



Formulário

CONSTANTES NUMÉRICAS

$$\mu_0 = 1 \times 10^{-6} \text{ H/m}; \varepsilon_0 = (1/9) \times 10^{-10} \text{ F/m}; c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}; h = 6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s};$$

$$h = 3 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}; \hbar = h/(2\pi); hc = 900 \text{ eV} \cdot \text{nm}; e = 2 \times 10^{-19} \text{ C}; 1 \text{ eV} =$$

$$2 \times 10^{-19} \text{ J}; 1 \text{ J} = 5 \times 10^{18} \text{ eV}; m_p c^2 = 1000 \text{ MeV}; m_e c^2 = 0,5 \text{ MeV}; 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m};$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}; 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}; 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}; 1 \text{ GeV} = 10^3 \text{ MeV} = 10^9 \text{ eV};$$

$$\lambda_c = 1,8 \text{ pm}; E_1 = \frac{-e^2}{8\pi\varepsilon_0 a_0} = -25 \text{ eV}; a_0 = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2} = (9/\pi) \times 10^{-11} \text{ m}; \text{sen}(30^\circ) = 1/2;$$

$$\text{sen}(45^\circ) = \sqrt{2}/2; \text{sen}(60^\circ) = \sqrt{3}/2$$

FORMULÁRIO GERAL

$$\text{div } \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}; \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}; \text{div } \mathbf{B} = 0; \text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right);$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{B}/\mu_0; \mathbf{p} = \varepsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}; u = \varepsilon_0 E^2/2 + B^2/(2\mu_0); \mathcal{P} = S/c; F =$$

$$\mathcal{P}A; I = I_0 \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}(N\phi/2)}{\text{sen}(\phi/2)} \right]^2; I = I_{max} \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \cos^2(\phi/2);$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \text{sen}(\theta); \phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \text{sen}(\theta); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) = m(\lambda/a); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) =$$

$$(m + n/N)(\lambda/d); \text{sen}(\theta_m^{(c)}) = m(\lambda/d); R = mN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}; \theta_R = \frac{1,22\lambda}{D};$$

$$\langle \text{sen}^2\theta \rangle = 1/2; \langle \text{cos}^2\theta \rangle = 1/2; .$$

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$
- (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$
- (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t \right)$
- (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$

2. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25 \mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00 \mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00 \text{ m}$ das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
- (b) 21
- (c) 63
- (d) 74
- (e) 85

3. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

4. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

5. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

6. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

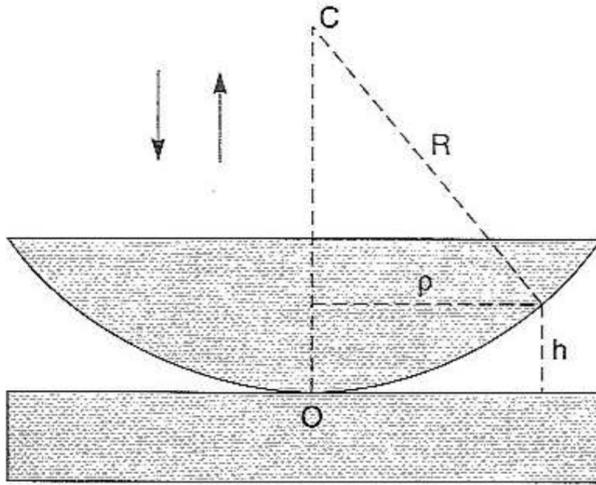
7. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0 .

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



- a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?
- b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).
- c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

- (a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.
- (b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?
- (c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

(a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$

(b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$

(c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t \right)$

(d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t \right)$

2. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25\mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00\mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00 \text{ m}$ das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

(a) 42

(b) 21

(c) 63

(d) 74

(e) 85

3. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0\hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0\hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0\hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0\hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0\hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0\hat{y} \cos(kx + \omega t)$

4. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

5. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

6. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

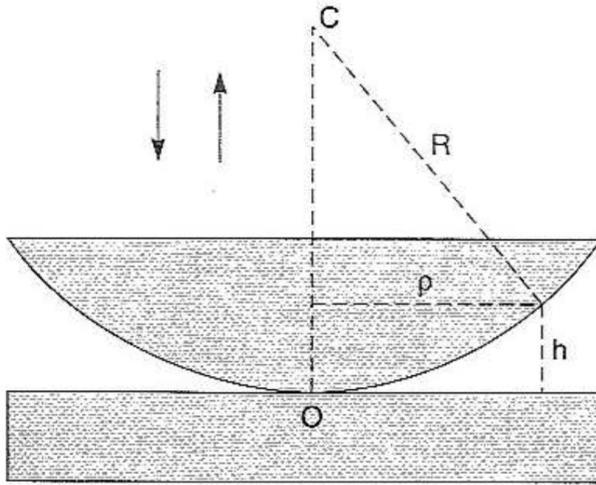
7. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0 .

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



- Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?
- Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).
- Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

- Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.
- Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?
- Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.



Formulário

CONSTANTES NUMÉRICAS

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 1 \times 10^{-6} \text{ H/m}; \varepsilon_0 = (1/9) \times 10^{-10} \text{ F/m}; c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}; h = 6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}; \\ h &= 3 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}; \hbar = h/(2\pi); hc = 900 \text{ eV} \cdot \text{nm}; e = 2 \times 10^{-19} \text{ C}; 1 \text{ eV} = \\ &= 2 \times 10^{-19} \text{ J}; 1 \text{ J} = 5 \times 10^{18} \text{ eV}; m_p c^2 = 1000 \text{ MeV}; m_e c^2 = 0,5 \text{ MeV}; 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}; \\ &1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}; 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}; 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}; 1 \text{ GeV} = 10^3 \text{ MeV} = 10^9 \text{ eV}; \\ \lambda_c &= 1,8 \text{ pm}; E_1 = \frac{-e^2}{8\pi\varepsilon_0 a_0} = -25 \text{ eV}; a_0 = \frac{\hbar^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2} = (9/\pi) \times 10^{-11} \text{ m}; \text{sen}(30^\circ) = 1/2; \\ \text{sen}(45^\circ) &= \sqrt{2}/2; \text{sen}(60^\circ) = \sqrt{3}/2 \end{aligned}$$

FORMULÁRIO GERAL

$$\begin{aligned} \text{div } \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0}; \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}; \text{div } \mathbf{B} = 0; \text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right); \\ \mathbf{S} &= \mathbf{E} \times \mathbf{B}/\mu_0; \mathbf{p} = \varepsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}; u = \varepsilon_0 E^2/2 + B^2/(2\mu_0); \mathcal{P} = S/c; F = \\ \mathcal{P}A; I &= I_0 \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}(N\phi/2)}{\text{sen}(\phi/2)} \right]^2; I = I_{max} \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \cos^2(\phi/2); \\ \beta &= \frac{2\pi}{\lambda} a \text{sen}(\theta); \phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \text{sen}(\theta); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) = m(\lambda/a); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) = \\ (m + n/N)(\lambda/d); \text{sen}(\theta_m^{(c)}) &= m(\lambda/d); R = mN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}; \theta_R = \frac{1,22\lambda}{D}; \\ \langle \text{sen}^2 \theta \rangle &= 1/2; \langle \text{cos}^2 \theta \rangle = 1/2; . \end{aligned}$$

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

- Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?
 - $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
 - $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
 - $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
 - $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
 - $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
 - $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

2. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t\right)$
- (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$

3. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

4. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25 \mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00 \mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00 \text{ m}$ das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
- (b) 21
- (c) 63
- (d) 74
- (e) 85

5. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

6. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

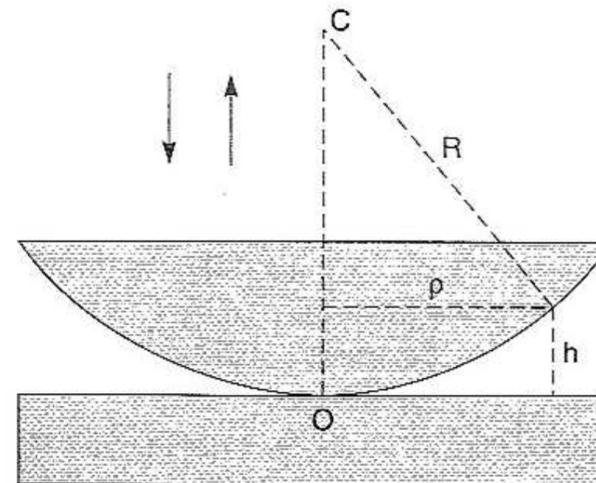
7. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0 .

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



- a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?
- b) Calcule a relação entre as distâncias h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).
- c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de $0,2$ mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de $4,0$ m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

- (a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.
- (b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?
- (c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
 (b) $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
 (c) $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
 (d) $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
 (e) $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
 (f) $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

2. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300$ V/m, um comprimento de onda $\lambda = 300$ nm e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
 (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
 (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t\right)$
 (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$

3. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
 (b) $0 \mu \text{ N}$
 (c) $9,0 \mu \text{ N}$
 (d) $1,0 \mu \text{ N}$
(e) $3,0 \mu \text{ N}$

4. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25 \mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00 \mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00$ m das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
 (b) 21
(c) 63
 (d) 74
 (e) 85

5. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

6. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

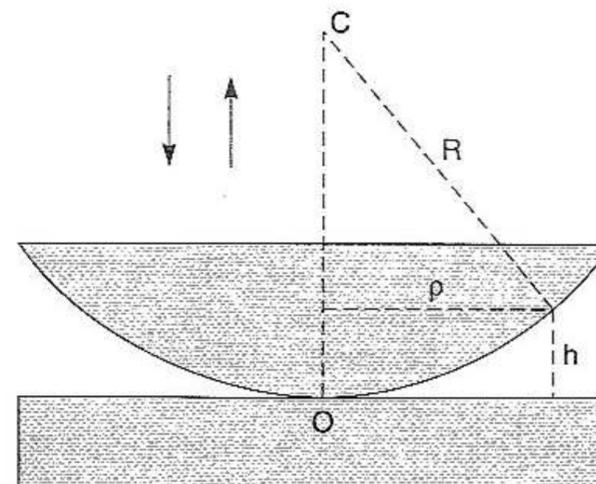
7. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0 .

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?

b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).

c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

(a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.

(b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?

(c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.



Formulário

CONSTANTES NUMÉRICAS

$\mu_0 = 1 \times 10^{-6}$ H/m; $\epsilon_0 = (1/9) \times 10^{-10}$ F/m; $c = 3 \times 10^8$ m/s; $h = 6 \times 10^{-34}$ J · s;
 $h = 3 \times 10^{-15}$ eV · s; $\hbar = h/(2\pi)$; $hc = 900$ eV · nm; $e = 2 \times 10^{-19}$ C; 1 eV =
 2×10^{-19} J; 1 J = 5×10^{18} eV; $m_p c^2 = 1000$ MeV; $m_e c^2 = 0,5$ MeV; $1\mu\text{m} = 10^{-6}$ m;
 1 nm = 10^{-9} m; $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m; 1 pm = 10^{-12} m; 1 GeV = 10^3 MeV = 10^9 eV;
 $\lambda_c = 1,8$ pm; $E_1 = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} = -25$ eV; $a_0 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m_e e^2} = (9/\pi) \times 10^{-11}$ m; $\text{sen}(30^\circ) = 1/2$;
 $\text{sen}(45^\circ) = \sqrt{2}/2$; $\text{sen}(60^\circ) = \sqrt{3}/2$

FORMULÁRIO GERAL

$\text{div } \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$; $\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$; $\text{div } \mathbf{B} = 0$; $\text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right)$;
 $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{B}/\mu_0$; $\mathbf{p} = \epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}$; $u = \epsilon_0 E^2/2 + B^2/(2\mu_0)$; $\mathcal{P} = S/c$; $F =$
 $\mathcal{P}A$; $I = I_0 \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}(N\phi/2)}{\text{sen}(\phi/2)} \right]^2$; $I = I_{max} \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \cos^2(\phi/2)$;
 $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \text{sen}(\theta)$; $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \text{sen}(\theta)$; $\text{sen}(\theta_m^{(d)}) = m(\lambda/a)$; $\text{sen}(\theta_m^{(d)}) =$
 $(m + n/N)(\lambda/d)$; $\text{sen}(\theta_m^{(c)}) = m(\lambda/d)$; $R = mN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$; $\theta_R = \frac{1,22\lambda}{D}$;
 $\langle \text{sen}^2\theta \rangle = 1/2$; $\langle \cos^2\theta \rangle = 1/2$; .

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0.

2. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25\mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00\mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00$ m das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
- (b) 21
- (c) 63
- (d) 74
- (e) 85

3. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

4. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

5. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

6. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t\right)$
- (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$

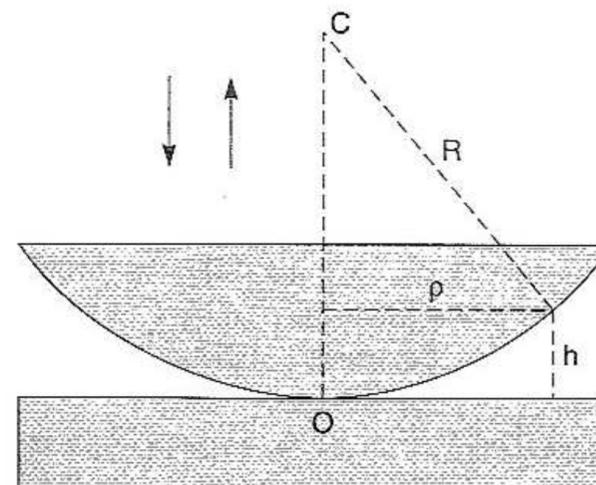
7. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?

b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).

c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

(a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.

(b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?

(c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
(b) $I_0/2$ e $I_0/2$
(c) $I_0/2$ e $I_0/8$
(d) $I_0/2$ e $I_0/4$
(e) $I_0/2$ e 0.

2. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25\mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00\mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de 5,00 m das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
(b) 21
 (c) 63
(d) 74
(e) 85

3. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

4. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

5. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

6. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t\right)$
- (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$

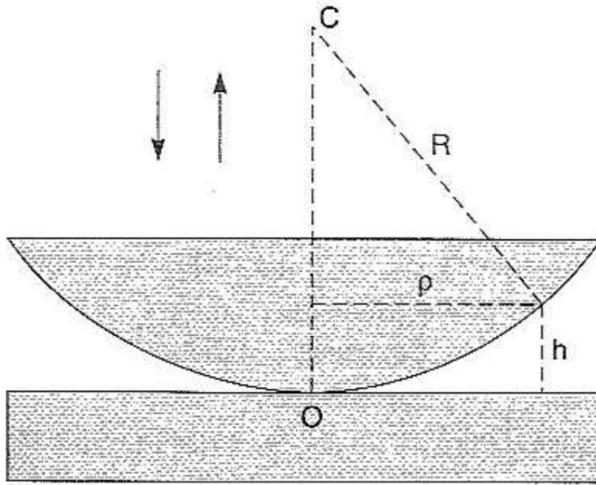
7. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



- a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?
- b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).
- c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \text{sen}(\theta) \approx \theta$.

- (a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.
- (b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?
- (c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.



Formulário

CONSTANTES NUMÉRICAS

$$\mu_0 = 1 \times 10^{-6} \text{ H/m}; \varepsilon_0 = (1/9) \times 10^{-10} \text{ F/m}; c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}; h = 6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s};$$

$$h = 3 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}; \hbar = h/(2\pi); hc = 900 \text{ eV} \cdot \text{nm}; e = 2 \times 10^{-19} \text{ C}; 1 \text{ eV} =$$

$$2 \times 10^{-19} \text{ J}; 1 \text{ J} = 5 \times 10^{18} \text{ eV}; m_p c^2 = 1000 \text{ MeV}; m_e c^2 = 0,5 \text{ MeV}; 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m};$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}; 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}; 1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}; 1 \text{ GeV} = 10^3 \text{ MeV} = 10^9 \text{ eV};$$

$$\lambda_c = 1,8 \text{ pm}; E_1 = \frac{-e^2}{8\pi\varepsilon_0 a_0} = -25 \text{ eV}; a_0 = \frac{h^2 \varepsilon_0}{\pi m_e e^2} = (9/\pi) \times 10^{-11} \text{ m}; \text{sen}(30^\circ) = 1/2;$$

$$\text{sen}(45^\circ) = \sqrt{2}/2; \text{sen}(60^\circ) = \sqrt{3}/2$$

FORMULÁRIO GERAL

$$\text{div } \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}; \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}; \text{div } \mathbf{B} = 0; \text{rot } \mathbf{B} = \mu_0 \left(\mathbf{J} + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right);$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{B}/\mu_0; \mathbf{p} = \varepsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B}; u = \varepsilon_0 E^2/2 + B^2/(2\mu_0); \mathcal{P} = S/c; F =$$

$$\mathcal{P}A; I = I_0 \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \left[\frac{\text{sen}(N\phi/2)}{\text{sen}(\phi/2)} \right]^2; I = I_{max} \left[\frac{\text{sen}(\beta/2)}{\beta/2} \right]^2 \cos^2(\phi/2);$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} a \text{sen}(\theta); \phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \text{sen}(\theta); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) = m(\lambda/a); \text{sen}(\theta_m^{(d)}) =$$

$$(m + n/N)(\lambda/d); \text{sen}(\theta_m^{(c)}) = m(\lambda/d); R = mN = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}; \theta_R = \frac{1,22\lambda}{D};$$

$$\langle \text{sen}^2\theta \rangle = 1/2; \langle \text{cos}^2\theta \rangle = 1/2; .$$

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

2. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0 \hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0 \hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0 \hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0 \hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0 \hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0 \hat{y} \cos(kx + \omega t)$

3. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0 .

4. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25\mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00\mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00$ m das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
- (b) 21
- (c) 63
- (d) 74
- (e) 85

5. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300$ V/m, um comprimento de onda $\lambda = 300$ nm e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$
- (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T} \hat{z} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s})t\right)$
- (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T} \hat{y} \cos\left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m}\right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s})t\right)$

6. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
- (b) $0 \mu \text{ N}$
- (c) $9,0 \mu \text{ N}$
- (d) $1,0 \mu \text{ N}$
- (e) $3,0 \mu \text{ N}$

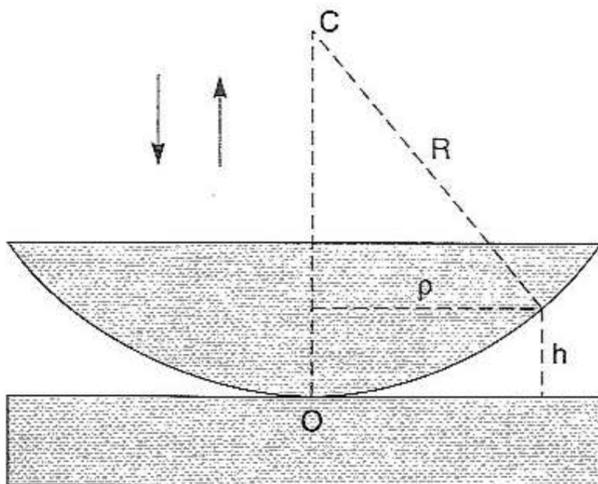
7. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
- (b) $1/2$
- (c) 2
- (d) $\sqrt{3}/3$
- (e) $2\sqrt{3}/3$

Seção 2. Questões discursivas ($1 \times 2,6 + 1 \times 2,5 = 5,1$)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?

b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).

c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \sin(\theta) \approx \theta$.

(a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.

(b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?

(c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\text{água}} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.

Seção 1. Questões objetivas (7×0,7 = 4,9 pontos)

1. Em um experimento de dupla fenda de Young com separação d entre as fendas iluminadas com uma luz monocromática com comprimento de onda λ , desprezando os efeitos de difração, mede-se que o número total de franjas brilhantes no anteparo de observação, excluindo-se a franja central, é N . Considere a situação de uma nova dupla fenda com distância entre fendas $d/2$ sendo iluminada pela mesma luz monocromática. O número total de franjas brilhantes no anteparo de observação nesta nova configuração é

- (a) N
- (b) $N/2$
- (c) $2N$
- (d) Não há mais interferência
- (e) $2N/d$

2. Qual das expressões abaixo pode corresponder ao campo magnético de uma onda eletromagnética polarizada na direção \hat{x} e que se propaga na direção e sentido de $-\hat{y}$?

- (a) $-B_0\hat{z} \cos(ky + \omega t)$
- (b) $B_0\hat{x} \cos(ky + \omega t)$
- (c) $B_0\hat{x} \cos(ky - \omega t)$
- (d) $B_0\hat{z} \cos(ky - \omega t)$
- (e) $-B_0\hat{y} \cos(kx - \omega t)$
- (f) $-B_0\hat{y} \cos(kx + \omega t)$

3. Um feixe de luz não polarizada, com intensidade I_0 , incide sobre um conjunto de dois polarizadores lineares, com eixos de polarização perpendiculares. Qual alternativa corresponde à intensidade da luz que sai do arranjo de polarizadores neste caso e quando um terceiro polarizador é colocado entre o primeiro e o segundo, com eixo de polarização a 45° com respeito do primeiro?

- (a) 0 e $I_0/8$
- (b) $I_0/2$ e $I_0/2$
- (c) $I_0/2$ e $I_0/8$
- (d) $I_0/2$ e $I_0/4$
- (e) $I_0/2$ e 0.

4. Em uma experiência com duas fendas idênticas de $0,25\mu\text{m}$ de largura e com espaçamento de $8,00\mu\text{m}$ entre elas, um padrão de intensidade é observado em um anteparo colocado a uma distância de $5,00\text{ m}$ das fendas. Quantas franjas brilhantes são observadas dentro do máximo central da difração?

- (a) 42
- (b) 21
- (c) 63
- (d) 74
- (e) 85

5. Uma onda eletromagnética harmônica plana possui uma amplitude de campo elétrico dada por $E_0 = 300 \text{ V/m}$, um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ e se propaga no vácuo no sentido positivo de x . Qual opção corresponde a uma possível expressão para o campo magnético, considerando que o vetor campo elétrico dessa onda está disposto ao longo do eixo z ?

- (a) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s}) t \right)$
 (b) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x - (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s}) t \right)$
 (c) $\vec{B}(x, t) = 300 \mu\text{T } \hat{z} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{300 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{14} \text{ rad/s}) t \right)$
 (d) $\vec{B}(x, t) = 1 \mu\text{T } \hat{y} \cos \left(\left(\frac{2\pi}{150 \times 10^{-9}} \text{ rad/m} \right) x + (2\pi \times 10^{15} \text{ rad/s}) t \right)$

6. Um cubo possui 27 m^3 de volume. Em uma das faces, o cubo é coberto por um material escuro ideal, enquanto a face oposta a anterior é feita de um espelho ideal. Ilumina-se, totalmente, cada uma dessas duas faces do cubo com luz de 100 W/m^2 de intensidade. O módulo da força resultante sentida pelo cubo é

- (a) $1,5 \mu \text{ N}$
 (b) $0 \mu \text{ N}$
 (c) $9,0 \mu \text{ N}$
 (d) $1,0 \mu \text{ N}$
 (e) $3,0 \mu \text{ N}$

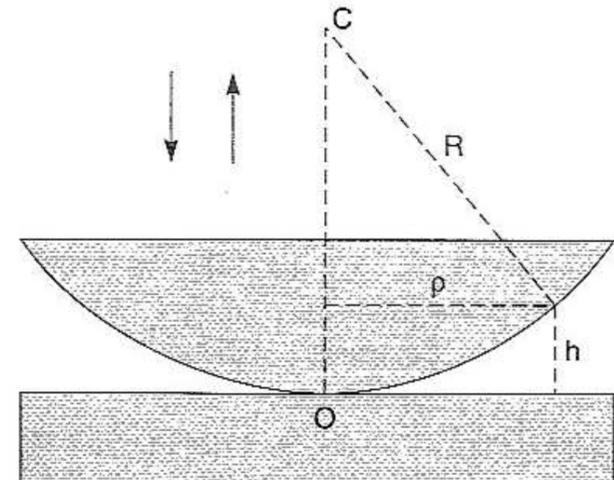
7. Um dado feixe monocromático não polarizado parte de um meio com índice de refração n_i em direção a outro meio, com índice de refração n_r . Observa-se que o feixe refletido é linearmente polarizado e o ângulo do feixe refratado com a normal é 60° . A razão entre os índices de refração n_r/n_i vale:

- (a) $\sqrt{3}$
 (b) $1/2$
 (c) 2
 (d) $\sqrt{3}/3$
 (e) $2\sqrt{3}/3$

Seção 2. Questões discursivas (1 × 2,6 + 1 × 2,5 = 5,1)

1. [2,6 pontos]

Considere a experiência dos anéis de Newton que se baseia na interferência da luz em películas finas. Uma lente plano-convexa de raio de curvatura R é colocada em contato com uma plana de vidro e iluminada na incidência perpendicular.



a) Qual condição deve satisfazer a espessura fina h para que a interferência da luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ , seja destrutiva?

b) Calcule a relação entre as distância h e ρ da figura na vizinhança do ponto de contato O ($h \ll R$).

c) Calcule o raio ρ_m do m -ésimo anel escuro, visto na luz refletida, com luz monocromática de comprimento de onda λ .

2. [2,5 pontos]

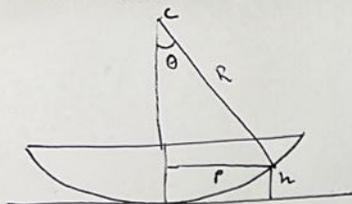
Um feixe de luz de frequência 5×10^{15} Hz passa por um anteparo opaco com uma única fenda de largura de 0,2 mm. A figura de difração é observada sobre uma tela a uma distância de 4,0 m do anteparo. Considere que o índice de refração do ar vale $n_{ar} = 1$ e, para pequenos ângulos, vale a aproximação $\tan(\theta) \approx \sin(\theta) \approx \theta$.

(a) Determine a abertura angular $\Delta\theta$ da franja brilhante central, delimitada pelos dois mínimos existentes de cada lado dessa franja.

(b) Na tela, a que distância y o mínimo de ordem 10 está do máximo central de intensidade?

(c) Considere que o experimento é submerso em um aquário cheio de água ($n_{\acute{a}gua} = 4/3$). Determine, na tela, a distância y entre o mínimo de ordem 10 e o máximo central.

Q1 - Casarito



a) Uma vez que o filme refletido dentro da película fina possui diferença de fase na reflexão, a condição é

$$\underline{2h = m\lambda}$$

b) É possível aproximar um triângulo retângulo com

$$(R+h)^2 = R^2 + p^2$$

$$R^2 + 2Rh + h^2 = R^2 + p^2$$

Desprezando $O(h^2)$, $p \ll R$

$$2Rh = p^2 \Rightarrow \underline{h = p^2/2R}$$

c) De a) $h = m\lambda/2$

de b) $h = p^2/2R$

$$\rightarrow \boxed{p_m = \sqrt{mR\lambda}}$$

$\lambda = \frac{v}{f}$
 $f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$
 $v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
 $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5 \times 10^{14}} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$

Questão discreta 2

$v = f = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$
 $a = 0,2 \text{ mm (linha fenda)} = 2 \times 10^{-4}$
 $L = 4,0 \text{ m}$
 $n = 1$
 $\sin \theta \approx \theta$

a) Abertura angular $\Delta \theta$

temos a condição para os mínimos

$$a \sin \theta = m \lambda$$

a primeira ordem é a distância até o primeiro mínimo, i.e

$$\Delta \theta = \frac{2 \lambda}{a} \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{5 \times 10^{14} \text{ Hz}} = \frac{3}{5} \times 10^{-6} \text{ m} = 0,6 \times 10^{-6} \text{ m} = 6 \times 10^{-7} \text{ m} = \lambda$$

~~$\Delta \theta = \frac{2 \cdot 6 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-4}} = 6 \times 10^{-4} \text{ rad}$~~

a) $\Delta \theta = \frac{2 \lambda}{a} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

b) $y_m = L \frac{m \lambda}{a}$

$m = 10$
 $y_{10} = 10 \cdot 4 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{2 \cdot 10^{-4}} = 120 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 1,2 \text{ cm}$

$n_{\text{agua}} = \frac{4}{3}$ temos $\bar{\lambda} = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{3}{4} \cdot 6 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \frac{18}{4} \cdot 10^{-7} \text{ m} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \bar{\lambda}$

$y_{10} = 10 \cdot 4 \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{2 \cdot 10^{-4}} = 90 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,9 \text{ cm}$