

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Departamento de Astronomia

Fotometria II

Prof. Tibério B. Vale

Fotometria

- **Sistemas de Magnitudes:** depende da eficiência espectral do equipamento (telescópio+filtro+detector)

$$F_{obs} = \int_0^{\infty} \Phi(\lambda)F(\lambda)d\lambda \simeq F(\lambda_o) \int_0^{\infty} \Phi(\lambda)d\lambda,$$

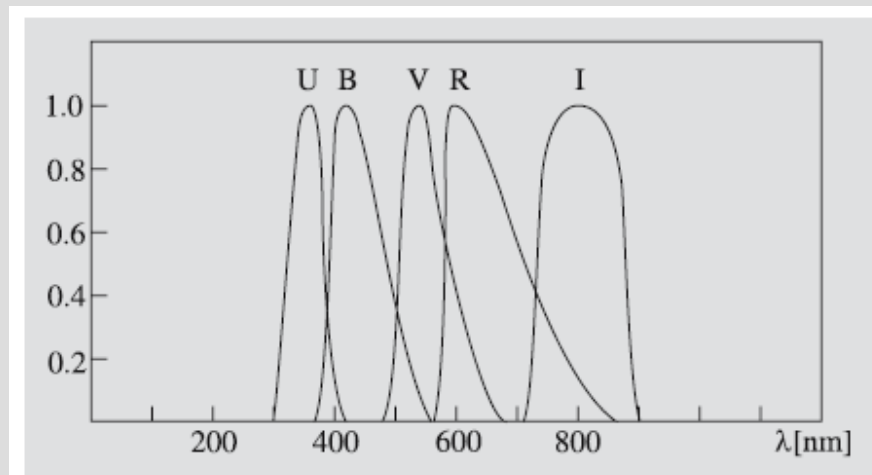
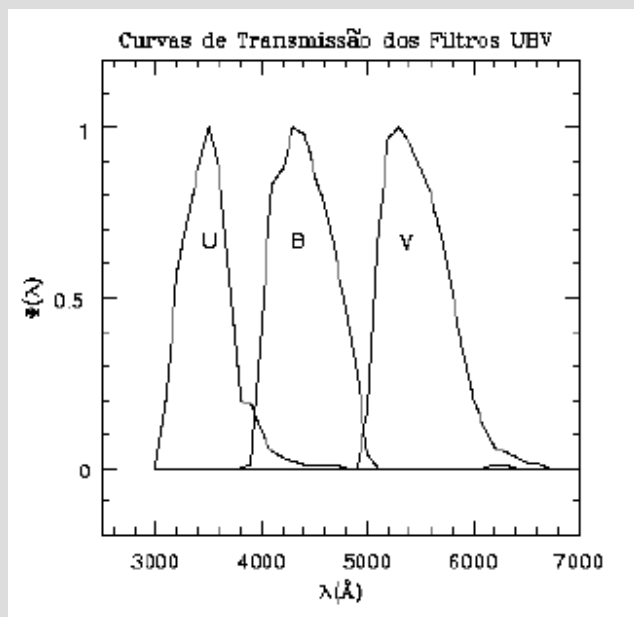
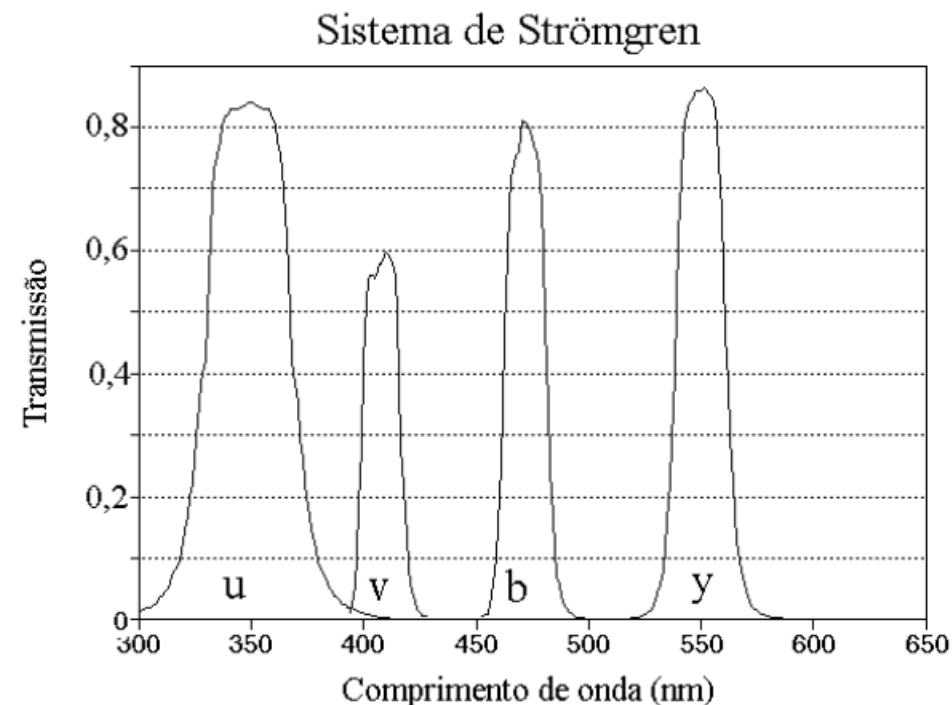


Fig. 4.6. Relative transmission profiles of filters used in the UBVRI magnitude system. The maxima of the bands are normalized to unity. The R and I bands are based on the system of Johnson, Cousins and Glass, which includes also infrared bands J, H, K, L and M. Previously used R and I bands differ considerably from these

Fotometria

- Sistema Johnson-Morgan (UBV) - 1950
- Sistema Johnson-Cousins (UBVRI)
(V => visual)
- Sistema Strömgren (uvby) – 1963 – estelar
- Sistema Gunn (griz) – extragaláctico



$$V = -2,5 \log F_V + \text{const.}$$

Table 4.1. Wavelength bands of the UBVRI and uvby filters and their effective (\approx average) wavelengths

Magnitude	Band width [nm]	Effective wavelength [nm]	
U	ultraviolet	66	367
B	blue	94	436
V	visual	88	545
R	red	138	638
I	infrared	149	797
u	ultraviolet	30	349
v	violet	19	411
b	blue	18	467
y	yellow	23	547

Fotometria

- Calibração feita com uso de estrelas padrões (ex: Vega)
- Vega (α Lyrae): 25 AL, 5ª estrela mais brilhante, $T_{\text{eff}} = 9500\text{K}$
 - $f_{\lambda}(U) = 4,35 \times 10^{-12} \text{ W cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
 - $f_{\lambda}(B) = 7,20 \times 10^{-12} \text{ W cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$
 - $f_{\lambda}(V) = 3,92 \times 10^{-12} \text{ W cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$

- Sabendo

$$V = -2,5 \log F_V + \text{const.}$$

e

$$F_{\text{obs}} = \int_0^{\infty} \Phi(\lambda) F(\lambda) d\lambda$$

Então

$$m_V = -2,5 \log \left(\int_0^{\infty} \Phi_V F(\lambda) d\lambda \right) - 13,74$$

$$m_B = -2,5 \log \left(\int_0^{\infty} \Phi_B F(\lambda) d\lambda \right) - 12,97$$

$$m_U = -2,5 \log \left(\int_0^{\infty} \Phi_U F(\lambda) d\lambda \right) - 13,87$$

Fluxo fora da atmosfera em 5500\AA

$$\log f_{\lambda}(V) = -0,4m_V - 8,43$$

Fluxo na fotosfera da estrela (5500\AA)

$$\log F_{\lambda}(V) = -0,4m_V - 8,85 - 2 \log (R/R_{\odot})$$

Fotometria

- Magnitude do céu em diferentes filtros

Tabela 20.1: Magnitude do céu, por segundo de arco ao quadrado

Cor	Comprimento de onda	Do espaço	Lua Nova	Lua Cheia
U	3700Å	23,2	22,0	
B	4400Å	23,4	22,7	19,4
V	5500Å	22,7	21,8	19,7
R	6400Å	22,2	20,9	19,9
I	8000Å	22,2	19,9	19,2
J	1,2μm	20,7	15,0	15,0
H	1,6μm	20,9	13,7	13,7
K	2,2μm	21,3	12,5	12,5

Conversão entre sistemas de magnitudes

Bands	Equation	Reference
Gunn g to Johnson B:	$B = g + 0.51 + 0.60*(g-r)$	[1]
Gunn g to Johnson V:	$V = g - 0.03 - 0.42*(g-r)$	[1]
Gunn r to Mould R:	$R = r - 0.51 - 0.15*(g-r)$	[1]
Gunn g to Photographic J:	$J = g + 0.39 + 0.37*(g-r)$	[1]
Gunn r to Photographic F:	$F = r - 0.25 + 0.17*(g-r)$	[1]
Gunn i to Mould I:	$I = i - 0.75$ (approx)	[1]

Fotometria

- **Índice de cor:** é a diferença entre magnitudes em dois filtros
- (B-V) ou (U-B): são importantes para determinar a temperatura das estrelas (décimos ou centésimos de magnitude)
- **Magnitude bolométrica:** magnitude total em todos os comprimentos de onda – difícil de se obter devido a absorção atmosférica e por necessitar de muitos filtros.

$$L = 4\pi R^2 \int_0^{\infty} F_{\nu} d\nu = 4\pi R^2 F_{\text{bol}}$$

$$m_{\text{bol}} = m_V - C.B.$$

- **Magnitude absoluta:** é a magnitude aparente que um objeto apresenta a uma distância de 10pc.

$$\frac{F(r)}{F(10)} = \left(\frac{10 \text{ pc}}{r}\right)^2$$

$$m - M = -2.5 \lg \frac{F(r)}{F(10)} = -2.5 \lg \left(\frac{10 \text{ pc}}{r}\right)^2$$

Módulo de distância:

$$m - M = 5 \lg \frac{r}{10 \text{ pc}}$$

$$m - M = 5 \lg r - 5$$

Fotometria

- Extinção atmosférica

$$F(x + dx) = F(x) - kF(x)ds,$$

$$dF = F(x + dx) - F(x) = -kF(x)ds$$

$$dF = -F \cdot k \cdot ds \Rightarrow \frac{dF}{F} = -k \cdot ds$$

$$dx = ds \cos z \quad ds = \sec z dx,$$

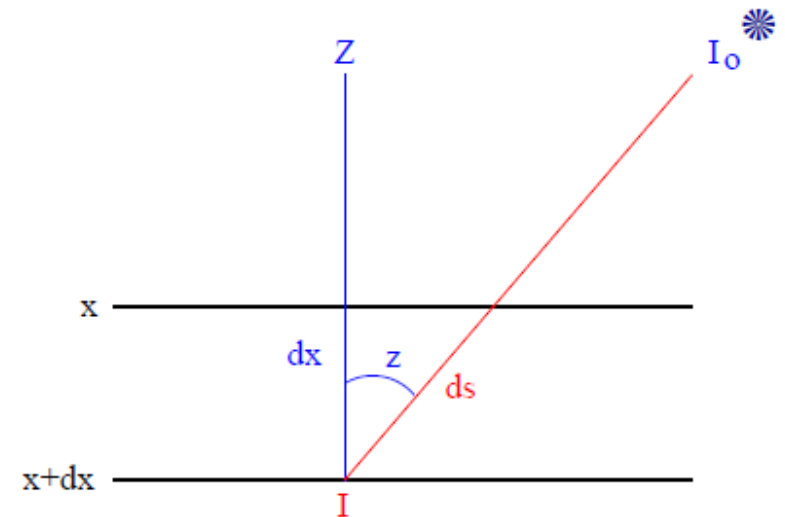
$$\frac{dF}{F} = -k \sec z dx$$

$$\int_{F_o}^F \frac{dF}{F} = -k \sec z \int_0^H dx$$

$$\ln \frac{F}{F_o} = -k \sec z H$$

$$F = F_o e^{-k \sec z H}$$

$$m = -2,5 \log F_o + (2,5 \log e) \tau_o \sec z = m_o + K \cdot X$$



$$m(\lambda) = m_o(\lambda) + K(\lambda) \cdot X$$

$$K(U) \simeq 1,48$$

$$K(B) \simeq 0,56$$

$$K(V) \simeq 0,40$$

$$m = m_o + 1,086 \tau_o \sec z = m_o + 1,086 \tau = m_o + K \cdot X$$

Fotometria

- Extinção interestelar
- F_0 – fluxo real, F – fluxo observado

$$A_{\lambda_1} - A_{\lambda_2} = 2,5 \left\{ \log \left[\frac{F_0(\lambda_1)}{F_0(\lambda_2)} \right] - \log \left[\frac{F(\lambda_1)}{F(\lambda_2)} \right] \right\}$$

- Se não tivéssemos Extinção Interestelar: $M_V = V_0 - 5 \log d(\text{pc}) + 5$
- Com Extinção Interestelar: $M_V = V - A_V - 5 \log d(\text{pc}) + 5$
- Em V a extinção é da ordem de 1mag/kpc

$$M_B = B - A_B - 5 \log d(\text{pc}) + 5$$

$$M_B - M_V = (B - V) - (A_B - A_V)$$

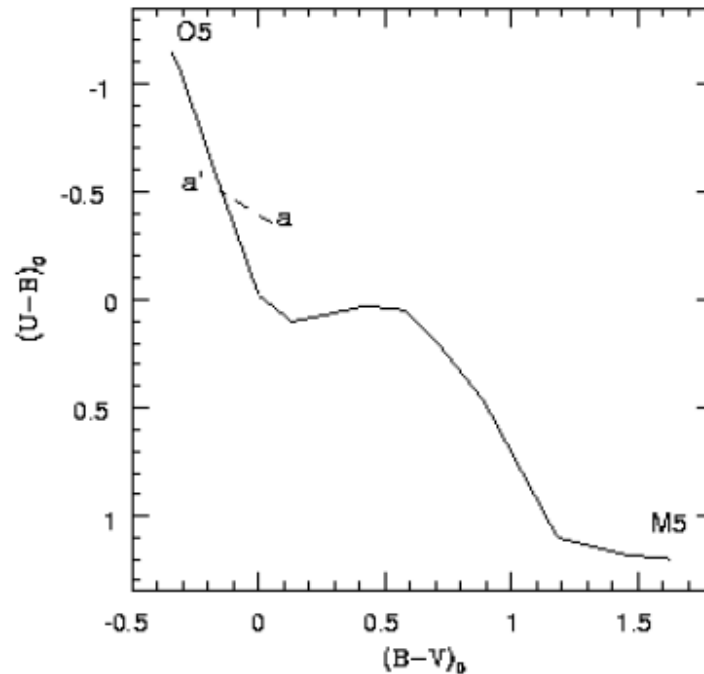
$$(B - V)_0 = (B - V) - E_{B-V}$$

$(B-V)_0$ - Índice de cor intrínseco

E_{B-V} - Excesso de cor

Fotometria

- Excesso de cor
- Importância de se medir dois índices de cor para determinar temperatura de estrelas



Fotometria

- Radiação de Corpo Negro

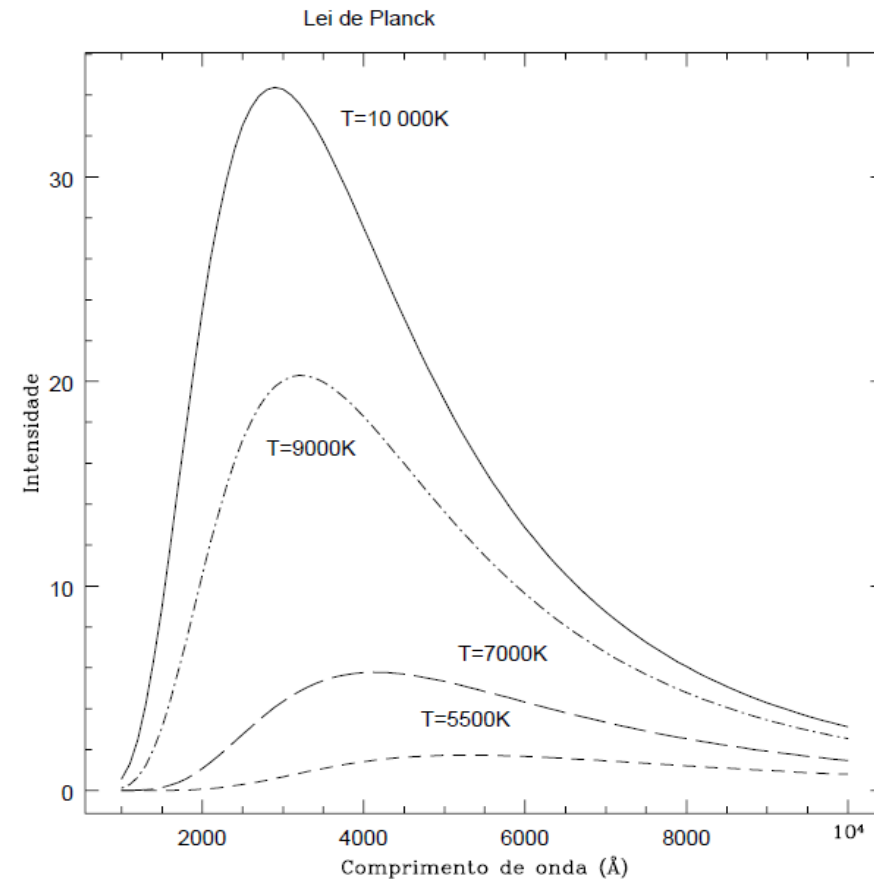
- Lei de Wien(1893): $h\nu_{max} = 2,821 kT.$

- Lei de Planck(1900):
intensidade específica

$$E = h\nu$$

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

h = constante de Planck = $6,63 \times 10^{-34}$ Js,
 c = velocidade da luz = 3×10^8 m s⁻¹,
 k = constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹



Fotometria

- Radiação de Corpo Negro
- Lei de Stephan-Boltzmann

$$F = 2\pi \int_0^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta \int_0^{\infty} B_\nu(T) d\nu = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ergs cm}^{-2} \text{K}^{-4} \text{s}^{-1} = 5,67 \times 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$$

$$F \equiv \sigma T_{\text{ef}}^4$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

Fotometria

- Qual a temperatura da Terra dada pela Radiação de corpo negro?

$$F_{\oplus} = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2}$$

$$P = \pi R_{\oplus}^2 F_{\oplus} = \pi R_{\oplus}^2 \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2}$$

$$\bar{F}_{\oplus} = \frac{P}{4\pi R_{\oplus}^2} = \frac{L_{\odot}}{16\pi r^2} = 3,5 \times 10^5 \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$$

$$\sigma T_{\oplus}^4 = 0,61 \bar{F}_{\oplus}$$

$$T_{\oplus} = 249 \text{ K.}$$

Na realidade, devido a efeito estufa (CO₂ e vapor d'água)
T=290K