Fotometria II

Szymon Cedrowski

Lekcja 6

1 Klasyfikacja widm

Wiemy już, że mierząc widmo promieniowania termicznego gwiazdy, jesteśmy w stanie powiedzieć jaką ma temperaturę powierzchniową (używając prawa Wiena). Okazuje się także, że z temperaturą sprzężone są także inne istotne parametry gwiazd takie jak masa, czy promień. Korzystnie jest więc stworzyć klasyfikację gwiazd opartą na ich widmach.

Wyróżniamy 7 głównych typów gwiazdowych: O, B, A, F, G, K, M. Każdy z nich ma 10 podtypów numerowanych od 0 do 9 w kolejności malejącej temperatury. Przykładowo, gwiazda typu B0 będzie gorętsza od B5.

Klasyfikacja widmowa (harwardzka):

O: $\geq 30\,000\,\mathrm{K}$, kolor błękitny

B: $10\,000 - 30\,000\,\mathrm{K}$, jasnobłękitny

A: $7500 - 10\,000\,\mathrm{K}$, niebiesko-biały

F: $6000 - 7500\,\mathrm{K}$, biały

G: $5200 - 6000\,\mathrm{K}$, biało-żółty

K: $3700 - 5200\,\mathrm{K}$, blada żółć wpadająca w pomarańcz

M: $2400 - 3700\,\mathrm{K}$, pomarańczowo-czerwone

Klasy jasności: Wyróżniamy 8 klas jasności gwiazd.

0: hiperolbrzymy

I: nadolbrzymy

II: jasne olbrzymy

III: olbrzymy

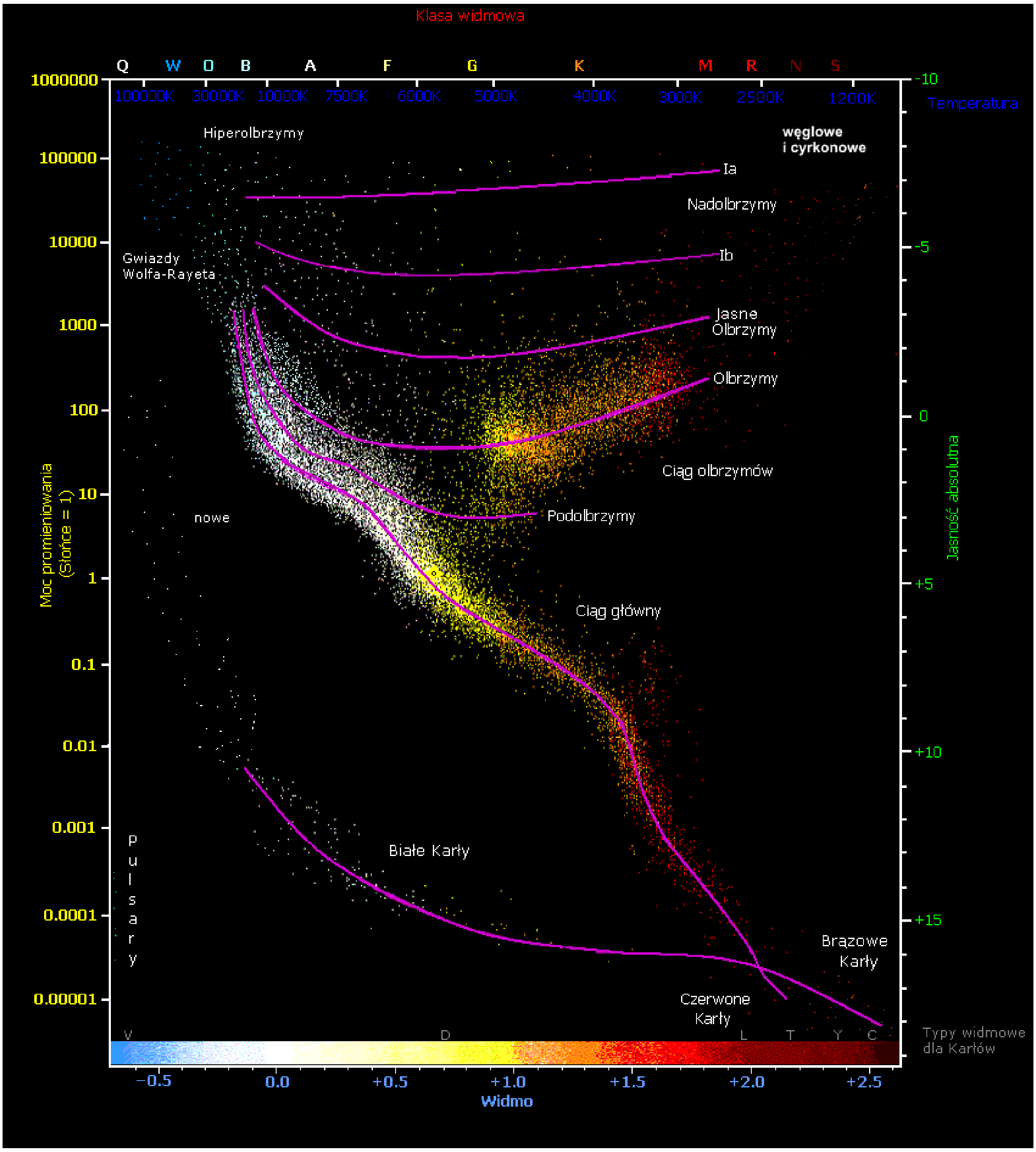
IV: podolbrzymy

V: karły (ciąg główny)

VI: podkarły

VII: białe karły

Dwie powyższe klasyfikacje łączą się w całość na diagramie Hertzsprunga-Russella (H-R). Okazuje się, że w cyklu ewolucji gwiazdy zajmują jedynie pewne wyszczególnione stany, co obrazuje zagęszczenie w obrębie danych linii na takiej przestrzeni fazowej (temperatury i mocy promieniowania).



Rysunek 1: Diagram Hertzsprunga-Russella

Znając widmo gwiazdy i umieszczając ją na diagramie H-R jesteśmy w stanie powiedzieć całkiem konkretne rzeczy o stadium ewolucji gwiazdy, a także jej masie i budowie wewnętrznej. Często jednak problem może stanowić samo umiejscowienie gwiazdy na diagramie! Wiemy bowiem, że jasność gwiazd maleje wraz z kwadratem odległości (co pokazaliśmy w poprzednim skrypcie), zatem nie znając odległości do gwiazdy nie wiemy jaką ma moc promieniowania... I na to są sposoby, ale nie będziemy się na tym skupiali :)

2 Astronomiczna skala jasności magnitudo

Oficjalnie nazywamy ją skalą wielkości gwiazdowych. Mimo początkowego skomplikowania w sformułowaniu tej skali, okazuje się ona bardzo praktyczna. Trzeba wiedzieć, że jest to skala względna. Oznacza to, że za punkt odniesienia służy nam jasność pewnej gwiazdy (powiedzmy, gwiazda A będzie miała jasność 0 mag) i w oparciu o to mierzymy jasności innych gwiazd.

2.1 Obserwowane wielkości gwiazdowe

Są to jasności gwiazd odbierane z naszej, ziemskiej perspektywy. Przykładowo, ogromna i jasna gwiazda może być dla nas dużo ciemniejsza od słabej gwiazdki typu K, o ile będzie się znajdowała bardzo daleko od nas.

Załóżmy, że promieniowanie od gwiazdy A ma natężenie I_{A}, natomiast od gwiazdy B – I_{B}. Definiując skalę magnitudo przyjmujemy, że:

$$\frac{I_{\mathrm{A}}}{I_{\mathrm{B}}} = 100 \iff m_{\mathrm{B}} - m_{\mathrm{A}} = 5\,\mathrm{mag}$$

gdzie przez m_i oznaczamy jasność obserwowaną gwiazdy i w systemie magnitudo. Zauważmy, iż oznacza to, że gwiazdy ciemniejsze mają większe wartości w tej skali! Przykładowo, gwiazda o jasności 0 mag jest ciemniejsza sto razy bardziej (pod względem natężenia) od gwiazdy o jasności -5 mag. Początkowo mało intuicyjne, ale łatwo się przyzwyczaić. Ludzkie oko nie wychwytuje tak mocno tego „100x ciemniejsze" – gdyby ktoś wam pokazał takie dwie gwiazdy, to pewnie byście się zdziwili, że aż tak się różnią natężeniami. Skala magnitudo okazuje się być bardziej naturalna w szacowaniu względnych jasności.

Dobrze, w takim razie wyznaczmy ogólny wzór pozwalający liczyć nam jasność gwiazdy B, jeśli znamy jasność gwiazdy A oraz ich natężenia promieniowania. Skalę magnitudo definiujemy jako skalę logarytmiczną, tzn. logarytm stosunku natężeń światła gwiazd różniących się w tej skali o 1 jest stały. Oznacza to, że:

$$\begin{aligned} &\log \frac{I_m}{I_{m+1}} = \alpha \\ &\log \frac{I_m}{I_{m+k}} = \log \frac{I_m}{I_{m+1}} + \log \frac{I_{m+1}}{I_{m+2}} + \cdots + \log \frac{I_{m+k-1}}{I_{m+k}} = k\alpha \end{aligned}$$

Zgodnie z naszym założeniem,

$$\begin{gathered} \log \frac{I_m}{I_{m+5}} = 5\alpha \iff 10^{5\alpha} = \frac{I_m}{I_{m+5}} = 100 = 10^2 \\ 5\alpha = 2 \implies \alpha = 0.4 \end{gathered}$$

Stąd widzimy, że:

$$k = 2.5 \log \frac{I_m}{I_{m+k}}$$

Twierdzenie 1 (Wzór Pogsona)**.**

$$m_\mathrm{B} - m_\mathrm{A} = 2.5 \log \frac{I_\mathrm{A}}{I_\mathrm{B}} = 2.5 \log \left[\frac{L_\mathrm{A}}{L_\mathrm{B}} \left(\frac{r_\mathrm{B}}{r_\mathrm{A}} \right)^2 \right]$$

Znając natężenia docierające do nas od dowolnych dwóch gwiazd możemy powiedzieć o ile różnią się ich obserwowane wielkości gwiazdowe.

2.2 Absolutne wielkości gwiazdowe

Aby móc porównywać gwiazdy fizycznie, potrzebujemy pewnej skali absolutnej, porównującej nam moce promieniowania gwiazd (a nie natężenia promieniowania). Taką jasność absolutną będziemy oznaczali przez M_i. Na pewno musi zachodzić:

$$M_\mathrm{B} - M_\mathrm{A} = 2.5 \log \frac{L_\mathrm{A}}{L_\mathrm{B}}$$

Spróbujmy teraz powiązać jasność obserwowaną danej gwiazdy m z jej jasnością absolutną M. W tym celu musimy sobie zdefiniować dokładniej jasność absolutną.

Definicja 1 (Jasność absolutna)**.** Jest to obserwowana jasność gwiazdowa jaką miałby obiekt, gdyby znajdował się w odległości 10 parseków od obserwatora.

W związku z powyższym,

$$\begin{aligned} M - m &= 2.5 \log \frac{I_m}{I_M} = 2.5 \log \frac{L}{L} \left(\frac{r}{10\,\mathrm{pc}} \right)^2 \\ &= 5 \log \frac{r[\mathrm{pc}]}{10} = 5\big(\log(r) - \log(10)\big) \\ M - m &= 5(\log r - 1) \end{aligned}$$

Twierdzenie 2 (Pogson dla jasności aboslutnej i obserwowanej)**.**

$$M = m + 5 \log r - 5$$

przy czym r jest odległością od gwiazdy i musi być wyrażone w parsekach.

Podsumowując, obserwowane wielkości gwiazdowe są substytutem natężenia promieniowania, natomiast absolutne wielkości gwiazdowe odpowiadają mocom promieniowania obiektów.