



INSTITUTO DE FÍSICA
Universidade Federal Fluminense

Física Geral e Experimental III & XIX
3ª Prova – 14/12/2013

NOME: _____

MATRÍCULA: _____

TURMA: _____

PROF. : _____

Nota: _____

Importante: Assine a primeira página do cartão de questões e a folha do cartão de respostas.

Leia os enunciados com atenção.

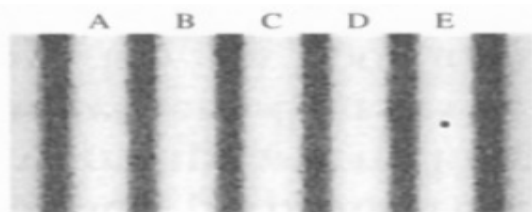
Analise sua resposta. Ela faz sentido? Isso poderá ajudá-lo a encontrar erros.

A não ser que seja instruído diferentemente: Assinale uma das alternativas das questões; Nas questões com caráter numérico assinale a resposta mais próxima da obtida por você.

Marque as respostas das questões no CARTÃO RESPOSTA.

1) Um feixe de luz branca passa através de um conjunto de fendas, igualmente espaçadas e de iguais larguras, e forma um padrão em uma tela localizada a um metro de distância.

Inicialmente as fendas mais externas são cobertas e a luz passa somente pelas 4 fendas mais centrais, criando a imagem mostrada seguir. Então, as demais 16 fendas são descobertas e a imagem é novamente formada em condições idênticas. **Com respeito às franjas claras** da imagem formada após a luz passar pelas 20 fendas, comparada à imagem inicial, com 4 fendas, haverá:



A) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.

B) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos menos intensos.

C) o mesmo número, com as mesmas larguras e com brilhos mais intensos.

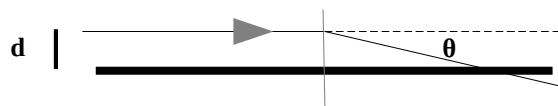
D) o mesmo número, com menores larguras e com brilhos mais intensos.

E) um menor número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.

F) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos mais intensos.

G) o mesmo número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.

Questões 2 e 3) Um feixe de luz vermelha incide ao longo de uma reta que dista $d=1,2$ cm do eixo ótico de uma lente construída com vidro “flint”. Esse feixe emerge da lente desviado de $\theta=17,0^\circ$ em direção ao eixo ótico.



2) Se o feixe inicial for aproximado para distar 0,60 cm do eixo ótico ele emergirá desviado de quantos graus?

A) 8,3

B) 8,4

C) 8,5

D) 8,6

E) 8,7

F) 8,8

$f=d/\tan(\theta)=1,2/\tan(17)=3,92.$

$\tan(\theta')=0,6/3,92=0,153.$

$\theta'=8,7^\circ$

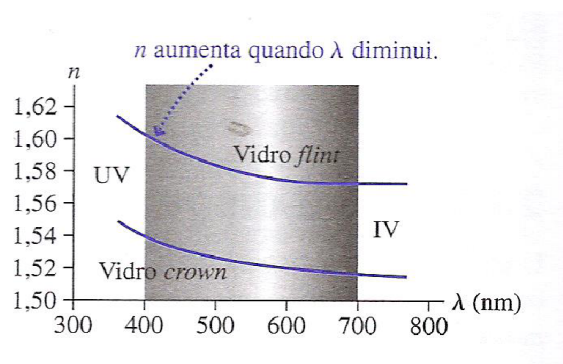
3) Se o feixe de luz for mudado para azul, o ângulo de desvio será

A) aumentado já que o índice de refração da lente convergente aumentará.

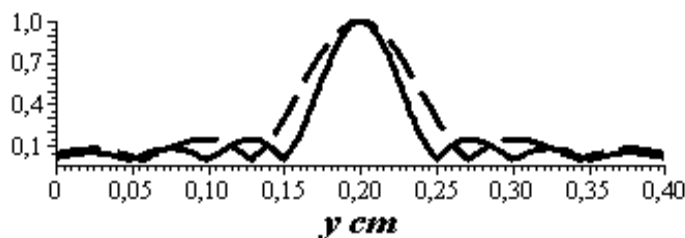
B) aumentado já que o índice de refração da lente convergente diminuirá.

C) diminuído já que o índice de refração da lente convergente aumentará.

D) diminuído já que o índice de refração da lente convergente diminuirá.



Questões 4 e 5) A figura ao lado ilustra, com a linha contínua (não a tracejada), o padrão para a intensidade luminosa projetada em uma tela, por luz que passa por uma fenda simples com largura de 0,24 mm. A tela se encontra a 18 cm de distância da fenda. O eixo horizontal está em cm e o vertical é adimensional.



4) O comprimento de onda, em nanômetros, da luz utilizada é mais próximo de

- A) 400 B) 470 C) 520
D) 560 E) 630 **F) 670**

$$\lambda = \sin \theta \cdot 0,24 \text{ mm} = (0,05/18) \cdot 0,24 = 0,00278 \cdot 0,24 = 667 \text{ nm}$$

5) O experimento descrito acima é repetido, obtendo-se como resultado a linha tracejada (não a contínua), mostrada no mesmo gráfico. Isso pode ser alcançado com o uso de luz

- A) de maior frequência **B) de menor frequência** C) de maior intensidade D) de menor intensidade

6) Um pequeno objeto é colocado a uma distância aproximada de 3 distâncias focais de uma lente e centrado no eixo óptico. Um anteparo permite a formação de uma imagem de todo o objeto. A metade inferior da lente é então pintada de preto e conseqüentemente será projetada agora a imagem de



- A) todo o objeto, com menor brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.
B) todo o objeto, com menor brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.
C) todo o objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.
D) todo o objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.
E) parte do objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.
F) parte do objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.

7) Um interferômetro de Michelson opera com luz de comprimento de onda igual a 602,406 nm. Um dos espelhos é aproximado e se observa no processo uma variação total de 3090 franjas de claras para escuras. A distância pela qual o espelho foi deslocado é expressa com número adequado de algarismos significativos como

- A) 1,86143454 mm **B) 1,861 mm** C) 0,93071727 mm D) 0,9031 mm
E) 0,93071727 cm F) 0,9031 cm G) 1,86143454 cm H) 1,861 cm

$$d = 3090 \times 602,406 \text{ nm} = 1861434,54 = 1,861$$

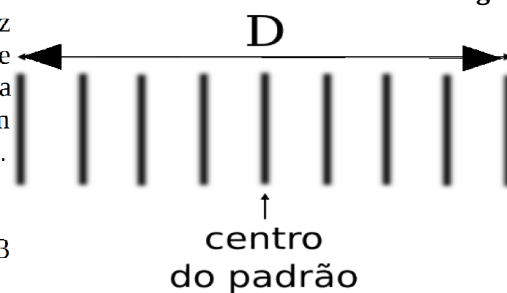
8) Considere um objeto real que dá origem a uma imagem virtual através de uma lente. Avalie as seguintes afirmativas sobre a imagem virtual:

- i) Sua localização pode ser calculada, mas ela não pode ser vista diretamente pelos nossos olhos sem a utilização de lentes auxiliares.
ii) Ela não pode ser fotografada.
iii) Não pode ser vista num anteparo.
iv) Ela foi criada ou por uma lente divergente, ou por uma convergente para objeto próximo da lente.

Quais dessas alternativas são verdadeiras?

- A) i e iii B) ii e iv C) i e iv D) ii e iii **E) iii e iv**

Questões 9 a 11) Em um experimento realizado no laboratório, luz monocromática coerente de comprimento de onda igual a 632,8 nm, se propagando no ar, passa através de um par de fendas paralelas. A figura ilustra o padrão de interferência das franjas brilhantes centrais vistas em um anteparo posicionado a 1,40 m atrás das fendas. A distância D vale 2,52 cm.



9) Qual é a distância entre as fendas em mm?

- A) 0,0703 B) 0,141 **C) 0,281** D) 0,562 E) 0,633

$$d = \lambda / \sin \theta_1 = \lambda / ((D/8)/140) = 632,8 / (2,52 / (8 \times 140)) = 281 \times 10^3 \text{ nm.}$$

10) O experimento da questão anterior é realizado agora dentro de um meio transparente, água. Verifica-se nessa nova situação que D:

- A) aumenta, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é maior
 B) aumenta, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é menor
 C) diminui, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é maior
D) diminui, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é menor
 E) permanece inalterada, pois a velocidade e o comprimento de onda da luz nesta situação são menores.

11) Verifica-se que D=2,00 cm quando o experimento da questão 9 é realizado dentro de um tanque com um certo líquido transparente. Nesse caso, o índice de refração do líquido vale:

- A) 0,95 **B) 1,26** C) 1,53 D) 1,68 E) 2,38

$$\sin \theta_1' / \sin \theta_1 = \lambda' / \lambda = 1/n. \quad n = \sin \theta_1 / \sin \theta_1' = D/D' = 2,52/2,00 = 1,26$$

12) Um tanque contém uma camada de 1,44 m de altura de óleo, a qual flutua sobre uma camada de 0,96 m de altura de salmoura. Os índices de refração do óleo e da salmoura, que não se misturam, são 1,40 e 1,52, respectivamente. Um feixe de laser de é emitido do fundo do tanque, paralelamente ao eixo vertical, incidindo na interface óleo-salmoura no ponto O. A direção do feixe é, então, continuamente alterada, de modo a aumentar-se o ângulo entre o feixe e o eixo vertical, até que o feixe não se transmita mais pela camada superior de óleo. Qual é a distância entre o ponto O e o ponto em que o feixe incide na interface óleo-salmoura na situação limite?

- A) 1,5 m B) 1,7 m C) 1,9 m D) 2,1 m **E) 2,3 m**

$$\sin \theta = n_2/n_1 = 1,40/1,52 = 0,92105. \quad \theta = 67,08^\circ. \quad d = 0,96 \times \tan \theta = 2,365 \times 0,96 = 2,3.$$

NOME:

MATRÍCULA:

TURMA:

PROF. :

Nota:

Cartão Resposta

Q 1	A	B	C	D	E	F	G	H
Q2	A	B	C	D	E	F	G	H
Q3	A	B	C	D	E	F	G	H
Q4	A	B	C	D	E	F	G	H
Q5	A	B	C	D	E	F	G	H
Q6	A	B	C	D	E	F	G	H
Q7	A	B	C	D	E	F	G	H
Q8	A	B	C	D	E	F	G	H
Q9	A	B	C	D	E	F	G	H
Q10	A	B	C	D	E	F	G	H
Q11	A	B	C	D	E	F	G	H
Q12	A	B	C	D	E	F	G	H

Formulário Física III

$$E = \rho g V \quad P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = cte \quad \frac{dV}{dt} = vA = cte$$

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L} \quad \frac{F}{A} = P = -B \frac{\Delta V}{V} \quad C_p = C_v + R$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad Q = mc\Delta T = nC\Delta T \quad n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{m_{\text{molar}}}$$

$$P_{ad} V_{ad}^\gamma = cte \quad PV = nRT = Nk_B T = \frac{N}{3} m v_{rms}^2$$

$$W_{isoterm} = -nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad \Delta E_{term} = Q + W = Q - \int P dV$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = e\sigma A T^4 \quad W_{adiabát} = \frac{1}{\gamma - 1} \Delta(PV) = nC_v \Delta T$$

$$\eta = \frac{W_{saída}}{Q_Q} = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q} \leq \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

$$K_{refrig} = \frac{Q_F}{W_{entra}} \quad \varepsilon_{med-trans} = \frac{3}{2} k_B T \quad \varepsilon_{med-total} = \frac{5}{2} k_B T \quad livre-cam-med = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi \frac{N}{V} r^2} \quad 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \quad k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad v_{corda} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad T_0 = 0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{ C}$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol.K} \quad D(x, t) = A \text{ sen}(kx \pm \omega t + \phi_0) = A \text{ sen}\left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{t}{T}\right) + \phi_0\right) \quad v_{som} \approx 340 \text{ m/s} \quad v = \lambda f \quad n = \frac{c}{v}$$

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \beta = (10 \text{ dB}) \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \beta_{relativo} = (10 \text{ dB}) \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \cdot^{(1)} f = \frac{v \pm v_{obs}}{v \mp v_{fon}} f_0$$

$$\cdot^{(2)} f_{luz} = \sqrt{\frac{v \pm v_{rel}}{v \mp v_{rel}}} f_0 \quad \cdot^{(1),(2)} f \begin{matrix} \text{aumenta} \\ \text{diminui} \end{matrix} \text{ se } \begin{matrix} \text{aproxima} \\ \text{afasta} \end{matrix} \quad \text{Tubo}_{abert-abert} : L = n \cdot \frac{\lambda}{2}; n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad \Delta \varphi = \frac{2\pi \Delta r}{\lambda}$$

$$\text{Tubo}_{abert-fechad} : L = n \cdot \frac{\lambda}{4}; n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_1) + A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_2) = 2A \cos\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) \times \text{sen}\left(kx - \omega t + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

$$A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_1) + A \text{ sen}(kx + \omega t + \phi_2) = 2A \cos\left(\omega t + \frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) \times \text{sen}\left(kx + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

$$A \text{ sen}(k_1 x - \omega_1 t) + A \text{ sen}(k_2 x - \omega_2 t) = 2A \cos\left(\frac{k_1 - k_2}{2} x - \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \times \text{sen}\left(\frac{k_1 + k_2}{2} x - \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right)$$

Máx. de interferência: $d \text{ sen}(\theta_n) = n\lambda$. $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ Mín. de difração: $a \text{ sen}(\theta_n) = n\lambda$. $m = \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\text{Mín. difração circular: } \theta_1 = \frac{1,22\lambda}{D} \quad n_1 \text{ sen}(\theta_1) = n_2 \text{ sen}(\theta_2) \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{-s'}{s} \quad v = \lambda f = \frac{c}{n} = \frac{\lambda_0 f}{n}$$

NOME: _____

MATRÍCULA: _____

TURMA: _____

PROF. : _____

Nota: _____

Importante: Assine a primeira página do cartão de questões e a folha do cartão de respostas.

Leia os enunciados com atenção.

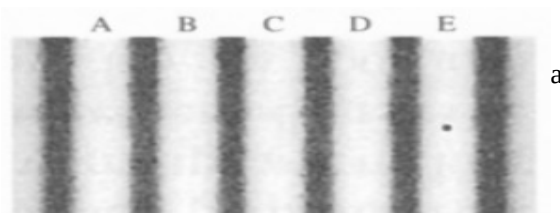
Analise sua resposta. Ela faz sentido? Isso poderá ajudá-lo a encontrar erros.

A não ser que seja instruído diferentemente: Assinale uma das alternativas das questões; Nas questões com caráter numérico assinale a resposta mais próxima da obtida por você.

Marque as respostas das questões no CARTÃO RESPOSTA.

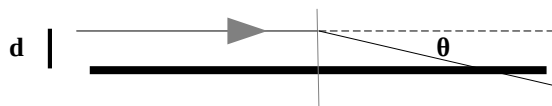
1) Um feixe de luz branca passa através de um conjunto de fendas, igualmente espaçadas e de iguais larguras, e forma um padrão em uma tela localizada a um metro de distância.

Inicialmente as fendas mais externas são cobertas e a luz passa somente pelas 4 fendas mais centrais, criando a imagem mostrada seguir. Então, as demais 16 fendas são descobertas e a imagem é novamente formada em condições idênticas. **Com respeito às franjas claras** da imagem formada após a luz passar pelas 20 fendas comparada à imagem inicial, com 4 fendas, haverá:



- A) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.
B) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos menos intensos.
C) um menor número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.
D) um maior número, com as mesmas larguras e com brilhos mais intensos.
E) o mesmo número, com as mesmas larguras e com brilhos mais intensos.
F) o mesmo número, com menores larguras e com brilhos mais intensos.
G) o mesmo número, com as mesmas larguras e com brilhos igualmente intensos.

Questões 2 e 3) Um feixe de luz vermelha incide ao longo de uma reta que dista 1,2 cm do eixo óptico de uma lente construída com vidro “flint”. Esse feixe emerge da lente desviado de $\theta = 17,0^\circ$ em direção ao eixo óptico.



2) Se o feixe inicial for aproximado para distar 0,58 cm do eixo óptico ele emergirá desviado de quantos graus?

- A) 8,3 **B) 8,4** C) 8,5 D) 8,6 E) 8,7 F) 8,8

$f = d / \tan(\theta) = 1,2 / \tan(17) = 3,92$ $\tan(\theta') = 0,58 / 3,92 = 0,147$ **$\theta' = 8,4^\circ$**

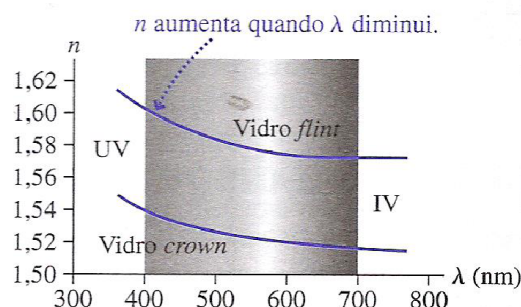
3) Se o feixe de luz for mudado para azul, o ângulo de desvio será

A) aumentado já que o índice de refração da lente convergente diminuirá.

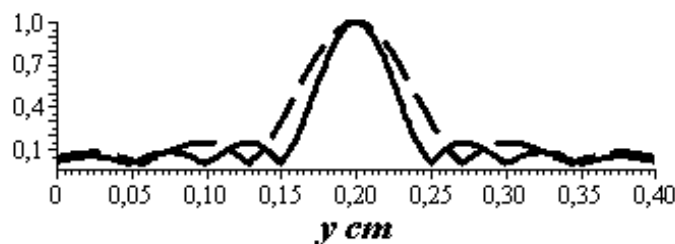
B) aumentado já que o índice de refração da lente convergente aumentará.

C) diminuído já que o índice de refração da lente convergente diminuirá.

D) diminuído já que o índice de refração da lente convergente aumentará.



Questões 4 e 5) A figura ao lado ilustra, com a linha contínua (não a tracejada), o padrão para a intensidade luminosa projetada em uma tela, por luz que passa por uma fenda simples com largura de 0,17 mm. A tela se encontra a 18 cm de distância da fenda. O eixo horizontal está em cm e o vertical é adimensional.



4) O comprimento de onda, em nanômetros, da luz utilizada é

- A) 400 **B) 470** C) 520
D) 560 E) 630 F) 670

$$\lambda = (\sin \theta) 0,24 \text{ mm} = (0,05/18) 0,17 = 0,00278 0,17 = 472 \text{ nm}$$

5) O experimento descrito acima é repetido, obtendo-se como resultado a linha tracejada (não a contínua), mostrada no mesmo gráfico. Isso pode ser alcançado com o uso de luz

- A) de menor frequência** B) de maior frequência C) de menor intensidade D) de maior intensidade

6) Um pequeno objeto é colocado a uma distância aproximada de 3 distâncias focais de uma lente e centrado no eixo ótico. Um anteparo permite a formação de uma imagem de todo o objeto. A metade inferior da lente é então pintada de preto e consequentemente será projetada agora a imagem de



A) todo o objeto, com menor brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.

- B) todo o objeto, com menor brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.
C) todo o objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.
D) todo o objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.
E) parte do objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de infinitos raios.
F) parte do objeto, com mesmo brilho, sendo a imagem formada pela convergência de dois raios.

7) Um interferômetro de Michelson opera com luz de comprimento de onda igual a 602,406 nm. Um dos espelhos é aproximado e se observa no processo uma variação total de 3090 franjas de claras para escuras. A distância pela qual o espelho foi deslocado é expressa com número adequado de algarismos significativos como

- A) 0,93071727 cm B) 0,9031 cm C) 1,86143454 cm D) 1,861 cm
E) 1,86143454 mm **F) 1,861 mm** G) 0,93071727 mm H) 0,9031 mm

$$d = 3090 \times 602,406 \text{ nm} = 1861434,54 = 1,861$$

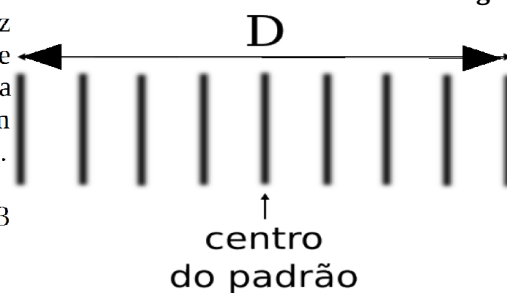
8) Considere um objeto real que dá origem a uma imagem virtual através de uma lente. Avalie as seguintes afirmativas sobre a imagem virtual:

- i) Sua localização pode ser calculada, mas ela não pode ser vista diretamente pelos nossos olhos sem a utilização de lentes auxiliares.
ii) Não pode ser vista num anteparo.
iii) Ela não pode ser fotografada.
iv) Ela foi criada ou por uma lente divergente, ou por uma convergente para objeto próximo da lente.

Quais dessas alternativas são verdadeiras?

- A) i e iii **B) ii e iv** C) i e iv D) ii e iii E) iii e iv

Questões 9 a 11) Em um experimento realizado no laboratório, luz monocromática coerente de comprimento de onda igual a 632,8 nm, se propagando no ar, passa através de um par de fendas paralelas. A figura ilustra o padrão de interferência das franjas brilhantes centrais vistas em um anteparo posicionado a 1,40 m atrás das fendas. A distância D vale 5,04 cm.



9) Qual é a distância entre as fendas em mm?

- A) 0,0703 **B) 0,141** C) 0,281 D) 0,562 E) 0,633

$$d = \lambda / \sin \theta_1 = \lambda / ((D/8)/140) = 632,8 / (5,04 / (8 \times 140)) = 141 \times 10^3 \text{ nm.}$$

10) O experimento da questão anterior é realizado agora dentro de um meio transparente, água. Verifica-se nessa nova situação que D:

- A) aumenta, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é menor
 B) aumenta, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é maior
C) diminui, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é menor
 D) diminui, pois o comprimento de onda da luz nesta situação é maior
 E) permanece inalterada, pois a velocidade e o comprimento de onda da luz nesta situação são menores.

11) Verifica-se que D=3,00 cm quando o experimento da questão 9 é realizado dentro de um tanque com um certo líquido transparente. Nesse caso, o índice de refração do líquido vale:

- A) 0,95 B) 1,26 C) 1,53 **D) 1,68** E) 2,38

$$\sin \theta_1' / \sin \theta_1 = \lambda' / \lambda = 1/n. \quad n = \sin \theta_1 / \sin \theta_1' = D/D' = 5,04/3,00 = 1,68$$

12) Um tanque contém uma camada de 1,44 m de altura de óleo, a qual flutua sobre uma camada de 0,96 m de altura de salmoura. Os índices de refração do óleo e da salmoura, que não se misturam, são 1,40 e 1,52, respectivamente. Um feixe de laser é emitido do fundo do tanque, paralelamente ao eixo vertical, incidindo na interface óleo-salmoura no ponto O. A direção do feixe é, então, continuamente alterada, de modo a aumentar-se o ângulo entre o feixe e o eixo vertical, até que o feixe não se transmita mais pela camada superior de óleo. Qual é a distância entre o ponto O e o ponto em que o feixe incide na interface óleo-salmoura na situação limite?

- A) 2,3 m** B) 2,1 m C) 1,9 m D) 1,7 m E) 1,5 m

$$\sin \theta = n_2/n_1 = 1,40/1,52 = 0,92105. \quad \theta = 67,08^\circ. \quad d = 0,96 \times \tan \theta = 2,365 \times 0,96 = 2,3.$$

NOME:

MATRÍCULA:

TURMA:

PROF. :

Nota:

Cartão Resposta

Q 1	A	B	C	D	E	F	G	H
Q2	A	B	C	D	E	F	G	H
Q3	A	B	C	D	E	F	G	H
Q4	A	B	C	D	E	F	G	H
Q5	A	B	C	D	E	F	G	H
Q6	A	B	C	D	E	F	G	H
Q7	A	B	C	D	E	F	G	H
Q8	A	B	C	D	E	F	G	H
Q9	A	B	C	D	E	F	G	H
Q10	A	B	C	D	E	F	G	H
Q11	A	B	C	D	E	F	G	H
Q12	A	B	C	D	E	F	G	H

Formulário Física III

$$E = \rho g V \quad P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = cte \quad \frac{dV}{dt} = vA = cte$$

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L} \quad \frac{F}{A} = P = -B \frac{\Delta V}{V} \quad C_p = C_v + R$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad Q = mc\Delta T = nC\Delta T \quad n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{m_{\text{molar}}}$$

$$P_{ad} V_{ad}^\gamma = cte \quad PV = nRT = Nk_B T = \frac{N}{3} m v_{rms}^2$$

$$W_{isoterm} = -nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad \Delta E_{term} = Q + W = Q - \int P dV$$

$$\frac{Q}{\Delta t} = e\sigma A T^4 \quad W_{adiabát} = \frac{1}{\gamma - 1} \Delta(PV) = nC_v \Delta T$$

$$\eta = \frac{W_{saída}}{Q_Q} = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q} \leq \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

$$K_{refrig} = \frac{Q_F}{W_{entra}} \quad \varepsilon_{med-trans} = \frac{3}{2} k_B T \quad \varepsilon_{med-total} = \frac{5}{2} k_B T \quad livre-cam-med = \frac{1}{4\sqrt{2}\pi \frac{N}{V} r^2} \quad 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 \quad k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad v_{corda} = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad T_0 = 0 \text{ K} = -273,15^\circ \text{ C}$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol.K} \quad D(x, t) = A \text{ sen}(kx \pm \omega t + \phi_0) = A \text{ sen}\left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} \pm \frac{t}{T}\right) + \phi_0\right) \quad v_{som} \approx 340 \text{ m/s} \quad v = \lambda f \quad n = \frac{c}{v}$$

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \beta = (10 \text{ dB}) \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \beta_{relativo} = (10 \text{ dB}) \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \quad I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \cdot^{(1)} f = \frac{v \pm v_{obs}}{v \mp v_{fon}} f_0$$

$$\cdot^{(2)} f_{luz} = \sqrt{\frac{v \pm v_{rel}}{v \mp v_{rel}}} f_0 \quad \cdot^{(1),(2)} f \begin{matrix} \text{aumenta} \\ \text{diminui} \end{matrix} \text{ se } \begin{matrix} \text{aproxima} \\ \text{afasta} \end{matrix} \quad \text{Tubo}_{abert-abert} : L = n \cdot \frac{\lambda}{2}; n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad \Delta \varphi = \frac{2\pi \Delta r}{\lambda}$$

$$\text{Tubo}_{abrt-fechd} : L = n \cdot \frac{\lambda}{4}; n = 1, 3, 5, 7, \dots \quad A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_1) + A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_2) = 2A \cos\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) \times \text{sen}\left(kx - \omega t + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

$$A \text{ sen}(kx - \omega t + \phi_1) + A \text{ sen}(kx + \omega t + \phi_2) = 2A \cos\left(\omega t + \frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) \times \text{sen}\left(kx + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right)$$

$$A \text{ sen}(k_1 x - \omega_1 t) + A \text{ sen}(k_2 x - \omega_2 t) = 2A \cos\left(\frac{k_1 - k_2}{2} x - \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \times \text{sen}\left(\frac{k_1 + k_2}{2} x - \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right)$$

Máx. de interferência: $d \text{ sen}(\theta_n) = n\lambda$. $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ Mín. de difração: $a \text{ sen}(\theta_n) = n\lambda$. $m = \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\text{Mín. difração circular: } \theta_1 = \frac{1,22\lambda}{D} \quad n_1 \text{ sen}(\theta_1) = n_2 \text{ sen}(\theta_2) \quad \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{-s'}{s} \quad v = \lambda f = \frac{c}{n} = \frac{\lambda_0 f}{n}$$