

Estrelas são

- Abundantes
 - $\sim 10^{12}$ na nossa Galáxia
 - $\sim 10^{22}$ no Universo
- Motores de Transformação
 - Elementos químicos
 - Flutuações
- Essenciais para a vida

Marcos evolutivos

- Mapas celestes com as posições das estrelas são feitos deste 1500 anos AC: egípcios e babilônios
- Céu é considerado estático: estrelas são imóveis e com brilho constante
- Gregos: Aristillus, Timocharis, Hiparcos e Ptolomeu elaboram mapas detalhados
 - Hiparcos registra pela primeira vez a aparição de uma estrela nova no céu
- Em 185 DC, astrônomos chineses registram a primeira explosão de uma estrela

Marcos evolutivos

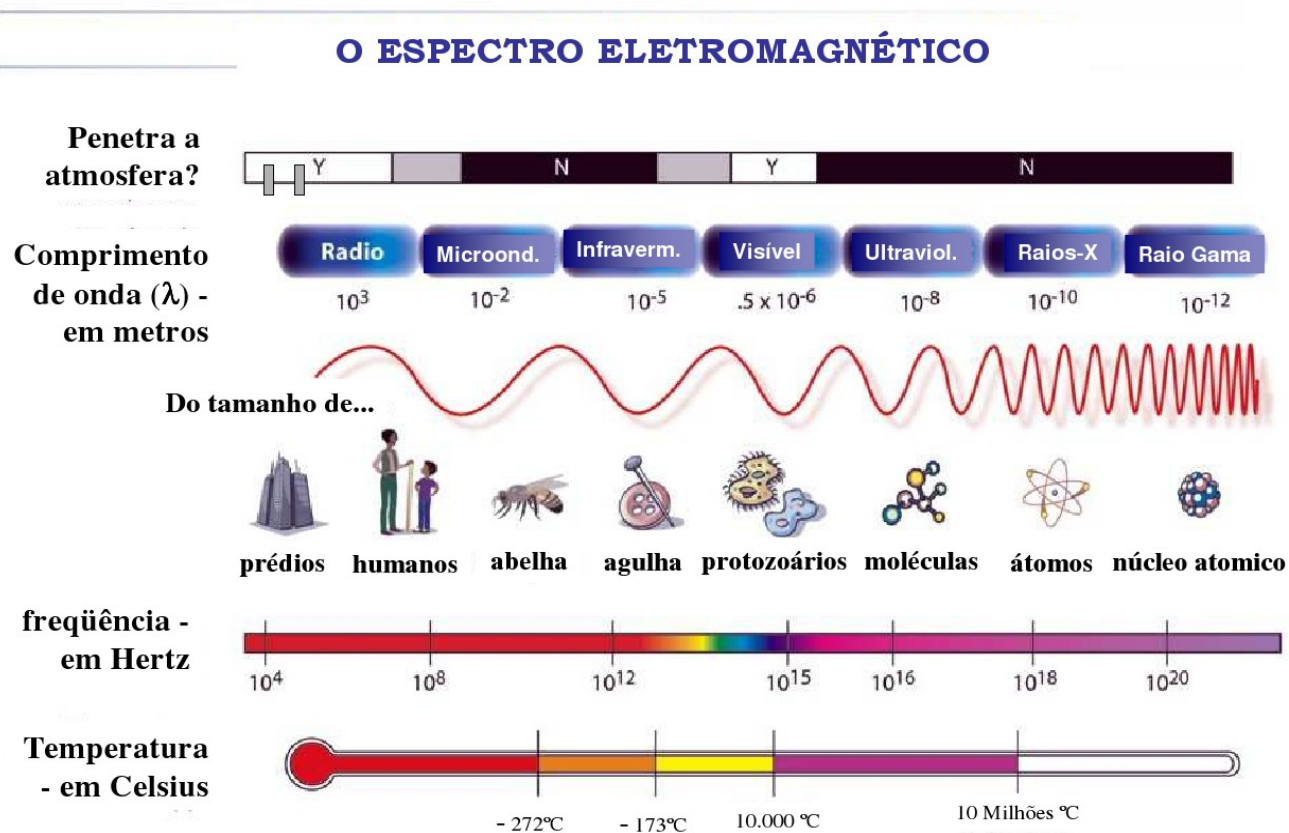
- ~1000 DC ganham popularidade de que estrelas não são distribuídas uniformemente no espaço: cluster, galáxias
- ~ 1500 Tycho Brahe registra outras estrelas novas e surgem as primeiras ideias de que o Sol é uma estrela
- ~1700 Montanari mede a variação do brilho da estrela Algol e Halley mede o movimento própria de estrelas próximas
- ~ 1800 Secchi e Franhofer medem os primeiros espectros de estrelas e Bessel mede a distância de uma estrela

Marcos evolutivos

- 1900 fotografia, sensores óticos e outros comprimentos de onda da luz e outros além do visível e outros mensageiros (partículas) começam a ser estudados
 - Schwarzschild mede a cor e a temperatura de uma estrela
- 1921 Michelson mede o diâmetro de uma estrela
- Modelos do interior e da evolução estelar começam a ser desvendados

Sinal

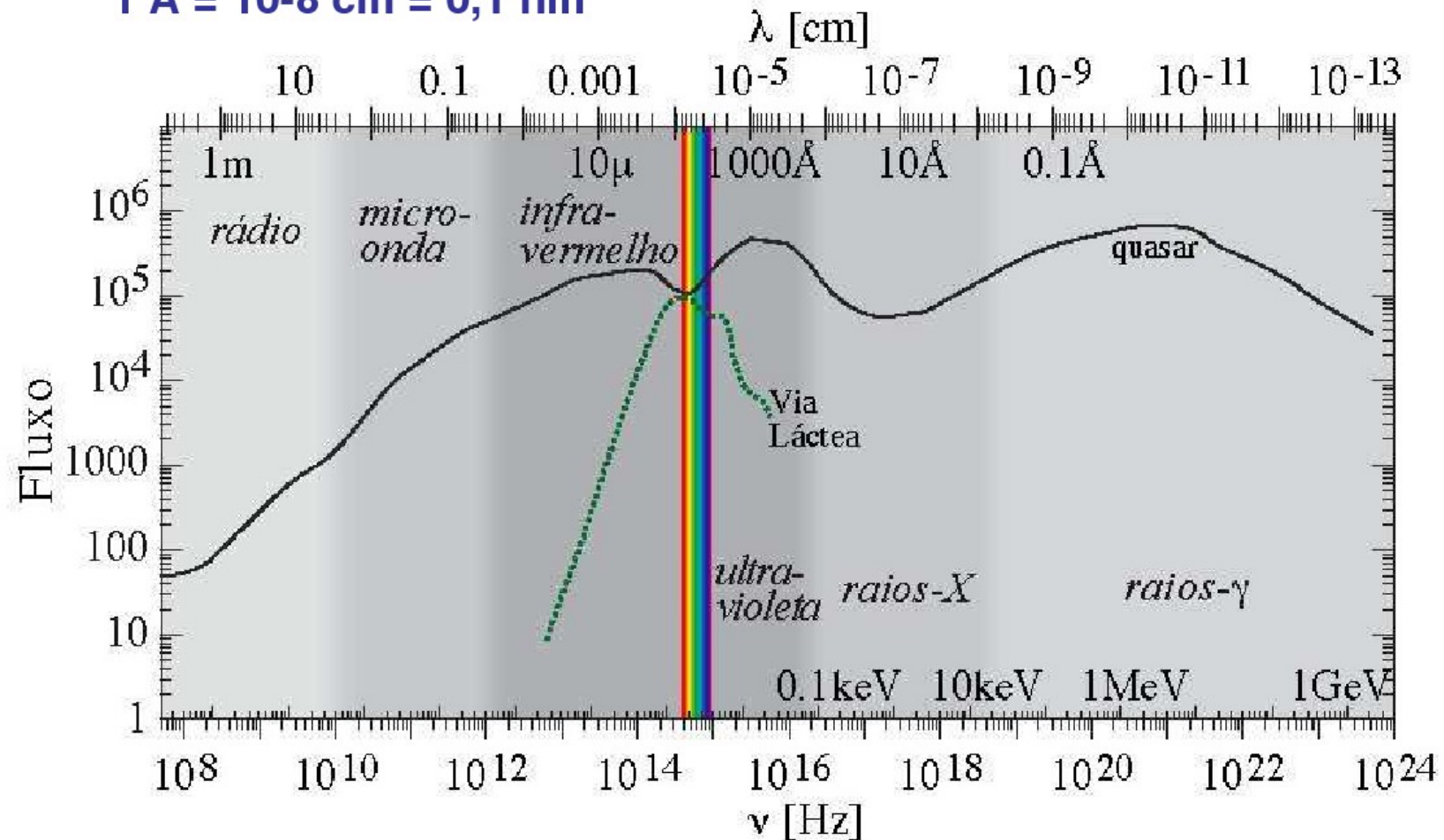
- Principal mensageiro - mais utilizado historicamente é a luz
- Estudaremos outros mensageiros mais tarde



Espectro eletromagnético

VISIVEL: do violeta ao azul: 3900 Å a 7200 Å

1 Å = 10^{-8} cm = 0,1 nm



Informação sobre as propriedades físicas dos astros são obtidas direta ou indiretamente de seus espectros: temperaturas, densidades e composições

Luminosidade e Brilho

Luminosidade = potência emitida

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

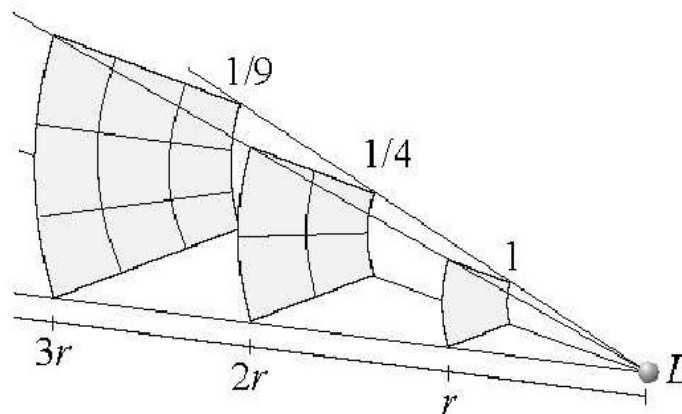
Brilho = fluxo de energia por unidade
de área

$$F(r) = \frac{L}{4\pi r^2}$$

Brilho -> fluxo radiante

Fluxo radiante cai com a distância
ao quadrado

$$F(r)r^2 = F(R_*)R_*^2$$



Magnitude Aparente

escala logaritimica de brilho relativa a um observador na Terra

Definido tal que magnitude cresce com o inverso do brilho e o passo da escala é tal que a magnitude aumenta de 5 quanto a luminosidade aumenta de um fator 100

$$m = -2.5 \log_{10} F + C$$

Historicamente, o ponto zero da escala foi escolhido como sendo a estrela Vega

Vega:

$$M = 0$$

Distância = 7.68 ± 0.02 pc

Luminosidade = 40.12 ± 0.45 x Luminosidade do Sol

Usando:

$$F(r) = \frac{L}{4\pi r^2}$$

Calcula a Luminosidade de Vega e impondo $M = 0$ calcula-se C .

Complicações

A luminosidade é função do comprimento de onda: $L(\lambda)$

Luminosidade bolométrica - Magnitudes bolométricas: todos os comprimentos de onda

$$m = -2.5 \log_{10} \int_0^{\infty} F(\lambda) + C$$

Mas não existe instrumento de mede todos os comprimentos de onda

$$m = -2.5 \log_{10} \int_0^{\infty} F(\lambda)S(\lambda) + C$$

onde $S(\lambda)$ é a sensibilidade do instrumento em função do comprimento de onda

Mas o brilho intrínscico de Vega varia com o tempo
e as medidas tem uma incerteza inevitável (i.e. atmosfera)

Solução: Resolução B2 da IAU 2015

$$m_{bol} = -2.5 \log_{10} L/L_0$$

L_0 é a luminosidade de ponto zero 3.0128×10^{28} W

$$m_{bol} = -2.5 \log_{10} \int_0^{\infty} F(\lambda) S(\lambda) + 71.197425$$

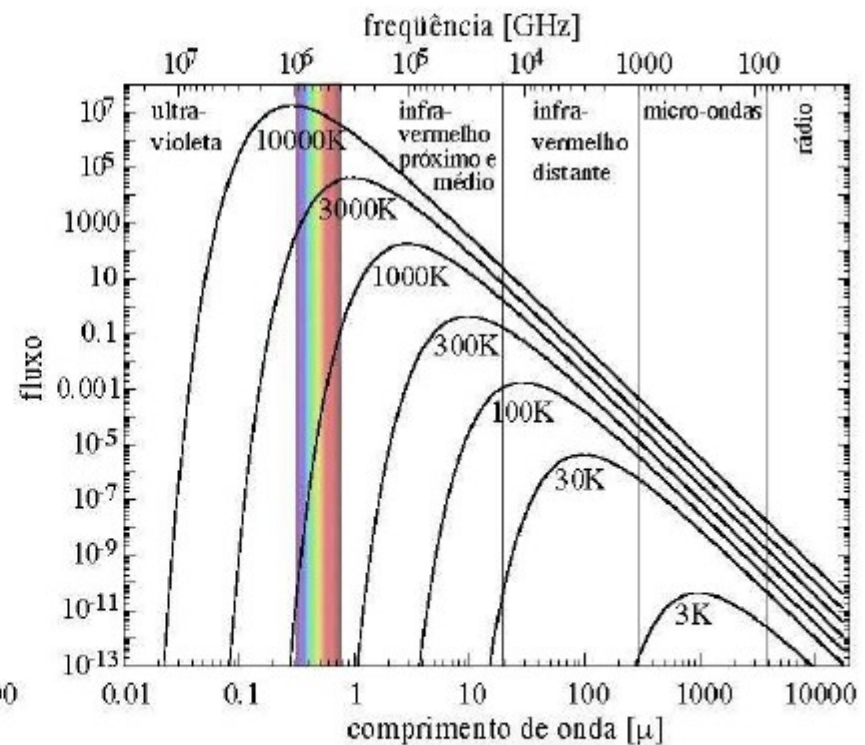
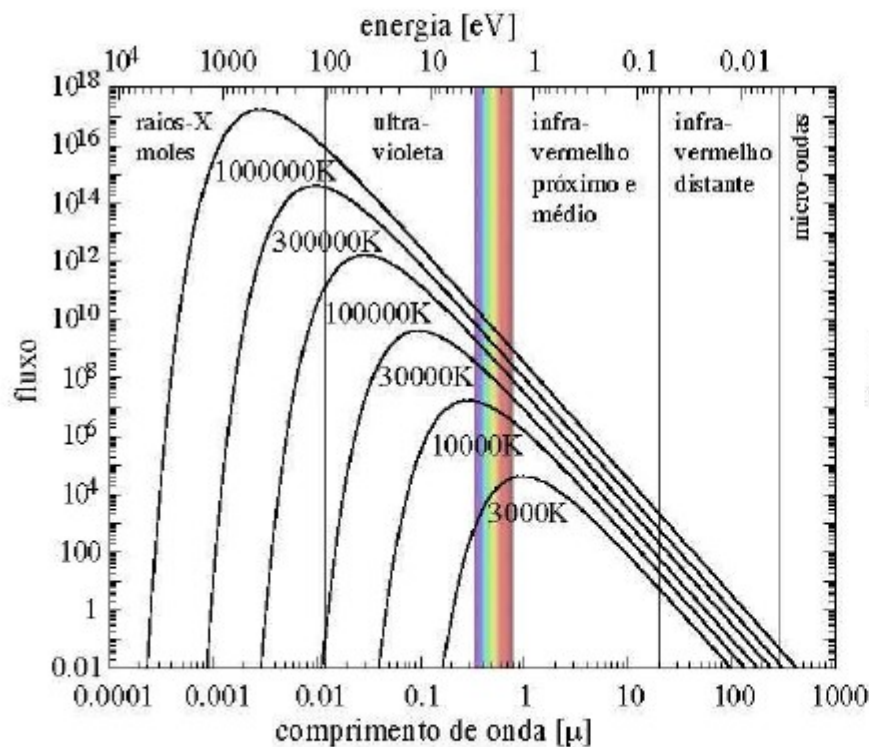
Magnitude aparente (m) é relativa à Terra

Magnitude absoluta (M) é relativa à um observador a 10pc da fonte

Radiação de Corpo Negro

- Intensidade, $I(\nu, T)$ corresponde ao espectro de corpo negro para uma dada temperatura.

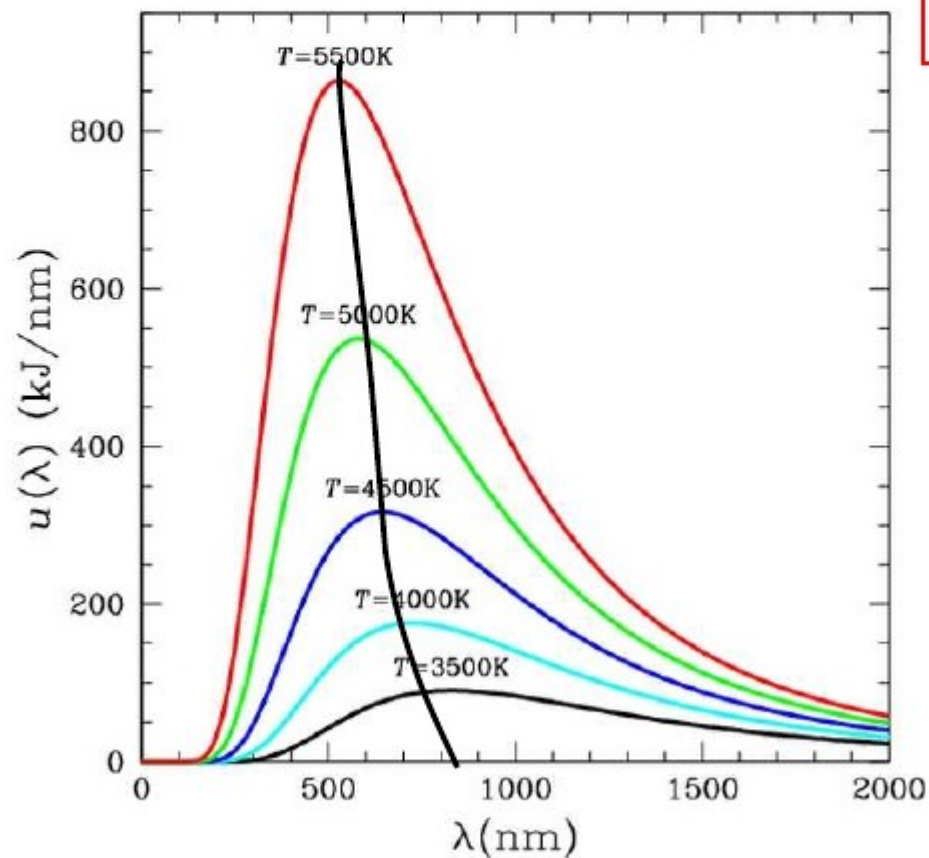
$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$



Lei de Wien

$$\frac{d I_{\lambda}}{d \lambda} = 0$$

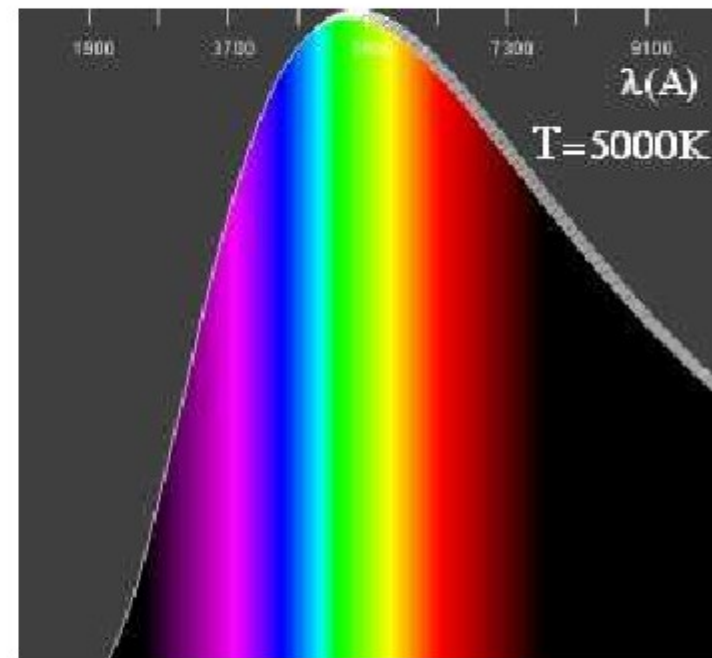
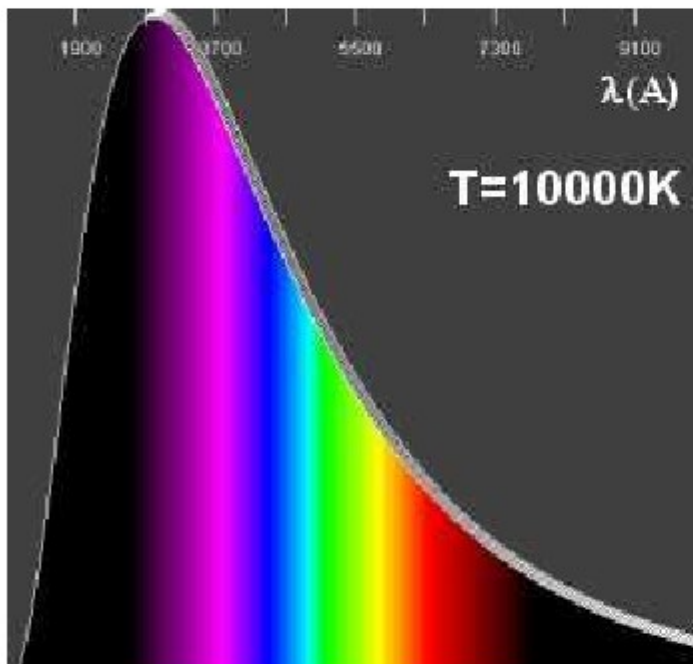
- Lei de Wien (descoberta em 1893): relação entre o comprimento de onda onde a emissão é máxima e a temperatura do corpo negro.



$$T \times \lambda_{\max} = 2,898 \times 10^6 \quad \text{K} \times \text{nm}$$

- Por exemplo:
 - $T = 50000 \text{ K}$
 $\lambda_{\max} = 580 \text{ \AA}$
 - $T = 5000 \text{ K}$
 $\lambda_{\max} = 5800 \text{ \AA}$
 - $T = 310 \text{ K (37 } ^\circ\text{C)}$
 $\lambda_{\max} = 9,3 \text{ } \mu\text{m}$
 - $T = 2,7 \text{ K}$
 $\lambda_{\max} = 1,1 \text{ mm}$

Estudando o espectro da estrela, podemos descobrir qual cor é mais fortemente irradiada



\Rightarrow calculamos a temperatura pela Lei de Wien

$$\lambda_{\text{m\acute{a}x}} \times T = 0,290 \text{ cm.K}$$

Lei de Stefan – Boltzmann

A integral da função F_ν sobre todas as frequências ν , determina a energia total emitida por unidade de tempo (area sob a curva de Planck):

$$F = \int F_\nu d\nu = \sigma T^4 \quad [\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-2}]$$

$\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-1}$: constante de Stefan – Boltzmann.

Demonstremos:

$$F = \frac{2\pi h}{c^2} \int \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu \Rightarrow \text{chamando } \eta = \frac{h\nu}{kT}, \quad d\eta = h d\nu/kT$$

$$\rightarrow F = \frac{2\pi h}{c^2} \left(\frac{kT}{h}\right)^4 \int_0^\infty \frac{\eta^3}{e^\eta - 1} d\eta$$

que resulta em

$$F = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} T^4 \equiv \sigma T^4$$

Parâmetros Estelares

Luminosidade L_{\star}

⇒ energia total emitida em todas as direções

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Fluxo emitido na superfície da estrela $F(R_{\star})$

$$F(R_{\star}) = \frac{L_{\star}}{4 \pi R_{\star}^2}$$

Fluxo observado

$$F(d) = \left(\frac{R_{\star}}{d}\right)^2 F(R_{\star})$$

Lei de Stefan – Boltzmann

$$F(R_{\star}) = \int B_{\nu} d\nu = \sigma T_{\text{ef}}^4$$

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

$$L_{\star} = 4 \pi R_{\star}^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

→

$$R_{\star} = \left(\frac{L_{\star}}{4 \pi \sigma T_{\text{ef}}^4}\right)^{\frac{1}{2}}$$

→ Raio Estelar

Diagrama H-R

$$L_* = F_* (4 \pi R_*^2)$$

$$F_* = \sigma T_*^4$$

$$R_* = \frac{1}{T_{ef}^2} \sqrt{\frac{L_*}{4\pi\sigma}}$$

$$\underbrace{\log L_*}_{y} = \underbrace{4 \log T_{ef}}_{x} + \underbrace{\log(4\pi\sigma R_*^2)}_{b}$$

$y = a \cdot x + b$

Diagrama H-R

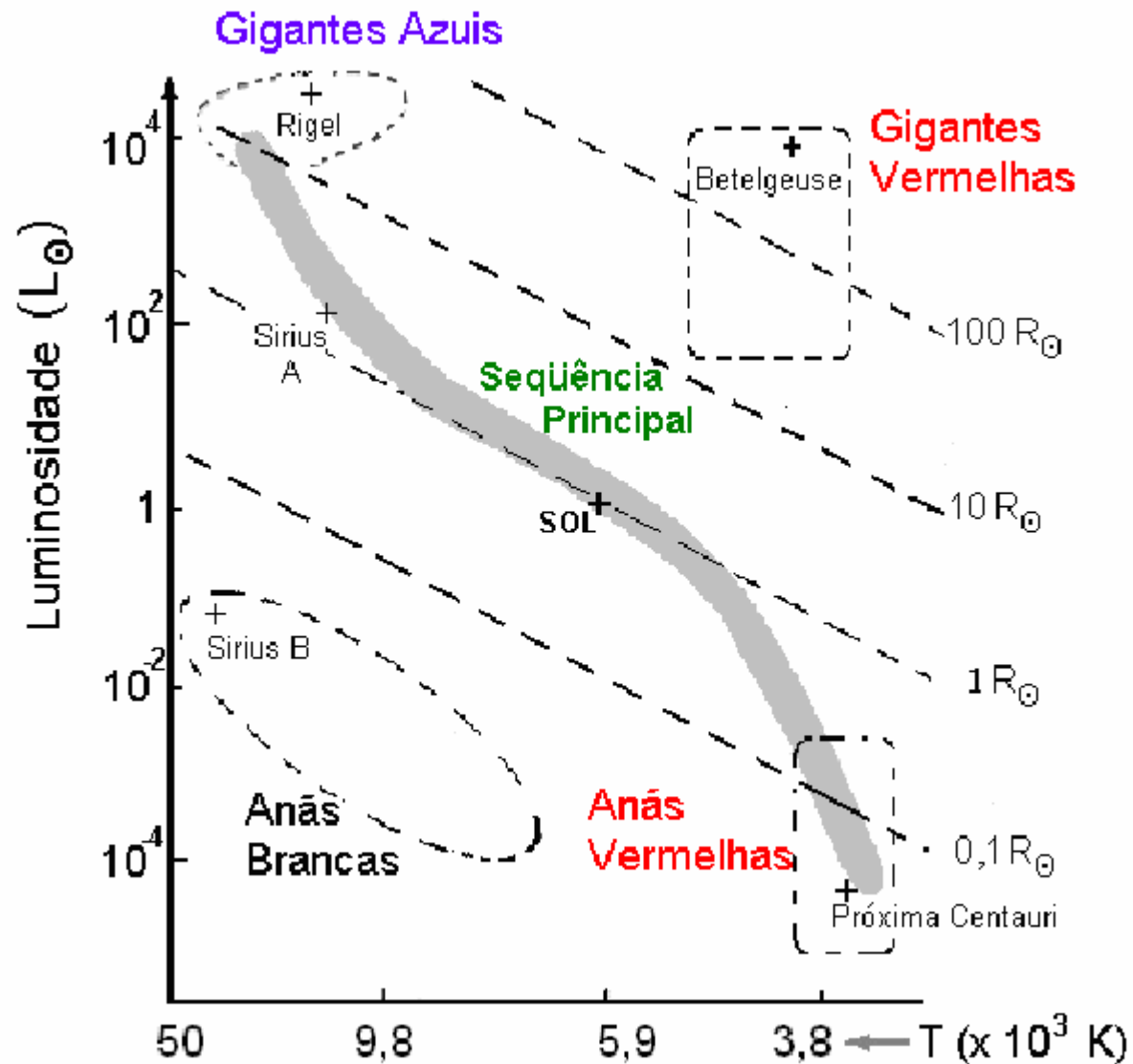


Diagrama H-R

Em 1905: Ejnar Hertzsprung

- explora a relação entre luminosidade e temperatura
- nota a presença de estrelas esquisitas: anãs e gigantes



Em 1913, Norris Russel usa uma base de dados mais completa pra estudar a mesma relação.



Diagrama H-R

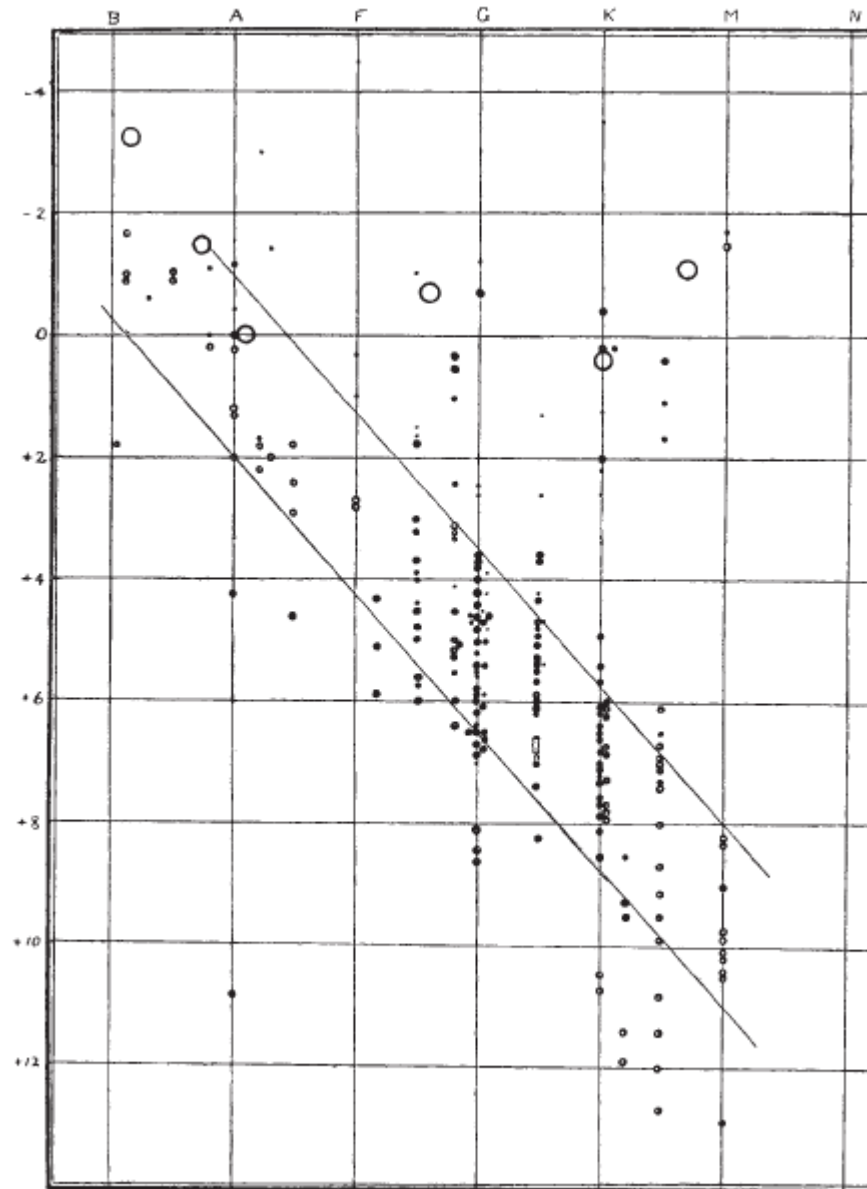


FIG. 1.

An observational Hertzsprung - Russell diagram with 22,000 stars plotted from the [Hipparcos Catalogue](#) and 1,000 from the [Gliese Catalogue](#) of nearby stars.

