

Mecânica Quântica

Corpo negro: Espectro de corpo negro, catástrofe do ultravioleta, Leis de Rayleigh e Jeans, Hipótese de Planck

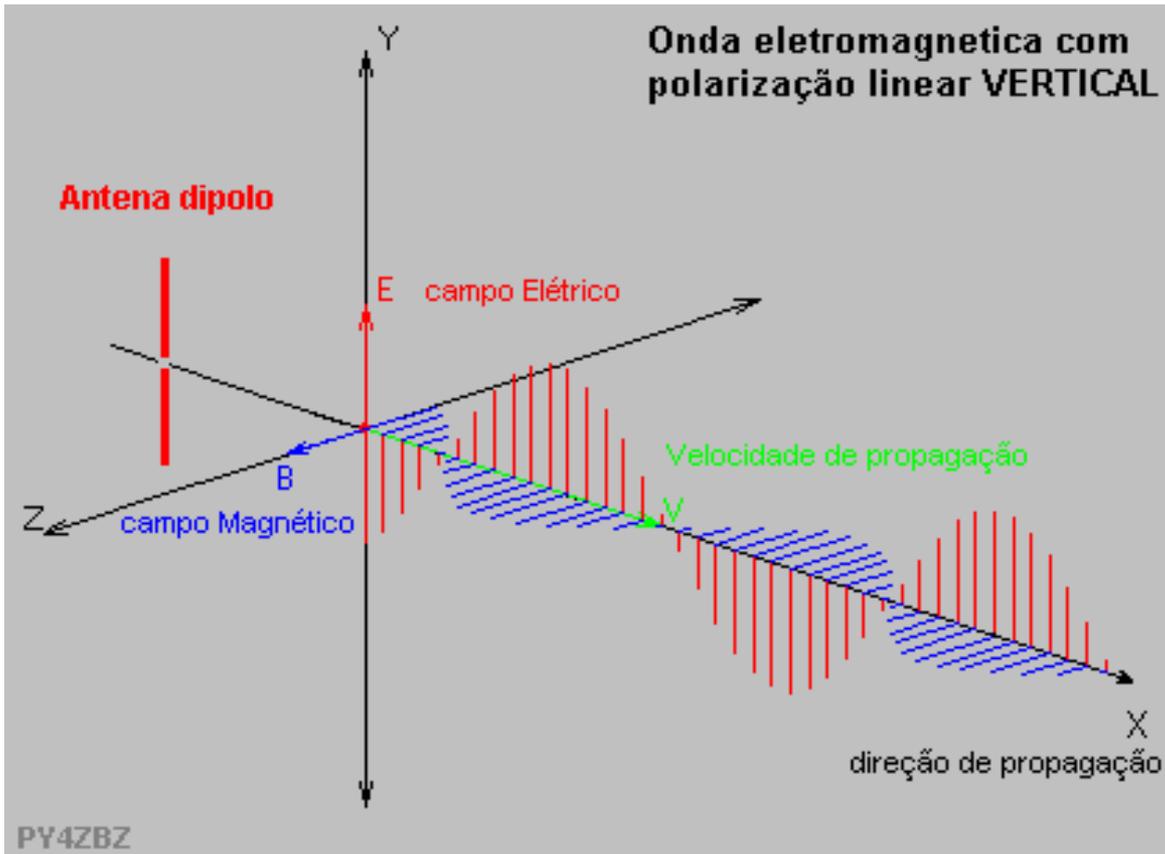
...numa reunião em 14/12/1900, Max Planck apresentou seu artigo “Sobre a teoria da lei de distribuição de energia do espectro normal”. Isso foi o início de uma revolução na física – a física quântica! Assim como a teoria da relatividade, a física quântica representa uma generalização da física clássica (velocidade da luz, constante universal). A relatividade estende as leis físicas para a região de grandes velocidades. A física quântica estende esse campo à regiões de pequenas dimensões (constante de Planck caracteriza a física quântica)...

O corpo negro e a história da Física

- Alguns dos principais intervenientes: Joseph Stephan, Ludwig Boltzmann, Wilhelm Wein, Lord Rayleigh, James Jeans, Max Planck
- Fatos que a Física Clássica não podia explicar
 - O espectro do corpo negro
 - Os espectros atômicos de linhas
 - A estabilidade do átomo

Propagação da onda eletromagnética

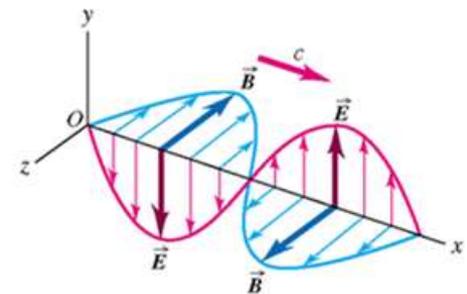
As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com uma velocidade c



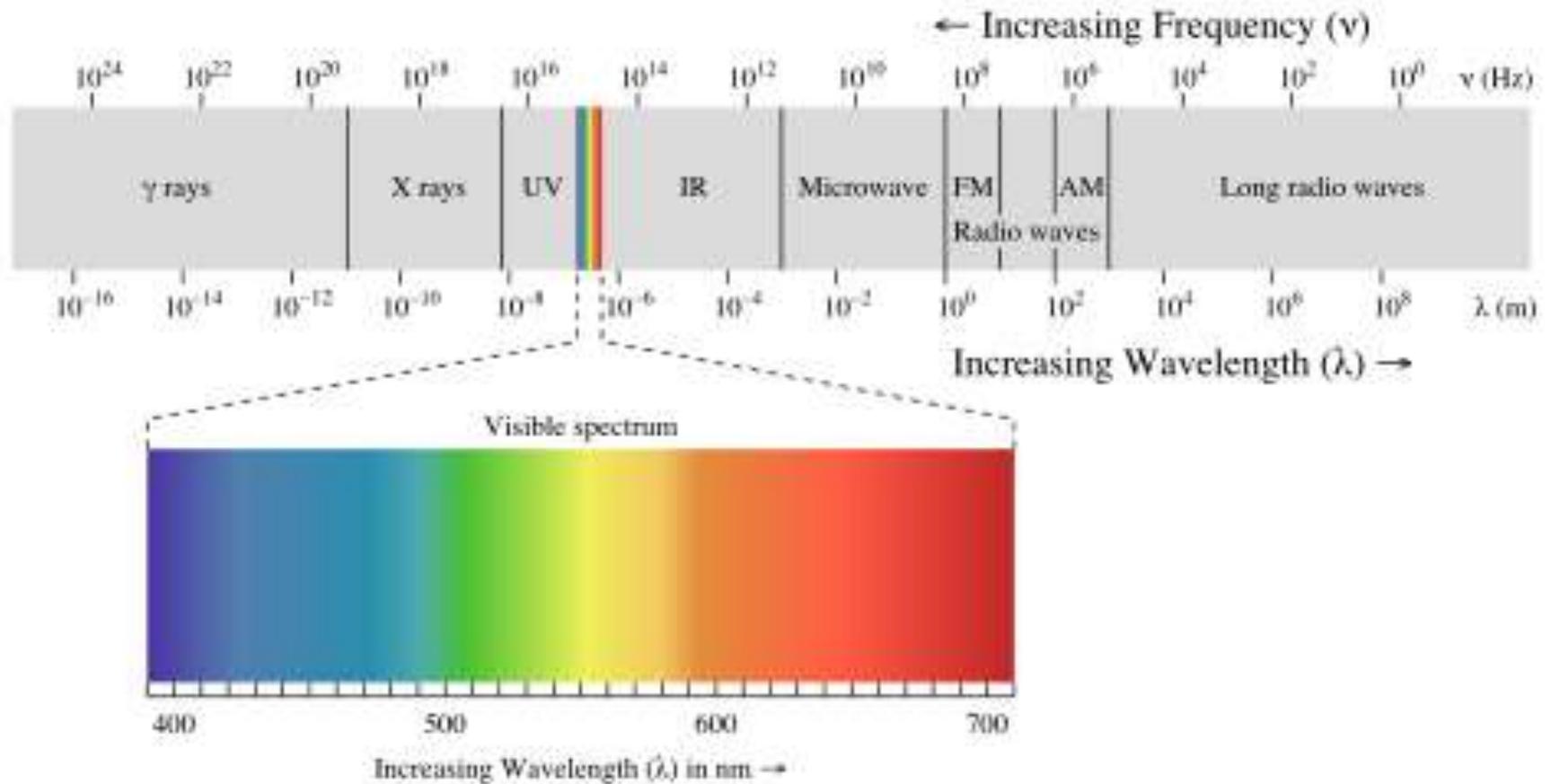
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = \lambda f$$

μ_0 - permeabilidade no vácuo

ϵ_0 - permissividade no vácuo

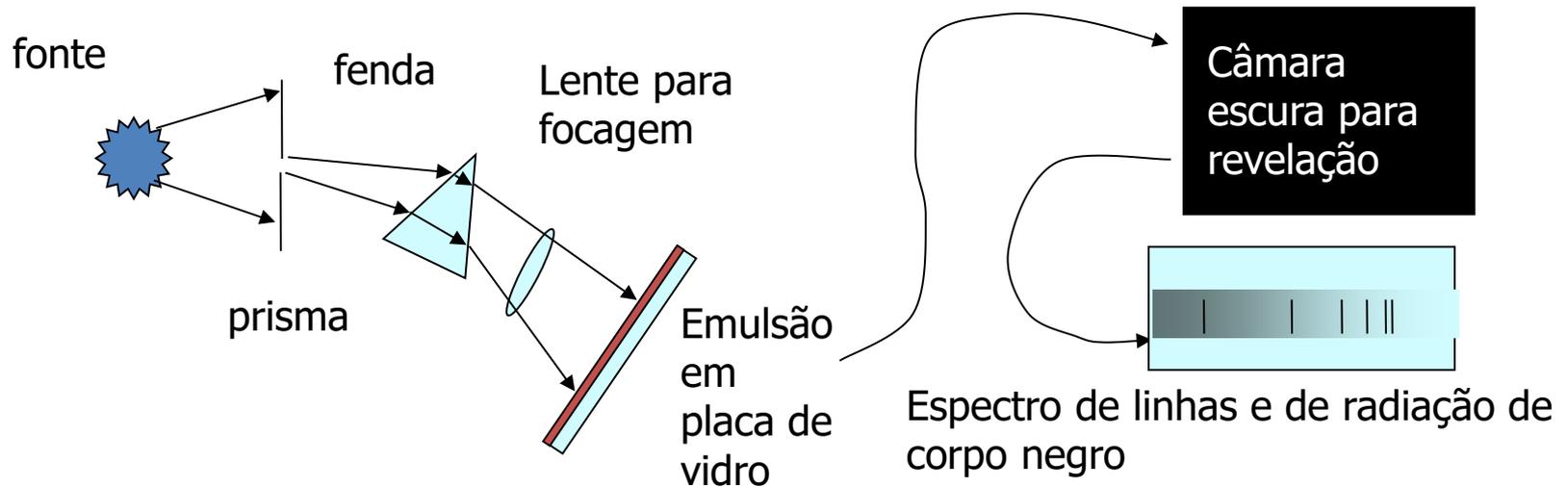


Espectro eletromagnético



Espectroscopia

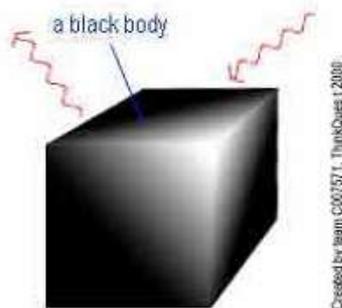
- Estudo da emissão ou absorção de luz pelos vários materiais (gases, líquidos, sólidos)
- No séc. XIX as técnicas foram sendo cada vez mais apuradas; material para dispersão (prismas) e emulsões fotográficas



O corpo negro

- A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica;
- Se um corpo tiver temperatura maior que a ambiente, ele irradia, caso contrario ele absorve;
- Corpo negro absorve toda a radiação incidente sobre ele; também emite qualquer radiação;

O que é um corpo negro?



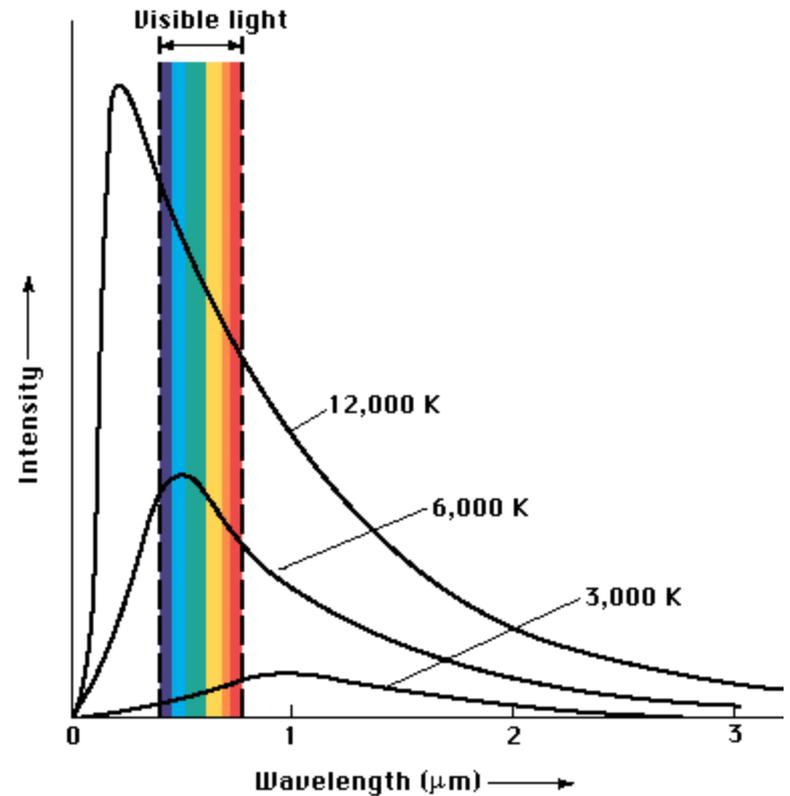
Corpo que absorve toda radiação que incide sobre ele.

O corpo negro

- O que realmente ocorre quando um objeto é aquecido a temperaturas cada vez mais altas é que, em princípio, a maior parte da energia é irradiada como infravermelho. Após um determinado aquecimento o corpo começa a brilhar em vermelho visível incandescente e se o aquecimento continuar, teremos laranja, e azul esbranquiçado. Quanto mais quente o corpo, menor é o comprimento de onda que a maior parte de sua energia é irradiada.
- Ainda que um pouco da energia seja irradiada em comprimentos de onda maiores e menores, o pico de emissão de um corpo negro é centrado em uma faixa estreita de comprimento de onda, que depende apenas da temperatura.

Radiação de corpo negro

- Muitos pesquisadores dedicaram-se a medir e descrever a distribuição de energia emitida por corpos negros em diferentes temperaturas.
- Primeiras medidas precisas: Lummer e Pringshein em 1899.
- Embora as principais propriedades destas curvas fossem conhecidas, a física clássica não oferece meios de descrever a distribuição por inteiro.



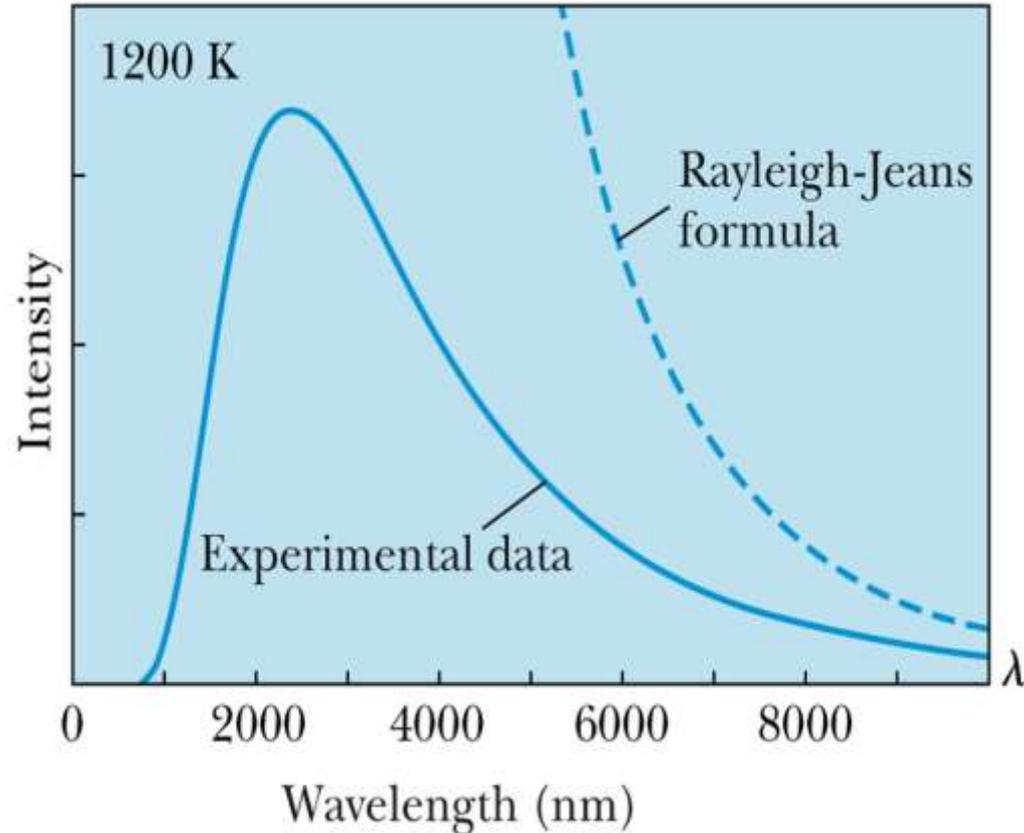
Catástrofe do ultravioleta

$$I(\lambda, T)$$

Fórmula Rayleigh-Jeans

Lord Rayleigh usou as teorias clássicas do eletromagnetismo e da termodinâmica para mostrar que a distribuição espectral de um corpo negro deveria ser:

$$I = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4}$$



Para comprimentos de ondas grandes esta equação se ajusta aos resultados experimentais, mas para os comprimentos de onda curtos há uma discordância muito grande entre esta teoria e a experiência. Esta discordância é chamada de **catástrofe do ultravioleta**.

Lei de Stefan-Boltzmann

A potência total da radiação emitida (a área da curva) aumenta com a temperatura

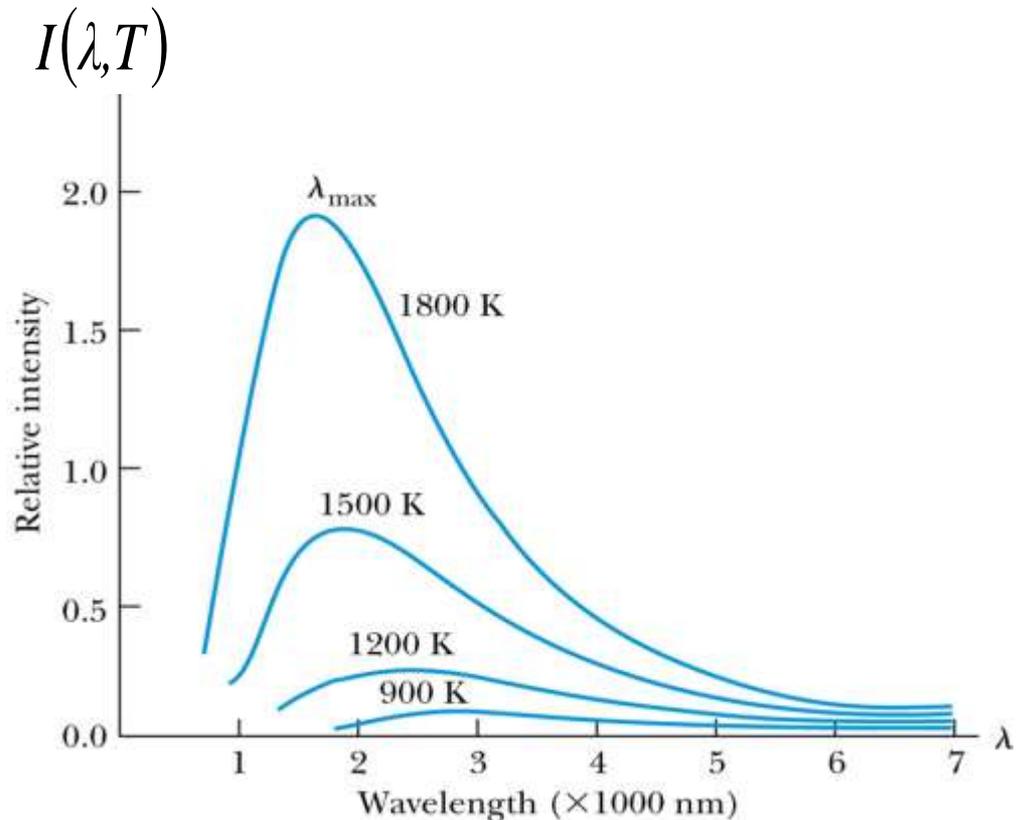
Emitância espectral

$I = \text{Potência}/\text{Área}$ (W/m^2)

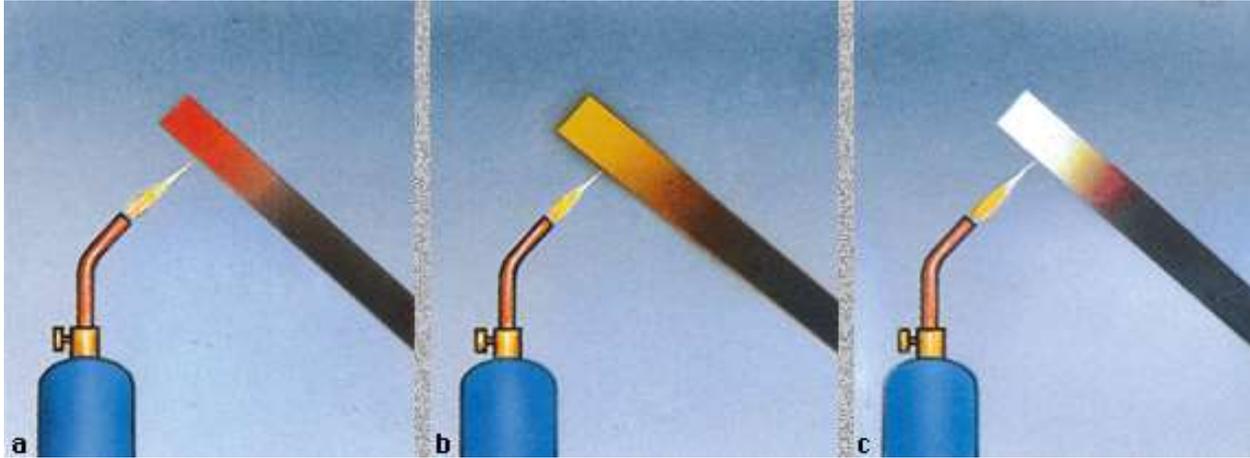
$$I = \varepsilon \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

$\varepsilon = 1$, corpo negro

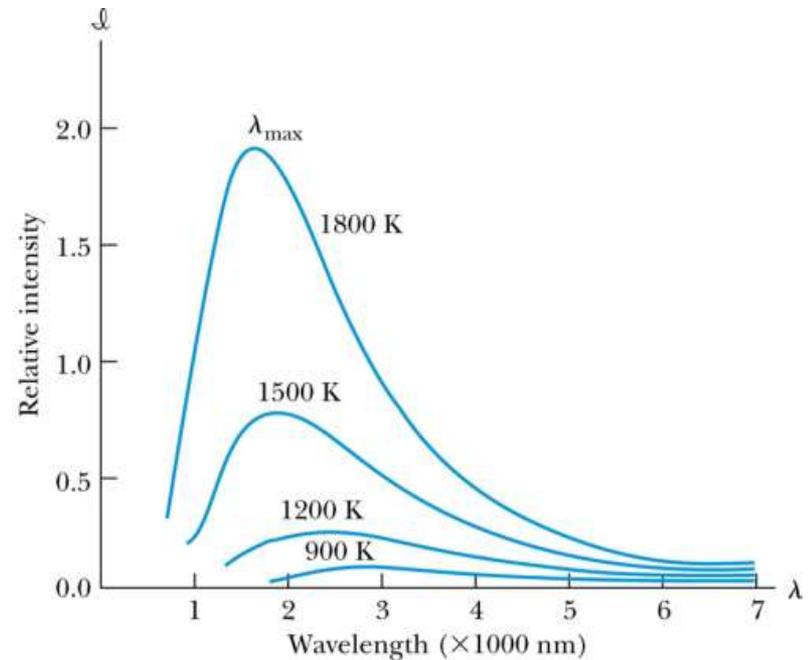


Lei dos deslocamentos de Wien

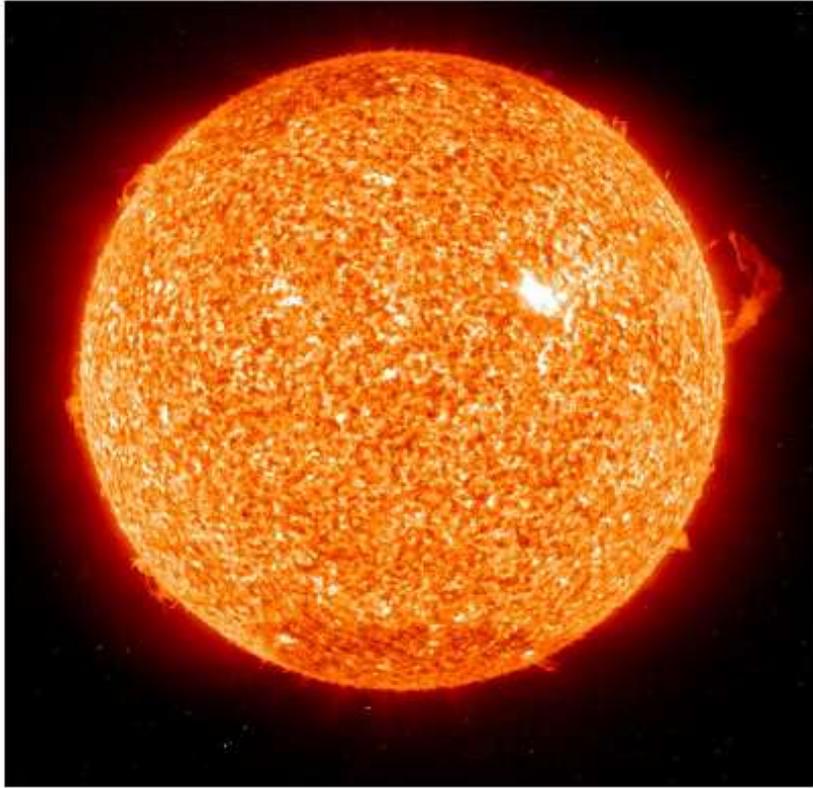


Wien (1864-1928) descobriu que a intensidade máxima da radiação de corpo negro desloca-se para comprimentos de onda menores (e frequências maiores) à medida que o corpo é aquecido. Essa lei pode ser expressada matematicamente como:

$$\lambda_{\max} T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m.K}$$



Aplique a lei de Wien para diferentes situações de corpos negros:



Qual é a temperatura na superfície do Sol?

Problemas

1- Descobriu-se, em 1965, que o universo é atravessado por radiação eletromagnética com o máximo em 1.05 mm (na região das microondas). Qual é a temperatura do universo “vácuo”?

2- Uma Gigante vermelha é uma estrela que está nos estágios finais de evolução. O comprimento de onda máximo médio da radiação é 700 nm, o que mostra que estão esfriando quando estão morrendo. Qual é a temperatura média da superfície das gigantes vermelhas?

Teoria de Planck

Foi Planck, em 1900 (prémio Nobel em 1918), que resolveu o problema

- A resposta a esse problema foi dada por Max Planck, em 1900. Planck percebeu que o problema poderia ser resolvido se os objetos radiantes (átomos) só pudessem emitir (ou absorver) energia em determinadas quantidades fixas, que ele chamou de **quanta** (plural de **quantum**).
- A teoria de Planck resolveu o problema. Objetos frios não tem energia suficiente para produzir muitos quanta de alta frequência. Eles só conseguem irradiar energia na faixa de frequência em que a energia disponível em cada átomo seja comparável à dos quanta envolvidos na radiação.
- Ele utilizou a estatística de Boltzmann para obter uma equação teórica que concordava com os resultados experimentais para todos os comprimentos de onda
- Se sentiu mal, pois utilizou apenas um artifício para resolver o problema!
Mas sem embasamento físico!

Teoria de Planck

Foi Planck, em 1900 (prémio Nobel em 1918), que resolveu o problema

Ele utilizou a estatística de Boltzmann para obter uma equação teórica que concordava com os resultados experimentais para todos os comprimentos de onda

Lei da Radiação de Planck

$$I = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Planck fez duas modificações na teoria clássica:

- Os osciladores (de origem electromagnética) podem ter apenas certas energias discretas:

$$E_n = nhf$$

onde n é um número inteiro, f é a frequência, e h é chamada de constante de Planck:

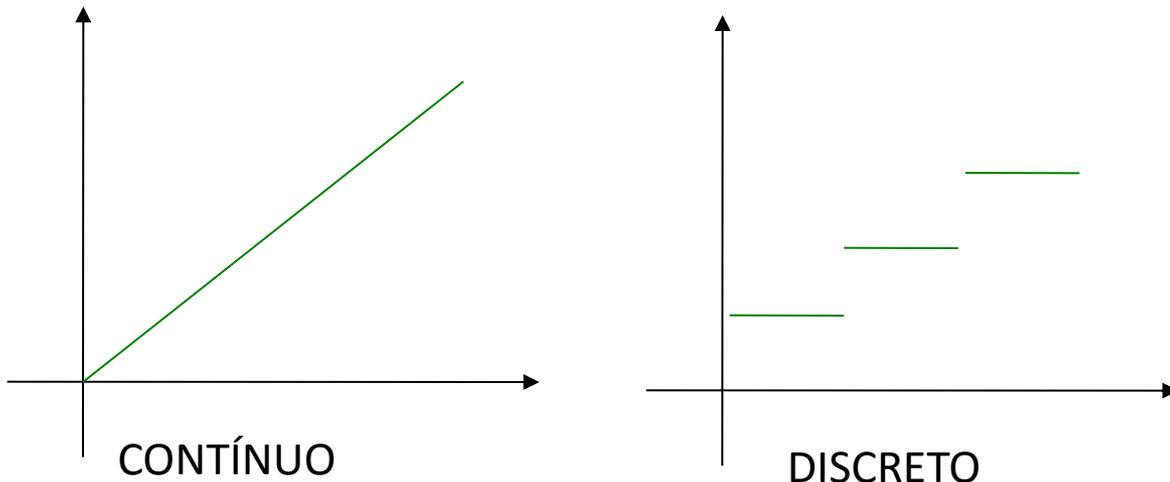
$$h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- Os osciladores podem absorver ou emitir energia em múltiplos discretos de um quantum fundamental de energia dada por:

$$\Delta E = hf$$

Teoria de Planck

A energia de um sistema não é uma variável contínua. A energia somente pode assumir alguns valores específicos, ou seja, ela é discreta ou quantizada.



Através da Lei da Radiação de Planck pode-se chegar a Lei de Stefan e Wien!

$$I = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$\frac{dI(\lambda)}{d\lambda} = 0 \rightarrow \lambda_m = \frac{hc}{4.965k T}$$

$$I = \int I(\lambda) d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$$