

Leis de radiação e Radiação de corpo negro



Pós-Graduação
IFUSP

V. Franz Suxo M.

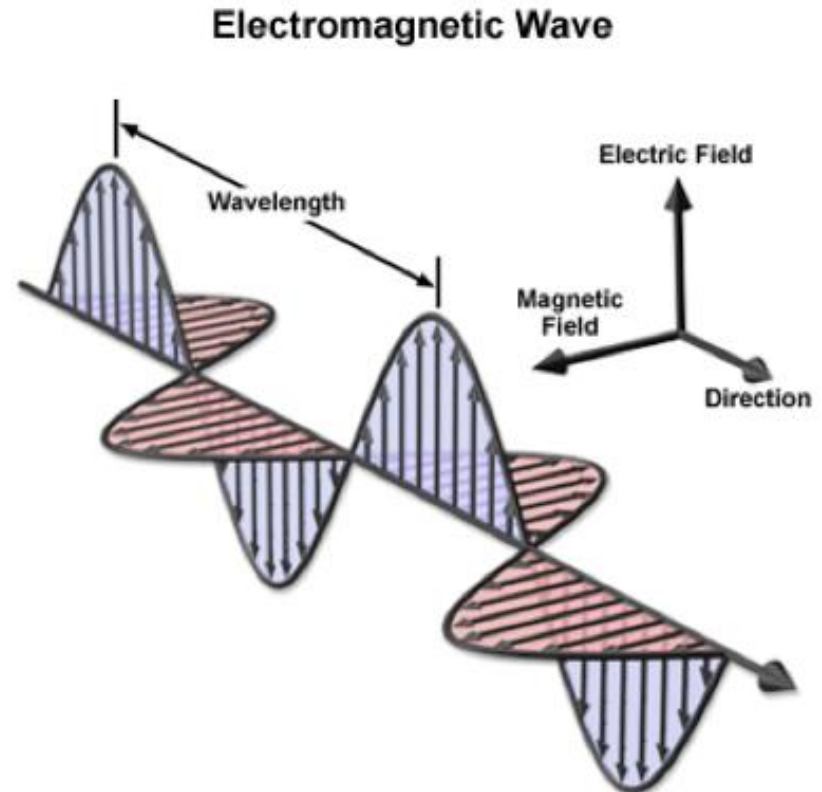
University of São Paulo

Introdução a la Física Atmosferica

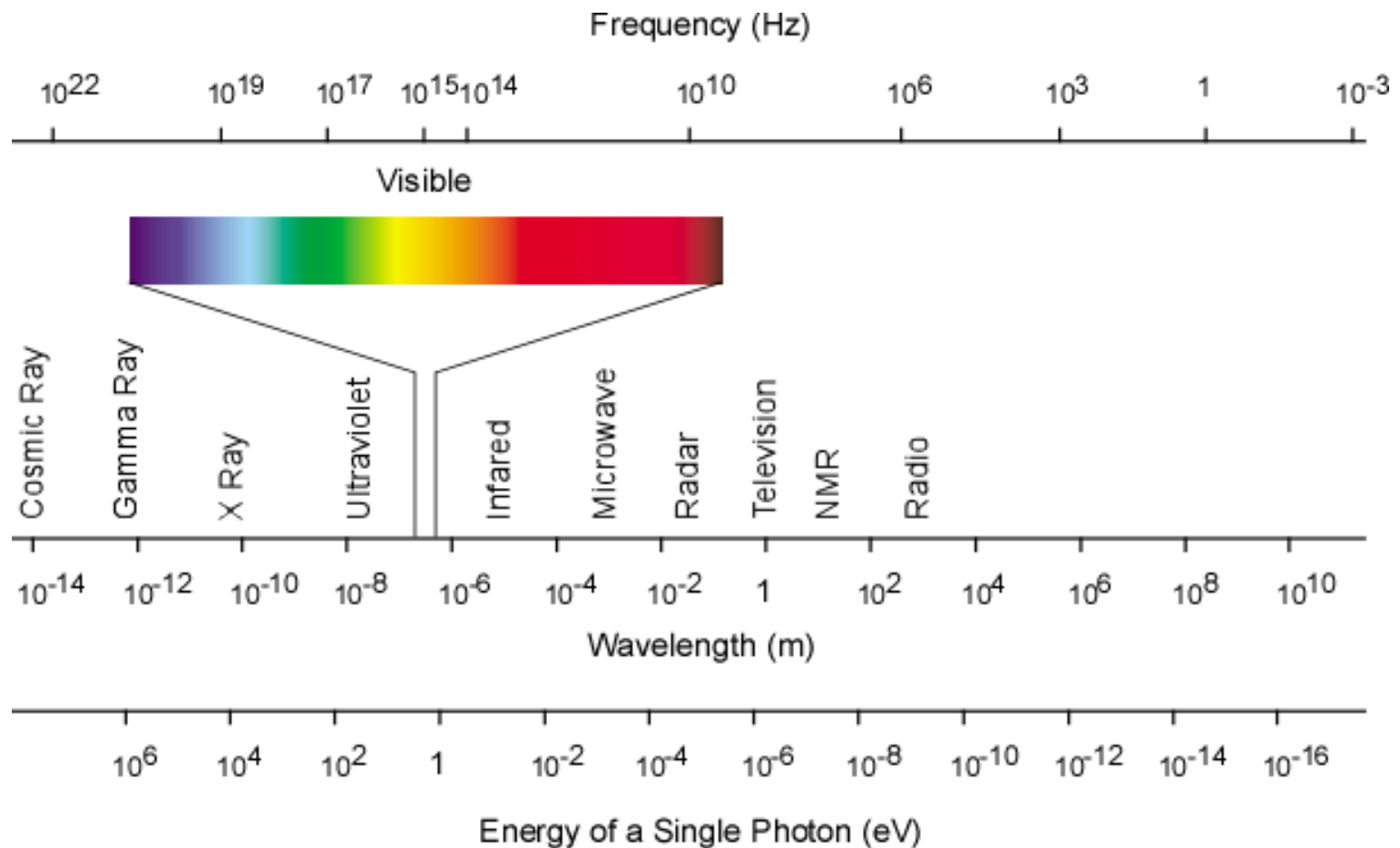
16 / abr /2018

O que é a luz?

- A luz é uma forma de radiação eletromagnética
- Formada por campos elétricos e magnéticos
- Os campos são perpendiculares entre si e na direção da propagação
- Velocidade de propagação no vácuo é 299792458 m/s no vácuo
- Velocidade (λ, ν): $c = \lambda \nu$



Espectro eletromagnético



Velocidade: $c = \lambda\nu$

Energia: $E = h\nu$

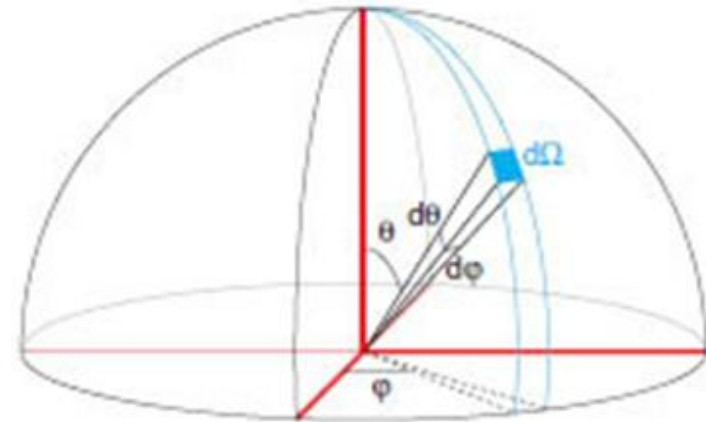
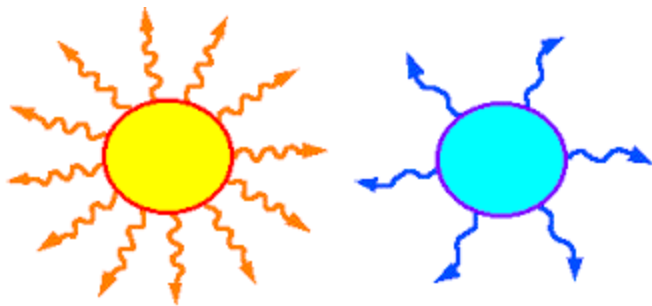
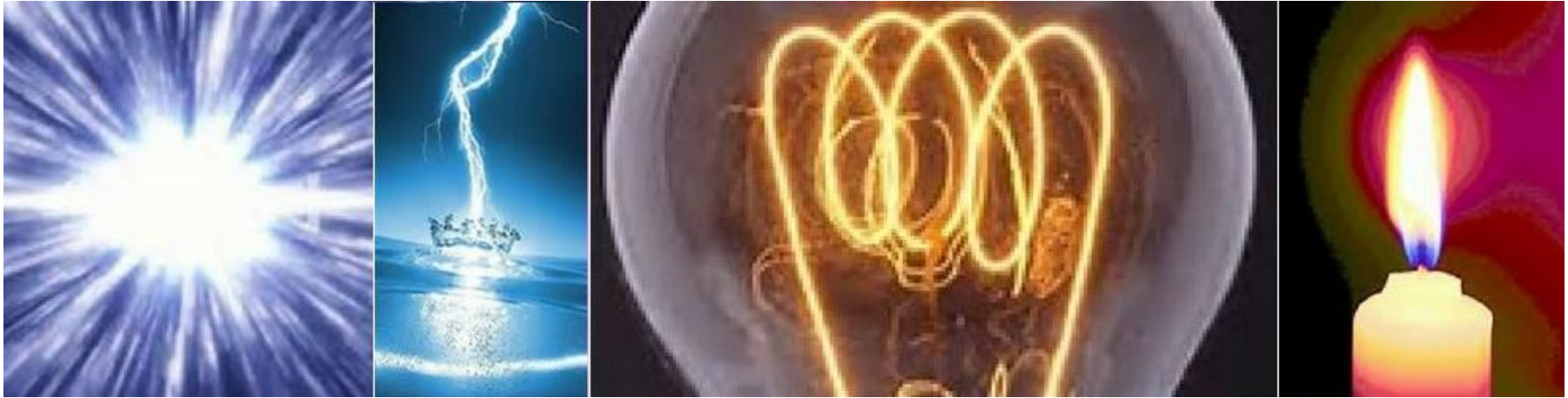
Grandezas radiométricas

Nomenclatura recomendada pela:
Comission Internationale de l'Éclairage (CIE)

Grandezas Radiométricas	Designação	Fórmula	Unidades Radiométricas
Energia Radiante (ER)	Q		Joule
Densidade de ER	W	$W = dQ/dV$	Joule m ⁻³
Fluxo Radiante (FR)	Φ	$Φ = dQ/dt$	Joule s ⁻¹ (watt)
Irradiância	E, M	$E, M = dΦ/dA$	watt m ⁻²
Intensidade Radiante	I	$I = dΦ/dΩ$	watt estrad ⁻¹
Radiância	L	$L = dI/(dA \cosθ)$	watt estrad ⁻¹ m ⁻²

Energia radiante (Q)

Fontes de energia [J]



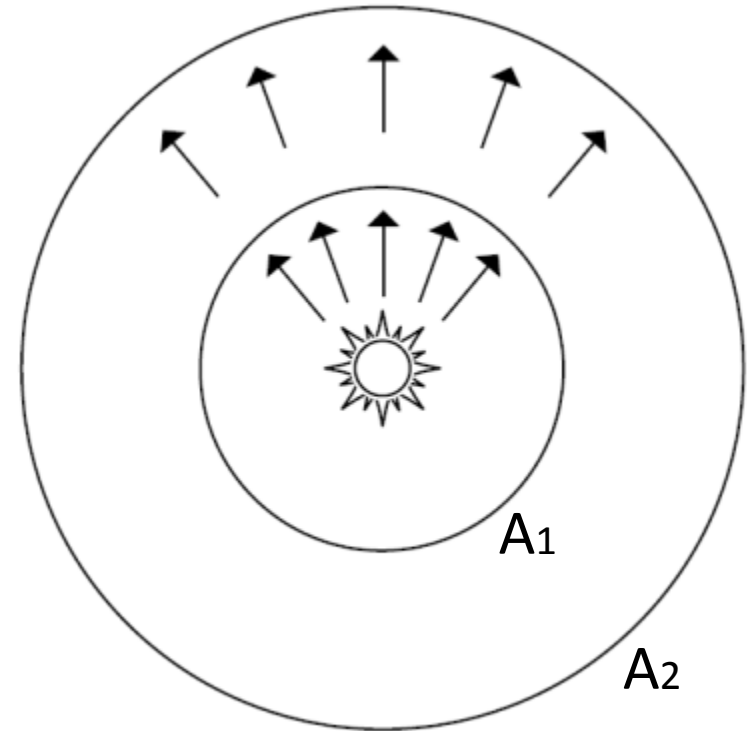
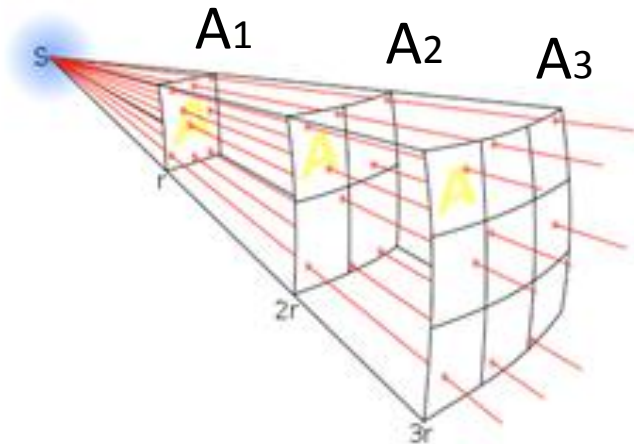
Emissão em todas direções

Ângulo sólido: $d\Omega = \sin \theta d\theta d\phi$

Fluxo radiante (ϕ)

Potência radiante [J/s]

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$



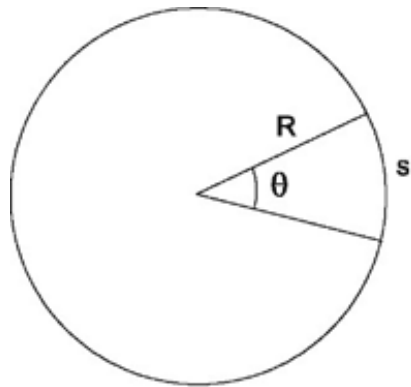
$$\phi_1 = \phi_2$$

O fluxo total ϕ através das superfícies A_1 e A_2 (ou A_3) é igual

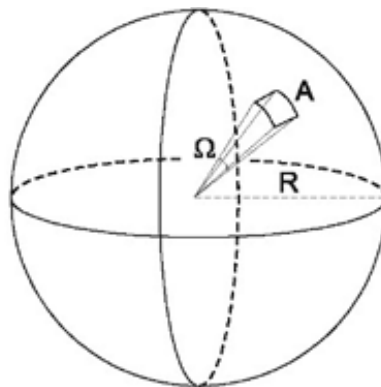
Intensidade radiante (I)

Intensidade radiante [J/s sr]

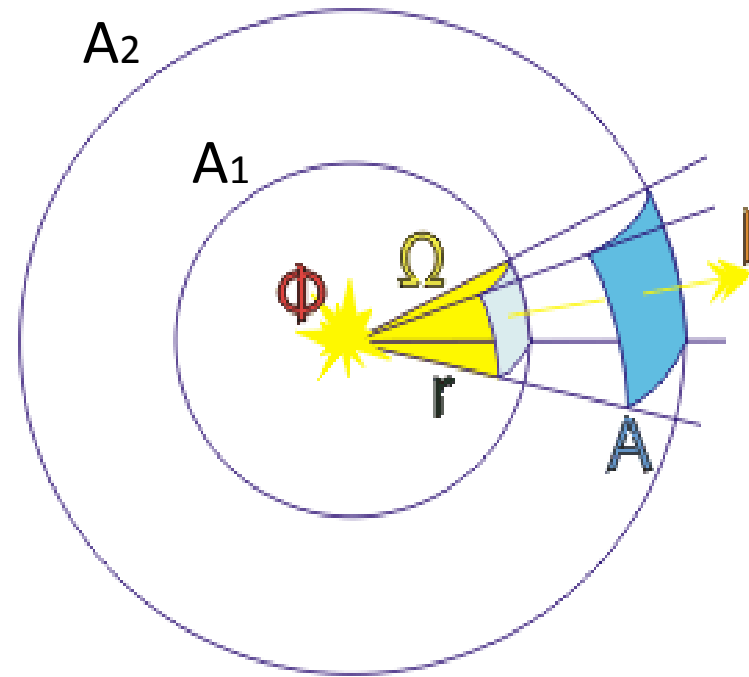
$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$



$$\theta = \frac{s}{R} \text{ radians}$$



$$\Omega = \frac{A}{R^2} \text{ steradians (sr)}$$



$$I_1 > I_2$$

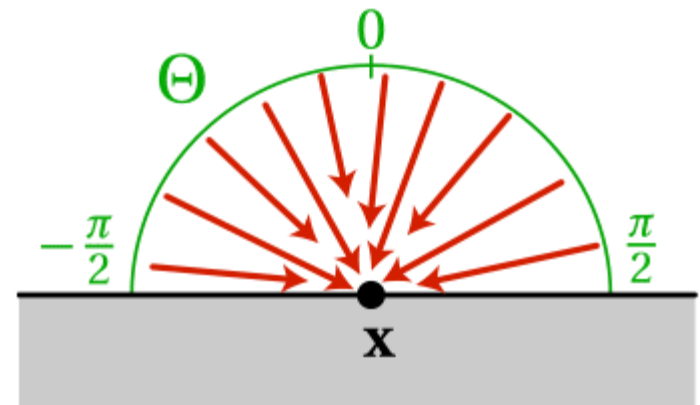
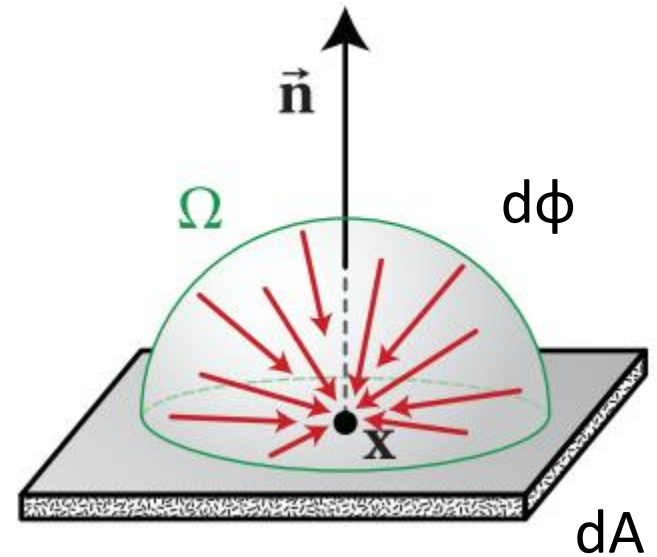
Fluxo de uma fonte pontual em uma direção do espaço

Irradiância (E)

Irradiância [J/s m²]

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

Fluxo de radiação ϕ por unidade de área A medida em um ponto x na superfície. É para a luz que chega a uma superfície.

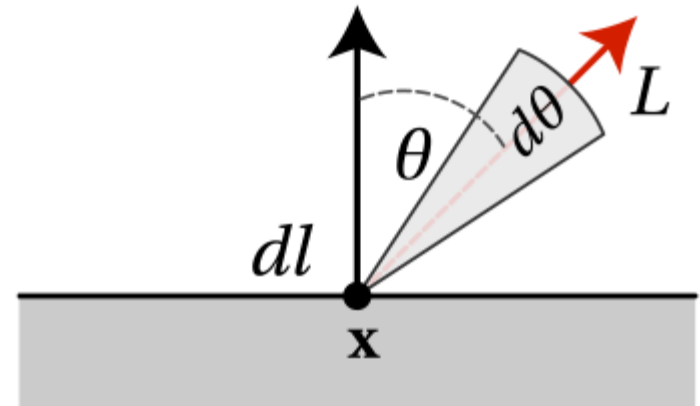
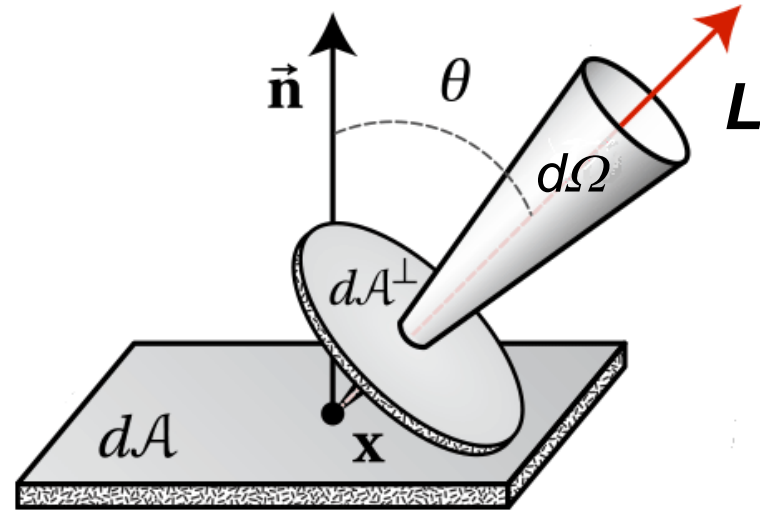


Radiância (L)

Radiância [J/s sr m²]

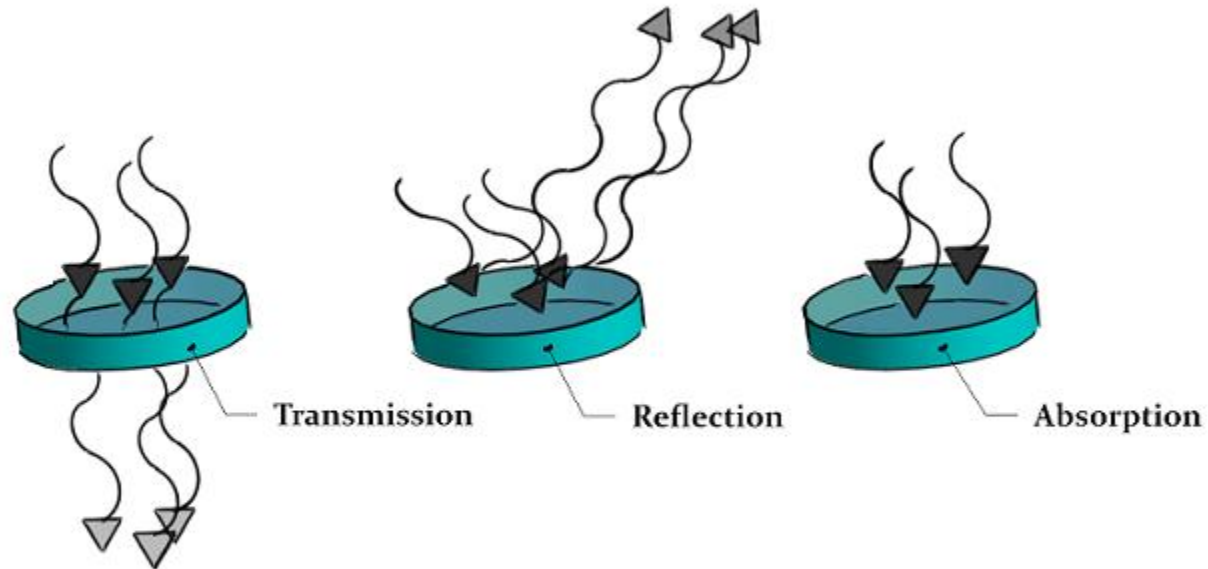
$$L = \frac{dI}{\cos \theta dA}$$

Potência **W** por unidade de área **A** perpendicular a uma direção particular Θ por unidade de ângulo sólido Ω .



Interação com a matéria

Absortância (a_λ), refletância (r_λ) e transmitância (t_λ)

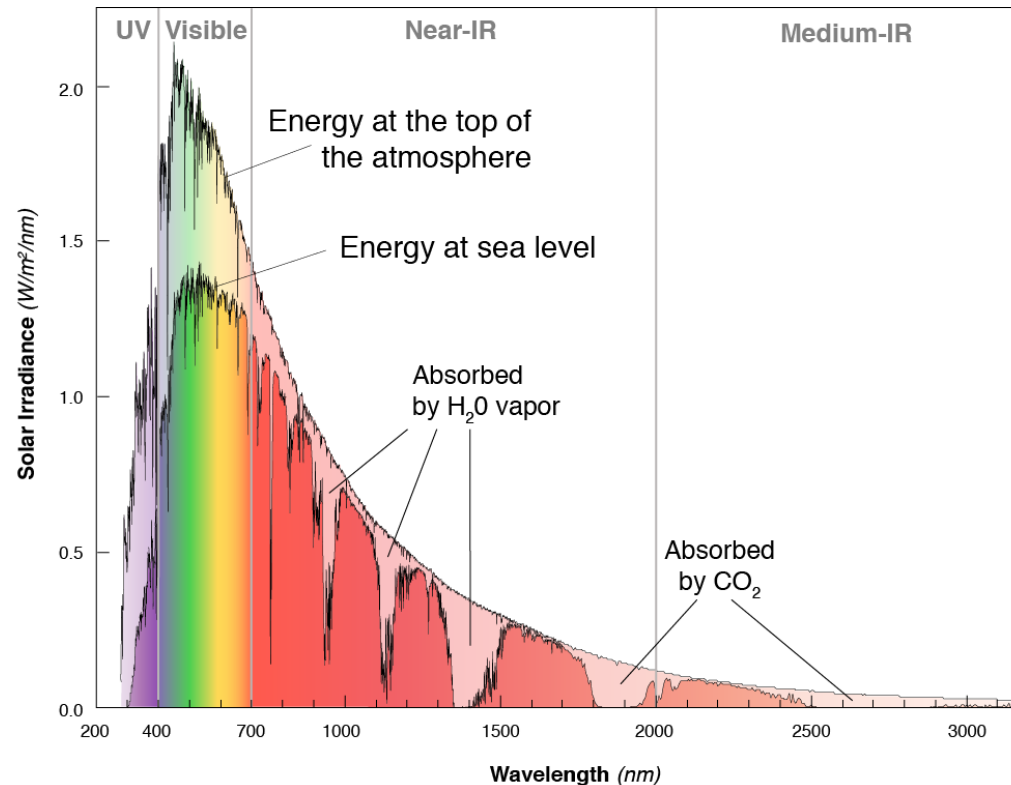


A radiação eletromagnética interage com a matéria por espalhamento, por absorção ou por emissão.

Conservação de energia: $a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$

Irradiância solar

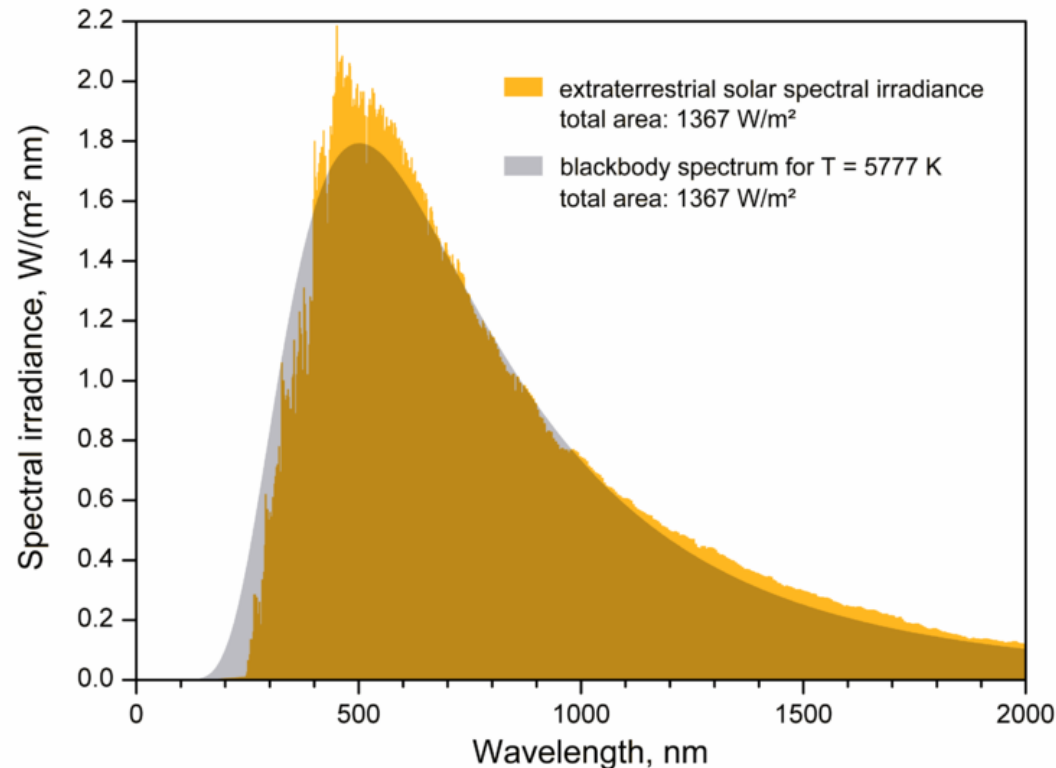
Irradiância solar espectral no topo da atmosfera e superfície



O processo de absorção está associado com alterações físicas do meio

O sol como um corpo negro

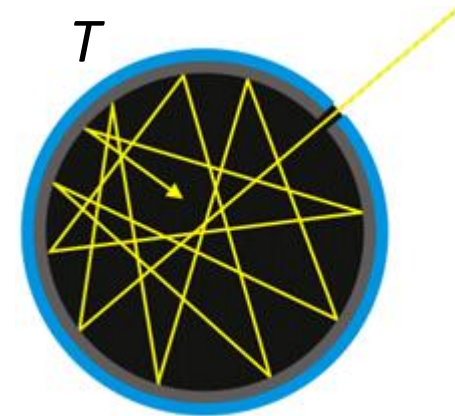
Espectro da irradiância solar extraterrestre e um corpo negro



O sol (objeto real) se comporta como um corpo negro (objeto ideal)

Radiação do corpo negro

- **Corpo negro:** absorve toda a radiação incidente sobre si, independente do comprimento de onda ou direção de incidência.
- Nenhuma parte da radiação incidente é refletida ou transmitida pelo corpo negro.
- Kirchoff mostrou que o seu espectro eletromagnético depende apenas da sua temperatura T .
- A radiação absorvida (ou emitida) por um corpo negro escapa à explicação da física clássica.



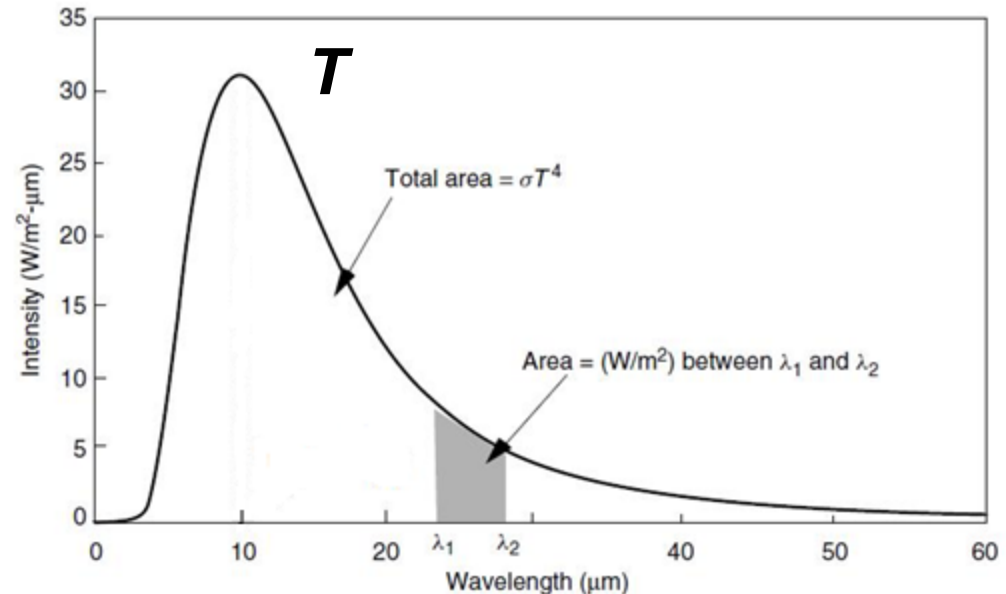
Corpo negro
conceitual

Lei de Stefan-Boltzmann

- Todos os corpos emitem radiação eletromagnética por estarem temperatura diferente de zero.
- A irradiância emitida por unidade de área e por T unidade de tempo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta.

$$P = eA\sigma T^4$$

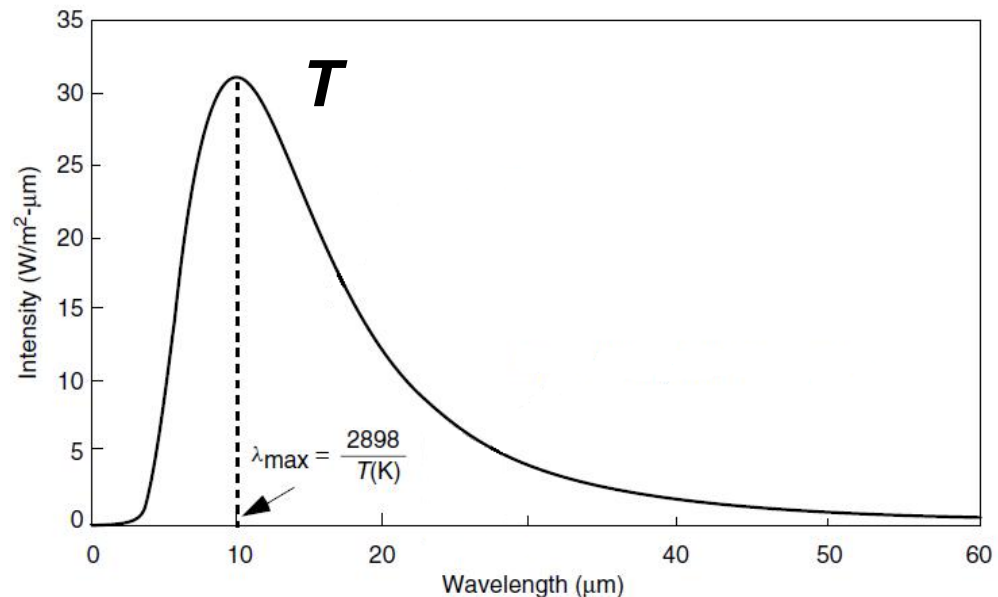
$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$



Lei de Wien

- O comprimento de onda de emissão do corpo negro é máxima, é inversamente proporcional à sua temperatura absoluta.
- Quanto maior a temperatura de um corpo negro, T menor o comprimento de onda em que ele emite.

$$\lambda_{max} T = 2897 [\mu m K]$$

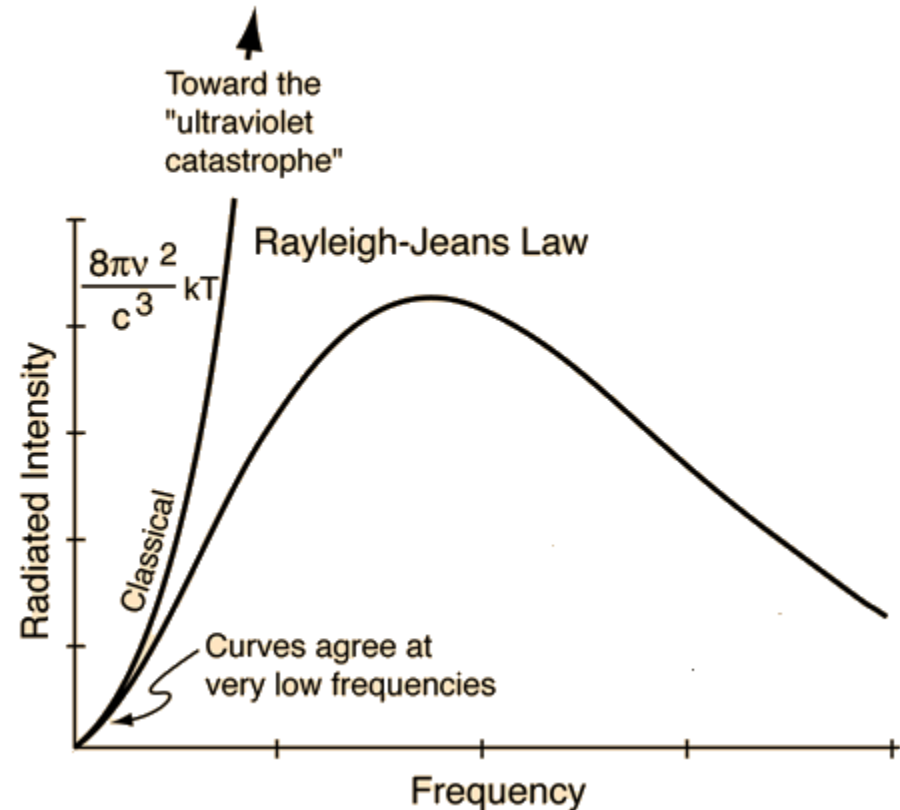


Lei de Planck

Rayleigh-Jeans: Modelo clássico para descrever a distribuição espectral de emissão ondas eletromagnéticas.

$$\frac{dQ}{dVdv} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

Energia por unidade de volume,
por unidade de frequência



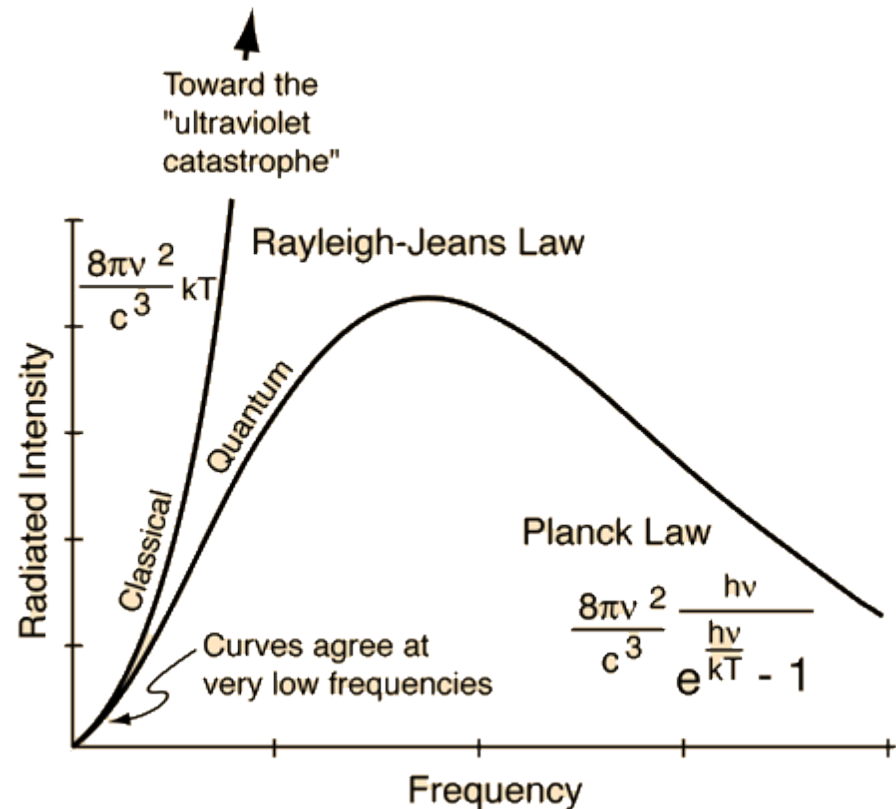
Lei de Planck

Modelo quântico: A energia radiativa é emitida em pacotes finitos ou quanta, e sua energia é dada por $h\nu$.

$$\frac{dQ}{dV d\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Energia por unidade de volume, por unidade de frequência e h é a constante de Planck

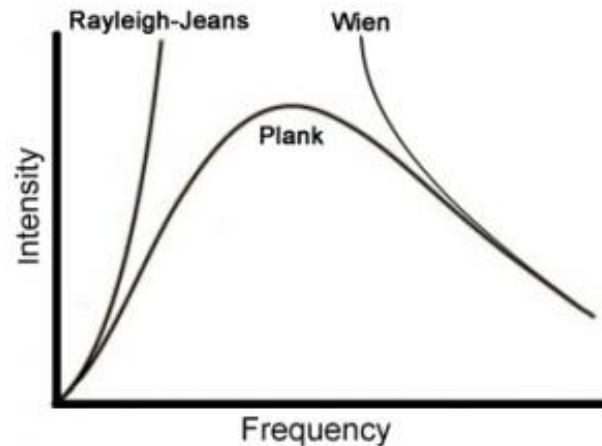
$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



Lei de Planck

Baixas energias

$$h\nu/kT \ll 1$$



Altas energias

$$h\nu/kT \gg 1$$

Limite de Rayleigh-Jeans:

$$\frac{dQ}{dV d\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

Limite de Wien:

$$\frac{dQ}{dV d\nu} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} e^{-h\nu/kT}$$

Lei de Planck

Radiância espectral $L = B_\nu$: emitida por um corpo descrita pela função de Planck.

$$B_\nu = \frac{4\pi}{c} \frac{dQ}{dV d\nu} \quad [W / (m^2 \cdot sr \cdot Hz)]$$

Então:

$$B_\nu = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$c = \lambda\nu$$

$$B_\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Lei de Planck

Lei de Wien:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} B_{\lambda} = 0 \quad \lambda_m T = 2.898 \times 10^{-3}$$

Lei de Stefan-Boltzmann:

$$B_{(T)} = \int_0^{\infty} B_{\lambda} d\lambda \quad B_{(T)} = \sigma T^4$$

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

Acknowledgments



Nanopetro

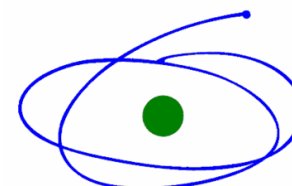
Research Group



Universidade de São Paulo



PETROBRAS



C A P E S

