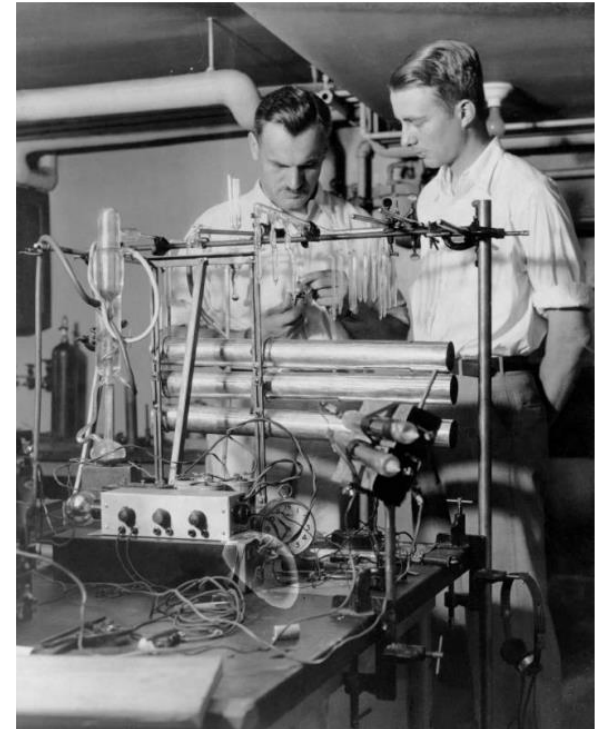


Evidência experimental para teoria quântica da luz

Radiação do corpo negro



Dispersão de Compton

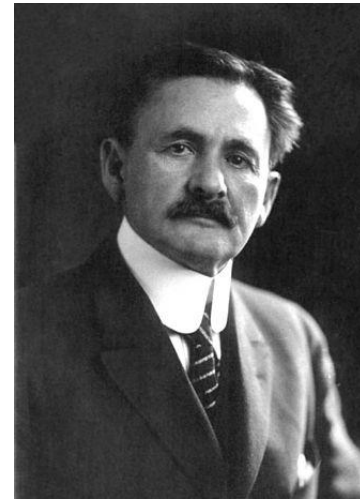


O efeito fotoelétrico





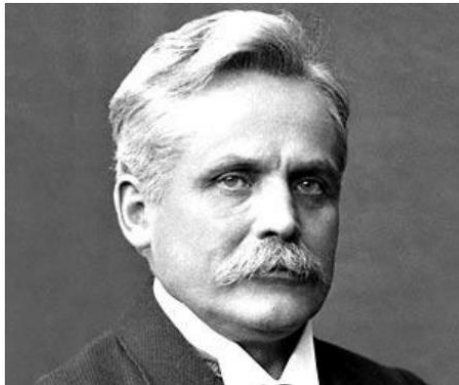
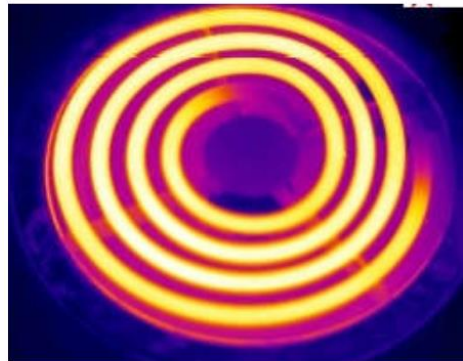
Louis Pasteur (France, 1822 – 1895)
“In the fields of observation, chance only
favors the prepared mind” (1854)



“It seems probable that most of the
grand underlying principles have been
firmly established.”
A.A. Michelson 1894

Radiação térmica

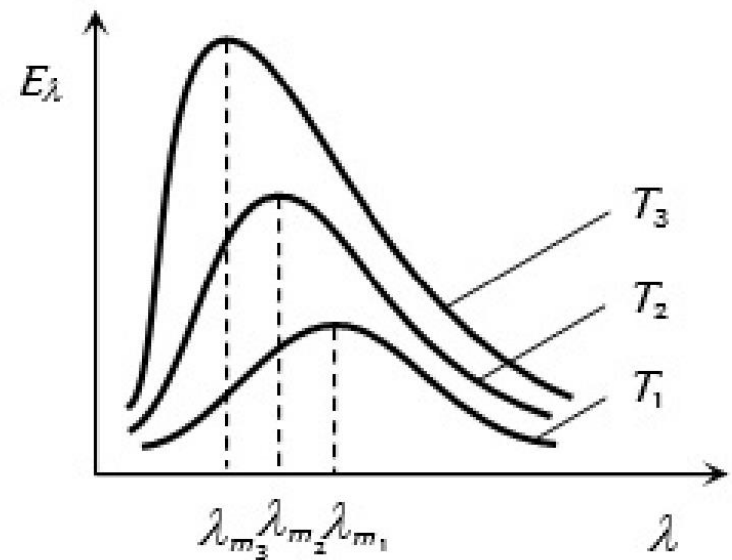
Corpos físicos com temperaturas elevadas emitem radiação



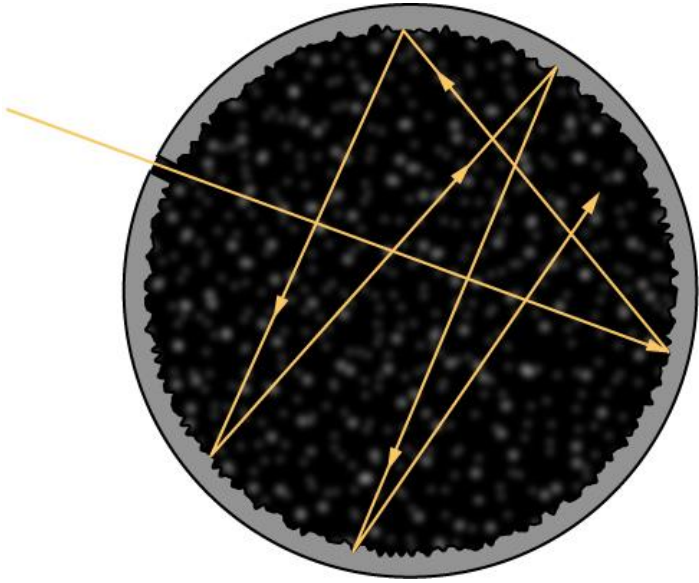
W. Wien
(Prémio Nobel 1911)

Espetro varia com a temperatura

Independente da composição, tamanho do objeto

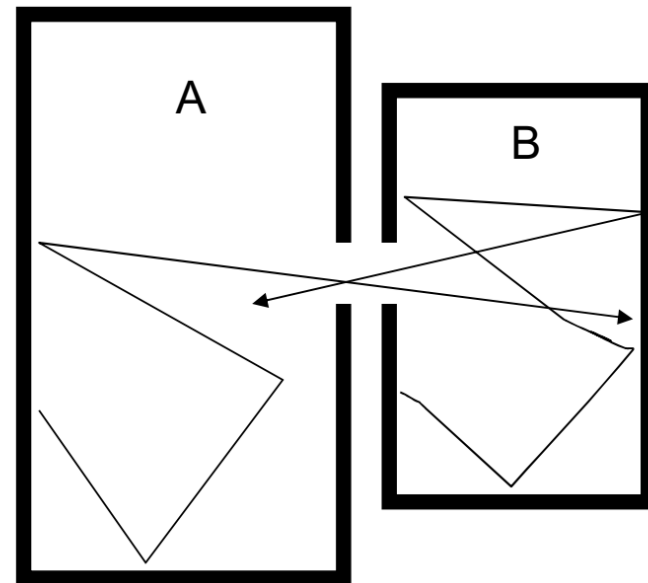


Um “Corpo Negro”



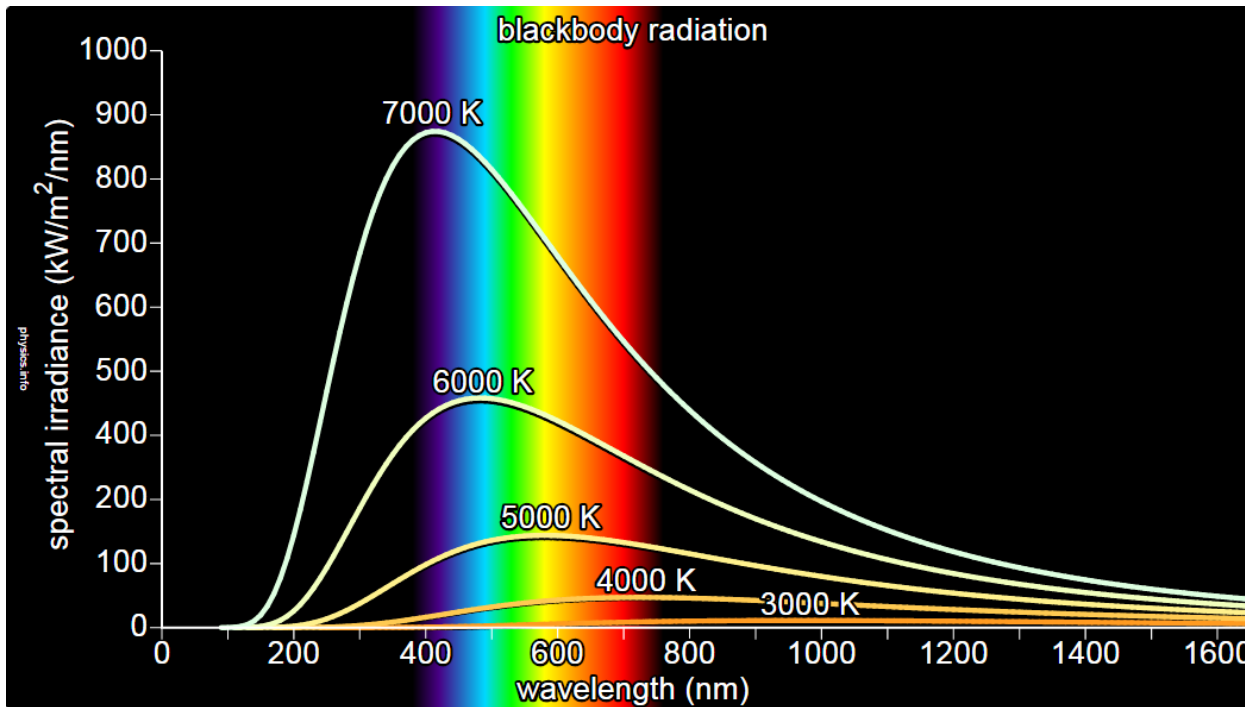
Idealização dum corpo que absorve toda a radiação nele incidente.

O espectro emitido depende do nível de excitação térmica.



Se A e B estão em equilíbrio termodinâmico não há troca líquida de energia. O espectro deveria ser universal, i.e. não depende da composição

Lei de Wien



Ultravioleta $\lambda < 400nm$

Visível $400nm \leq \lambda \leq 700nm$

Infravermelho $700nm < \lambda$



Wilhelm Wien
1864-1928
Nobel 1911

Lei empírica (inicialmente)

$$\lambda_{\max} T \approx 2898 \mu mK$$

Lei de Stefan Boltzmann

A potência total radiada por unidade área dum corpo negro é

$$I(T) = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4\text{)}$$

ε emissividade
(1 por um corpo negro ideal)



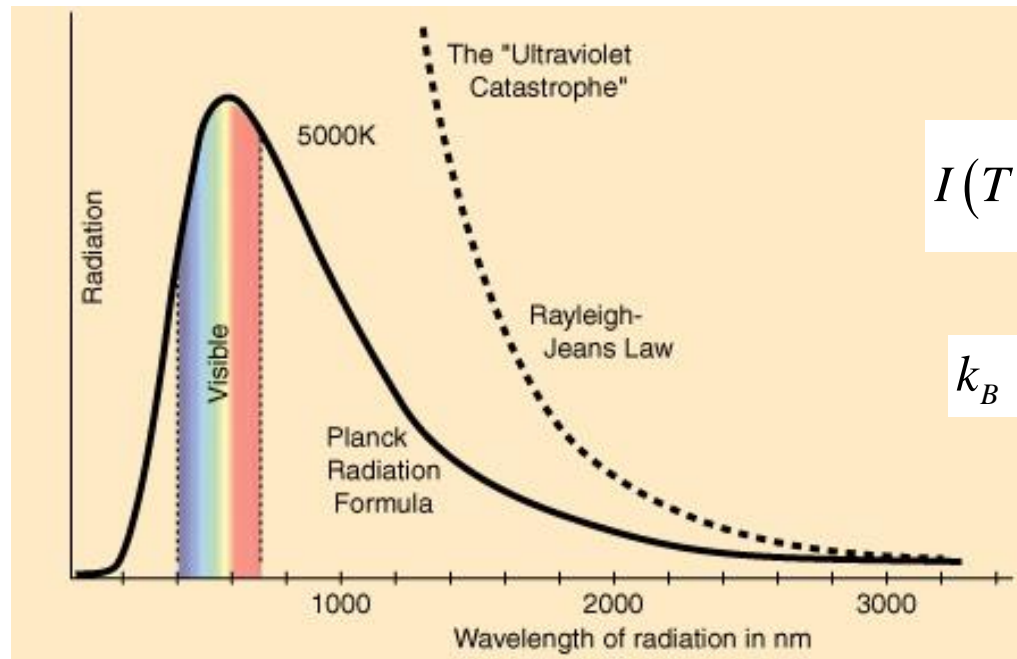
1879



Teoria clássica – o catástrofe UV

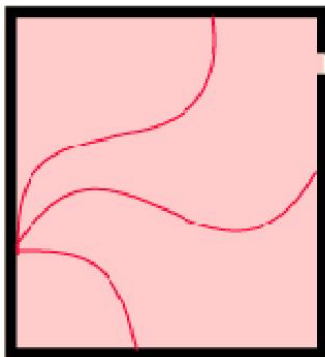


Lord Rayleigh



$$I(T, \lambda) = \frac{2\pi ck_B T}{\lambda^4}$$

$$k_B \approx 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$$



Number of modes
per unit frequency
per unit volume

$$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

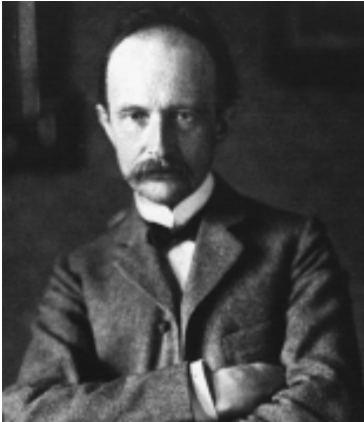
For higher frequencies
you can fit more modes
into the cavity. For
double the frequency,
four times as many
modes.



Cada “modo” tem uma
energia média kT

O número de modos tende
para infinito quando o
comprimento de onda tende
para 0

Lei de Planck



Teórico que trabalhava em
termodinâmica e física estatística

Na base duma expressão empírica deduzida pelo Wien
chegou em 1900 a expressão

Max Planck (1858-1947)

$$I(T, \lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc / \lambda kT) - 1}$$

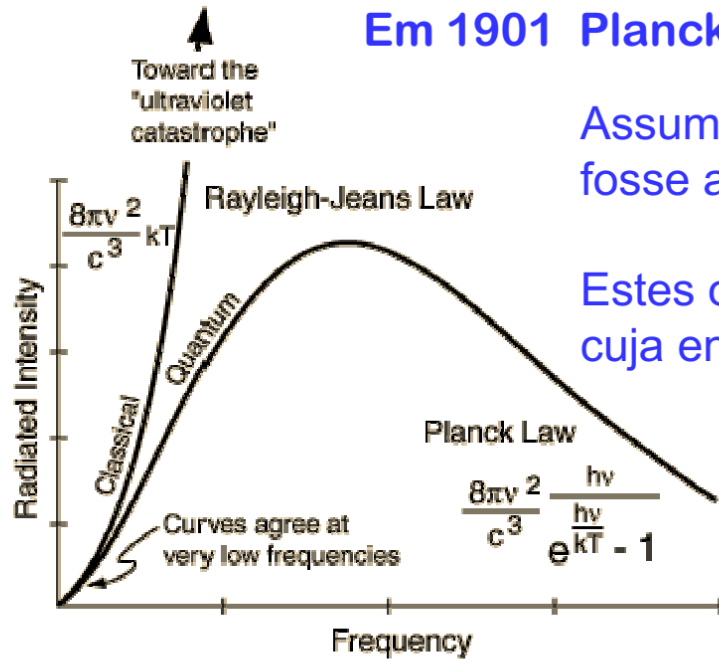
Ajuste bem as curvas experimentais se $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

Teoria Quântica

Em 1901 Planck publicou uma derivação teórica

Assumiu que a radiação na cavidade fosse absorvida e emitida por “osciladores” nas paredes

Estes osciladores podiam interagir apenas com radiação cuja energia era um múltiplo da sua frequência da oscilação



$$\Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

Evite a catástrofe UV

se ΔE fosse muito maior do que kT os osciladores não seriam excitados

Na altura a teoria gerou muita controvérsia .

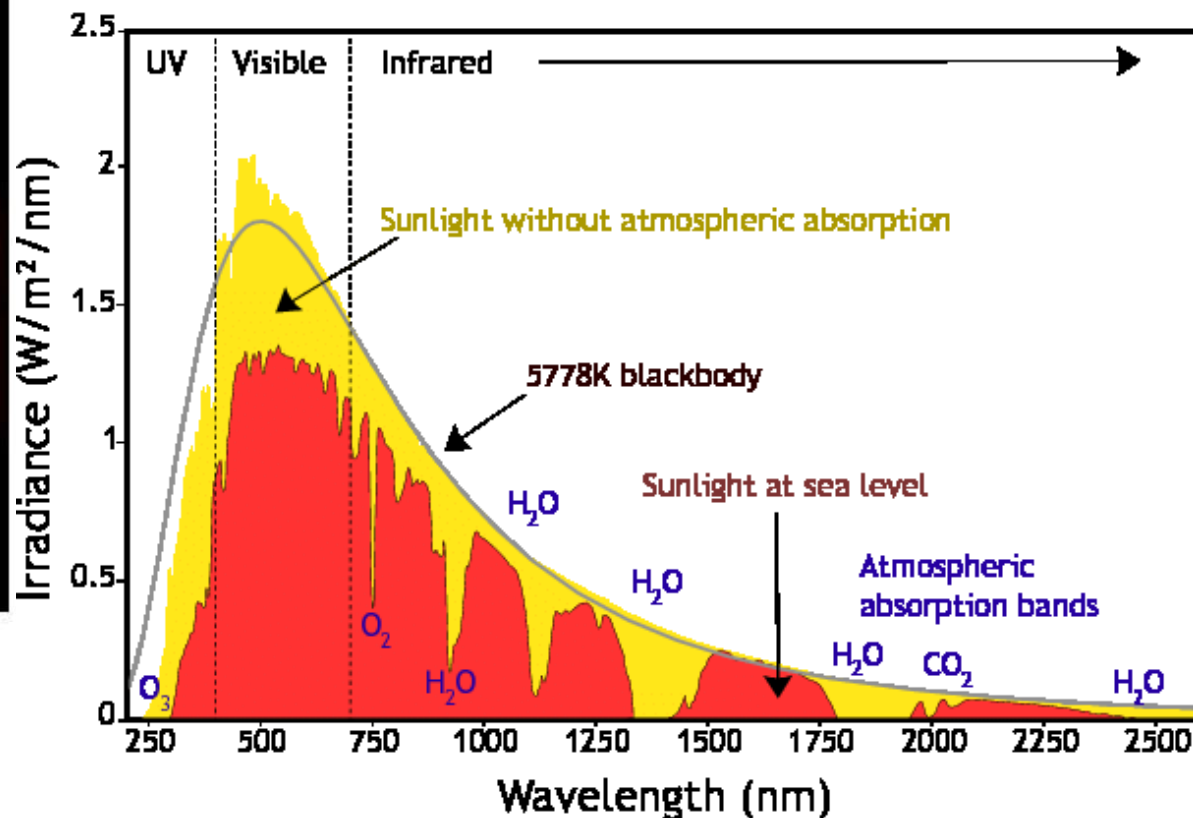
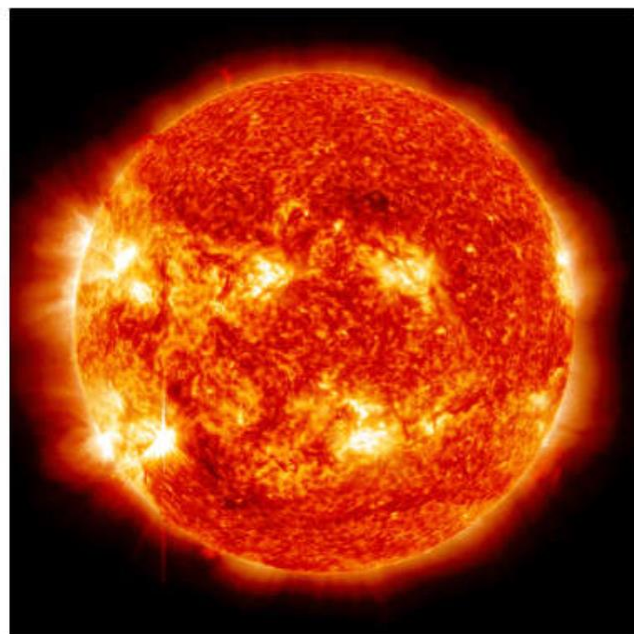
O Planck resistia a noção que a própria radiação está quantizada.



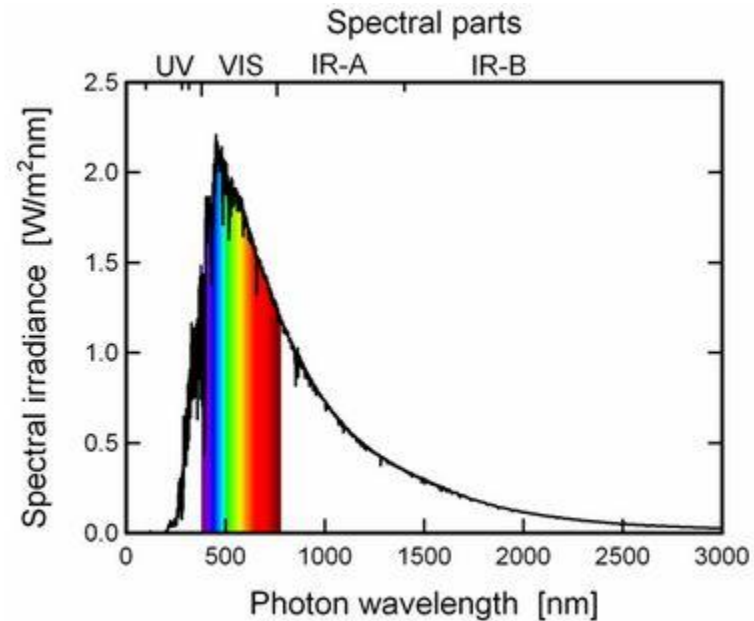
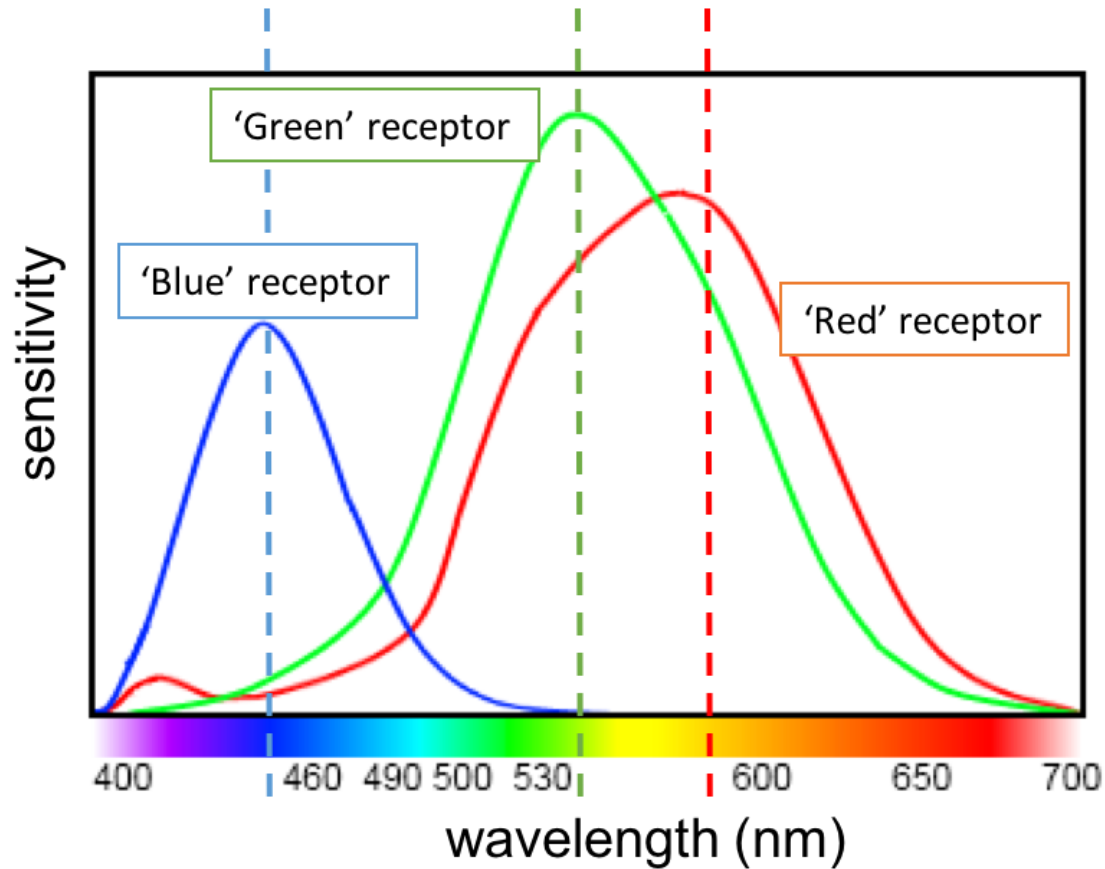
Aplicações

Os espectros das estrelas se aproximam espectros de corpos negro
(são perto do equilíbrio termodinâmico)

Spectrum of Solar Radiation (Earth)



Visão humana

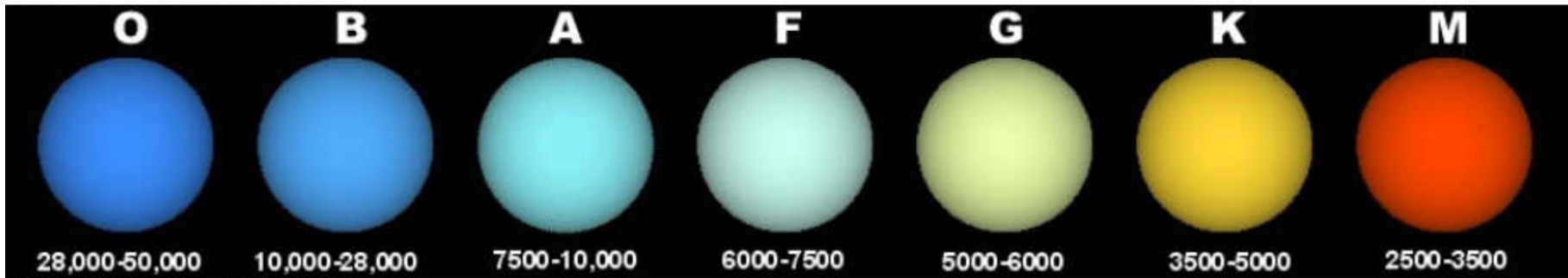


Visão infravermelho



Classificação das estrelas

CLASSIFICATION:

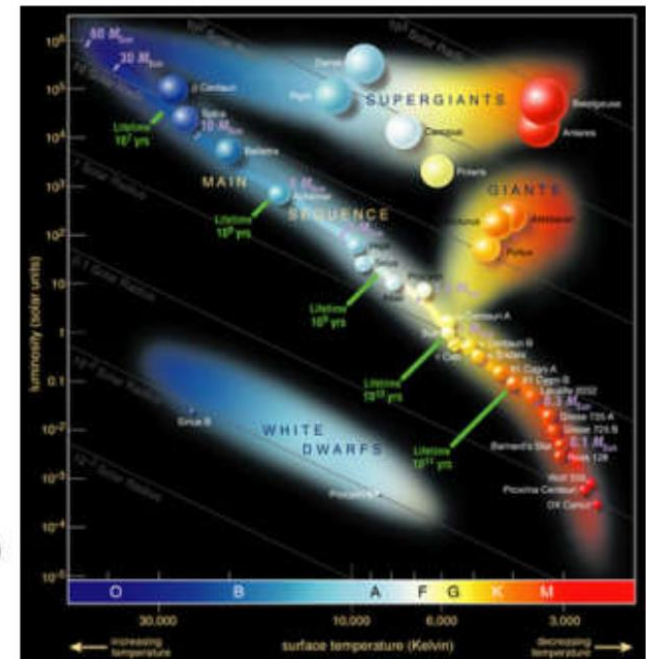


TEMPERATURE (K):

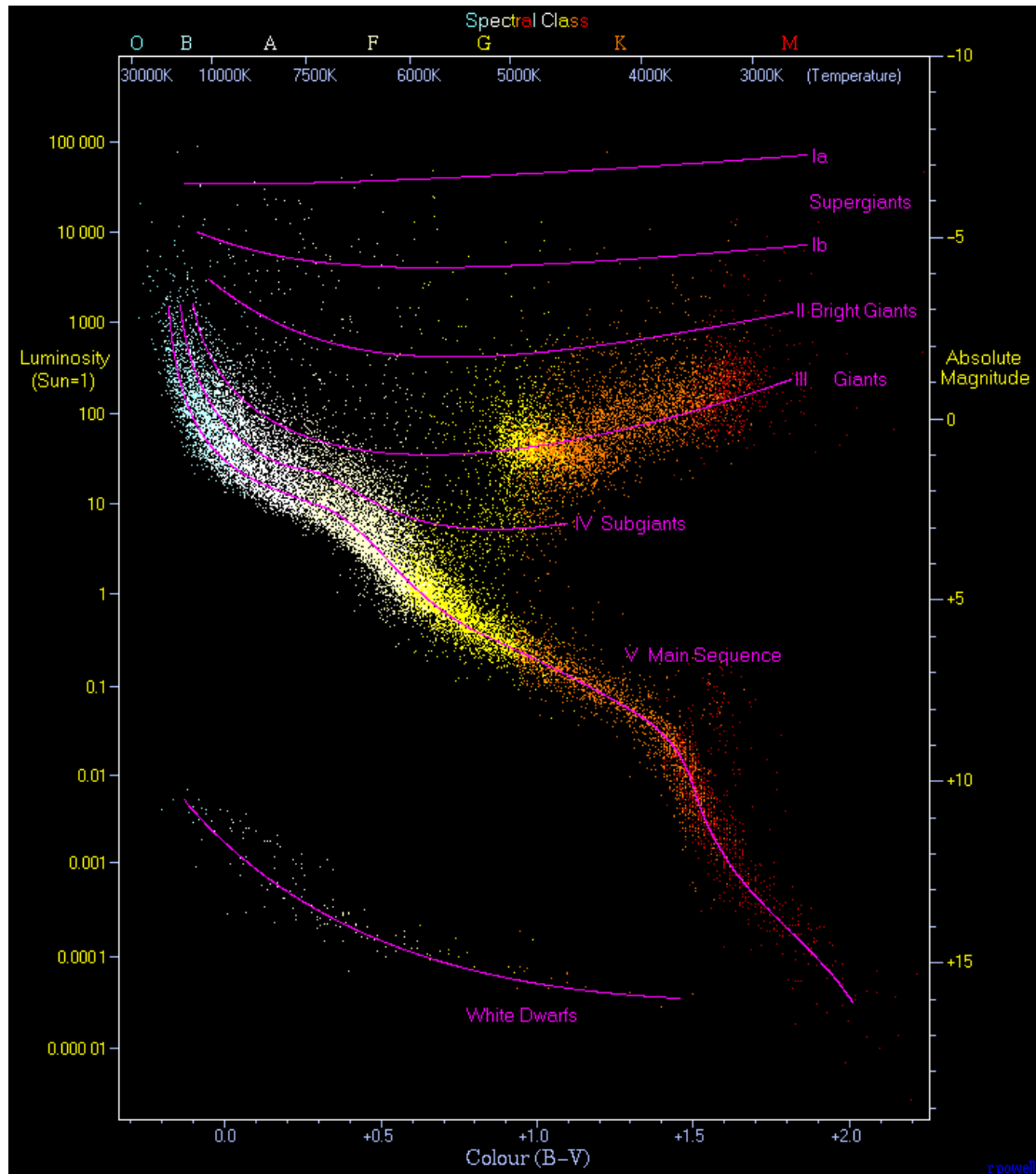
Hertzsprung-Russell (H-R) diagram
Luminosity vs temperature

Luminosity: $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$

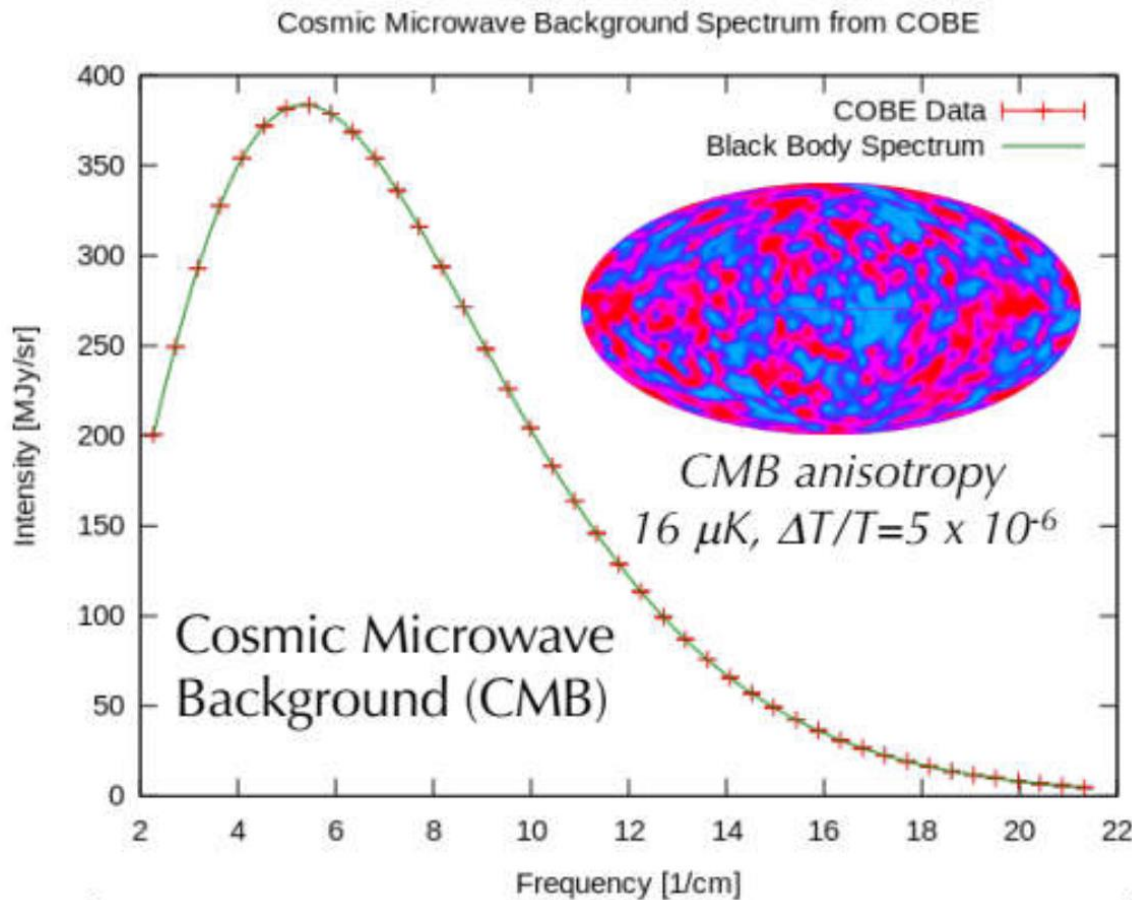
where
R the radius of the star
T the temperature of the star
 σ the Stefan-Boltzmann constant ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)



Dados observados



Fundo Cósmico de micro ondas



Sugere que no passado o Universo estava perto do equilíbrio termodinâmico quente e denso

Expansão -> arrefecimento

Pensa que quando atingiu 3000 K os elétrons combinar com os prótons e o Universo ficou quase transparente a radiação.

Desde então o Universo se expandiu por um fator ~1000

$$T = 2.728 \text{ K}$$