

Folha 4 – Radiação. Ótica. Fibra ótica.

- 1) As componentes do campo elétrico de uma onda eletromagnética no vácuo são dadas por:

$$E_x=0, E_y= 30 \cos [(2\pi \times 10^8)t - 2\pi x/3], E_z=0.$$

A unidade do campo é o V/m, do tempo o segundo e da coordenada espacial o metro.

Determine:

- A frequência da oscilação e o comprimento de onda;
- A direção de propagação da onda;
- A direção do vetor campo magnético.

R: (a) 1×10^8 Hz, 3 m

- 2) Uma onda polarizada pode ser expressa matematicamente com os campos elétrico e magnético representados da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= E_m \sin\left[\left(10^{14}\right)t - kz\right] \hat{x} & \text{NC}^{-1}; \\ \vec{B} &= 10^{-6} \sin\left[\left(10^{14}\right)t - kz\right] \hat{y} & \text{T}\end{aligned}$$

- Qual a direção e sentido da propagação da onda eletromagnética?
- Qual o valor da amplitude E_m ?
- Qual o comprimento de onda da radiação? A que zona do espectro corresponde?
- Qual a intensidade da onda eletromagnética?

R: (b) 300 V/m; (c) $1,89 \times 10^{-5}$ m, infravermelho; (d) 120 W/m^2

- 3) Ondas rádio são muito utilizadas numa enorme gama de produtos e tecnologia: telefones celulares, telefones sem fios, nos rádios, ligações da internet, radares da polícia e transmissões de satélites. Dentro destas, a banda de frequência das ondas AM é entre 520 kHz a 1610 kHz, e das ondas FM de 88,0 MHz a 108,0 MHz.

- Determine qual o intervalo de comprimentos de onda de cada uma destas gamas de transmissão.
- Se for utilizada uma antena horizontal de quarto comprimento de onda para transmitir um sinal eletromagnético de frequência igual a 1000 kHz, qual o comprimento de onda e o comprimento da antena? Qual a direção da onda emitida?
- Para emissão de certas frequências são utilizadas antenas verticais de meio comprimento de onda. Se uma destas antenas tiver um comprimento aproximado de 246 m qual a frequência emitida? Qual a direção da onda emitida?
- Se uma transmissão de um telefone celular utilizar uma frequência de 900 MHz, qual o comprimento de onda da radiação? O que pode concluir sobre o comprimento da antena transmissora deste sinal?

R: (a) $186 \text{ m} < \lambda_{\text{AM}} < 577 \text{ m}$; $2,8 \text{ m} < \lambda_{\text{FM}} < 3,4 \text{ m}$; (b) 300 m, 75 m; (c) 609 Hz; (d) 0,33 m

- 4) Uma estação de rádio na Terra imite uma onda eletromagnética com uma dada frequência sendo a potência irradiada de 50 kW. Qual a amplitude do campo elétrico detetada por satélite a 100 km da antena?

R: $2,45 \times 10^{-2} \text{ V/m}$

- 5) A luz é uma onda eletromagnética em tudo idêntica às ondas de rádio a não ser pela sua frequência de oscilação do campo elétrico (e magnético). Este tipo de ondas pode ser detetado pelo olho humano. A percepção da cor é determinada pela frequência (a retina contém 3 tipos de células, conhecidos como cones, que reagem de forma diferente à luz vermelha, verde e azul). Sabendo que a frequência detetada varia aproximadamente entre os 430 THz e os 760 THz qual o intervalo de comprimentos de onda correspondente e a que cores correspondem esses limites?

R: $\lambda_{\text{vermelho}} = 698 \times 10^{-9} \text{ m}$, $\lambda_{\text{violeta}} = 395 \times 10^{-9} \text{ m}$

- 6) Ao olhar para a Estrela Polar está a interceptar luz de uma estrela que se encontra a uma distância de 431 anos-luz e que emite energia luminosa a uma taxa $2,2 \times 10^3$ vezes superior à do Sol ($P_{\text{Sol}} = 3,90 \times 10^{26} \text{ W}$). Desprezando a absorção da atmosfera, determine as amplitudes do campo elétrico e magnético que seriam detetadas na Terra. O que pode concluir sobre a escolha do instrumento que deve ser utilizado para detetar a onda eletromagnética ou seja, deve responder a um campo elétrico ou a um campo magnético?

R: $1,2 \times 10^{-3} \text{ V/m}$, $5,8 \times 10^{-12} \text{ T}$

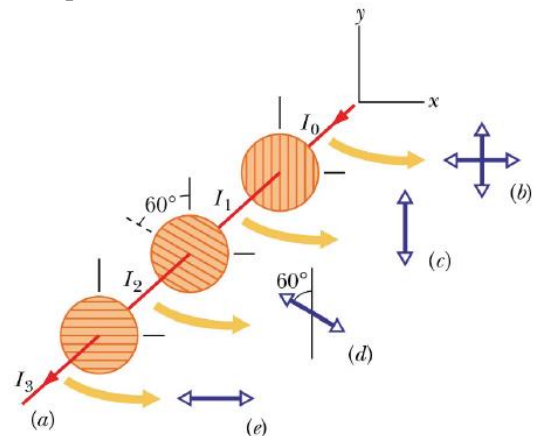
- 7) Quando observamos que as antenas (por exemplo as de televisão) estão orientadas verticalmente é porque a direção da oscilação da onda eletromagnética emitida pelo emissor está polarizada verticalmente, isto é, o campo elétrico oscila verticalmente. Consideremos uma onda que se encontra polarizada no vazio e se propaga na direção do eixo dos x, com uma intensidade média de 20 Wm^{-2} e com uma frequência rádio de 1 MHz. Escreva as equações que definem os campos elétrico e magnético em qualquer instante.

R: $\omega = 2\pi \times 10^6 \text{ rad/s}$, $k = 2/3\pi \times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$, $E_m = 123 \text{ V/m}$, $B_m = 4,15 \times 10^{-7} \text{ T}$

- 8) Quando as antenas estão orientadas verticalmente é porque a direção da oscilação da onda eletromagnética emitida pelo emissor está polarizada verticalmente, isto é, o campo elétrico oscila verticalmente. Mas nem todas as ondas eletromagnéticas estão polarizadas. Por exemplo, a luz emitida por uma fonte luminosa como uma lâmpada ou o Sol têm uma polarização aleatória, o vetor campo elétrico num dado ponto altera aleatoriamente a sua direção de oscilação. No entanto existem filtros (conhecidos comercialmente como polaróides) que permitem polarizar a luz. Na figura representa-se em perspetiva um sistema constituído por 3 polarizadores dispostos perpendicularmente à direção de propagação da luz neles incidente.

Qual a fração de luz inicial I_0 que emerge do sistema?

R: $0,094I_0$

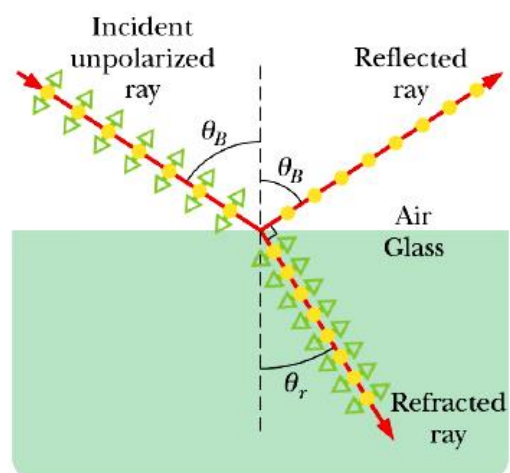


- 9) De um modo geral, se incidir luz polarizada aleatoriamente numa dada superfície, a parte que é refletida possui as duas componentes (perpendiculares) do campo elétrico, mas uma delas tem uma maior amplitude. Isto significa que a luz refletida é parcialmente polarizada. No entanto, para um ângulo de incidência particular designado por ângulo de Brewster a luz que é refletida está completamente polarizada numa direção perpendicular ao plano de incidência (ou seja, o plano desta folha de papel). Vidro, água e outros materiais dielétricos podem assim polarizar totalmente a luz.

a) Sabendo que os raios de luz transmitido (índice de refração do vidro n_2) e refletido (índice de refração do ar n_1 totalmente polarizado) fazem um ângulo de 90° , mostre que o ângulo de Brewster, θ_B , pode ser determinado pela relação $\theta_B = \tan^{-1}(n_2/n_1)$.

b) Se um polarizador fosse colocado perpendicularmente em frente do raio refletido de modo que a sua janela de transmissão fizesse um ângulo de 90° com o vetor campo elétrico qual a intensidade de luz transmitida?

R: (b) $I_t = 0$

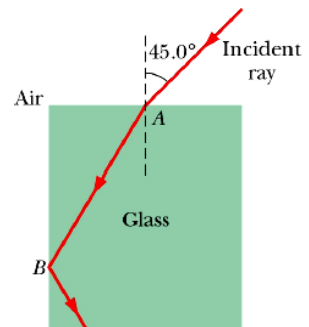


● Component perpendicular to page
 <-> Component parallel to page

- 10) Um raio de luz que se propaga no ar incide num vidro segundo um ângulo de 45° .

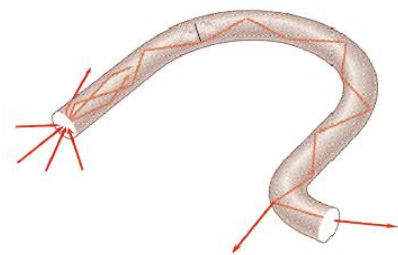
Qual o valor mínimo do índice de refração que permite que o raio de luz seja totalmente refletido no ponto B?

R: 1,22



- 11) Na figura representa-se o núcleo de uma fibra ótica no qual incidem, segundo diferentes direções, vários raios de luz que se propagam no ar. O índice de refração do núcleo é igual a 1,58 enquanto a bainha que reveste o núcleo possui um índice de refração igual a 1,53. Para que o raio de luz se possa propagar na fibra qual o valor máximo do ângulo com que o raio de luz pode ser transmitido na fibra?

R: $23,20^\circ$



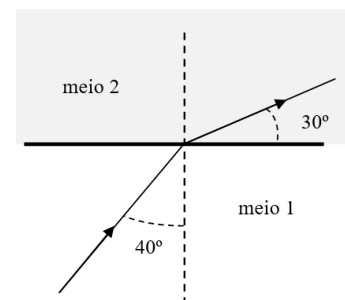
- 12) O seno do ângulo de incidência máxima (também conhecido como o seno do ângulo de aceitação) é conhecido como abertura numérica da fibra.
- a) Sendo os índices de refração do núcleo e da bainha respetivamente n_n e n_b , mostre que a abertura numérica pode ser expressa como $((n_n)^2 - (n_b)^2)^{1/2}$
- b) Qual o ângulo de aceitação de uma fibra ótica em que $n_n=1,486$ e $(n_n - n_b)/n_n = 0,010$?

R: (b) $12,1^\circ$

- 13) Uma onda de frequência $2,0 \times 10^4$ Hz, propaga-se no meio 1 com uma velocidade de $1,0 \times 10^3$ m/s, e passa para o meio 2 como se mostra na figura.

- a) Qual a relação entre os índices de refração dos dois meios?
- b) Calcule o ângulo crítico para esta onda.
- c) Determine o comprimento de onda quando a onda se propaga no meio 2.

R: a) 0,74; b) 48° ; c) $6,75 \times 10^{-2}$ m



- 14) O comprimento de onda da luz vermelha, de um laser *helium-neon*, é de 633 nm no ar, mas quando passa para uma substância aquosa é de 474 nm. (considere $n_{ar} = 1$). Determine:

- a) O índice de refração da substância aquosa.
- b) A frequência deste feixe na substância aquosa.
- c) Suponha que o feixe viaje na substância aquosa, qual o limite angular para que este não passe novamente para o ar.

R: a) 1,34; b) $4,74 \times 10^{14}$ Hz; c) $> 48,6^\circ$

- 15) Considere uma fibra ótica monomodo, em que o índice de refração do núcleo é igual a 1,542. Sabendo que o valor máximo do ângulo do cone de entrada da luz é de 32° .

- a) Qual o índice de refração da bainha desta fibra?
- b) Se o feixe de luz passar para a bainha, qual a sua velocidade neste meio?

R: a) 1,517; b) $1,98 \times 10^8$ m/s

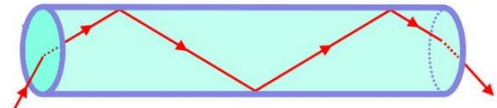
- 16) Uma determinada lâmpada emite ondas eletromagnéticas esféricas uniformemente em todas as direções. Determine:

- a) A intensidade da radiação.
b) Os módulos dos campos elétrico e magnético a uma distância de 3 m da lâmpada, admitindo que 50 W de radiação eletromagnética são emitidos.

R: a) $0,442 \text{ W/m}^2$; b) $18,2 \text{ V/m}$, $6,08 \times 10^{-8} \text{ T}$

- 17) Considere uma fibra ótica no ar, em que o índice de refração do núcleo é igual a 1,475 e o índice de refração da bainha é igual a 1,460. O raio do núcleo é de $25 \mu\text{m}$.

- a) Qual o valor máximo do ângulo θ_i , que se deve criar na interface núcleo-bainha para existir propagação do feixe na fibra?

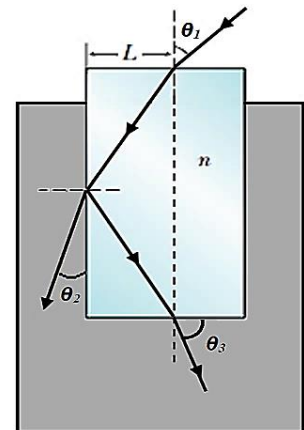


- b) Qual o valor máximo do ângulo de incidência na interface ar-núcleo da fibra?

- c) Considerando o valor de θ_i anteriormente calculado, determine o número de reflexões do feixe ótico, sabendo que este se propagou ao longo de 1 km, na fibra ótica.

R: a) $81,8^\circ$; b) $12,1^\circ$; c) $2,9 \times 10^6$ reflexões em 1000 m

- 18) Um feixe de luz que viaja no ar ($n_{ar} = 1$) incide sobre um bloco de plástico segundo um ângulo $\theta_1 = 45^\circ$, e sofre uma reflexão na parede vertical do bloco, refratando parte do feixe, em que o ângulo $\theta_2 = 14^\circ$. A componente transmitida dentro do bloco emerge para o líquido segundo um ângulo $\theta_3 = 60^\circ$.



- a) Determine o índice de refração, n_L , do líquido.
b) Determine o índice de refração, n , do plástico.
c) Se a luz entrar no plástico a uma distância da extremidade, $L=50 \text{ cm}$ (ver figura), quanto tempo demora o raio a viajar dentro do plástico?

R: a) 1,41; b) 1,54; c) $1,1 \times 10^{-8} \text{ s}$