

Física IV (IF 2023)

Aula 3

- Objetivos de aprendizagem:
 - Definir matematicamente o Vetor de Poynting e interpretar seu significado físico
 - Obter o Vetor de Poynting de uma onda monocromática e a intensidade da onda

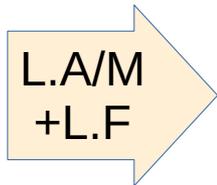
Densidade de energia eletromagnética e conservação da energia

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

Mostrar que a taxa de variação temporal sendo \rightarrow

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \epsilon_0 \vec{E} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

\rightarrow portanto:



$$-\frac{\partial u}{\partial t} = \vec{J} \cdot \vec{E} + \vec{\nabla} \cdot \vec{S} \quad (\text{cons. energia})$$

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad \text{Vetor de Poynting}$$

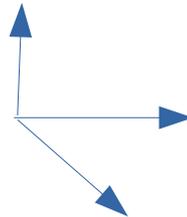
Identidade do cálculo vetorial

$$\vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{E}) - \vec{E} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla} \cdot (\vec{E} \times \vec{B})$$

Conservação da energia

- Mostrar a equação de conservação na ausência de correntes (espaço livre), e
- Associar o vetor de Poynting com a densidade de corrente de energia da onda eletromagnética
- Observar que as densidades de energia elétrica e magnética são iguais
- Mostrar que a velocidade de propagação da energia em ondas progressivas é c

$$\mathbf{S} = c U \hat{\mathbf{u}}$$



Equação de conservação

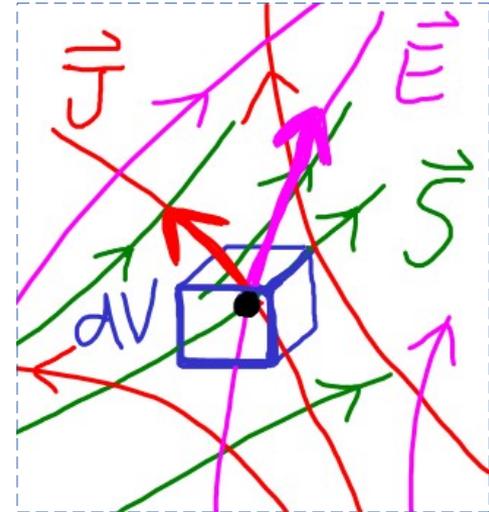
$$-\frac{\partial u}{\partial t} = \vec{J} \cdot \vec{E} + \vec{\nabla} \cdot \vec{S}$$

Taxa de redução da densidade de energia eletromagnética

Densidade de potência mecânica gerada às custas de energia eletromagnética

Densidade de fluxo de energia eletromagnética que abandona o elemento de volume

(→ mostrar se der tempo)



Vetor de Poynting de onda monocromática

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_0 \hat{e} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta) \quad \vec{B} = \frac{\hat{u}}{c} \times \vec{E} \quad (\hat{e} \perp \hat{u})$$

- Calcular o vetor de Poynting
- Calcular o valor médio do vetor e a intensidade que atravessa uma superfície perpendicular à direção de propagação:
- Intensidade:

$$I = \langle \vec{S} \rangle \cdot \hat{u} = |\langle \vec{S} \rangle| = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_0^2$$

Exercício

Uma ponteira laser verde tem as seguintes características:

- Comprimento de onda: 532nm
- Potência: 5mW
- Diâmetro do feixe: 1.1 mm

Determine, em unidades SI:

- (1) O período e a frequência da radiação
- (2) O número de onda
- (3) A amplitude do campo elétrico
- (4) A amplitude do campo magnético
- (5) A energia contida ao longo de 1 m do feixe.
- (6) Supondo que o laser se propaga na direção z e o campo elétrico é polarizado na direção x, faça um esboço dos vetores de Poynting, campo elétrico e campo magnético, no instante em que a magnitude do vetor de Pointing é máxima.

Resultados

P[mW]	Lambda [nm]	D [mm]	T=(L/c) [s]	f[Hz]	A[m ²]	<S> [W/m ²]	E0 [N/C]	B0[T]	U(1m) [J]
5	532	1,1	1,77E-15	5,64E+14	9,50E-07	5,26E+03	1,99E+03	6,64E-06	1.67E-11