Introdução à Física Quântica

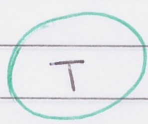
Além da Teoria da Relatividade, uma outra revolução na física ocorreu no início do séc. XX – a mecânica quântica. Escalas: atômicas (tamanho)

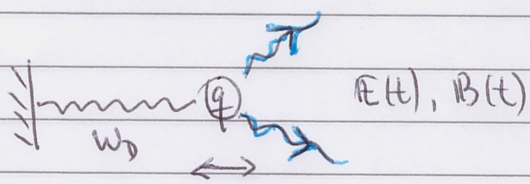
As idéias básicas começaram a ser formuladas por Planck e Einstein e foram utilizadas e concebidas para resolver dois problemas:

- a radiação do corpo negro (Planck)
- o efeito fotoelétrico (Einstein)

1 – Radiação de Corpo Negro

Um corpo qualquer quando aquecido, emite radiação eletromagnética ("irradia").





"cavidade" = CORPO NEGRO

$\boxed{\text{"Corpo negro" é uma idealização}}$

~~irradia~~ • absorve toda radiação que sobre ele incide (não reflete)

• emite toda radiação que sobre ele incide

⇒ $\boxed{\text{A radiação de corpo negro só DEPENDE DA TEMPERATURA}}$

independe do volume, da composição, da forma ...

Lei de Stefan - Boltzmann :

$$\boxed{I_{total}(T) = \sigma T^4}$$

= intensidade total da radiação de um corpo negro

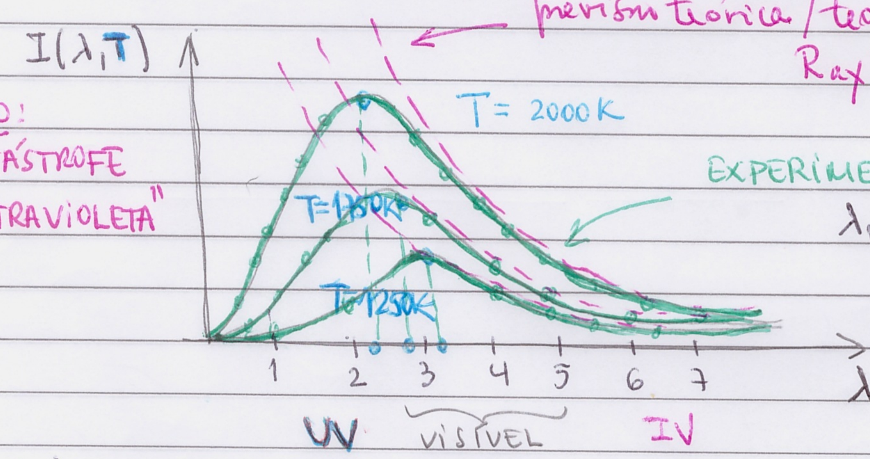
$\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}\ W/m^2 . K^4$

$I_{total}^{(T)}$ = energia total / unidade de área e por tempo
= potência / unidade de área. $[W/m^2]$

Emitância espectral : contínuo
ou "espectro de emissão"

previsão teórica / teoria clássica
Rayleigh - Jeans

TEÓRICO:
"CATÁSTROFE ULTRAVIOLETA"



$\lambda_{máx} . T = 0,29 \times 10^{-2}\ m K$
"lei de Wien"

$$I_{total}^{(T)} = \underbrace{\int_0^{\infty} I(\lambda,T)\, d\lambda}\ \longrightarrow \infty$$

Rayleigh-Jeans

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

R. J
(clássico

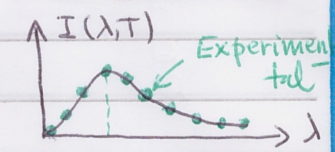
$\underbrace{I(\lambda,T)\, d\lambda}$ = potência por unidade de área no intervalo $d\lambda$

= intensidade da radiação no intervalo entre λ e $\lambda + d\lambda$ $[W/m^3]$

Em 1900: Max Planck obteve a fórmula correta para $I(\lambda,T)$:

$$\boxed{I(\lambda,T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)}}$$

lei de Planck



→ [$h = 6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s é a "constante de Planck"]

(1) Para λ grande → [$e^{hc/\lambda kT} \sim 1 + \frac{hc}{\lambda kT}$] Taylor

Ou seja:

$$I(\lambda \text{ grande}, T) \sim \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \cdot \frac{hc}{\lambda kT}} = \frac{2\pi c\, kT}{\lambda^4}$$

= Rayleigh-Jeans

OK! pois para λ grande não há problemas c/ a dedução de R.-J.

Além disso, a integral:

(2)
$$I_{total}^{(T)} = \int_0^\infty I(\lambda,T)\, d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{15 c^2 h^3} = \sigma T^4$$

= lei de Stefan-Boltzmann.

(3) $\lim \lambda \to 0$ $\quad e^{hc/\lambda kT} \to \infty$ muito mais rápido do que $\lambda^5 \to 0$

$\Rightarrow I(0,T) = 0$

(4) $\left.\frac{\partial I(\lambda,T)}{\partial\lambda}\right|_{\lambda_{max}} = 0 \Rightarrow \lambda_{max} \cdot T = 0{,}29 \times 10^{-2}$ m.K "lei de Wien"

Aula 11/4

Planck obteve a fórmula primeiramente de maneira "empírica", ajustando nos dados experimentais.

(*) Depois explica e propõe que: os osciladores (moléculas) da cavidade só podem assumir valores discretos da energia

$$\boxed{E_n = nhf} = nh\frac{c}{\lambda}$$

h = cte de Planck $= 4{,}1 \times 10^{-15}$ eV.s

onde $\begin{cases} n = \text{inteiro}: 0, 1, 2, \ldots \\ hf = \text{"quantum de energia"} \end{cases}$; $n=0$ corresponde ao "estado fundamental"

f = frequência natural de vibração dos osciladores

$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}$

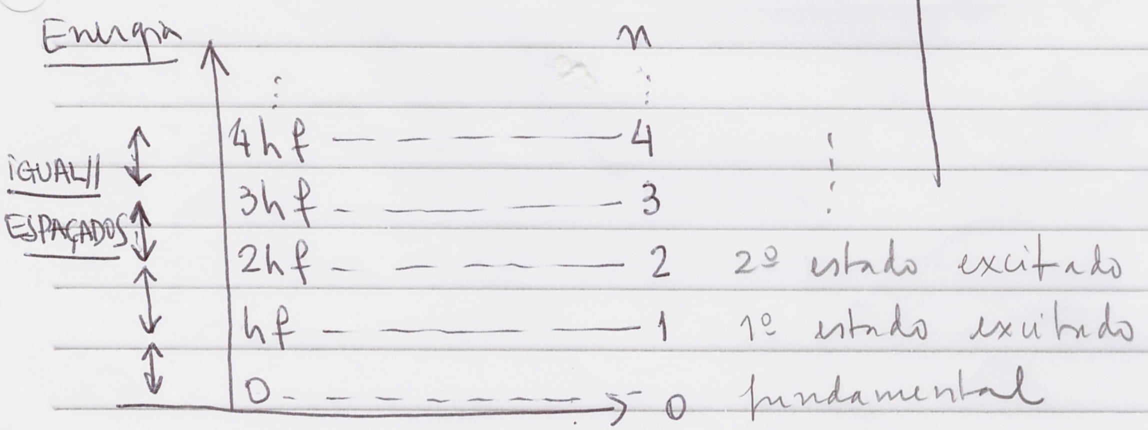
ou seja: As energias dos osciladores são quantizadas e os estados de energia permitidos são denominados "estados quânticos"

$n=0$: estado fundamental

$n=1$: 1º estado excitado

⋮

n = "nº quântico principal"



(*) Nem mesmo Planck acreditava na Física desta proposta... (Moysés IV)

☺

Exercícios: corpo negro

1) Supondo que o Sol, cujo raio é $6{,}96 \times 10^8$ m, emite radiação como um corpo negro, e que a potência TOTAL irradiada é de $3{,}77 \times 10^{26}$ Watts, estime a temperatura de sua superfície.

Solução:

$$\begin{cases} I = \sigma T^4 & \text{(corpo negro)} \\ [I] = \left[\dfrac{\text{energia}}{\text{tempo} \cdot \text{Área}}\right] = \left[\dfrac{\text{potência}}{\text{Área}}\right] & \text{(definição)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \sigma T^4 = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} \Rightarrow T_{Sol} = \left[\frac{1}{\sigma} \times \frac{3{,}77 \times 10^{26}\ \text{Watts}}{4\pi R_S^2}\right]^{1/4}$$

$$\boxed{T_{Sol} \simeq 5{,}7 \times 10^3\ \text{K}}$$

2) Calcule $\lambda_{máx}$ emitido pelo corpo humano ($T \sim 35°C$)

Solução: $T_{kelvin} = 273 + 35 = 308$

Kelvin!

Wien $\rightarrow$ $\lambda_{max} \cdot T \simeq 0{,}29 \times 10^{-2}\ (\text{m} \cdot \text{K})$

$$\lambda_{max} = \frac{0{,}29 \times 10^{-2}}{308} = 9420\ \text{nm}$$

(infravermelho)

Depende somente da temperatura...