

Radiação na Atmosfera

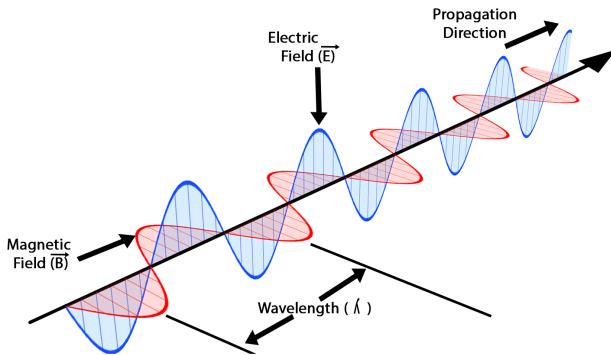
- ▶ Prof. Breno Imbiriba
- ▶ Período especial da PANDEMIA - 2021
- ▶ Capítulo 1 - Grandezas Radiométricas

Radiação Eletromagnética

Campos e propagação

- ▶ Descoberta por Maxwell - (equações de Maxwell do Eletromagnetismo)
- ▶ Onda formada de campos elétricos e magnéticos.

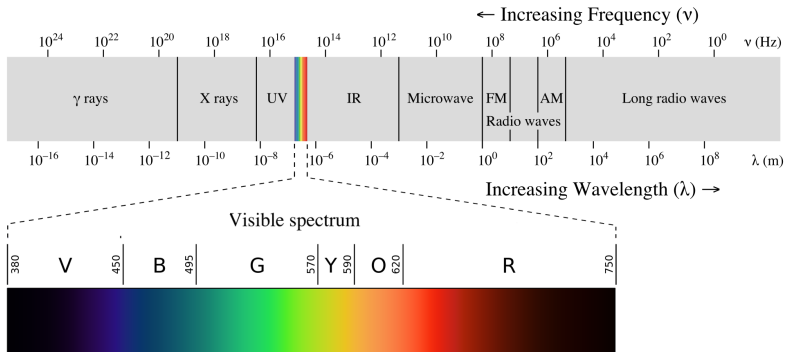
Electromagnetic Wave



Radiação Eletromagnética

Espectro Eletromagnético

- ▶ Radiação Eletromagnética unifica diversos fenômenos:
- ▶ Luz, Infravermelho, Ultravioleta, Ondas de Rádio, Microondas, Raios X, Raios Gama.
- ▶ Todos são Radiação Eletromagnética - mudando apenas a frequência!!



Radiação Eletromagnética

Quanta de Luz - Na virada do Século XIX para XX:

- ▶ Descobriu-se (Planck) que a Energia da luz estava ligada a sua frequência:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = h\nu,$$

onde $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$, λ é o comprimento de onda (m), ν é a frequência (Hz), e c é a velocidade da luz $c = 299,8 \text{ mil km/s} = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ (decorar: 300 mil quilômetros por segundo!).

- ▶ Einstein explicou o Efeito Fotoelétrico.
- ▶ Unidades comuns para λ : mm (rádio), μm (microondas-IV), nm (visível-UV).

Radiação Eletromagnética

Divisão do Espéctro:

- ▶ UVC (100-280nm)
- ▶ UVB (280-315nm)
- ▶ UVA (315-400nm)
- ▶ Visível (400-700nm)
- ▶ IV próximo (0,78-3,5) μm
- ▶ IV termal (3,5 μm -1mm)
- ▶ Radiação Solar abrange TODO o espéctro, no entanto é mais intenso no visível e UV, indo a zero para $\lambda > 4\mu\text{m}$.

Ângulo Sólido

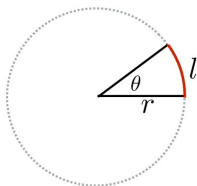
O que é

Ângulos e Ângulos Sólidos

Ângulo:

a razão do comprimento do arco pelo raio do círculo

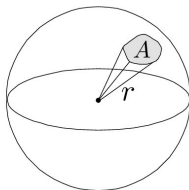
- $\theta = \frac{l}{r}$
- O Círculo tem 2π Radianos



Ângulo sólido:

a razão entre a área em uma esfera pelo raio da esfera

- $\Omega = \frac{A}{r^2}$
- A Esfera tem 4π Steroradianos

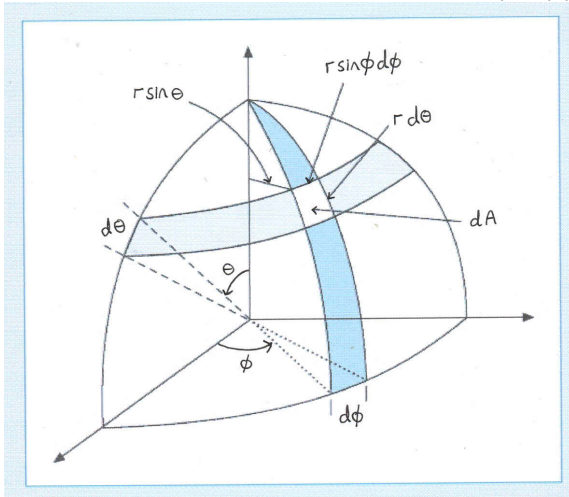


► Unidade: steroradiano (sr).

Ângulo Sólido

Coordenadas esféricas

- Área de uma calota infinitesimal: $d\sigma = (rd\theta)(r \sin(\theta)d\phi)$.



Ângulo Sólido

- ▶ Assim, a área elementar (infinitesimal) é $d\sigma = r^2 \sin(\theta) d\theta d\phi$.
- ▶ O ângulo sólido elementar correspondente é:
 - ▶ Ângulo sólido: $\Omega = \frac{S}{R^2} = \sin(\theta) d\theta d\phi$.

Se estivermos usando latitude e longitude, isto é equivalente à:

- ▶ Ângulo sólido: $\Omega = \frac{S}{R^2} = \cos(lat) dlat dlon$.

Ex. Qual é o ângulo sólido de um pequen retângulo de 1 grau por 1 grau? Como não estamos fazendo distinção entre os graus, eles encontram-se no equador de uma esfera imaginária, ($\theta = 90$ ou latitude=0), e assim temos que $\Delta\Omega \approx (1^\circ)^2 = (\pi/180)^2 = .0003\text{sr}$.

Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

Fluxo

Definição: Quantidade de energia radiante total liberada por segundo.

- ▶ Fluxo de energia = energia dispendida por segundo (potência)

$$\phi = \frac{Q}{T} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}.$$

- ▶ Q - energia radiante (J).
- ▶ ϕ - fluxo de energia (W).
- ▶ T - tempo considerado (s).

Ex. Uma lâmpada incandescente de potência de 60W têm como fluxo de energia os mesmos $\phi = 60\text{W}$. Ela emite 60J por segundo de energia radiante. (No caso da lâmpada incandescente, a maior parte desta energia é no infravermelho térmico).

Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

Intensidade Radiante

Definição: A potência radiante por unidade de ângulo sólido emitida por uma fonte puntual.

- ▶ De uma fonte puntual em uma determinada direção:
- ▶ O fluxo de energia dividido pelo ângulo sólido de propagação dessa radiação:

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

Ex. Na mesma lâmpada de 60W, se ela emite em todas as direções igualmente, podemos dizer que a intensidade é

$$I = 60/4\pi = 4,77\text{W/sr}.$$

Note: A Intensidade I pode se referir tanto a energia de sai de uma fonte, quanto à intensidade que atinge um observador.

Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

Irradiância

Definição: Potência radiante que atinge uma determinada área.

- ▶ Em um determinada area em uma superfície:

$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta A} = \frac{d\phi}{dA}.$$

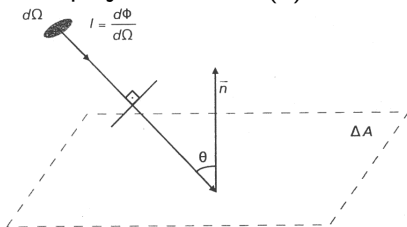
- ▶ Ex. A radiação solar atinge a superfície da Terra com irradiância de $1,3\text{kW/m}^2$.

Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

Radiância

Definição: Fluxo radiante em uma superfície, por ângulo sólido e por área projetada (na direção da radiação).

- ▶ Radiância emitida: A é a área da fonte e Ω é o ângulo sólido da emissão.
- ▶ Radiância recebida: A é a área do detector e Ω é o ângulo sólido da fonte **vista pelo** detector.
- ▶ Área projetada: $A \cos(\theta)$, θ = ângulo com a normal.



Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

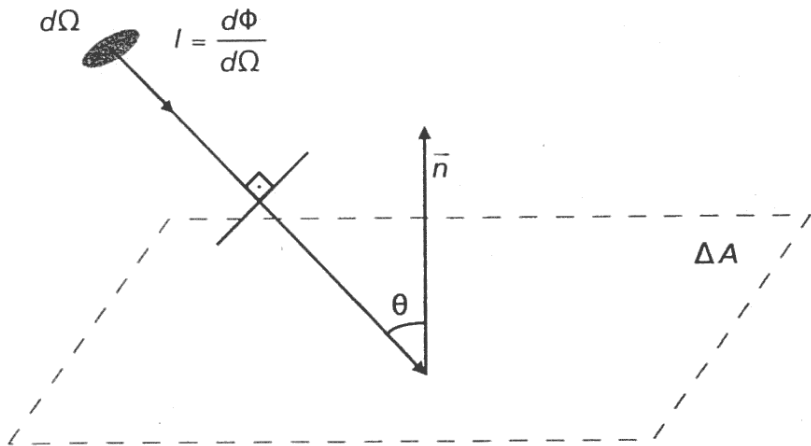
- ▶ Em uma dada direção, em um dado ponto (área) de uma superfície:
- ▶ A razão entre a intensidade radiante emitida pela área ortogonal insidente:

$$L = \frac{1}{\cos \theta} \frac{\Delta I}{\Delta A} = \frac{1}{\cos \theta} \frac{dI}{dA} = \frac{1}{\cos \theta} \frac{d^2 \phi}{dA d\Omega}.$$

- ▶ Ou a razão da Irradiância pelo ângulo sólido:

$$L = \frac{1}{\cos \theta} \frac{\Delta E}{\Delta \Omega} = \frac{1}{\cos \theta} \frac{dE}{d\Omega}.$$

Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância



Fluxo, Intensidade, Irradiância e Radiância

Radiância - Irradiância

- ▶ Outra maneira de definir Irradiância
- ▶ Integral da radiância (L) pelo ângulo sólido:

$$E = \int L \cos \theta d\Omega = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \int_{\phi_i}^{\phi_f} L \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi.$$

Para a esfera total:

$$E = \int_S L \cos \theta d\Omega = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} L \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi.$$

Lista de Exercícios 1

1. Calcule a frequência de oscilação de:
 - ▶ Ondas de rádio: $\lambda = 1\text{cm}$
 - ▶ Microondas: $\lambda = 1\text{mm}$
 - ▶ Infravermelho; $\lambda = 10\mu\text{m}$
 - ▶ Visível verde
 - ▶ UVA
2. Mostrar que o ângulo sólido de uma esfera é 4π .
3. Calcule o ângulo sólido de um retângulo de $1^\circ \times 1^\circ$ (lat/lon) sobre a superfície da Terra, na linha do equador.

Lista de Exercícios 1 - cont.

4. ϕ , I , E , L :

- 4.1 Fluxo ϕ : Considere uma lâmpada incandescente de 60W e assumamos que toda esta potência seja de energia radiante. Qual é o valor do fluxo de energia radiante ϕ ?
- 4.2 Intensidade I : Considerando esta lâmpada como uma fonte de energia radiante puntual, e considerando que ela emita igualmente em todas as direções.
- 4.2.1 Qual o ângulo sólido Ω em que a radiação é emitida? Calcule a intensidade média da radiação I .
- 4.2.2 Considere que agora que é colocado um espelho metálico plano infinito atrás da lâmpada, efetivamente refletindo toda a sua energia para frente. Qual é o novo ângulo sólido Ω no qual a radiação é emitida? Calcule a nova intensidade I .
- 4.3 Irradiância E : Se 2600W de potência atingem uma área de 2m², calcule o valor de E .
- 4.4 Radiância L : O Sol tem irradiância $I = 1300\text{W/m}^2$. O disco solar ocupa apenas uma pequena porção do céu, em termos de ângulo sólido, apenas 0,00024sr. Assumindo que o Sol esteja a pino (ou seja, faça um ângulo de 0° com a normal), calcule a radiância L .

Lista de Exercícios 1 - cont.

5. A irradiância solar tem um valor de $1,3\text{kW/m}^2$. Calcule quanta energia pode ser captada por um painel solar de 2m^2 durante o período de uma hora ao meio dia, assumindo uma eficiência de 30%.
6. Provar que, se a radiação for isotrópica, ou seja, a radiância é a mesma em todas as direções (constante igual a L), a irradiância total incidente em um hemisfério é igual a πL .