Estudo dirigido: Energia e momento de uma onda eletromagnética

- Sabe-se que no transporte de energia por uma onda de qualquer espécie

$$\boxed{\text{Intensidade da onda} = \text{densidade de energia} \times \text{velocidade da onda}}$$

- Para uma onda eletromagnética:
  - No vácuo $E = cB$ onde $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ (1)
  - A densidade de energia dos campos $\vec{E}$ e $\vec{B}$ é: $\eta_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ (2)

$$\eta_B = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0} \quad (3)$$

A densidade de energia total da onda é: $\eta = \eta_e + \eta_B$

(1) Encontre a densidade de energia total $\eta = \frac{EB}{c\mu_0} = \frac{B^2}{\mu_0} = \varepsilon_0 E^2$ (4), e também a intensidade da onda $I = \frac{EB}{\mu_0}$ (5).

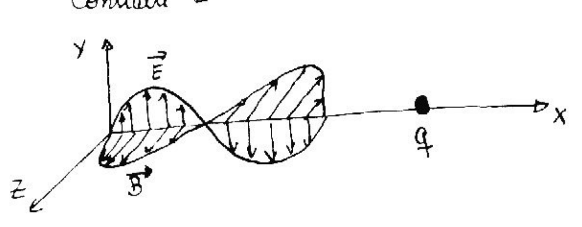
Generalizando, na forma vetorial: $\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$ (6) onde $\vec{S}$ é o vetor de Poynting

(2) Compare (6) com (5) levando em conta que $\vec{E} \perp \vec{B}$ na onda eletromagnética. O que você conclui sobre o módulo e a direção de $\vec{S}$?

Associamos sempre momento a quantidade de movimento com massa, e portanto, nos parece estranho pensar em momento de uma onda eletromagnética. Assim, usaremos o exemplo abaixo para calcular o momento transportado por uma onda desta espécie.

Ex: Vamos calcular o momento e a energia absorvidos da onda por uma partícula carregada livre e desta forma obter o momento da onda.

Considere a onda eletromagnética abaixo incidindo sobre a partícula q.



3

(A) A força que atua sobre a partícula parada é: $\vec{F} =$ (7)

na direção: ....

(B) A velocidade adquirida pela partícula nesta direção num instante de tempo t é:

(8)

(C) Consequentemente a energia cinética K da partícula num instante t é:

(9)

(D) A partícula em movimento sofre a ação do campo magnético da onda através da força de Lorenz $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$. O valor e a direção desta força num instante t são:

(10)

* Como uma destas forças atua na direção de propagação da onda eletromagnética, o impulso desta força é igual ao momento transferido pela onda para a partícula. Desta forma podemos estimar o momento p da onda eletromagnética.

Def: $\underbrace{\int_0^t F\,dt}_{\text{Impulso}} = \underbrace{\Delta p}_{\text{variação do momento}}$.

(11)

$p =$

Usando (1) e comparando (11) com (9):

$\boxed{p = \frac{1}{c} U}$ (12) "O momento transportado por uma onda é igual a $\frac{1}{c}$ vezes a energia transportada pela onda."

Consequência importante: Se a onda tem momento, quando ela incide numa superfície ela transfere momento. A força aplicada pela radiação sobre a superfície exerce uma pressão conhecida como "Pressão de Radiação".

(4) Sabendo que: Pressão = $\frac{\text{Força}}{\text{área}}$

$$\text{Força} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \qquad p \rightarrow \text{momento} = \frac{U}{c}$$

$$\underset{\text{intensidade}}{\underset{\uparrow}{I}} = \eta c \left[\frac{\text{energia}}{\text{volume}} \cdot \frac{\text{metro}}{s}\right] = \left[\frac{\text{energia}}{\text{area} \cdot s}\right]$$

e usando a lei da conservação do momento, mostre que a pressão exercida pela radiação sobre a superfície é:

$P_r = \frac{I}{c}$ se a onda for totalmente absorvida

$P_r = \frac{2I}{c}$ se a onda for totalmente refletida.

COMENTE :