

Provinha 1

Nome: _____ GABARITO _____

Número USP/Assinatura: _____ / _____

Um feixe de laser possui um campo magnético dado por $\vec{B} = B_0 \cos(kx - \omega t) \hat{y}$. Explique sucintamente cada resposta. As repostas devem ser colocadas em termos das variáveis assumidas como dadas no enunciado (além das constantes eletromagnéticas, μ_0 , ϵ_0 , e da velocidade da luz, c).

- a) [2,0] Qual é a direção e o sentido de propagação do feixe de laser?

A direção e o sentido podem ser inferidos pelo argumento do cosseno (a fase) que corresponde a uma onda progressiva com dependência em $x - vt$, sendo $v = \omega/k$. Portanto a onda tem direção e sentido do versor \hat{x} .

- b) [2,0] Qual é a expressão para o vetor campo elétrico \vec{E} , como função da posição e do tempo?

Numa onda eletromagnética temos que $\vec{B} = \frac{1}{c} \hat{u} \times \vec{E}$, sendo \hat{u} a orientação da propagação.

Portanto $\vec{E} = -c B_0 \cos(kx - \omega t) \hat{z}$.

- c) [1,0] Qual é a expressão para o vetor de Poynting do laser como função da posição e do tempo?

O Vetor de Poynting é dado por $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$, no caso, $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} c B_0^2 \cos^2(kx - \omega t) \hat{x}$.

- d) [1,0] Qual é o significado do vetor de Poynting?

O Vetor de Poynting é um vetor que fornece a densidade de fluxo de potência eletromagnética (energia por unidade de tempo por unidade de área).

- e) [2,0] Se a energia do feixe contida em um comprimento de onda é U_λ , qual é a área A_f da seção transversal do feixe?

S é uma “densidade de corrente de energia”: $\vec{S} = uc \hat{u}$, portanto, no caso em questão,

$$\langle u \rangle = \frac{\langle |\vec{S}| \rangle}{c} = \frac{1}{2\mu_0} B_0^2, \quad (\frac{1}{2} = \text{média do } \cos^2 \text{ em um período}) \text{ e } U_\lambda = A_f \lambda \langle u \rangle, \text{ portanto}$$

$$A_f = 2\mu_0 \frac{U_\lambda}{\lambda B_0^2} = \frac{k}{\pi} \mu_0 \frac{U_\lambda}{B_0^2}.$$

- f) [1,0] Lembrando que a densidade de momento linear transportada pela onda eletromagnética é

$$\vec{\pi} = \frac{\vec{S}}{c^2}, \text{ qual é a quantidade de momento } \vec{p}_\lambda \text{ contida ao longo de um comprimento de onda}$$

do feixe?

Basta multiplicar a densidade de momento pelo volume:

$$\vec{p}_\lambda = A_f \lambda \vec{\pi} = A_f \lambda \frac{\vec{S}}{c^2} = A_f \lambda \frac{u}{c} \hat{x} = \frac{U_\lambda}{c} \hat{x}.$$

- g) [1,0] Se o laser incide sobre um anteparo preto e é totalmente absorvido, qual é a força média exercida sobre o anteparo pelo feixe de laser?

Pela conservação do momento, seria igual ao momento contido em um comprimento de onda

dividido pelo tempo de um período: $\vec{F} = \frac{\vec{p}_\lambda}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \vec{p}_\lambda = \frac{\omega}{2\pi} \frac{U_\lambda}{c} \hat{x}.$