



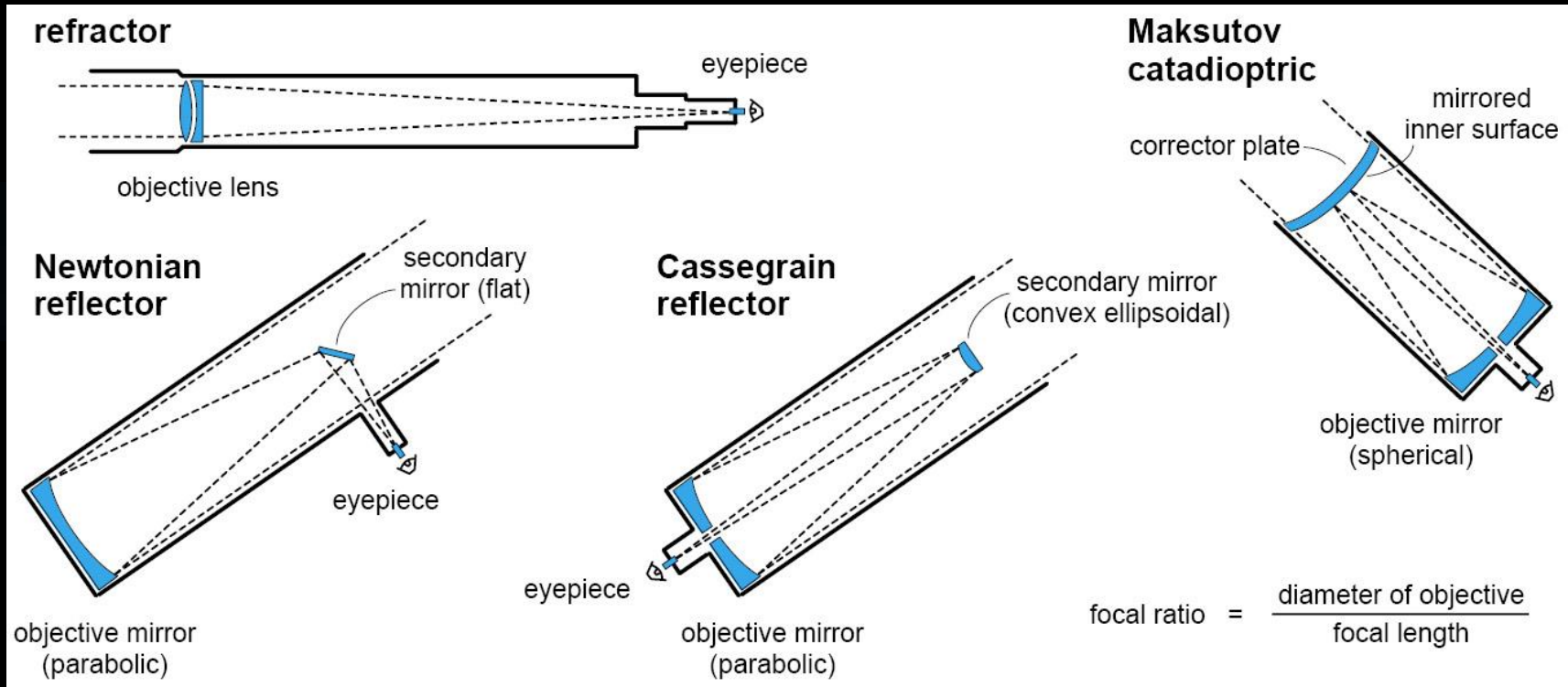
Elementy Astronomii i Astrofizyki

- skrót z wykładu III

Krzysztof Radziszewski
Instytut Astronomiczny UWr

Wykład III – Wrocław, 12 marca 2026 r.

Rodzaje teleskopów



- Rozdzielczość teleskopu:

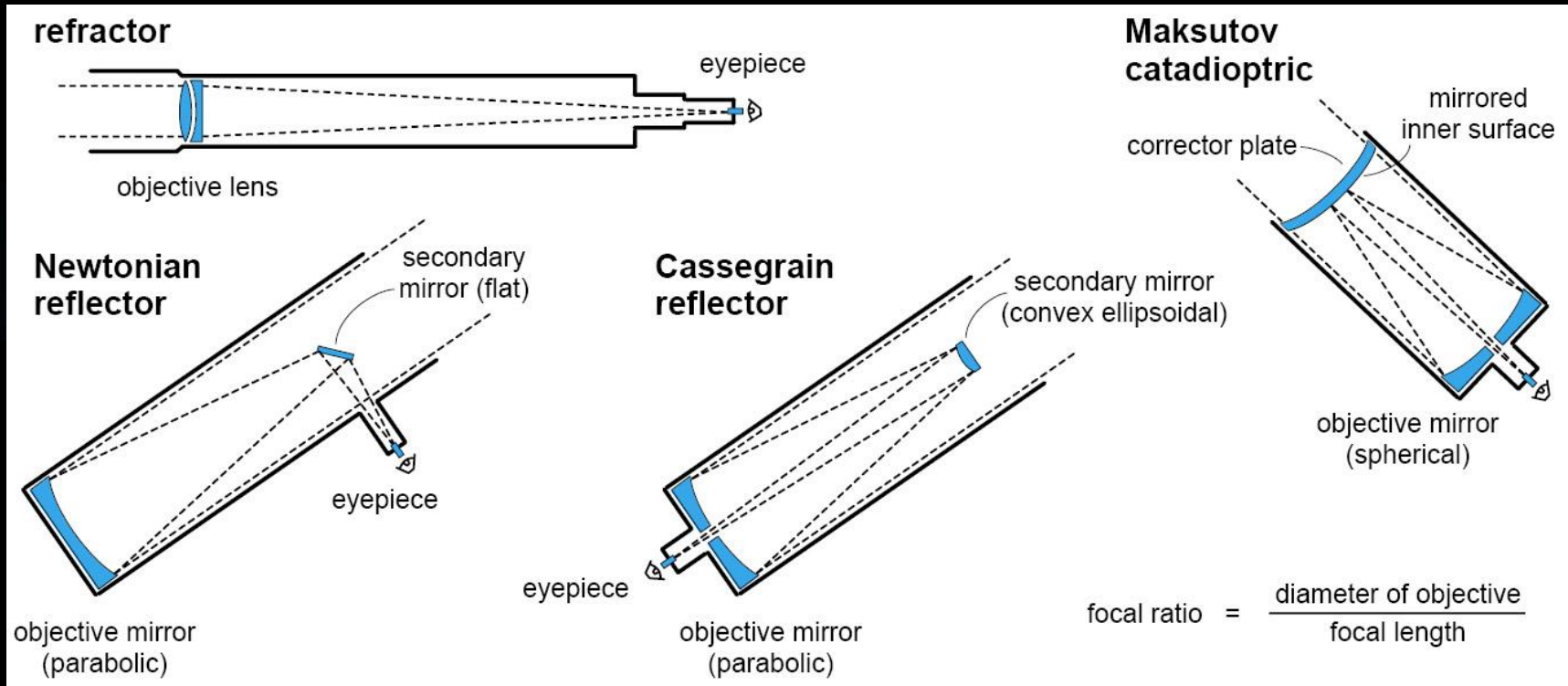
$$\frac{\text{ogniskowa obiektywu}}{\text{ogniskowa okularu}} = \frac{F}{F_{ok}}$$

- Światłosiła teleskopu:

$$\frac{\text{ogniskowa obiektywu}}{\text{średnica (apertura) obiektywu}} = \frac{F}{D}$$

F - ogniskowa obiektywu (teleskopu); D - Średnica obiektywu; F_{ok} - ogniskowa okularu

Rodzaje teleskopów



- Teoretyczna zdolność rozdzielcza (pomiędzy dwiema gwiazdami o jednakowych jasnościach) - tzw. kryterium Rayleigha:

$$R = \frac{1.22 \lambda}{D} \quad [\text{wynik w radianach}]$$

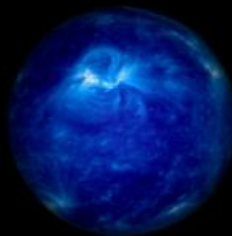
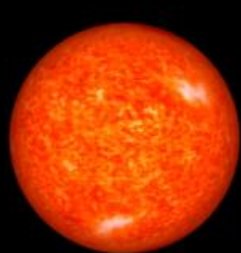
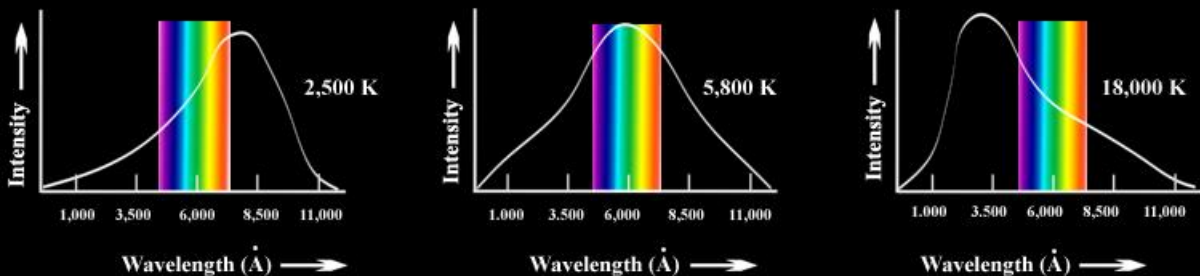
$$R = \frac{1.22 \lambda}{D} \cdot 206264.8 \quad [\text{wynik w "}]$$

D - Średnica obiektywu; λ - długość fali

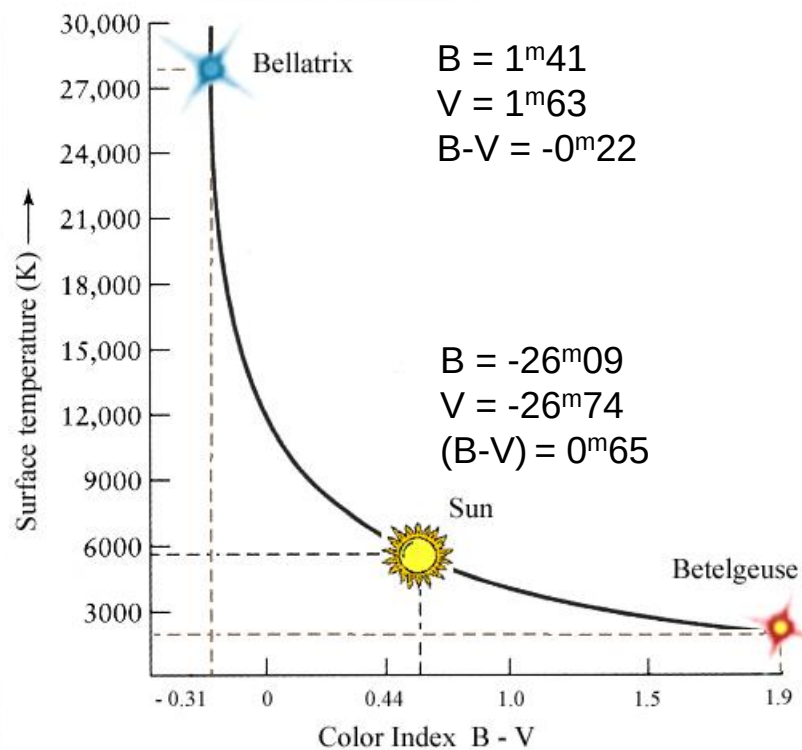
Wskaźniki barw i wyznaczanie temperatur

- Rozkłady planck'owskie o różnych temperaturach charakteryzują się różnymi proporcjami w ilości emitowanej energii dla ustalonych zakresów długości fal.
- Takie próbkowanie widma gwiazdy w dwóch różnych zakresach długości fal określamy mianem wskaźnika barwy gwiazdy (na przykład w systemie fotometrycznym Johnsona-Cousinsa - UBV).
- Próbkowanie widma w praktyce polega na rejestracji jasności gwiazdy za pomocą wybranych dwóch filtrów, np. B i V. Różnica tych pomiarów wyrażona w skali magnitudo informuje nas o ilorazie strumieni promieniowania w tych dwóch zakresach, zgodnie ze wzorem Pogsona (w przypadku filtrów B i V):

$$\frac{F_B}{F_V} = 10^{0.4 (V-B)} \quad \text{lub} \quad \frac{F_B}{F_V} = 10^{-0.4 (B-V)}$$



Colors are exaggerated



B = 2^m66
V = 0^m80
B-V = 1^m86

U-V	B-V	T _{eff} (K)
-1,47	-0,32	45 000
-1,44	-0,31	40 600
-1,38	-0,30	29 200
-1,10	-0,24	21 000
-0,72	-0,16	15 200
-0,54	-0,12	13 500
0,00	0,00	9600
+0,12	+0,06	9040
+0,21	+0,12	8480
+0,30	+0,19	7920
+0,37	+0,31	7350
+0,39	+0,36	7050
+0,43	+0,43	6700
+0,54	+0,51	6400
+0,70	+0,59	6050
+0,70	+0,68	5780
+0,86	+0,75	5660
+1,29	+0,82	5240
+1,60	+0,92	4960
+1,98	+1,07	4600
+2,52	+1,30	4000
+2,67	+1,41	3750
+2,69	+1,52	3600
+2,70	+1,56	3400
+2,99	+1,72	3100

Ekstynkcja międzygwiazdowa a linie widmowe

- Ekstynkcja międzygwiazdowa, mimo zniekształcenia oryginalnego widma gwiazdy, nie likwiduje faktu istnienia linii widmowych. Można zatem wykorzystać informację o liniach widmowych występujących w widmie gwiazdy do określenia jej temperatury.

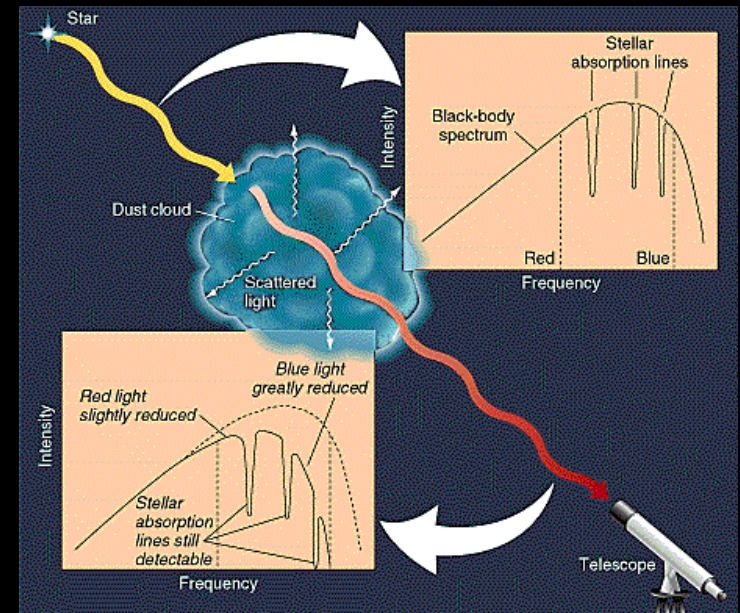
- Linie widmowe (oprócz nielicznych wyjątków - np. linia 511 keV) są efektem przejścia atomu z jednego stanu energetycznego do drugiego. Zmiany spowodowane te są zmianami stanu energetycznego elektronów dla danego atomu. Przejście na wyższy poziom energetyczny wymaga dostarczenia energii, proces odwrotny wiąże się z emisją kwantu promieniowania. W obu przypadkach porcja energii stanowi różnicę pomiędzy energią końcową (E_E) i początkową (E_B):

$$E_E - E_B = \frac{hc}{\lambda}$$

h - stała Plancka

c - prędkość światła

λ - długość fali



Jak wykorzystać linie widmowe do określenia temperatury gwiazdy?

Wykresy pokazujące wpływ temperatury na stopień jonizacji wodoru (helu, czy żelaza), można wyliczyć na podstawie prawa jonizacji Sahy.

Identyfikacja linii jakiegoś jonu w obserwowanym widmie dostarcza dowodu, że w ośrodku, który to widmo wyemitował, panuje temperatura w określonym zakresie wartości, np. dla He II, pomiędzy 10 000 i 30 000 K. Przedział wydaje się szeroki, ale identyfikacja obecności jonów innych pierwiastków, pozwala na jego zawężenie.

Temperatura ma wpływ również na to, że spośród wielu linii charakterystycznych dla jonu danego pierwiastka mogą powstawać tylko niektóre z nich. Mówi o tym prawo Boltzmanna (dla linii charakterystycznych dla jonu danego pierwiastka):

$$\frac{n_i}{n_j} = \frac{g_i}{g_j} \exp\left(-\frac{h\nu_{ij}}{kT}\right)$$

(stosunek liczby cząstek (n_i) w wyższym stanie energetycznym do liczby cząstek (n_j) w niższym stanie energetycznym w równowadze termodynamicznej. Równanie to wyraża prawdopodobieństwo obsadzenia danego poziomu energetycznego)

n_i, n_j - liczba cząstek odpowiednio na wyższym i niższym poziomie energetycznym

g_i, g_j - waga statystyczna odpowiednio dla poziomu i i j

ν_{ij} - częstotliwość przejścia między poziomami i i j

Prawo jonizacji Sahy

Równanie Sahy (Meghnad Saha: 1893-1956), po raz pierwszy wyprowadzone przez Sahę w 1920 r.:

$$\frac{N_k}{N_0} = \frac{2}{n_e} \frac{(2\pi m_e k_B T)^{3/2}}{h^3} \frac{g'_k}{g_0} \exp \left(-\frac{\epsilon_k}{k_B T} \right)$$

Równanie Sahy, które podaje stosunek populacji do stanu podstawowego N_0 , można uogólnić na względny stosunek pomiędzy dowolnymi dwoma różnymi stanami jonizacji k i $k+1$

$$\frac{N_{k+1}}{N_k} = \frac{2}{n_e} \frac{(2\pi m_e k_B T)^{3/2}}{h^3} \frac{g_{k+1}}{g_k} \exp \left(-\frac{\epsilon_{k+1} - \epsilon_k}{k_B T} \right)$$

=> Więcej szczegółowych informacji można znaleźć w książce:

Markusa Aschwandena: "Physics of the Solar Corona"

2nd ed., Praxis Publishing Ltd., 2005

Widmo i linie widmowe - klasyfikacja widmowa gwiazd

Na podstawie występowania charakterystycznych linii w widmach gwiazd dokonano ich klasyfikacji, definiując tzw. **typ widmowy** gwiazdy.

Zasadniczą pracę wykonał zespół pracujący pod kierunkiem Edwarda Pickeringa na Harvardzie (dlatego mówimy nieraz o klasyfikacji harwardzkiej).

- 1872 rok - Henry Draper zarejestrował fotograficznie pierwsze widmo gwiazdy;
- 1890 rok - pierwszy katalog 10 tysięcy gwiazd (Pickering, Fleming);
- 1948 rok - katalog HD zawiera widma 359 tysięcy gwiazd.

Początkowo gwiazdy, w których widmach identyfikowano ten sam zestaw linii, przydzielano do danego typu widmowego oznaczanego kolejnymi wielkimi literami alfabetu łacińskiego (O, B, A, F, G, K, M).

Kiedy zdano sobie sprawę z zależności od temperatury, litery oznaczające przynależność do danego typu widmowego uszeregowano według malejącej temperatury, a dla większej precyzji wprowadzono pojęcie podtypu widmowego, który oznaczono cyfrą arabską zapisaną po literze.

[Np. B0 i B9 oznaczają odpowiednio najgorętsze i najchłodniejsze gwiazdy typu widmowego B]

Klasyfikacja widmowa gwiazd

Podstawy klasyfikacji widmowej zostały ugruntowane na podstawie najłatwiej dostępnych widm (zakres widzialny i bliska podczerwień: 4000 - 9000 Å).

Na przełomie XX i XXI wieku znacznie zintensyfikowano obserwacje w dalszej podczerwieni, gdzie większość swojego promieniowania emitują gwiazdy o bardzo niskiej temperaturze np. brązowe karły.

Wprowadzono wówczas nowe typy widmowe: L, T, Y .

"Najśłabsze" gwiazdy i brązowe karły:

L - zawierające w widmie dużo litu ($T \sim 1400-2200 \text{ K}$)

T - chłodniejsze od klasy L ($T \sim 1000 \text{ K}$)

Y - T poniżej 500 K.

a także:

W (WR) - gwiazdy Wolfa-Rayeta (T do 100 000 K)

Q - gwiazdy nowe

C - gwiazdy węglowe (część dawniej oznaczano R i N)

S - gwiazdy cyrkonowe

P - mgławice planetarne