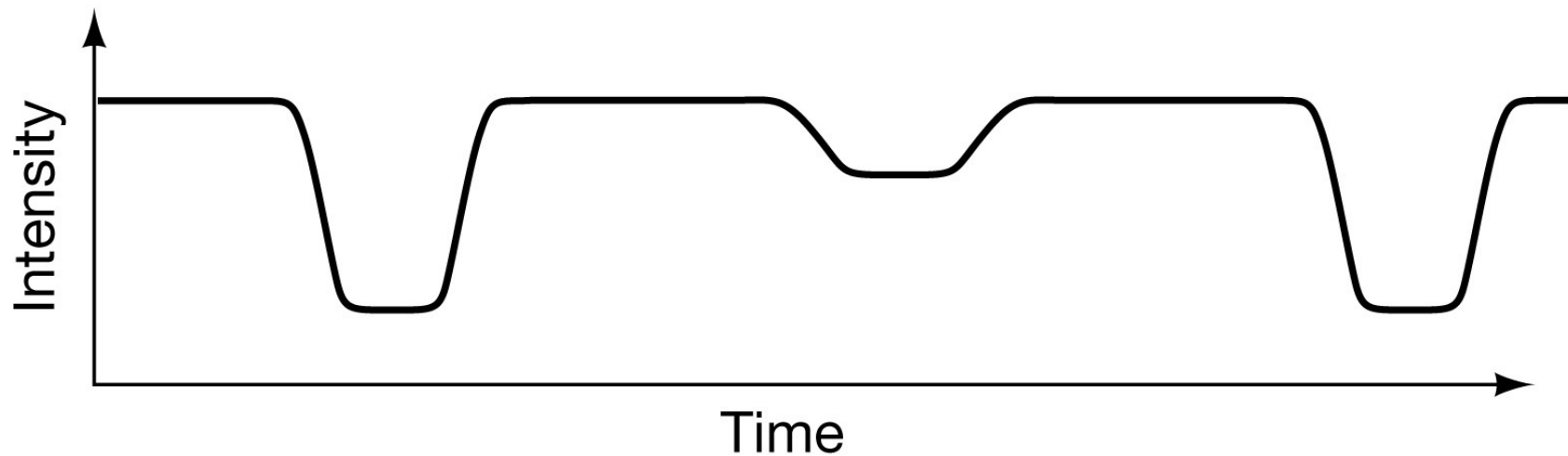
#2

#3

#4

#5

#6



Wyznaczanie mas gwiazd

- Masa jest najważniejszym parametrem gwiazdy lecz jest trudna do wyznaczenia
- UKŁADY PODWÓJNE O RÓŻNYCH (PODWÓJNYCH) WIDMACH POZWALAJĄ WYZNACZYĆ STOSUNKI MAS SKŁADNIKÓW UKŁADU
- Gwiazdy obiegają ich wspólny środek masy (CM). CM jest bliższy centrum masywniejszej gwiazdy.
- Gwiazda bardziej masywna porusza się wolniej niż gwiazda o masie mniejszej (2-gie i 3-cie prawo Newtona)

Wyznaczanie mas (2)

- Jeżeli oznaczymy półosie elips przez a_1 i a_2 , prędkości przez v_1 i v_2 , a masy przez M_1 i M_2 to
- $(a_1 / a_2) = (v_1 / v_2) = M_2 / M_1$
- Przykład: $v_1 = 8$ km/s, $v_2 = 32$ km/s, to orbita gwiazdy 1 stanowi $1/4$ orbity gwiazdy 2. Jej masa jest więc 4 razy większa: $M_2 / M_1 = 1/4$.
- Prędkości wyznaczone są z dopplerowskiego przesunięcia linii widmowych.

Wyznaczanie mas (3)

- ZAĆMIENIOWE lub WIDZIALNE układy binarne pozwalają wyznaczyć SUMĘ MAS składników.
- Wynika to z Newtonowskiego uogólnienia 3-go prawa Keplera: $P^2 \propto a^3$ (tutaj a jest półosią orbity)
- Z kolei, z 2-go prawa Newtona $F = ma$ (tutaj a jest przyspieszeniem)
- Z prawa grawitacji Newtona:

$$F_{\text{grav}} = G M_1 M_2 / a^2$$

- Razem mamy:

$$M_1 + M_2 \propto a^3/P^2$$

Wyznaczanie mas (4)

- Jeśli więc znamy odległość a i okres P to znamy $M_1 + M_2$
- NAJLEPSZY PRZYPADEK: układ podwójny o zdublowanych liniach widmowych
- Znając M_1/M_2 oraz $M_1 + M_2$ łatwo wyznaczyć M_1 i M_2 oddzielnie.
- Przykład: $M_1/M_2 = 4$, $M_1 + M_2 = 10 M_\odot$
 $\rightarrow M_1 = 4M_2$, więc $4M_2 + M_2 = 5M_2 = 10 M_\odot$,
 $M_2 = 10 M_\odot / 5 = 2M_\odot$, a $M_1 = 4M_2 = 8M_\odot$

Wyniki obserwacji gwiazd podwójnych

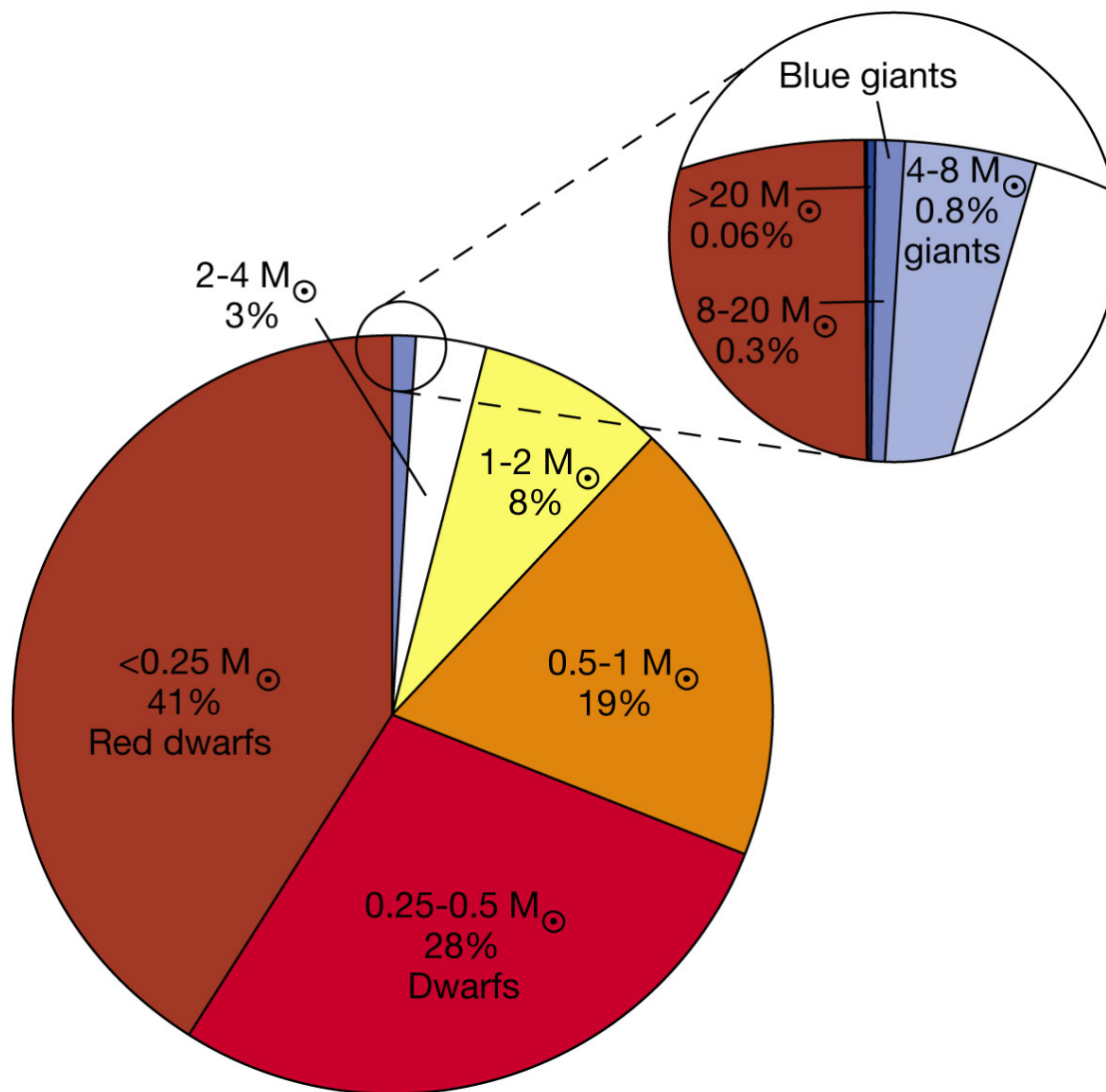
- Głębokość drugiej krzywej zaćmieniowej pozwala wyznaczyć stosunek jasności gwiazd układu podwójnego.
- Głębokość pierwotnej krzywej zaćmieniowej pozwala oszacować stosunek temperatur gwiazd.
- To daje możliwość oszacowania promieni gwiazd.
- Porównując czas trwania zaćmienia z okresem można oszacować stosunek rozmiaru gwiazd do ich odległości.
- Na tej podstawie astronomowie są w stanie określić wielkość półosi orbity, a .
- Okres P , łatwo wyznaczyć poprzez pomiar czasu między kolejnymi zaćmieniami (pierwotnymi).

Wyniki obserwacji gwiazd podwójnych

- Dalej, masy wynikają z równania
$$M_1 + M_2 = a^3 / P^2$$

(M w jednostkach $M_\odot$, a w j.a., a P w latach).
- Dodatkowo, pomiary krzywych zaćmieniowych pozwalają wyznaczyć:
 - **Mimośród orbity**: obserwowana asymetria czasów zaćmienia wtórnego względem głównego — orbita kołowa oznacza, że zaćmienie wtórne jest w połowie głównego; orbita eliptyczna powoduje, że wtórne jest bliższe głównego...
 - **Nachylenie orbity**: płaska krzywa zaćmieniowa wskazuje, że jedna z gwiazd całkowicie zachodzi za drugą i ich płaszczyzna ruchu prawie pokrywa się z kierunkiem obserwacji; zaokrąglenia krzywej zaćmienia wskazują, że orbita jest nachylona (jeśli nachylenie jest duże to nie obserwuje się zaćmień).

Rozkład mass gwiazd



Klasy widmowe

- Różne temperatury fotosfery gwiazd powodują, że różne absorpcyjne linie widmowe są intensywniejsze.
- Np. W bardzo gorących gwiazdach obserwuje się linie He II (jednokrotnie zjonizowany hel);
- Gorące gwiazdy mają silne linie neutralnych H I i He I;
- Widma gwiazd typu Słońca zawierają silne linie zjonizowanych *metali* takich jak Ca II i Fe II (*metale* to pierwiastki inne niż H i He);
- Widma zimniejszych gwiazd zawierają linie neutralnych metali;
- Widma najzimniejszych gwiazd są bogate w silne linie molekularne (takie jak TiO).

Historyczne i obecne klasy widmowe

- W przeszłości klasy widmowe identyfikowano wg. Wzorów linii widma i oznaczano je literami A, B, C, ... O, P, Q, R, S.
- Kiedy zaczęto mierzyć temperaturę klasy uporządkowano wg. T, pozostawiając następujące znakowanie: O, B, A, F, G, K, M, poczynając od najgorętszych (50,000-30,000 K dla O) do najzimniejszych (3,000 -- 2,500 K dla M).
- Klasy podzielono następnie, dodając numery: np. O3 jest gorętsza niż O7, a F6 zimniejsza niż F3.
- Ostatnie odkrycia gwiazd bardzo zimnych doprowadziło do dodanie klas widmowych L, i T następujących po M — zakres temperatur poniżej 3,000 K.

Widma gwiazd (uproszczone)

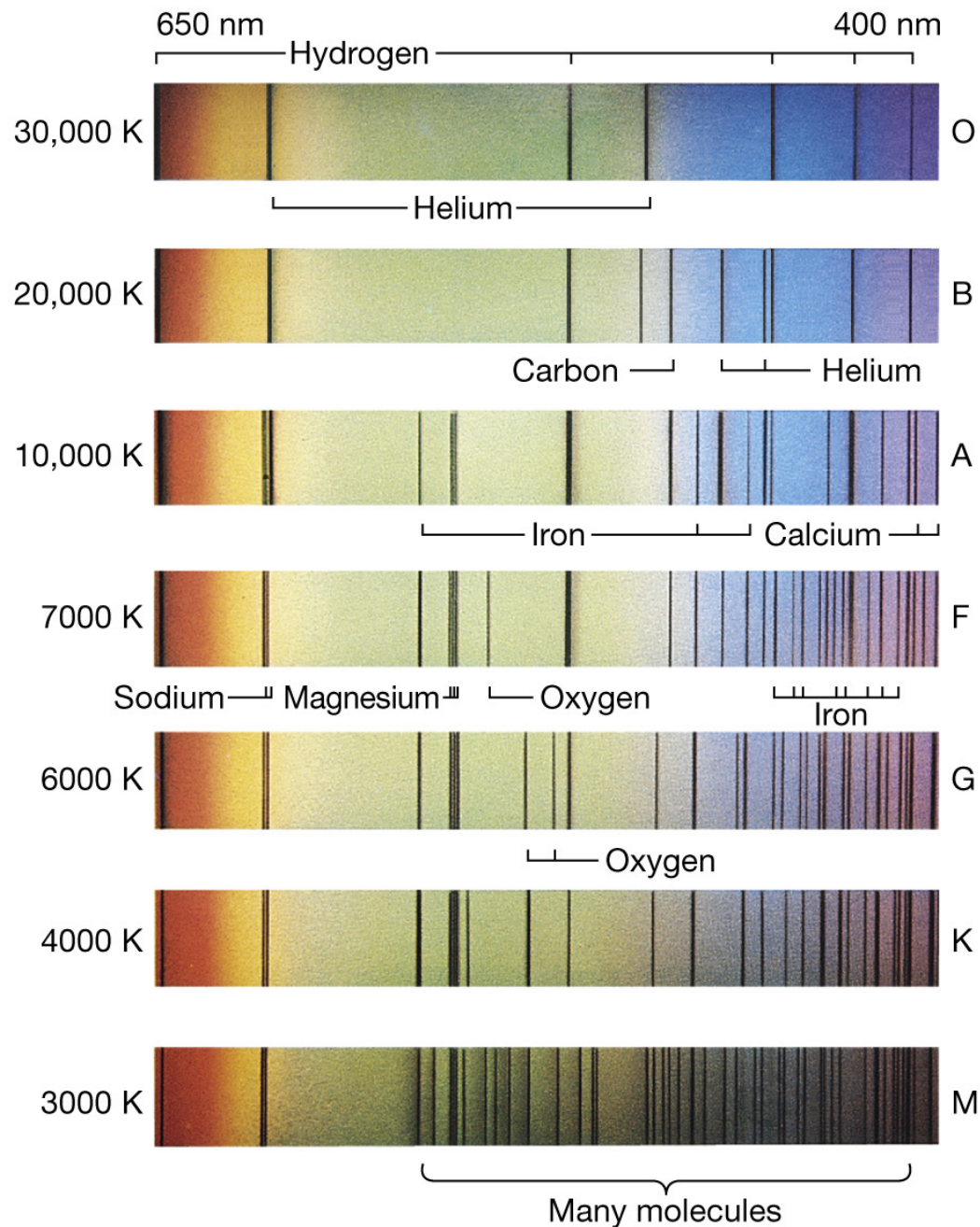


DIAGRAM HERTZSPRUNGA-RUSSELLA

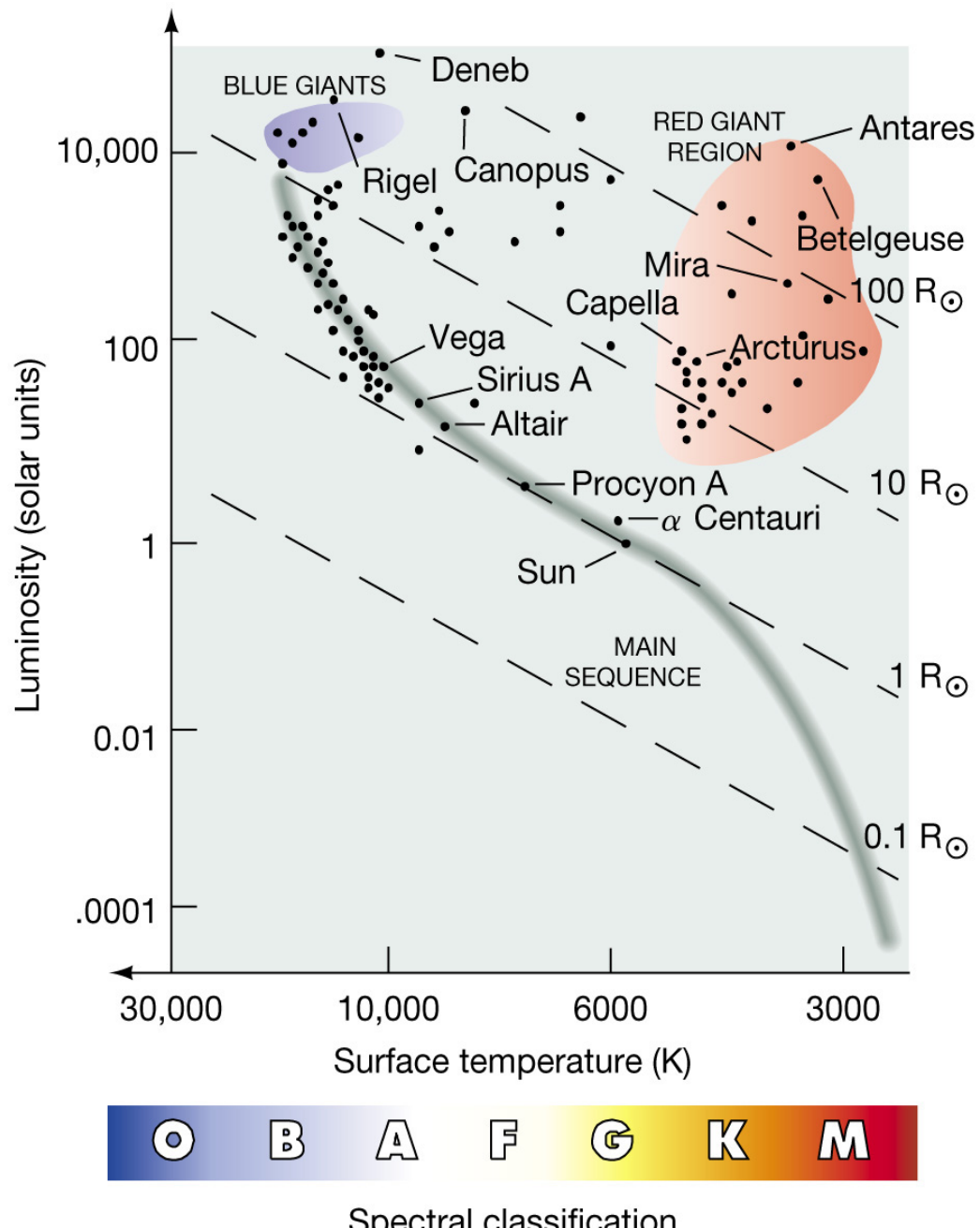
- Na początku XX wieku E. Hertzsprung (Dania) i H.N. Russell (Ameryka) niezależnie opracowali bardzo wygodny sposób klasyfikacji gwiazd
- Umieścili gwiazdy na diagramie KOLOR (od niebieskiego do czerwonego wg. klas widmowych) lub TEMPERATURA (T) na osi poziomej X oraz ABSOLUTNA WIELKOŚĆ GWIAZDOWA lub JASNOŚĆ (L) na osi pionowej Y
- Diagram HR jest często nazywany diagramem kolor—magnitudo
- Ważnymi wielkościami fizycznymi na diagramach są T i L.

Ponieważ absolutna bolometryczna wielkość magnitudo Słońca wynosi ok. +5, więc $M_{bol} = +5$ jest równoważna $L = 1 L_{\odot}$

$M_{bol} = 0$ jest równoważna $L = 100 L_{\odot}$,

$M_{bol} = -5$ odpowiada $L = 10^4 L_{\odot}$, a $M_{bol} = +10$ to $0.01 L_{\odot}$.

Diagram HR gwiazd najjaśniejszych



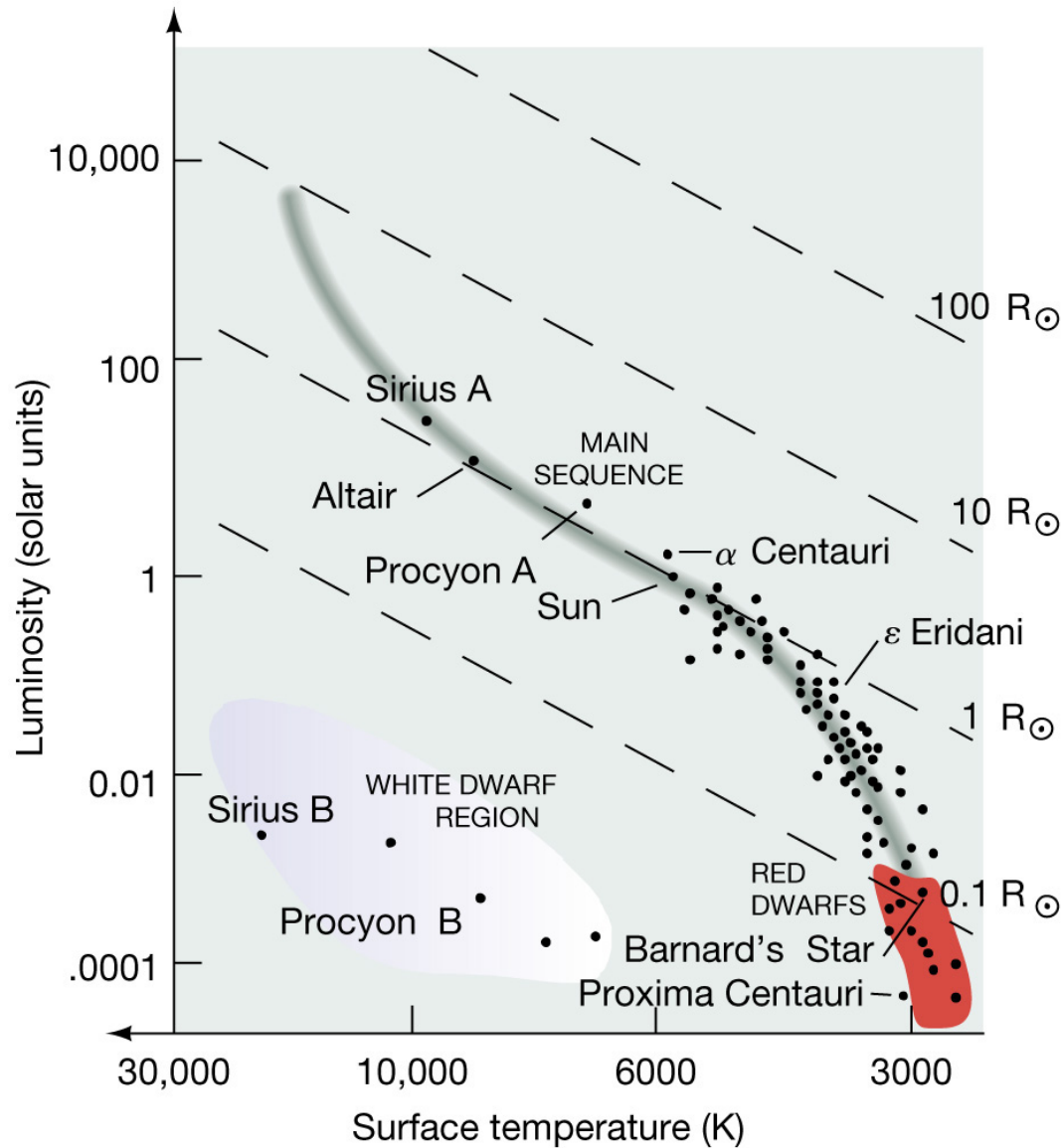
Pozycje HR najjaśniejszych gwiazd

- Umieszczając na diagramie HR 100 najjaśniejszych gwiazd można zaobserwować dwie główne ich grupy:
 - Diagonalne pasmo rozciągające się na lewo w górę od pozycji, a więc gwiazdy jaśniejsze i gorętsze — GÓRNY CIĄG GŁÓWNY
 - Zgrupowanie gwiazd na gorze, z prawej strony pozycji Słońca — (jaśniejsze lecz chłodniejsze): CZERWONE OLBRZYMY
- Trzecią grupę, mniejszą, stanowią gwiazdy jaśniejsze od Słońca, niebieskie lub czerwone — NADOLBRZYMY

Diagram HR gwiazd najbliższych

Większość: zimne i
mniej jasne niż
Słońce na dole
ciągu głównego

Kilka: białe karły

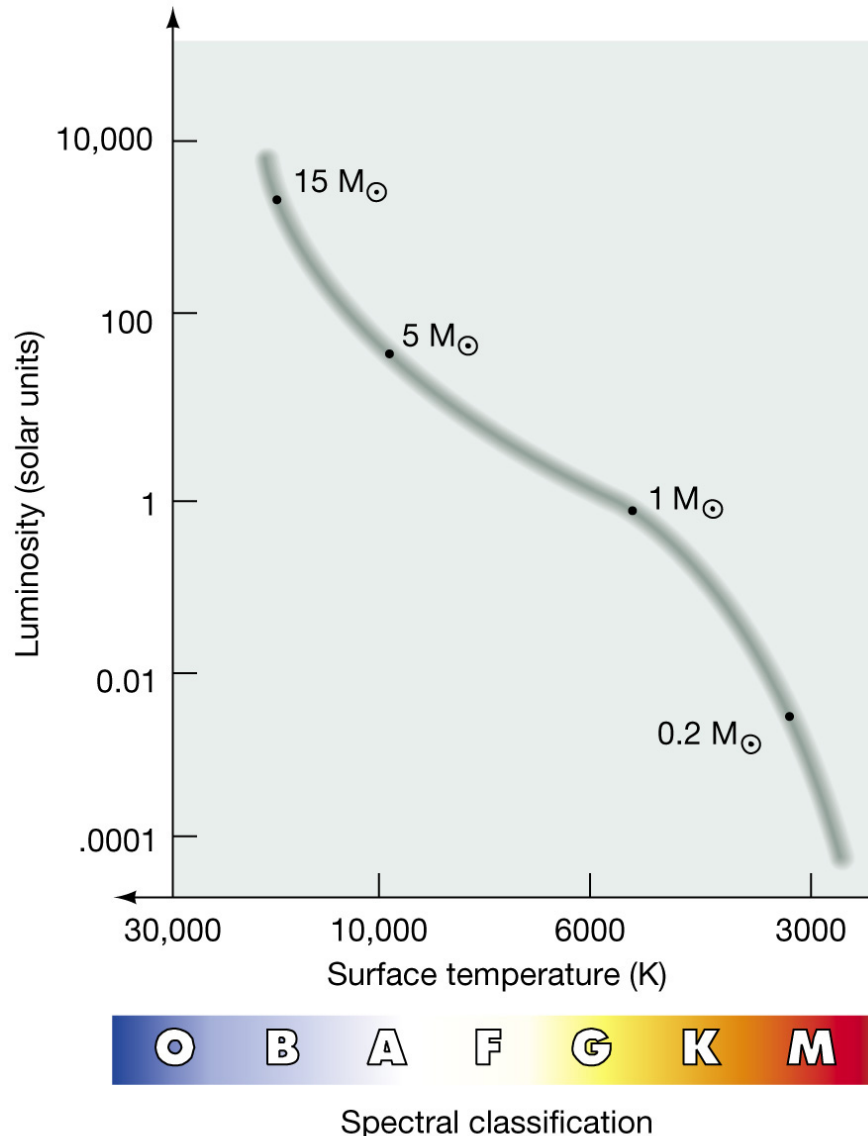


Spectral classification

Szczególny diagram HR

- Umieszczając na diagramie HR bardziej reprezentatywną grupę gwiazd, np. 100 gwiazd najbliższych Słońcu, otrzymamy inny jego wygląd
- Wiele z tych gwiazd znajduje się na górnym ciągu głównym ale na prawo i poniżej pozycji Słońca pojawiają się gwiazdy (zimniejsze i mniej jasne), tworząc DOLNY CIĄG GŁÓWNY
- Inny obszar znajduje się na dole, z lewej strony pozycji Słońca — BIAŁE KARŁY
- Linie stałego promienia biegną od lewej, górnej części diagramu do prawej dolnej. Duże gwiazdy znajdują się w górnej-prawej części, a mniejsze w dolnej-lewej części diagramu.

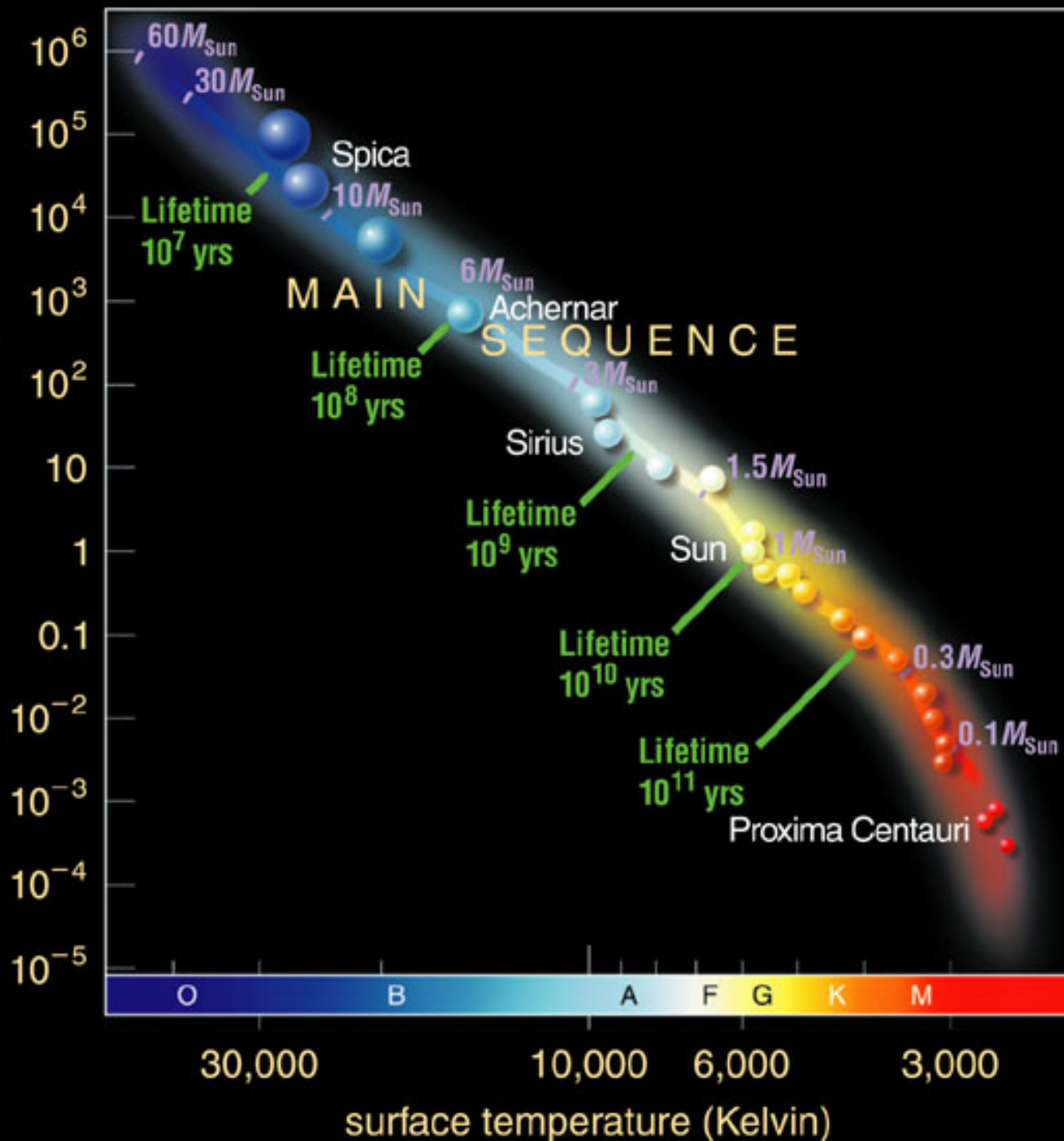
Masy i ciąg główny

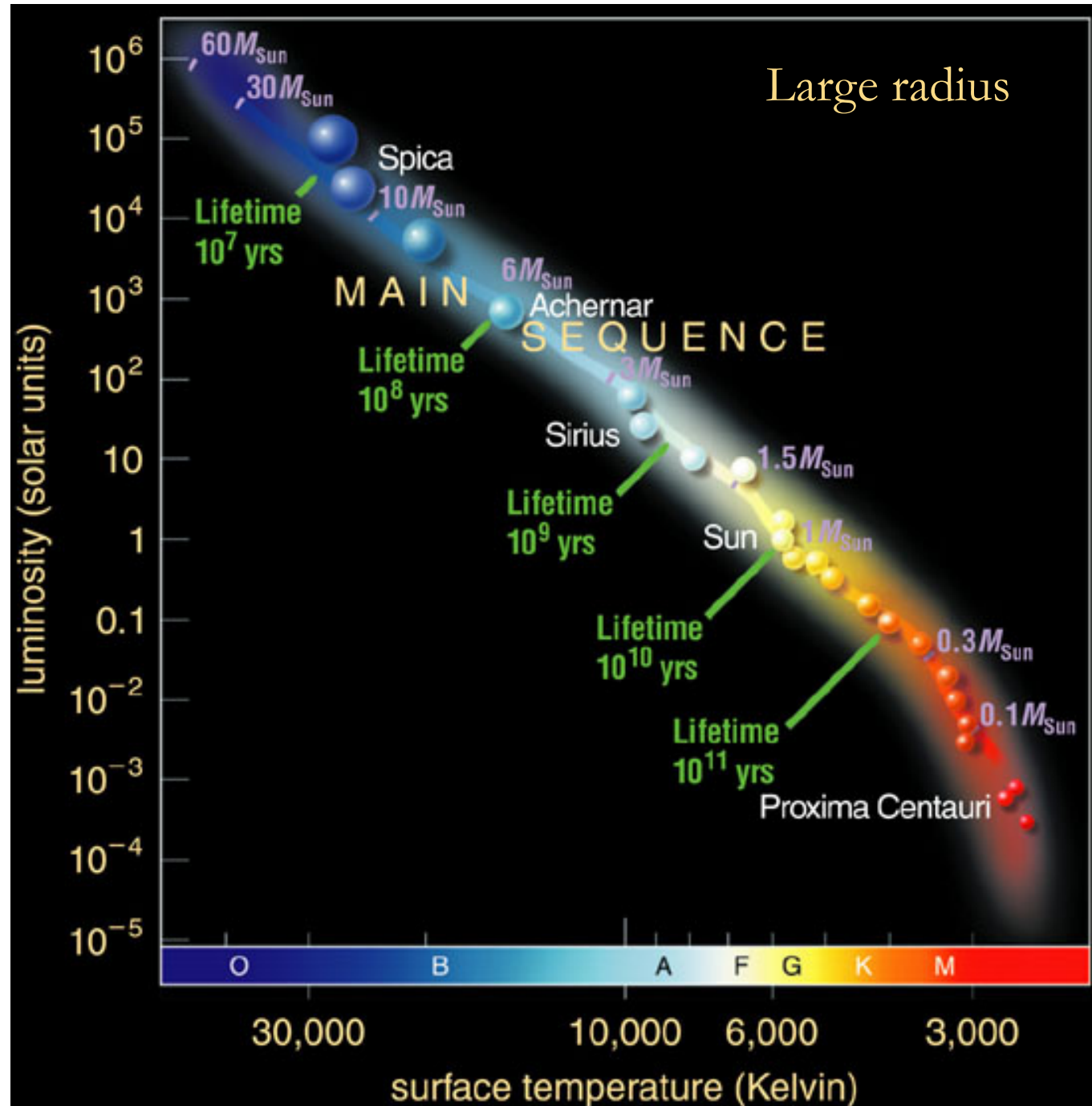


- Gwiazdy spędzają większą część życia na ciągu głównym diagramu HR, a ich pozycja zależy głównie od MASY (w mniejszym stopniu od składu i rotacji).
- OLBRZYMY stanowią grupę gwiazd w późnym stadium ich ewolucji
- BIAŁE KARŁY są pozostałością jąder bardzo starych gwiazd

Większość gwiazd (80%) znajduje się na ciągu głównym.

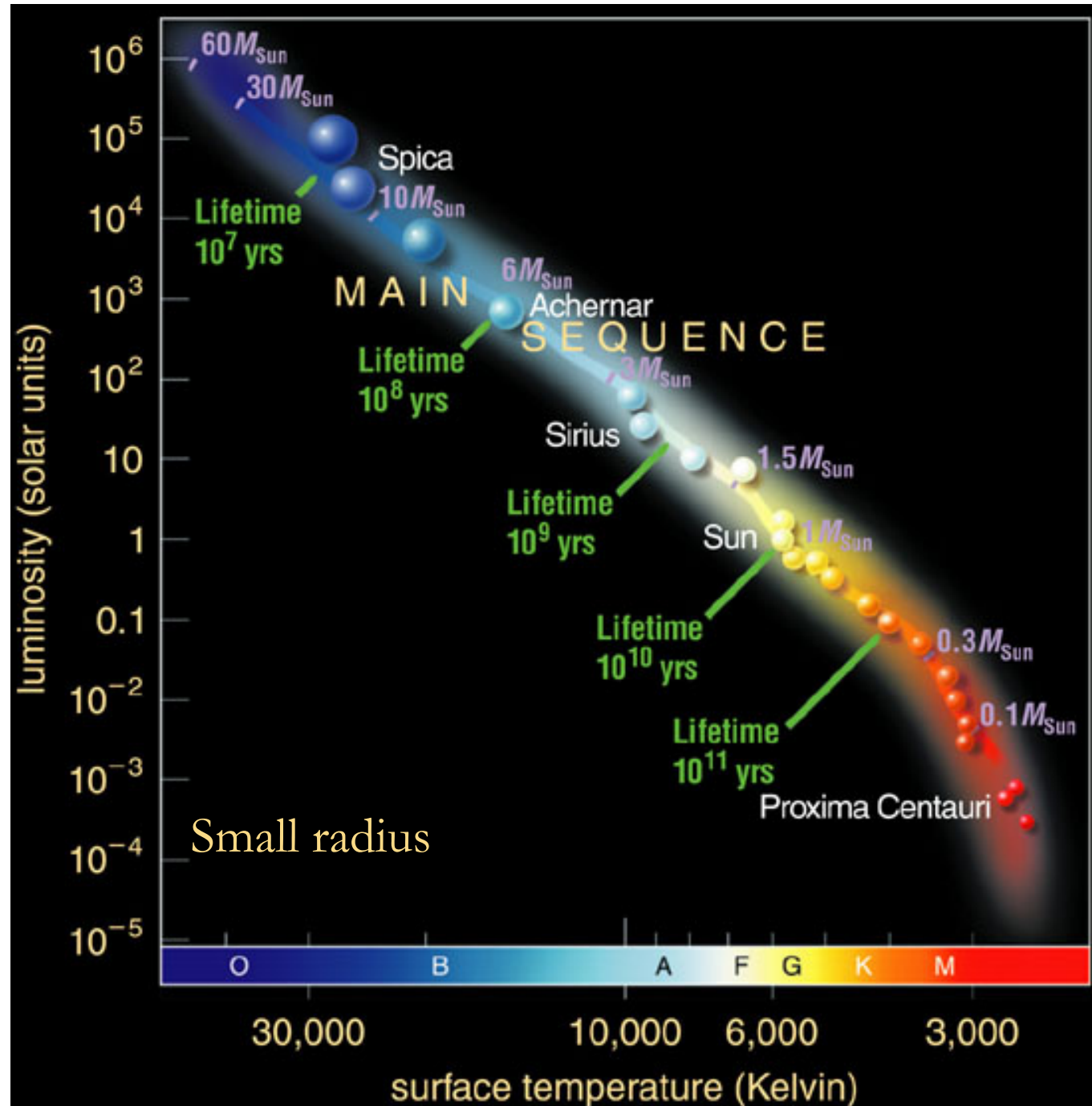
luminosity (solar units)





Gwiazdy o
niższej T
i większej L niż
gwiazdy ciągu
głównego muszą
mieć większy
promień.

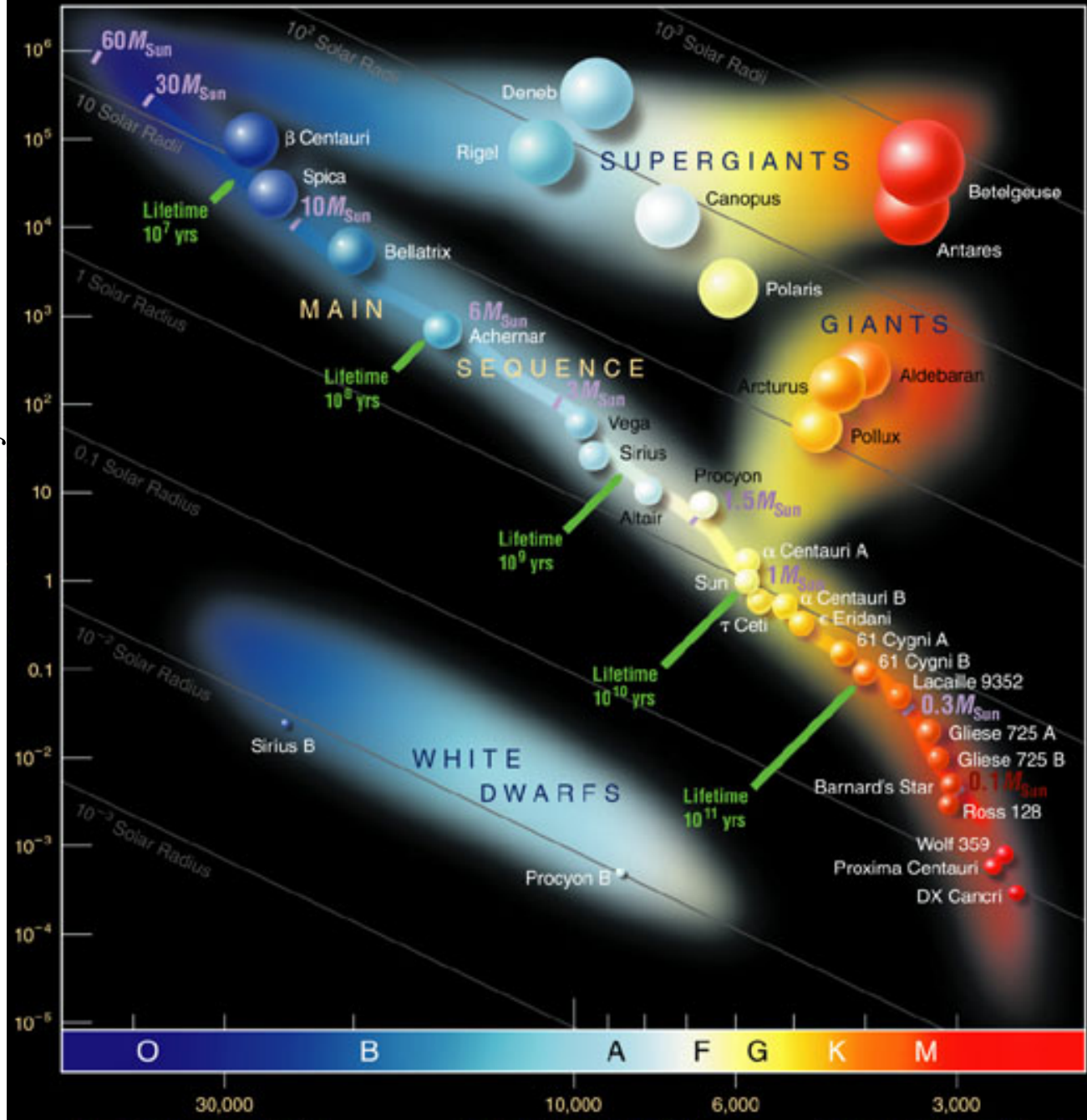
olbrzymy
i *nadolbrzymy*



Gwiazdy o
większej T
i mniejszej L niż
gwiazdy ciągu
głównego muszą
mieć mniejszy
promień

Białe karty

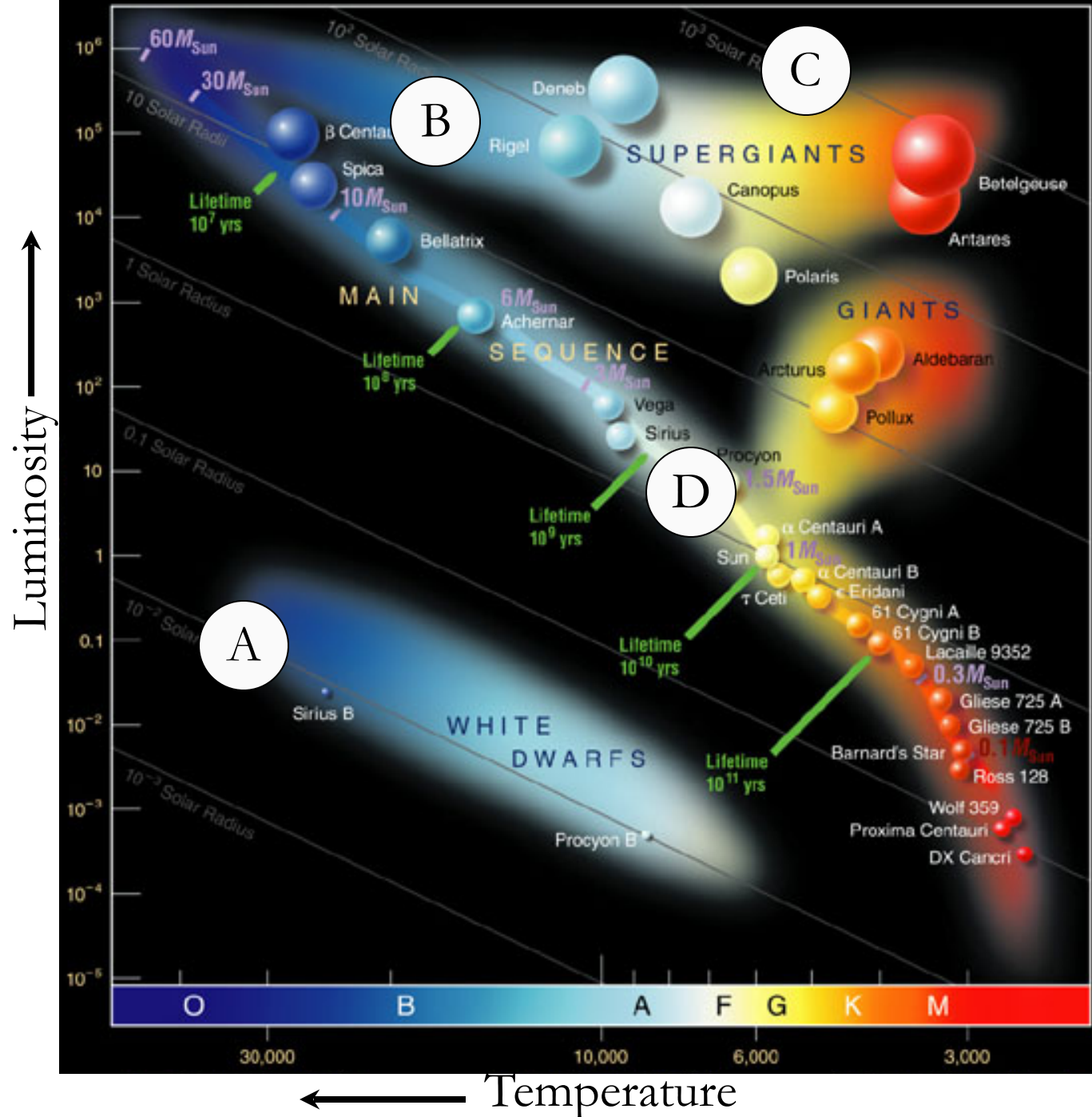
Luminosity ↑



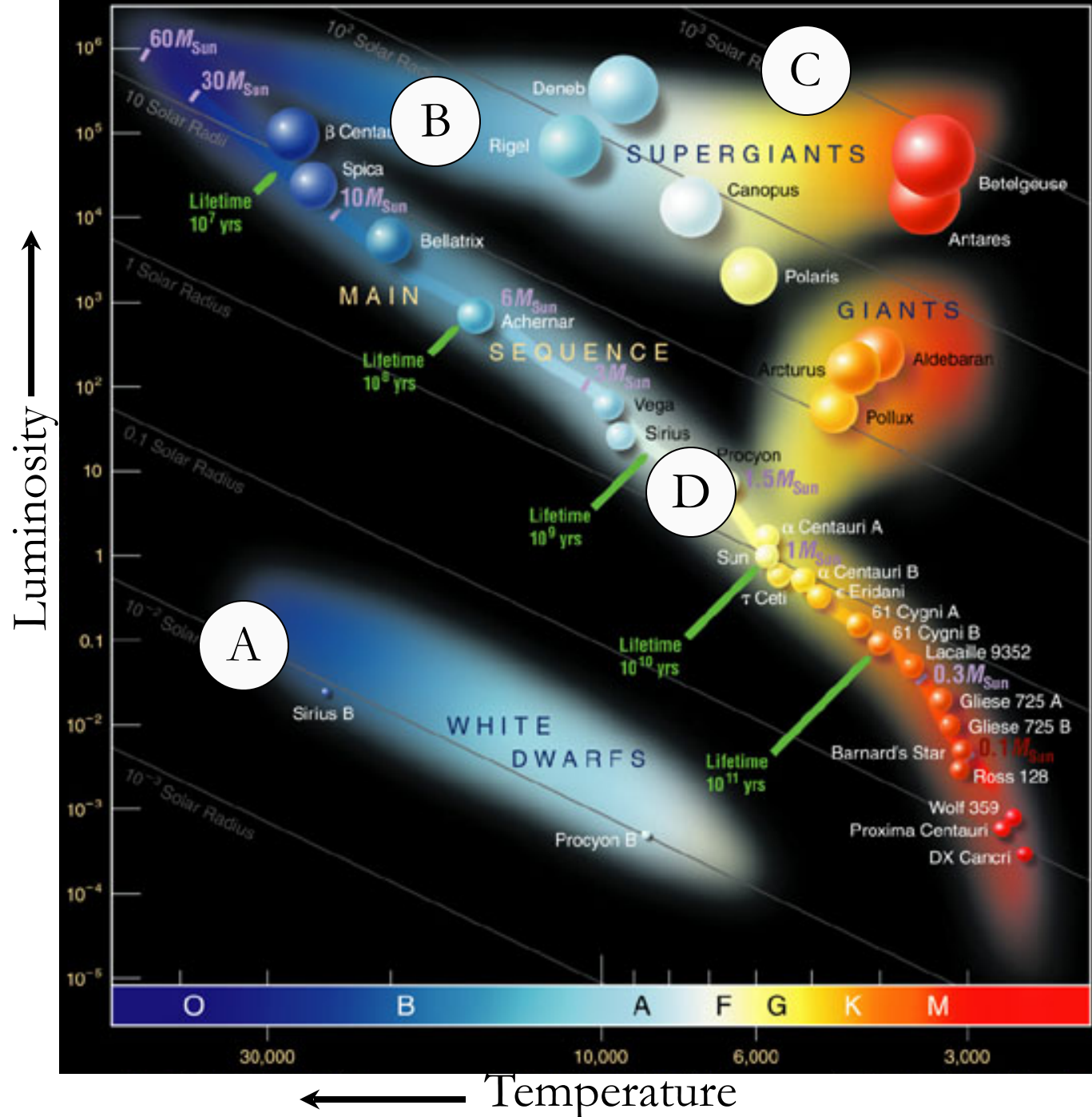
← Temperature

Diagram HR
pokazuje:

- Temperaturę
- Kolor
- Typ widma
- Jasność
- Promień

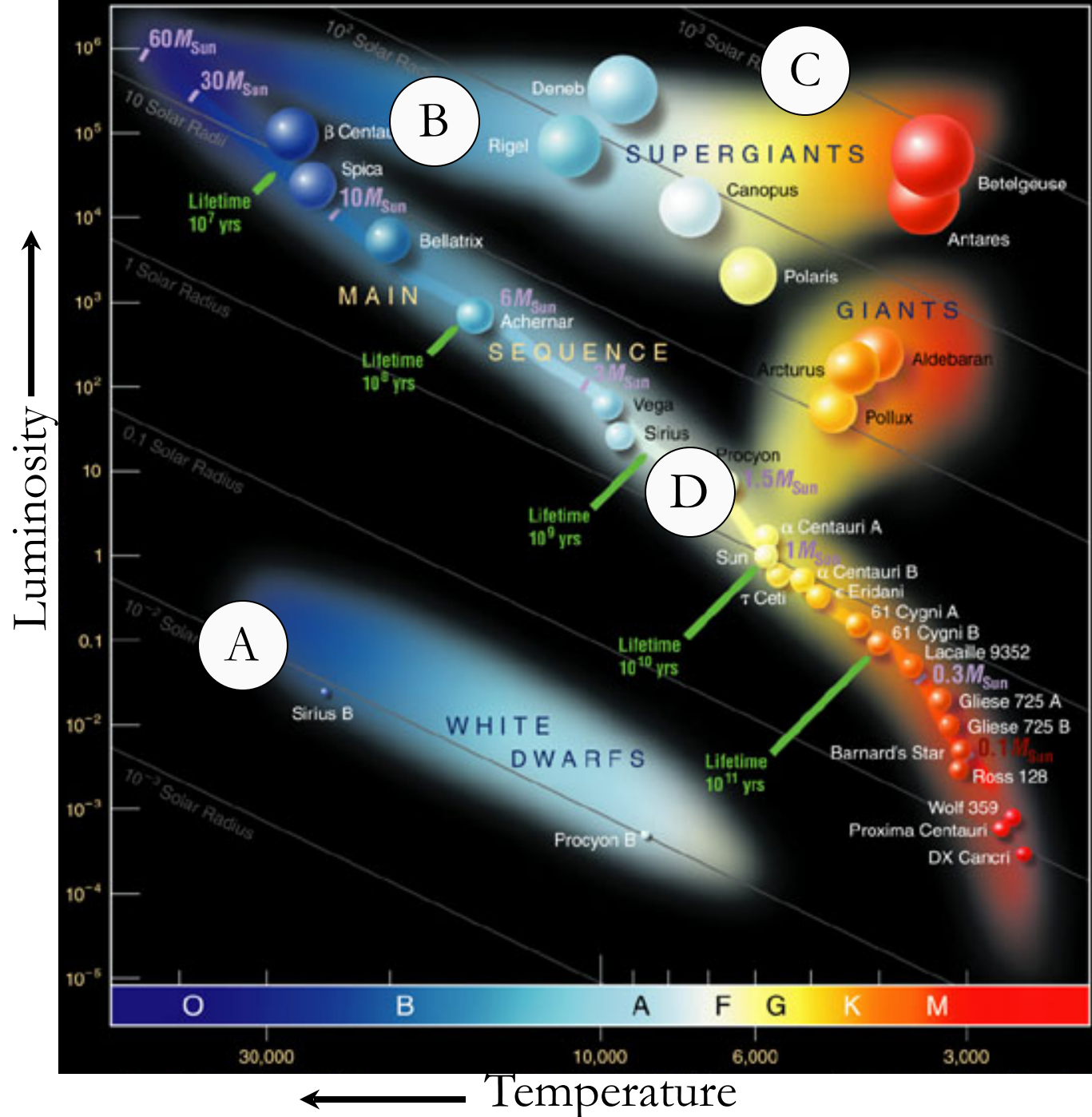


Która z gwiazd
jest najgorętsza?

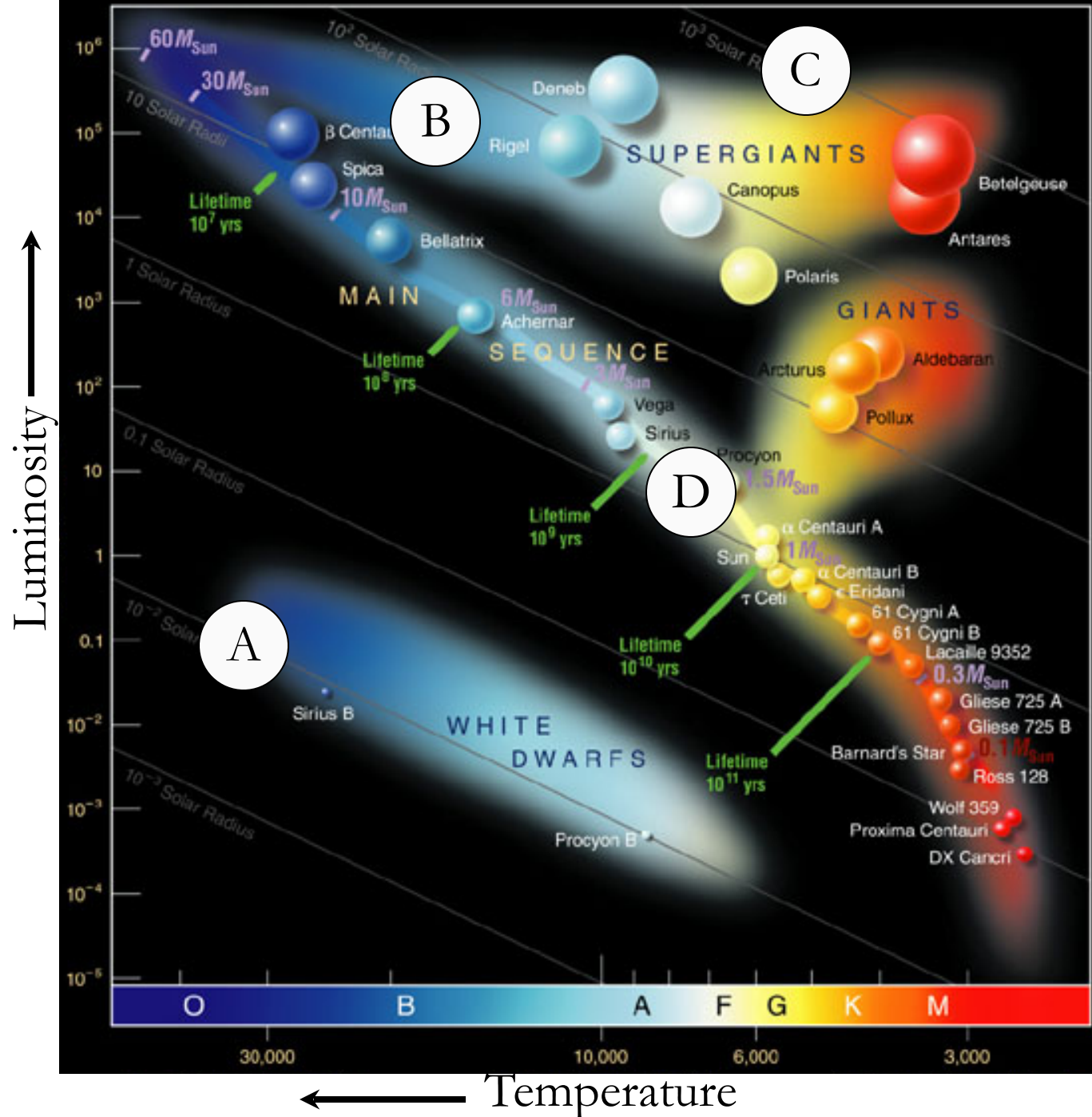


Która z gwiazd
jest najgorętsza?

A

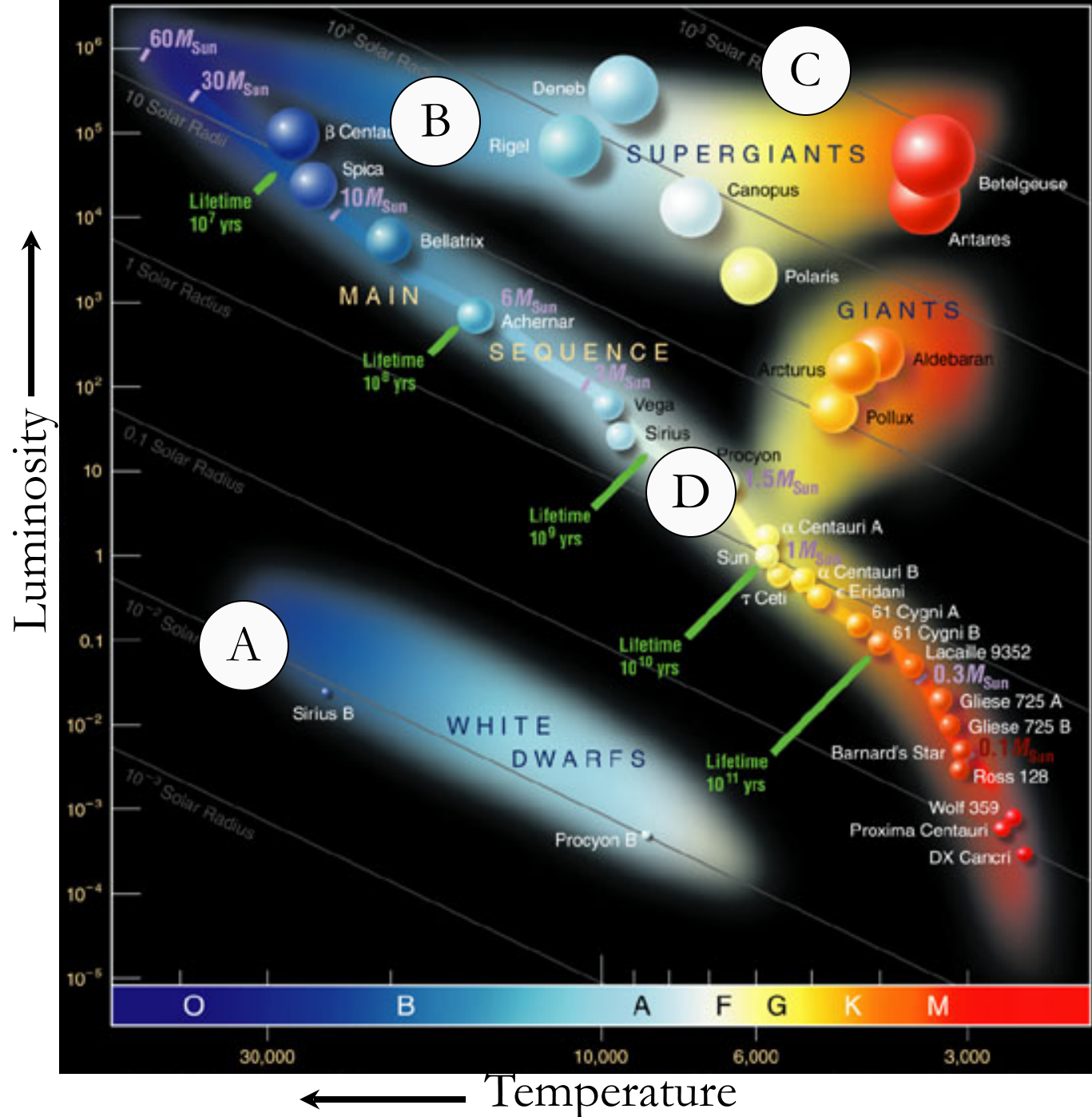


Która z gwiazd
jest najjaśniejsza?

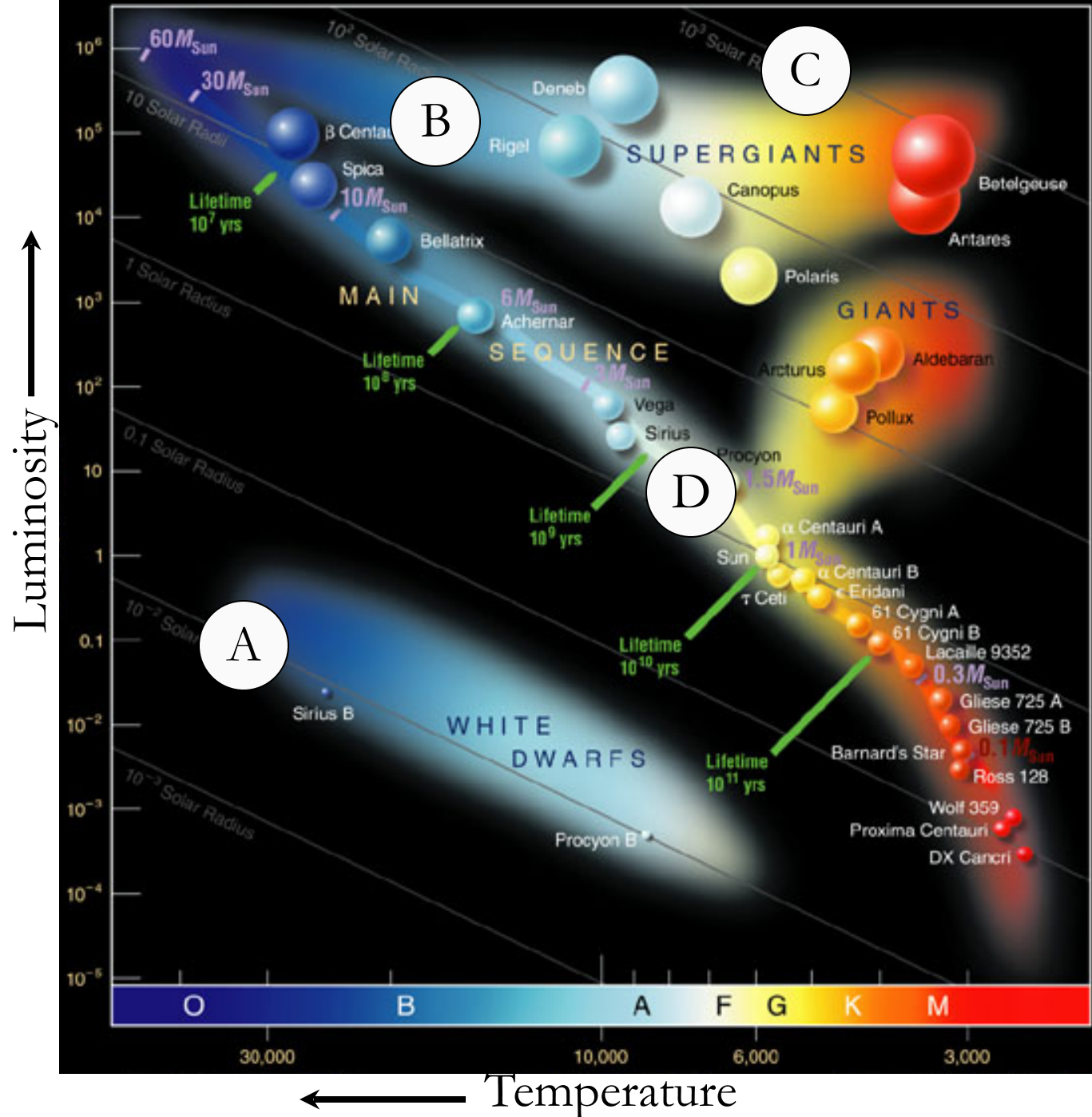


Która z gwiazd
jest najjaśniejsza?

C

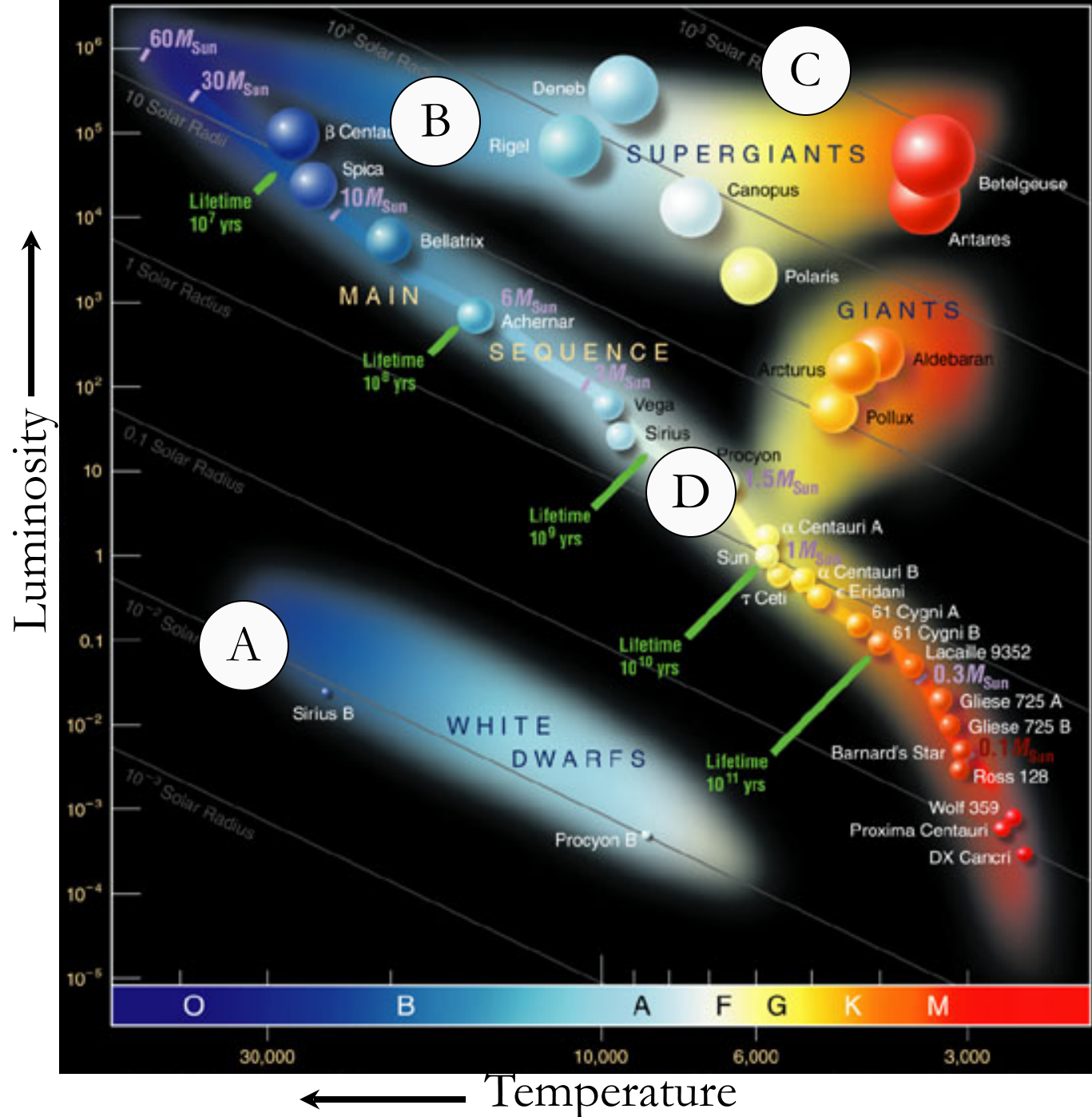


Która z gwiazd
jest na ciągu
głównym?

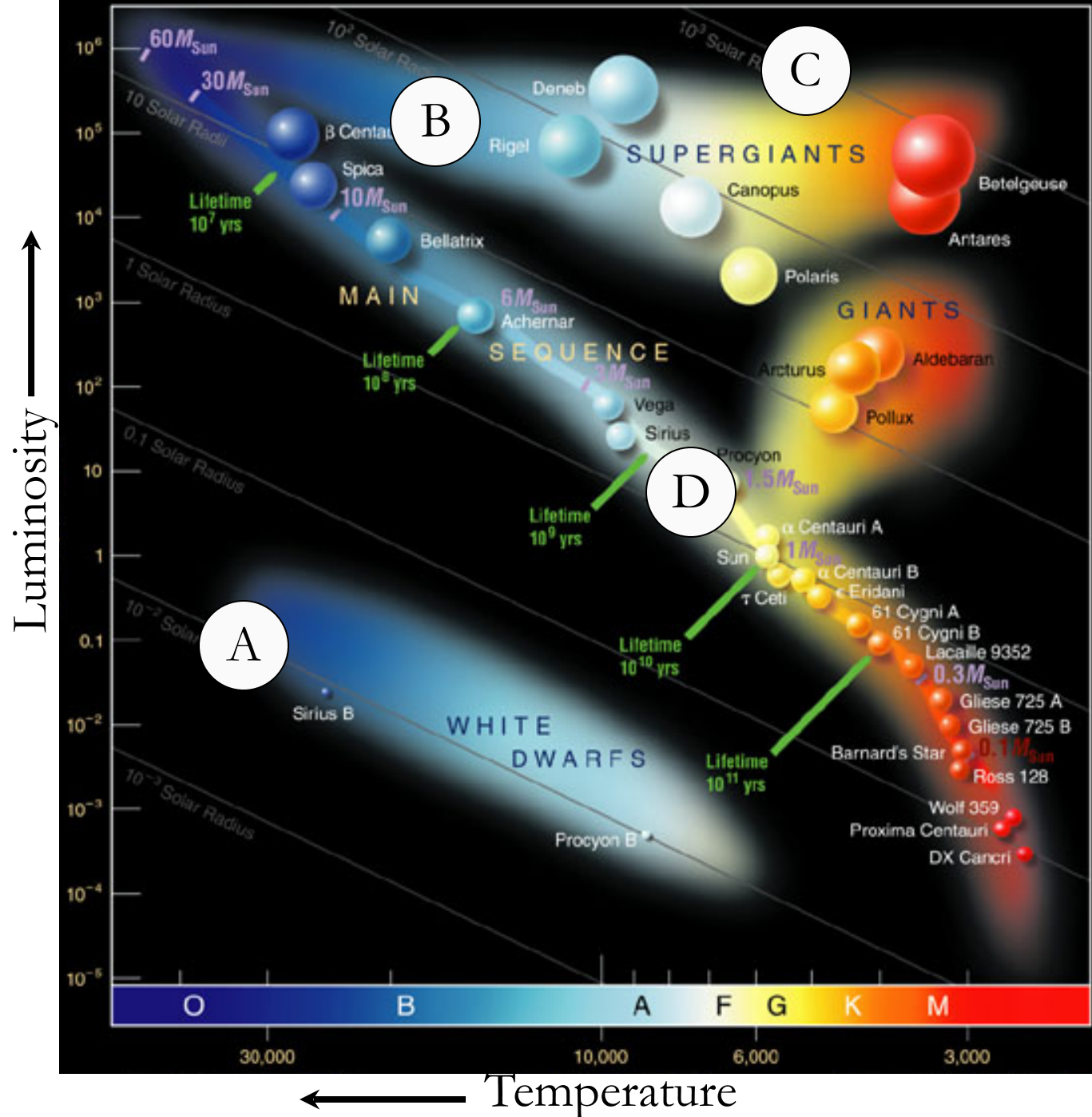


Która z gwiazd
jest na ciągu
głównym?

D



Która z gwiazd ma największy promień?

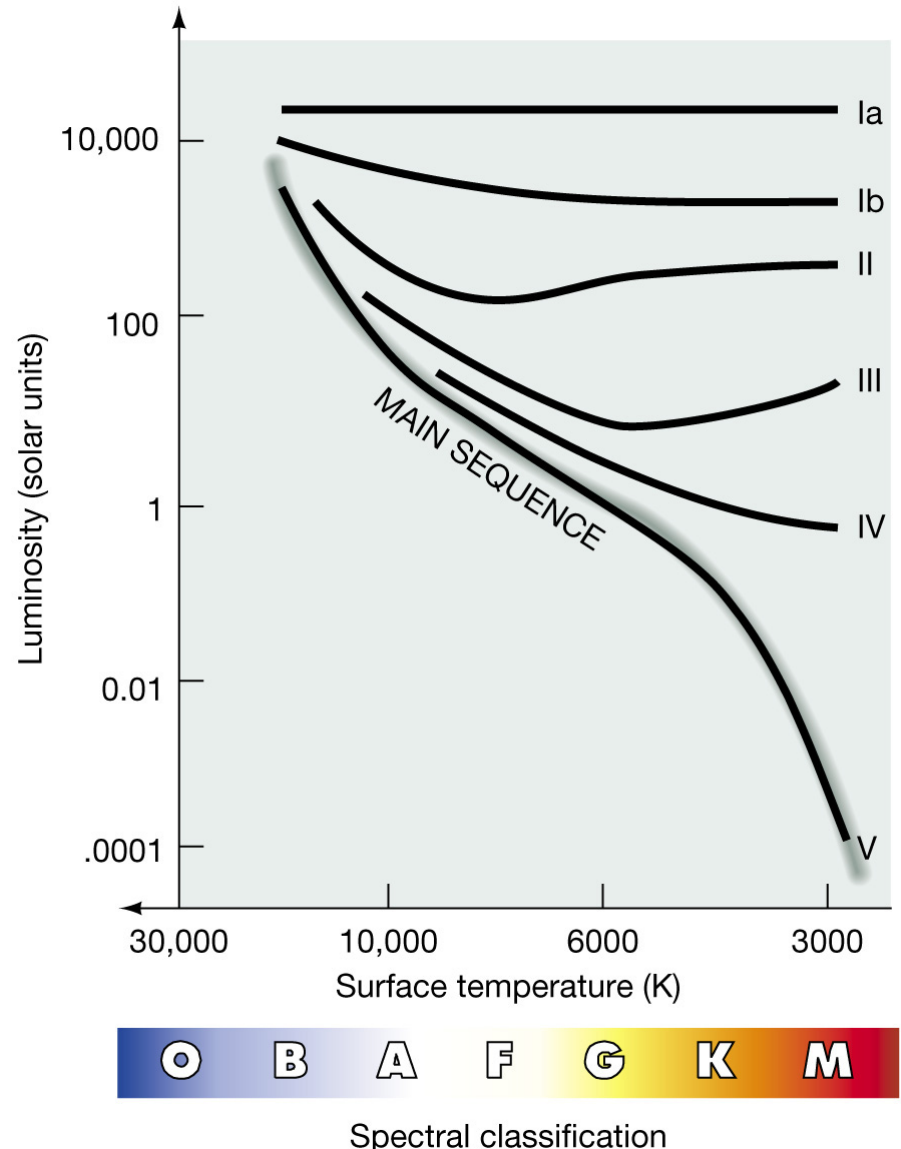


Która z gwiazd
ma największy
promień?

C

Klasy Jasności

- Klasy jasności są dodawane do klas widmowych jako liczby rzymskie, np.,
- K7 I czerwony nadolbrzym;
- M2 III czerwony olbrzym;
- O5 V gorąca gwiazda ciągu głównego;
- G2 V gwiazda ciągu głównego podobna Słońcu



Pełna klasyfikacja zawiera **typ widmowy**,
(identyfikacja linii widmowych) oraz **klasę jasności**
(kształt linii, związany z wielkością gwiazdy):

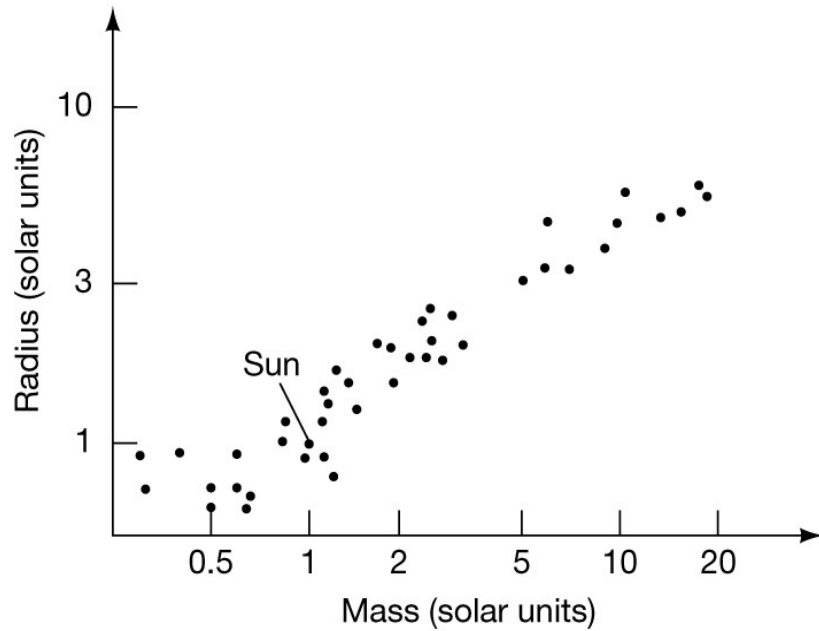
- I - nadolbrzym
- II - jasny olbrzym
- III - olbrzym
- IV - podolbrzym
- V - ciąg główny

Przykłady: Słońce - G2 V
 Syriusz - A1 V
 Proxima Centauri - M5.5 V
 Betelgeuse - M2 I

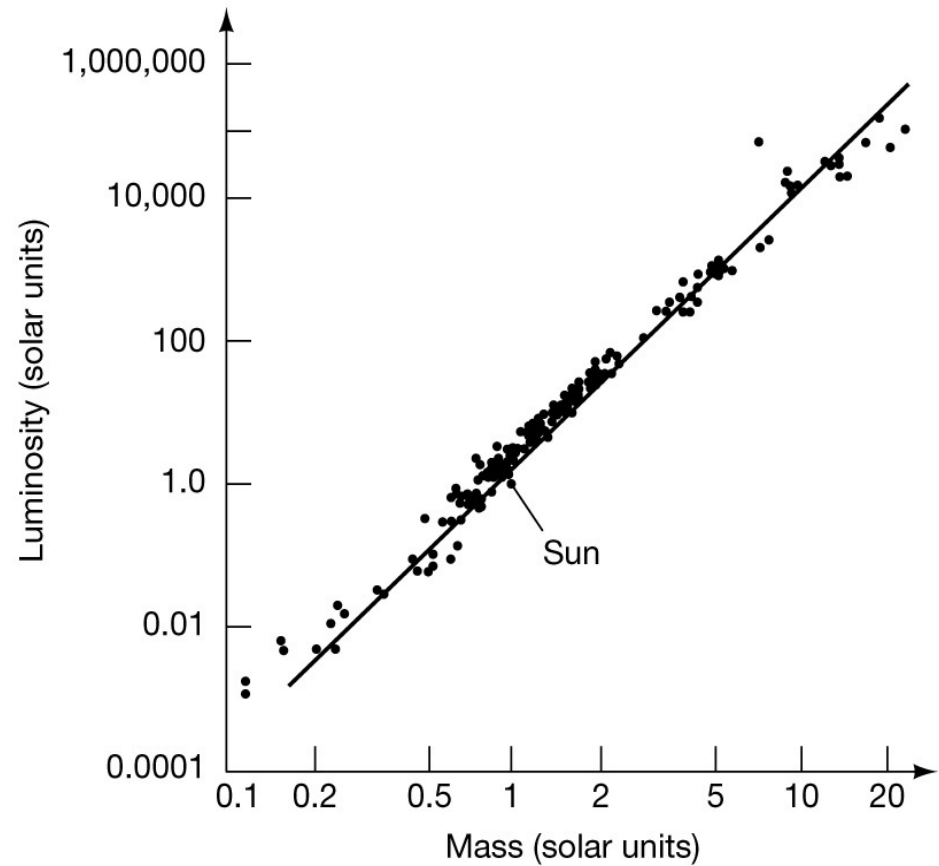
Związek Masa — jasność

- Na ciągu głównym (tylko!) obowiązuje relacja MASA-JASNOŚĆ (na podstawie analizy układów podwójnych — widoma wielkość magnitudo i odległość):
- $L \propto M^{3.5}$ lub $L^*/L_{\odot} = (M^*/M_{\odot})^{3.5}$
- Przykład: $M^* = 0.25 M_{\odot}$, ile wynosi L^* ?
Odp. $L^*/L_{\odot} = (0.25 M_{\odot}/M_{\odot})^{3.5} = (1/4)^{3.5} =$
 $= (1/4)^3 (1/4)^{1/2} = (1/64)(1/2) = 1/128.$
- Istnieje więc, proporcjonalność między MASĄ i PROMIENIEM

Relacje: Masa-Promień i Masa-Jasność



(a)



(b)

Własności gwiazd — Podsumowanie

Odległość: z paralaksy (lub widma i jasności)

$1.3 \text{ pc} - 200 \text{ pc}$ (or $\sim 10^6 \text{ pc}$)

Luminacja: z jasności i odległości

$10^{-4} L_{\text{Sun}} - 10^6 L_{\text{Sun}}$

Temperatura: z koloru (lepiej z widma)

$3,000 \text{ K} - 50,000 \text{ K}$

Masa: z okresu i orbity układu podwójnego:

$0.08 M_{\text{Sun}} - \sim 100 M_{\text{Sun}}$