

CAPÍTULO 1 – Termometria

Exercícios complementares

$$1. \frac{T - 0}{100 - 0} = \frac{13 - 5}{25 - 5} \Rightarrow \frac{T}{100} = \frac{8}{20}$$

$$20T = 800 \Rightarrow T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Resposta: a.

$$2. T_1 = -32 \text{ }^\circ\text{F} \text{ e } T_2 = 23 \text{ }^\circ\text{F}.$$

A equação termométrica de conversão entre as escalas mencionadas é:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9}. \text{ Substituindo os dados, temos:}$$

$$\frac{T_{c_1}}{5} = \frac{-32 - 32}{9} \Rightarrow T_{c_1} = \frac{-320}{9} \Rightarrow T_{c_1} = -35,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{T_{c_2}}{5} = \frac{23 - 32}{9} \Rightarrow T_{c_2} = \frac{-45}{9} \Rightarrow T_{c_2} = -5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Resposta: a.

CAPÍTULO 2 – Dilatação térmica

Exercícios complementares

1. c

$$2. 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

3. e

CAPÍTULO 3 – Calorimetria

Exercícios complementares

1. b

2. d

3. a

CAPÍTULO 5 – Transmissão de calor

Exercícios complementares

1. c

2. d

3. 90 g

4. b

$$5. \phi_{\text{cobre}} = \phi_{\text{aço}} + \phi_{\text{latão}}$$

$$\frac{(0,92)A(100 + \theta)}{46} = \frac{(0,12)A(\theta - 0)}{12} + \frac{(0,26)A(\theta - 0)}{13}$$

$$\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Resposta: e.

6. 68 °F

7. e

8. d

9. c

10. d

CAPÍTULO 6 – Lei dos Gases Ideais

Exercícios complementares

$$1. \frac{pV}{T} = \text{constante}$$

A temperatura será máxima quando o produto pV for máximo, e isso ocorre para o estado representado pelo ponto que está no meio do segmento \overline{AB} .

$$p = 3 \text{ e } V = 3$$

Resposta: c.

2. a) 1800 kg b) 1350 kg c) 0,28 m/s²

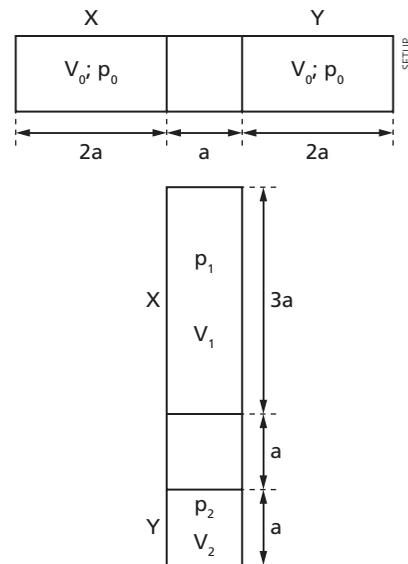
3. Pela Física Clássica, a alternativa e é considerada verdadeira. Porém, atualmente, de acordo com a Mecânica Quântica, ela é falsa.

Resposta: d.

4. a) 0,86 kg/m³ b) 6,2 · 10⁻² m³

5. c

6. Como o movimento foi lento, podemos admitir que a temperatura se mantém constante. Seja A a área da seção reta do tubo.



$$V_0 = A \cdot (a); V_1 = A \cdot (3a); V_2 = A \cdot (a)$$

$$\text{Lei de Boyle para o gás X: } p_0 V_0 = p_1 V_1 \quad (1)$$

$$\text{Lei de Boyle para o gás Y: } p_0 V_0 = p_2 V_2 \quad (2)$$

De (1) e (2), temos:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_1 A (3a) = p_2 A a \Rightarrow p_2 = 3p_1 \quad (3)$$

Do teorema de Stevin tiramos:

$$p_2 = p_1 + \rho g a \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3):

$$3p_1 = p_1 + \rho g a \Rightarrow p_1 = \frac{\rho g a}{2} \quad (5)$$

Substituindo (5) em (1):

$$p_0 \cdot v_0 = \frac{\rho g a}{2} \cdot v_1 \Rightarrow p_0 A(2a) = \frac{\rho g a}{2} \cdot A(3a) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_0 = \frac{3 \rho g a}{4}$$

Resposta: a.

7. 264 K

8. 1200 K

9. 600 K

10. b

11. $1,6 \cdot 10^4$ Pa

12. a) 257 K

b) $3,2 \cdot 10^3$ J

c) $2,1 \cdot 10^4$ Pa

CAPÍTULO 7 – As leis da Termodinâmica

Exercícios

2. a) 48,2 K

b) -832 J

c) $2,4 \cdot 10^4$ Pa

3. Cedeu 832 J.

4. a) 48,8 K

$$b) R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 0,082 \frac{(1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa})(10^{-3} \text{ m}^3)}{\text{mol} \cdot \text{K}} =$$

$$R \cong 8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$\bar{\omega} = nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$$

$$\bar{\omega} \cong (2,0 \text{ mols})(8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K})(48,8 \text{ K}) \ln \left(\frac{4,0}{1,0} \right)$$

$$\bar{\omega} \cong 810 \ln 4,0 \cong (810)(1,39) \text{ J} \Rightarrow \bar{\omega} \cong 1,1 \cdot 10^3 \text{ J}$$

6. a) $-4,9 \cdot 10^3$ J

b) $4,9 \cdot 10^3$ J

7. a) $3,2 \cdot 10^3$ J

b) $-3,2 \cdot 10^3$ J

8. O gás oxigênio é diatômico (O₂), e para os gases diatômicos temos $\gamma \cong 1,4$ (veja a tabela 2 no texto).

Usemos a equação de Poisson, observando que $v_f = \frac{v_i}{2}$:

$$p_i v_i^\gamma = p_f v_f^\gamma \Rightarrow p_i v_i^{1,4} = p_f \left(\frac{v_i}{2} \right)^{1,4} \Rightarrow p_f = p_i \cdot 2^{1,4}$$

O trabalho W_g realizado pelo gás é:

$$W_g = \frac{p_i v_i - p_f v_f}{\gamma - 1} = \frac{p_i v_i - p_i \cdot 2^{1,4} \cdot \frac{v_i}{2}}{1,4 - 1} = \frac{p_i v_i - p_i v_i \cdot 2^{0,4}}{0,4} =$$

$$= \frac{p_i v_i (1 - 2^{0,4})}{\frac{2}{5}} = \frac{5}{2} (p_i v_i) (1 - 2^{0,4})$$

Sendo W o trabalho realizado sobre o gás, temos:

$$W = -W_g \Rightarrow W = \frac{5}{2} (p_i v_i) (2^{0,4} - 1)$$

Resposta: c.

Exercícios complementares

$$9. V = 2V_0 \Rightarrow \Delta V = V - V_0 = 2V_0 - V_0 = V_0$$

$$\Delta V = Ax \Rightarrow V_0 = Ax \Rightarrow x = \frac{V_0}{A} \quad (1)$$

$$pV = nRT \Rightarrow p(2V_0) = (1)RT \Rightarrow pV_0 = \frac{RT}{2} \quad (2)$$

Como o sistema é isolado, a energia interna perdida pelo gás transforma-se em energia potencial da mola:

$$|\Delta U| = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow \frac{3}{2} RT_0 - \frac{3}{2} RT = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow T_0 - T = \frac{kx^2}{3R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_0 - T = \frac{\overbrace{(kx)}^F (x)}{3R} \Rightarrow T_0 - T = \frac{Fx}{3R} \quad (3)$$

Introduzindo (1) em (3):

$$T_0 - T = \frac{F \cdot \frac{V_0}{A}}{3R} \Rightarrow T_0 - T = \frac{F \cdot V_0}{A \cdot 3R} \Rightarrow T_0 - T = \frac{pV_0}{3R} \quad (4)$$

Introduzindo (2) em (4):

$$T_0 - T = \frac{RT}{3R} \Rightarrow T_0 - T = \frac{T}{6} \Rightarrow T = \frac{6}{7} T_0$$

10. a) 10^4

b) $3 \cdot 10^6$ J

$$11. \left. \begin{aligned} \bar{\omega} &= (2V_0)(2p_0) = 4V_0 p_0 \\ p_0 V_0 &= nRT_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \bar{\omega} = 4nT_0$$

$$r = \frac{\bar{\omega}}{Q} = \frac{4nR_0 T_0}{18nR T_0} \cong 0,22 \Rightarrow r \cong 22\%$$

Resposta: d.

12. b

13. $9,6 \cdot 10^4$ J

14. $\cong 30,8\%$

15. 6,5

16. $\cong 252$ K ou -21 °C

17. a) 7,5

b) 1,2 kW

c) 7,8 kW

$$18. T_f = -10 \text{ }^\circ\text{C} = 263 \text{ K}$$

$$T_q = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$\text{CDB} = \frac{T_q}{T_q - T_f} = \frac{293 \text{ K}}{293 \text{ K} - 263 \text{ K}} \cong 9,77$$

$$P_q = 14\,000 \text{ J/s} = 14\,000 \text{ W}$$

$$\text{CDB} = \frac{P_q}{P_M} \Rightarrow 9,77 \cong \frac{14\,000}{P_M} \Rightarrow P_M \cong 1,43 \cdot 10^3 \text{ W}$$

CAPÍTULO 8 – Os princípios da Óptica Geométrica

Exercícios

- e
- d
- a

CAPÍTULO 11 – Refração da luz

Exercícios complementares

- e
- $n_{\text{plástico}} = 2$
- a) $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{2}$
b) O raio refratado se afasta da normal.
c) $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{9}$

CAPÍTULO 12 – Lentes esféricas

Exercícios

- Temos os seguintes dados:
 $n = 1,50$
 $R_1 = 3,0 \text{ cm}$
e a lente está imersa no ar.
Uma face é plana: $\frac{1}{R_2} \Rightarrow 0$
A equação dos fabricantes é:
$$V = \frac{1}{f} = (n_2 - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

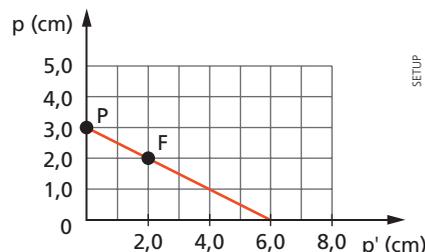
$$n_{2,1} = \frac{n_1}{n_2} = n_2 = 1,50$$

$$V = \frac{1}{f} \cdot (n_2 - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} \right)$$

$$\frac{1}{f} \cdot (1,50 - 1) \cdot \left(\frac{1}{3,0} \right) \Rightarrow f = \frac{3,0}{0,5} \text{ cm}$$

 $f = 6,0 \text{ cm}$
- a) $C = \frac{2(N-1)}{R}$
b) $C = \frac{2(1-N)}{R}$
c) $C = \frac{1-N}{R}$

- a) Devemos fixar o ponto F, representando o foco, nas coordenadas $F = (f, f) = (2,0; 2,0)$ em centímetros. Traçamos a reta que se apoia em P e F e que vai cruzar o eixo das abscissas exatamente no valor procurado, que é p' . Lendo esse ponto, obtemos $p' = 6,0 \text{ cm}$.

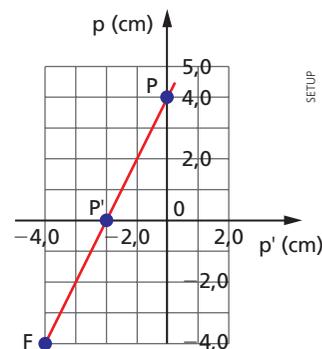


- b) Como o ponto imagem tem uma abscissa positiva, concluímos que a imagem é real.

Observações:

Se a lente delgada for divergente, as coordenadas do foco deverão ser ambas negativas e o ponto F estará no quarto quadrante.

8. Fixamos, no quarto quadrante, o ponto $F(-4,0; -4,0)$ em centímetros. Fixamos no eixo das abscissas o ponto P' de abscissa $p' = 2,0 \text{ cm}$, por se tratar de uma imagem virtual. Traçamos a reta que passa por F e por P' , a qual intercepta o eixo das ordenadas p , no ponto P cuja ordenada é $p = +4,0 \text{ cm}$.

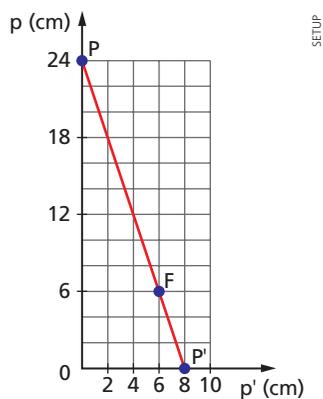


O aumento linear transversal é dado por:

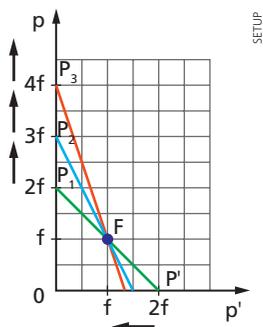
$$\frac{y'}{y} = \frac{p'}{p}$$

$$\frac{y'}{y} = \frac{(-2,0)}{4,0} \Rightarrow \frac{y'}{y} = +\frac{1}{2}$$

9. Como a lente é convergente, o ponto F será fixado no primeiro quadrante: $F = (6; 6)$ em centímetros. Fixamos no eixo das ordenadas o ponto P de ordenada $p = +24 \text{ cm}$, positiva por se tratar de P.O.R. Traçamos a reta que passa por F e por P, a qual interceptará o eixo em p' . Lendo no eixo, $p' = 8 \text{ cm}$.



10. Inicialmente, fixamos o ponto $F = (f, f)$ no primeiro quadrante, pois a lente é convergente. A seguir, fixamos o ponto P_1 no eixo de ordenadas, tal que $P_1 = 2f$ (ponto antiprincipal da lente). Traçamos a reta PPF' e determinamos a abscissa da imagem $p' = 2f$ (imagem do ponto antiprincipal). A seguir, vamos aumentar a ordenada p , levando o ponto P para o infinito. Observe que P' vai se aproximando de f .



Concluindo, enquanto o objeto se afasta da lente, a sua imagem se aproxima do foco da lente. Assim, a abscissa da imagem fica compreendida entre f e $2f$. Resposta: *b*.

CAPÍTULO 15 – Movimento harmônico simples

2. a) $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ b) $\cong 2,2 \text{ s}$
3. $m = 80 \text{ g} = 8,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$
 $L = 40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$
- $$I = m\left(\frac{L}{2}\right)^2 + m\left(\frac{L}{2}\right)^2 = 2m\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{mL^2}{2}$$
- $$I = \frac{(8,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg})(0,40 \text{ m})^2}{2} = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$
- $$\frac{I}{\beta} = \frac{6,4 \cdot 10^{-3}}{2,0 \cdot 10^{-2}} = 0,32$$
- $$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\beta}} \cong (2)(3,14)\sqrt{0,32} \Rightarrow T \cong 3,6 \text{ s}$$
4. $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$$5. T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{c}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{6,3}} \Rightarrow T \cong 2,5 \text{ s}$$

$$6. T_1 = 2,1 \text{ s}; T_2 = 2,2 \text{ s}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{\beta}} \Rightarrow I = \frac{\beta T^2}{4\pi^2} \quad (1)$$

Sendo I_1 o momento de inércia do pêndulo e I_p o momento de inércia da pessoa, o momento de inércia do sistema pêndulo + homem, de (1) tiramos:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\beta T_1^2}{4\pi^2} \\ I_1 + I_p &= \frac{\beta T_2^2}{4\pi^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_1}{I_1 + I_p} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \Rightarrow I_p = I_1 \cdot \frac{T_2^2 - T_1^2}{T_1^2} \quad (2)$$

$$\text{Mas } I_1 = \frac{\beta T_1^2}{4\pi^2}$$

Substituindo em (2):

$$I_p = \frac{\beta T_1^2}{4\pi^2} \cdot \frac{T_2^2 - T_1^2}{T_1^2} = \frac{\beta}{4\pi^2} (T_2^2 - T_1^2)$$

$$I_p \cong \frac{170}{4(3,14)^2} \cdot [(2,2)^2 - (2,1)^2] \Rightarrow T_p \cong 1,85 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

8. O período é o mesmo.

9. a) 2,13 s b) 1,15 m

10. a) 1,057 s b) 13,3 cm

11. $3,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

13. $x = 4 \cos\left(5t + \frac{2\pi}{3}\right)$

$$v = -20 \text{ sen}\left(5t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$a = -100 \text{ cos}\left(5t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

14. a

17. $x = 8 \cos\left(4t + \frac{5\pi}{3}\right)$

18. $v = -\omega A \text{ sen}(\omega t + \theta_0) = -\omega A [\text{sen}\omega t \text{ cos}\theta_0 + \text{sen}\theta_0 \text{ cos}\omega t]$

$$v = (-\omega A \text{ cos}\theta_0) \text{ sen}\omega t - (\omega A \text{ sen}\theta_0) \text{ cos}\omega t \quad (1)$$

$$v = 6\sqrt{3} \text{ sen}2t + 6 \text{ cos}2t \quad (2)$$

Comparando (1) e (2), concluímos que:

$$\omega = 2$$

$$\left. \begin{aligned} -\omega A \text{ cos}\theta_0 &= 6\sqrt{3} \\ -\omega A \text{ sen}\theta_0 &= 6 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} -2A \text{ cos}\theta_0 &= 6\sqrt{3} \\ -2A \text{ sen}\theta_0 &= 6 \end{aligned} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \text{cos}\theta_0 &= -\frac{3\sqrt{3}}{A} \\ \text{sen}\theta_0 &= -\frac{3}{A} \end{aligned} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \text{cos}^2\theta_0 &= \frac{27}{A^2} \\ \text{sen}^2\theta_0 &= \frac{9}{A^2} \end{aligned} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{27}{A^2} + \frac{9}{A^2} = 1 \Rightarrow A^2 = 36 \Rightarrow A = 6$$

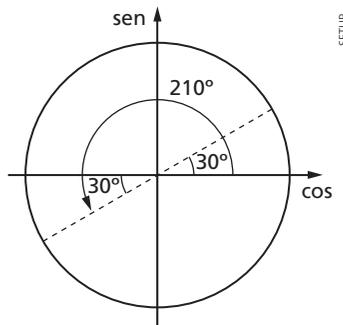
$$\text{cos}\theta_0 = -\frac{3\sqrt{3}}{A} = -\frac{3\sqrt{3}}{6} = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\text{sen}\theta_0 = -\frac{3}{A} = -\frac{3}{6} = -\frac{1}{2}$$

Como $\cos\theta_0 < 0$ e $\sin\theta_0 < 0$, concluímos que θ_0 é um arco do 3º quadrante. Além disso, lembrando que:

$$\frac{1}{2} = \sin 30^\circ \text{ e } \frac{\sqrt{3}}{2} = \cos 30^\circ$$

concluímos que $\theta_0 = 210^\circ = 7\frac{\pi}{6}$ (veja a figura).



Portanto:

$$\begin{cases} x = A \cos(\omega t + \theta_0) = 6 \cos\left(2t + \frac{7\pi}{6}\right) \\ v = -\omega A \sin(\omega t + \theta_0) = -12 \sin\left(2t + \frac{7\pi}{6}\right) \\ a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \theta_0) = -24 \cos\left(2t + \frac{7\pi}{6}\right) \end{cases}$$

19. $x = 4 \cos\left(3t + \frac{\pi}{3}\right)$

$$v = -12 \sin\left(3t + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$a = -36 \cos\left(3t + \frac{\pi}{3}\right)$$

20. a) $\begin{cases} v = -12 \sin 4t + 8 \cos 4t \\ a = -48 \cos 4t - 32 \sin 4t \end{cases}$

b) $\begin{cases} v = 10 \sin 2t - 14 \cos 2t \\ a = 20 \cos 2t + 28 \sin 2t \end{cases}$

21. a) $x = 4 \cos \frac{\pi}{6} t - 4\sqrt{3} \sin \frac{\pi}{6} t$

$$v = -\frac{\pi}{6} \cdot 4 \sin \frac{\pi}{6} t - \frac{\pi}{6} \cdot 4\sqrt{3} \cos \frac{\pi}{6} t$$

$$v = -\frac{2\pi}{3} \sin \frac{\pi}{6} t - \frac{2\sqrt{3}\pi}{3} \cos \frac{\pi}{6} t$$

b) Para $t = 3$ s, temos $\frac{\pi}{6} t = \frac{\pi}{6} (3) = \frac{\pi}{2}$

Mas: $\sin \frac{\pi}{2} = 1$ e $\cos \frac{\pi}{2} = 0$

Assim: $v = -\frac{2\pi}{3}$ m/s

Exercícios complementares

22. $\frac{5}{8\pi^2} \text{ m} \cong 0,063 \text{ m}$

23. b

24. O bloco da figura a oscila com período

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (1)$$

Na figura b temos duas molas iguais e em série. A constante elástica k_s da mola equivalente é dada por:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k}$$

$$k_s = \frac{k}{2}$$

Assim, o período T_b é dado por:

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} = 2\pi \sqrt{\frac{2m}{k}} \quad (2)$$

De (1) e (2), vem:

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Na figura c temos duas molas iguais em paralelo. A constante elástica k_p da mola equivalente é dada por:

$$k_p = k + k = 2k$$

Assim, o período T_c é dado por:

$$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} \text{ ou } T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}} \quad (2)$$

De (1) e (3), vem: $\frac{T_a}{T_c} = \sqrt{2}$

25. Na situação a temos:

$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$\text{Assim: } \left. \begin{array}{l} \frac{1}{k_a} > \frac{1}{k_1} \\ \text{e} \\ \frac{1}{k_a} > \frac{1}{k_2} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} k_a < k_1 \\ k_a < k_2 \end{cases} \quad (1)$$

Na situação b temos:

$$k_b = k_1 + k_2 \text{ e, portanto: } \begin{cases} k_b > k_1 \\ k_b > k_2 \end{cases} \quad (2)$$

De (1) e (2) concluímos que:

$$k_b > k_a \quad (3)$$

Temos também:

$$T_a = T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_a}} \text{ e } T_b = T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_b}}$$

Levando em conta (3), concluímos que $T_1 > T_2$.

Resposta: d.

26. Com os dois blocos suspensos, a força que deforma a mola é o peso total de A e B. Sendo m a massa de cada bloco e x a deformação produzida, vem:

$$P_A + P_B = k \cdot x$$

$$2mg = k \cdot x \quad (1)$$

Rompendo-se o fio, o bloco A passa a realizar um MHS em torno da posição de equilíbrio, que corresponde a uma deformação x_0 da mola. Nesse caso, temos:

$$P_A = k \cdot x_0$$

$$mg = k \cdot x_0 \quad (2)$$

Fazendo (1) - (2), vem:

$$mg = k(x - x_0),$$

onde $x - x_0 = a$ é a amplitude de oscilação do bloco A. Assim, vem:

$$mg = k \cdot a$$

$$\frac{m}{k} = \frac{a}{g}$$

De $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, resulta:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a}{g}}$$

Sendo $a = 10 \text{ cm} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, temos:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-2}}{10}}$$

$$T = 0,2\pi$$

$$T \cong 0,63 \text{ s}$$

27. e

28. b

29. I e III

30. a) 1 Hz

b) $\frac{1}{6} \text{ s}$

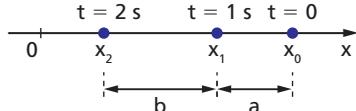
31. a) $\frac{\pi^2}{2} \text{ N/m} \cong 4,9 \text{ N/m}$

b) Zero.

c) $4\pi^2 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cong 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$

32. Como no instante inicial a elongação é máxima (x_0), a fase inicial é nula. Assim, a equação horária da elongação é:

$$x = x_0 \cos \omega t$$



$$\begin{cases} t = 1 \text{ s} \Rightarrow x_1 = x_0 \cos \omega \Rightarrow \cos \omega = \frac{x_1}{x_0} = \frac{x_0 - a}{x_0} \Rightarrow \textcircled{1} \\ t = 2 \text{ s} \Rightarrow x_2 = x_0 \cos 2\omega = \frac{x_2}{x_0} = \frac{x_0 - a - b}{x_0} \Rightarrow \textcircled{2} \end{cases}$$

Da Trigonometria sabemos que:

$$\cos 2\omega = 2 \cos^2 \omega - 1 \quad \textcircled{3}$$

Introduzindo $\textcircled{1}$ e $\textcircled{2}$ em $\textcircled{3}$:

$$\begin{aligned} \frac{x_0 - a - b}{x_0} &= 2 \left(\frac{x_0 - a}{x_0} \right)^2 - 1 = 2 \left(\frac{x_0^2 - 2x_0a + a^2}{x_0^2} \right) - 1 = \\ &= \frac{2x_0^2 - 4x_0a + 2a^2 + 2a^2 - x_0^2}{x_0^2} = \frac{x_0^2 - 4x_0a + 2a^2}{x_0^2} \end{aligned}$$

Assim:

$$\frac{x_0 - a - b}{x_0} = \frac{x_0^2 - 4x_0a + 2a^2}{x_0^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_0 - a - b = \frac{x_0^2 - 4x_0a + 2a^2}{x_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_0^2 - ax_0 - bx_0 = x_0^2 - 4x_0a + 2a^2 \Rightarrow x_0(3a - b) = 2a^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_0 = \frac{2a^2}{3a - b}$$

Resposta: c.

33. $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{8}{3}} = \frac{3\pi}{4} \text{ s}^{-1}$

No instante $t = 0$, P_2 tem elongação máxima e, portanto, sua fase inicial é nula. Como P_1 está atrasado

$\frac{\pi}{12}$ em relação a P_1 , no instante $t = 0$ fase de P_1 é $\frac{\pi}{12}$ (fase inicial).

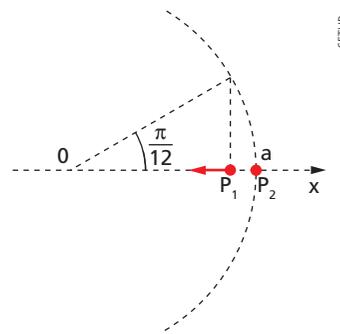


Figura a. Situação em $t = 0$.

Assim, as equações horárias das elongações de P_1 e P_2 são:

$$x_1 = a \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{12} \right) \text{ e } x_2 = a \cos \omega t$$

$$t = \frac{8}{9} \text{ s} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \omega t = \left(\frac{3\pi}{4} \text{ s}^{-1} \right) \left(\frac{8}{9} \text{ s} \right) = \frac{2\pi}{3} \\ \Rightarrow \begin{cases} x_1 = a \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{12} \right) = a \cos \left(\frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{12} \right) = a \cos \frac{9\pi}{12} \quad \textcircled{1} \\ x_2 = a \cos \omega t = a \cos \frac{2\pi}{3} \quad \textcircled{2} \end{cases} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \cos \frac{9\pi}{12} = \cos 135^\circ = -\cos 45^\circ = -\frac{\sqrt{2}}{2} \quad \textcircled{3} \\ \cos \frac{2\pi}{3} = \cos 120^\circ = -\cos 60^\circ = -\frac{1}{2} \quad \textcircled{4} \end{cases}$$

Na figura b mostramos as posições de P_1 e P_2 no instante $t = \frac{8}{9} \text{ s}$.

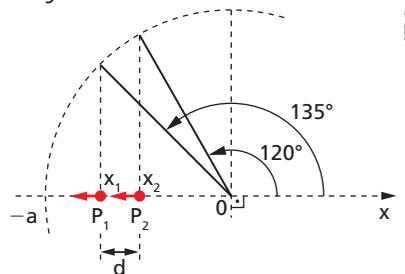


Figura b. Situação inicial em $t = \frac{8}{9} \text{ s}$

Substituindo $\textcircled{3}$ e $\textcircled{4}$ em $\textcircled{1}$ e $\textcircled{2}$:

$$\begin{cases} x_1 = a \cos \frac{9\pi}{12} = a \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} \right) = -\frac{a\sqrt{2}}{2} \\ x_2 = a \cos \frac{2\pi}{3} = a \left(-\frac{1}{2} \right) = -\frac{a}{2} \end{cases}$$

$$d = x_2 - x_1 = \left(-\frac{a}{2} \right) - \left(-\frac{a\sqrt{2}}{2} \right) = -\frac{a}{2} + \frac{a\sqrt{2}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = \frac{\sqrt{2} - 1}{2} a$$

Como $\sqrt{2} \cong 1,41$ temos:

$$d \cong \frac{1,41 - 1}{2} a \text{ ou } d \cong 0,21a$$

CAPÍTULO 16 — Ondas

2. a) 8 m
 b) $\frac{\pi}{2}$ s
 c) $\frac{2}{\pi}$ Hz
 d) $\frac{\pi}{3}$ m
 e) $\frac{2}{3}$ m/s
 f) Positivo de Ox .
3. a) Negativo de Ox .
 b) 6 cm
 c) $\frac{\pi}{2}$ s
 d) $\frac{2\pi}{3}$ cm
 e) $\frac{4}{3}$ m/s
4. a) Positivo de Ox .
 b) 3 m
 c) $\frac{1}{4}$ s
 d) $\frac{1}{5}$ m
 e) $\frac{4}{5}$ m/s
6. a) $32 \frac{\pi}{3}$
 b) $\frac{2\pi}{3}$
7. a) 3; 7; 15; 19; 23
 b) 1; 5; 9; 13; 17; 21

8. a

9. c

10. d

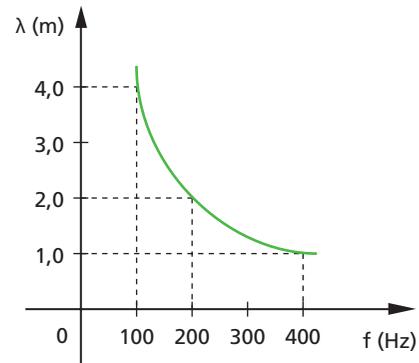
11. a) 3 cm
 b) 0,25 cm
 c) 0,05 s
 d) 5 cm/s

12. b

Exercícios complementares

13. a) 100 cm/s
 b) 40 cm/s
14. c
15. c
16. a) 80 m/s
 b) 2,0 m
 c) 1,0 m
 d) $2,5 \cdot 10^{-2}$ s
17. a) 20 cm
 b) 40 m/s

18. a) 2,0 m
 b) Hipérbole.



19. b

20. b

21. e

22. e

23. 50 m

24. a

25. 180 W

26. 15 (01 + 02 + 04 + 08)

27. $9,95 \cdot 10^{-2}$ W/m²

28. 0,3 W/m²

29. a

30. a

31. Usando a equação deduzida na teoria:

$$v_B = \frac{f_1 - f_3}{f_1 + f_3} v = \frac{42000 - 38000}{42000 + 38000} (340)$$

$$v_B = 17 \text{ m/s} = 61,2 \text{ km/h}$$

32. Como o detector está em repouso, a velocidade relativa entre o detector e a fonte tem módulo μ dado por:
 $\mu = v_F = 3,5 \text{ m/s}$

$$\frac{|\Delta f|}{f} \cong \frac{\mu}{v} \Rightarrow \frac{|\Delta f|}{2000} \cong \frac{3,5}{350} \Rightarrow |\Delta f| \cong 20 \text{ Hz}$$

Como a fonte se aproxima do detector, a frequência detectada (f_0) é maior que a frequência f emitida pela fonte. Portanto:

$$f_0 = f + |\Delta f| \cong 2000 \text{ Hz} + 20 \text{ Hz}$$

$$f_0 \cong 2020 \text{ Hz}$$

CAPÍTULO 17 – Algumas propriedades das ondas

2. $\frac{\pi}{3}$ rad

3. a) $3,0 \cdot 10^2$ m/s

b) $\frac{1}{15}$ s

c) $\frac{5\pi}{3}$ rad

4. Neste caso não há inversão de fase, mas há uma variação no comprimento de onda quando a onda passa do ar para a água. A frequência da onda é a mesma nos dois meios e, portanto, o período também é o mesmo.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{125 \text{ Hz}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

A diferença t entre os tempos gastos pelas duas ondas para fazer o percurso h é:

$$t = \frac{h}{v_1} - \frac{h}{v_2} = \frac{7,5}{300} - \frac{7,5}{1500} = \frac{5(7,5) - 7,5}{1500} = \frac{4(7,5)}{1500} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{50} \text{ s} = 0,02 \text{ s} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

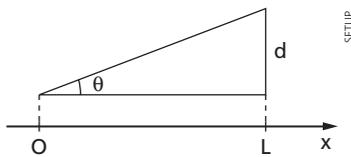
$$\Delta\phi = \frac{t}{T} (2\pi) = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 10^{-3}} (2\pi) \Rightarrow \Delta\phi = 5\pi \text{ rad}$$

Como $5\pi = 2(2\pi) + \pi$, a defasagem reduzida é $\Delta\phi_r = \pi$ rad

5. $L = 8,00 \text{ cm} = 8,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$d = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ mm} = 1,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

$\lambda = 500 \text{ nm} = 500 \cdot 10^{-9} \text{ m}$



a) $\theta = \text{tg } \theta = \frac{d}{L} = \frac{1,00 \cdot 10^{-5} \text{ m}}{8,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$

$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \Rightarrow \theta = 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta = 7,16 \cdot 10^{-3} \text{ grau}$$

b) $t = \frac{L\lambda}{2d} = \frac{(8,00 \cdot 10^{-2} \text{ m})(500 \cdot 10^{-9} \text{ m})}{2(1,00 \cdot 10^{-5} \text{ m})} =$

$$= 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 2,00 \text{ mm}$$

c) $\frac{L}{t} = \frac{8,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 40$

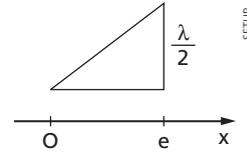
Se $L = 40t$, concluímos que há 41 franjas escuras, tendo a última abscissa $x = L$.

- d) As franjas extremas são escuras, e há 41 franjas escuras. Portanto, há 40 franjas claras.

- e) A segunda franja escura é a primeira franja escura após a que existe na aresta comum às duas

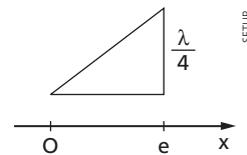
lâminas (para $x = 0$). Assim, na equação (1) temos $k = 1$:

$$e = k \cdot \frac{\lambda}{2} = (1) \frac{\lambda}{2} = \frac{500 \text{ nm}}{2} = 250 \text{ nm}$$



- f) A espessura correspondente à 1ª franja clara é obtida fazendo $k = 0$ na equação (3):

$$e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\lambda}{2}\right) = \frac{\lambda}{4} = \frac{500 \text{ nm}}{4} = 125 \text{ nm}$$



- g) Para obtermos a espessura correspondente à 11ª franja clara fazemos $k = 10$ na equação (3):

$$e = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} = \left(10 + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2} = \frac{21}{4} \lambda = \frac{21}{4} (500 \text{ nm}) = = 2625 \mu\text{m} = 2,625 \text{ mm}$$

- h) A abscissa da 11ª franja clara é obtida fazendo $k = 10$ na equação x:

$$x = t \left(k + \frac{1}{2}\right) = t \left(10 + \frac{1}{2}\right) = \frac{21}{2} t = \frac{21}{2} (2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}) = 2,10 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2,10 \text{ cm}$$

6. a) $\lambda' = \frac{\lambda}{1,33} = \frac{500 \text{ nm}}{1,33} = 376 \text{ nm}$

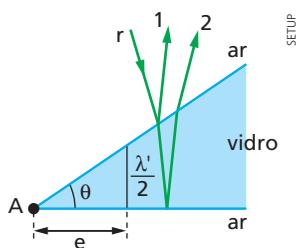
- b) Como o índice de refração do vidro é maior que o da água, as equações são as mesmas que valem para o caso da cunha de ar, com uma única alteração: trocamos λ por λ' .

$$t = \frac{L\lambda'}{2d} = \frac{L}{2d} \frac{\lambda}{n_l} = \frac{1}{n_l} \cdot \frac{L\lambda}{2d} = \frac{1}{1,33} (2,00 \text{ mm})$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

7. Como há formação de franjas regulares, concluímos que o ângulo θ é muito pequeno e, portanto, $\theta = \text{tg } \theta$. Quando um raio r incide na cunha, o raio 1 é refletido com inversão de fase e o raio 2 é invertido sem inversão de fase e, portanto, os raios 1 e 2 estão em oposição de fase, que é a mesma situação encontrada na cunha de ar. Nesse caso, vimos na teoria que a espessura da lâmina na posição onde se forma a primeira franja escura

após a franja que passa por A (espessura nula) é $\frac{\lambda'}{2}$, com $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$. Portanto, da figura tiramos:



$$\theta = \operatorname{tg} \theta = \frac{\lambda'}{2e} = \frac{\lambda}{2ne} = \frac{\lambda}{2ne}$$

Resposta: a.

Observação: No enunciado há duas informações desnecessárias: x e m.

8. $3,36 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

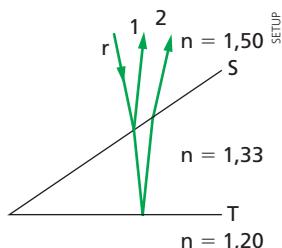
9. a) 25

b) 25

10. $9,045 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

11. $6,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

12. $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = \frac{532 \text{ nm}}{1,33} = 400 \text{ nm}$



Na superfície S a luz vai de um meio mais refringente para um menos refringente e, assim, o raio refletido 1 não sofre inversão de fase. Na superfície T também a luz vai de um meio mais refringente para um menos refringente, o que significa que o raio refletido 2 também não sofre inversão de fase. Desse modo os raios 1 e 2 estão em fase e a condição para interferência destrutiva é:

$$2e = i \cdot \frac{\lambda'}{2}$$

sendo i um número ímpar. Fazendo $i = 1$ temos:

$$2e = \frac{\lambda'}{2}$$

Ou: $e = \frac{\lambda'}{4} = \frac{400 \text{ nm}}{4} = 100 \text{ nm}$

13. $\lambda = 512 \text{ nm} = 512 \cdot 10^{-9} \text{ m}$; $R = 5,00 \text{ m}$

a) anel escuro: $2e = k\lambda$

4º anel escuro: $2e = 4\lambda \Rightarrow e = 2\lambda \Rightarrow e = 2(512 \text{ nm}) \Rightarrow e = 1024 \text{ nm} = 1,024 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

b) Tendo e, podemos usar a equação (5):

$$r = \sqrt{2Re} = \sqrt{2(5,00 \text{ m})(1,024 \cdot 10^{-6} \text{ m})} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Poderíamos também usar a equação (6):

$$r_k = \sqrt{R\lambda k}$$

$$k = 4 \Rightarrow r_4 = \sqrt{(5,00 \text{ m})(512 \cdot 10^{-9} \text{ m})(4)} \Rightarrow r_4 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

c) Anel brilhante: $2e = (k - \frac{1}{2})\lambda$

7º anel brilhante:

$$2e = (7 - \frac{1}{2})\lambda \Rightarrow e = 13 \frac{\lambda}{4} \Rightarrow e = 13 \cdot \frac{512 \text{ nm}}{4} \Rightarrow e = 1664 \text{ nm} = 1,664 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

d) Usando a equação (5):

$$r = \sqrt{2Re} = \sqrt{2(5,00 \text{ m})(1,664 \cdot 10^{-6} \text{ m})} = 4,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Poderíamos também ter usado a equação (7):

$$r_k = \sqrt{R\lambda(k - \frac{1}{2})}$$

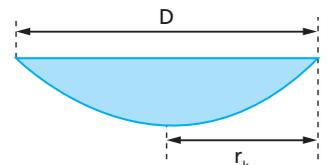
$$k = 7 \Rightarrow r_7 = \sqrt{(5,00 \text{ m})(512 \cdot 10^{-9} \text{ m})(7 - \frac{1}{2})} \Rightarrow r_7 = 4,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

e) $\frac{D}{2} = \frac{20,0 \text{ mm}}{2} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$r_k = \sqrt{R\lambda k}$$

$$1,00 \cdot 10^{-2} = \sqrt{(5,00)(512 \cdot 10^{-9})(k)} \Rightarrow \sqrt{2,56 \cdot 10^{-6} k} = 1,00 \cdot 10^{-2} \Rightarrow 2,56 \cdot 10^{-6} k = 1,00 \cdot 10^{-4} \Rightarrow k = 39,06$$

Portanto, há 39 anéis escuros.



f) $r_k = \sqrt{R\lambda(k - \frac{1}{2})} \Rightarrow 1,00 \cdot 10^{-2} =$

$$= \sqrt{(5,00)(512 \cdot 10^{-9})(k - \frac{1}{2})} \Rightarrow \sqrt{2,56 \cdot 10^{-6}(k - \frac{1}{2})} =$$

$$= 1,00 \cdot 10^{-2} \Rightarrow 2,56 \cdot 10^{-6}(k - \frac{1}{2}) = 1,00 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (k - \frac{1}{2}) = 39,06 \Rightarrow k = 39,56$$

Portanto, há 39 anéis claros.

g) $\left. \begin{matrix} r_k = \sqrt{R\lambda k} \\ k = 4 \end{matrix} \right\} \Rightarrow r_4 = \sqrt{R\lambda(4)}$

Ao colocarmos óleo, o comprimento de onda muda para λ' tal que:

$$\lambda' = \frac{\lambda}{1,33}$$

Assim:

$$r'_4 = \sqrt{R\lambda'(4)} = \sqrt{R \cdot \frac{\lambda}{1,33}(4)} = \sqrt{R\lambda(3,01)} \Rightarrow \\ \Rightarrow r'_4 = \sqrt{(5,00\text{ m})(512 \cdot 10^{-9}\text{ m})(3,01)} = 2,78 \cdot 10^{-3}\text{ m}$$

Poderíamos também ter usado o resultado do item *b*:

$$r_4 = \sqrt{R\lambda(4)} = 3,2 \cdot 10^{-3}\text{ m} \\ r'_4 = \sqrt{R \cdot \frac{\lambda}{1,33}(4)} = \frac{1}{\sqrt{1,33}} \sqrt{R\lambda(4)} = \\ = \frac{1}{\sqrt{1,33}} \cdot (3,2 \cdot 10^{-3}\text{ m}) = 2,78 \cdot 10^{-3}\text{ m}$$

14. a) $\lambda = 560\text{ nm} = 560 \cdot 10^{-9}\text{ m}$

Anel claro: $2e = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$

Para o 20º anel claro, temos:

$$2e = \left(20 - \frac{1}{2}\right)(560 \cdot 10^{-9}\text{ m}) \Rightarrow e = 5,46 \cdot 10^{-6}\text{ m}$$

b) $r_{20} = 9,80\text{ mm} = 9,80 \cdot 10^{-3}\text{ m}$

$$r_{20} = \sqrt{2Re} \Rightarrow 9,80 \cdot 10^{-3} = \sqrt{2R(5,46 \cdot 10^{-6})} \Rightarrow \\ \Rightarrow (9,80 \cdot 10^{-3})^2 = R(10,92 \cdot 10^{-6}) \Rightarrow R = 8,79\text{ m}$$

15. $r_8 = \sqrt{R\lambda(8)} = 1,80\text{ cm}$ } $\Rightarrow \frac{\sqrt{R\lambda(8)}}{\sqrt{\frac{R\lambda(8)}{n}}} = \frac{1,80}{1,64} = 1,098 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \sqrt{n} = 1,098 \Rightarrow n = 1,2$$

16. $R = 4,00\text{ m}$; $r_{30} = 5,50\text{ mm} = 5,50 \cdot 10^{-3}\text{ m}$

$$r_k = \sqrt{R\lambda k} \Rightarrow r_{30} = \sqrt{R\lambda(30)} \Rightarrow 5,50 \cdot 10^{-3} = \\ = \sqrt{(4,00)\lambda(30)} \Rightarrow \lambda = 2,52 \cdot 10^{-7}\text{ m} = 252\text{ nm}$$

17. $\lambda = 600\text{ nm} = 600 \cdot 10^{-9}\text{ m}$ (1)

$$r_t = \sqrt{R\lambda t} = 3,60\text{ mm}$$

$$r_{t+7} = \sqrt{R\lambda(t+7)} = 4,80\text{ mm}$$
 (2)

Dividindo membro a membro as equações (1) e (2):

$$\frac{\sqrt{R\lambda t}}{\sqrt{R\lambda(t+7)}} = \frac{3,60}{4,80} = \frac{3}{4} \Rightarrow \sqrt{\frac{t}{t+7}} = \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{t}{t+7} = \\ = \frac{9}{16} \Rightarrow t = 9$$

Substituindo em (1):

$$\sqrt{R\lambda t} = 3,60\text{ mm} \Rightarrow \sqrt{R(600 \cdot 10^{-9})(9)} = 3,60 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \\ \Rightarrow R = 2,40\text{ m}$$

18. $\left. \begin{array}{l} 2d = k\lambda \\ k = 4 \end{array} \right\} \Rightarrow 2d = 4\lambda \Rightarrow d = 2\lambda$

Resposta: *e*.

19. $\lambda = 500\text{ nm} = 500 \cdot 10^{-9}\text{ m}$

$$2r_1 = 2\text{ mm} \Rightarrow r_1 = 1\text{ mm} \Rightarrow 10^{-3}\text{ m}$$

$$r_1 = \sqrt{R\lambda(1)} \Rightarrow 10^{-3} = \sqrt{R(500 \cdot 10^{-9})} \Rightarrow R = 2,0\text{ m}$$

Resposta: *c*.

Exercícios complementares

20. *c*

21. *e*

22. Na passagem do vidro para o ar, para ângulos maiores que 40° , a figura *d* nos mostra que não há feixe refratado. Portanto: porcentagem = 0%

23. Para uma placa: $I_1 = 80\%$ de $I_0 = (0,8)I_0$

Para *n* placas: $I_n = (0,8)^n I_0$

Cálculo do número mínimo de placas:

$$I_n < 20\% \text{ de } I_0 \Rightarrow (0,8)^n \cdot I_0 < (0,2) \cdot I_0 \Rightarrow \\ \Rightarrow (0,8)^n < (0,2) \Rightarrow \log(0,8)^n < \log(0,2) \Rightarrow \\ \Rightarrow n \log(0,8) < \log(0,2) \quad (1)$$

$$\text{Mas: } \begin{cases} \log(0,8) = \log \frac{2^3}{10} = \log 2^3 - \log 10 = 3 \log 2 - 1 \\ \log(0,2) = \log \frac{2}{10} = \log 2 - \log 10 = \log 2 - 1 \end{cases}$$

$$\text{Porém: } \log 2 = \log \frac{10}{5} = \log 10 - \log 5 = 1 - 0,699 \cong 0,3$$

$$\text{Assim: } \begin{cases} \log(0,8) \cong 3(0,3) - 1 \cong -0,1 \\ \log(0,2) \cong 0,3 - 1 \cong -0,7 \end{cases}$$

Substituindo em (1):

$$n(-0,1) < -0,7 \Rightarrow n > 7$$

Portanto, o valor mínimo é $n = 8$.

Resposta: *c*.

24. Na teoria vimos que a velocidade (*v*) de propagação de uma onda em um fio esticado pode ser dada por:

$$v = \sqrt{\frac{F}{ZS}}$$

sendo *F* a tração, *Z* a densidade volumétrica do material do fio e *S* a área da seção reta. Mas neste caso temos:

$$S = \pi R^2$$

sendo *R* o raio da seção reta do fio. Assim, temos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{Z\pi R^2}}$$

Portanto, sendo v_1 a velocidade no primeiro fio, v_2 a velocidade no segundo fio, R_1 o raio do primeiro fio e R_2 o raio do segundo fio, temos:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{F}{Z\pi R_1^2}}}{\sqrt{\frac{F}{Z\pi R_2^2}}} = \frac{R_2}{R_1}$$

Mas o diâmetro do primeiro fio é *d* e o do segundo fio é $\frac{d}{2}$. Portanto:

$$R_1 = 2R_2$$

$$\text{Assim: } \frac{v_1}{v_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_2}{2R_2} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

As frequências fundamentais para os dois fios são:

$$f_1 = \frac{v_1}{2L} \text{ e } f_2 = \frac{v_2}{2(3L)} = \frac{v_2}{6L}$$

$$\text{Assim: } \frac{f_1}{f_2} = \frac{\frac{v_1}{2L}}{\frac{v_2}{6L}} = 3 \frac{v_1}{v_2} = 3 \left(\frac{1}{2} \right) = \frac{3}{2}$$

Como $f_1 = 600$ Hz, concluímos:

$$\frac{600}{f_2} = \frac{3}{2} \Rightarrow f_2 = 400 \text{ Hz}$$

Resposta: c.

25. $f_n = 100$ Hz; $f_{n+1} = 125$ Hz; $\mu = 10$ g/m = 10^{-2} kg/m; $L = 2$ m

Como as frequências dadas são de harmônicos adjacentes, é fácil mostrar que a diferença entre elas é igual à frequência f_1 do harmônico fundamental:

$$\left. \begin{aligned} f_n &= n f_1 \\ f_{n+1} &= (n+1) f_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow f_{n+1} - f_n = (n+1) f_1 - n f_1 = f_1$$

Portanto:

$$f_1 = 125 \text{ Hz} - 100 \text{ Hz} = 25 \text{ Hz}$$

Mas:

$$f_1 = \frac{v}{2L} \text{ e } v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Assim:

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow 25 = \frac{1}{2(2)} \sqrt{\frac{F}{10^{-2}}} \Rightarrow F = 100 \text{ N}$$

Porém:

$$F = Mg \Rightarrow 100 = M(10) \Rightarrow M = 10 \text{ kg}$$

Resposta: a.

26. $L_o = 33$ cm = 0,33 m; $f = 251$ Hz

A frequência do som fundamental emitido por um tubo fechado é $f = \frac{v}{4L}$. Assim:

$$f = \frac{v_o}{4L_o} \Rightarrow 251 = \frac{v_o}{4(0,33)} \Rightarrow v_o \cong 331 \text{ m/s}$$

$$\left. \begin{aligned} v &= v_o + (0,60)\theta \\ \theta &= 30^\circ\text{C} \end{aligned} \right\} \Rightarrow v = 331 + (0,60)(30) \Rightarrow v = 349 \text{ m/s}$$

$$f = \frac{v}{4L} \Rightarrow 251 = \frac{349}{4L} \Rightarrow L = 0,348 \text{ m} = 34,8 \text{ cm}$$

27. $L = 7$ cm = 0,07 m; $v = 340$ m/s

Para um tubo aberto, as frequências dos harmônicos são dadas por:

$$f = n \frac{v}{2L}$$

Assim:

$$n \frac{v}{2L} \leq 20\,000 \Rightarrow n \left[\frac{340}{2(0,07)} \right] \leq 20\,000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n(2\,429) \leq 20\,000 \Rightarrow n \leq 8,23$$

Portanto, o valor máximo de n é 8. Desse modo:

$$f_8 = 8 \frac{340}{2(0,07)} \cong 8(2\,429) \Rightarrow f_8 \cong 19\,432 \text{ Hz}$$

28. $\lambda = 8$ cm; $d_1 = 53$ cm

$$d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d_2 - 53 = \frac{8}{4} \Rightarrow d_2 = 57 \text{ cm}$$

29. P \rightarrow construtiva; Q \rightarrow destrutiva

30. a) $L = 0,5$ m; $f_1^F = 220$ Hz; $\mu = 5 \cdot 10^{-3}$ kg/m

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{v}{2L} \\ v &= \sqrt{\frac{T}{\mu}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow f_1^F = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \Rightarrow$$

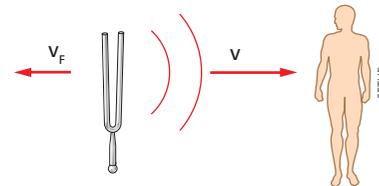
$$\Rightarrow 220 = \frac{1}{2(0,5)} \sqrt{\frac{T}{5 \cdot 10^{-3}}} \Rightarrow T = 242 \text{ N}$$

- b) $f_b = f_1^F - f_2^G \Rightarrow 4 = 220 - f_2^G \Rightarrow f_2^G = 216$ Hz

$$f_2^G = 2f_1^G \Rightarrow 216 = 2f_1^G \Rightarrow f_1^G = 108 \text{ Hz}$$

31. $f = 400$ Hz; $v_F = 1,7$ m/s; $v_o = 0$; $v = 340$ m/s

I. Cálculo de f_1



$$f_1 = \frac{v}{v + v_F} f = \frac{340}{340 + 1,7} (400 \text{ Hz}) = 398 \text{ Hz}$$

Como $v_F \ll v$, poderíamos ter usado a equação (34), do capítulo 16, que dá o valor aproximado de $|\Delta f|$:

$$\frac{|\Delta f|}{f} \cong \frac{|v_F|}{v} \Rightarrow \frac{|\Delta f|}{400} \cong \frac{1,7}{340} \Rightarrow |\Delta f| \cong 2 \text{ Hz}$$

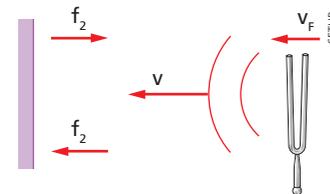
Como há afastamento entre fonte e observador, devemos ter $f_1 < f$. Assim:

$$f_1 = f - |\Delta f| \cong 400 \text{ Hz} - 2 \text{ Hz} \cong 398 \text{ Hz}$$

Podemos observar que, com esse valor, já podemos dar a resposta do exercício, pois só há uma alternativa que começa com 398 Hz: alternativa c.

Mas vamos calcular os outros valores pedidos.

II. Cálculo de f_2





Agora, a parede faz o papel de observador:

$$f_z = \frac{v}{v - v_f} f = \frac{340}{340 - 1,7} (400 \text{ Hz}) \cong 402 \text{ Hz}$$

Aqui também poderíamos usar a equação (34) do capítulo 16.

A frequência de batimentos (f_b) é dada por:

$$f_b = 402 \text{ Hz} - 398 \text{ Hz} = 4 \text{ Hz}$$

Resposta: *c*.

32. *c*

33. Na teoria, vimos que:

$$\text{Interferência construtiva} \Rightarrow \sin \theta = \frac{n \lambda}{d}$$

$$\text{Interferência destrutiva} \Rightarrow \sin \theta = \frac{i}{2} \left(\frac{\lambda}{d} \right)$$

$$\text{sendo: } \begin{cases} n = 0, 1, 2, 3, 4... \\ i = 1, 3, 5, 7... \end{cases}$$

$$\lambda_1 \text{ é } 15\% \text{ maior que } \lambda_2 \Rightarrow \lambda_1 = 1,15\lambda_2$$

Para $\frac{10\lambda_1}{d}$, temos interferência construtiva para λ_1 e:

$$\sin \theta = \frac{10\lambda_1}{d} = \frac{10(1,15\lambda_2)}{d} = 11,5 \frac{\lambda_2}{d} = \frac{23}{2} \cdot \frac{\lambda_2}{d}$$

Portanto, para esse valor de θ , temos também interferência destrutiva para λ_2 e, assim, somente luz de comprimento de onda λ_1 é observada.

Resposta: *b*.

