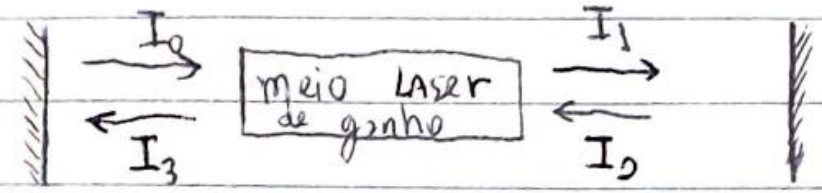
A Física do Laser

Introdução geral

O LASER



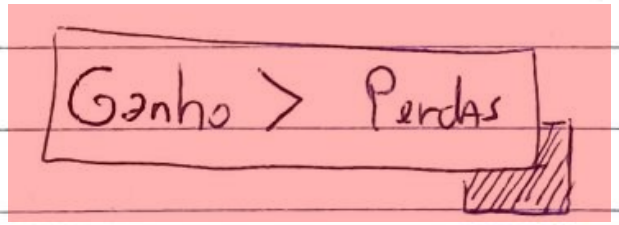
R=100% R<100%

- Temos laser se o feixe aumenta a intensidade uma volta

$I_3 \gg I_0$

- em geral temos perdas { absorção, espalhamento, reflexão }

- Teremos laser se em uma volta



1. Radiação Laser

- interação da luz c/ matéria
- conceitos e ideias relativos à física do Laser

- muitas propriedades do Laser relacionadas
  - absorção } interação do sistema
  - emissão } atómico c/ radiação eletromagnética

- Planck ⇒ distr. espectral radiação térmica
- Einstein ⇒ conceito emissão estimulada
  (combinando Planck c/ Boltzmann)

→ fundamento teórico p/ descrever os princípios do LASer

1.1 Radiação de Corpo Negro

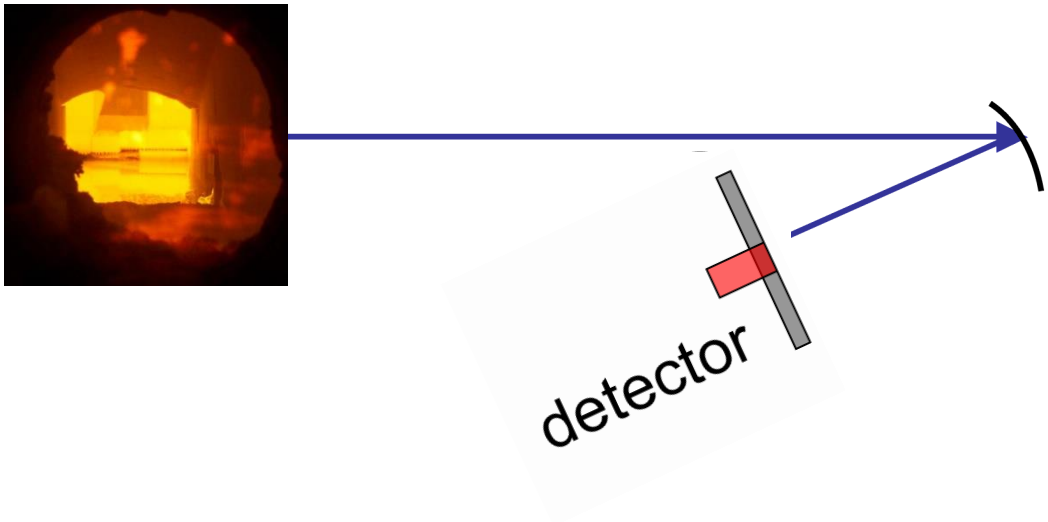
- Corpo negro em equilíbrio Térmico a temperatura T

- como descrever o espectro da energia emitida pelo corpo negro

$\rho(\nu, T)$ (energia por unidade de volume)

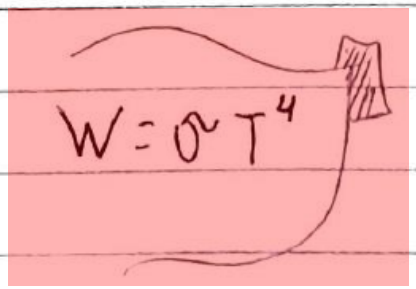
Radiação de Corpo Negro: alguns resultados

experimentalmente



- intensidade emitida

- Lei de Stefan - Boltzmann (1879)



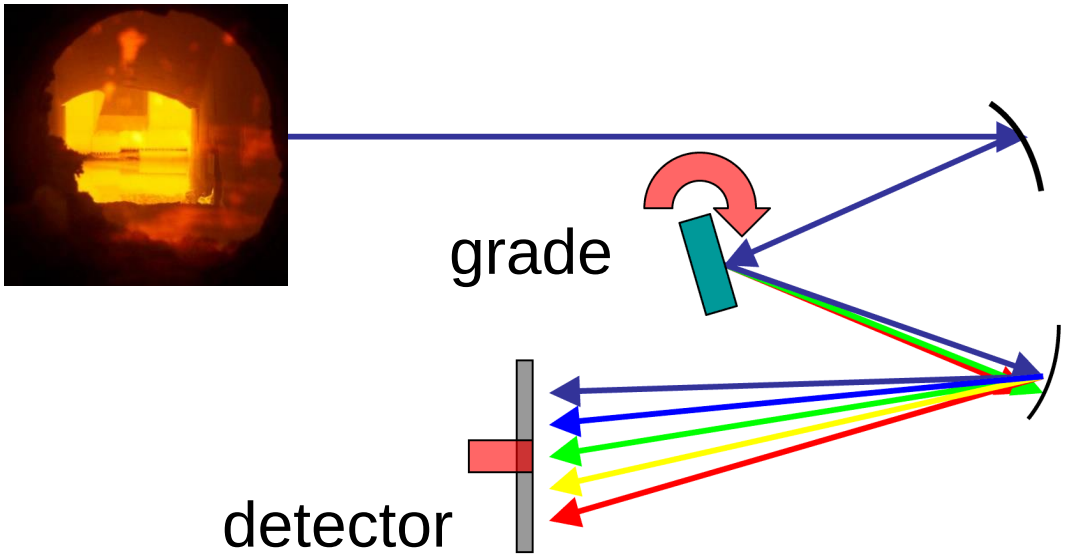
Radiância total emitida (Pot./área)

σ: cte Stefan Boltzmann

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\ W/m^2K^4$

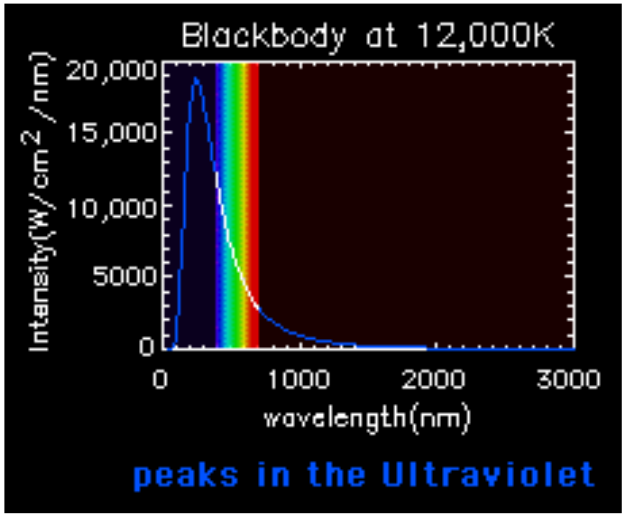
Radiação de Corpo Negro: alguns resultados

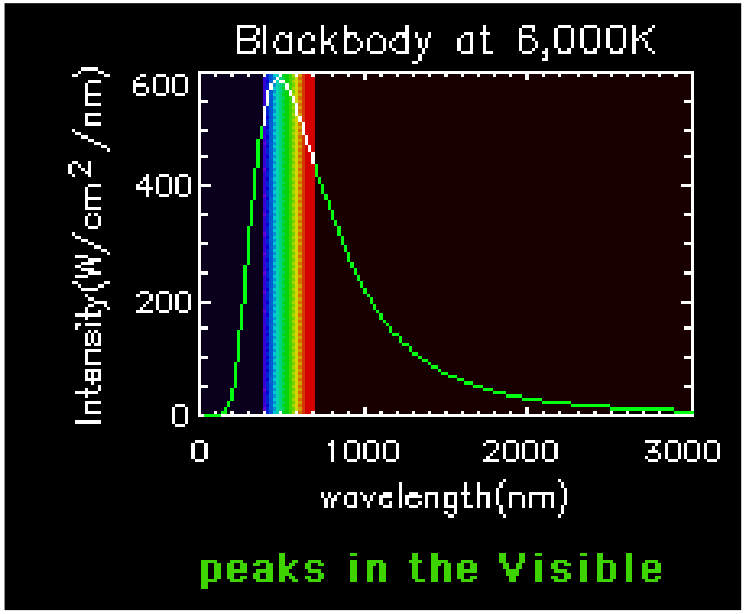
experimentalmente

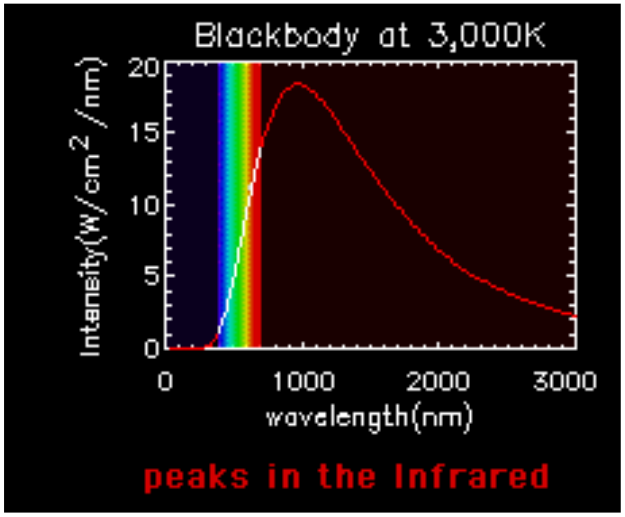


- intensidade emitida
- espectro emitido

Radiação de Corpo Negro: alguns resultados

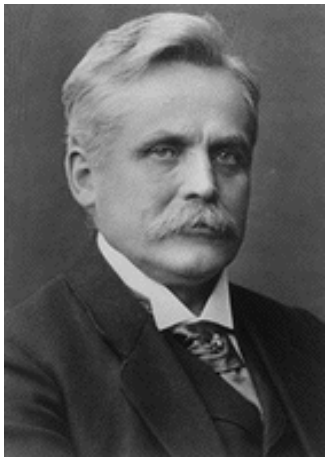






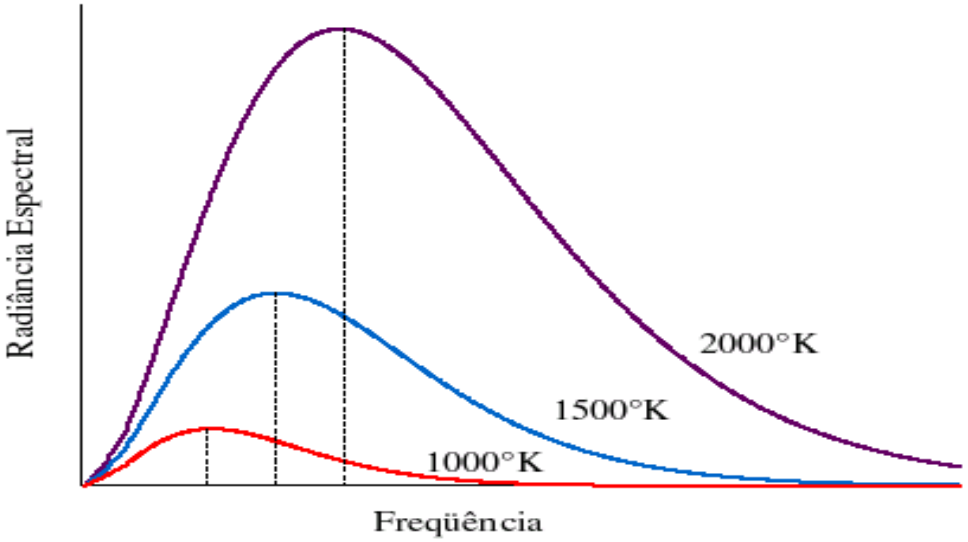
Lei do deslocamento de Wien

(1893)



$\lambda_{max} T = \text{constante}$ ou $\nu_{max} \propto T$

constante de Wien: 2.898 x 10^{-3} m.K



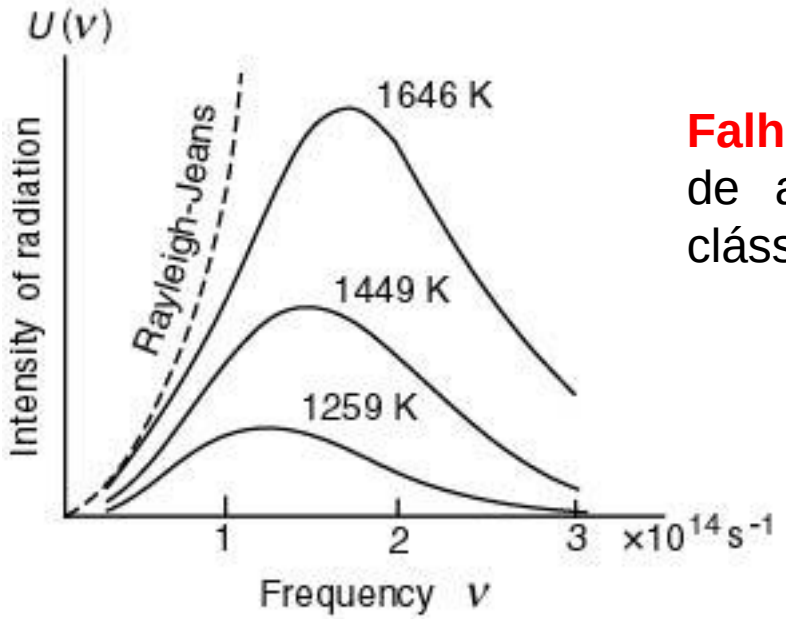
Lei de Rayleigh-Jeans

(1900-1905)

Teoria clássica

$$\rho(\nu,T)=\frac{8\pi\nu^2}{c^3}kT$$

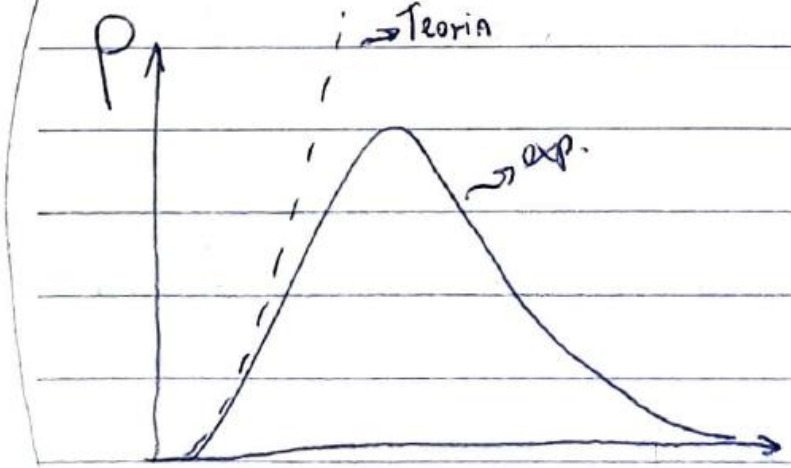
k =1.3807 erg/K



Falha da Teoria Clássica: de alguma forma a teoria clássica esta errada

- Teoria clássica

Rayleigh - Jeans (1900 - 1905)



$$\rho(\nu, T)\,d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} KT\,d\nu$$

Falha Teoria clássica

- p/ baixa frequência se aproxima do resultados experimentais

* catastrofe do UV

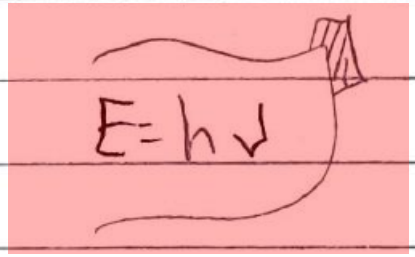
① - cálculo do modos na cavidade (densidade de modos).

- cavidade ⇐ equilibrio Térmico ⇒ cada modo contribui com $\bar{E} = KT$

tilibra

- Lei de Planck (1900)

- A emissão da radiação é feita em pacotes com energia



onde h ⇒ cte de Planck

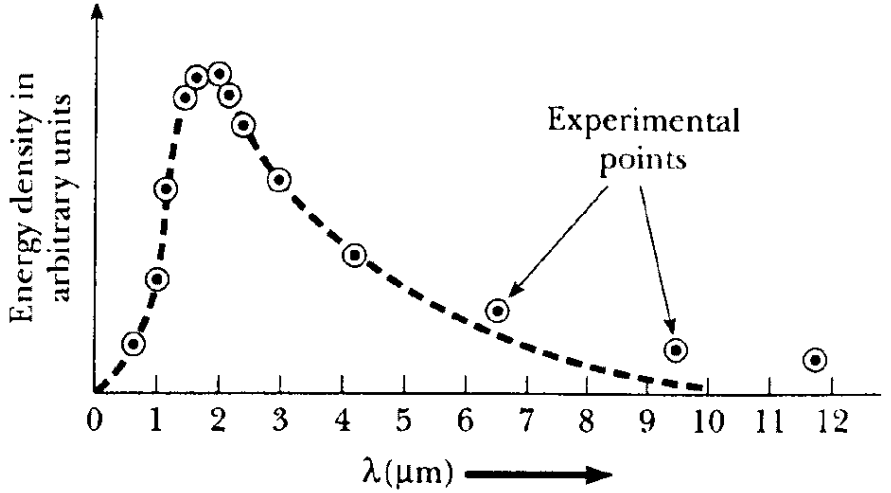
Radiação de Corpo Negro:
a revolução dos quanta

Anunciada publicamente
em 19/10/1900

Lei de Planck (1900)

$$\rho(\nu,T)=\frac{8\pi h\nu^3}{c^3}\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1},$$

$$h=6.63\times10^{-27}\ \text{erg.s}$$



O fator $\frac{8\pi\nu^2}{c^3} = \rho_n$ densidade de modos de radiação por volume e por unidade de frequência

Planck não mudou Boltzmann, só tratou que a energia dos osciladores eram quantizadas $E = nh\nu$ e não mais contínua

na formula de Rayleigh-Jeans ele troca $\bar{E}$ por $\frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1}$ $\Rightarrow$ h é encontrado do ajuste

A Lei de Planck: observações

(1) p/ $\frac{h\nu}{KT} \ll 1 \Rightarrow$ $\rho(\nu,T)\,d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} KT\,d\nu$

altas T ou baixa ν

↳ concorda c/ Rayleigh-Jeans

(2) Concorda com Stefan-Boltzmann

- radiância cresce rapidamente com T
- pela integração obtém-se

$W = \sigma T^4$

A Lei de Planck: observações

(3) concorda com Lei de Wien

- pico desloca p/ alta freq. com T

Fim