

**III Moderna PLUS**

**RAMALHO  
NICOLAU  
TOLEDO**

# **FÍSICA**

**OS FUNDAMENTOS  
DA FÍSICA**

**2**



***RESOLUÇÕES***

P.1

- $\theta_C = 400 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{400}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \theta_F = 752 \text{ }^\circ\text{F}$$

- $\theta_F = 99,5 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{99,5 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = 37,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

- $\theta_C = 180 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{180}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \theta_F = 356 \text{ }^\circ\text{F}$$

- $\theta_F = -49 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{-49 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = -45 \text{ }^\circ\text{C}$$

Completando a tabela, temos:

Celsius	Fahrenheit
400 °C	752 °F
37,5 °C	99,5 °F
180 °C	356 °F
-45 °C	-49 °F

P.2

Temos:  $\theta_C = X \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_F = -X \text{ }^\circ\text{F}$

Substituindo na fórmula de conversão, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{X}{5} = \frac{-X - 32}{9} \Rightarrow 9X = -5X - 160 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 14X = -160 \Rightarrow X \approx -11,43$$

Portanto:  $\theta_C \approx -11,43 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_F \approx +11,43 \text{ }^\circ\text{F}$

P.3

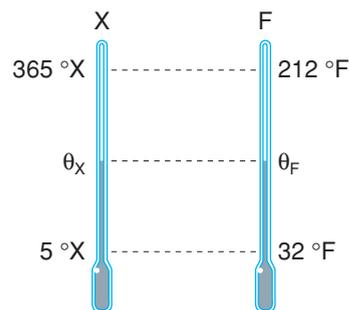
Temos:  $\theta_C = x \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_F = (x + 72) \text{ }^\circ\text{F}$

Substituindo na fórmula de conversão, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{x + 72 - 32}{9} \Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{x + 40}{9} \Rightarrow 9x = 5x + 200 \Rightarrow 4x = 200 \Rightarrow x = 50$$

Portanto:  $\theta_C = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_F = 122 \text{ }^\circ\text{F}$

P.4



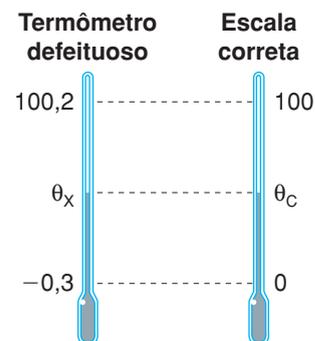
Comparando as escalas, temos:

$$\frac{\theta_X - 5}{365 - 5} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\theta_X - 5}{360} = \frac{\theta_F - 32}{180} \Rightarrow \frac{\theta_X - 5}{2} = \theta_F - 32 \Rightarrow \theta_X - 5 = 2\theta_F - 64 \Rightarrow \theta_X = 2\theta_F - 59$$

Fazendo  $\theta_F = 0 \text{ }^\circ\text{F}$ , obtemos:  $\theta_X = -59 \text{ }^\circ\text{X}$

P.5

Para efeitos de cálculo, o termômetro defeituoso estabelece uma nova escala, pois os valores  $-0,3$  e  $100,2$  são associados ao ponto do gelo e ao ponto do vapor, respectivamente. Comparando-o com um termômetro correto, vem:



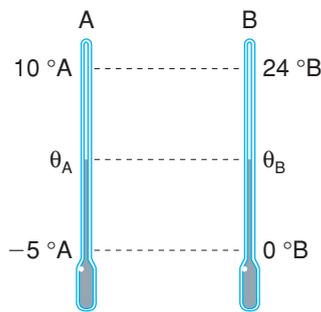
$$\frac{\theta_X - (-0,3)}{100,2 - (-0,3)} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_X + 0,3}{100,5} = \frac{\theta_C}{100} \Rightarrow 100\theta_X + 30 = 100,5\theta_C$$

A única indicação correta do termômetro defeituoso será dada quando  $\theta_X = \theta_C$ . Logo:

$$100\theta_X + 30 = 100,5\theta_X \Rightarrow 30 = 0,5\theta_X \Rightarrow \theta_X = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

P.6

a) Do gráfico, obtemos as correspondências:



$$\frac{\theta_A - (-5)}{10 - (-5)} = \frac{\theta_B - 0}{24 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_A + 5}{15} = \frac{\theta_B}{24} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 8\theta_A + 40 = 5\theta_B \Rightarrow \theta_A = \frac{5}{8}\theta_B - 5 \quad \textcircled{1}$$

ou

$$\theta_B = \frac{8}{5}\theta_A + \frac{40}{5} \Rightarrow \theta_B = 1,6\theta_A + 8 \quad \textcircled{2}$$

b) Para  $\theta_B = 96 \text{ °B}$ , temos:  $\theta_B = \frac{5}{8} \cdot 96 - 5 \Rightarrow \theta_A = 55 \text{ °A}$

c) Quando  $\theta_A = 0 \text{ °A}$ , temos:  $\theta_B = 8 \text{ °B}$

d) Os dois termômetros indicarão a mesma temperatura quando:

$$\theta_A = X \text{ °A e } \theta_B = X \text{ °B.}$$

Substituindo na fórmula ①, temos:  $X = 1,6X + 8 \Rightarrow 0,6X = -8 \Rightarrow X \simeq -13,3$

Então:  $\theta_A \simeq -13,3 \text{ °A}$  e  $\theta_B \simeq -13,3 \text{ °B}$

P.7

a) O enunciado não informa qual temperatura foi registrada antes, se a máxima ou a mínima. Então, existem duas hipóteses a considerar.

1ª hipótese:  $\theta_1 = 17 \text{ °C}$  e  $\theta_2 = 42 \text{ °C}$  (A temperatura mínima ocorreu **antes** da máxima.)

$$\Delta\theta_C = \theta_2 - \theta_1 = 42 - 17 \Rightarrow \Delta\theta_C = 25 \text{ °C} \quad \text{(aumento de temperatura)}$$

2ª hipótese:  $\theta_1 = 42 \text{ °C}$  e  $\theta_2 = 17 \text{ °C}$  (A temperatura mínima ocorreu **depois** da máxima.)

$$\Delta\theta_C = \theta_2 - \theta_1 = 17 - 42 \Rightarrow \Delta\theta_C = -25 \text{ °C} \quad \text{(diminuição de temperatura)}$$

b) A variação expressa na escala Fahrenheit será dada por:  $\frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{\Delta\theta_C}{5}$

1ª hipótese:  $\frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{25}{5} \Rightarrow \Delta\theta_F = 45 \text{ °F}$

2ª hipótese:  $\frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{-25}{5} \Rightarrow \Delta\theta_F = -45 \text{ °F}$

P.8

a)  $\theta_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta_C = -35\text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta_C = \theta - \theta_0 \Rightarrow -35 = \theta - 20 \Rightarrow \theta = -35 + 20 \Rightarrow \boxed{\theta = -15\text{ }^\circ\text{C}}$$

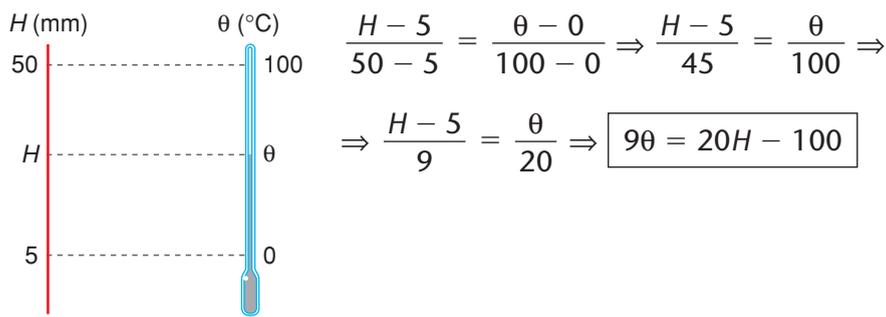
b)  $\frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{\Delta\theta_C}{5} \Rightarrow \frac{\Delta\theta_F}{9} = \frac{-35}{5} \Rightarrow \boxed{\Delta\theta_F = -63\text{ }^\circ\text{F}}$

c) Quando  $\theta_C = -15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\theta_F$  vale:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{-15}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \boxed{\theta_F = 5\text{ }^\circ\text{F}}$$

P.9

a) Considerando que a função termométrica do termômetro é do 1º grau, temos:

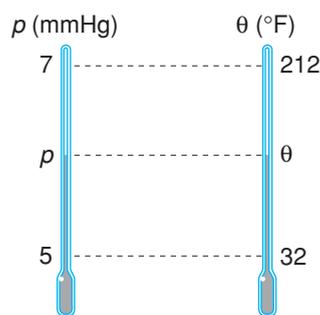


b) Quando a coluna líquida apresenta altura  $H = 15\text{ mm}$ , temos:

$$90 = 20 \cdot 15 - 100 \Rightarrow \boxed{\theta \approx 22,2\text{ }^\circ\text{C}}$$

P.10

a)



Comparando a pressão do gás com a temperatura na escala Fahrenheit, temos:

$$\frac{p - 5}{7 - 5} = \frac{\theta - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{p - 5}{2} = \frac{\theta - 32}{180} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p - 5 = \frac{\theta - 32}{90} \Rightarrow \theta - 32 = 90p - 450 \Rightarrow \boxed{\theta = 90p - 418}$$

b) Para  $p = 9,5\text{ mmHg}$ , temos:

$$\theta = 90 \cdot 9,5 - 418 \Rightarrow \boxed{\theta = 437\text{ }^\circ\text{F}}$$

**P.11**  $\theta_C = -39\text{ }^\circ\text{C}$

$$T = \theta_C + 273 \Rightarrow T = -39 + 273 \Rightarrow T = 234\text{ K}$$

**P.12**  $\Delta\theta_C = 32\text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta T = \Delta\theta_C \Rightarrow \Delta T = 32\text{ K}$$

**P.13** a) Dados:  $\theta_1 = 22\text{ }^\circ\text{C}$  (mínima) e  $\theta_2 = 33\text{ }^\circ\text{C}$  (máxima)

Como  $T = \theta + 273$ , temos:

$$T_1 = 22 + 273 \Rightarrow T_1 = 295\text{ K}$$

$$T_2 = 33 + 273 \Rightarrow T_2 = 306\text{ K}$$

b)  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 33 - 22 \Rightarrow \Delta\theta = 11\text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 306 - 295 \Rightarrow \Delta T = 11\text{ K}$$

**P.14** a)  $\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{102,2 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = 39\text{ }^\circ\text{C}$

Considerando que a temperatura normal do corpo humano é de cerca de  $37\text{ }^\circ\text{C}$ , o paciente está com febre e, portanto, há razão para o médico preocupar-se.

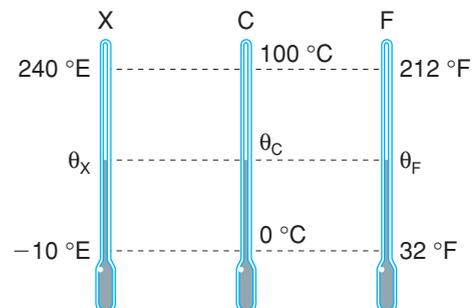
b) Tendo temperatura mais elevada que a normal, o doente perde mais rapidamente energia térmica para o ambiente. A essa energia térmica em trânsito dá-se o nome de calor.

**P.15** Fórmula de conversão da escala X para a escala Celsius:

$$\frac{\theta_X - (-10)}{240 - (-10)} = \frac{\theta_C - 0}{100 - 0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_X + 10}{250} = \frac{\theta_C}{100} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_X + 10}{5} = \frac{\theta_C}{2} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \theta_C = 0,4\theta_X + 4 \\ \text{ou} \\ \theta_X = 2,5\theta_C - 10 \end{array} \right.$$



Fórmula de conversão da escala X para a escala Fahrenheit:

$$\frac{\theta_X - (-10)}{240 - (-10)} = \frac{\theta_F - 32}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\theta_X + 10}{250} = \frac{\theta_F - 32}{180} \Rightarrow$$

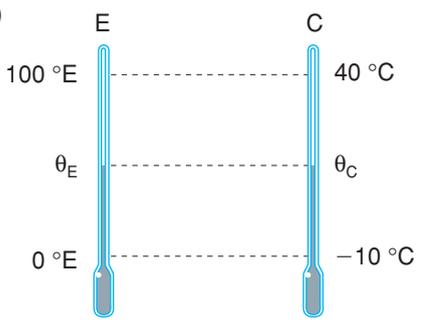
$$\Rightarrow 250\theta_F - 800 = 180\theta_X + 180 \Rightarrow \boxed{250\theta_F = 180\theta_X + 980}$$

Para  $\theta_C = -273 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:

$$\theta_X = 2,5(-273) - 10 \Rightarrow \boxed{\theta_X = -692,5 \text{ }^\circ\text{X}}$$

P.16

a)



$$\frac{\theta_E - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_C - (-10)}{40 - (-10)}$$

$$\frac{\theta_E}{100} = \frac{\theta_C + 10}{50}$$

$$\frac{\theta_E}{2} = \theta_C + 10$$

$$\boxed{\theta_E = 2\theta_C + 20}$$

b) Quando  $\theta_C = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $\boxed{\theta_E = 20 \text{ }^\circ\text{E}}$

Quando  $\theta_C = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $\boxed{\theta_E = 220 \text{ }^\circ\text{E}}$

c) •  $\theta_C = X \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = X \text{ }^\circ\text{E}$ :

$$X = 2X + 20 \Rightarrow X = -20$$

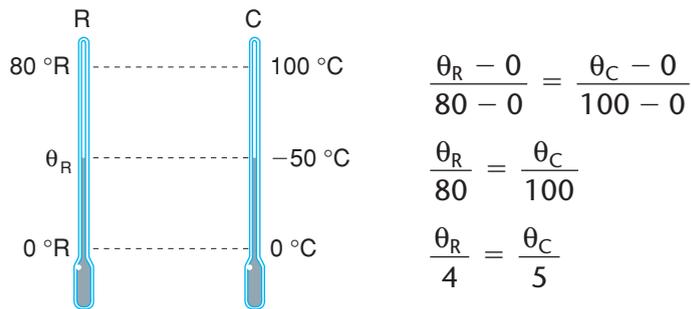
Portanto:  $\boxed{\theta_C = -20 \text{ }^\circ\text{C}}$  e  $\boxed{\theta_E = -20 \text{ }^\circ\text{E}}$

•  $\theta_C = -X \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = X \text{ }^\circ\text{E}$ :

$$X = -2X + 20 \Rightarrow X = \frac{20}{3}$$

Portanto:  $\boxed{\theta_C = -\frac{20}{3} \text{ }^\circ\text{C}}$  e  $\boxed{\theta_E = \frac{20}{3} \text{ }^\circ\text{E}}$

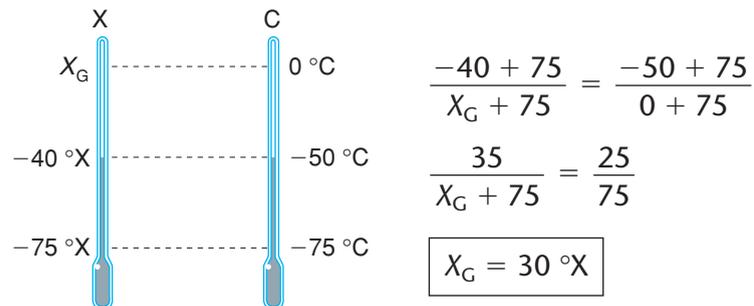
P.17 Relacionando as escalas Réaumur e Celsius, vem:



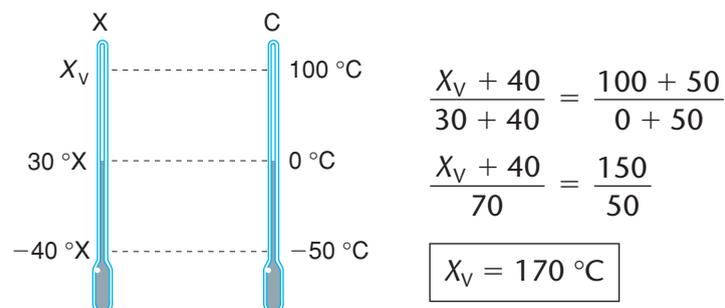
À temperatura  $\theta_R = -40^\circ\text{R}$ , corresponde:

$$\frac{-40}{4} = \frac{\theta_C}{5} \Rightarrow \theta_C = -50^\circ\text{C}$$

Assim, para a escala X, temos em correspondência ao  $0^\circ\text{C}$ :



Para  $\theta_R = 80^\circ\text{R}$  ou  $\theta_C = 100^\circ\text{C}$ , temos na escala X:



P.18 Comparando as indicações, temos:

$$\frac{D - (-2)}{71 - (-2)} = \frac{T - 0}{70 - 0}$$

$$\frac{D + 2}{73} = \frac{T}{70}$$

$$73T = 70D + 140$$

$$\boxed{7,3T = 7D + 14}$$

Para indicações iguais em valor absoluto e sinal:  $T = D = X$

$$\text{Portanto: } 7,3X = 7X + 14 \Rightarrow 0,3X = 14 \Rightarrow X = \frac{14}{0,3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow X \approx 46,7 \Rightarrow \begin{cases} \boxed{T \approx 46,7 \text{ }^\circ\text{C}} \\ \text{e} \\ \boxed{D \approx 46,7 \text{ }^\circ\text{D}} \end{cases}$$

Para indicações iguais em valor absoluto, mas de sinal contrário:  $T = y$  e  $D = -y$

$$7,3y = -7y + 14 \Rightarrow 14,3y = 14 \Rightarrow y = \frac{14}{14,3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y \approx 0,98 \Rightarrow \begin{cases} \boxed{T \approx 0,98 \text{ }^\circ\text{C}} \\ \text{e} \\ \boxed{D \approx -0,98 \text{ }^\circ\text{D}} \end{cases}$$

Termômetro  
defeituoso

71

D

-2



Termômetro  
exato

70

T

0

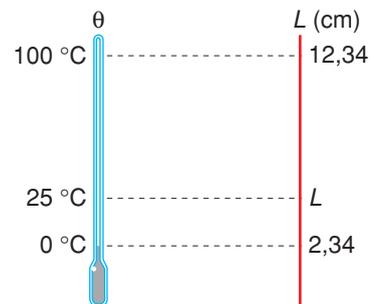


P.19

a)  $\frac{25 - 0}{100 - 0} = \frac{L - 2,34}{12,34 - 2,34}$

$$\frac{25}{100} = \frac{L - 2,34}{10}$$

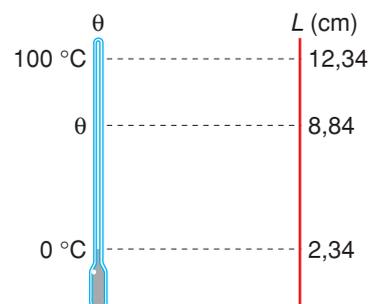
$$\boxed{L = 4,84 \text{ cm}}$$



b)  $\frac{\theta - 0}{100 - 0} = \frac{8,84 - 2,34}{12,34 - 2,34}$

$$\frac{\theta}{100} = \frac{6,5}{10}$$

$$\boxed{\theta = 65 \text{ }^\circ\text{C}}$$

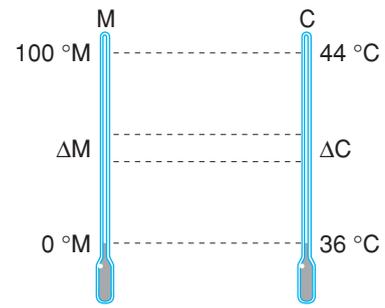


P.20

$$a) \frac{\Delta M}{100 - 0} = \frac{\Delta C}{44 - 36} \Rightarrow \frac{\Delta M}{100} = \frac{\Delta C}{8}$$

Para  $\Delta C = 1^\circ\text{C}$ :

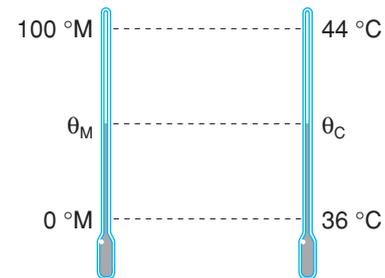
$$\frac{\Delta M}{100} = \frac{1}{8} \Rightarrow \boxed{\Delta M = 12,5^\circ\text{M}}$$



$$b) \frac{\theta_M - 0}{100 - 0} = \frac{\theta_C - 36}{44 - 36} \Rightarrow \frac{\theta_M}{100} = \frac{\theta_C - 36}{8}$$

Para  $\theta_C = 40^\circ\text{C}$ :

$$\frac{\theta_M}{100} = \frac{40 - 36}{8} \Rightarrow \boxed{\theta_M = 50^\circ\text{M}}$$

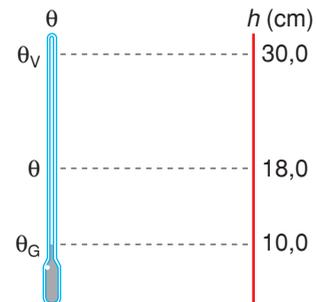


P.21

$$\frac{\theta_V - \theta_G}{\theta_V - \theta_G} = \frac{30 - 10}{18 - 10} = \textcircled{1}$$

Substituindo-se  $\theta_V = 100^\circ\text{C}$  e  $\theta_G = 0^\circ\text{C}$  em  $\textcircled{1}$ , temos:

$$\frac{100}{\theta} = \frac{20}{8} \Rightarrow \boxed{\theta = 40^\circ\text{C}}$$



**P.22** Dados:  $L_0 = 100 \text{ cm}$ ;  $\theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\alpha = 15 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$   
 $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 15 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 50 \Rightarrow \Delta L = 0,075 \text{ cm}$   
 O comprimento da barra, quando a temperatura é  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , é dado por:  
 $L = L_0 + \Delta L \Rightarrow L = 100 + 0,075 \Rightarrow \boxed{L = 100,075 \text{ m}}$

**P.23** Dados:  $\Delta L = \frac{1}{100} L_0$ ;  $\Delta\theta = \theta - \theta_0 = \theta - 20$ ;  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$   
 $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$   
 $\frac{1}{100} L_0 = 12 \cdot 10^{-6} \cdot L_0 \cdot (\theta - 20) \Rightarrow \theta - 20 = \frac{1}{100 \cdot 12 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow \theta - 20 = \frac{1}{12 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \theta - 20 = \frac{10^4}{12} \Rightarrow \theta - 20 = 833,3 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow \theta = 833,3 + 20 \Rightarrow \boxed{\theta = 853,3 \text{ }^\circ\text{C}}$

**P.24** Dados:  $\alpha_1 = 16 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\alpha_2 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$   
 Quando  $\theta_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $L_{0(1)} = L_{0(2)} = x$   
 Quando  $\theta = 110 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $L_2 - L_1 = 1 \text{ mm}$   
 Sendo:  $L_2 = L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$  e  $L_1 = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta)$ , temos:  
 $L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta) - L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta) = 1$   
 $x \cdot (1 + 20 \cdot 10^{-6} \cdot 100) - x \cdot (1 + 16 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = 1$   
 $x \cdot (1,0020) - x \cdot (1,0016) = 1$   
 $x = \frac{1}{0,0004}$

$\boxed{x = 2.500 \text{ mm}}$  ou  $\boxed{x = 2,5 \text{ m}}$

**P.25** Para  $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$ , temos:  $L_{0(1)} = L_{0(2)} = 20\text{ cm}$

Para  $\theta = -5^\circ\text{C}$ , temos:  $L_1 - L_2 = x$

A diferença de temperatura  $\Delta\theta$  é:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = -5^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = -20^\circ\text{C}$$

$$\text{Dados: } \alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \alpha_2 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Sendo:  $L_1 = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta)$  e  $L_2 = L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$ , vem:

$$x = L_{0(1)} \cdot (1 + \alpha_1 \cdot \Delta\theta) - L_{0(2)} \cdot (1 + \alpha_2 \cdot \Delta\theta)$$

$$x = 20 \cdot [1 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot (-20)] - 20 \cdot [1 + 18 \cdot 10^{-6} \cdot (-20)]$$

$$x = 20 - 0,0048 - 20 + 0,0072$$

$$x = 0,0024\text{ cm} \quad \text{ou} \quad x = 2,4 \cdot 10^{-3}\text{ cm}$$

**P.26** a) Da figura:  $\Delta L_A = 4\text{ cm}$ ;  $\Delta L_B = 2\text{ cm}$ ;  $\Delta\theta = 100^\circ\text{C}$

$$\alpha_A = \frac{\Delta L_A}{L_{0(A)} \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \alpha_A = \frac{4}{100 \cdot 100} \Rightarrow \alpha_A = 4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

e

$$\alpha_B = \frac{\Delta L_B}{L_{0(B)} \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \alpha_B = \frac{2}{100 \cdot 100} \Rightarrow \alpha_B = 2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

b)  $L_A - L_B = 4\text{ cm}$

$$L_{0(A)} \cdot (1 + \alpha_A \cdot \Delta\theta) - L_{0(B)} \cdot (1 + \alpha_B \cdot \Delta\theta) = 4$$

$$100 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\theta) - 100 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta\theta) = 4$$

$$100 + 4 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta - 100 - 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$$

$$4 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta - 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$$

$$2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 4$$

$$\Delta\theta = 200^\circ\text{C}$$

$$\text{Como } \theta_0 = 0^\circ\text{C} \Rightarrow \theta = 200^\circ\text{C}$$

**P.27** Dados:  $L_B - L_A = 30\text{ cm}$  ①;  $\alpha_A = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\alpha_B = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Conforme foi deduzido no exercício **R.12**:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{\alpha_B}{\alpha_A}$$

$$\text{Então: } \frac{L_A}{L_B} = \frac{1,2 \cdot 10^{-5}}{2,4 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow \frac{L_A}{L_B} = \frac{1}{2} \Rightarrow L_B = 2L_A \quad \text{②}$$

$$\text{Substituindo ② em ①, temos: } 2L_A - L_A = 30\text{ cm} \Rightarrow L_A = 30\text{ cm}$$

$$\text{Substituindo ③ em ②, temos: } L_B = 2L_A = 2 \cdot 30 \Rightarrow L_B = 60\text{ cm}$$

**P.28** Para que a diferença de comprimentos seja constante com a temperatura:

$$\Delta L_1 = \Delta L_2$$

Como  $\Delta L_1 = \alpha_1 \cdot L_1 \cdot \Delta\theta$  e  $\Delta L_2 = \alpha_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta$ , vem:

$$\alpha_1 \cdot L_1 \cdot \Delta\theta = \alpha_2 \cdot L_2 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \alpha_1 \cdot L_1 = \alpha_2 \cdot L_2$$

Como  $\alpha_1 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\alpha_2 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , obtemos:

$$15 \cdot 10^{-6} \cdot L_1 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot L_2 \Rightarrow L_1 = \frac{4}{3} L_2 \quad \textcircled{1}$$

Por outro lado, sabemos que:

$$L_1 - L_2 = 3 \text{ cm} \quad \textcircled{2}$$

Substituindo  $\textcircled{1}$  em  $\textcircled{2}$ , temos:

$$\frac{4}{3} L_2 - L_2 = 3 \Rightarrow \boxed{L_2 = 9 \text{ cm}}$$

$$\text{Em } \textcircled{1}: L_1 = \frac{4}{3} L_2 \Rightarrow L_1 = \frac{4}{3} \cdot 9 \Rightarrow \boxed{L_1 = 12 \text{ cm}}$$

**P.29** Dados:  $A_0 = 900 \text{ cm}^2$ ;  $\theta_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha = 27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \beta = 2\alpha \Rightarrow \beta = 54 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta = 54 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \cdot (60 - 10) \Rightarrow \Delta A = 2,43 \text{ cm}^2$$

A área da superfície da chapa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  é dada por:

$$A = A_0 + \Delta A = 900 + 2,43 \Rightarrow \boxed{\Delta A = 902,43 \text{ cm}^2}$$

**P.30** Importante: a área interna do anel aumenta com a temperatura como se fosse constituída do material do anel.

$$\text{Dados: } A_0 = 5 \text{ cm}^2; \theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \theta = 120 \text{ }^\circ\text{C}; \beta = 30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot (120 - 20)$$

$$\boxed{\Delta A = 0,015 \text{ cm}^2} \text{ ou } \boxed{\Delta A = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2}$$

**P.31**  $\beta = 4 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{2} \Rightarrow \alpha = 2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Para  $\theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $R_0 = 20,000 \text{ mm}$

Para  $\theta = ?$ , devemos ter:  $R = 19,988 \text{ mm}$

$$\Delta R = R - R_0 = 19,988 - 20,000 \Rightarrow \Delta R = -0,012 \text{ mm}$$

$$\text{Mas: } \Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow -0,012 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 20,000 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = -30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ , obtemos:

$$\theta = \Delta\theta + \theta_0 \Rightarrow \theta = -30 + 20 \Rightarrow \boxed{\theta = -10 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**P.32** Dados:  $d_0 = 1,0 \text{ cm}$ ;  $\theta_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 330 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$a) \Delta d = \alpha \cdot d_0 \cdot \Delta\theta = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot (330 - 30) \Rightarrow \Delta d = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

b) A variação do diâmetro do furo **não** depende do diâmetro da chapa; ela depende do diâmetro inicial do furo.

**P.33** Dados:  $V_0 = 100 \text{ l}$ ;  $\theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta V = 0,405 \text{ l}$ ;  $\alpha = 27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 81 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 0,405 = 81 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow 50 = \theta - 0 \Rightarrow \theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

**P.34** Importante: o volume interno do balão aumenta com a temperatura como se fosse constituído pelo material das paredes do balão.

Dados:  $V_0 = 500 \text{ ml}$ ;  $\theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\gamma = 3 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot (50 - 0) \Rightarrow \Delta V = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ ml}$$

**P.35** Dados:  $\left\{ \begin{array}{l} 6,0 \cdot 10^3 \text{ cm}^3; \theta_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}; \theta = 110 \text{ }^\circ\text{C}; \alpha = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ V_0 = (10 \times 20 \times 30) \text{ cm}^3 \end{array} \right.$

$$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 6,0 \cdot 10^3 \cdot (110 - 10) \Rightarrow \Delta V = 14,4 \text{ cm}^3$$

**P.36** Dados:  $\left\{ \begin{array}{l} V_0 = 50 \text{ cm}^3; \theta_0 = 28 \text{ }^\circ\text{C}; \theta = 48 \text{ }^\circ\text{C}; \gamma_{\text{Hg}} = 180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \\ \alpha_{\text{vidro}} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \end{array} \right.$

$$\gamma_{\text{vidro}} = 3\alpha_{\text{vidro}} = 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_{\text{vidro}} = 27 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{vidro}} = 180 \cdot 10^{-6} - 27 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_{\text{ap.}} = 153 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

O volume extravasado corresponde à dilatação aparente do mercúrio:

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 153 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (48 - 28) \Rightarrow \Delta V_{\text{ap.}} = 0,153 \text{ cm}^3$$

P.37

a) Dados:  $V_0 = 1.000 \text{ cm}^3$ ;  $\theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta V_{\text{ap.}} = 50,5 \text{ cm}^3$

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

$$50,5 = \gamma_{\text{ap.}} \cdot 1.000 \cdot (100 - 0)$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = 50,5 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = 5,05 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

b) Sendo  $\gamma_{\text{f}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  o coeficiente de dilatação volumétrica do frasco (recipiente), temos:

$$\gamma = \gamma_{\text{ap.}} + \gamma_{\text{f}} = 505 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6}$$

$$\gamma = 530 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma = 5,30 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

P.38

Para que não se altere o volume da parte vazia, a dilatação do mercúrio e a do recipiente devem ser iguais:  $\Delta C = \Delta V$

Como  $\Delta C = \gamma_{\text{f}} \cdot C_0 \cdot \Delta\theta$  e  $\Delta V = \gamma_{\text{Hg}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$ , temos:

$$\gamma_{\text{f}} \cdot C_0 \cdot \Delta\theta = \gamma_{\text{Hg}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \gamma_{\text{f}} \cdot C_0 = \gamma_{\text{Hg}} \cdot V_0$$

$$\text{Dados: } C_0 = 700 \text{ cm}^3; \gamma_{\text{f}} = \frac{1}{38.850} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \gamma_{\text{Hg}} = \frac{1}{5.550} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

O volume de mercúrio que deve ser colocado no recipiente é dado por:

$$\frac{1}{38.850} \cdot 700 = \frac{1}{5.550} \cdot V_0 \Rightarrow V_0 = 100 \text{ cm}^3$$

P.39

Dados:  $V_{0(\text{F})} = 1.000 \text{ cm}^3$  (a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\gamma_{\text{F}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $V_{0(\text{L})} = 980 \text{ cm}^3$ ;  $\gamma_{\text{L}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

O início do transbordamento acontece quando  $V_{\text{F}} = V_{\text{L}}$ . Assim:

$$V_{0(\text{F})} \cdot (1 + \gamma_{\text{F}} \cdot \Delta\theta) = V_{0(\text{L})} \cdot (1 + \gamma_{\text{L}} \cdot \Delta\theta)$$

$$1.000 \cdot (1 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta\theta) = 980 \cdot (1 + 10^{-3} \cdot \Delta\theta)$$

$$1.000 + 2 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta\theta = 980 + 980 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta$$

$$(2 \cdot 10^{-2} - 980 \cdot 10^{-3}) \cdot \Delta\theta = -20$$

$$(0,02 - 0,980) \cdot \Delta\theta = -20$$

$$-0,96 \cdot \Delta\theta = -20$$

$$\Delta\theta = 20,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Como } \Delta\theta = \theta - \theta_0, \text{ temos: } \theta = 20,83 \text{ }^\circ\text{C}$$

**P.40** Devemos colocar o frasco no caldeirão com água quente. Como o coeficiente de dilatação do zinco é maior que o do vidro, a tampa se dilatará mais que o orifício e será fácil desatarrachá-la.

**P.41** Dados:  $\alpha_{\text{aço}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $L_0 = 8,0 \text{ m}$ ;  $\theta_0 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$   
Se as extremidades de cada trilho deslocarem 0,25 cm devido à dilatação, os trilhos entrarão em contato e a partir daí ficarão sob tensão, podendo se soltar dos dormentes. Logo, a dilatação máxima possível para cada trilho é dada por:

$$\Delta L = 0,50 \text{ cm} = 0,50 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\Delta L = \alpha_{\text{aço}} \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 0,50 \cdot 10^{-2} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 8,0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \frac{0,50 \cdot 10^{-2}}{1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 8,0} \Rightarrow \Delta\theta = 52 \text{ }^\circ\text{C}$$

A temperatura mínima atingida pelos trilhos, nessa condição, é:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow 52 = \theta - 28 \Rightarrow \boxed{\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**P.42** a) Dados:  $L_{0(\text{Zn})} = 5,0 \text{ m}$ ;  $L_{0(\text{Fe})} = 12 \text{ m}$ ;  $\alpha_{\text{Zn}} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ;  
 $\alpha_{\text{Fe}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ;  $T_i = 300 \text{ K}$ ;  $T_f = 400 \text{ K}$

$$\Delta T = 400 \text{ K} - 300 \text{ K} = 100 \text{ K}$$

$$\Delta L_{\text{Zn}} = \alpha_{\text{Zn}} \cdot L_{0(\text{Zn})} \cdot \Delta T = 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5,0 \cdot 100 \Rightarrow \Delta L_{\text{Zn}} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta L_{\text{Fe}} = \alpha_{\text{Fe}} \cdot L_{0(\text{Fe})} \cdot \Delta T = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 100 \Rightarrow \Delta L_{\text{Fe}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$x = \Delta L_{\text{Zn}} - \Delta L_{\text{Fe}} = 15 \cdot 10^{-3} - 12 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{x = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \text{ ou } \boxed{x = 3 \text{ mm}}$$

b)  $\alpha_{\text{Zn}} \cdot L_{\text{Zn}} = \alpha_{\text{Fe}} \cdot L_{\text{Fe}} \Rightarrow 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot L_{\text{Zn}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot L_{\text{Fe}} \Rightarrow L_{\text{Fe}} = 3,0 L_{\text{Zn}}$

Da figura, temos:  $L_{\text{Fe}} = 12 \text{ m}$

Com esse dado, obtemos:

$$L_{\text{Zn}} = \frac{L_{\text{Fe}}}{3,0} \Rightarrow L_{\text{Zn}} = \frac{12}{3,0} \Rightarrow L_{\text{Zn}} = 4 \text{ m}$$

Portanto:

$$x = L_{\text{Fe}} - L_{\text{Zn}} \Rightarrow x = 12 - 4 \Rightarrow \boxed{x = 8 \text{ m}}$$

P.43 a) Para o metal I, obtemos no gráfico:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ e } \Delta\theta = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como  $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha_I \cdot \Delta\theta$ , temos:

$$300 \cdot 10^{-6} = \alpha_I \cdot 30 \Rightarrow \alpha_I = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Para o metal II, obtemos no gráfico:

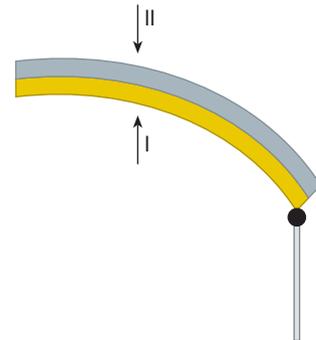
$$\frac{\Delta L}{L_0} = 600 \cdot 10^{-6} \text{ e } \Delta\theta = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Substituindo em  $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha_{II} \cdot \Delta\theta$ , vem:

$$600 \cdot 10^{-6} = \alpha_{II} \cdot 30 \Rightarrow \alpha_{II} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

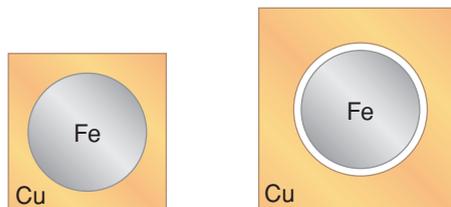
b) Como a lâmina está sendo aquecida, na parte superior deve ser utilizado o metal que se dilata mais, isto é, o metal II.

Esquemáticamente:



P.44 A área da coroa circular vazia corresponde à diferença entre a variação da área da cavidade no bloco de cobre ( $\Delta A_{Cu}$ ) e a variação da área do disco de ferro ( $\Delta A_{Fe}$ ):

$$\Delta A_{\text{coroa}} = \Delta A_{Cu} - \Delta A_{Fe} \quad \textcircled{1}$$



Para a cavidade no bloco de cobre,  $\Delta A_{Cu} = \beta_{Cu} \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$ , em que:

$$\beta_{Cu} = 2\alpha_{Cu} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; A_0 = 100 \text{ cm}^2; \Delta\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Então: } \Delta A_{Cu} = 32 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 100 \Rightarrow \Delta A_{Cu} = 0,32 \text{ cm}^2 \quad \textcircled{2}$$

Para o disco de ferro,  $\Delta A_{Fe} = \beta_{Fe} \cdot A_0 \cdot \Delta\theta$ , em que:

$$\beta_{Fe} = 2\alpha_{Fe} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{Assim: } \Delta A_{\text{Fe}} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 100 \Rightarrow \Delta A_{\text{Fe}} = 0,20 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1), obtemos:

$$\Delta A_{\text{coroa}} = 0,32 - 0,20 \Rightarrow \Delta A_{\text{coroa}} = 0,12 \text{ cm}^2$$

P.45

Um aumento de volume de 1% equivale a:  $\Delta V = 0,01 \cdot V_0$  (um centésimo do volume inicial).

$$\gamma = 3\alpha \Rightarrow \gamma = 3 \cdot 0,0000117 \Rightarrow \gamma = 0,0000351 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

$$0,01 \cdot V_0 = 0,0000351 \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \frac{0,01}{0,0000351}$$

$$\Delta\theta \approx 285 \text{ } ^\circ\text{C}$$

P.46

Dados:

$$\theta_0 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}; V_0 = 1,0 \text{ cm}^3; \theta = 60 \text{ } ^\circ\text{C}; V = 1,01 \text{ cm}^3 \text{ (100 gotas)}; d_0 = 0,90 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{a) } d_0 = \frac{m}{V_0} \Rightarrow m = d_0 V_0 = 0,90 \cdot 1,0 \Rightarrow m = 0,90 \text{ g (100 gotas)}$$

Para uma gota, temos:

$$m_{\text{gota}} = \frac{m}{100} = \frac{0,90}{100} \Rightarrow m_{\text{gota}} = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ g} \quad \text{ou} \quad m_{\text{gota}} = 9,0 \text{ mg}$$

$$\text{b) } \Delta V = V - V_0 \Rightarrow \Delta V = 1,01 - 1,0 \Rightarrow \Delta V = 0,01 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$$

$$0,01 = \gamma \cdot 1,0 \cdot (60 - 10)$$

$$\gamma = \frac{0,01}{1,0 \cdot 50}$$

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

P.47

Taça:

$$V_0 = 120 \text{ cm}^3; \Delta\theta = (39 - 21) \text{ }^\circ\text{C} = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 18 \text{ K}; \alpha_{Al} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\gamma_{Al} = 3 \alpha_{Al} = 6,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$V_T = V_0 (1 + \gamma_{Al} \cdot \Delta\theta) = 120 \cdot (1 + 6,9 \cdot 10^{-5} \cdot 18) \Rightarrow V_T = 120,149 \text{ cm}^3$$

Glicerina:

$$V_0 = 119 \text{ cm}^3; \Delta\theta = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 18 \text{ K}; \gamma_G = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

$$V_G = V_0 \cdot (1 + \gamma_G \cdot \Delta\theta) = 119 \cdot (1 + 5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 18) \Rightarrow V_G = 120,092 \text{ cm}^3$$

**Não há transbordamento.** O volume não ocupado por glicerina ao final será:

$$V = V_T - V_G = 120,149 - 120,092 \Rightarrow \boxed{V = 0,057 \text{ cm}^3}$$

P.48

Dados:  $V_0 = 10 \text{ l}$ ;  $\theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta V_{ap.} = 80 \text{ cm}^3$ ;  $\gamma = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

a)  $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot (30 - 20) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta V = 90 \cdot 10^{-3} \text{ l} \Rightarrow \Delta V = 90 \text{ cm}^3$$

Mas:  $\Delta V_{ap.} = \Delta V - \Delta V_F$ . Portanto:

$$\Delta V_F = \Delta V - \Delta V_{ap.} \Rightarrow \Delta V_F = 90 - 80 \Rightarrow \boxed{\Delta V_F = 10 \text{ cm}^3}$$

b) Para a dilatação do frasco (caixa cúbica metálica), temos:

$$\Delta V_F = \gamma_F \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10 \cdot 10^{-3} = \gamma_F \cdot 10 \cdot (30 - 20) \Rightarrow \gamma_F = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10} \Rightarrow \gamma_F = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Mas  $\gamma_F = 3\alpha_F$ . Logo:

$$\alpha_F = \frac{\gamma_F}{3} \Rightarrow \alpha_F = \frac{1,0 \cdot 10^{-4}}{3} \Rightarrow \boxed{\alpha_F \approx 0,33 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}$$

P.49

Para  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $C_0 = 91,000 \text{ cm}^3$  e  $V_0 = 90,000 \text{ cm}^3$

Para  $\theta$  desconhecido, temos:  $C = V$

Vidro:  $\alpha = 32 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Logo:  $\gamma_V = 3\alpha = 96 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Mercúrio:  $\gamma_{Hg} = 182 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Sendo  $C = C_0 \cdot (1 + \gamma_V \cdot \Delta\theta)$  e  $V = V_0 \cdot (1 + \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta)$ , obtemos:

$$C_0 \cdot (1 + \gamma_V \cdot \Delta\theta) = V_0 \cdot (1 + \gamma_{Hg} \cdot \Delta\theta)$$

$$91,000 \cdot (1 + 96 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta) = 90,000 \cdot (1 + 182 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta)$$

$$91,000 + 8.736 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta = 90,000 + 16.380 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta$$

$$1,000 = 7.644 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta$$

$$\boxed{\Delta\theta \approx 130,8 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**P.50** Dados:  $m = 50 \text{ g}$ ;  $Q = 300 \text{ cal}$ ;  $\theta_0 = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 20 - (-10) \Rightarrow \Delta\theta = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 300 = 50 \cdot c \cdot 30 \Rightarrow c = 0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{300}{30} \Rightarrow C = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

ou

$$C = mc \Rightarrow C = 50 \cdot 0,2 \Rightarrow C = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

**P.51** Dados:  $m = 1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$ ;  $c = 0,6 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\theta_0 = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $Q = 12.000 \text{ cal}$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 12.000 = 1.000 \cdot 0,6 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Logo:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow \theta = \Delta\theta + \theta_0 = 20 - 30 \Rightarrow \theta = -10 \text{ }^\circ\text{C}$$

**P.52** Fonte: 20 calorias por minuto

$$\Delta\theta = 30 \text{ }^\circ\text{C}; m = 50 \text{ g}; \Delta t = 15 \text{ min}$$

$$\left. \begin{array}{l} 20 \text{ cal} \text{ — } 1 \text{ min} \\ Q \text{ — } 15 \text{ min} \end{array} \right\} Q = 20 \cdot 15 \Rightarrow Q = 300 \text{ cal}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 300 = 50 \cdot c \cdot 30 \Rightarrow c = 0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{300}{30} \Rightarrow C = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

ou

$$C = mc \Rightarrow C = 50 \cdot 0,2 \Rightarrow C = 10 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

**P.53** Se a fonte fornece  $x$  calorias por minuto, o bloco metálico recebe a quantidade de calor  $Q_1 = 3x$  ①, e a água,  $Q_2 = 12x$  ②. Dividindo ① por ②, temos:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{3}{12} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{4}$$

Como  $Q_1 = m \cdot c_{\text{metal}} \cdot \Delta\theta$  e  $Q_2 = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta$ , temos:

$$\frac{m \cdot c_{\text{metal}} \cdot \Delta\theta}{m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{c_{\text{metal}}}{c_{\text{água}}} = \frac{1}{4}$$

Sendo o calor específico da água  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ , temos:

$$c_{\text{metal}} = \frac{1}{4} \Rightarrow c_{\text{metal}} = 0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

**P.54** Fonte:  $2 \text{ cal/s}$ ;  $m = 60 \text{ g}$ ;  $\Delta\theta = (50 - 20) ^\circ\text{C} = 30 ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t = 6 \text{ min} = 360 \text{ s}$

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ cal} \text{ — } 1 \text{ s} \\ Q \text{ — } 360 \text{ s} \end{array} \right\} Q = 2 \cdot 360 \Rightarrow Q = 720 \text{ cal}$$

Cálculo da capacidade térmica:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{720}{30} \Rightarrow C = 24 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Cálculo do calor específico:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{24}{60} \Rightarrow c = 0,4 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

**P.55** Dados:  $m_A = m_B = 20 \text{ g}$ ;  $m_C = 10 \text{ g}$

• Corpo A:  $Q = 40 \text{ cal}$ ;  $\Delta\theta = 20 ^\circ\text{C}$

$$C_A = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{40}{20} \Rightarrow C_A = 2 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$c_A = \frac{C_A}{m_A} = \frac{2}{20} \Rightarrow c_A = 0,1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

• Corpo B:  $Q = 40 \text{ cal}$ ;  $\Delta\theta = 10 ^\circ\text{C}$

$$C_B = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{40}{10} \Rightarrow C_B = 4 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$c_B = \frac{C_B}{m_B} = \frac{4}{20} \Rightarrow c_B = 0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

• Corpo C:  $Q = 60 \text{ cal}$ ;  $\Delta\theta = 10 ^\circ\text{C}$

$$C_C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{60}{10} \Rightarrow C_C = 6 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$c_C = \frac{C_C}{m_C} = \frac{6}{10} \Rightarrow c_C = 0,6 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

P.56

	$m$	$c$	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
Ferro	500 g	0,1 cal/g · °C	42 °C	$x$	$x - 42$
Água	500 g	1 cal/g · °C	20 °C	$x$	$x - 20$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 500 \cdot 0,1 \cdot (x - 42) \Rightarrow Q_1 = 50x - 2.100$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 500 \cdot 1 \cdot (x - 20) \Rightarrow Q_2 = 500x - 10.000$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow 50x - 2.100 + 500x - 10.000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 550x = 12.100 \Rightarrow x = 22 \text{ °C}$$

P.57

	$m$	$c$	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
Alumínio	100 g	0,22 cal/g · °C	$x$	32 °C	$32 - x$
Água	4.400 g	1,0 cal/g · °C	30 °C	32 °C	2 °C

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 100 \cdot 0,22 \cdot (32 - x) \Rightarrow Q_1 = 704 - 22x$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 4.400 \cdot 1,0 \cdot 2 \Rightarrow Q_2 = 8.800 \text{ cal}$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow 704 - 22x + 8.800 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 22x = 9.504 \Rightarrow x = 432 \text{ °C}$$

P.58

a)

	$m$	$c$	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
Calorímetro	$C = 5,0 \text{ cal/°C}$		10 °C	$x$	$x - 10$
Líquido	300 g	0,20 cal/g · °C	41 °C	$x$	$x - 41$

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 5,0 \cdot (x - 10) \Rightarrow Q_1 = 5,0x - 50$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 300 \cdot 0,20 \cdot (x - 41) \Rightarrow Q_2 = 60x - 2.460$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow 5,0x - 50 + 60x - 2.460 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 65x = 2.510 \Rightarrow x \approx 38,6 \text{ °C}$$

b)

	$m$	$c$	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
Calorímetro	$C = 5,0 \text{ cal/°C}$		38,6 °C	60 °C	21,4 °C
Líquido	300 g	0,20 cal/g · °C	38,6 °C	60 °C	21,4 °C
Metal	500 g	$x$	200 °C	60 °C	-140 °C

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta = 5,0 \cdot 21,4 \Rightarrow Q_1 = 107 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 300 \cdot 0,20 \cdot 21,4 \Rightarrow Q_2 = 1.284 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 500 \cdot x \cdot (-140) \Rightarrow Q_3 = -70.000x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow 107 + 1.284 - 70.000x = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 70.000x = 1.391 \Rightarrow x = \frac{1.391}{70.000} \Rightarrow x \approx 0,02 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

P.59

	<i>m</i>	<i>c</i>	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
<b>Metal</b>	50 g	<i>x</i>	98 °C	24,6 °C	-73,4 °C
<b>Calorímetro</b>	150 g	0,093 cal/g · °C	21,0 °C	24,6 °C	3,6 °C
<b>Água</b>	200 g	1,0 cal/g · °C	21,0 °C	24,6 °C	3,6 °C

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 50 \cdot x \cdot (-73,4) \Rightarrow Q_1 = -3.670x$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 150 \cdot 0,093 \cdot 3,6 \Rightarrow Q_2 = 50,22 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 200 \cdot 1,0 \cdot 3,6 \Rightarrow Q_3 = 720 \text{ cal}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow -3.670x + 50,22 + 720 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3.670x = 770,22 \Rightarrow x \approx 0,21 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

P.60

	<i>m</i>	<i>c</i>	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
<b>Calorímetro</b>	<i>C</i> = 40 cal/°C		90 °C	80 °C	-10 °C
<b>Água</b>	110 g	1 cal/g · °C	90 °C	80 °C	-10 °C
<b>Alumínio</b>	<i>x</i>	0,2 cal/g · °C	20 °C	80 °C	60 °C

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta = 40 \cdot (-10) \Rightarrow Q_1 = -400 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 110 \cdot 1 \cdot (-10) \Rightarrow Q_2 = -1.100 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = x \cdot 0,2 \cdot 60 \Rightarrow Q_3 = 12x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow -400 - 1.100 + 12x = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 12x = 1.500 \Rightarrow x = 125 \text{ g}$$

P.61

	<i>m</i>	<i>c</i>	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
<b>Cobre</b>	300 g	0,095 cal/g · °C	88 °C	28 °C	-60 °C
<b>Água</b>	548 g	1,0 cal/g · °C	25 °C	28 °C	3 °C
<b>Calorímetro</b>	<i>x</i>	0,22 cal/g · °C	25 °C	28 °C	3 °C

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 300 \cdot 0,095 \cdot (-60) \Rightarrow Q_1 = -1.710 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 548 \cdot 1,0 \cdot 3 \Rightarrow Q_2 = 1.644 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = x \cdot 0,22 \cdot 3 \Rightarrow Q_3 = 0,66x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow -1.710 + 1.644 + 0,66x = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,66x = 1.710 - 1.644 \Rightarrow 0,66x = 66 \Rightarrow x = 100 \text{ g}$$

P.62

a) Se massas iguais de água e ferro receberem quantidades de calor iguais, o ferro alcançará uma temperatura mais elevada porque tem menor calor específico.

Dada a fórmula  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ , temos:

$$Q = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A \text{ e } Q = m \cdot c_F \cdot \Delta\theta_F$$

$$\text{Então: } c_A \cdot \Delta\theta_A = c_F \cdot \Delta\theta_F$$

$$\text{Como } c_F < c_A, \text{ temos: } \boxed{\Delta\theta_F > \Delta\theta_A}$$

b) Se massas iguais de água e etanol sofrem a mesma variação de temperatura, a quantidade de calor recebida pela água deve ser **maior** que a recebida pelo etanol, visto que a água tem maior calor específico. Então:

$$Q_A = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta \text{ e } Q_E = m \cdot c_E \cdot \Delta\theta$$

Dividindo-se membro a membro, temos:

$$\frac{Q_A}{Q_E} = \frac{c_A}{c_E}$$

$$\text{Como } c_A > c_E, \text{ vem: } \boxed{Q_A > Q_E}$$

P.63

Para a mesma variação de temperatura ( $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ , por exemplo), a quantidade de calor recebida pelo corpo B é o dobro da recebida pelo corpo A (isto é,  $Q_B = 2Q_A$ ).

Usando a fórmula  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ , obtemos:

$$m_B \cdot c_B \cdot \Delta\theta = 2m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{c_A}{c_B} = \frac{m_B}{2m_A}$$

Como  $m_B = 30m_A$ , vem:

$$\frac{c_A}{c_B} = \frac{30m_A}{2m_A} \Rightarrow \boxed{\frac{c_A}{c_B} = 15}$$

P.64

a) Vidro:  $m_1 = 500 \text{ g}$ ;  $c_1 = 0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Água:  $m_2 = 500 \text{ g}$ ;  $c_2 = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

$$Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 500 \cdot 0,20 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 100 \cdot \Delta\theta$$

$$Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 500 \cdot 1,0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 500 \cdot \Delta\theta$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{500 \cdot \Delta\theta}{100 \cdot \Delta\theta} \Rightarrow \boxed{\frac{Q_2}{Q_1} = 5}$$

b)  $\Delta\theta = 1,0^\circ\text{C}$

$$Q_1 = 100 \cdot 1,0 \Rightarrow Q_1 = 100 \text{ cal}$$

$$Q_2 = 500 \cdot 1,0 \Rightarrow Q_2 = 500 \text{ cal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 100 + 500 \Rightarrow \boxed{Q = 600 \text{ cal}}$$

P.65 Sob pressão normal, a água ferve a 100 °C. Então, a variação de temperatura é:

$$\Delta\theta = 100\text{ °C} - 30\text{ °C} \Rightarrow \Delta\theta = 70\text{ °C}$$

Sendo a massa  $m = 200\text{ g}$  e o calor específico da água  $c = 1\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ , a quantidade de calor recebida pela água vale:

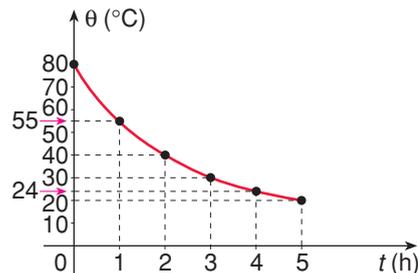
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 200 \cdot 1 \cdot 70 \Rightarrow Q = 14.000\text{ cal}$$

Como a fonte fornece 250 cal/s, vem:

$$\left. \begin{array}{l} 250\text{ cal} \text{ — } 1\text{ s} \\ 14.000\text{ cal} \text{ — } \Delta t \end{array} \right\} \Delta t = \frac{14.000}{250} \Rightarrow \Delta t = 56\text{ s}$$

P.66 a) Tabela:

$\theta\text{ (°C)}$	80	55	40	30	24	20
$t\text{ (h)}$	0	1	2	3	4	5



b) Dados:  $m = 3.600\text{ g}$ ;  $c = 1,0\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ;  $|\Delta\theta| = (80 - 20)\text{ °C} = 60\text{ °C}$

$$|Q| = m \cdot c \cdot |\Delta\theta| = 3.600 \cdot 1,0 \cdot 60 \Rightarrow |Q| = 216 \cdot 10^3\text{ cal}$$

$$\Delta t = 5\text{ h} = 5 \cdot 3.600\text{ s} = 18.000\text{ s} = 18 \cdot 10^3\text{ s}$$

O fluxo de perda de calor pela água é dado por:

$$\Phi = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{216 \cdot 10^3}{18 \cdot 10^3} \Rightarrow \Phi = 12\text{ cal/s}$$

A água transfere, em média, para o ambiente 12 calorias por segundo.

P.67 a) Dados:  $V = 10\text{ l}$ ;  $d = 1\text{ kg/l}$ ;  $c = 1\text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ;  $1\text{ cal} = 4,0\text{ J}$ ;  $\Delta\theta = 2\text{ °C}$

$$m = dV = 1 \cdot 10 \Rightarrow m = 10\text{ kg} = 10.000\text{ g}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 10.000 \cdot 1 \cdot 2 \Rightarrow Q = 20.000\text{ cal}$$

ou

$$Q = 20.000 \cdot 4,0\text{ J} \Rightarrow Q = 80.000\text{ J}$$

b) Dados:  $Pot = 60 \text{ W}$ ;  $\Delta t = 25 \text{ min} = 25 \cdot 60 \text{ s} = 1.500 \text{ s}$

Energia total fornecida pelo aquecedor:

$$E = Pot \cdot \Delta t = 60 \cdot 1.500 \Rightarrow E = 90.000 \text{ J}$$

Perda energética para o ambiente:

$$\Delta E = E - Q = 90.000 - 80.000 \Rightarrow \Delta E = 10.000 \text{ J}$$

Porcentualmente:

$$\left. \begin{array}{l} 90.000 \text{ ——— } 100\% \\ 10.000 \text{ ——— } x \end{array} \right\} x = \frac{10.000 \cdot 100}{90.000} \Rightarrow \boxed{x \approx 11\%}$$

Em calorias, a perda energética corresponde a:

$$\Delta E = \frac{10.000}{4,0} \text{ cal} \Rightarrow \Delta E = 2.500 \text{ cal}$$

P.68

a)  $\Delta\theta = 95 - 80 \Rightarrow \Delta\theta = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

Em  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , o volume da água é  $V = 0,4 \text{ l}$ . Como a densidade da água é  $d = 1.000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/l}$ , a massa de água é  $m = 0,4 \text{ kg}$ . Sendo o calor específico da água  $c = 4.200 \text{ J/kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ , a quantidade de calor recebida vale:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 0,4 \cdot 4.200 \cdot 15 \Rightarrow Q = 25.200 \text{ J}$$

A potência absorvida pela água será dada por:

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Pot = \frac{25.200}{1} \Rightarrow Pot = 25.200 \text{ W}$$

b) Acrescentando o aditivo, o calor específico da solução será  $c' = 5.250 \text{ J/kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ .

Como a potência absorvida (isto é, a quantidade de calor recebida por segundo) é a mesma, temos:

$$Q = m \cdot c' \cdot \Delta\theta' \Rightarrow 25.200 = 0,4 \cdot 5.250 \cdot \Delta\theta' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta' = \frac{25.200}{0,4 \cdot 5.250} \Rightarrow \Delta\theta' = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mas:

$$\Delta\theta' = \theta' - \theta_i \Rightarrow \theta' = \Delta\theta' + \theta_i \Rightarrow \theta' = 12 + 80 \Rightarrow \boxed{\theta' = 92 \text{ }^\circ\text{C}}$$

P.69

a) Cálculo da potência dissipada:

4 pessoas + 4 computadores = 8 dissipadores de calor (100 W cada)

$$Pot_d = 8 \cdot 100 \Rightarrow Pot_d = 800 \text{ W}$$

Cálculo da potência para esfriar o ar de  $|\Delta\theta| = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  em meia hora:

$$c = 1.000 \text{ J/kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}; d = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 75 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = 0,5 \text{ h} = 1.800 \text{ s}$$

$$m = dV = 1,2 \cdot 75 \Rightarrow m = 90 \text{ kg}$$

$$|Q| = m \cdot c \cdot |\Delta\theta| \Rightarrow |Q| = 90 \cdot 1.000 \cdot 5 \Rightarrow |Q| = 450.000 \text{ J}$$

$$Pot = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{450.000}{1.800} \Rightarrow Pot = 250 \text{ W}$$

A potência total absorvida pelo aparelho vale:

$$Pot_{\text{total}} = Pot_{\text{d}} + Pot \Rightarrow Pot_{\text{total}} = 800 + 250 \Rightarrow Pot_{\text{total}} = 1.050 \text{ W}$$

Como a eficiência é 50%, esse valor corresponde à metade da potência do aparelho. Logo:

$$Pot_{\text{aparelho}} = 2Pot_{\text{total}} \Rightarrow Pot_{\text{aparelho}} = 2 \cdot 1.050 \Rightarrow Pot_{\text{aparelho}} = 2.100 \text{ W}$$

- b) O calor dissipado pelas pessoas e seus computadores aquece o ar de 25 °C para 27 °C ( $\Delta\theta = 27 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 2 \text{ °C}$ ).

Essa quantidade de calor vale:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 90 \cdot 1.000 \cdot 2 \Rightarrow Q = 1,8 \cdot 10^5 \text{ J}$$

A potência dissipada pelas pessoas e seus computadores é  $Pot_{\text{d}} = 800 \text{ W}$ . Então:

$$Pot_{\text{d}} = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{Q}{Pot_{\text{d}}} \Rightarrow \Delta t = \frac{1,8 \cdot 10^5}{800} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = 225 \text{ s} = 3,75 \text{ min} \Rightarrow \Delta t = 3 \text{ min } 45 \text{ s}$$

P.70

a)

	$m$ (g)	$c$ (cal/g · °C)	$\theta_i$ (°C)	$\theta_f$ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)
Água	2,0	1,0	15	$\theta$	$\theta - 15$
Anel	4,0	0,03	100	$\theta$	$\theta - 100$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot (\theta - 15) + m_2 \cdot c_2 \cdot (\theta - 100) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2,0 \cdot 1,0 \cdot (\theta - 15) + 4,0 \cdot 0,03 \cdot (\theta - 100) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta - 15 - 6 + 0,06\theta = 0 \Rightarrow 1,06\theta = 21 \Rightarrow \theta \approx 20 \text{ °C}$$

b)

	$m$ (g)	$c$ (cal/g · °C)	$\theta_i$ (°C)	$\theta_f$ (°C)	$\Delta\theta$ (°C)
Água	2,0	1,0	15	22	7
Anel	4,0	$c$	100	22	-78

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta\theta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta\theta_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2,0 \cdot 1,0 \cdot 7 = 4,0 \cdot c \cdot 78 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 7 = 2 \cdot c \cdot 78 \Rightarrow 7 = 156c \Rightarrow c \approx 0,045 \text{ cal/g °C}$$

- c) Analisando o gráfico, verifica-se que o anel tem **75% de ouro**, o que corresponde, segundo a tabela, a **18 quilates**.

P.71 Dispondo os dados em uma tabela, temos:

	$m$	$c$ (cal/g · °C)	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Água	98 g	1,0	0 °C	$\theta$	$\theta$
1º cubo	8,0 g	0,25	400 °C	$\theta$	$\theta - 400$
2º cubo	10 g	0,20	100 °C	50 °C	-50 °C

$$Q_A + Q_1 + Q_2 = 0$$

$$m_A \cdot c_A \cdot \theta + m_1 \cdot c_1 \cdot (\theta - 400) + m_2 \cdot c_2 \cdot (-50) = 0$$

$$98 \cdot 1,0 \cdot \theta + 8,0 \cdot 0,25 \cdot (\theta - 400) + 10 \cdot 0,20 \cdot (-50) = 0$$

$$98\theta + 2\theta - 800 - 100 = 0$$

$$100\theta = 900$$

$$\theta = 9 \text{ °C}$$

P.72 a) O procedimento da mãe baseia-se no **princípio da conservação da energia**:

“A energia térmica perdida pela água fervente é igual em módulo à energia térmica recebida pela água à temperatura ambiente”.

b) Dados:  $V_1 = 10 \text{ l}$ ;  $\theta_1 = 32 \text{ °C}$ ;  $V_2 = ?$ ;  $\theta_2 = 100 \text{ °C}$ ;  $\theta = 38 \text{ °C}$

Seja  $d$  a densidade da água e  $c$  o seu calor específico.

Quantidade de calor recebida pela água na banheira:

$$Q_1 = d \cdot V_1 \cdot c \cdot (\theta - \theta_1) \Rightarrow Q_1 = d \cdot 10 \cdot c \cdot (38 - 32) \Rightarrow Q_1 = 60dc$$

Quantidade de calor cedida pela água fervente:

$$Q_2 = d \cdot V_2 \cdot c \cdot (\theta - \theta_2) \Rightarrow Q_2 = d \cdot V_2 \cdot c \cdot (38 - 100) \Rightarrow Q_2 = -62dcV_2$$

De acordo com o princípio geral das trocas de calor:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

$$Q_1 = -Q_2$$

$$60dc = 62dcV_2$$

$$V_2 = \frac{60}{62}$$

$$V_2 \approx 0,97 \text{ l}$$

P.73 1ª experiência

Objeto:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta_1 \Rightarrow Q_1 = m \cdot c \cdot (31 - \theta)$$

Água:

$$Q_2 = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta_2 \Rightarrow Q_2 = 100 \cdot c_A \cdot (31 - 20) \Rightarrow Q_2 = 1.100c_A$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q_2 = -Q_1 \Rightarrow 1.100c_A = mc \cdot (\theta - 31) \quad \textcircled{1}$$

2ª experiência

Objetos:  $Q_1 = 2m \cdot c \cdot \Delta\theta_1 \Rightarrow Q_1 = 2mc \cdot (40 - \theta)$

Água:  $Q_2 = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta_2 \Rightarrow Q_2 = 100 \cdot c_A \cdot (40 - 20) \Rightarrow Q_2 = 2.000c_A$

$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q_2 = -Q_1 \Rightarrow 2.000c_A = 2mc \cdot (\theta - 40) \Rightarrow 1.000c_A = mc \cdot (\theta - 40)$  ②

Dividindo ① por ②, temos:

$$\frac{1.100c_A}{1.000c_A} = \frac{mc \cdot (\theta - 31)}{mc \cdot (\theta - 40)} \Rightarrow \frac{11}{10} = \frac{\theta - 31}{\theta - 40} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 11\theta - 440 = 10\theta - 310 \Rightarrow \theta = 130 \text{ }^\circ\text{C}$$

P.74

a)

	m	c	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
A	m	$c_A$	60 °C	30 °C	-30 °C
C	3m	$c_C$	20 °C	30 °C	10 °C

$Q_A = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A \Rightarrow Q_A = m \cdot c_A \cdot (-30)$

$Q_C = 3m \cdot c_C \cdot \Delta\theta_C \Rightarrow Q_C = 3m \cdot c_C \cdot 10$

$Q_A + Q_C = 0 \Rightarrow Q_C = -Q_A \Rightarrow 3m \cdot c_C \cdot 10 = m \cdot c_A \cdot 30 \Rightarrow c_C = c_A$

	m	c	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
B	2m	$c_B$	40 °C	25 °C	-15 °C
C	3m	$c_C$	20 °C	25 °C	5 °C

$Q_B = 2m \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow Q_B = 2mc_B \cdot (-15)$

$Q_C = 3m \cdot c_C \cdot \Delta\theta_C \Rightarrow Q_C = 3mc_C \cdot 5$

$Q_B + Q_C = 0 \Rightarrow Q_C = -Q_B \Rightarrow 3mc_C \cdot 5 = 2mc_B \cdot 15 \Rightarrow c_B = \frac{c_C}{2}$

	m	c	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
A	m	$c_A$	60 °C	x	x - 60
B	2m	$c_B$	40 °C	x	x - 40

$Q_A = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A \Rightarrow Q_A = mc_A \cdot (x - 60)$

$Q_B = 2m \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B$

Nessa última equação,  $c_B = \frac{c_C}{2}$ . Mas:  $c_C = c_A$ ; logo:

$Q_B = 2m \cdot \frac{c_A}{2} \cdot (x - 40) \Rightarrow Q_B = mc_A \cdot (x - 40)$

$Q_A + Q_B = 0 \Rightarrow Q_A = -Q_B \Rightarrow$

$\Rightarrow mc_A \cdot (x - 60) = mc_A \cdot (40 - x) \Rightarrow x - 60 = 40 - x \Rightarrow x = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

b)  $c_C = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow c_B = \frac{c_C}{2} = \frac{0,5}{2} \Rightarrow c_B = 0,25 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

P.75

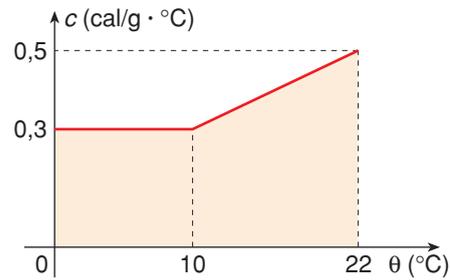
A área do gráfico equivale numericamente à relação  $\frac{Q}{m}$ . Então:

$$\frac{Q}{m} = 0,3 \cdot 10 + \left( \frac{0,5 + 0,3}{2} \right) \cdot 12 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{m} = 3 + 4,8 \Rightarrow \frac{Q}{m} = 7,8$$

Como  $m = 60 \text{ g}$ , temos:

$$\frac{Q}{60} = 7,8 \Rightarrow \boxed{Q = 468 \text{ cal}}$$



P.76

a) No gráfico, a área equivale numericamente à relação  $\frac{Q}{m}$ . Assim:

$$A_1 \cong \frac{0,27 + 0,22}{2} \cdot 20 = 4,9 \text{ (área do trapézio)}$$

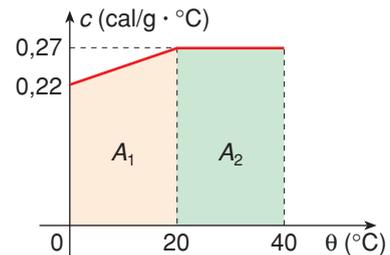
e

$$A_2 \cong 0,27 \cdot 20 = 5,4 \text{ (área do retângulo)}$$

$$A_1 + A_2 \cong \frac{Q}{m}$$

$$\frac{Q}{m} = 4,9 + 5,4 \Rightarrow \frac{Q}{m} = 10,3 \text{ cal/g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{150 \text{ g}} = 10,3 \text{ cal/g} \Rightarrow \boxed{Q = 1.545 \text{ cal}}$$



b) O calor específico médio da substância, no intervalo de 0 °C a 40 °C, é dado por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 1.545 = 150 \cdot c \cdot 40 \Rightarrow \boxed{c \cong 0,26 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}}$$

P.77

a) A energia potencial gravitacional ( $E_p = mgh$ ) se converte integralmente em calor ( $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ ). O calor específico da água vale:

$$c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C} = 1 \cdot 4,18 \text{ J}/10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot \text{°C} = 4.180 \text{ J/kg} \cdot \text{°C}$$

Igualando as quantidades de energia, temos:

$$Q = E_p \Rightarrow m \cdot c \cdot \Delta\theta = mgh \Rightarrow h = \frac{c \cdot \Delta\theta}{g}$$

Para  $\Delta\theta = 1 \text{ °C}$ :

$$h = \frac{4.180 \cdot 1}{10} \Rightarrow \boxed{h = 418 \text{ m}}$$

b) Como se percebe pela resolução do item a, a altura da queda não depende da massa  $m$  de água que cai. Então, para  $m = 100 \text{ g}$ , a altura de queda é a mesma, ou seja,  $h = 418 \text{ m}$ .

**P.78** O trabalho da força  $F = 15 \text{ N}$  no percurso  $d = 10 \text{ m}$ , vale:

$$\bar{C} = F \cdot d \Rightarrow \bar{C} = 15 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{\bar{C} = 150 \text{ J}}$$

Aplicando o teorema da energia cinética, temos:

$$\bar{C} = E_{c(f)} - E_{c(i)} \Rightarrow E_{c(f)} = \bar{C} + E_{c(i)}$$

A energia cinética final se converte em calor (50%) e, deste calor, 75% são absorvidos pela bola. Então:

$$Q = 0,50 \cdot 0,75 \cdot E_{c(f)} \Rightarrow Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot E_{c(f)} \Rightarrow Q = \frac{3}{8} E_{c(f)} \quad \textcircled{1}$$

A energia cinética final vale:

$$E_{c(f)} = \bar{C} + E_{c(i)} = \bar{C} + \frac{mv_i^2}{2} \Rightarrow E_{c(f)} = 150 + \frac{m \cdot (20)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{c(f)} = 150 + \frac{m \cdot 400}{2} \Rightarrow E_{c(f)} = 150 + 200m$$

A quantidade de calor recebida pela bola é dada por:  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$

Temos:  $c = 0,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C} = 200 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Então:

$$Q = m \cdot 200 \cdot 6 \Rightarrow Q = 1.200m$$

Substituindo  $Q$  por  $1.200m$  em  $\textcircled{1}$ , temos:

$$1.200m = \frac{3}{8} \cdot (150 + 200m) \Rightarrow 9.600m = 450 + 600m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9.600m - 600m = 450 \Rightarrow 9.000m = 450 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{450}{9.000} \Rightarrow m = 0,05 \text{ kg} \Rightarrow \boxed{m = 50 \text{ g}}$$

**P.79** Energia potencial gravitacional do bloco:

$$E_p = Mgh \Rightarrow E_p = 10 \cdot 10 \cdot 4,2 \Rightarrow E_p = 420 \text{ J}$$

Calor recebido pela água ( $c = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} = 4.200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ ):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 1 \cdot 4.200 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 4.200 \cdot \Delta\theta$$

Sendo  $Q = E_p$ , temos:

$$4.200 \cdot \Delta\theta = 420 \Rightarrow \boxed{\Delta\theta = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**P.80** Líquido:  $m = 1 \text{ kg}$ ;  $c = 3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = 3 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 1 \cdot 3 \cdot 3 \Rightarrow Q = 9 \text{ J}$$

Essa quantidade de calor é igual à energia cinética inicial do projétil ( $m_p = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ ):

$$E_c = Q = 9 \text{ J}$$

Mas:  $E_c = \frac{m_p v^2}{2}$ . Logo:

$$9 = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 9 \cdot 10^2 \Rightarrow \boxed{v = 30 \text{ m/s}}$$

P.81

a) Dados:  $m = 2,0 \text{ kg}$ ;  $v = 20 \text{ m/s}$ ;  $h = 2,0 \text{ m}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;  $\Delta\theta = 1 \text{ }^\circ\text{C}$

Energia cinética inicial do corpo (em A):

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = \frac{2,0 \cdot 400}{2} \Rightarrow E_c = 400 \text{ J}$$

Energia potencial do corpo ao atingir B, em relação ao plano horizontal:

$$E_p = mgh = 2,0 \cdot 10 \cdot 2,0 \Rightarrow E_p = 40 \text{ J}$$

A diferença entre a energia cinética do corpo em A e a energia potencial em B equivale à quantidade de calor dissipada:

$$Q_d = E_c - E_p = 400 - 40 \Rightarrow Q_d = 360 \text{ J}$$

Aplicando a fórmula  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ , vem:

$$360 = 2,0 \cdot c \cdot 1 \Rightarrow \boxed{c = 180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

b) Se não houvesse dissipação, o corpo alcançaria uma altura máxima superior a 2,0 m, pois a energia potencial no ponto mais alto da trajetória seria igual à energia cinética do corpo em A. Chamando essa altura máxima de  $H$ , teremos:

$$E'_p = E_c \Rightarrow mgH = E_c \Rightarrow 2,0 \cdot 10H = 400 \Rightarrow \boxed{H = 20 \text{ m}}$$

P.82

a) Dados:  $m = 5.000 \text{ g}$ ;  $c = 0,031 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = (30 - 20) ^\circ\text{C} = 10 ^\circ\text{C}$

Calor recebido pelo chumbo em 50 golpes:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 5.000 \cdot 0,031 \cdot 10 \Rightarrow Q = 1.550 \text{ cal}$$

Essa energia corresponde a 80% (ou 0,8) da energia total dissipada:

$$Q = 0,8 \cdot E_T \Rightarrow 1.550 = 0,8 \cdot E_T \Rightarrow E_T = 1.937,5 \text{ cal}$$

Em cada golpe, a energia dissipada vale:

$$E = \frac{E_T}{50} = \frac{1.937,5}{50} \Rightarrow E = 38,75 \text{ cal}$$

Como  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ , temos:

$$E = 38,75 \cdot 4,18 \Rightarrow E \simeq 162 \text{ J}$$

Para dissipar essa energia, o martelo ( $M = 2 \text{ kg}$ ) deve cair de uma altura  $H$  equivalente. Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , vem:

$$E = MgH \Rightarrow 162 \simeq 2 \cdot 10 \cdot H \Rightarrow \boxed{H \simeq 8,1 \text{ m}}$$

b) Pela equação de Torricelli:

$$v = \sqrt{2gH} \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 8,1} \Rightarrow v = \sqrt{162} \Rightarrow \boxed{v \simeq 12,7 \text{ m/s}}$$

**P.83** Dados:  $m = 100 \text{ g}$  (gelo a  $\theta_0 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_{\text{fusão}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ ;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

**1ª etapa**

Aquecimento do gelo de  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  até  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 100 \cdot 0,5 \cdot 20 \Rightarrow Q_1 = 1.000 \text{ cal} = 1 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

**2ª etapa**

Fusão do gelo (a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 100 \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 8.000 \text{ cal} \Rightarrow Q_2 = 8 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

**3ª etapa**

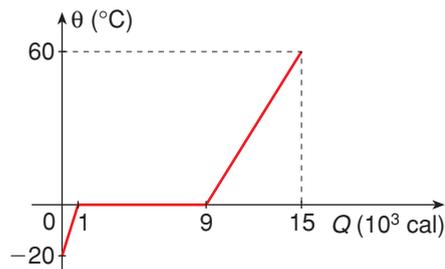
Aquecimento da água de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  até  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$Q_3 = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 100 \cdot 1 \cdot 60 \Rightarrow Q_3 = 6.000 \text{ cal} \Rightarrow Q_3 = 6 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

A quantidade de calor total recebida vale:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.000 + 8.000 + 6.000 \Rightarrow Q = 15.000 \text{ cal} = 15 \cdot 10^3 \text{ cal}$$

Lançando os valores no diagrama  $\theta \times Q$ , obtemos:



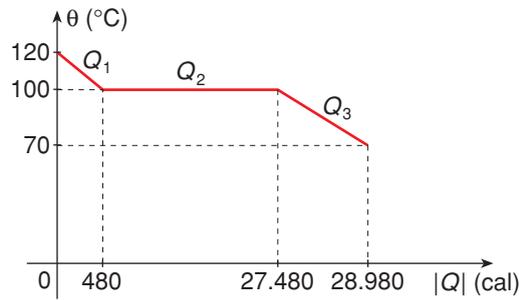
**P.84**  $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 50 \cdot 0,48 \cdot (-20) \Rightarrow Q_1 = -480 \text{ cal}$

$$Q_2 = mL_c \Rightarrow Q_2 = 50 \cdot (-540) \Rightarrow Q_2 = -27.000 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 50 \cdot 1,0 \cdot (-30) \Rightarrow Q_3 = -1.500 \text{ cal}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_T = -480 - 27.000 - 1.500 \Rightarrow Q_T = -28.980 \text{ cal}$$



P.85

a) Durante a vaporização:

$$Q = (32 - 3) \cdot 10^2 \Rightarrow Q = 29 \cdot 10^2 \text{ cal}$$

Como  $Q = mL$ , vem:  $2.900 = 50 \cdot L \Rightarrow L = 58 \text{ cal/g}$

b) Antes da mudança de fase:

$$Q_1 = (3 - 0) \cdot 10^2 \Rightarrow Q_1 = 3 \cdot 10^2 \text{ cal}$$

$$\Delta\theta_1 = 30 \text{ °C} - 10 \text{ °C} = 20 \text{ °C}$$

$$C_1 = \frac{Q_1}{\Delta\theta_1} \Rightarrow C_1 = \frac{300}{20} \Rightarrow C_1 = 15 \text{ cal/°C}$$

Após a mudança de fase:

$$Q_2 = (33 - 32) \cdot 10^2 \Rightarrow Q_2 = 10^2 \text{ cal}$$

$$\Delta\theta_2 = 60 \text{ °C} - 30 \text{ °C} \Rightarrow \Delta\theta_2 = 30 \text{ °C}$$

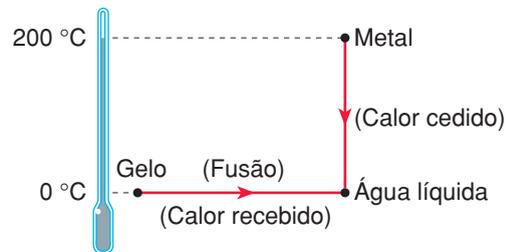
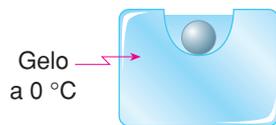
$$C_2 = \frac{Q_2}{\Delta\theta_2} \Rightarrow C_2 = \frac{100}{30} \Rightarrow C_2 \approx 3,3 \text{ cal/°C}$$

c) Os calores específicos valem:

$$c_1 = \frac{C_1}{m} = \frac{15}{50} \Rightarrow c_1 = 0,3 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

$$c_2 = \frac{C_2}{m} \approx \frac{3,3}{50} \Rightarrow c_2 \approx 0,07 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

P.86



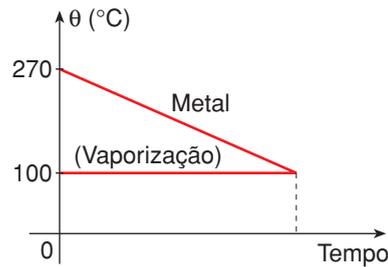
	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
(1) Metal	80 g	0,03 cal/g · °C	200 °C	0 °C	-200 °C
(2) Fusão do gelo	$x = ?$	$L_f = 80 \text{ cal/g}$			

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 80 \cdot 0,03 \cdot (-200) \Rightarrow Q_1 = -480 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = x \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 80x$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow -480 + 80x = 0 \Rightarrow 80x = 480 \Rightarrow x = 6 \text{ g}$$

P.87



	$m$	$c \text{ (cal/g} \cdot \text{°C)}$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
<b>Metal</b>	500 g	0,40	270 °C	100 °C	-170 °C
<b>Vaporização</b>	$x$	$L_V = 540 \text{ cal/g}$			

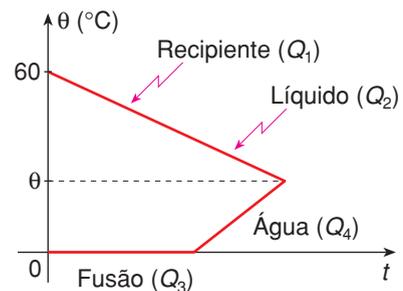
$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 500 \cdot 0,40 \cdot (-170) \Rightarrow Q_1 = -34.000 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_V \Rightarrow Q_2 = x \cdot 540 \Rightarrow Q_2 = 540x$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow -34.000 + 540x = 0 \Rightarrow 540x = 34.000 \Rightarrow x \approx 63 \text{ g}$$

P.88

Vamos supor que a temperatura de equilíbrio seja  $\theta > 0 \text{ °C}$ , isto é, o gelo se derrete completamente e a água proveniente do gelo seja aquecida até  $\theta$ .



	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
(1) <b>Recipiente</b>	$C = 30 \text{ cal/°C}$		60 °C	$\theta$	$\theta - 60$
(2) <b>Líquido</b>	20 g	0,5 cal/g · °C	60 °C	$\theta$	$\theta - 60$
(3) <b>Fusão do gelo</b>	10 g	$L_F = 80 \text{ cal/g}$			
(4) <b>Água</b>	10 g	1 cal/g · °C	0 °C	$\theta$	$\theta$

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 30 \cdot (\theta - 60) \Rightarrow Q_1 = 30 \cdot \theta - 1.800$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 20 \cdot 0,5 \cdot (\theta - 60) \Rightarrow Q_2 = 10\theta - 600$$

$$Q_3 = mL_F \Rightarrow Q_3 = 10 \cdot 80 \Rightarrow Q_3 = 800 \text{ cal}$$

$$Q_4 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_4 = 10 \cdot 1 \cdot \theta \Rightarrow Q_4 = 10\theta$$

Sendo assim, temos:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 30 \cdot \theta - 1.800 + 10 \cdot \theta - 600 + 800 + 10 \cdot \theta = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 50 \cdot \theta = 1.600 \Rightarrow \boxed{\theta = 32 \text{ }^\circ\text{C}}$$

P.89

Para que reste apenas água a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  no equilíbrio térmico, a quantidade de calor que a água cede, ao se resfriar de  $\theta$  até  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , deve ser igual, em módulo, à quantidade de calor que o gelo deve receber para sua fusão completa.

	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Água	10 g	1,0 cal/g · °C	$\theta$	$0 \text{ }^\circ\text{C}$	$-\theta$
Fusão	10 g	$L_F = 80 \text{ cal/g}$			

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 10 \cdot 1,0 \cdot (0 - \theta) \Rightarrow Q_1 = -10 \cdot \theta$$

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 10 \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 800 \text{ cal}$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow -10 \cdot \theta + 800 = 0 \Rightarrow 10 \cdot \theta = 800 \Rightarrow \boxed{\theta = 80 \text{ }^\circ\text{C}}$$

P.90

a) Gelo a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $m = 200 \text{ g}$ ;  $L_F = 80 \text{ cal/g}$

Água a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $m = 200 \text{ g}$ ;  $c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_i = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Quantidade de calor máxima (em módulo) que a água pode perder ( $|\Delta\theta| = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$|Q_1| = m \cdot c \cdot |\Delta\theta| \Rightarrow |Q_1| = 200 \cdot 1,0 \cdot 40 \Rightarrow |Q_1| = 8.000 \text{ cal}$$

Quantidade de calor que o gelo deve receber para sofrer fusão total:

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 200 \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 16.000 \text{ cal}$$

Como  $|Q_1| < Q_2$ , concluímos que a água não fornece quantidade de calor suficiente

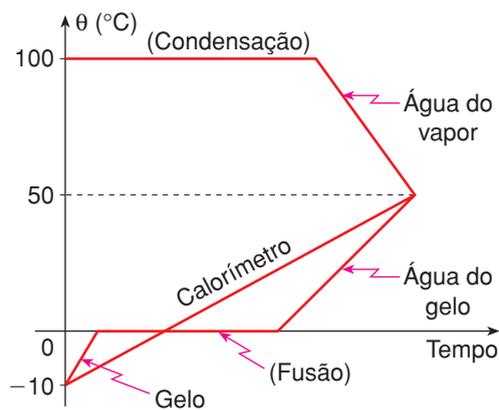
para derreter todo o gelo. Logo, a temperatura de equilíbrio é  $\boxed{\theta = 0 \text{ }^\circ\text{C}}$ .

b) Como a água fornece apenas **metade** da quantidade de calor total para derreter todo o gelo, apenas metade do gelo existente derrete:

$$m' = \frac{m}{2} \Rightarrow \boxed{m' = 100 \text{ g}}$$

P.91

	$m$	$c$ (cal/g · °C)	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Gelo	500 g	0,50	-10 °C	0 °C	10 °C
Fusão	500 g	$L_F = 80$ cal/g			
Água do gelo	500 g	1,0	0 °C	50 °C	50 °C
Calorímetro	$C = 9,8$ cal/°C		-10 °C	50 °C	60 °C
Condensação	$x$	$L_C = -540$ cal/g			
Água do vapor	$x$	1,0	100 °C	50 °C	-50 °C



$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 500 \cdot 0,50 \cdot 10 \Rightarrow Q_1 = 2.500 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 500 \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 40.000 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 500 \cdot 1,0 \cdot 50 \Rightarrow Q_3 = 25.000 \text{ cal}$$

$$Q_4 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_4 = 9,8 \cdot 60 \Rightarrow Q_4 = 588 \text{ cal}$$

$$Q_5 = mL_C \Rightarrow Q_5 = x \cdot (-540) \Rightarrow Q_5 = -540x$$

$$Q_6 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_6 = x \cdot 1,0 \cdot (-50) \Rightarrow Q_6 = -50x$$

Sendo assim, temos:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 0$$

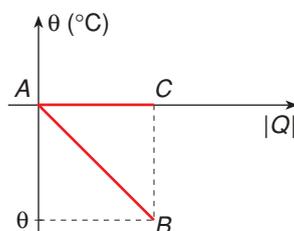
$$2.500 + 40.000 + 25.000 + 588 - 540x - 50x = 0$$

$$68.088 = 590x$$

$$x = \frac{68.088}{590}$$

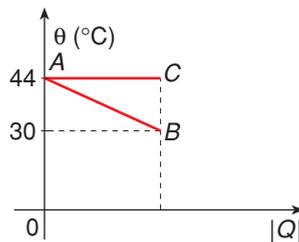
$$x \approx 115,4 \text{ g}$$

P.92 Gráficamente:



- Sobrefusão (trecho AB):  $m = 100 \text{ g}$ ;  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = \theta - 0 = \theta$   
 $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 100 \cdot 1 \cdot \theta \Rightarrow Q_1 = 100 \cdot \theta$
  - Solidificação (trecho AC):  $m' = 2 \text{ g}$ ;  $L_S = -80 \text{ cal/g}$   
 $Q_2 = m' L_S \Rightarrow Q_2 = 2 \cdot (-80) \Rightarrow Q_2 = -160 \text{ cal}$
- $$Q_1 = Q_2 \Rightarrow 100 \cdot \theta = -160 \Rightarrow \theta = -1,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

P.93 Graficamente:



- Sobrefusão (trecho AB): massa  $m$ ;  $c = 0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$   
 $\Delta\theta = 30 - 44 \Rightarrow \Delta\theta = -14 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = m \cdot 0,2 \cdot (-14) \Rightarrow Q_1 = -2,8m$
  - Solidificação (trecho AC): massa  $m'$ ;  $L_S = -L_F = -5 \text{ cal/g}$   
 $Q_2 = m' L_S \Rightarrow Q_2 = m' \cdot (-5) \Rightarrow Q_2 = -5m'$
- $$Q_1 = Q_2 \Rightarrow -2,8m = -5m' \Rightarrow \frac{m'}{m} = \frac{2,8}{5} \Rightarrow \frac{m'}{m} = 0,56 = 56\%$$

P.94

- a) A análise do gráfico mostra que o aquecedor foi desligado no instante  $t = 15 \text{ min}$ , correspondente ao ponto  $D$ , quando a temperatura começa a diminuir. O trecho  $AB$  corresponde ao aquecimento da substância no estado sólido. Portanto, a substância está totalmente sólida no intervalo de **0 a 5 minutos**.
- b) O trecho  $BC$  corresponde à  **fusão**  da substância (sólida) que ocorre à temperatura de  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ , com ganho de calor (recebido do aquecedor).  
 O trecho  $EF$  corresponde à  **solidificação**  da substância (líquida) que também ocorre à temperatura de  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$  com perda de calor para o ambiente.

P.95

- a)  $m = 0,2 \text{ kg} = 200 \text{ g}$ ;  $c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = 100 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$   
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 200 \cdot 1,0 \cdot 80 \Rightarrow Q = 16.000 \text{ cal} \Rightarrow Q = 1,6 \cdot 10^4 \text{ cal}$
- b) Calor recebido pela água em 2,7 min (3,7 min - 1 min)

$$\left. \begin{array}{l} 16.000 \text{ cal} \text{ --- } 1 \text{ min} \\ Q' \text{ --- } 2,7 \text{ min} \end{array} \right\} Q' = 16.000 \cdot 2,7 \Rightarrow Q' = 43.200 \text{ cal}$$

Ocorrendo a vaporização ( $L_V = 540 \text{ cal/g}$ ), temos:

$$Q' = m' L_V \Rightarrow 43.200 = m' \cdot 540 \Rightarrow m' = 80 \text{ g}$$

A massa que resta na panela sem vaporização é:

$$m'' = m - m' = 200 - 80 \Rightarrow m'' = 120 \text{ g}$$

P.96

a) Água:  $m_{\text{água}} = 500 \text{ g}$ ;  $c_{\text{água}} = 1,00 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Álcool:  $m_{\text{álcool}} = 500 \text{ g}$ ;  $c_{\text{álcool}} = 0,58 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Temperatura inicial:  $\theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Tempo de aquecimento:  $\Delta t = 2,0 \text{ min}$

Potência da fonte:  $Pot = 4.000 \text{ cal/min}$

Quantidade de calor recebida:

$$Q = Pot \cdot \Delta t = 4.000 \cdot 2,0 \Rightarrow Q = 8.000 \text{ cal}$$

• Aquecimento da água:

$$Q = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{água}} \Rightarrow 8.000 = 500 \cdot 1,00 \cdot \Delta\theta_{\text{água}} \Rightarrow \Delta\theta_{\text{água}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{\text{água}} = \theta_{\text{água}} - \theta_0 \Rightarrow 16 = \theta_{\text{água}} - 20 \Rightarrow \theta_{\text{água}} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$$

• Aquecimento do álcool:

$$Q = m_{\text{álcool}} \cdot c_{\text{álcool}} \cdot \Delta\theta_{\text{álcool}} \Rightarrow 8.000 = 500 \cdot 0,58 \cdot \Delta\theta_{\text{álcool}} \Rightarrow \Delta\theta_{\text{álcool}} \approx 27,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{\text{álcool}} = \theta_{\text{álcool}} - \theta_0 \Rightarrow 27,6 = \theta_{\text{álcool}} - 20 \Rightarrow \theta_{\text{álcool}} \approx 47,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

O álcool se aqueceria mais, porque tem menor calor específico.

b)  $\theta_V = 78 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L_V = 204 \text{ cal/g}$ ;  $m = 500 \text{ g}$ ;  $c_{\text{álcool}} = 0,58 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

• Aquecimento de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $78 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\Delta\theta = 78 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$$

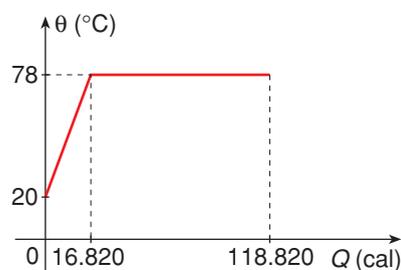
$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 500 \cdot 0,58 \cdot 58 \Rightarrow Q_1 = 16.820 \text{ cal}$$

• Vaporização total do álcool:

$$Q_2 = m L_V \Rightarrow Q_2 = 500 \cdot 204 \Rightarrow Q_2 = 102.000 \text{ cal}$$

$$\text{Totalizando: } Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 16.820 + 102.000 \Rightarrow Q = 118.820 \text{ cal}$$

Graficamente:



P.97

a) Água:  $m_1 = 2.400 \text{ g}$       Gelo:  $m_2 = x$ ;  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ ;  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

- Fusão do gelo (sendo  $Pot$  a potência da fonte e  $\Delta t = 60 \text{ min}$ ):

$$Q = m_2 \cdot L_F \Rightarrow Pot \cdot \Delta t = x \cdot L_F \Rightarrow Pot \cdot 60 = x \cdot 80 \Rightarrow 3Pot = 4x \quad \textcircled{1}$$

- Aquecimento da água ( $m = m_1 + m_2$ ) de  $0^\circ\text{C}$  a  $5^\circ\text{C}$  (com  $\Delta t' = 20 \text{ min}$ ):

$$Q' = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q' = (2.400 + x) \cdot 1,0 \cdot (5 - 0) \Rightarrow Pot \cdot \Delta t' = (2.400 + x) \cdot 5 \Rightarrow \\ \Rightarrow Pot \cdot 20 = 12.000 + 5x \Rightarrow 4 Pot = 2.400 + x \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ :

$$\frac{3Pot}{4Pot} = \frac{4x}{2.400 + x} \Rightarrow 16x = 7.200 + 3x \Rightarrow 13x = 7.200 \Rightarrow x \approx 553,8 \text{ g}$$

b) Substituindo  $x$  em  $\textcircled{1}$ , obtemos:

$$3 Pot = 4 \cdot 553,8 \Rightarrow Pot = 738,4 \text{ cal/min}$$

P.98

a) Gálio:  $\theta_F = 30^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{gálio}} = 410 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $L_F = 80.000 \text{ J/kg}$ ;

$$m = 25 \text{ g} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ kg}; \theta_0 = 10^\circ\text{C}:$$

- Aquecimento do gálio sólido de  $10^\circ\text{C}$  até  $30^\circ\text{C}$ :

$$\Delta\theta = 30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$$

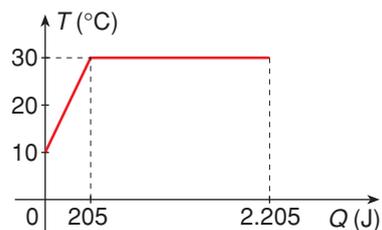
$$Q_1 = m \cdot c_{\text{gálio}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 410 \cdot 20 \Rightarrow Q_1 = 205 \text{ J}$$

- Fusão do gálio a  $30^\circ\text{C}$ :

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 80.000 \Rightarrow Q_2 = 2.000 \text{ J}$$

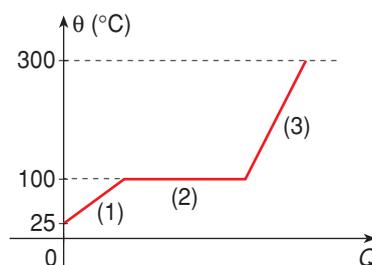
$$\text{Totalizando: } Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 205 + 2.000 \Rightarrow Q = 2.205 \text{ J}$$

b)



P.99

a) A água deve ser aquecida de  $25^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  e vaporizada (a  $100^\circ\text{C}$ ). Em seguida, o vapor resultante deve ser aquecido de  $100^\circ\text{C}$  a  $300^\circ\text{C}$ , conforme a seguinte curva de aquecimento:



(1) Aquecimento da água líquida

(2) Vaporização

(3) Aquecimento do vapor

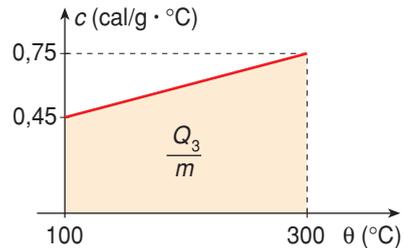
(1)  $m = 1,0 \cdot 10^5 \text{ g}$ ;  $c = 1,0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = 100 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 1,0 \cdot 10^5 \cdot 1,0 \cdot 75 \Rightarrow Q_1 = 75 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

(2)  $L_v = 540 \text{ cal/g}$

$$Q_2 = mL_v \Rightarrow Q_2 = 1,0 \cdot 10^5 \cdot 540 \Rightarrow Q_2 = 540 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

(3) No gráfico dado, a quantidade de calor pode ser calculada por meio da área:



$$\frac{Q_3}{m} = \frac{0,75 + 0,45}{2} \cdot (300 - 100)$$

$$\frac{Q_3}{m} = 0,60 \cdot 200$$

$$Q_3 = 1,0 \cdot 10^5 \cdot 120$$

$$Q_3 = 120 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

**Observação:**

Esse cálculo também pode ser feito obtendo-se o calor específico médio do vapor (média aritmética dos calores específicos extremos) e aplicando-se a fórmula  $Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ .

A quantidade de calor total no processo será:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 75 \cdot 10^5 + 540 \cdot 10^5 + 120 \cdot 10^5$$

$$Q = 735 \cdot 10^5$$

$$Q = 7,35 \cdot 10^7 \text{ cal}$$

b) Cálculo da potência total da caldeira:

$$Pot_t = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{4.320 \cdot 10.000 \text{ cal}}{1 \text{ h}} = \frac{4,32 \cdot 10^7 \text{ cal}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ s}} \Rightarrow Pot_t = 1,2 \cdot 10^4 \text{ cal/s}$$

O rendimento é dado pela relação entre a potência útil e a potência total:

$$\eta = \frac{Pot_u}{Pot_t} \Rightarrow Pot_u = \eta \cdot Pot_t$$

Como  $\eta = 70\% = 0,70$ , vem:

$$Pot_u = 0,70 \cdot 1,2 \cdot 10^4 \Rightarrow Pot_u = 0,84 \cdot 10^4 \text{ cal/s} \Rightarrow Pot_u = 8,4 \cdot 10^3 \text{ cal/s}$$

**P.100**

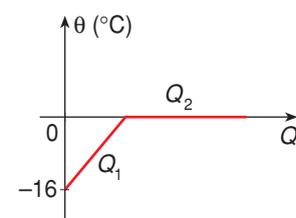
Considerando uma área  $A = 1,0 \text{ m}^2$  da camada superficial de gelo com espessura  $e = 4,0 \text{ cm} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ , o volume de gelo dessa camada será:

$$V = A \cdot e \Rightarrow V = 1,0 \cdot 4,0 \cdot 10^{-2} \Rightarrow V = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

Como  $1,0 \text{ m}^3 = 10 \cdot 10^6 \text{ cm}^3$ , vem:  $V = 4,0 \cdot 10^4 \text{ cm}^3$

Sendo  $d = 1,0 \text{ g/cm}^3$  a densidade do gelo, a massa é:

$$m = 4,0 \cdot 10^4 \text{ g}$$



O calor que o gelo recebe deve aquecê-lo de  $-16\text{ °C}$  até  $0\text{ °C}$  (ou seja,  $\Delta\theta = 16\text{ °C}$ ) e derretê-lo (a  $0\text{ °C}$ ).

Sendo  $c = 0,50\text{ cal/g °C}$  o calor específico do gelo e  $L_f = 80\text{ cal/g °C}$  o calor latente de fusão, temos:

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta + mL_f \Rightarrow Q = 4,0 \cdot 10^4 \cdot 0,50 \cdot 16 + 4,0 \cdot 10^4 \cdot 80 \Rightarrow Q = 352 \cdot 10^4\text{ cal}$$

Como  $1,0\text{ cal} = 4,0\text{ J}$ , vem:

$$Q = 352 \cdot 10^4 \cdot 4,0\text{ J} \Rightarrow Q = 1.408 \cdot 10^4\text{ J}$$

A potência média recebida é  $Pot = 320\text{ W}$ ; logo:

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{Q}{Pot} \Rightarrow \Delta t = \frac{1.408 \cdot 10^4}{320} \Rightarrow \Delta t = 4,4 \cdot 10^4\text{ s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{4,4 \cdot 10^4}{3.600}\text{ h} \Rightarrow \Delta t \approx 12,2\text{ h}$$

P.101

a) Água:  $m = 1.100\text{ g}$ ;  $c = 1,00\text{ cal/g °C}$ ;  $\Delta\theta = -2\text{ °C}$

Alumínio:  $m' = ?$ ;  $c' = 0,22\text{ cal/g °C}$ ;  $\Delta\theta' = 40\text{ °C}$

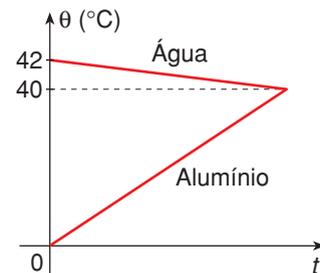
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 1.100 \cdot 1,00 \cdot (-2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = -2.200\text{ cal}$$

$$Q' = m' \cdot c' \cdot \Delta\theta' = m' \cdot 0,22 \cdot 40 \Rightarrow Q' = 8,8m'$$

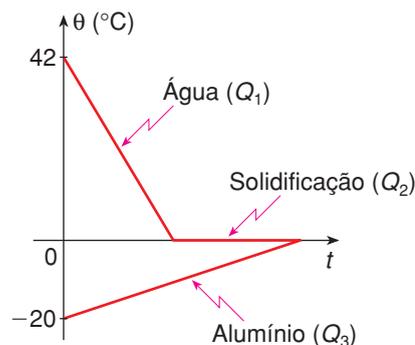
$$Q + Q' = 0 \Rightarrow -2.200 + 8,8m' = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 8,8m' = 2.200 \Rightarrow m' = 250\text{ g}$$



b) Qualquer que seja a quantidade de alumínio a  $0\text{ °C}$ , à medida que esse material recebe calor da água, sua temperatura aumenta. Portanto, a temperatura de equilíbrio será sempre superior a  $0\text{ °C}$ . A água nunca chegará a  $0\text{ °C}$  e, mesmo que o fizesse, não haveria diferença de temperatura para fazê-la solidificar. Portanto, é impossível transformar qualquer quantidade de água em gelo.

c)



	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Água	1.100 g	1,00 cal/g · °C	42 °C	0 °C	-42 °C
Solidificação	1.100 g	$L_S = -80$ cal/g			
Alumínio	$x = ?$	0,22 cal/g · °C	-20 °C	0 °C	20 °C

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 1.100 \cdot 1,00 \cdot (-42) \Rightarrow Q_1 = -46.200 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_S \Rightarrow Q_2 = 1.100 \cdot (-80) \Rightarrow Q_2 = -88.000 \text{ cal}$$

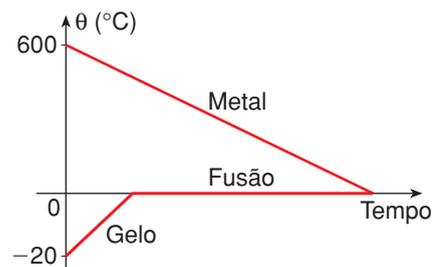
$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = x \cdot 0,22 \cdot 20 \Rightarrow Q_3 = 4,4x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow -46.200 - 88.000 + 4,4x = 0 \Rightarrow 4,4x = 134.200 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = 30.500 \text{ g} \Rightarrow \boxed{x = 30,5 \text{ kg}}$$

P.102 a)  $\theta_f = 0$  °C (o gelo se derrete apenas parcialmente)

	$m$	$c$ (cal/g · °C)	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Gelo	480 g	0,50	-20 °C	0 °C	20 °C
Fusão	15 g	$L_F = 80$ cal/g			
Metal	50 g	$x$	600 °C	0 °C	-600 °C



$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 480 \cdot 0,50 \cdot 20 \Rightarrow Q_1 = 4.800 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 15 \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 1.200 \text{ cal}$$

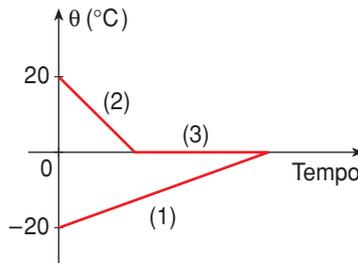
$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 50 \cdot x \cdot (-600) \Rightarrow Q_3 = -30.000x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow 4.800 + 1.200 - 30.000x = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 30.000x = 6.000 \Rightarrow \boxed{x = 0,20 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}}$$

b)  $Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 15 \cdot 80 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 1.200 \text{ cal}}$

P.103 Graficamente, o processo pode ser esquematizado como segue:



(1) Aquecimento do gelo ( $\Delta\theta = 20\text{ °C}$ ):

$$Q_1 = m_G \cdot c_G \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 200 \cdot 0,50 \cdot 20 \Rightarrow Q_1 = 2.000 \text{ cal}$$

(2) Esfriamento da água ( $\Delta\theta = -20\text{ °C}$ ):

$$Q_2 = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = m_A \cdot 1,0 \cdot (-20) \Rightarrow Q_2 = -20m_A$$

(3) Solidificação da água ( $L_s = -80 \text{ cal/g}$ ):

$$Q_3 = m_A \cdot L_s \Rightarrow Q_3 = m_A \cdot (-80) \Rightarrow Q_3 = -80m_A$$

Mas:  $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ . Então:

$$2.000 - 20m_A - 80m_A = 0 \Rightarrow 100m_A = 2.000 \Rightarrow m_A = 20 \text{ g}$$

P.104 a)

	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Água (1)	25 kg	$4,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg °C}$	30 °C	40 °C	10 °C
Água (2)	$m_2 = ?$	$4,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg °C}$	65 °C	40 °C	-25 °C

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q_1 = -Q_2 \Rightarrow m_1 \cdot c \cdot \Delta\theta_1 = -m_2 \cdot c \cdot \Delta\theta_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 25 \cdot 10 = -m_2 \cdot (-25) \Rightarrow m_2 = \frac{250}{25} \Rightarrow m_2 = 10 \text{ kg}$$

b)

	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
Água (1)	25 kg	$4,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg °C}$	30 °C	20 °C	-10 °C
Gelo	$m_2 = ?$	$L_F = 320 \text{ J/g} = 320 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$			
Água do gelo	$m_2 = ?$	$4,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg °C}$	0 °C	20 °C	20 °C

$$Q_1 + Q_2 + Q'_2 = 0 \Rightarrow Q_2 + Q'_2 = -Q_1 \Rightarrow$$

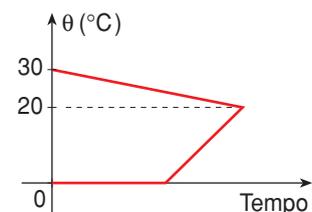
$$\Rightarrow m_2 \cdot L_F + m_2 \cdot c \cdot \Delta\theta_2 = -m_1 \cdot c \cdot \Delta\theta_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_2 \cdot 320 \cdot 10^3 + m_2 \cdot 4,0 \cdot 10^3 \cdot 20 =$$

$$= -25 \cdot 4,0 \cdot 10^3 \cdot (-10) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 320m_2 + 80m_2 = 1.000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 400m_2 = 1.000 \Rightarrow m_2 = 2,5 \text{ kg}$$



**P.105** a) O calor recebido pela substância  $B$  durante a fusão é calculado por:

$$Q = Pot \cdot \Delta t \text{ (em que } Pot = 20 \text{ cal/s)}$$

$$\text{Do gráfico, vem: } Q = 20 \cdot (90 - 30) \Rightarrow Q = 1.200 \text{ cal}$$

O calor latente de fusão da substância  $B$  é determinado por:

$$Q = mL_B \Rightarrow 1.200 = 50 \cdot L_B \Rightarrow L_B = 24 \text{ cal/g}$$

b) Para a determinação da temperatura de equilíbrio usaremos o seguinte roteiro:

1) Cálculo dos calores específicos das substâncias  $A$  e  $B$ :

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta} \Rightarrow c = \frac{Pot \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta\theta}$$

$$c_A = \frac{20 \cdot 70}{50 \cdot (300 - 20)} \Rightarrow c_A = 0,10 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c_B = \frac{20 \cdot 30}{50 \cdot (80 - 20)} \Rightarrow c_B = 0,20 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

2) Cálculo da energia térmica liberada pela substância  $A$ , ao ser resfriada de  $280^\circ\text{C}$  até  $80^\circ\text{C}$ :

$$|Q_A| = m_A \cdot c_A \cdot |\Delta\theta_A| \Rightarrow |Q_A| = 50 \cdot 0,10 \cdot |80 - 280| \Rightarrow |Q_A| = 1.000 \text{ cal}$$

3) Cálculo da energia térmica que a substância  $B$  precisa receber para atingir a temperatura de  $80^\circ\text{C}$ :

$$Q_B = m_B \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow Q_B = 50 \cdot 0,20 \cdot (80 - 20) \Rightarrow Q_B = 600 \text{ cal}$$

4) Observando os itens 2 e 3, notamos que a fusão da substância  $B$  será feita com as 400 calorias restantes:

$$Q = mL \Rightarrow 400 = m \cdot 24 \Rightarrow m = \frac{50}{3} \text{ g}$$

A fusão de  $B$  é parcial, permanecendo no estado sólido:

$$m_s = 50 - \frac{50}{3} \Rightarrow m_s = \frac{100}{3} \text{ g}$$

Assim, a temperatura final de equilíbrio térmico entre  $A$  e  $B$  será:  $\theta_f = 80^\circ\text{C}$

c) Em vista da resolução do item **b**, podemos afirmar que no final teremos:

Sólido:  $m'_B = \frac{100}{3} \text{ g}$

Líquido:  $m''_B = \frac{50}{3} \text{ g}$

**P.106** a) A temperatura de fusão da substância é  $\theta_{\text{fusão}} = 60\text{ }^\circ\text{C}$ , pois é o valor da

temperatura de equilíbrio para diversas temperaturas iniciais do bloco de ferro.

b) Vamos considerar a situação em que  $\theta = 200\text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_e = 60\text{ }^\circ\text{C}$ .

São dados:  $m_f = 0,8\text{ }m_s$ ;  $\theta_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $c_f = 0,1\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$

$$Q_s + Q_f = 0 \Rightarrow Q_s = -Q_f \Rightarrow m_s \cdot c_s \cdot (\theta_e - \theta_0) = -m_f \cdot c_f \cdot (\theta_e - \theta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_s \cdot c_s \cdot (60 - 20) = 0,8m_s \cdot 0,1 \cdot (200 - 60) \Rightarrow 40c_s = 11,2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c_s = 0,28\text{ cal/g}\cdot^\circ\text{C}$$

c) Vamos considerar a situação em que  $\theta = 450\text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_e = 60\text{ }^\circ\text{C}$ . Nesse caso, a temperatura da substância sobe até  $60\text{ }^\circ\text{C}$  e, nessa temperatura, a substância funde completamente. Sendo  $Q_s + Q_{\text{fusão}} + Q_f = 0$ , vem:

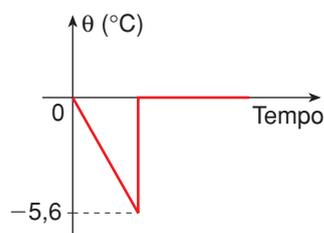
$$Q_s + Q_{\text{fusão}} = -Q_f \Rightarrow m_s \cdot c_s \cdot (\theta_e - \theta_0) + m_s \cdot L = -m_f \cdot c_f \cdot (\theta_e - \theta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_s \cdot 0,28 \cdot (60 - 20) + m_s L = -0,8m_s \cdot 0,1 \cdot (60 - 450) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 11,2 + L = 31,2 \Rightarrow L = 20\text{ cal/g}$$

**P.107** A razão está com a aluna Marceli. Nas nuvens, as gotículas de água ficam numa situação de superfusão, em temperaturas bem inferiores a  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .

**P.108** a)



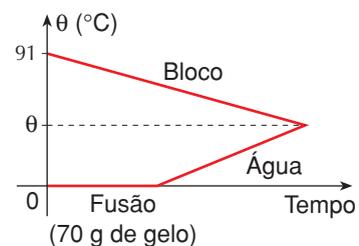
Calor perdido pela água ( $m = 1.000\text{ g}$ ) ao ficar em superfusão ( $\Delta\theta = -5,6\text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 1.000 \cdot 1 \cdot (-5,6) \Rightarrow Q = -5.600\text{ cal}$$

Interrompida a superfusão, essa quantidade de calor solidifica uma massa  $x$  de água ( $L_s = -80\text{ cal/g}$ ):

$$Q = xL_s \Rightarrow -5.600 = x \cdot (-80) \Rightarrow x = 70\text{ g}$$

b) Ao se colocar o bloco metálico no sistema, interrompe-se a superfusão, havendo  $70\text{ g}$  de gelo a  $0\text{ }^\circ\text{C}$  e  $930\text{ g}$  de água a  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .



Fusão do gelo:

$$Q_1 = xL_f \Rightarrow Q_1 = 70 \cdot 80 \Rightarrow Q_1 = 5.600 \text{ cal}$$

Aquecimento da água ( $m = 1.000 \text{ g}$ ;  $\Delta\theta = \theta$ )

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 1.000 \cdot 1 \cdot \theta \Rightarrow Q_2 = 1.000\theta$$

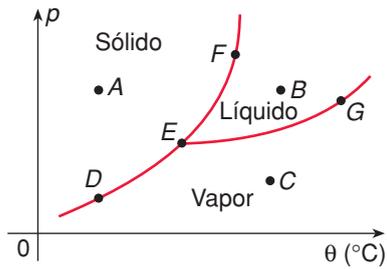
Esfriamento do bloco ( $C = 400 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = \theta - 91$ )

$$Q_3 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 400 \cdot (\theta - 91) \Rightarrow Q_3 = 400\theta - 36.400$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow 5.600 + 1.000\theta + 400\theta - 36.400 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1.400\theta = 30.800 \Rightarrow \theta = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

P.109



- a)  $AB$  corresponde a uma fusão (passagem da fase sólida para a fase líquida).  
 b)  $BC$  corresponde a uma vaporização (passagem da fase líquida para a fase de vapor).  
 c)  $D$  é um ponto da curva de sublimação, podendo corresponder às fases sólida e vapor.  
 d)  $E$  é o ponto triplo (sólido, líquido e vapor);  
 $F$  pertence à curva de fusão (sólido e líquido);  
 $G$  pertence à curva de vaporização (líquido e vapor).  
 e) O ponto triplo ou tríplice é o ponto  $E$ . Esse nome deve-se ao fato de que, nesse estado, a substância pode estar nas três fases (sólido, líquido e vapor), em equilíbrio.

P.110

Dados:  $d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/cm}^3$ ;  $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $L_f = 80 \text{ cal/g}$ ;  $\Delta V = -2 \text{ cm}^3$

a) Utilizando a fórmula deduzida no exercício R.36:

$$\Delta V = m \cdot \left( \frac{1}{d_{\text{água}}} - \frac{1}{d_{\text{gelo}}} \right) \Rightarrow -2 = m \cdot \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{0,92} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -2 = m \cdot \left( \frac{0,92 - 1}{0,92} \right) \Rightarrow -2 = m \cdot \frac{-0,08}{0,92} \Rightarrow \boxed{m = 23 \text{ g}}$$

b)  $Q = mL_f \Rightarrow Q = 23 \cdot 80 \Rightarrow \boxed{Q = 1.840 \text{ cal}}$

P.111

a) Contração devida ao animal:  $0,42 \text{ cm}^3 - 0,64 \text{ cm}^3 = -0,22 \text{ cm}^3$

Essa contração é causada pela fusão de certa massa  $m$  de gelo:  $\Delta V = V_{\text{água}} - V_{\text{gelo}}$

Dados:  $\Delta V = -0,22 \text{ cm}^3$ ;  $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/cm}^3$

$$\Delta V = \frac{m}{d_{\text{água}}} - \frac{m}{d_{\text{gelo}}} \Rightarrow -0,22 = m \cdot \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{0,92} \right) \Rightarrow m = 2,53 \text{ g}$$

A quantidade de calor absorvida pelo gelo que derrete é dada por:  $Q = mL_f$

Como  $L_f = 80 \text{ cal/g}$ , vem:  $Q = 2,53 \cdot 80 \Rightarrow \boxed{Q = 202,4 \text{ cal}}$

b) Essa quantidade de calor representa 80% do total que o animal perdeu, pois 20% se dissipa para o ambiente:

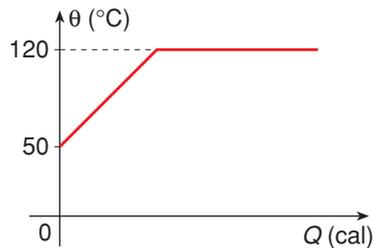
$$Q = 0,8 \cdot Q_T \Rightarrow Q_T = \frac{Q}{0,8} \Rightarrow Q_T = \frac{202,4}{0,8} \Rightarrow Q_T = 253 \text{ cal}$$

A capacidade térmica do animal vale:

$$C = \frac{Q_T}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{253}{30} \Rightarrow C \approx 8,43 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

P.112

Dados:  $m = 70 \text{ g}$ ;  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $L_V = 523,1 \text{ cal/g}$ ;  $\theta_0 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_V = 120 \text{ }^\circ\text{C}$



• Aquecimento da água:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 70 \cdot 1 \cdot (120 - 50) \Rightarrow Q_1 = 4.900 \text{ cal}$$

• Vaporização da água:

$$Q_2 = mL_V \Rightarrow Q_2 = 70 \cdot 523,1 \Rightarrow Q_2 = 36.617 \text{ cal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 4.900 + 36.617 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = 41.517 \text{ cal}$$

### Observação

É interessante salientar que o calor latente de uma mudança de fase, para dada substância, depende da temperatura em que a mudança de fase ocorre. No caso deste exercício, o calor latente de vaporização da água a 120 °C vale 523,1 cal/g. Comparando esse valor com o do calor latente de vaporização da água a 100 °C (que vale 540 cal/g), podemos concluir que o calor latente de vaporização da água é tanto menor quanto maior for a temperatura em que a mudança de fase ocorre.

P.113

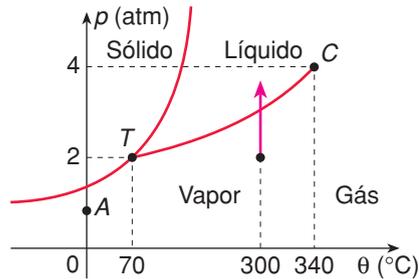
Dados:  $V_1 = 30 \text{ cm}^3$ ;  $p_1 = 1 \text{ atm}$ ;  $V_2 = 75 \text{ cm}^3$

Da lei de Boyle, vem:  $p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow 1 \cdot 30 = p_2 \cdot 75 \Rightarrow p_2 = 0,4 \text{ atm}$

P.114

A pressão se mantém constante no valor  $F = 15 \text{ cmHg}$ , pois, sendo saturante, o vapor está exercendo a pressão máxima de vapor na temperatura de 10 °C, não importando o volume que ocupe. Durante o processo, a pressão não se altera, porque ocorre condensação do vapor.

- P.115 a) As condições normais de pressão e temperatura correspondem a  $p = 1 \text{ atm}$  e  $\theta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ . No gráfico, esse estado corresponde ao ponto A, indicativo da fase de vapor.

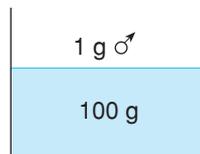


- b) A  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , comprimido isotermicamente, o vapor poderá passar para a fase líquida (**condensação**).
- c) Ponto triplo ( $p_T = 2 \text{ atm}$ ;  $\theta_T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ): o tomito pode se apresentar nas três fases, em equilíbrio.  
Ponto crítico ( $p_C = 4 \text{ atm}$ ;  $\theta_C = 340 \text{ }^\circ\text{C}$ ): acima dessa temperatura, o tomito passa a se apresentar como gás. Sendo assim, não seria possível provocar a sua condensação somente por compressão isotérmica.

- P.116 Sendo  $f = 7,0 \text{ mmHg}$ ;  $F = 17,5 \text{ mmHg}$ , então:

$$H = \frac{f}{F} \Rightarrow H = \frac{7,0}{17,5} \Rightarrow \boxed{H = 0,4 \text{ (40%)}}$$

- P.117 Admitindo ser de 100 gramas a massa de éter que permanece no recipiente após a evaporação, temos:



Calor absorvido pelo éter que evapora:

$$Q_1 = mL \Rightarrow Q_1 = 1 \cdot 80 \Rightarrow Q_1 = 80 \text{ cal}$$

Calor perdido pelo éter que permanece:

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 100 \cdot 0,5 \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 50 \cdot \Delta\theta$$

$$\text{Mas: } Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow 80 + 50 \cdot \Delta\theta = 0 \Rightarrow 50 \cdot \Delta\theta = -80 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = -\frac{80}{50} \Rightarrow \boxed{\Delta\theta = -1,6 \text{ }^\circ\text{C}}$$

P.118 Dados:  $m = 50 \text{ g}$ ;  $L_s = 142 \text{ cal/g}$

$$Q = mL_s \Rightarrow Q = 50 \cdot 142 \Rightarrow \boxed{Q = 7.100 \text{ cal}}$$

P.119 a) Região I: fase líquida

Região II: fase gasosa

Região III: fase sólida

b) A temperatura de ebulição a uma dada pressão está sempre associada a um ponto da curva de vaporização (que separa as regiões I e II do gráfico). Assim, para a pressão de 0,6 atm, temos:

$$\theta_{\text{ebulição}} \approx 225 \text{ }^\circ\text{C}$$

c) Sob pressão normal ( $p = 1,0 \text{ atm}$ ), se o sólido tiver sua temperatura aumentada, ele sofre fusão a aproximadamente  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ , e o líquido resultante, prosseguindo o aquecimento, vaporiza a cerca de  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ . Portanto, sob pressão normal, a substância não pode ser sublimada. Essa mudança somente pode ocorrer sob pressões inferiores a 0,4 atm.

d) O ponto triplo é o estado em que a substância pode ser apresentar em equilíbrio nas três fases: sólida, líquida e gasosa. Pelo gráfico, a pressão do ponto triplo vale 0,4 atm, e a temperatura do ponto triplo, cerca de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ .

P.120 a) Nos procedimentos descritos, o que se busca é intensificar o fenômeno da evaporação da água, porque a velocidade de evaporação do líquido é diretamente proporcional à sua área exposta ao ar.

b) Dados:  $A = 1,0 \text{ m}^2$ ;  $e = 0,50 \text{ mm} = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;  $d = 1.000 \text{ kg/m}^3$

O volume de água que evapora é dado por:

$$V = Ae \Rightarrow V = 1,0 \cdot 0,50 \cdot 10^{-3} \Rightarrow V = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

A massa correspondente é:

$$m = dV \Rightarrow m = 1.000 \cdot 0,50 \cdot 10^{-3} \Rightarrow m = 0,50 \text{ kg}$$

Sendo  $L_v = 2.300 \text{ kJ/kg}$ , a quantidade de calor absorvida pela água que evapora vale:

$$Q = mL_v \Rightarrow Q = 0,5 \cdot 2.300 \Rightarrow \boxed{Q = 1.150 \text{ kJ}}$$

Essa energia é retirada do corpo e, por isso, temos a sensação de frio.

- P.121 a) De acordo com a tabela, a temperatura de ebulição da água, na pressão de 880 mmHg, é de 105 °C. No gráfico, o tempo de cozimento correspondente é:

$$\Delta t = 20 \text{ min}$$

- b) Para 100 m de altitude, temos:  $\Delta p = -10 \text{ mmHg}$   
 Para 800 m de altitude, temos:  $\Delta p = -80 \text{ mmHg}$   
 Então, em Gramado (800 m de altitude), o valor de pressão atmosférica é:  
 $p = 760 - 80 \Rightarrow p = 680 \text{ mmHg}$   
 Na tabela, a temperatura de ebulição correspondente a essa pressão é 97 °C.

No gráfico, obtemos o tempo de cozimento correspondente:  $\Delta t = 60 \text{ min}$

- c) Ao nível do mar:

$$p_{\text{atm.}} = 760 \text{ mmHg} \Rightarrow \theta_{\text{ebulição}} = 100 \text{ °C} \Rightarrow \Delta t = 40 \text{ min}$$

Para o tempo de cozimento  $\Delta t' = 2 \cdot 40 \text{ min} = 80 \text{ min}$ , obtemos:

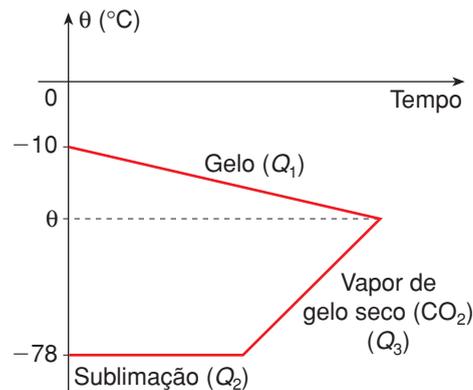
$$\theta'_{\text{ebulição}} = 95 \text{ °C} \Rightarrow p' = 640 \text{ mmHg}$$

Portanto a diferença de pressão será:  $\Delta p = 760 - 640 \Rightarrow \Delta p = 120 \text{ mmHg}$

A altitude correspondente será:  $H = 1.200 \text{ m}$

- P.122 a) Gelo seco:  $m = 0,10 \text{ kg} = 100 \text{ g}$ ;  $\theta_0 = -78 \text{ °C}$ ;  $L_s = 134 \text{ cal/g}$ ;  $c = 0,20 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$   
 Gelo comum:  $m' = 1.000 \text{ g}$ ;  $\theta'_0 = -10 \text{ °C}$ ;  $c' = 0,50 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$

Graficamente, temos:



$$Q_1 = m' \cdot c' \cdot \Delta\theta' \Rightarrow Q_1 = 1.000 \cdot 0,50 \cdot (\theta + 10) \Rightarrow Q_1 = 500\theta + 5.000$$

$$Q_2 = mL_s \Rightarrow Q_2 = 100 \cdot 134 \Rightarrow Q_2 = 13.400 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 100 \cdot 0,20 \cdot (\theta + 78) \Rightarrow Q_3 = 20\theta + 1.560$$

Então, temos:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow 500\theta + 5.000 + 13.400 + 20\theta + 1.560 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 520\theta = -19.960 \Rightarrow \theta \approx -38,4 \text{ °C}$$

- b) No equilíbrio térmico, teremos 1,0 kg de gelo comum a  $-38,4 \text{ °C}$  e 0,10 kg de vapor de gelo-seco ( $\text{CO}_2$ ) a  $-38,4 \text{ °C}$ .

P.123 Dados:  $Q = 3,0 \cdot 10^3 \text{ cal} = 12 \cdot 10^3 \text{ J}$ ;  $\Delta t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{3,0 \cdot 10^3}{300} \Rightarrow \Phi = 10 \text{ cal/s}$$

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{12 \cdot 10^3}{300} \Rightarrow \Phi = 40 \text{ W}$$

P.124 Dados:  $K = 0,00183 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $A = 1.000 \text{ cm}^2$ ;  $e = 3,66 \text{ mm} = 0,366 \text{ cm}$ ;  
 $\Phi = 2.000 \text{ cal/s}$

Aplicando a fórmula da lei de Fourier, obtemos:

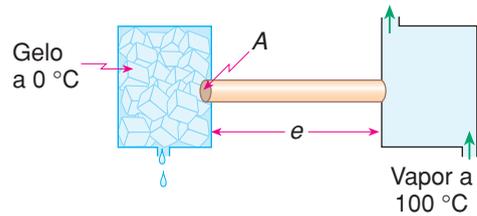
$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot \Delta\theta}{e} \Rightarrow 2.000 = \frac{0,00183 \cdot 1.000 \cdot \Delta\theta}{0,366} \Rightarrow \Delta\theta = 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

P.125 a) Dados:  $A = 5 \text{ cm}^2$ ;  $K = 0,92 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\theta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $e = 100 \text{ cm}$

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e}$$

$$\Phi = \frac{0,92 \cdot 5 \cdot (100 - 0)}{100}$$

$$\Phi = 4,6 \text{ cal/s}$$

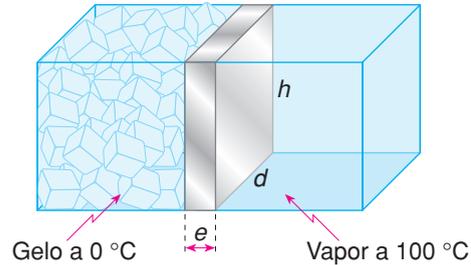


b) Dados:  $A = 5 \text{ cm}^2$ ;  $K = 0,92 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\theta_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $e' = 20 \text{ cm}$ ;  $\theta_2' = ?$

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2' - \theta_1)}{e'} \Rightarrow 4,6 = \frac{0,92 \cdot 5 \cdot (\theta_2' - 0)}{20} \Rightarrow \theta_2' = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Poderíamos chegar a essa conclusão tendo em vista que a temperatura varia uniformemente de uma extremidade à outra. Assim, se ela varia de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  numa extensão de  $100 \text{ cm}$ , a temperatura varia de  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  para cada  $1 \text{ cm}$  de extensão da barra. Portanto, para uma extensão de  $20 \text{ cm}$ , a temperatura varia de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- P.126** Dados:  $K = 0,3 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $e = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$ ;  $h = 20 \text{ cm}$ ;  $d = 40 \text{ cm}$ ;  
 $\theta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ ;  $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$



O fluxo de calor é dado por:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e}$$

$$\Phi = \frac{0,3 \cdot 20 \cdot 40 \cdot (100 - 0)}{1}$$

$$\Phi = 24.000 \text{ cal/s}$$

Mas:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = \Phi \cdot \Delta t = 24.000 \cdot 60 \Rightarrow Q = 144 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

Cálculo da massa de gelo que derrete em cada minuto:

$$Q = mL \Rightarrow 144 \cdot 10^4 = m \cdot 80 \Rightarrow m = 18 \cdot 10^3 \text{ g} = 18 \text{ kg}$$

- P.127** Dados:  
 $K = 1,00 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $A = 1 \text{ cm}^2$ ;  $e = 50 \text{ cm}$ ;  $(\theta_2 - \theta_1) = 100 \text{ }^\circ\text{C} - 10 \text{ }^\circ\text{C} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$

O fluxo de calor é dado por:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e} \Rightarrow \Phi = \frac{1,00 \cdot 1 \cdot 90}{50} \Rightarrow \Phi = 1,8 \text{ cal/s}$$

A quantidade de calor recebida pela água em  $\Delta t = 6 \text{ min} = 360 \text{ s}$  é dada por:

$$Q = \Phi \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 648 \text{ cal}$$

Sendo  $m = 200 \text{ g}$  e  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ , obtemos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 648 = 200 \cdot 1 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 3,24 \text{ }^\circ\text{C}$$

- P.128** a) O poder emissivo do objeto é dado por:  $E = e \cdot \sigma \cdot T^4$

A temperatura deve ser expressa em kelvins:

$$T = \theta + 273 = 17 + 273 \Rightarrow T = 290 \text{ K}$$

$$\text{Assim, obtemos: } E = 0,40 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (290)^4 \Rightarrow E \approx 160,4 \text{ W/m}^2$$

b) A temperatura ambiente vale:

$$T_A = \theta_A + 273 \Rightarrow T_A = 37 + 273 \Rightarrow T_A = 310 \text{ K}$$

Aplicando a fórmula da potência líquida, obtemos:

$$Pot_L = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_A^4 - T^4) = 0,40 \cdot 0,50 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (310^4 - 290^4) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot_L \approx 24,5 \text{ W}$$

Esse resultado positivo significa que o objeto está absorvendo calor (aproximadamente 24,5 joules por segundo), visto que sua temperatura é menor que a do ambiente.

c) No intervalo de tempo  $\Delta t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$ , a energia líquida absorvida é dada por:

$$Q = Pot_L \cdot \Delta t \approx 24,5 \cdot 600 \Rightarrow Q \approx 1,47 \cdot 10^4 \text{ J}$$

**P.129** a) Dados:  $A = 300 \text{ m}^2$ ;  $x = 0,20 \text{ m}$ ;  $K = 0,50 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $\Delta\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Cálculo da potência:

$$Pot = Q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta\theta}{x} \Rightarrow Pot = \frac{0,50 \cdot 300 \cdot 20}{0,20} \Rightarrow Pot = 15.000 \text{ W}$$

Em 1 mês:

$$\Delta t = 30 \text{ dias} \Rightarrow \Delta t = 30 \cdot 24 \text{ h} \Rightarrow \Delta t = 720 \text{ h}$$

Energia transmitida:

$$E = Pot \cdot \Delta t \Rightarrow E = 15.000 \cdot 720 \Rightarrow E = 10,8 \cdot 10^6 \text{ Wh} \Rightarrow E = 10,8 \text{ MWh}$$

Custo mensal:

$$\text{Custo} = E \cdot \text{R\$ } 120,00 \Rightarrow \text{Custo} = 10,8 \cdot \text{R\$ } 120,00 \Rightarrow \text{Custo} = \text{R\$ } 1.296,00$$

b)  $E = 10,8 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} = 38.880 \cdot 10^6 \text{ J}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

$$E = \frac{38.880}{4,18} \cdot 10^6 \text{ cal} \Rightarrow E \approx 9.301 \cdot 10^3 \text{ kcal}$$

Aquecedor a gás:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \text{ — } 9 \cdot 10^3 \text{ kcal} \\ V \text{ — } 9.301 \cdot 10^3 \text{ kcal} \end{array} \right\} V = \frac{9.301}{9} \Rightarrow V \approx 1.033 \text{ m}^3$$

**P.130** Dados:  $K = 8 \cdot 10^{-2} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $e = 40 \text{ cm}$ ;  $A = 10 \text{ cm}^2$ ;  $\theta_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$e' = (40 - 32) \text{ cm} = 8 \text{ cm}; \theta_2' = ?$$

Sendo a corrente térmica constante ao longo da barra, podemos escrever:

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e} = \frac{K \cdot A \cdot (\theta'_2 - \theta_1)}{e'} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e} &= \frac{K \cdot A \cdot (\theta'_2 - \theta_1)}{e'} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{\theta_2 - \theta_1}{e} &= \frac{\theta'_2 - \theta_1}{e'} \Rightarrow \frac{100 - 0}{40} = \frac{\theta'_2 - 0}{8} \Rightarrow \boxed{\theta'_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Na escala Fahrenheit, teremos:

$$\frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{\theta'_2}{5} \Rightarrow \frac{\theta_F - 32}{9} = \frac{20}{5} \Rightarrow \boxed{\theta_F = 68 \text{ }^\circ\text{F}}$$

Observe que, sendo estacionário o regime de condução ao longo da barra, a temperatura varia uniformemente em sua extensão. Portanto, não seria necessário fornecer no enunciado do exercício os dados  $K$  e  $A$ .

P.131

• Aço:

$$L_1 = 12 \text{ cm}; K_1 = 0,12 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \Delta\theta_1 = \theta - 0 = \theta$$

• Latão:

$$L_2 = 13 \text{ cm}; K_2 = 0,26 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \Delta\theta_2 = \theta - 0 = \theta$$

• Cobre:

$$L_3 = 46 \text{ cm}; K_3 = 0,92 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \Delta\theta_3 = 100 - \theta$$

O fluxo de calor na barra de cobre ( $\Phi_3$ ) é a soma dos fluxos no aço ( $\Phi_1$ ) e no latão ( $\Phi_2$ ), ou seja:

$$\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2 \quad \textcircled{1}$$

Aplicando a lei de Fourier, temos:

$$\Phi_3 = \frac{K_3 \cdot A \cdot \Delta\theta}{L_3}; \Phi_1 = \frac{K_1 \cdot A \cdot \Delta\theta_1}{L_1}; \Phi_2 = \frac{K_2 \cdot A \cdot \Delta\theta_2}{L_2}$$

Substituindo em  $\textcircled{1}$ , vem:

$$\begin{aligned} \frac{K_3 \cdot A \cdot \Delta\theta_3}{L_3} &= \frac{K_1 \cdot A \cdot \Delta\theta_1}{L_1} + \frac{K_2 \cdot A \cdot \Delta\theta_2}{L_2} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{0,92 \cdot (100 - \theta)}{46} &= \frac{0,12 \cdot \theta}{12} + \frac{0,26 \cdot \theta}{13} \end{aligned}$$

$$2 - 0,02 \cdot \theta = 0,01 \cdot \theta + 0,02 \cdot \theta$$

$$0,05 \cdot \theta = 2$$

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

P.132 Situação inicial:

$$\theta_1 = 127 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = 127 + 273 \Rightarrow T_1 = 400 \text{ K}; V_1 = 10 \text{ l}$$

Situação final:

$$\theta_2 = 327 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = 327 + 273 \Rightarrow T_2 = 600 \text{ K}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{10} = \frac{600}{400} \Rightarrow V_2 = 15 \text{ l}$$

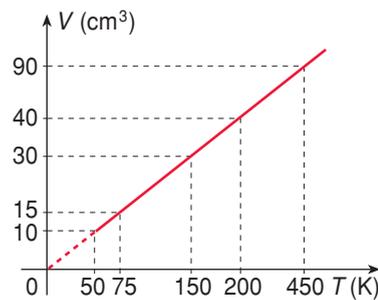
$$\Delta V = V_2 - V_1 \Rightarrow \Delta V = 15 - 10 \Rightarrow \boxed{\Delta V = 5 \text{ l}}$$

P.133 a) Analisando os dados da tabela, concluímos que a relação entre os valores do volume ( $V$ ) e os correspondentes valores de temperatura absoluta ( $T$ ) mantém-se constante:

$$\frac{V}{T} = \frac{10}{50} = \frac{15}{75} = \frac{30}{150} = \frac{40}{200} = \frac{90}{450} = \text{constante}$$

Portanto, o gás está sofrendo uma transformação **isobárica** (pressão constante).

b) Colocando os valores da tabela no diagrama  $V \times T$ , obtém-se uma reta cujo prolongamento passa pela origem, que corresponde ao zero absoluto:



P.134 Dados:  $p_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ;  $p_2 = 3,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,0 \cdot 10^5}{300} = \frac{3,0 \cdot 10^5}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = 900 \text{ K}}$$

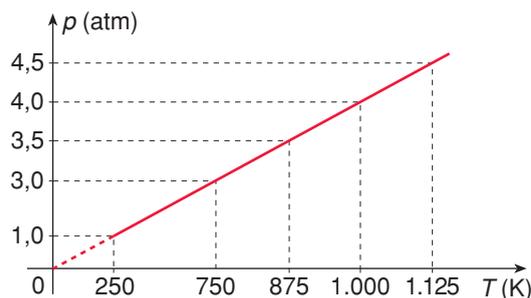
$$\theta_2 = T_2 - 273 \Rightarrow \theta_2 = 900 - 273 \Rightarrow \boxed{\theta_2 = 627 \text{ }^\circ\text{C}}$$

- P.135** a) Analisando os dados da tabela, concluímos que a relação entre os valores da pressão ( $p$ ) e os correspondentes valores da temperatura absoluta ( $T$ ) permanece constante:

$$\frac{p}{T} = \frac{1,0}{250} = \frac{3,0}{750} = \frac{3,5}{875} = \frac{4,0}{1.000} = \frac{4,5}{1.125} = \text{constante}$$

Portanto, o gás está sofrendo uma transformação **isocórica** ou **isométrica** (volume constante).

- b) Lançando os valores da tabela no diagrama  $p \times T$ , obtém-se uma reta cujo prolongamento passa pela origem (zero absoluto).



- P.136** Dados:  $p_1 = 5 \text{ atm}$ ;  $V_1 = 45 \text{ l}$ ;  $V_2 = 30 \text{ l}$

Supondo que o gás é ideal, ele sofre uma transformação isotérmica, valendo a lei de Boyle:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow 5 \cdot 45 = p_2 \cdot 30 \Rightarrow p_2 = 7,5 \text{ atm}$$

- P.137** Transformação  $A \rightarrow B$ :  $p_A = 5,0 \text{ atm}$ ;  $V_A = 0,50 \text{ m}^3$ ;  $V_B = 0,80 \text{ m}^3$

$$p_A V_A = p_B V_B \Rightarrow 5,0 \cdot 0,50 = p_B \cdot 0,80 \Rightarrow p_B = 3,125 \text{ atm}$$

Transformação  $A \rightarrow C$ :  $p_A = 5,0 \text{ atm}$ ;  $V_A = 0,50 \text{ m}^3$ ;  $p_C = 1,0 \text{ atm}$

$$p_A V_A = p_C V_C \Rightarrow 5,0 \cdot 0,50 = 1,0 \cdot V_C \Rightarrow V_C = 2,5 \text{ m}^3$$

- P.138** Dados:  $n_1 = 1 \text{ mol}$ ;  $V_1 = 22,4 \text{ l}$ ;  $V_2 = 112 \text{ l}$

$$pV_1 = n_1 RT \quad \textcircled{1}$$

$$pV_2 = n_2 RT \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , temos:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{22,4}{112} = \frac{1}{n_2} \Rightarrow n_2 = 5 \text{ mols}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ — } N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ moléculas} \\ 5 \text{ mol} \text{ — } x \end{array} \right\}$$

$$x = 5 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \Rightarrow x = 3,0115 \cdot 10^{24} \text{ moléculas}$$

**P.139** Dados:  $M = 16 \text{ g/mol}$ ;  $V = 123 \text{ l}$ ;  $p = 2 \text{ atm}$ ;  $\theta = 327 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$T = (327 + 273) \text{ K} = 600 \text{ K}; R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

a)  $pV = nRT \Rightarrow 2 \cdot 123 = n \cdot 0,082 \cdot 600 \Rightarrow n = 5 \text{ mols}$

b)  $n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = nM \Rightarrow m = 5 \cdot 16 \Rightarrow m = 80 \text{ g}$

c) Dados:  $V_1 = 123 \text{ l}$ ;  $n_1 = 5 \text{ mols}$ ;  $n_2 = 1 \text{ mol}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{123}{V_2} = \frac{5}{1} \Rightarrow V_2 = 24,6 \text{ l}$$

**P.140** Dados:  $M = 32 \text{ g/mol}$ ;  $V_1 = 2,0 \text{ l}$ ;  $p_1 = 1,5 \text{ atm}$ ;  $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_1 = (20 + 273) \text{ K} = 293 \text{ K}; R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$V_2 = 3,0 \text{ l}; p_2 = 2,0 \text{ atm}$$

a) Lei geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,5 \cdot 2,0}{293} = \frac{2,0 \cdot 3,0}{T_2} \Rightarrow T_2 = 586 \text{ K}$$

$$\theta_2 = T_2 - 273 \Rightarrow \theta_2 = 586 - 273 \Rightarrow \theta_2 = 313 \text{ }^\circ\text{C}$$

b)  $p_1 V_1 = nRT_1 \Rightarrow 1,5 \cdot 2,0 = n \cdot 0,082 \cdot 293 \Rightarrow n \approx 0,125$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = nM = 0,125 \cdot 32 \Rightarrow m = 4 \text{ g}$$

**P.141** Dados:  $\theta_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_1 = (273 + 30) \text{ K} = 303 \text{ K}$ ;  $V_1 = 1.000 \text{ cm}^3$ ;  $p_1 = 10 \text{ N/m}^2$ ;

$$V_2 = 500 \text{ cm}^3; p_2 = 50 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{10 \cdot 1.000}{303} = \frac{50 \cdot 500}{T_2} \Rightarrow T_2 = 757,5 \text{ K}$$

$$\theta_2 = T_2 - 273 \Rightarrow \theta_2 = 757,5 - 273 \Rightarrow \theta_2 = 484,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

**P.142** a) I. Transformação isobárica:  $p = p_0$ ;  $T = 2T_0$

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_0 V}{2T_0} \Rightarrow V = 2V_0$$

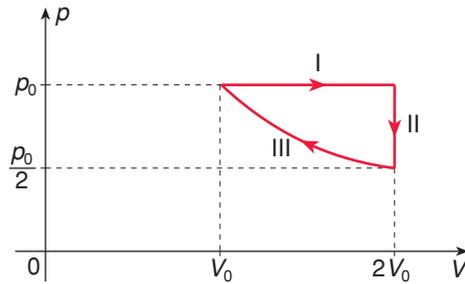
II. Transformação isocórica:  $V' = V = 2V_0$ ;  $T' = T_0$

$$\frac{pV}{T} = \frac{p'V'}{T'} \Rightarrow \frac{p_0 2V_0}{2T_0} = \frac{p' 2V_0}{T_0} \Rightarrow p' = \frac{p_0}{2}$$

III. Transformação isotérmica:  $T'' = T' = T_0$  ;  $p'' = p_0$

$$\frac{p''V''}{T''} = \frac{p'V'}{T'} \Rightarrow \frac{p_0V''}{T_0} = \frac{p_0 \cdot 2V_0}{T_0} \Rightarrow V'' = V_0$$

b) Representação gráfica pressão  $\times$  volume:



**P.143** Situação inicial:

$$\theta_1 = 27^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = (27 + 273)\text{K} = 300\text{K}$$

Situação final:

$$\theta_2 = 57^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = (57 + 273)\text{K} = 330\text{K}$$

A transformação pode ser considerada isobárica:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{300} = \frac{V_2}{330} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{330}{300} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 1,1$$

**P.144** Situação inicial:  $m_1 = 15\text{ kg}$ ;  $p_1 = 3,0\text{ atm}$

Logo:

$$p_1V = \frac{m_1}{M}RT \Rightarrow \frac{VM}{RT} = \frac{m_1}{p_1} \Rightarrow \frac{VM}{RT} = \frac{15}{3,0} \Rightarrow \frac{VM}{RT} = 5 \quad \textcircled{1}$$

Situação final:  $p_2 = 2,8\text{ atm}$ ;  $m_2 = ?$

Portanto:

$$p_2V = \frac{m_2}{M}RT \Rightarrow \frac{VM}{RT} = \frac{m_2}{p_2} \Rightarrow \frac{VM}{RT} = \frac{m_2}{2,8} \quad \textcircled{2}$$

Igualando  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ , temos:

$$\frac{m_2}{2,8} = 5 \Rightarrow m_2 = 14\text{ kg}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 \Rightarrow \Delta m = 15 - 14 \Rightarrow \Delta m = 1\text{ kg}$$

**P.145** Situação inicial:  $n_1 = 6,0 \text{ mol}$ ;  $p_1 = 4,0 \text{ atm}$

Portanto:

$$p_1 V = n_1 RT \Rightarrow 4V = 6RT \quad \textcircled{1}$$

Situação final:  $p_2 = 1,0 \text{ atm}$ ;  $n_2 = ?$

Portanto:

$$p_2 V = n_2 RT \Rightarrow 1V = n_2 RT \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , temos:  $\frac{4V}{V} = \frac{6RT}{n_2 RT} \Rightarrow n_2 = \frac{6}{4} \Rightarrow n_2 = 1,5 \text{ mol}$

**P.146** Situação inicial:

$$\theta_1 = 427 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = (427 + 273) \text{ K} = 700 \text{ K}$$

Situação final:

$$\theta_2 = 327 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = (327 + 273) \text{ K} = 600 \text{ K}$$

$$\frac{e_{c(1)}}{e_{c(2)}} = \frac{\frac{3}{2} kT_1}{\frac{3}{2} kT_2} = \frac{700}{600} \Rightarrow \frac{e_{c(1)}}{e_{c(2)}} = \frac{7}{6} \approx 1,17$$

**P.147** Dados:  $\theta = 57 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = \theta + 273 = 57 + 273 \Rightarrow T = 330 \text{ K}$ ;

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$e_c = \frac{3}{2} kT \Rightarrow e_c = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 330 \Rightarrow e_c \approx 6,83 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

**P.148**  $T_1 = 300 \text{ K}$ ;  $T_2 = 1.200 \text{ K}$ ;  $v_{300} = v_1$ ;  $v_{1.200} = v_2$

$$v_1^2 = \frac{3RT_1}{M} \quad \textcircled{1} \qquad v_2^2 = \frac{3RT_2}{M} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , temos:

$$\frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{300}{1.200} \Rightarrow \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = 0,5$$

**P.149** Hidrogênio:  $M_1 = 2 \text{ g/mol}$ ; oxigênio:  $M_2 = 32 \text{ g/mol}$

$$\theta = 27 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

a) Como a energia cinética média só depende da temperatura, vem:

$$e_{c(1)} = e_{c(2)} \Rightarrow \frac{e_{c(1)}}{e_{c(2)}} = 1$$

$$b) v_1^2 = \frac{3RT}{M_1} \Rightarrow 3RT = v_1^2 \cdot M_1 \quad \textcircled{1}$$

$$v_2^2 = \frac{3RT}{M_2} \Rightarrow 3RT = v_2^2 \cdot M_2 \quad \textcircled{2}$$

Igualando ① e ②, temos:

$$v_1^2 \cdot M_1 = v_2^2 \cdot M_2$$

$$v_1^2 \cdot 2 = v_2^2 \cdot 32 \Rightarrow \frac{v_1^2}{v_2^2} = 16 \Rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = 4}$$

**P.150**  $\theta = 127 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (127 + 273) \text{ K} = 400 \text{ K}$

Como ambos os gases estarão na mesma temperatura, as relações não se modificam:

$$\boxed{\frac{e_{c(1)}}{e_{c(2)}} = 1} \quad \text{e} \quad \boxed{\frac{v_1}{v_2} = 4}$$

**P.151** a) Os resultados da terceira coluna da tabela confirmam a lei de Boyle: o produto da pressão  $p$  pelo volume  $V$  permanece constante.

b) Para o volume de 24 unidades arbitrárias, o desnível de mercúrio é:

$$h = 58 \frac{13}{16} \text{ polegadas} = 1,5 \text{ m}$$

A pressão do ar aprisionado no ramo fechado é dada por:

$$p_{\text{ar}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{coluna}} = p_{\text{atm}} + dgh$$

Sendo a densidade do mercúrio  $d = 14 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,

$g = 10 \text{ m/s}^2$  e  $p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ , vem:

$$p_{\text{ar}} = 1,0 \cdot 10^5 + 14 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 1,5 \Rightarrow \boxed{p_{\text{ar}} = 3,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

**P.152** a) Situação inicial:

$$T_1 = 300 \text{ K}; p_1 = 12 \text{ N/cm}^2; V_1 = V_0$$

Situação final:

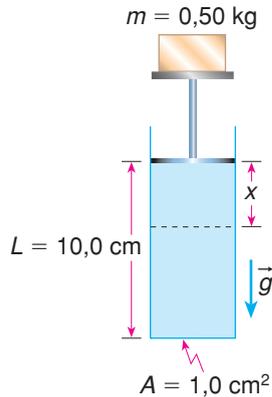
$$T_2 = 350 \text{ K}; p_2 = ?; V_2 = V_0$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{12}{300} = \frac{p_2}{350} \Rightarrow \boxed{p_2 = 14 \text{ N/cm}^2}$$

b) O acréscimo de pressão ( $\Delta p = p_2 - p_1 = 2 \text{ N/cm}^2$ ) é devido à ação da força adicional  $\vec{F}$  agindo sobre o êmbolo da área  $A = 225 \text{ cm}^2$ . Assim:

$$\Delta p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \Delta p \cdot A = 2 \cdot 225 \Rightarrow \boxed{F = 450 \text{ N}}$$

P.153



Acréscimo de pressão devido à massa  $m$ :

$$\Delta p = \frac{mg}{A} = \frac{0,5 \cdot 10}{1,0 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \Delta p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Situação inicial:

$$V_1 = L \cdot A = 10,0 \cdot 1,0 \Rightarrow V_1 = 10 \text{ cm}^3$$

$$p_1 = p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Situação final:

$$V_2 = (L - x) \cdot A = (10,0 - x) \cdot 1,0 \Rightarrow V_2 = (10,0 - x) \text{ cm}^3$$

$$p_2 = p_{\text{atm}} + \Delta p = 1,0 \cdot 10^5 + 0,5 \cdot 10^5 \Rightarrow p_2 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Transformação isotérmica:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$1,0 \cdot 10^5 \cdot 10,0 = 1,5 \cdot 10^5 \cdot (10,0 - x)$$

$$10,0 = 15,0 - 1,5x \Rightarrow 1,5x = 5,00 \Rightarrow x \approx 3,33 \text{ cm}$$

P.154 Antes:  $p_0 = p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $V_0 = h_0 \cdot A = 1,0A$

$$\text{Depois: } p = p_0 + \frac{mg}{A} = 1,0 \cdot 10^5 + \frac{m \cdot 10}{20 \cdot 10^{-4}} = 1,0 \cdot 10^5 + \frac{m}{20} \cdot 10^5;$$

$$V = h \cdot A = 0,8A$$

Como a transformação é isotérmica:

$$p_0 V_0 = pV \Rightarrow p_0 h_0 A = p h A \Rightarrow p_0 \cdot 1,0 = p \cdot 0,8 \Rightarrow p_0 = 0,8p$$

Substituindo os valores das pressões:

$$1,0 \cdot 10^5 = 0,8 \left( 1,0 \cdot 10^5 + \frac{m}{20} \cdot 10^5 \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1,0 = 0,8 + \frac{m}{20} \cdot 0,8 \Rightarrow 1,0 - 0,8 = \frac{m}{25} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{m}{25} = 0,2 \Rightarrow m = 5 \text{ kg}$$

P.155 a) Dados:  $V_0 = 60 \text{ l}$ ;  $p_0 = 100 \text{ atm}$ ;  $T_0 = 300 \text{ K}$ ;  $R = 8 \cdot 10^{-2} \text{ l} \cdot \text{atm/K}$

$$p_0 V_0 = N_0 R T_0 \Rightarrow 100 \cdot 60 = N_0 \cdot 8 \cdot 10^{-2} \cdot 300 \Rightarrow N_0 = 250 \text{ mols}$$

b) Volume de  $\text{O}_2$  consumido em 30 minutos:

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ l} \text{ — } 1 \text{ min} \\ V \text{ — } 30 \text{ min} \end{array} \right\} V = 150 \text{ l}$$

Aplicando a equação de Clapeyron, com  $p = 3 \text{ atm}$ , obtemos:

$$pV = nRT_0 \Rightarrow 3 \cdot 150 = n \cdot 8 \cdot 10^{-2} \cdot 300 \Rightarrow n = 18,75 \text{ mols}$$

c) Na situação final do  $O_2$  no cilindro, temos:

$$p' = 40 \text{ atm}; V_0 = 60 \text{ l}; T_0 = 300 \text{ K}$$

Cálculo do número de mols restantes:

$$p'V_0 = n'RT_0 \Rightarrow 40 \cdot 60 = n' \cdot 8 \cdot 10^{-2} \cdot 300 \Rightarrow n' = 100 \text{ mols}$$

O número de mols consumidos é:

$$\Delta n = N_0 - n' = 250 - 100 \Rightarrow \Delta n = 150 \text{ mols}$$

Como em 30 min (ou 0,5 h) foram consumidos 18,75 mols, vem:

$$\left. \begin{array}{l} 18,75 \text{ mols} \text{ — } 0,5 \text{ h} \\ 150 \text{ mols} \text{ — } t \end{array} \right\} t = 4 \text{ h}$$

P.156 Dados:

$$\left\{ \begin{array}{l} p = 1,00 \cdot 10^{-10} \text{ atm} = 1,00 \cdot 10^{-10} \cdot 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,01 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2; \\ T = 300 \text{ K}; V = 1,00 \text{ cm}^3 = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3; R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}; \\ N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} \end{array} \right.$$

$$pV = nRT \Rightarrow 1,01 \cdot 10^{-5} \cdot 1,00 \cdot 10^{-6} = n \cdot 8,31 \cdot 300 \Rightarrow n \approx 4,05 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ mol} \text{ — } 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas} \\ 4,05 \cdot 10^{-15} \text{ mol} \text{ — } x \end{array} \right\}$$

Portanto:

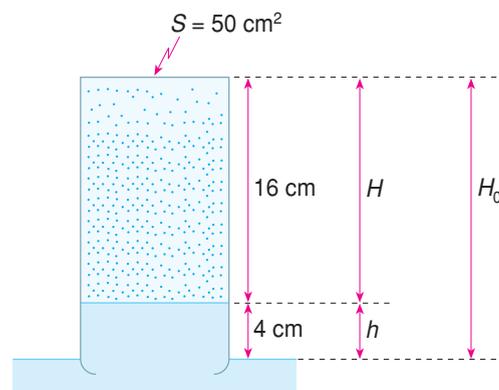
$$x = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4,05 \cdot 10^{-15} \Rightarrow x \approx 2,44 \cdot 10^9 \text{ moléculas}$$

P.157 a) Depois da entrada da água, o volume do ar será:

$$V = S \cdot H$$

$$V = 50 \cdot 16$$

$$V = 800 \text{ cm}^3$$



b) A pressão do ar na situação inicial é  $p_0 = p_{\text{atm}}$

Na situação final, sendo  $p$  a pressão do ar, o teorema de Stevin fornece:

$$p_{\text{atm}} = p + dgh \Rightarrow p = p_{\text{atm}} - dgh$$

A variação de pressão sofrida pelo ar será:

$$\Delta p = p - p_0 \Rightarrow \Delta p = p_{\text{atm}} - dgh - p_{\text{atm}} \Rightarrow \Delta p = -dgh$$

Mas:  $d = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;  $h = 4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ; portanto:

$$\Delta p = -10^3 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \Delta p = -400 \text{ N/m}^2$$

O sinal negativo indica que houve uma diminuição na pressão do ar.

c) Considerando desprezível a variação da pressão do ar, a transformação pode ser

considerada isobárica; então:  $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_A}{T_A}$

Mas:  $T_A = 27 + 273 \Rightarrow T_A = 300 \text{ K}$ ; logo:

$$\frac{H_0 \cdot \cancel{S}}{T_0} = \frac{H \cdot \cancel{S}}{T_A} \Rightarrow \frac{20}{T_0} = \frac{16}{300} \Rightarrow T_0 = 375 \text{ K}$$

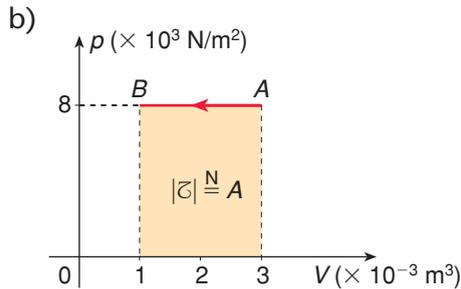
Em graus Celsius:

$$T_0 = 375 - 273 \Rightarrow T_0 = 102 \text{ }^\circ\text{C}$$

P.158 a) Do gráfico:  $V_A = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ;  $V_B = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Dado:  $T_A = 300 \text{ K}$

$$p_A = p_B \Rightarrow \frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{3 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{T_B} \Rightarrow T_B = 100 \text{ K}$$



A área do gráfico é numericamente igual ao módulo do trabalho no processo:

$$A = \text{base} \times \text{altura} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = (3 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3 \Rightarrow A \stackrel{N}{=} |C| = 16 \text{ J}$$

Como se trata de uma compressão:

$$C = -16 \text{ J}$$

c) O **trabalho** é realizado **sobre o gás** pelo ambiente, pois o volume diminui (compressão).

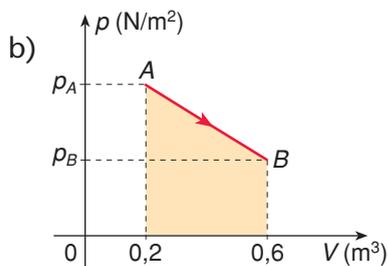
P.159 a) Dados:  $n = 4 \text{ mols}$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

Estado A:  $V_A = 0,2 \text{ m}^3$ ;  $T_A = 500 \text{ K}$

Estado B:  $V_B = 0,6 \text{ m}^3$ ;  $T_B = 600 \text{ K}$

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow p_A \cdot 0,2 = 4 \cdot 8,31 \cdot 500 \Rightarrow p_A = 8,31 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$p_B V_B = nRT_B \Rightarrow p_B \cdot 0,6 = 4 \cdot 8,31 \cdot 600 \Rightarrow p_B = 3,32 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$



A área do trapézio assinalado no gráfico mede numericamente o trabalho realizado ( $A \stackrel{N}{=} C$ ):

$$A = \frac{8,31 \cdot 10^4 + 3,32 \cdot 10^4}{2} \cdot (0,6 - 0,2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A \approx 2,33 \cdot 10^4 \Rightarrow C \approx 2,33 \cdot 10^4 \text{ J}$$

c) Como se trata de uma expansão (aumento de volume), o **trabalho** é realizado **pelo gás**.

P.160

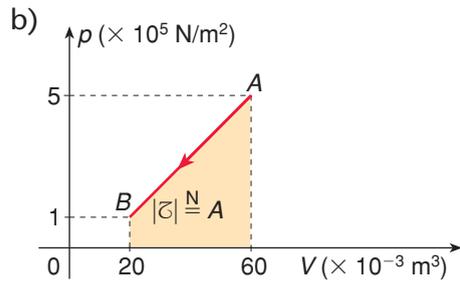
a) Dados:  $m = 56 \text{ g}$ ;  $M = 28 \text{ g/mol}$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;  $n = \frac{m}{M} = \frac{56}{28} \Rightarrow n = 2 \text{ mols}$

Estado A:  $p_A = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $V_A = 60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

Estado B:  $p_B = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $V_B = 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 5 \cdot 10^5 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 8,31 \cdot T_A \Rightarrow T_A \approx 1.805 \text{ K}$$

$$p_B V_B = nRT_B \Rightarrow 1 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 8,31 \cdot T_B \Rightarrow T_B \approx 120,3 \text{ K}$$



A área do trapézio assinalado no gráfico é numericamente igual ao módulo do trabalho realizado ( $A \stackrel{N}{=} |C|$ ):

$$A = \frac{5 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5}{2} \cdot (60 - 20) \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 1,2 \cdot 10^4 \Rightarrow |C| = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Como se trata de uma compressão, vem:

$$C = -1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

c) O **trabalho** é realizado **sobre o gás** pelo ambiente, pois o volume diminui (compressão).

P.161

a) Dados:  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;  $T_A = 600 \text{ K}$

Do gráfico:  $p_A = 10 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ;  $V_A = 0,3 \text{ m}^3$

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 10 \cdot 10^3 \cdot 0,3 = n \cdot 8,31 \cdot 600 \Rightarrow n \approx 0,6 \text{ mol}$$

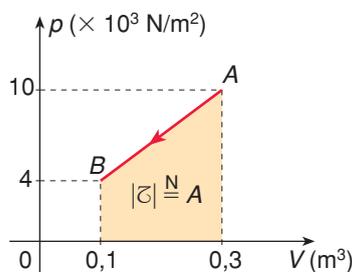
b) Estado B:  $p_B = 4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ;  $V_B = 0,1 \text{ m}^3$

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{600} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{T_B} \Rightarrow T_B = 80 \text{ K}$$

c) A variação de energia interna é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \cdot (T_B - T_A) = \frac{3}{2} \cdot 0,6 \cdot 8,31 \cdot (80 - 600) \Rightarrow \Delta U \approx -3,9 \cdot 10^3 \text{ J}$$

d) Pela área do gráfico:



$$A = \frac{10 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,3 - 0,1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 1,4 \cdot 10^3 \Rightarrow |C| = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Como se trata de compressão:  $C = -1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$

e) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow Q = \Delta U + \bar{\zeta} \Rightarrow Q = -3,9 \cdot 10^3 - 1,4 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q = -5,3 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

P.162

a) Dados:  $n = 2$  mols;  $R = 8,31$  J/mol · K;  $T_A = ?$ ;  $T_B = ?$

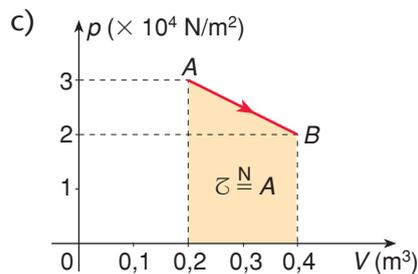
Do gráfico:  $p_A = 3 \cdot 10^4$  N/m<sup>2</sup>;  $V_A = 0,2$  m<sup>3</sup>;  $p_B = 2 \cdot 10^4$  N/m<sup>2</sup>;  $V_B = 0,4$  m<sup>3</sup>

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 3 \cdot 10^4 \cdot 0,2 = 2 \cdot 8,31 \cdot T_A \Rightarrow \boxed{T_A \approx 361 \text{ K}}$$

$$p_B V_B = nRT_B \Rightarrow 2 \cdot 10^4 \cdot 0,4 = 2 \cdot 8,31 \cdot T_B \Rightarrow \boxed{T_B \approx 481 \text{ K}}$$

b)  $\Delta T = T_B - T_A = 481 - 361 \Rightarrow \Delta T = 120$  K

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,31 \cdot 120 \Rightarrow \boxed{\Delta U \approx 3 \cdot 10^3 \text{ J}}$$



Pela área do gráfico:

$$A = \frac{3 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^4}{2} \cdot (0,4 - 0,2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 5 \cdot 10^3$$

Como  $A \stackrel{N}{=} \bar{\zeta}$ , temos:  $\boxed{\bar{\zeta} = 5 \cdot 10^3 \text{ J}}$

d) Aplicando ao processo a primeira lei da Termodinâmica, teremos:

$$\Delta U = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow Q = \Delta U + \bar{\zeta} \Rightarrow Q = 3 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q = 8 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

P.163

Na transformação isotérmica:  $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \bar{\zeta}$

No caso,  $\bar{\zeta} = -600$  J (trabalho realizado sobre o gás).

Portanto, a quantidade de calor cedida pelo gás é  $\boxed{Q = -600 \text{ J}}$

P.164

a) Dados:  $p_1 = 10^5$  N/m<sup>2</sup>;  $T_1 = 500$  K;  $V_1 = 1,66$  m<sup>3</sup>;  $R = 8,3$  J/mol · K

$$p_1 V_1 = nRT_1 \Rightarrow 10^5 \cdot 1,66 = n \cdot 8,3 \cdot 500 \Rightarrow \boxed{n = 40 \text{ mols}}$$

b) Como a expansão é isotérmica ( $\Delta T = 0$ ), a variação de energia interna é nula ( $\Delta U = 0$ ). Então:  $\bar{\zeta} = Q$

Assim, o calor recebido pelo gás ( $Q = 400$  J) é integralmente convertido em

trabalho:  $\boxed{\bar{\zeta} = 400 \text{ J}}$

c) Conforme foi comentado no item anterior:  $\boxed{\Delta U = 0}$

P.165 a) Dados:  $n = 3$  mols;  $A \stackrel{N}{=} 9,5 \cdot 10^4$ ;  $R = 8,31$  J/mol · K

O processo é uma **compressão isotérmica**, pois a curva  $AB$  é uma hipérbole equilátera, que traduz uma proporcionalidade inversa entre pressão ( $p$ ) e volume ( $V$ ), o que é característico da transformação isotérmica.

b) Do gráfico:  $p_A = 1,2 \cdot 10^4$  N/m<sup>2</sup>;  $V_A = 0,6$  m<sup>3</sup>

$$p_A V_A = nRT \Rightarrow 1,2 \cdot 10^4 \cdot 0,6 = 3 \cdot 8,31 \cdot T \Rightarrow T \approx 288,8 \text{ K}$$

c) A variação de energia interna é nula, pois se trata de uma transformação isotérmica:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$$

d) O trabalho tem módulo dado numericamente pela área do gráfico:

$$|\bar{c}| \stackrel{N}{=} A \Rightarrow |\bar{c}| = 9,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Como o processo é uma compressão, esse trabalho é realizado sobre o gás, sendo negativo:

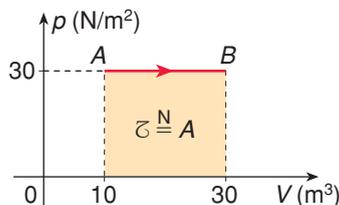
$$\bar{c} = -9,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

e) De  $\Delta U = 0$ , vem  $Q = \bar{c}$ . Portanto:

$$Q = -9,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

O gás **perde**, sob a forma de calor, a energia que recebeu na forma de trabalho, uma vez que não varia sua energia interna.

P.166 a) Dado:  $Q = 1.500$  J



O trabalho realizado pelo gás na expansão  $AB$  é numericamente igual à área do retângulo destacada:

$$\bar{c} = 30 \cdot (30 - 10) \Rightarrow \bar{c} = 600 \text{ J}$$

b) Pela primeira lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \bar{c} = 1.500 - 600 \Rightarrow \Delta U = 900 \text{ J}$$

P.167 a) Dados:  $p = 2 \cdot 10^3$  N/m<sup>2</sup>;  $R = 8,31$  J/mol · K

Do gráfico:  $V_1 = 0,6$  m<sup>3</sup>;  $T_1 = 300$  K

Aplicando a equação de Clapeyron ao estado inicial, temos:

$$pV_1 = nRT_1 \Rightarrow 2 \cdot 10^3 \cdot 0,6 = n \cdot 8,31 \cdot 300 \Rightarrow n \approx 0,48 \text{ mol}$$

b) Do gráfico:  $\Delta V = V_2 - V_1 = 0,2 - 0,6 \Rightarrow \Delta V = -0,4 \text{ m}^3$

O trabalho, numa transformação isobárica, é dado por:

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^3 \cdot (-0,4) \Rightarrow \zeta = -0,8 \cdot 10^3 \text{ J} \Rightarrow \boxed{\zeta = -8 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

c) Como durante o processo o gás perdeu  $2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$  de calor, temos:

$$Q = -2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Por fim, pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \zeta = -2,0 \cdot 10^3 - (-0,8 \cdot 10^3) \Rightarrow \boxed{\Delta U = -1,2 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

**P.168** Dados:  $n = 3 \text{ mols}$ ;  $C_p = 5 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

a) Do gráfico:  $V_A = 2 \text{ m}^3$ ;  $T_A = 200 \text{ K}$

$$pV_A = nRT_A \Rightarrow p \cdot 2 = 3 \cdot 8,31 \cdot 200 \Rightarrow \boxed{p \approx 2,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2}$$

b)  $Q = nC_p \cdot (T_B - T_A) = 3 \cdot 5 \cdot (500 - 200) \Rightarrow$

$$\Rightarrow Q = 4,5 \cdot 10^3 \text{ cal} \Rightarrow Q = 4,5 \cdot 10^3 \cdot 4,18 \text{ J} \Rightarrow \boxed{Q \approx 1,88 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

c) Do gráfico:  $\Delta V = V_B - V_A = 5 - 2 \Rightarrow \Delta V = 3 \text{ m}^3$

Numa expansão isobárica, o trabalho realizado pelo gás é dado por:

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 2,5 \cdot 10^3 \cdot 3 \Rightarrow \boxed{\zeta = 7,5 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

d) Da primeira lei da Termodinâmica, vem:

$$\Delta U = Q - \zeta = 18,8 \cdot 10^3 - 7,5 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U = 11,3 \cdot 10^3 \text{ J} \Rightarrow \boxed{\Delta U = 1,13 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

**P.169** Dado:  $C_p = 5 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$

Pela relação de Mayer:  $C_p - C_v = R$ , em que  $R = 2 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$

Então:

$$5 - C_v = 2 \Rightarrow C_v = 3 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$$

De  $Q_v = n \cdot C_v \cdot \Delta T$ , vem:  $Q_v = 3 \cdot 3 \cdot 300 \Rightarrow$

$$\Rightarrow Q_v = 2,7 \cdot 10^3 \text{ cal} \Rightarrow Q_v = 2,7 \cdot 10^3 \cdot 4,18 \text{ J} \Rightarrow \boxed{Q_v = 1,13 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

**P.170** Se o volume permanece constante, não há realização de trabalho na transformação:

$$\boxed{\zeta = 0}$$

Pela primeira lei da Termodinâmica:  $\Delta U = Q$

Como o gás recebe  $Q = 500 \text{ J}$ , vem:  $\boxed{\Delta U = 500 \text{ J}}$

**P.171** Dados:  $n = 1 \text{ mol}$ ;  $C_v = 2,98 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

a) Do gráfico:  $p_1 = 400 \text{ N/m}^2$ ;  $T_1 = 100 \text{ K}$

$$\text{De } p_1 V = nRT_1, \text{ vem: } 400V = 1 \cdot 8,31 \cdot 100 \Rightarrow V \approx 2,08 \text{ m}^3$$

b)  $Q = n \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) = 1 \cdot 2,98 \cdot (250 - 100) \Rightarrow$

$$\Rightarrow Q = 447 \text{ cal} \Rightarrow Q = 447 \cdot 4,18 \text{ J} \Rightarrow Q \approx 1,87 \cdot 10^3 \text{ J}$$

c) Como a transformação é isocórica:  $\Delta V = 0 \Rightarrow \bar{c} = 0$

$$\text{Então: } \Delta U = Q \Rightarrow \Delta U \approx 1,87 \cdot 10^3 \text{ J}$$

**P.172** Dado:  $Q_{ABC} = 8 \cdot 10^4 \text{ J}$

a) Na etapa AB,  $\bar{c}_{AB} = 0$ , pois o processo é isocórico ( $\Delta V = 0$ ).

b) Na etapa BC, o trabalho é dado por:

$$\bar{c}_{BC} = p \cdot (V_C - V_B) = 5 \cdot 10^4 \cdot (0,7 - 0,3) \Rightarrow \bar{c}_{BC} = 2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

c)  $\bar{c}_{ABC} = \bar{c}_{AB} + \bar{c}_{BC} \Rightarrow \bar{c}_{ABC} = 2 \cdot 10^4 \text{ J}$

d) Pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U_{ABC} = Q_{ABC} - \bar{c}_{ABC} \Rightarrow \Delta U_{ABC} = 8 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^4 \Rightarrow \Delta U_{ABC} = 6 \cdot 10^4 \text{ J}$$

**P.173** a) Sendo o processo adiabático, não há troca de calor com o meio externo:

$$Q = 0$$

b) O trabalho realizado sobre o gás é:  $\bar{c} = -500 \text{ J}$

A variação de energia interna é dada por:

$$\Delta U = -\bar{c} \Rightarrow \Delta U = -(-500) \Rightarrow \Delta U = 500 \text{ J}$$

c) Sendo uma compressão, o **volume diminui**. O aumento da energia interna indica que a **temperatura aumenta**. Como  $\frac{pV}{T} = \text{constante}$ , conclui-se que a **pressão aumenta**.

**P.174** Expansão isobárica: volume aumenta; pressão constante; temperatura aumenta;  $\bar{c} > 0$ ;  $Q > 0$ ;  $\Delta U > 0$ .

Expansão adiabática: volume aumenta; pressão diminui; temperatura diminui;  $\bar{c} > 0$ ;  $Q = 0$ ;  $\Delta U < 0$ .

**P.175** Dados:  $V_1 = 2 \text{ l}$ ;  $p_1 = 16 \text{ atm}$ ;  $V_2 = 8 \text{ l}$ ;  $\gamma = 1,5$

Utilizando esses valores na equação de Poisson, teremos:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \Rightarrow 16 \cdot 2^{1,5} = p_2 \cdot 8^{1,5}$$

Elevando ao quadrado os dois membros da equação, vem:

$$256 \cdot 2^3 = p_2^2 \cdot 8^3 \Rightarrow 256 \cdot 8 = p_2^2 \cdot 512 \Rightarrow p_2^2 = 4 \Rightarrow p_2 = 2 \text{ atm}$$

**P.176** Dados:  $T_1 = 400 \text{ K}$ ;  $T_2 = ?$

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos, temos:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{16 \cdot 2}{400} = \frac{2 \cdot 8}{T_2} \Rightarrow T_2 = 200 \text{ K}$$

**P.177** a) Do gráfico:  $p_A = 1 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ;  $V_A = 8 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3$   
 $p_B = 4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ ;  $V_B = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3$

Da equação geral dos gases perfeitos, vem:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-1}}{T_A} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-1}}{T_B} \Rightarrow T_A = T_B$$

b) Sendo  $T_A = T_B$ , a variação de temperatura, em ambos os processos, é nula.

Portanto:  $\Delta U = 0$

c) O trabalho realizado depende do "caminho" entre os estados inicial e final. Como nas transformações isocóricas o trabalho é nulo, o trabalho total corresponde ao trabalho realizado na transformação isobárica. Teremos:

$$\mathcal{C}_1 = p_1 \cdot \Delta V \text{ e } \mathcal{C}_2 = p_2 \cdot \Delta V$$

Como a variação de volume é a mesma nos dois processos, terá módulo maior o trabalho realizado sob maior pressão:  $p_1 > p_2 \Rightarrow |\mathcal{C}_1| > |\mathcal{C}_2|$

Do gráfico:  $\Delta V = 2 \cdot 10^{-1} - 8 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \Delta V = -6 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3$

$$p_1 = 4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2; p_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\mathcal{C}_1 = p_1 \cdot \Delta V \Rightarrow \mathcal{C}_1 = 4 \cdot 10^3 \cdot (-6 \cdot 10^{-1}) \Rightarrow \mathcal{C}_1 = -2,4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\mathcal{C}_2 = p_2 \cdot \Delta V \Rightarrow \mathcal{C}_2 = 1 \cdot 10^3 \cdot (-6 \cdot 10^{-1}) \Rightarrow \mathcal{C}_2 = -6 \cdot 10^2 \text{ J}$$

d) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \bar{c} \Rightarrow 0 = Q - \bar{c} \Rightarrow Q = \bar{c}$$

Portanto, a quantidade de calor trocada terá módulo maior onde o módulo do

trabalho for maior:  $|\bar{c}_1| > |\bar{c}_2| \Rightarrow |Q_1| > |Q_2|$

Os valores serão:  $Q_1 = -2,4 \cdot 10^3 \text{ J}$  e  $Q_2 = -6 \cdot 10^2 \text{ J}$

**P.178**

a)  $T_A > T_B$ , pois  $T_A$  corresponde à isoterma mais afastada dos eixos.

b) Como nos três processos as temperaturas inicial e final são as mesmas, a variação de temperatura ( $\Delta T = T_B - T_A$ ) é a mesma. Portanto, nos três processos

ocorre a mesma variação de energia interna:  $\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3$

c) No gráfico, a área compreendida entre as curvas que representam as transformações e o eixo das abscissas é numericamente igual aos trabalhos realizados.

Portanto:

$$\bar{c}_1 > \bar{c}_2 > \bar{c}_3 \quad \text{ou} \quad \bar{c}_3 < \bar{c}_2 < \bar{c}_1$$

d) Considerando que as variações de energia interna são iguais, as diferenças  $Q - \bar{c}$  devem ser iguais, pois  $\Delta U = Q - \bar{c}$ . Então, ao maior trabalho deve corresponder também a maior quantidade de calor trocada:

$$Q_1 > Q_2 > Q_3 \quad \text{ou} \quad Q_3 < Q_2 < Q_1$$

**P.179**

Dados:  $n = 2 \text{ mols}$ ;  $\Delta T = 450 - 300 \Rightarrow \Delta T = 150 \text{ K}$ ;  $C_p = 20,75 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;

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

**1ª solução:**

$$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8,3 \cdot 150 \Rightarrow \Delta U = 3.735 \text{ J}$$

Como  $\bar{c} = -\Delta U$ , vem:  $\bar{c} = -3.735 \text{ J}$

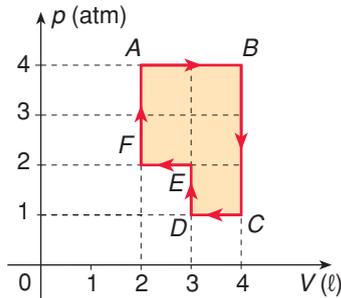
**2ª solução:**

$$\Delta U = n \cdot C_v \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = n \cdot (C_p - R) \cdot \Delta T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U = 2 \cdot (20,75 - 8,3) \cdot 150 \Rightarrow \Delta U = 3.735 \text{ J}$$

Como  $\bar{c} = -\Delta U$ , vem:  $\bar{c} = -3.735 \text{ J}$

P.180 Dados:  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $1 \ell = 10^{-3} \text{ m}^3$

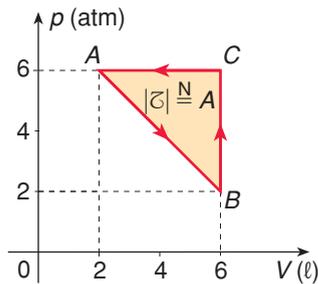


A área assinalada no gráfico equivale numericamente ao trabalho realizado no ciclo:

$$A \stackrel{N}{=} \bar{\zeta} = 5 \cdot (1 \text{ atm} \cdot \ell) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{\zeta} = 5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\bar{\zeta} = 5 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

P.181 Dados:  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  $1 \ell = 10^{-3} \text{ m}^3$



A área assinalada no gráfico equivale numericamente ao módulo do trabalho:

$$A \stackrel{N}{=} |\bar{\zeta}| = \frac{(6 - 2) \cdot (6 - 2)}{2} \Rightarrow |\bar{\zeta}| = 8 \text{ atm} \cdot \ell$$

Como o trabalho realizado na compressão CA tem módulo maior que o trabalho realizado na expansão AB ( $|\bar{\zeta}_{CA}| > |\bar{\zeta}_{AB}|$ ), o trabalho total  $\bar{\zeta}$  é negativo ( $\bar{\zeta} = -8 \text{ atm} \cdot \ell$ ).

Para exprimir em joules:

$$\bar{\zeta} = -8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\bar{\zeta} = -8 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

No ciclo, é nula a variação de energia interna ( $\Delta U = 0$ ). Assim, pela primeira lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow 0 = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow Q = \bar{\zeta} \Rightarrow \boxed{Q = -8 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

Como o ciclo é realizado no sentido anti-horário, há **conversão de trabalho em calor**.

P.182 a) Dados:  $p = 4 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$ ;  $\Delta V = (1,2 - 0,2) \text{ m}^3 = 1,0 \text{ m}^3$

O trabalho realizado na expansão AB é dado por:

$$\bar{\zeta}_{AB} = p \cdot \Delta V = 4 \cdot 10^2 \cdot 1,0 \Rightarrow \boxed{\bar{\zeta}_{AB} = 4 \cdot 10^2 \text{ J}} \text{ (trabalho realizado pelo gás)}$$

O processo BC é isocórico. Assim, não há realização de trabalho:  $\boxed{\bar{\zeta}_{BC} = 0}$

Para a compressão CD, temos:  $p = 2 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$ ;  $\Delta V = (0,2 - 1,2) \text{ m}^3 = -1,0 \text{ m}^3$

$$\bar{\zeta}_{CD} = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^2 \cdot (-1,0) \Rightarrow \boxed{\bar{\zeta}_{CD} = -2 \cdot 10^2 \text{ J}} \text{ (trabalho realizado sobre o gás)}$$

O processo DA é isocórico. Portanto:  $\boxed{\bar{\zeta}_{DA} = 0}$

- b) Expansão  $AB$ :  $V$  aumenta  $\Rightarrow T$  aumenta  $\Rightarrow U$  aumenta  
 Processo  $BC$ :  $p$  diminui  $\Rightarrow T$  diminui  $\Rightarrow U$  diminui  
 Compressão  $CD$ :  $V$  diminui  $\Rightarrow T$  diminui  $\Rightarrow U$  diminui  
 Processo  $DA$ :  $p$  aumenta  $\Rightarrow T$  aumenta  $\Rightarrow U$  aumenta  
 Portanto, a energia interna ( $U$ ) aumenta nas transformações  $AB$  e  $DA$  e diminui nas transformações  $BC$  e  $CD$ .
- c) Como o ciclo é realizado no sentido horário, há **conversão de calor em trabalho**. Esse raciocínio se baseia no fato de que o trabalho na expansão  $AB$  tem módulo maior que o trabalho realizado na compressão  $CD$ .
- d) Trabalho no ciclo:  $\bar{\tau} = \bar{\tau}_{AB} + \bar{\tau}_{BC} + \bar{\tau}_{CD} + \bar{\tau}_{DA} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow \bar{\tau} = 4 \cdot 10^2 + 0 - 2 \cdot 10^2 + 0 \Rightarrow \bar{\tau} = 2 \cdot 10^2 \text{ J}$
- Chega-se ao mesmo resultado pelo cálculo da área interna do ciclo ( $A \stackrel{N}{=} \bar{\tau}$ ).  
 $A = \text{base} \times \text{altura} = (1,2 - 0,2) \cdot (4 - 2) \cdot 10^2 = 2 \cdot 10^2 \Rightarrow \bar{\tau} = 2 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 Como é nula a variação de energia interna no ciclo ( $\Delta U = 0$ ), temos:  
 $Q = \bar{\tau} \Rightarrow Q = 2 \cdot 10^2 \text{ J}$

**P.183** O trabalho total, realizado no intervalo de tempo  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , vale:

$$\bar{\tau}_{\text{total}} = 4\bar{\tau} = 4 \cdot 2 \cdot 10^2 \Rightarrow \bar{\tau}_{\text{total}} = 8 \cdot 10^2 \text{ J}$$

A potência da máquina é dada por:

$$Pot = \frac{\bar{\tau}_{\text{total}}}{\Delta t} = \frac{8 \cdot 10^2}{1} \Rightarrow Pot = 8 \cdot 10^2 \text{ W}$$

**P.184** a) Compressão  $AB$ :  $p = 3 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ;  $\Delta V = (0,2 - 0,7) \text{ m}^3 = -0,5 \text{ m}^3$

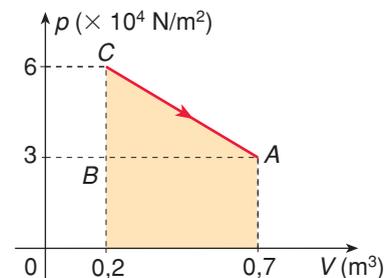
$$\bar{\tau}_{AB} = p \cdot \Delta V = 3 \cdot 10^4 \cdot (-0,5) \Rightarrow \bar{\tau}_{AB} = -1,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

O processo  $BC$  é isocórico. Logo:  $\bar{\tau}_{BC} = 0$

Na expansão  $CA$ , o trabalho é dado numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico:

$$\bar{\tau}_{CA} = \frac{6 \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^4}{2} \cdot (0,7 - 0,2)$$

$$\bar{\tau}_{CA} = 2,25 \cdot 10^4 \text{ J}$$



- b) Como o ciclo é percorrido no **sentido horário**, há **conversão de calor em trabalho**.

c) O trabalho  $\bar{c}$  por ciclo vale:

$$\bar{c} = \bar{c}_{AB} + \bar{c}_{BC} + \bar{c}_{CA} = -1,5 \cdot 10^4 + 0 + 2,25 \cdot 10^4 \Rightarrow \bar{c} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ J}$$

d)  $\bar{c}_{\text{total}} = 8\bar{c} = 8 \cdot 7,5 \cdot 10^3 \Rightarrow \bar{c}_{\text{total}} = 60 \cdot 10^3 \text{ J}$

Sendo  $\Delta t = 5 \text{ s}$ , obtemos:

$$Pot = \frac{\bar{c}_{\text{total}}}{\Delta t} = \frac{60 \cdot 10^3}{5} \Rightarrow Pot = 12 \cdot 10^3 \text{ W} \Rightarrow Pot = 1,2 \cdot 10^4 \text{ W}$$

**P.185** Dados:  $Q_1 = 1.600 \text{ kcal}$  (calor recebido da fonte quente)

$Q_2 = 1.400 \text{ kcal}$  (calor rejeitado para a fonte fria)

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1.400}{1.600} \Rightarrow \eta = 1 - 0,875 \Rightarrow \eta = 0,125 = 12,5\%$$

**P.186** O rendimento é:  $\eta = \frac{1}{4} = 0,25$ .

A potência útil é  $Pot = 800 \text{ kW}$ , isto é, o trabalho útil em um segundo é  $\bar{c} = 800 \text{ kJ}$ .

$$\text{a) } \eta = \frac{\bar{c}}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = \frac{\bar{c}}{\eta} \Rightarrow Q_1 = \frac{800}{0,25} \Rightarrow Q_1 = 3.200 \text{ kJ} \Rightarrow Q_1 = 3,2 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

$$\text{b) } Q_2 = Q_1 - \bar{c} \Rightarrow Q_2 = 3.200 - 800 \Rightarrow Q_2 = 2.400 \text{ kJ} \Rightarrow Q_2 = 2,4 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

**P.187** Dados:  $Q_2 = 50 \text{ cal}$ ;  $Q_1 = 75 \text{ cal}$

$$\bar{c} = Q_1 - Q_2 = 75 - 50 \Rightarrow \bar{c} = 25 \text{ cal} = 25 \cdot 4,18 \text{ J} \Rightarrow \bar{c} = 104,5 \text{ J}$$

$$\text{Eficiência: } e = \frac{Q_2}{\bar{c}} \Rightarrow e = \frac{50}{25} \Rightarrow e = 2$$

**P.188** Dados:  $T_1 = (327 + 273) \text{ K} = 600 \text{ K}$ ;  $T_2 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

Com esses valores, obtemos:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{600} \Rightarrow \eta = 1 - 0,5 \Rightarrow \eta = 0,5 = 50\%$$

**P.189** Dados:  $T_1 = (100 + 273) \text{ K} = 373 \text{ K}$ ;  $T_2 = (0 + 273) \text{ K} = 273 \text{ K}$ ;

$Q_1 = 1.000 \text{ cal}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

$$a) \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} \approx 1 - 0,732 \Rightarrow \eta \approx 0,268 = 26,8\%$$

$$b) \eta = \frac{\bar{c}}{Q_1} \Rightarrow \bar{c} = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \bar{c} = 0,268 \cdot 1.000 \Rightarrow \bar{c} = 268 \text{ cal}$$

$$\bar{c} = 268 \cdot 4,18 \text{ J} \Rightarrow \bar{c} \approx 1.120 \text{ J}$$

$$c) Q_2 = Q_1 - \bar{c} = 1.000 - 268 \Rightarrow Q_2 = 732 \text{ cal}$$

**P.190** Dados:  $\theta_1 = 327^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = (327 + 273) \text{ K} = 600 \text{ K}$ ;  
 $\theta_2 = 127^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = (127 + 273) \text{ K} = 400 \text{ K}$ ;  
 $Q_1 = 200 \text{ J}$ ;  $Q_2 = 160 \text{ J}$

$$a) \bar{c} = Q_1 - Q_2 = 200 - 160 \Rightarrow \bar{c} = 40 \text{ J}$$

$$b) \eta = \frac{\bar{c}}{Q_1} = \frac{40}{200} \Rightarrow \eta = 0,20 = 20\%$$

$$c) \eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{400}{600} = 1 - 0,67 \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 0,33 = 33\%$$

**P.191** Dados:  $T_1 = 400 \text{ K}$ ;  $T_2 = 300 \text{ K}$ ;  $Q_1 = 600 \text{ cal}$

$$a) \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 1 - 0,75 \Rightarrow \eta = 0,25 = 25\%$$

$$b) \eta = \frac{\bar{c}}{Q_1} \Rightarrow \bar{c} = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \bar{c} = 0,25 \cdot 600 \Rightarrow \bar{c} = 150 \text{ cal}$$

$$Q_2 = Q_1 - \bar{c} = 600 - 150 \Rightarrow Q_2 = 450 \text{ cal}$$

**P.192** a) Dados:  $Q_1 = 10^5 \text{ cal}$ ;  $\bar{c} = 5 \cdot 10^4 \text{ cal}$

$$\eta = \frac{\bar{c}}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{5 \cdot 10^4}{10^5} \Rightarrow \eta = 0,5 = 50\%$$

b) Dados:  $T_2 = (177 + 273) \text{ K} = 450 \text{ K}$ ;  $T_1 = (227 + 273) \text{ K} = 500 \text{ K}$

$$\eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{450}{500} \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 0,1 = 10\%$$

**A máquina não pode existir**, pois, necessariamente, devemos ter:  $\eta \leq \eta_{\text{máx.}}$

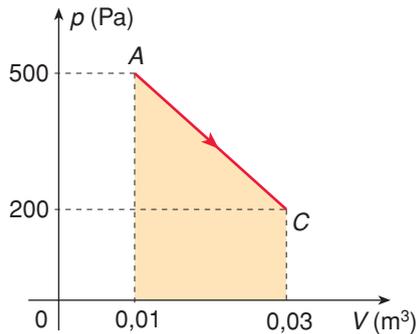
**P.193** Do gráfico:  $p_A = 500 \text{ Pa}$ ;  $V_A = 0,01 \text{ m}^3$ ;  $p_C = 200 \text{ Pa}$ ;  $V_C = 0,03 \text{ m}^3$   
 Calculando a energia interna em A e C:

$$U_A = 10 + 2p_A \cdot V_A = 10 + 2 \cdot 500 \cdot 0,01 \Rightarrow U_A = 20 \text{ J}$$

$$U_C = 10 + 2p_C \cdot V_C = 10 + 2 \cdot 200 \cdot 0,03 \Rightarrow U_C = 22 \text{ J}$$

A variação de energia interna no processo AC vale:

$$\Delta U = U_C - U_A = 22 - 20 \Rightarrow \Delta U = 2 \text{ J}$$



O trabalho realizado no processo AC é dado numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico ( $\overline{\tau} \stackrel{N}{=} A$ ):

$$\overline{\tau} = \frac{500 + 200}{2} \cdot (0,03 - 0,01) \Rightarrow \overline{\tau} = 7 \text{ J}$$

De  $\Delta U = Q - \overline{\tau}$ , vem:

$$Q = \Delta U + \overline{\tau} \Rightarrow Q = 2 + 7 \Rightarrow \boxed{Q = 9 \text{ J}}$$

- P.194** a) O trabalho no processo ABC é igual ao trabalho na transformação isobárica AB, pois o trabalho na transformação isocórica BC é nulo:

$$\overline{\tau}_{ABC} = \overline{\tau}_{AB} + \overline{\tau}_{BC} \Rightarrow \overline{\tau}_{ABC} = \overline{\tau}_{AB}$$

$$\text{Mas: } \overline{\tau}_{AB} = 4 \cdot 10^5 \cdot (4 - 2) \Rightarrow \overline{\tau}_{AB} = 8 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\text{Portanto: } \boxed{\overline{\tau}_{ABC} = 8 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

- b)  $T_c = T_A$  (mesma isoterma)  $\Rightarrow U_c = U_A$

Portanto, é nula a variação de energia interna no processo ABC:  $\Delta U_{ABC} = 0$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U_{ABC} = Q_{ABC} - \overline{\tau}_{ABC} \Rightarrow 0 = Q_{ABC} - \overline{\tau}_{ABC} \Rightarrow Q_{ABC} = \overline{\tau}_{ABC} \Rightarrow \boxed{Q_{ABC} = 8 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

- P.195** a) No estado A, temos:  $V_A = 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ ;  $p_A = 8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ;  
 $m = 640 \text{ g}$ ;  $M = 32 \text{ g/mol}$ ;  $R = 8,2 \text{ J/mol K}$   
Aplicando a equação de Clapeyron, obtemos:

$$p_A V_A = \frac{m}{M} RT \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 2,05 \cdot 10^{-2} = \frac{640}{32} \cdot 8,2 \cdot T \Rightarrow \boxed{T = 100 \text{ K}}$$

- b) O trabalho é dado pela área do trapézio:

$$\overline{\tau} = \frac{8 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5}{2} \cdot (4,10 \cdot 10^{-2} - 2,05 \cdot 10^{-2})$$

$$\overline{\tau} = 6 \cdot 10^5 \cdot 2,05 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{\overline{\tau} = 12.300 \text{ J}}$$

- c)  $\Delta U = 0 \Rightarrow \Delta Q = \overline{\tau} \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 12.300 \text{ J}}$

**P.196** Dados:  $p_1 = 2,0 \text{ atm}$ ;  $V_1 = 2,0 \text{ l}$ ;  $T_1 = (21 + 273) \text{ K} = 294 \text{ K}$ ;  
 $p_2 = ?$ ;  $V_2 = 2V_1 = 4,0 \text{ l}$ ;  $\gamma = 2,0$ ;  $T_2 = ?$

Da lei de Poisson, vem:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \Rightarrow 2,0 \cdot (2,0)^2 = p_2 \cdot (4,0)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2,0 \cdot 4,0 = p_2 \cdot 16 \Rightarrow \boxed{p_2 = 0,50 \text{ atm}}$$

Aplicando-se a lei geral dos gases perfeitos, obtemos:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2,0 \cdot 2,0}{294} = \frac{0,50 \cdot 4,0}{T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = 147 \text{ K} \Rightarrow \theta_2 = (147 - 273) \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \boxed{\theta_2 = -126 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**P.197** a) Dados:  $U_A = 1.000 \text{ J}$ ;  $U_B = 2.000 \text{ J}$

Nas três transformações indicadas, os estados inicial e final são os mesmos. Portanto, em qualquer delas, a variação de energia interna é dada por:

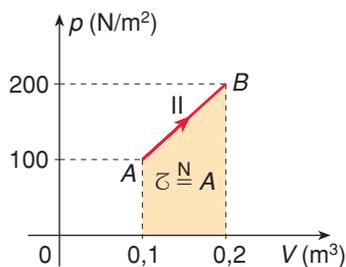
$$\Delta U = U_B - U_A = 2.000 - 1.000 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 1.000 \text{ J}}$$

b) O trabalho na transformação I corresponde ao trabalho realizado no processo isobárico, sob pressão  $p = 200 \text{ N/m}^2$  e com variação de volume dada por:

$$\Delta V = (0,2 - 0,1) \text{ m}^3 = 0,1 \text{ m}^3$$

$$\text{Portanto: } \bar{c}_I = p \cdot \Delta V = 200 \cdot 0,1 \Rightarrow \boxed{\bar{c}_I = 20 \text{ J}}$$

Como se trata de uma expansão, **o trabalho foi realizado pelo gás.**



Na transformação II, o trabalho é medido numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico ( $\bar{c} \stackrel{N}{=} A$ ):

$$\bar{c}_{II} = \frac{200 + 100}{2} \cdot (0,2 - 0,1) \Rightarrow \boxed{\bar{c}_{II} = 15 \text{ J}}$$

Sendo também uma expansão, **o trabalho foi realizado pelo gás.**

O trabalho na transformação III corresponde ao trabalho no processo isobárico, sob pressão  $p = 100 \text{ N/m}^2$  e com variação de volume dada por:

$$\Delta V = (0,2 - 0,1) \text{ m}^3 = 0,1 \text{ m}^3$$

$$\text{Portanto: } \bar{c}_{III} = p \Delta V = 100 \cdot 0,1 \Rightarrow \boxed{\bar{c}_{III} = 10 \text{ J}}$$

Esse trabalho foi realizado **pelo gás**, pois também se trata de uma expansão.

c) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \bar{c} \Rightarrow Q = \Delta U + \bar{c}$$

Então:

$$Q_I = \Delta U + \tau_I = 1.000 + 20 \Rightarrow Q_I = 1.020 \text{ J}$$

$$Q_{II} = \Delta U + \tau_{II} = 1.000 + 15 \Rightarrow Q_{II} = 1.015 \text{ J}$$

$$Q_{III} = \Delta U + \tau_{III} = 1.000 + 10 \Rightarrow Q_{III} = 1.010 \text{ J}$$

**P.198** Calculando o trabalho em cada uma das transformações:

$$\tau_{AB} = -\frac{p_2 + p_1}{2} \cdot (2V_0 - V_0) \Rightarrow \tau_{AB} = -\frac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0$$

$$\tau_{BC} = p_2 \cdot (5V_0 - V_0) \Rightarrow \tau_{BC} = 4p_2V_0$$

$$\tau_{CD} = \frac{p_2 + p_1}{2} (6V_0 - 5V_0) \Rightarrow \tau_{CD} = \frac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0$$

$$\tau_{DA} = -p_1 \cdot (6V_0 - 2V_0) \Rightarrow \tau_{DA} = -4p_1V_0$$

O trabalho total (no ciclo) é a soma dos trabalhos em cada etapa:

$$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{CD} + \tau_{DA} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau = -\frac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0 + 4p_2V_0 + \frac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0 - 4p_1V_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau = 4p_2V_0 - 4p_1V_0 \Rightarrow \tau = 4V_0 \cdot (p_2 - p_1)$$

Chega-se ao mesmo resultado calculando-se a área interna do ciclo (área do paralelogramo).

**P.199** Na expansão isotérmica  $AB$ , temos:  $Q_{AB} = 64 \text{ J}$

Como a variação de energia interna é nula, vem:

$$\Delta U_{AB} = 0 \Rightarrow \tau_{AB} = Q_{AB} \Rightarrow \tau_{AB} = 64 \text{ J}$$

Na compressão isobárica  $BC$ , sob pressão  $p = 2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , o gás sofre a seguinte variação de volume:  $\Delta V = (20 - 70) \text{ cm}^3 = -50 \text{ cm}^3 \Rightarrow \Delta V = -50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

O trabalho realizado sobre o gás vale:

$$\tau_{BC} = p \cdot \Delta V = 2,0 \cdot 10^5 \cdot (-50 \cdot 10^{-6}) \Rightarrow \tau_{BC} = -10 \text{ J}$$

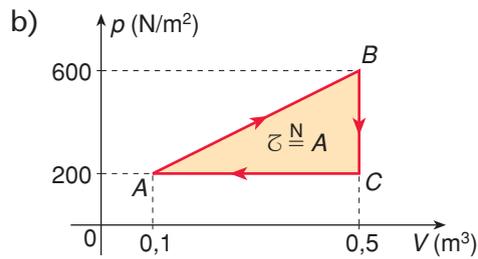
Na transformação isocórica  $CA$ , temos:  $\tau_{CA} = 0$

O trabalho total produzido pelo gás durante o ciclo  $ABCA$  é dado por:

$$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{CA} = 64 - 10 + 0 \Rightarrow \tau = 54 \text{ J}$$

**P.200** a) Como o estado final ( $A$ ) coincide com o estado inicial ( $A$ ), a variação de energia

interna no ciclo  $ABCA$  é nula:  $\Delta U = 0$



O trabalho realizado pelo gás no ciclo é dado numericamente pela área interna  $A$  do ciclo, conforme é assinalado no gráfico:

$$\bar{\zeta} = \frac{(0,5 - 0,1) \cdot (600 - 200)}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\bar{\zeta} = 80 \text{ J}}$$

c) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow 0 = Q - \bar{\zeta} \Rightarrow Q = \bar{\zeta} \Rightarrow \boxed{Q = 80 \text{ J}}$$

P.201

a) I. O gás realiza trabalho positivo quando se expande. Portanto, o trabalho é positivo apenas no **trecho KL**.

II. A transformação  $KL$  é isotérmica. Então, o calor trocado é igual ao trabalho realizado. Como  $\bar{\zeta}_{KL} > 0 \Rightarrow Q_{KL} > 0$ , isto é, **o gás absorve calor**.

Na transformação  $LM$  (isocórica), o gás não realiza trabalho. Como a temperatura aumenta (pois a pressão aumenta), o mesmo ocorre com a energia interna. Para isso, **o gás deve absorver calor**:

$$\Delta U_{LM} > 0 \Rightarrow Q_{LM} > 0$$

b) I. No processo  $NK$  há uma diminuição de pressão e, portanto, uma diminuição de temperatura. Como a temperatura em  $K$  é igual à temperatura em  $L$ , concluímos que:

$$\boxed{T_N > T_L}$$

II. Como o ciclo  $KLMNK$  está sendo realizado no sentido anti-horário, está ocorrendo **conversão de trabalho em calor**. Portanto, esse ciclo só pode corresponder ao funcionamento de um **refrigerador**.

P.202

A área interna do ciclo, que equivale numericamente ao trabalho realizado pelo gás no ciclo, corresponde à soma das áreas de quatro "quadrinhos" de lados  $0,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  e  $1,0 \text{ m}^3$ . Assim:

$$\bar{\zeta} = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1,0 \Rightarrow \bar{\zeta} = 2,0 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Em 50 ciclos de operação, o trabalho total vale:

$$\bar{\zeta}_{\text{total}} = 50 \cdot \bar{\zeta} = 50 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \Rightarrow \bar{\zeta}_{\text{total}} = 100 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Expressando em  $10^6 \text{ J}$ , temos:  $\boxed{\bar{\zeta}_{\text{total}} = 10 \cdot 10^6 \text{ J}}$

P.203

a) Dados:  $n = 0,32 \text{ mol}$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ ;

$$C_V = 20,775 \text{ J/mol} \cdot \text{K}; T_3 = 300,84 \text{ K}$$

$$p_1 V_1 = nRT_1 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,32 \cdot 8,31 \cdot T_1 \Rightarrow T_1 \approx 601,7 \text{ K}$$

$$p_2 V_2 = nRT_2 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,32 \cdot 8,31 \cdot T_2 \Rightarrow T_2 \approx 2.406,7 \text{ K}$$

$$p_3 V_3 = nRT_3 \Rightarrow p_3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,32 \cdot 8,31 \cdot 300,84 \Rightarrow p_3 \approx 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{b) } \bar{c} \stackrel{\text{N}}{=} \text{área} = \frac{7 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{2} \Rightarrow \bar{c} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\text{c) No processo } 3 \rightarrow 1: \Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta U = 0,32 \cdot 20,775 \cdot (601,7 - 300,84) \Rightarrow \Delta U \approx 2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$\bar{c}_{3 \rightarrow 1} = - \left[ \frac{(8 + 1) \cdot 10^5}{2} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \right] \Rightarrow \bar{c}_{3 \rightarrow 1} = -2,7 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \bar{c} \Rightarrow 2,0 \cdot 10^3 = Q - (-2,7 \cdot 10^3) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = -0,7 \cdot 10^3 \text{ J} \Rightarrow Q = -7,0 \cdot 10^2 \text{ J}$$

- P.204** a) Dados:  $Q_1 = 5,0 \cdot 10^5 \text{ J}$  (calor transferido para a fonte quente);  
 $\bar{c} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ J}$  (trabalho do compressor)

De  $Q_2 = Q_1 - \bar{c}$ , vem:

$$Q_2 = 5,0 \cdot 10^5 - 1,0 \cdot 10^5 \Rightarrow Q_2 = 4,0 \cdot 10^5 \text{ J}$$

- b) Como se trata de um refrigerador ideal, ele funciona realizando o ciclo de Carnot.

Sendo  $\theta_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:

$$T_1 = \theta_1 + 273 = 30 + 273 \Rightarrow T_1 = 303 \text{ K}$$

De  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ , vem:

$$\frac{5,0 \cdot 10^5}{303} = \frac{4,0 \cdot 10^5}{T_2} \Rightarrow T_2 = 242,4 \text{ K}$$

$$\text{ou } \theta_2 = T_2 - 273 = 242,4 - 273 \Rightarrow \theta_2 = -30,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

- P.205** a) Como a transformação  $BC$  é isotérmica, o produto  $pV$  se mantém constante. Então:

$$p_c \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow p_c = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Sendo  $T_A = 300 \text{ K}$  e isobárica a transformação  $AB$ , temos:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{4 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{T_B} \Rightarrow T_B = 600 \text{ K}$$

b) O trabalho líquido envolvido no ciclo é a soma algébrica dos trabalhos nas transformações  $AB$ ,  $BC$  e  $CA$ :

$$\zeta = \zeta_{AB} + \zeta_{BC} + \zeta_{CA} \quad \textcircled{1}$$

Cálculo de  $\zeta_{AB}$ :

$$\zeta_{AB} = 2 \cdot 10^5 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}) \Rightarrow \zeta_{AB} = 8 \cdot 10^2 \text{ J} = 800 \text{ J}$$

O módulo do trabalho na transformação  $BC$  é  $1.100 \text{ J}$ ; mas, como se trata de uma compressão, temos:  $\zeta_{BC} = -1.100 \text{ J}$

O trabalho na transformação  $CA$  (isocórica) é nulo:  $\zeta_{CA} = 0$

Substituindo em  $\textcircled{1}$ , obtemos:

$$\zeta = 800 - 1.100 + 0 \Rightarrow \boxed{\zeta = -300 \text{ J}}$$

c) Na transformação  $AB$ , o calor trocado é  $Q_{AB} = 2.800 \text{ J}$  e o trabalho realizado é  $\zeta_{AB} = 800 \text{ J}$ . Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, vem:

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - \zeta_{AB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = 2.800 - 800 \Rightarrow \boxed{\Delta U_{AB} = 2.000 \text{ J}}$$

**P.206** Dados:  $T_1 = 1.600 \text{ K}$ ;  $T_2 = 400 \text{ K}$ ;

$$Pot_{\text{útil}} = 4 \text{ cv} = 4 \cdot 740 \text{ W} \Rightarrow Pot_{\text{útil}} = 2.960 \text{ W};$$

$$Pot_{\text{total}} = 1.480 \text{ cal/s} = 1.480 \cdot 4 \text{ J/s} \Rightarrow Pot_{\text{total}} = 5.920 \text{ W}$$

a)  $\eta = \frac{Pot_{\text{útil}}}{Pot_{\text{total}}} = \frac{2.960}{5.920} \Rightarrow \boxed{\eta = 0,50 (50\%)}$

b)  $\eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{400}{1.600} = 1 - 0,25 \Rightarrow \boxed{\eta_{\text{máx.}} = 0,75 (75\%)}$

c) **O motor é teoricamente viável**, pois apresenta rendimento menor que o rendimento máximo dado pelo motor de Carnot ( $\eta < \eta_{\text{máx.}}$ ).

**P.207** a) Dados:  $T_{\text{mín.}} = 27 \text{ }^\circ\text{C} = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ;

$$T_{\text{máx.}} = 1.227 \text{ }^\circ\text{C} = (1.227 + 273) \text{ K} = 1.500 \text{ K}$$

O rendimento máximo teórico vale:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{mín.}}}{T_{\text{máx.}}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{1.500} \Rightarrow \eta = 1 - 0,2 \Rightarrow \eta = 0,8 = 80\%$$

A energia total obtida é dada por:

$$Q_1 = 7.200 \cdot 5,0 \cdot 10^7 \Rightarrow Q_1 = 3,6 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

O trabalho máximo obtido é dado por:

$$\eta = \frac{\zeta}{Q_1} \Rightarrow \zeta = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \zeta = 0,8 \cdot 3,6 \cdot 10^{11} \text{ J} \Rightarrow \zeta = 2,88 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Como o intervalo de tempo é  $\Delta t = 1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$ , a potência máxima vale:

$$Pot_{\text{máx.}} = \frac{C}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{\text{máx.}} = \frac{2,88 \cdot 10^{11}}{3.600} \Rightarrow Pot_{\text{máx.}} = 8 \cdot 10^7 \text{ W}$$

A potência gerada é a metade desse valor:

$$Pot_{\text{gerada}} = \frac{Pot_{\text{máx.}}}{2} \Rightarrow Pot_{\text{gerada}} = \frac{8 \cdot 10^7}{2} \Rightarrow Pot_{\text{gerada}} = 4 \cdot 10^7 \text{ W}$$

- b) Como a energia útil gerada pela usina é metade da máxima teórica possível, ela corresponde a 40% da energia total (50% de 80% = 40%). Então, a energia dissipada é 60% da energia total:

$$Q_d = 0,6 \cdot Q_{\text{máx.}} = 0,6 \cdot 8 \cdot 10^7 \Rightarrow Q_d = 4,8 \cdot 10^7 \text{ J}$$

$$\text{Em 1 hora: } E_d = 0,6 \cdot Q_1 = 0,6 \cdot 3,6 \cdot 10^{11} \Rightarrow E_d = 2,16 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Por regra de três simples e direta, sendo  $1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$ , vem:

$$\left. \begin{array}{l} 2,16 \cdot 10^{11} \text{ J} \text{ — } 3.600 \text{ s} \\ Q_d \text{ — } 1 \text{ s} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_d = 6 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Sendo  $m = 5.000 \text{ kg}$  (pois  $d_A = 1 \text{ kg}/\ell$ ) e  $c = 4.000 \text{ J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ , vem:

$$Q_d = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 6 \cdot 10^7 = 5.000 \cdot 4.000 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

**P.208** Em anos-luz, as distâncias astronômicas são expressas por números menores que em metros.

**P.209**  $d = 15 \text{ anos-luz} = 15 \cdot 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km} = 1,425 \cdot 10^{14} \text{ km}$

**P.210** a) A distância do planeta da estrela Alfa à Terra é de 4,3 anos-luz. Significa que a nave, se fosse possível viajar com a velocidade da luz, levaria 4,3 anos na ida e 4,3 anos na volta, totalizando 8,6 anos.

b)  $4,3 \text{ anos-luz} = 4,3 \cdot 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 3,2 \cdot 10^7 \text{ s} \approx 4,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$

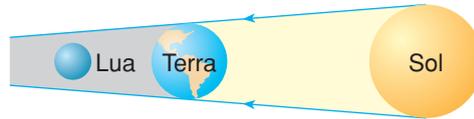
**P.211** Um corpo opaco tem cor azul ao ser iluminado pela luz solar, porque reflete difusamente a luz azul e absorve as demais. Iluminando-o com luz vermelha, o corpo a absorve e apresenta-se **negro**.

**P.212** Sob luz solar, os corpos A, B e C apresentam-se, respectivamente, nas cores vermelha, verde e branca. Iluminando-os com luz vermelha, temos: o **corpo A** apresenta-se **vermelho**, pois reflete difusamente a luz vermelha; o **corpo B** apresenta-se **negro**, pois absorve a luz vermelha; o **corpo C** apresenta-se **vermelho**, pois reflete a luz de qualquer cor nele incidente.

**P.213** Sob luz solar, a bandeira brasileira apresenta-se nas cores verde (retângulo), amarela (losango), azul (círculo) e branca (faixa central). Iluminadas com luz verde monocromática, as quatro cores citadas apresentam-se, respectivamente, verde, negra, negra e verde. Portanto, a bandeira é vista **verde e negra**.

**P.214** a) Sol, Terra e Lua.  
b) Anteparo: Terra. Fonte: Sol. Obstáculo: Lua.

- P.215 a) O eclipse total da Lua ocorre quando ela penetra na região de sombra da Terra determinada pelo Sol.

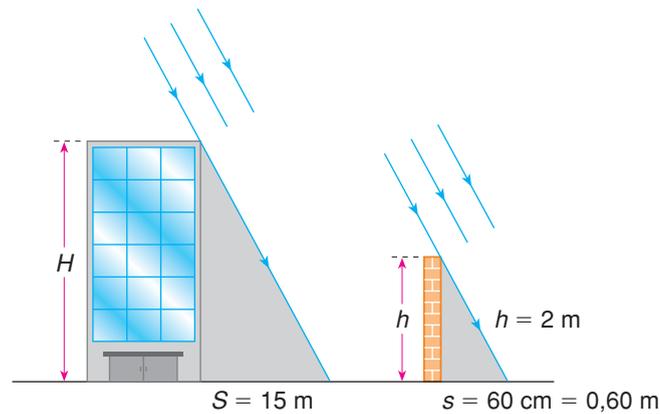


- b) A propagação retilínea da luz.

- P.216 A partir da semelhança dos triângulos destacados nas figuras, temos:

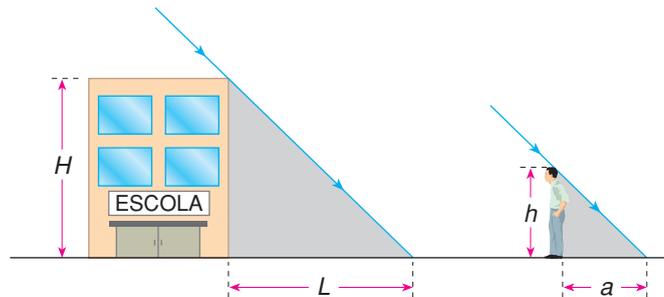
$$\frac{H}{h} = \frac{S}{s} \Rightarrow \frac{H}{2} = \frac{15}{0,60}$$

$$H = 50 \text{ m}$$



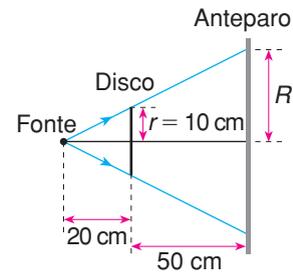
- P.217 Por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{H}{h} = \frac{L}{a} \Rightarrow \frac{22,1}{h} = \frac{10,4}{0,8} \Rightarrow h = 1,7 \text{ m}$$



**P.218** Por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{R}{r} = \frac{70}{20} \Rightarrow \frac{R}{10} = \frac{70}{20} \Rightarrow R = 35 \text{ cm}$$

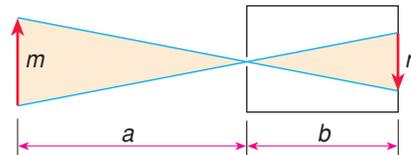


**P.219** Por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$$

$$1^{\circ}) \frac{m}{20} = \frac{10}{b} \quad \textcircled{1}$$

$$2^{\circ}) \frac{m}{n} = \frac{8}{b} \quad \textcircled{2}$$

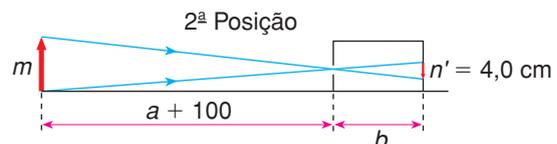
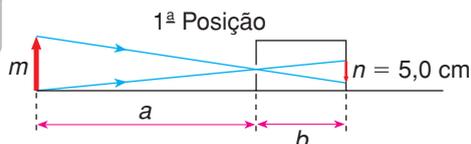


Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ :  $\frac{n}{20} = \frac{10}{8} \Rightarrow n = 25 \text{ cm}$

A altura da imagem passa de 20 cm para 25 cm. Há um aumento de 5 cm num total de 20 cm.

Logo, o aumento porcentual no tamanho da imagem será:  $\frac{5}{20} = 0,25 = 25\%$

**P.220**

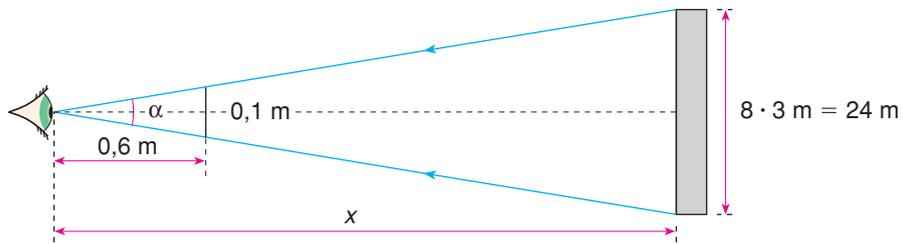


Aplicando a fórmula  $\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$  às duas posições, temos:

$$\begin{cases} \frac{m}{5,0} = \frac{a}{b} \quad \textcircled{1} \\ \frac{m}{4,0} = \frac{a + 100}{b} \quad \textcircled{2} \end{cases}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , vem:  $\frac{4,0}{5,0} = \frac{a}{a + 100} \Rightarrow a = 400 \text{ m}$

P.221



Por semelhança de triângulos:  $\frac{0,1}{0,6} = \frac{24}{x} \Rightarrow x = \frac{24 \cdot 0,6}{0,1} \Rightarrow x = 144 \text{ m}$

P.222

a) A imagem vista pelo observador O é invertida, em relação ao objeto, e troca a direita pela esquerda. Assim, temos:

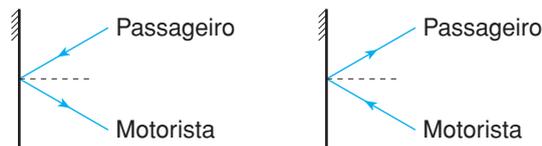
Objeto **L** Imagem **T**

b) De  $\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$  e, sendo  $n = \frac{m}{5}$ ,  $a = 2$  metros e  $b = d$ , vem:

$$\frac{\frac{m}{m/5}}{5} = \frac{2}{d} \Rightarrow 5 = \frac{2}{d} \Rightarrow d = 0,4 \text{ m}$$

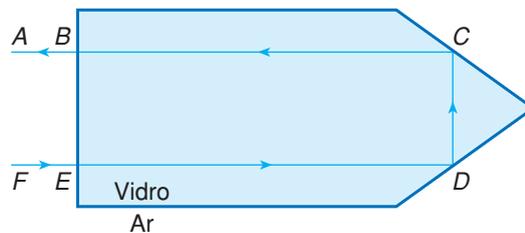
P.223

Princípio da reversibilidade da luz.



P.224

Pelo princípio da reversibilidade da luz, a trajetória seria a mesma.



P.225

Sim. Princípio da independência dos raios de luz.

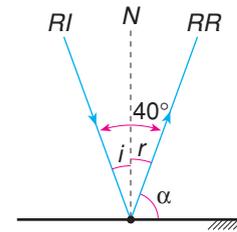
**P.226** Como o ângulo entre os raios incidente ( $RI$ ) e refletido ( $RR$ ) é de  $40^\circ$ , temos:

$$i + r = 40^\circ$$

Mas:  $i = r$ ; logo:  $i + i = 40^\circ \Rightarrow i = 20^\circ$

Sendo  $N$  a reta normal à superfície dos espelhos, os ângulos  $r$  e  $\alpha$  são complementares. Logo:

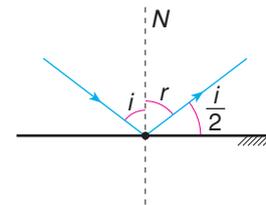
$$r + \alpha = 90^\circ \Rightarrow 20^\circ + \alpha = 90^\circ \Rightarrow \alpha = 70^\circ$$



**P.227**  $r + \frac{i}{2} = 90^\circ \Rightarrow 90^\circ - r = \frac{i}{2}$

Como  $i = r$ , então:

$$90^\circ - r = \frac{r}{2} \Rightarrow \frac{3r}{2} = 90^\circ \Rightarrow r = 60^\circ$$

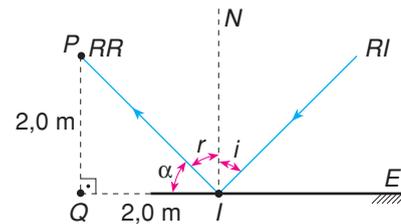


**P.228** O triângulo  $PQI$  é retângulo e isósceles.

Logo:  $\alpha = 45^\circ$

$$\alpha + r = 90^\circ \Rightarrow 45^\circ + r = 90^\circ \Rightarrow r = 45^\circ$$

Como  $i = r$ , temos:  $i = 45^\circ$

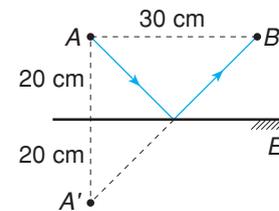


**P.229** O triângulo  $AA'B$  é retângulo. Aplicando o teorema de Pitágoras, tem-se:

$$(BA')^2 = (AA')^2 + (AB)^2$$

$$(BA')^2 = (40)^2 + (30)^2$$

$$BA' = 50 \text{ cm}$$



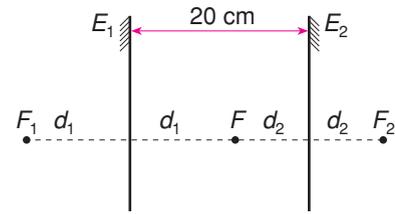
P.230 A partir da figura, temos:

$$d_{F_1F_2} = 2d_1 + 2d_2 = 2 \cdot (d_1 + d_2)$$

( $d_{F_1F_2}$  é a distância entre as imagens  $F_1$  e  $F_2$ )

Mas:  $d_1 + d_2 = 20 \text{ cm}$

Logo:  $d_{F_1F_2} = 40 \text{ cm}$

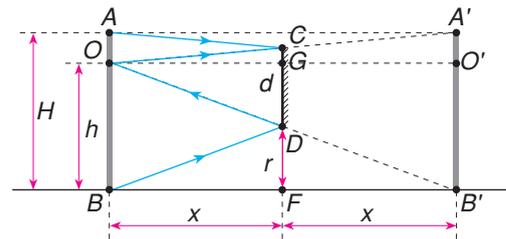


P.231 a) Como os triângulos  $OCD$  e  $OA'B'$  são semelhantes, temos:

$$\frac{CD}{A'B'} = \frac{OG}{OO'} \Rightarrow \frac{d}{H} = \frac{x}{2x} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = \frac{H}{2} \Rightarrow d = \frac{2,10 \text{ m}}{2} \Rightarrow$$

$d = 1,05 \text{ m}$



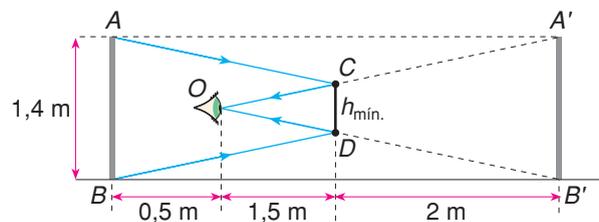
b) Da mesma forma, como os triângulos  $B'DF$  e  $B'OB$  são semelhantes, temos:

$$\frac{DF}{OB} = \frac{B'F}{B'B} \Rightarrow \frac{r}{h} = \frac{x}{2x} \Rightarrow r = \frac{h}{2}$$

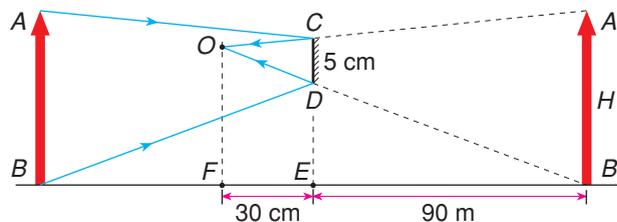
Como  $h = H - 0,12 \text{ m} = 1,98 \text{ m}$ , vem:  $r = \frac{1,98 \text{ m}}{2} \Rightarrow r = 0,99 \text{ m}$

P.232 Da semelhança entre os triângulos  $OCD$  e  $OA'B'$ , temos:

$$\frac{h_{\text{mín.}}}{1,4} = \frac{1,5}{3,5} \Rightarrow d = 0,6 \text{ m}$$



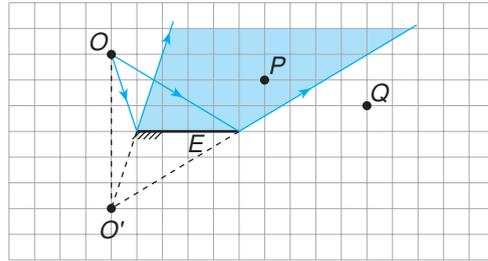
P.233



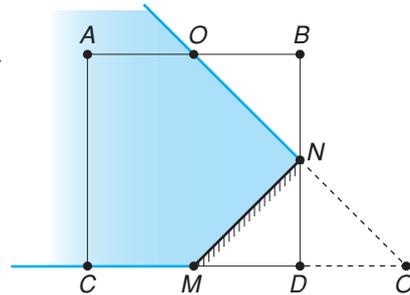
Como os triângulos  $OA'B'$  e  $OCD$  são semelhantes, temos:

$$\frac{A'B'}{CD} = \frac{B'F}{EF} \Rightarrow \frac{H}{5 \text{ cm}} = \frac{90,3 \text{ m}}{30 \text{ cm}} \Rightarrow H = 15,05 \text{ m}$$

- P.234** a) Sim, pois existem raios de luz provenientes de  $O$ ,  $P$  e  $Q$  que sofrem reflexão no espelho.  
b) Basta determinar o campo visual do espelho em relação ao observador  $O$ . Note que o observador vê, por reflexão no espelho, somente a imagem de  $P$ .



- P.235** Determinamos o campo visual do espelho relativamente ao observador  $O$ . Note que ele vê, por reflexão, os cantos  $A$  e  $C$ .



- P.236** Quando o espelho plano translada de uma distância  $d$ , a imagem de um objeto fixo translada de  $2d$ , no mesmo sentido do espelho. Assim, sendo  $d = 20$  cm, vem:

$$2d = 40 \text{ cm}$$

- P.237** A velocidade do espelho em relação à Terra é  $v_e = 10$  m/s.

- a) Em relação ao objeto, fixo à Terra, a velocidade da imagem é:

$$v_i = 2v_e = 2 \cdot 10 \Rightarrow v_i = 20 \text{ m/s}$$

- b) A velocidade relativa da imagem em relação ao espelho é dada pela diferença entre as velocidades em relação à Terra:

$$v_{\text{rel.}} = v_i - v_e = 20 - 10 \Rightarrow v_{\text{rel.}} = 10 \text{ m/s}$$

- P.238** a) A velocidade da imagem em relação ao objeto (isto é, em relação à estrada) é o dobro da velocidade do espelho (que é a velocidade do carro):

$$v_i = 2v_e = 2 \cdot 50 \text{ km/h} = 100 \text{ km/h}$$

- b) Sendo  $v_i = 100$  km/h e  $v_e = 50$  km/h, em relação à estrada, a velocidade da imagem em relação ao espelho (isto é, em relação ao motorista) é dada pela diferença entre as velocidades:  $v_{\text{rel.}} = 100 \text{ km/h} - 50 \text{ km/h} \Rightarrow v_{\text{rel.}} = 50 \text{ km/h}$

- P.239** Para que a imagem sofra uma translação de 5 m (5 quadradinhos), o espelho deve transladar de 2,5 m, no mesmo sentido.

**P.240** O ângulo de rotação  $\Delta$  do raio refletido, para o mesmo raio incidente, é o dobro do ângulo  $\alpha$  de rotação do espelho:  $\Delta = 2\alpha$ . Sendo  $\alpha = 25^\circ$ , vem:  $\Delta = 50^\circ$

**P.241** Aplicando a definição de velocidade angular média, obtemos:

$$\omega_m = \frac{\Delta}{\Delta t} = \frac{2\alpha}{\Delta t} = \frac{2 \cdot 30^\circ}{3 \text{ s}} \Rightarrow \omega_m = 20^\circ/\text{s}$$

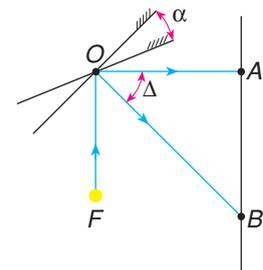
Sendo  $20^\circ = \frac{\pi}{9}$  rad, vem:  $\omega_m = \frac{\pi}{9}$  rad/s

**P.242** O triângulo  $OAB$  é retângulo e isósceles.

Logo:  $\Delta = 45^\circ$

De  $\Delta = 2\alpha$ , vem:

$$\alpha = \frac{\Delta}{2} = \frac{45^\circ}{2} \Rightarrow \alpha = 22,5^\circ$$

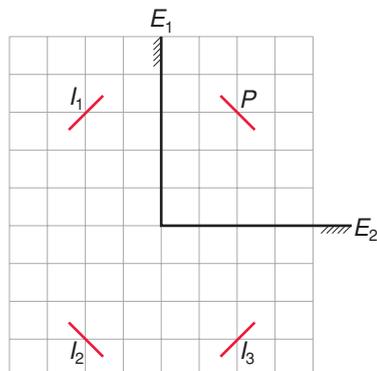


**P.243** O número  $N$  de imagens é dado pela fórmula:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 = \frac{360^\circ}{60^\circ} - 1 = 6 - 1 \Rightarrow N = 5$$

Sendo  $\frac{360^\circ}{\alpha}$  um número par, concluímos que esse número de imagens vale para qualquer posição do ponto luminoso.

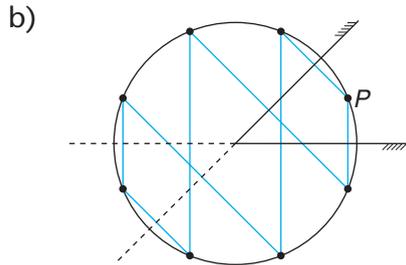
**P.244** a)



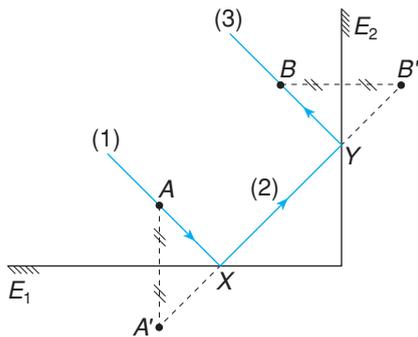
b)  $I_1$  e  $I_3$ :  $I_2$ :

**P.245** Como o número de imagens  $N$  formado pelos dois espelhos planos é igual a 7, vem:

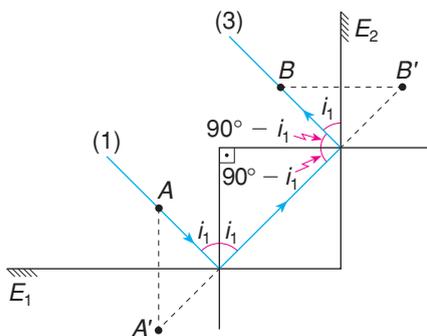
$$a) N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \Rightarrow 7 = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \Rightarrow \boxed{\alpha = 45^\circ}$$



**P.246**



O raio de luz (1) que incide no espelho  $E_1$ , passando por  $A$ , reflete (raio 2) e seu prolongamento passa por  $A'$ . O raio (2), ao incidir no espelho  $E_2$ , reflete, passando por  $B$  (raio 3). O prolongamento do raio 2 passa por  $B'$ . Assim, para a determinação gráfica de  $X$  e  $Y$ , achamos as imagens  $A'$  e  $B'$  e unimos  $A'$  com  $B'$ . Onde o segmento  $A'B'$  corta os espelhos  $E_1$  e  $E_2$ , temos, respectivamente,  $X$  e  $Y$ .



Observe, na figura, que os raios (1) e (3) formam o mesmo ângulo  $i_1$  com retas paralelas ( $E_2$  e a reta normal a  $E_1$ ). São, portanto, paralelos.

**P.247** O triângulo  $PQM$  é retângulo e isósceles.

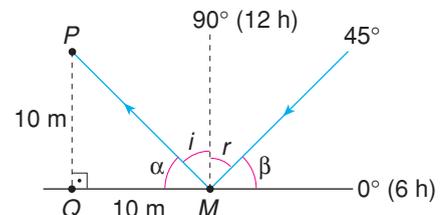
Logo:  $\alpha = 45^\circ$

$$\alpha + i = 90^\circ \Rightarrow 45^\circ + i = 90^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i = 45^\circ \Rightarrow r = i = 45^\circ$$

$$\beta + r = 90^\circ \Rightarrow \beta + 45^\circ = 90^\circ \Rightarrow \beta = 45^\circ$$

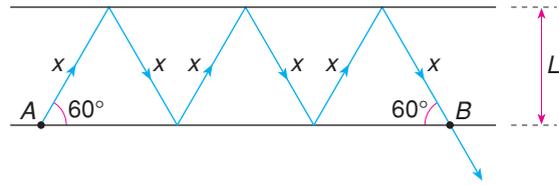
Às 6 h da manhã ( $0^\circ$ ), o Sol estava no horizonte, e às 12 h, no zênite ( $90^\circ$ ). Logo, para o ângulo  $\beta = 45^\circ$ , concluímos que eram 9 h.



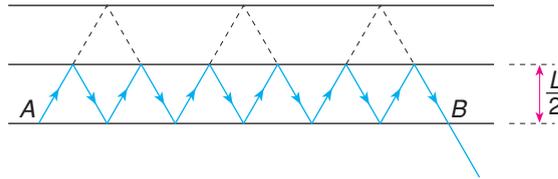
P.248

a)  $\Delta s = v \cdot \Delta t$   
 $6x = 3,0 \cdot 10^8 \cdot 1,0 \cdot 10^{-8}$   
 $x = 0,50 \text{ m}$

$AB = 3 \cdot x \Rightarrow AB = 1,5 \text{ m}$



b) Observe na figura que, ao reduzir à metade a altura  $L$ , o número de reflexões passa de 5 para 11. Note que a distância que a luz percorre entre a entrada e a saída do feixe não se altera. Logo, o intervalo de tempo também permanece o mesmo.



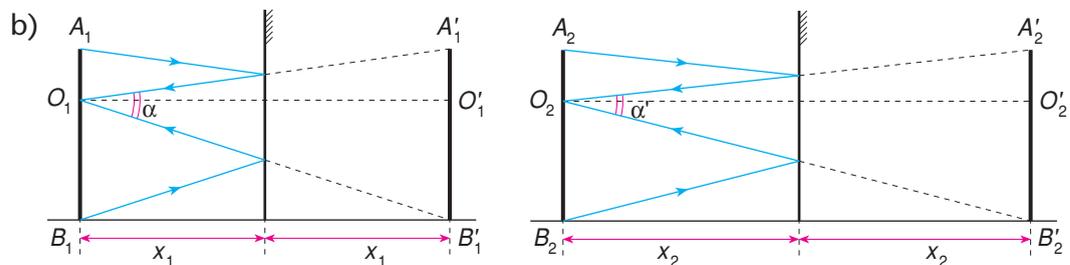
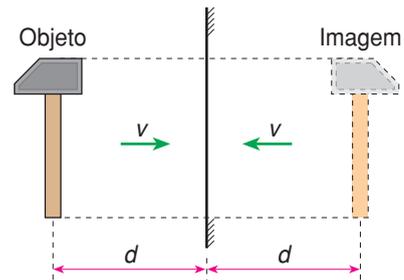
P.249

a) Com base na propriedade de simetria, concluímos que, em relação ao espelho, as distâncias percorridas pela marreta e por sua imagem são iguais, num mesmo intervalo de tempo. Logo, a marreta e sua imagem terão velocidade de mesmo módulo  $v$ , em relação ao espelho.

Por terem sentidos opostos, a velocidade da marreta, em relação à sua imagem, será:

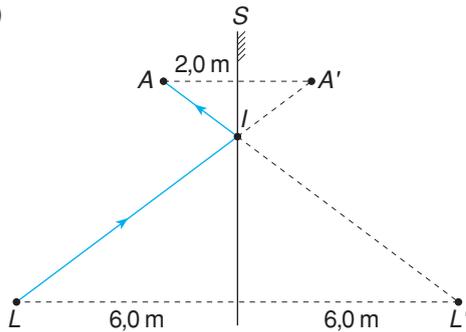
$$v_{\text{rel.}} = 2 \cdot v = 2 \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$v_{\text{rel.}} = 6 \text{ m/s}$



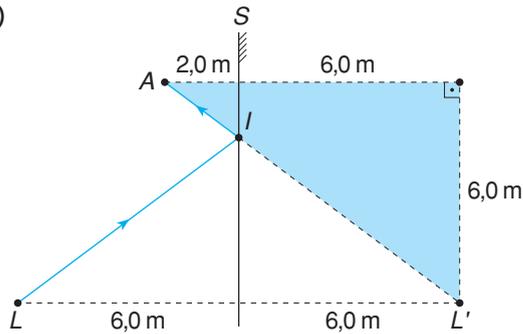
Nos espelhos planos, em virtude da propriedade de simetria, o tamanho da imagem é sempre igual ao do objeto, mesmo que o objeto se afaste do espelho. A impressão de uma redução no tamanho com que a imagem é observada deve-se à diminuição do ângulo visual. Nas figuras, observe que  $\alpha'$  é menor do que  $\alpha$ .

P.250 a)



- localizamos  $L'$ , imagem de  $L$ ;
- unimos os pontos  $A$  e  $L'$ ;
- determinamos o ponto de incidência  $I$ ;
- traçamos o raio incidente  $LI$  e o raio refletido  $IA$ .

b)



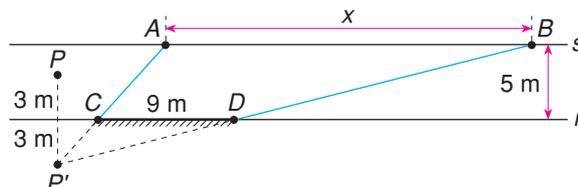
O triângulo destacado é retângulo. Seus catetos valem 6,0 m e 8,0 m. Logo, sua hipotenusa  $AL'$  é igual a 10 m:

$$AL' = 10 \text{ m} \Rightarrow AI + IL' = 10 \text{ m}$$

Sendo  $IL' = IL$ , vem:  $AI + IL = 10 \text{ m}$

P.251

Da semelhança dos triângulos  $P'AB$  e  $P'CD$ , obtém-se a distância  $x$ , que corresponde ao trecho sobre a reta  $s$  de onde se pode visualizar a imagem  $P'$  do ponto  $P$ .



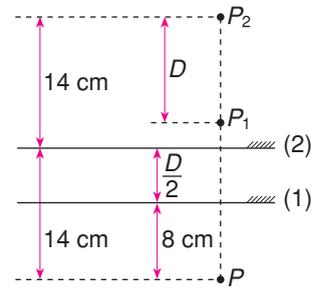
$$\frac{x}{9} = \frac{8}{3} \Rightarrow x = 24 \text{ m}$$

Da definição de velocidade média, vem:

$$v = \frac{x}{\Delta t} \Rightarrow 1 = \frac{24}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 24 \text{ s}$$

P.252 A partir da figura é possível observar que:

$$14 = 8 + \frac{D}{2} \Rightarrow D = 12 \text{ cm}$$

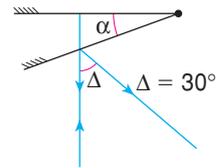


P.253 Sabemos que  $\Delta = 2\alpha$ . Sendo  $\Delta = 30^\circ$ , vem:

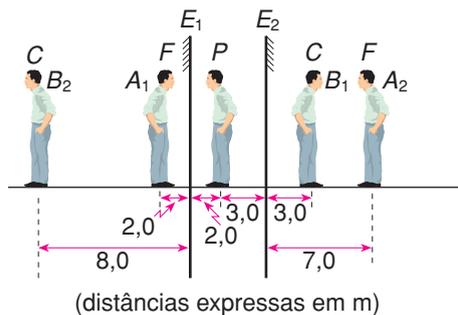
$$\Delta = 2\alpha$$

$$30^\circ = 2\alpha$$

$$\alpha = 15^\circ$$



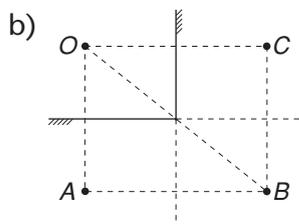
P.254 a) e b)



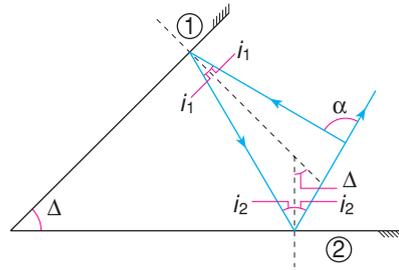
c)  $A_1B_2 = 6,0 \text{ m}$ ;  $B_1A_2 = 4,0 \text{ m}$

P.255 a) Temos  $AB = 80 \text{ cm}$  e  $BC = 60 \text{ cm}$ . Como a imagem no espelho é simétrica ao objeto,  $OA = 60 \text{ cm}$ . No triângulo retângulo  $OAB$ , aplicando o teorema de Pitágoras, obtemos:

$$OB^2 = AB^2 + OA^2 \Rightarrow OB^2 = 80^2 + 60^2 \Rightarrow OB = 100 \text{ cm}$$



P.256



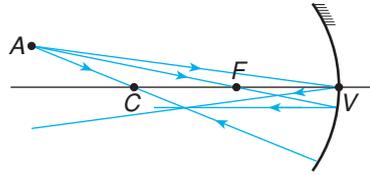
Genericamente,  $\Delta$  é o ângulo entre os espelhos (e entre as normais) e  $\alpha$  é o ângulo entre os raios refletido e incidente. Assim, aplicando o teorema do ângulo externo a cada triângulo, obtemos:

$$\Delta = i_1 + i_2; \alpha = 2i_1 + 2i_2 = 2 \cdot (i_1 + i_2) \Rightarrow \alpha = 2\Delta$$

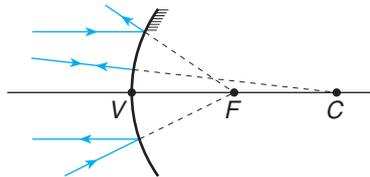
No caso:  $\Delta = 45^\circ \Rightarrow \alpha = 2 \cdot 45^\circ \Rightarrow \alpha = 90^\circ$

O ângulo de incidência  $i_1 = 38^\circ$  não é necessário para a resolução do exercício.

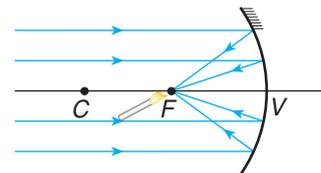
P.257



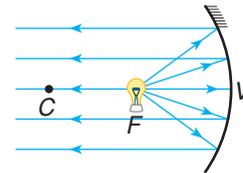
P.258



P.259 O pavio da vela deve ser colocado no foco principal  $F$ :



P.260 O espelho a ser utilizado é o côncavo. O filamento da lâmpada deve estar no foco principal  $F$ :



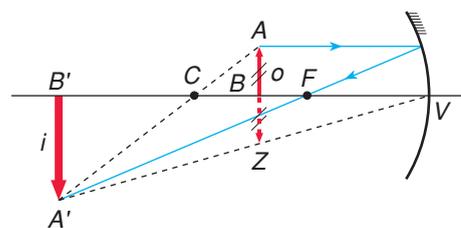
P.261 a) O espelho esférico é côncavo, pois objeto e imagem são reais.

b) O vértice  $V$  foi obtido unindo-se o extremo  $A'$  da imagem com o extremo  $Z$  do objeto invertido.

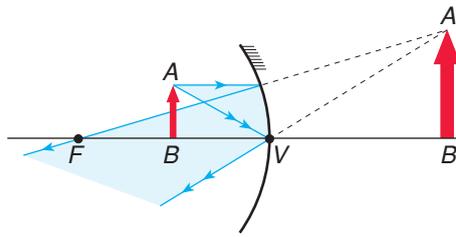
O centro  $C$  foi obtido ligando-se os extremos  $A$  e  $A'$  do objeto e da imagem.

O foco  $F$  foi obtido traçando-se pelo extremo  $A$  do objeto um raio paralelo ao eixo principal. O raio refletido passa pelo

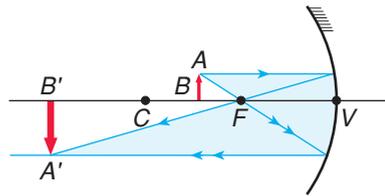
extremo  $A'$  da imagem e determina, no eixo principal, o foco  $F$ .



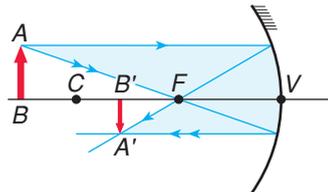
P.262 (1) Objeto entre  $F$  e  $V \rightarrow$  (III) Imagem virtual, direita e maior



(2) Objeto entre  $F$  e  $C \rightarrow$  (I) Imagem real, invertida e maior



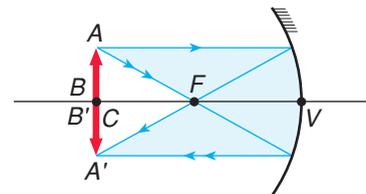
(3) Objeto além de  $C \rightarrow$  (II) Imagem real, invertida e menor



P.263 Neste caso, o objeto encontra-se no centro de curvatura  $C$  do espelho, e o foco  $F$ , no ponto médio entre  $C$  e  $V$ .

Logo:

$$FV = \frac{CV}{2} \Rightarrow FV = \frac{30}{2} \Rightarrow \boxed{FV = 15 \text{ cm}}$$

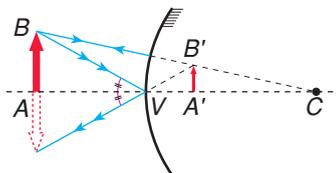


P.264 Por ter a mesma altura da imagem, concluímos que o objeto está no centro da curvatura  $C$ . Logo:  $FV = \frac{CV}{2} = \frac{20 \text{ cm}}{2} = 10 \text{ cm}$

$$FV = \frac{CV}{2} = \frac{20 \text{ cm}}{2} = 10 \text{ cm}$$

A imagem de um objeto no infinito se forma no foco  $F$ , isto é, a 10 cm do espelho.

P.265



P.266 a) Sendo o objeto e a imagem reais, o espelho é **côncavo**.

b) A equação dos pontos conjugados aplicados ao espelho côncavo possibilita calcular a distância focal  $f$ . Sendo  $p = 9$  cm e  $p' = 18$  cm, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{9} + \frac{1}{18} \Rightarrow \boxed{f = 6 \text{ cm}}$$

De  $R = 2f$ , obtemos:  $R = 2 \cdot 6 \Rightarrow \boxed{R = 12 \text{ cm}}$

P.267 a) Como o objeto é real, tem-se  $p = 80$  cm. No entanto, como a imagem é virtual,  $p' = -40$  cm. Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{80} + \frac{1}{-40} \Rightarrow f = -80 \text{ cm}$$

Sendo  $f < 0$ , concluímos que o espelho é **convexo**.

b) De  $R = 2f$ , obtemos:  $R = 2 \cdot (-80 \text{ cm})$ . Portanto:  $\boxed{R = -160 \text{ cm}}$

c) Como  $A = -\frac{p'}{p}$ , vem:  $A = -\frac{-40}{80} \Rightarrow \boxed{A = 0,5}$

P.268 a)  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 15 \text{ cm}}$

b) Sendo  $p' > 0$ , concluímos que a imagem é **real**.

c) Por ser real, a imagem é **invertida**.

d)  $A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i}{4} = -\frac{15}{30} \Rightarrow \boxed{i = -2 \text{ cm}}$

A imagem tem **2 cm** de altura e é invertida ( $i < 0$ ).

P.269 Utilizando a fórmula do aumento linear transversal, temos:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{f}{f - p} \Rightarrow \frac{6}{2} = \frac{30}{30 - p} \Rightarrow \boxed{p = 20 \text{ cm}}$$

P.270 a) Temos:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ . Sendo  $p = 15$  cm e  $f = \frac{R}{2} = \frac{-10}{2}$  cm = -5 cm, vem:

$$\frac{1}{-5} = \frac{1}{15} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = -3,75 \text{ cm}}$$

Logo, a imagem é virtual e se forma a **3,75 cm** do espelho.

b) Como  $A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$ , vem:  $\frac{i}{2} = -\frac{-3,75}{15} \Rightarrow \boxed{i = 0,5 \text{ cm}}$

**P.271** A imagem é projetada na parede. Logo, ela é **real** e, portanto, **invertida**. Sendo assim,  $A = -4$ .

$$\text{De } A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -4 = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = 4p \quad \textcircled{1}$$

Mas, sendo de 3 m a distância da vela à parede, isto é, à imagem, podemos escrever:  $p' - p = 3 \text{ m}$   $\textcircled{2}$

De  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ , vem:  $p = 1 \text{ m}$  e  $p' = 4 \text{ m}$

Utilizando, então, a equação dos pontos conjugados, obtemos:

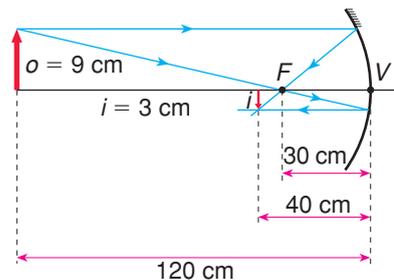
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{1} + \frac{1}{4} \Rightarrow \boxed{f = 0,8 \text{ m}}$$

**P.272** a) A equação dos pontos conjugados, com  $f = 30 \text{ cm}$  e  $p' = 40 \text{ cm}$ , nos fornece:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{30} = \frac{1}{p} + \frac{1}{40} \Rightarrow \boxed{p = 120 \text{ cm}}$$

b) Da equação do aumento linear transversal, obtemos a altura  $o$  do objeto.

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -\frac{3}{o} = -\frac{40}{120} \Rightarrow o = 9 \text{ cm}$$

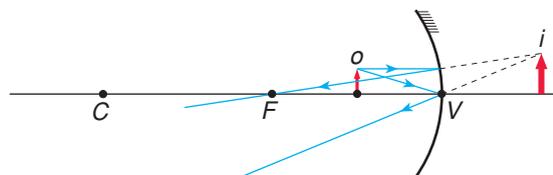


**P.273** a) De  $A = \frac{f}{f-p}$ , obtém-se:  $+2 = \frac{f}{f-5} \Rightarrow f = 10 \text{ cm}$

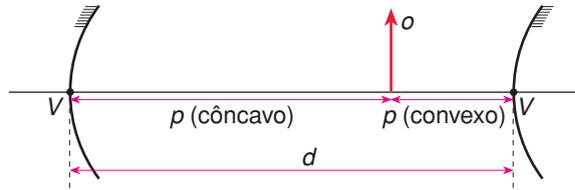
$$\text{Como } R = 2f, \text{ temos: } R = 2 \cdot (10) \Rightarrow \boxed{R = 20 \text{ cm}}$$

b) Sendo  $f > 0$ , concluímos que o espelho é **côncavo**.

c)



P.274



Vamos determinar as abscissas do objeto em relação aos espelhos côncavo e convexo:

**Espelho côncavo**

$$R = 60 \text{ cm}; R = 2f \Rightarrow 60 = 2f \Rightarrow f = 30 \text{ cm}$$

$$p' = 40 \text{ cm (imagem real)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{30} = \frac{1}{p} + \frac{1}{40} \Rightarrow p = 120 \text{ cm}$$

**Espelho convexo**

$$R = -60 \text{ cm}; R = 2f \Rightarrow -60 = 2f \Rightarrow f = -30 \text{ cm}$$

$$p' = -20 \text{ cm (imagem virtual)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-30} = \frac{1}{p} + \frac{1}{-20} \Rightarrow p = 60 \text{ cm}$$

A distância  $d$  entre os espelhos é a soma das distâncias do objeto aos espelhos, isto é:

$$d = 120 + 60 \Rightarrow \boxed{d = 180 \text{ cm}}$$

P.275 a) Como  $f = \frac{R}{2}$ , vem:  $f = \frac{24}{2} \Rightarrow f = 12 \text{ cm}$

Aplicando a equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{12} = \frac{1}{48} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 16 \text{ cm}}$$

b) De  $A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$ , vem:  $\frac{i}{4} = -\frac{16}{48} \Rightarrow i = -1,33 \text{ cm}$

A imagem é **real** ( $p' > 0$ ) e **invertida** ( $i < 0$ ).

P.276 Sendo  $p = 1,0 \text{ cm}$ , temos para o espelho A (de distância focal  $f_A = \frac{R_A}{2} = 3,0 \text{ cm}$ ):

$$A_A = \frac{f_A}{f_A - p} \Rightarrow A_A = \frac{3,0}{3,0 - 1,0} \Rightarrow A_A = 1,5$$

Para o espelho B, cuja distância focal é  $f_B = \frac{R_B}{2} = 2,0 \text{ cm}$ , temos:

$$A_B = \frac{f_B}{f_B - p} \Rightarrow A_B = \frac{2,0}{2,0 - 1,0} \Rightarrow A_B = 2,0$$

Logo, o odontólogo compra o **espelho B**.

P.277 a) De  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , sendo  $f = -\frac{12}{2}m = -6m$  e  $p = 30m$ , vem:

$$\frac{1}{-6} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = -5,0m}$$

A imagem do objeto seria vista a **5,0 m** do espelho convexo. O sinal negativo no valor de  $p'$  indica que a imagem é virtual.

b) Sendo o espelho plano, concluímos, pela propriedade de simetria, que a imagem seria vista a **30 m** do espelho.

P.278 Temos:  $A = -\frac{1}{3}$ ;  $p - p' = 40\text{ cm}$  ①; logo:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -\frac{1}{3} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p = 3p' \text{ ②}$$

Substituindo ② em ①, obtemos:

$$p - p' = 40 \Rightarrow 3p' - p' = 40 \Rightarrow p' = 20\text{ cm}$$

$$\text{Assim, na equação ②, obtemos: } p = 3 \cdot 20 \Rightarrow p = 60\text{ cm}$$

Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} \Rightarrow f = 15\text{ cm}$$

$$\text{Como } R = 2f, \text{ então: } R = 2 \cdot (15\text{ cm}) \Rightarrow \boxed{R = 30\text{ cm}}$$

P.279 a) Para o espelho côncavo, a imagem menor do que o objeto deve ser **real** e **invertida**. Logo,  $A = -\frac{1}{3}$ .

$$\text{De } A = \frac{f}{f-p}, \text{ vem: } -\frac{1}{3} = \frac{f}{f-30} \Rightarrow \boxed{f = 7,5\text{ cm}}$$

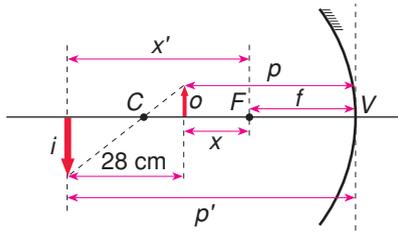
$$\text{De } A = -\frac{i}{o}, \text{ vem: } -\frac{1}{3} = \frac{i}{6} \Rightarrow \boxed{i = -2\text{ cm}} \text{ (invertida)}$$

b) Para o espelho convexo, a imagem é **virtual** e **direita**. Logo:  $A = \frac{1}{3}$

$$\text{De } A = \frac{f}{f-p}, \text{ obtemos: } \frac{1}{3} = \frac{f}{f-30} \Rightarrow \boxed{f = -15\text{ cm}}$$

$$\text{De } A = \frac{i}{o}, \text{ obtemos: } \frac{1}{3} = \frac{i}{6} \Rightarrow \boxed{i = +2\text{ cm}} \text{ (direita)}$$

P.280 a) Dados:  $i = -3o$ ;  $p' - p = 28$  cm



$$\text{Mas: } \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} = \frac{-3o}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = 3p$$

$$\text{Assim: } 3p - p = 28 \Rightarrow 2p = 28$$

$$\text{Portanto: } p = 14 \text{ cm e } p' = 42 \text{ cm}$$

Utilizando a equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{14} + \frac{1}{42} = \frac{3+1}{42}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4}{42} \Rightarrow f = \frac{42}{4} \Rightarrow \boxed{f = 10,5 \text{ cm}}$$

$$\text{b) } x = p - f = 14 - 10,5 \Rightarrow \boxed{x = 3,5 \text{ cm}}$$

$$x' = p' - f = 42 - 10,5 \Rightarrow \boxed{x' = 31,5 \text{ cm}}$$

P.281 a) Considerando-se um ponto qualquer do gráfico, por exemplo,  $p = 20$  cm e  $p' = 20$  cm, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} \Rightarrow \boxed{f = 10 \text{ cm}}$$

O resultado também poderia ser obtido a partir das assíntotas no gráfico:

- para  $p' \rightarrow \infty$ , vem  $p \rightarrow 10$  cm; portanto,  $f = 10$  cm
- para  $p \rightarrow \infty$ , vem  $p' \rightarrow 10$  cm; portanto,  $f = 10$  cm

b) Sendo  $f > 0$ , concluímos que o espelho é **côncavo**.

$$\text{c) } \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{5} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = -10 \text{ cm}}$$

$$\text{d) } A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{-10}{5} \Rightarrow \boxed{A = 2}$$

e) Sendo  $p' < 0$  e  $A > 0$ , resulta que a imagem é **virtual** e **direita**.

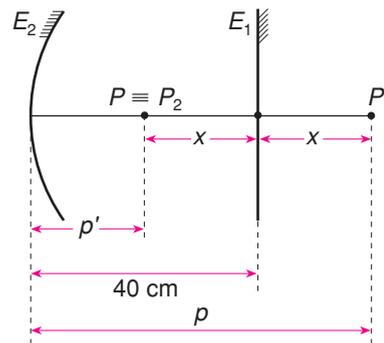
P.282 a) Quando a imagem “desaparece”, o objeto está exatamente no foco principal  $F$ .

Portanto:  $f = 15 \text{ cm}$  e  $R = 2f = 30 \text{ cm}$

b) Sendo o espelho convexo, temos:  $f = -15 \text{ cm}$

De  $A = \frac{f}{f-p}$ , vem:  $A = \frac{-15}{-15-10} \Rightarrow A = 0,6$

P.283



Seja  $x$  a distância de  $P$  a  $E_1$ . Ao objeto  $P$ ,  $E_1$  conjuga a imagem  $P_1$ .

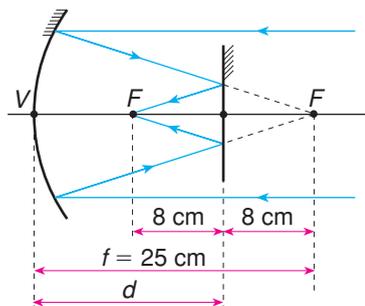
$P_1$ , em relação a  $E_2$ , é um objeto cuja imagem é  $P_2 \equiv P$ . Assim:

$$p = 40 + x; p' = 40 - x; f = \frac{R}{2} = 15 \text{ cm}$$

Aplicando a equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{40+x} + \frac{1}{40-x} \Rightarrow x = 20 \text{ cm}$$

P.284



Da figura, concluímos que a distância do vértice  $V$  ao espelho plano é:

$$d = 25 - 8 \Rightarrow d = 17 \text{ cm}$$

**P.285** Como  $n = \frac{c}{v}$ , temos:  $n = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} \Rightarrow n = 1,5$

**P.286** De  $n = \frac{c}{v}$ , vem:  $2 = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \Rightarrow v = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

**P.287** A velocidade da luz na placa de vidro corresponde a 75% da velocidade da luz no vácuo. Logo:

$$v = 75\% c \Rightarrow v = 0,75 \cdot 300.000 \Rightarrow v = 225.000 \text{ km/s}$$

Da definição de índice de refração absoluto, vem:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow n = \frac{c}{0,75c} \Rightarrow n = \frac{1}{0,75} \Rightarrow n = \frac{4}{3} \approx 1,33$$

**P.288** Aplicando a lei de Snell-Descartes:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin i = n_{\text{líqu.}} \cdot \sin r \Rightarrow 1 \cdot \sin 60^\circ = n_{\text{líqu.}} \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_{\text{líqu.}} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow n_{\text{líqu.}} = \sqrt{3}$$

**P.289** Aplicando a lei de Snell-Descartes:

$$n \cdot \sin i = n_{\text{líqu.}} \cdot \sin r \Rightarrow 1 \cdot \sin 45^\circ = n_{\text{líqu.}} \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = n_{\text{líqu.}} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow n_{\text{líqu.}} = \sqrt{2}$$

Da definição de índice de refração absoluto, vem:

$$n_{\text{líqu.}} = \frac{c}{v} \Rightarrow \sqrt{2} = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \Rightarrow v = 1,5\sqrt{2} \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

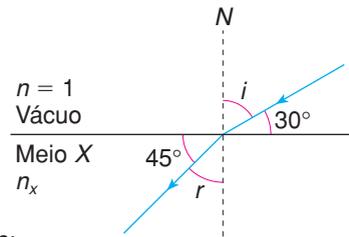
P.290 Sendo  $i = 60^\circ$  e  $r = 45^\circ$ , vem:

$$n \cdot \sin i = n_x \cdot \sin r \Rightarrow 1 \cdot \sin 60^\circ = n_x \cdot \sin 45^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_x \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \boxed{n_x = \frac{\sqrt{6}}{2}}$$

Pela definição de índice de refração absoluto, obtemos:

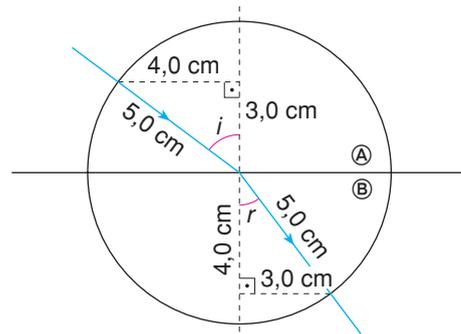
$$n_x = \frac{c}{v} \Rightarrow \frac{\sqrt{6}}{2} = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{6} \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$



P.291 Aplicando a lei de Snell-Descartes:

$$n_A \cdot \sin i = n_B \cdot \sin r$$

$$n_A \cdot \frac{4,0}{5,0} = n_B \cdot \frac{3,0}{5,0} \Rightarrow \boxed{\frac{n_B}{n_A} = \frac{4,0}{3,0}}$$



P.292 Sendo o meio B mais refringente do que o meio A, o raio refratado deve se aproximar da normal. Dos raios apresentados o que melhor representa o raio refratado é o (1).

P.293 a)

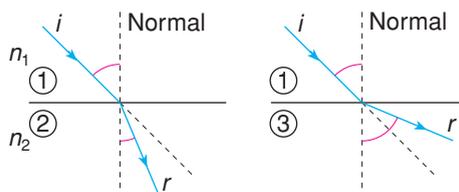


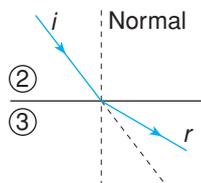
Figura a

Figura b

Da figura a, resulta:  $n_2 > n_1$ ; da figura b, vem:  $n_1 > n_3$

Portanto:  $n_2 > n_1 > n_3$

Entre os meios 2 e 3, concluímos que o meio 2 é o mais refringente. Assim, temos:



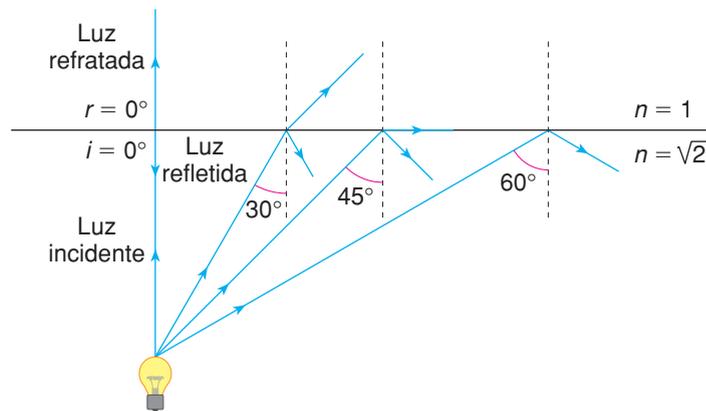
b) Dos três meios, é o meio 3 que tem o menor dos índices de refração. Logo, o meio 3 é o vácuo.

P.294 De  $\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$ , vem:  $\text{sen } 45^\circ = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_{12} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

Mas:  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_{21} = \frac{1}{n_{12}} \Rightarrow n_{21} = \sqrt{2}$

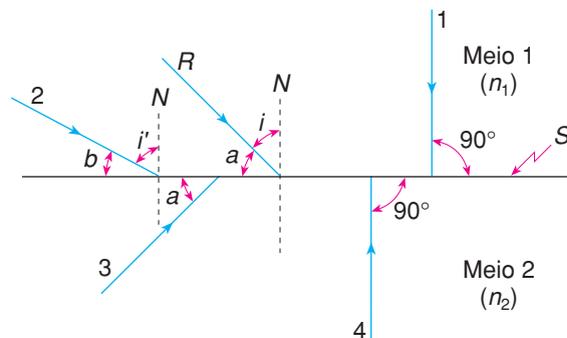
P.295 Como  $\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$ , temos:  $\text{sen } L = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow L = 45^\circ$

- a)  $i = 30^\circ < L = 45^\circ \Rightarrow$  ocorre **refração**  
 b)  $i = 60^\circ > L = 45^\circ \Rightarrow$  ocorre **reflexão total**



*Observação:* Simultaneamente com a refração ocorre reflexão da luz. Para  $i = 0^\circ$ , e  $r = 0^\circ$ , a porcentagem de luz refletida é bem menor do que a porcentagem de luz refratada. À medida que aumenta o ângulo de incidência, aumenta a porcentagem de luz refletida. Ao ocorrer reflexão total, nenhuma parcela de luz se refrata.

- P.296 a) Se o raio R sofre reflexão total, resulta que o ângulo  $i$  (dado por  $i = 90^\circ - a$ ) é maior do que o ângulo limite  $L$  ( $i > L$ ). Sendo  $b < a$ , vem:  $i' > i$ . Logo:  $i' > L$ . Assim, concluímos que o raio 2 também sofre **reflexão total**.



- b) Para haver reflexão total, a luz deve se propagar no sentido do meio mais refringente para o meio menos refringente. Portanto:  $n_1 > n_2$

**P.297** A luz emerge através de uma região circular, em cujas bordas os raios incidem pelo ângulo limite. Um disco opaco de raio mínimo igual a  $R$ , colocado nessa região circular, impede a emergência da luz para o ar.

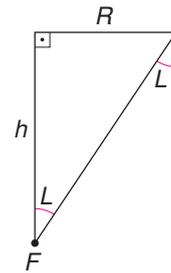
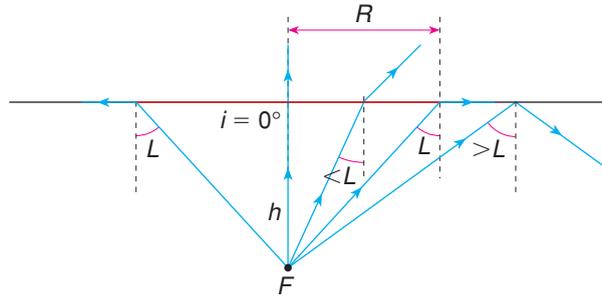
A partir do triângulo destacado ao lado, temos:

$$\operatorname{tg} L = \frac{R}{h} \Rightarrow \operatorname{tg} 45^\circ = \frac{R}{40}$$

Como  $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ , vem:

$$1 = \frac{R}{40} \Rightarrow R = 40 \text{ cm}$$

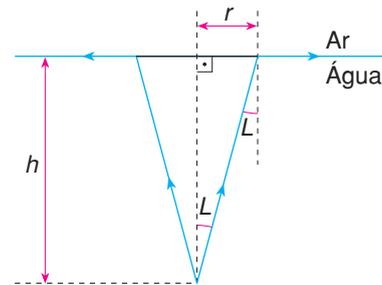
Diâmetro:  $D = 2R = 80 \text{ cm}$



**P.298** A mancha dentro da água pode ser considerada uma fonte pontual.

Dados:  $n_{\text{ar}} = 1$ ;  $n_{\text{água}} = \frac{4}{3}$

$$\operatorname{sen} L = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{água}}} = \frac{1}{\frac{4}{3}} \Rightarrow \operatorname{sen} L = \frac{3}{4}$$



Pela equação fundamental da trigonometria, vem:

$$\cos L = \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2 L} = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \sqrt{\frac{7}{16}} \Rightarrow \cos L = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

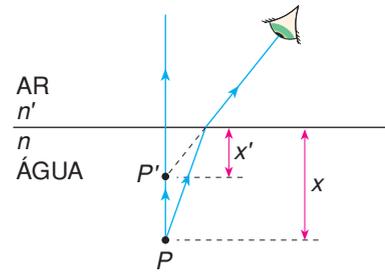
$$\operatorname{tg} L = \frac{\operatorname{sen} L}{\cos L} = \frac{\frac{3}{4}}{\frac{\sqrt{7}}{4}} = \frac{3}{\sqrt{7}} \Rightarrow \operatorname{tg} L = \frac{3\sqrt{7}}{7}$$

Na figura:  $\operatorname{tg} L = \frac{r}{h} \Rightarrow \frac{3\sqrt{7}}{7} = \frac{r}{h} \Rightarrow r = \frac{3\sqrt{7}}{7} h$

P.299 Dados:  $n = \frac{4}{3}$ ;  $n' = 1$ ;  $x = 24$  cm

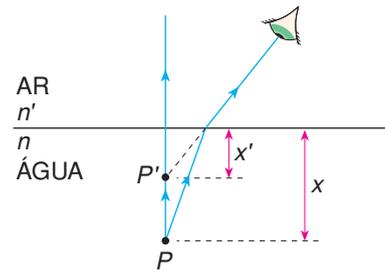
Da equação do dioptro plano, obtemos:

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{24}{x'} = \frac{\frac{4}{3}}{1} \Rightarrow x' = 18 \text{ cm}$$



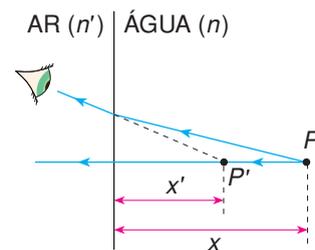
P.300 Dados:  $n = \frac{4}{3}$ ;  $n' = 1$ ;  $x' = 30$  cm

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{x}{30} = \frac{\frac{4}{3}}{1} \Rightarrow x = 40 \text{ cm}$$



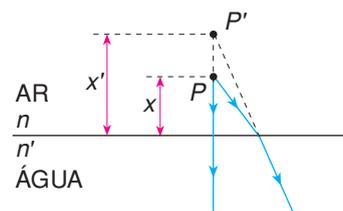
P.301 Dados:  $n = 1$ ;  $n' = \frac{4}{3}$ ;  $x = 1.500$  m

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{1.500}{x'} = \frac{1}{\frac{4}{3}} \Rightarrow x' = 2.000 \text{ m}$$

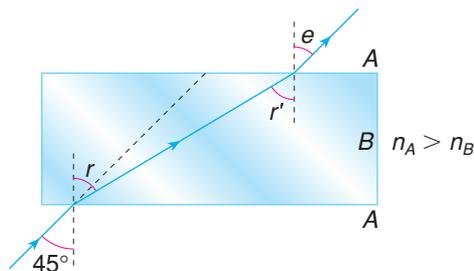


P.302 Dados:  $n = \frac{4}{3}$ ;  $n' = 1$ ;  $x = 2,0$  m

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{2,0}{x'} = \frac{\frac{4}{3}}{1} \Rightarrow x' = 1,5 \text{ m}$$



P.303 a)



b) Aplicando a lei de Snell-Descartes à primeira refração, obtemos:

$$n_A \cdot \sen i = n_B \cdot \sen r \Rightarrow \sqrt{3} \cdot \sen 45^\circ = \sqrt{2} \cdot \sen r \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \sen r \Rightarrow \sen r = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \boxed{r = 60^\circ}$$

c) Aplicando a lei de Snell-Descartes à segunda refração, obtemos:

$$n_B \cdot \sen r' = n_A \cdot \sen e \Rightarrow \sqrt{2} \cdot \sen 60^\circ = \sqrt{3} \cdot \sen e \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot \sen e \Rightarrow \sen e = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \boxed{e = 45^\circ}$$

**P.304** Aplicando-se a lei de Snell-Descartes à primeira refração, vem:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sen i = n_{\text{vidro}} \cdot \sen r \Rightarrow$$

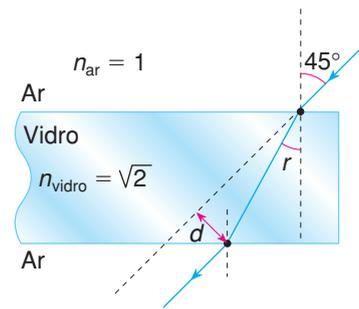
$$\Rightarrow 1 \cdot \sen 45^\circ = \sqrt{2} \cdot \sen r \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \sen r \Rightarrow \sen r = \frac{1}{2} \Rightarrow r = 30^\circ$$

Do exercício **R.93**, temos:

$$d = e \cdot \frac{\sen(i - r)}{\cos r} \Rightarrow d = 2 \cdot \frac{\sen(45^\circ - 30^\circ)}{\cos 30^\circ} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = 2 \cdot \frac{\sen 15^\circ}{\cos 30^\circ} \Rightarrow d = 2 \cdot \frac{0,25}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow \boxed{d = \frac{\sqrt{3}}{3} \text{ cm}}$$



**P.305** O menor valor de  $\theta_1$  corresponde ao ângulo  $i$  igual a  $L$ .

$$\sen L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} = \frac{n_3}{n_2}$$

$$\sen L = \frac{1,0}{1,5}$$

Mas:  $r = i = L$ ; logo:  $\sen r = \frac{1,0}{1,5}$

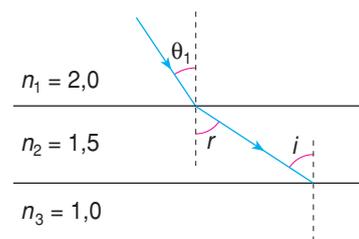
Lei de Snell-Descartes (primeira face):

$$n_1 \cdot \sen \theta_1 = n_2 \cdot \sen r$$

$$2,0 \cdot \sen \theta_1 = 1,5 \cdot \frac{1,0}{1,5}$$

$$\sen \theta_1 = \frac{1,0}{2,0}$$

$$\boxed{\theta_1 = 30^\circ}$$



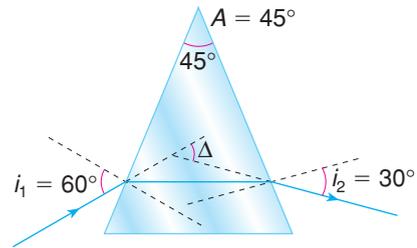
A partir de  $\theta_1 = 30^\circ$ , o raio de luz sofre reflexão total na interface com o ar.

P.306 Aplicando a fórmula do desvio, obtemos:

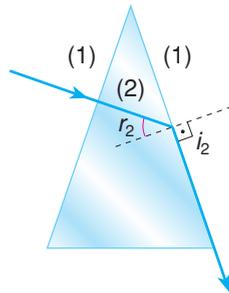
$$\Delta = i_1 + i_2 - A$$

$$\Delta = 60^\circ + 30^\circ - 45^\circ$$

$$\Delta = 45^\circ$$



P.307



Temos:  $n_1 = 1$  (ar);  $n_2 = \sqrt{2}$ ;  $i_1 = 0^\circ$ ;  $r_1 = 0^\circ$ ;  $i_2 = 90^\circ$

Na segunda face:  $n_2 \cdot \sin r_2 = n_1 \cdot \sin i_2$

Sendo  $\sin i_2 = \sin 90^\circ = 1$ , vem:

$$\sqrt{2} \cdot \sin r_2 = 1 \cdot 1 \Rightarrow \sin r_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \sin r_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow r_2 = 45^\circ$$

Como  $A = r_1 + r_2$ , vem:  $A = r_2$

Portanto:  $A = 45^\circ$

P.308 a) Na situação de desvio mínimo, os ângulos de incidência ( $i_1$ ) e de emergência ( $i_2$ ) são iguais:  $i_1 = i_2 = i$

Pela fórmula do desvio mínimo ( $\delta$ ), temos:

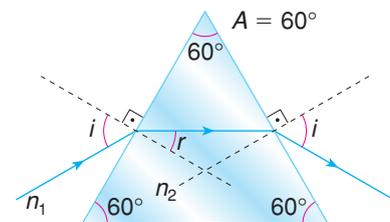
$$\delta = 2i - A \Rightarrow 30^\circ = 2i - 60^\circ \Rightarrow i = 45^\circ$$

b)  $A = 2r \Rightarrow 60^\circ = 2r \Rightarrow r = 30^\circ$

c) Da lei de Snell-Descartes, vem:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \Rightarrow 1 \cdot \sin 45^\circ = n_2 \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = n_2 \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow n_2 = \sqrt{2}$$

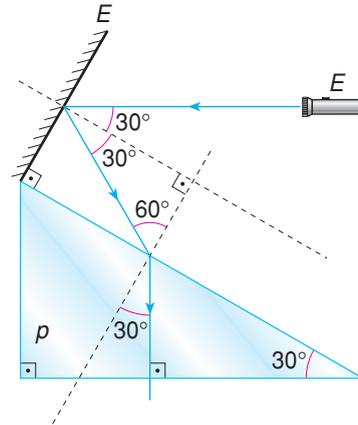


**P.309** Aplicando a lei de Snell-Descartes à interface ar-vidro, obtemos:

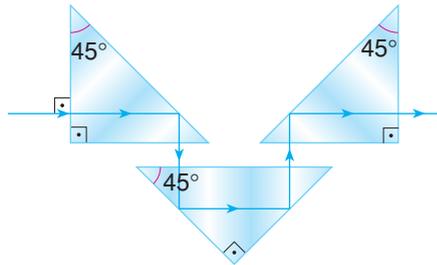
$$n_{\text{ar}} \cdot \sin 60^\circ = n_p \cdot \sin 30^\circ$$

$$1,0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_p \cdot \frac{1}{2}$$

$$n_p = \sqrt{3}$$



**P.310** Sendo os prismas de reflexão total, temos o seguinte trajeto para a luz:



**P.311** a) Aplicando a lei de Snell-Descartes à interface prisma-ar, obtemos:

$$n \cdot \sin 30^\circ = n_{\text{ar}} \cdot \sin r$$

$$\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \sin r$$

$$\sin r = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

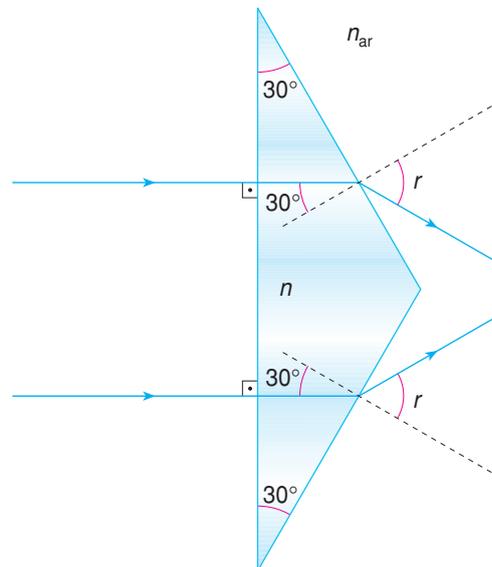
$$r = 45^\circ$$

b) Para haver reflexão total:  $i = 30^\circ > L$

$$\sin 30^\circ > \sin L$$

$$\frac{1}{2} > \frac{1}{n}$$

$$n > 2$$

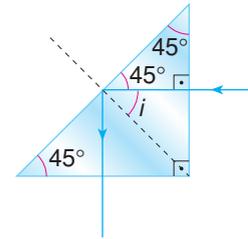


**P.312** O ângulo de incidência  $i$ , na face hipotenusa, é de  $45^\circ$ .

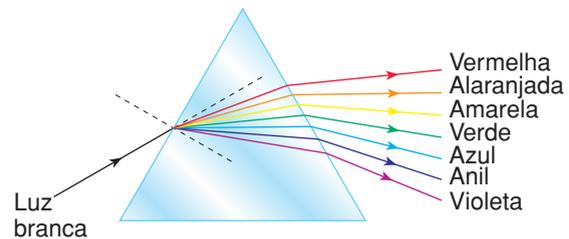
Para haver reflexão total, devemos impor:

$$i > L \Rightarrow 45^\circ > L \Rightarrow \sin 45^\circ > \sin L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{4}{3} \Rightarrow \boxed{n > \frac{4\sqrt{2}}{3}}$$



**P.313** O vidro oferece à luz violeta o maior índice de refração, e à luz vermelha, o menor. Assim, a luz violeta é a que mais desvia, e a luz vermelha, a que menos desvia. Entre elas temos as cores intermediárias.



**P.314** a) A componente da luz branca que sofre o maior desvio, ao atravessar o prisma de vidro, é a luz violeta. Isso ocorre porque o prisma oferece à luz violeta o maior índice de refração.

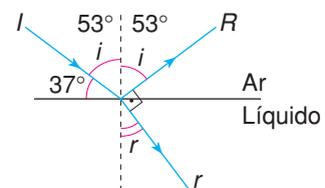
b) O prisma oferece o menor índice de refração à componente vermelha.

**P.315** a)  $n_{\text{diamante, vidro}} = \frac{n_{\text{diamante}}}{n_{\text{vidro}}} = \frac{2,4}{1,5} \Rightarrow \boxed{n_{\text{diamante, vidro}} = 1,6}$

b)  $\frac{v_{\text{diamante}}}{v_{\text{vidro}}} = \frac{n_{\text{vidro}}}{n_{\text{diamante}}} = \frac{1,5}{2,4} \Rightarrow \boxed{\frac{v_{\text{diamante}}}{v_{\text{vidro}}} = 0,625}$

**P.316** a) Da figura:  $i = 90^\circ - 37^\circ \Rightarrow \boxed{i = 53^\circ}$

$$53^\circ + 90^\circ + r = 180^\circ \Rightarrow \boxed{r = 37^\circ}$$



b) Aplicando a lei de Snell-Descartes, obtemos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin 53^\circ = n_{\text{líq.}} \cdot \sin 37^\circ$$

Do gráfico:  $\sin 53^\circ = 0,8$  e  $\sin 37^\circ = 0,6$ ; logo:

$$1,0 \cdot 0,8 = n_{\text{líq.}} \cdot 0,6$$

$$\boxed{n_{\text{líq.}} \approx 1,33}$$

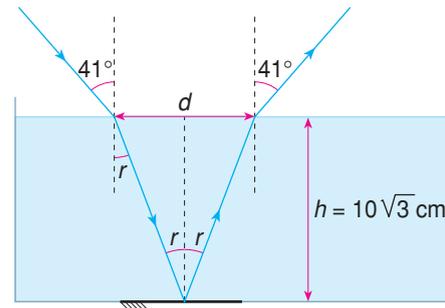
P.317 a) Aplicando a lei de Snell-Descartes, obtemos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin 41^\circ = n_{\text{água}} \cdot \sin r$$

$$1 \cdot 0,66 = 1,3 \cdot \sin r$$

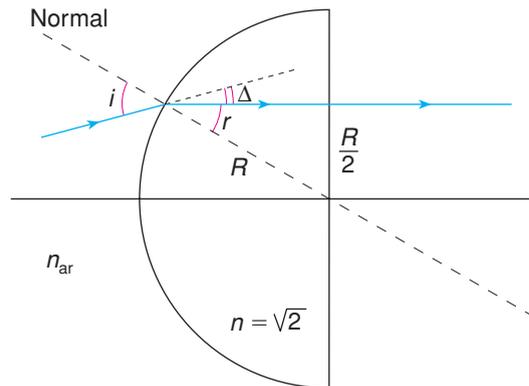
$$\sin r = \frac{0,66}{1,3} \approx 0,50$$

$$r \approx 30^\circ$$



$$b) \operatorname{tg} r = \frac{d}{h} \Rightarrow \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{d}{10\sqrt{3}} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{d}{10\sqrt{3}} \Rightarrow d = 20 \text{ cm}$$

P.318



$$\text{Da figura, vem: } \sin r = \frac{R/2}{R} \Rightarrow \sin r = \frac{1}{2} \Rightarrow r = 30^\circ$$

Aplicando a lei de Snell-Descartes, obtemos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin i = n \cdot \sin r \Rightarrow 1 \cdot \sin i = \sqrt{2} \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin i = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow \sin i = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow i = 45^\circ$$

Desvio  $\Delta$ :

$$i = \Delta + r \Rightarrow \Delta = i - r \Rightarrow \Delta = 45^\circ - 30^\circ \Rightarrow \Delta = 15^\circ$$

- P.319 a) Do gráfico observamos que, a partir de  $60^\circ$ , toda energia luminosa incidente é refletida. Logo,  $60^\circ$  é o ângulo limite  $L$ :

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \text{sen } 60^\circ = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

- b) Sendo  $n_2 < n_1$ , concluímos que o raio refratado deve se afastar da normal.

De fato, pela lei de Snell-Descartes, vem:  $n_1 \cdot \text{sen } \theta = n_2 \cdot \text{sen } r$

Sendo  $n_2 < n_1$ , resulta:  $\text{sen } \theta < \text{sen } r$ ; portanto,  $r > \theta$

- c) Para  $\theta = 30^\circ$ , temos (do gráfico):

$$\frac{E_{\text{refletida}}}{E_{\text{incidente}}} = 20\%$$

Portanto:  $E_{\text{refletida}} = 20\% E_{\text{incidente}}$  ①

Logo:  $E_{\text{refratada}} = 80\% E_{\text{incidente}}$  ②

De ① e ②:  $\frac{E_{\text{refletida}}}{E_{\text{refratada}}} = \frac{0,20}{0,80}$

$$\frac{E_{\text{refletida}}}{E_{\text{refratada}}} = 0,25 = 25\%$$

P.320 a)  $n = \frac{c}{v} \Rightarrow 2,4 = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \Rightarrow v = 1,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

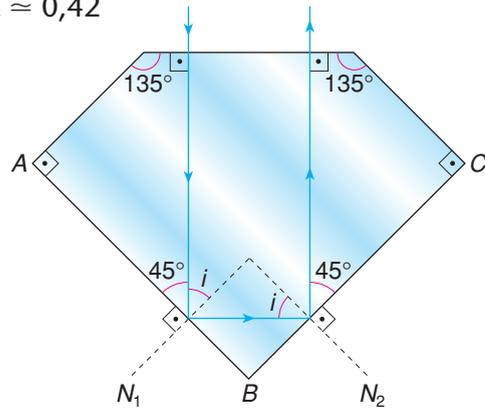
b)  $\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{1}{2,4} \Rightarrow \text{sen } L \approx 0,42$

O ângulo  $i$  de incidência na face  $AB$  é de  $45^\circ$ .

$$\text{sen } 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \text{sen } 45^\circ \approx 0,71$$

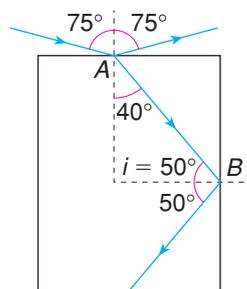
Portanto,  $\text{sen } 45^\circ > \text{sen } L \Rightarrow 45^\circ > L$

Conclui-se que, na face  $AB$ , assim como na face  $BC$ , ocorre reflexão total.



- P.321 a) No ponto  $A$  estão ocorrendo os fenômenos de reflexão e de refração da luz.

- b) Sendo  $(i = 50^\circ) > (L = 42^\circ)$ , ocorre reflexão total no ponto  $B$ :



P.322 Diopetro B/A:  $\frac{x_1}{x'_1} = \frac{n}{n'}$

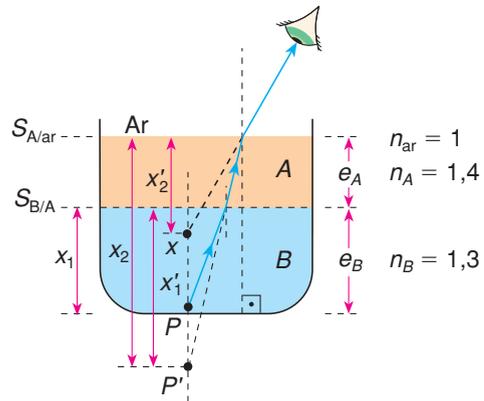
Então:

$$\frac{e_B}{x'_1} = \frac{n_B}{n_A} \Rightarrow \frac{39}{x'_1} = \frac{1,3}{1,4} \Rightarrow x'_1 = 42 \text{ cm}$$

Diopetro A/ar:  $\frac{x_2}{x'_2} = \frac{n}{n'}$

Então:

$$\frac{(42 + e_A)}{x'_2} = \frac{n_A}{n_{\text{ar}}} \Rightarrow \frac{(42 + 28)}{x'_2} = \frac{1,4}{1} \Rightarrow x'_2 = 50 \text{ cm}$$



P.323 São dados:

$$\theta = 30^\circ$$

$$d = 2\sqrt{3} \text{ cm}$$

$$x = 1 \text{ cm}$$

Aplicando a lei de Snell-Descartes à primeira face, vem:

$$n_1 \cdot \sin \theta = n_2 \cdot \sin \alpha$$

Sendo  $\sin \theta = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$  e  $n_1 = 1$  (ar), vem:

$$1 \cdot \frac{1}{2} = n_2 \sin \alpha \Rightarrow n_2 = \frac{1}{2 \sin \alpha} \quad \textcircled{1}$$

No triângulo ABD da figura, temos:  $\text{tg } \theta = \frac{DC + x}{d}$

Sendo  $\text{tg } \theta = \text{tg } 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$ , vem:

$$\frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{DC + 1}{2\sqrt{3}} \Rightarrow DC = 1 \text{ cm}$$

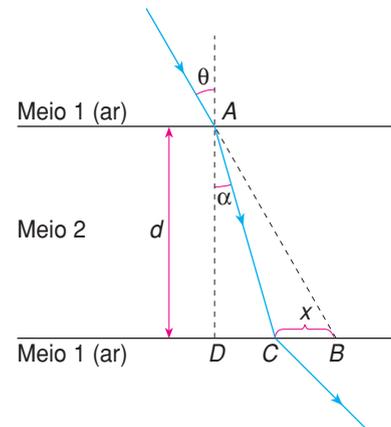
No triângulo ACD:

$$(AC)^2 = (DC)^2 + (AD)^2 \Rightarrow (AC)^2 = 1 + (2\sqrt{3})^2 = 1 + 12 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (AC)^2 = 13 \Rightarrow AC = \sqrt{13} \text{ cm}$$

Portanto:  $\sin \alpha = \frac{DC}{AC} = \frac{1}{\sqrt{13}} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{13}} \quad \textcircled{2}$

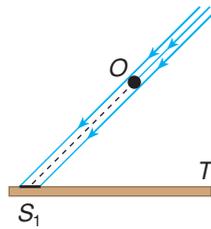
Substituindo  $\textcircled{2}$  em  $\textcircled{1}$ , obtemos:  $n_2 = \frac{1}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt{13}}} \Rightarrow n_2 = \frac{\sqrt{13}}{2}$



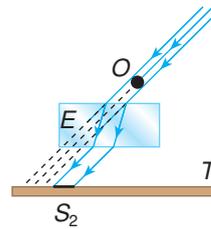
P.324

a)

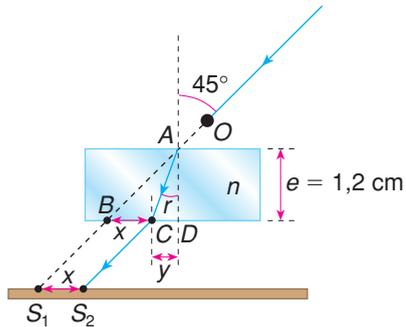
Sem a lâmina de plástico



Com a lâmina de plástico



b)



$S_1$ : sombra do objeto  $O$  sem a lâmina.

$S_2$ : sombra do objeto  $O$  com a lâmina.

Aplicando a lei de Snell-Descartes à interface ar-lâmina, obtemos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin i = n \cdot \sin r \Rightarrow 1,0 \cdot \sin 45^\circ = \frac{5\sqrt{2}}{6} \cdot \sin r \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{5\sqrt{2}}{6} \cdot \sin r \Rightarrow \sin r = 0,6$$

Portanto:  $\cos r = 0,8$  e  $\text{tg } r = \frac{0,6}{0,8}$

• Triângulo  $ACD$ :

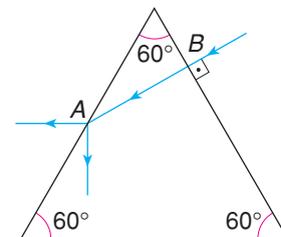
$$\text{tg } r = \frac{y}{e} \Rightarrow \frac{0,6}{0,8} = \frac{y}{1,2} \Rightarrow y = 0,9 \text{ cm}$$

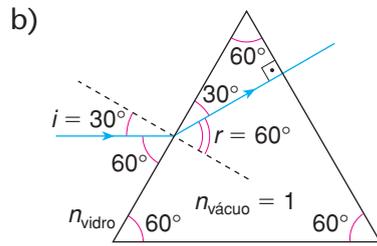
• Triângulo  $ABD$ :

$$\text{tg } 45^\circ = \frac{x+y}{e} \Rightarrow x+y=e \Rightarrow x+0,9=1,2 \Rightarrow \boxed{x=0,3 \text{ cm}}$$

P.325

a) Aplicando o princípio da reversibilidade da luz e observando que em  $A$  ocorre refração e reflexão, temos a trajetória ilustrada ao lado.





Aplicando a lei de Snell-Descartes à primeira face, vem:

$$n_{\text{vidro}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{vácuo}} \cdot \text{sen } r$$

$$n_{\text{vidro}} \cdot \text{sen } 30^\circ = 1 \cdot \text{sen } 60^\circ$$

$$n_{\text{vidro}} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$n_{\text{vidro}} = \sqrt{3}$$

**P.326** O ângulo limite entre o ar e o prisma é  $L = 53^\circ$  (veja figura).

a)  $\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$

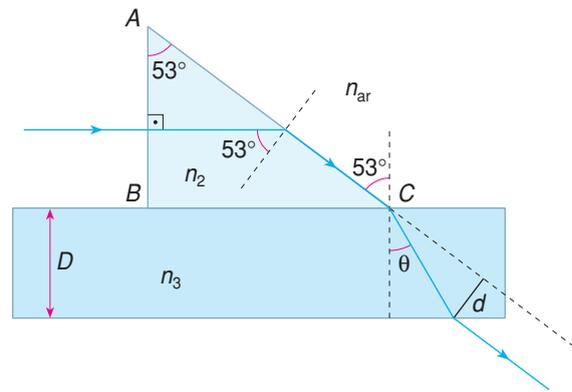
$$\text{sen } 53^\circ = \frac{n_{\text{ar}}}{n_2}$$

$$0,80 = \frac{1,0}{n_2}$$

$$n_2 = 1,25$$

Mas:  $n_2 = \frac{c}{v_2}$ ; logo:

$$1,25 = \frac{3,0 \cdot 10^8}{v_2} \Rightarrow v_2 = 2,4 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



b) Lei de Snell-Descartes:

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } 53^\circ = n_3 \cdot \text{sen } \theta$$

$$1,0 \cdot 0,80 = 1,6 \cdot \text{sen } \theta$$

$$\text{sen } \theta = 0,50$$

$$\theta = 30^\circ$$

c) Do exercício **R.93** vem:

$$d = e \cdot \frac{\text{sen } (i - r)}{\cos r}$$

$$d = D \cdot \frac{\text{sen } (53^\circ - \theta)}{\cos \theta}$$

$$d = 2,0 \cdot \frac{\text{sen } (53^\circ - 30^\circ)}{\cos 30^\circ}$$

$$d = 2,0 \cdot \frac{0,40}{0,87}$$

$$d \cong 0,92 \text{ cm}$$

P.327 Aplicando a lei de Snell-Descartes à primeira e à segunda refração, obtemos:

$$\begin{cases} n_0 \cdot \text{sen } 60^\circ = n_1 \cdot \text{sen } r \\ n_1 \cdot \text{sen } r = n_2 \cdot \text{sen } 30^\circ \end{cases}$$

Logo:

$$n_0 \cdot \text{sen } 60^\circ = n_2 \cdot \text{sen } 30^\circ$$

$$1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_2 \cdot \frac{1}{2}$$

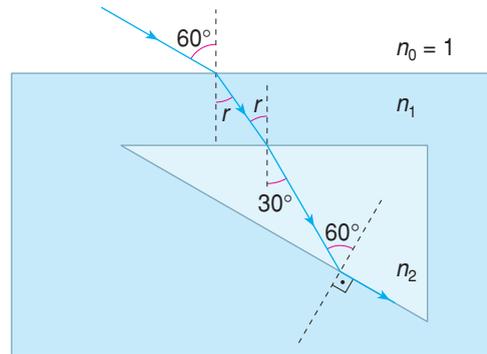
$$n_2 = \sqrt{3}$$

A lei de Snell-Descartes aplicada à face interna do prisma fornece:

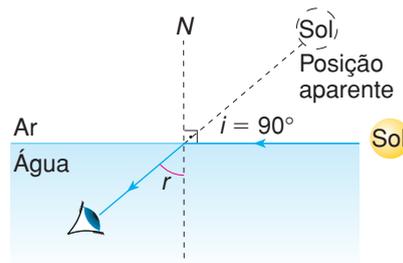
$$n_2 \cdot \text{sen } 60^\circ = n_1 \cdot \text{sen } 90^\circ$$

$$\sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_1 \cdot 1$$

$$n_1 = 1,5$$



P.328 a)



b) Pela lei de Snell-Descartes, temos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } 90^\circ = n_{\text{água}} \cdot \text{sen } r \Rightarrow 1 \cdot 1 = \frac{4}{3} \cdot \text{sen } r \Rightarrow$$

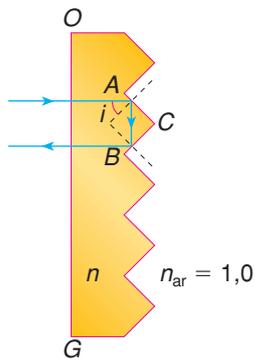
$$\Rightarrow \text{sen } r = \frac{3}{4} \Rightarrow \text{sen } r = 0,75$$

Do gráfico, para  $\text{sen } r = 0,75$ , resulta:  $r = 50^\circ$

P.329 Na água, a luz vermelha é a que menos se aproxima da normal, isto é, a que menos se desvia. Logo, o índice de refração da água para a luz vermelha é menor do que para a luz violeta. De  $n = \frac{c}{v}$ , concluímos que ao menor  $n$  corresponde o maior valor de  $v$ . Portanto, é a **luz vermelha** que se desloca na água com **maior velocidade**.

P.330

a)



b) O ângulo de incidência  $i$ , na face  $AC$  e na face  $CB$ , é de  $45^\circ$ . Para haver reflexão total, temos:

$$45^\circ > L \Rightarrow \sin 45^\circ > \sin L$$

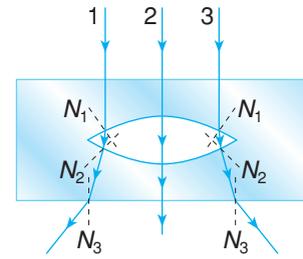
$$\frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{1,0}{n} \Rightarrow n > \sqrt{2}$$

Portanto:  $n_{\text{mín}} = \sqrt{2}$

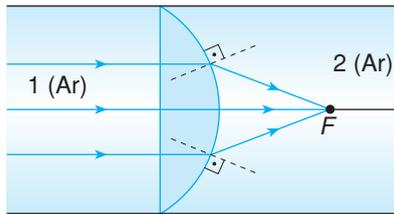
P.331

O ar, em contato com o solo, está mais aquecido e por isso menos denso que as camadas superiores. Os raios luminosos que partem do objeto, ao descenderem, passam de meios mais densos (mais refringentes) para meios menos densos (menos refringentes) e se afastam da normal, até ocorrer reflexão total numa camada.

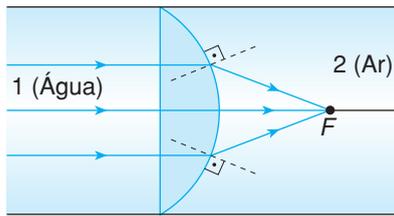
**P.332** O trajeto esquematizado baseia-se no fato de o ar ser menos refringente que o vidro. Quando passam do vidro para o ar, os raios 1 e 3 afastam-se da normal ( $N_1$ ). Ao passarem do ar para o vidro, aproximam-se da normal ( $N_2$ ) e, ao emergirem do vidro, afastam-se da normal ( $N_3$ ). O raio 2 atravessa a lâmina sem desvio.



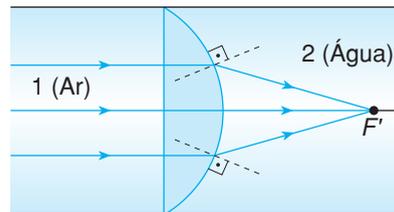
**P.333**



Os meios 1 e 2 são constituídos de ar. Os raios convergem no ponto  $F$ .



Colocando-se água no meio 1, não se verifica modificação do ponto de convergência, pois a incidência da luz na face plana é perpendicular.



Colocando-se água no meio 2, a convergência ocorre em  $F'$ , mais afastado da lente, pois a água é mais refringente que o ar.

**P.334** a) Lente biconvexa de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa no ar ( $n_{\text{meio}} = 1$ ).

Sendo  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ , a lente é **convergente**.

b) Lente biconvexa de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa na água ( $n_{\text{meio}} = 1,3$ ).

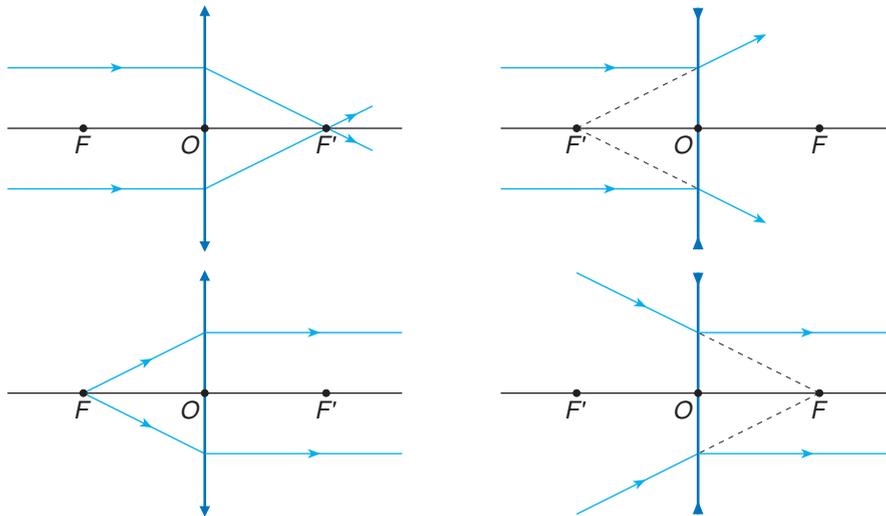
Também, neste caso,  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ , isto é, a lente é **convergente**.

c) Lente biconvexa de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa num líquido de índice  $n_{\text{meio}} = 1,8$ .

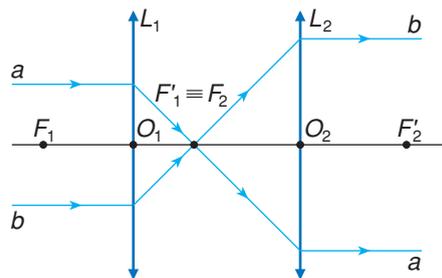
Sendo  $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$ , a lente é **divergente**.

- P.335** a) Lente bicôncava de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa no ar ( $n_{\text{meio}} = 1$ ).  
Sendo  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ , a lente é **divergente**.
- b) Lente bicôncava de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa na água ( $n_{\text{meio}} = 1,3$ ).  
Também, neste caso,  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ , isto é, a lente é **divergente**.
- c) Lente bicôncava de vidro ( $n_{\text{lente}} = 1,5$ ), imersa num líquido de índice  $n_{\text{meio}} = 1,8$ .  
Sendo  $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$ , a lente é **convergente**.

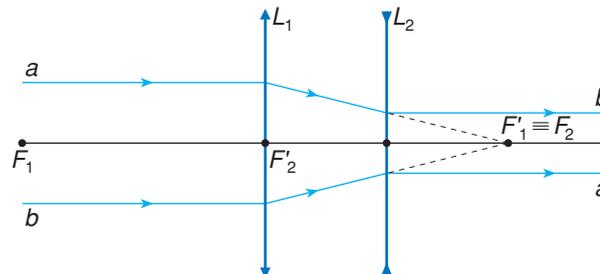
**P.336**



**P.337** a)

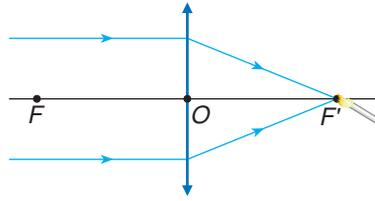


b)

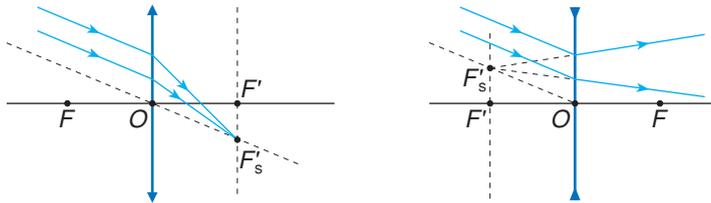


- P.338** A lente a ser utilizada deve ser convergente. O pavio da vela a ser aceso deve situar-se no foco principal imagem  $F'$ .

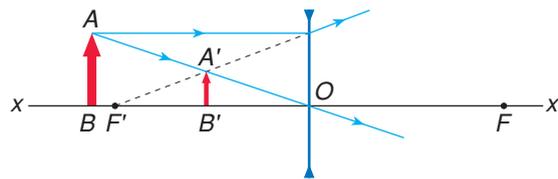
Esquema:



P.339



P.340

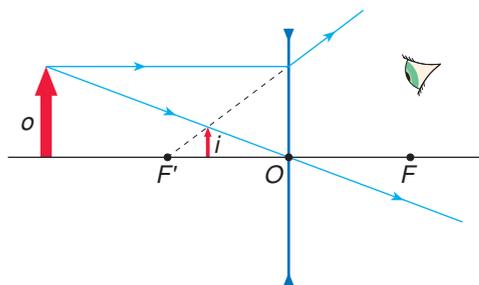


Ligando-se os extremos do objeto  $A$  e da imagem  $A'$ , a reta traçada corta o eixo principal  $xx'$  no centro óptico  $O$ . A imagem  $A'B'$  é direita e menor do que o objeto  $AB$ . Logo, a lente é **divergente**. O raio de luz que parte do extremo  $A$  e é paralelo ao eixo principal passa pela lente e sofre desvio; o prolongamento do raio emergente passa pelo extremo  $A'$  da imagem, determinando, no eixo principal, o foco principal imagem  $F'$ . O foco principal objeto  $F$  foi obtido sabendo-se que  $F'O = FO$ .

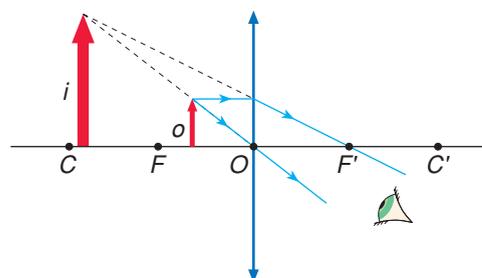
P.341

- a) A lente  $L_1$  é **divergente**, pois a imagem é direita e menor. Essas características da imagem são sempre as mesmas, qualquer que seja a posição do objeto real (no caso, a vela). A lente  $L_2$  é **convergente**, pois a imagem é direita e maior. O objeto deve ser colocado entre o foco principal objeto  $F$  e o centro óptico  $O$ .

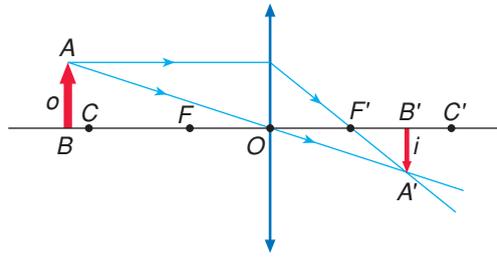
b) Lente  $L_1$



Lente  $L_2$

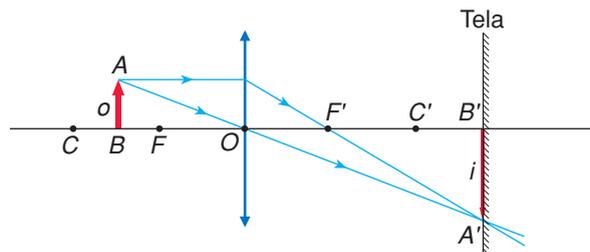


P.342 A imagem é real, invertida e menor do que o objeto. Ela está situada entre  $F'$  e  $C'$ :



Esse tipo de imagem ocorre em máquinas fotográficas. Nesse caso, a imagem é projetada no filme.

P.343 a) O objeto é colocado entre o foco principal objeto  $F$  e o ponto antiprincipal objeto  $C$ . A imagem se forma além do ponto antiprincipal  $C'$ . Ela é real, invertida e maior do que o objeto.



b) Esse tipo de imagem se forma nos projetores de *slides*. Observe que a imagem é projetada na tela.

P.344 Utilizando a definição de vergência para ambos os casos, temos:

$$\text{Quando } f = 0,5 \text{ m, vem: } D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,5} \Rightarrow \boxed{D = 2 \text{ di}}$$

$$\text{Quando } f = -20 \text{ cm} = -0,20 \text{ m, vem: } D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{-0,20} \Rightarrow \boxed{D = -5,0 \text{ di}}$$

P.345 Do esquema dado, temos:  $f = 4 \cdot 10 \text{ cm} = 40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$   
Pela definição de vergência, temos:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,40} \Rightarrow \boxed{D = 2,5 \text{ di}}$$

P.346 Aplicando a fórmula dos fabricantes de lentes, vem:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = \left( \frac{1,5}{2,0} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{75} + \frac{1}{75} \right) \Rightarrow \boxed{f = -150 \text{ cm}}$$

**P.347** Utilizando a fórmula dos fabricantes de lentes à lente plano-convexa, vem:

$$D = \frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow D = \frac{1}{f} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \cdot \frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{D = \frac{1}{f} = 10 \text{ di}}$$

**P.348** a) Pela equação dos pontos conjugados (ou equação de Gauss), vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \Rightarrow \boxed{f = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}}$$

Da definição de vergência, temos:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,15} \Rightarrow \boxed{D \approx 6,7 \text{ di}}$$

b) Utilizando a equação do aumento linear transversal, vem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{60}{20} \Rightarrow \boxed{A = -3}$$

**P.349** Dados:  $o = 10 \text{ cm}$ ;  $p = 50 \text{ cm}$ ;  $p' = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$

a) A lente é **convergente**, pois a imagem é real (foi projetada sobre a tela).

Da equação dos pontos conjugados (ou equação de Gauss), vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{50} + \frac{1}{200} \Rightarrow \boxed{f = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}}$$

Da definição de vergência, vem:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,4} \Rightarrow \boxed{D = 2,5 \text{ di}}$$

b) Como  $A = -\frac{p'}{p}$ , obtemos:  $A = -\frac{200}{50} \Rightarrow \boxed{A = -4}$

c) De  $A = \frac{i}{o}$ , vem:  $-4 = \frac{i}{10} \Rightarrow i = -40 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{i = -0,4 \text{ m}}$

**P.350** As duas posições da lente correspondem a uma troca entre as abscissas do objeto e da imagem.

Podemos escrever:

$$p + p' = 2,0 \text{ m} \quad \textcircled{1}$$

$$p - p' = 1,0 \text{ m} \quad \textcircled{2}$$

De ① e ②, vem:

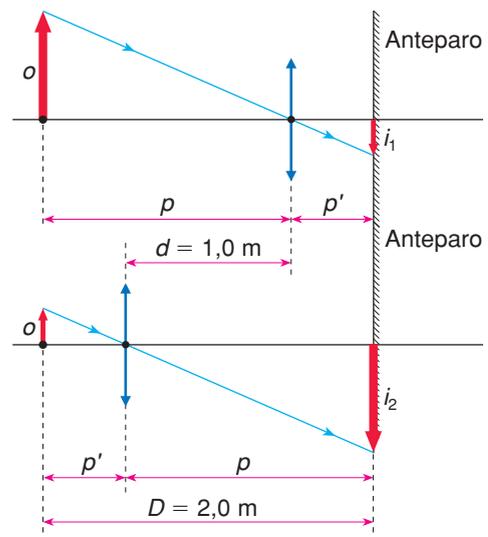
$$p = 1,5 \text{ m} = 150 \text{ cm}$$

$$p' = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$$

Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{150} + \frac{1}{50} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{f = 37,5 \text{ cm}}$$

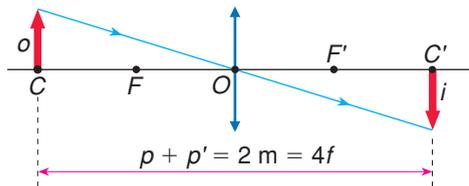


P.351 Dados:  $p + p' = 2 \text{ m}$ ;  $D = 2 \text{ di}$

a)  $f = \frac{1}{D} \Rightarrow f = \frac{1}{2} \Rightarrow f = 0,5 \text{ m}$

Observe que  $p + p' = 4f$ . Isso só acontece quando o objeto está no ponto anti-principal objeto ( $p = 2f$ ). A imagem correspondente está no ponto antiprincipal imagem ( $p' = 2f$ ).

Portanto, só há uma solução para o problema. Para haver duas soluções, é necessário que  $p + p' > 4f$ .



b) Como  $A = -\frac{p'}{p}$  e  $p = p'$ , vem:  $A = -1$

P.352 Dados:  $f = -100 \text{ cm}$  (lente divergente);  $i = +2 \text{ cm}$ ;  $p' = -20 \text{ cm}$  (imagem direita e virtual)

a) Pela equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-100} = \frac{1}{p} + \frac{1}{-20} \Rightarrow p = 25 \text{ cm}$$

Como  $\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$ , vem:  $\frac{2}{o} = -\frac{-20}{25} \Rightarrow o = 2,5 \text{ cm}$

b) Partindo da definição de aumento linear transversal, obtemos:

$$A = \frac{i}{o} \Rightarrow A = \frac{2}{2,5} \Rightarrow A = 0,8$$

P.353 Este exercício corresponde à mesma situação do exercício anterior. Assim, para a imagem  $i_1$  (primeira posição da lente), temos:

$$\frac{i_1}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{a}{o} = -\frac{p'}{p} \quad \textcircled{1}$$

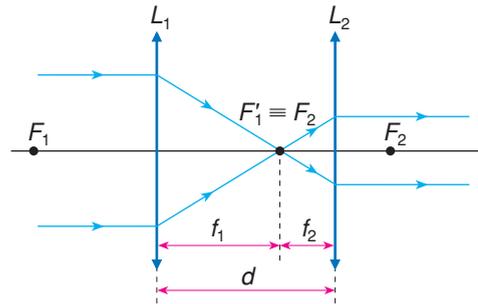
Para a segunda posição da lente, na qual trocamos as abscissas, temos a imagem  $i_2$  do mesmo objeto:

$$\frac{i_2}{o} = -\frac{p}{p'} \Rightarrow \frac{b}{o} = -\frac{p}{p'} \quad (2)$$

Multiplicando membro a membro as equações (1) e (2), obtemos:

$$\frac{a \cdot b}{o \cdot o} = 1 \Rightarrow o = \sqrt{a \cdot b}$$

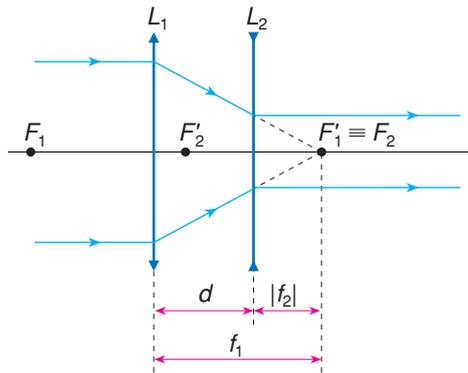
- P.354 a) O foco principal imagem de  $L_1$  deve coincidir com o foco principal objeto de  $L_2$ .



Assim, temos:

$$d = f_1 + f_2 \Rightarrow d = 5,0 + 2,0 \Rightarrow d = 7,0 \text{ cm}$$

- b)



$$d = f_1 - |f_2| \Rightarrow d = 5,0 - 2,0 \Rightarrow d = 3,0 \text{ cm}$$

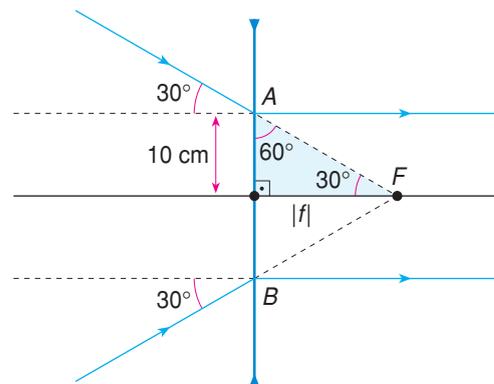
- P.355 Na figura:

$$\text{tg } 60^\circ = \frac{|f|}{10}$$

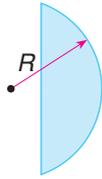
$$\sqrt{3} = \frac{|f|}{10}$$

$$|f| = 10\sqrt{3} \text{ cm}$$

$$f = -10\sqrt{3} \text{ cm}$$



P.356



A fórmula dos fabricantes de lentes aplicada à lente plano-convexa fornece:

$$D = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R}$$

Sendo  $n_{\text{meio}} = 1$  (ar) e  $D = 8$  di, vem:  $8 = (n_{\text{lente}} - 1) \cdot \frac{1}{R}$  ①

Sendo  $n_{\text{meio}} = \frac{4}{3}$  (água) e  $D = 1$  di, vem:  $1 = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{\frac{4}{3}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R}$  ②

De ① e ② resulta:  $n_{\text{lente}} = 1,4$  e  $R = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$

P.357 Fórmula dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Para a luz vermelha:

$$\frac{1}{f_{\text{verm.}}} = \left( \frac{1,60}{1,00} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{1,00} + \frac{1}{1,00} \right) \Rightarrow f_{\text{verm.}} \approx 0,83 \text{ m}$$

Para a luz violeta:

$$\frac{1}{f_{\text{viol.}}} = \left( \frac{1,64}{1,00} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{1,00} + \frac{1}{1,00} \right) \Rightarrow f_{\text{viol.}} \approx 0,78 \text{ m}$$

A distância  $d$  entre os focos vale:

$$d = f_{\text{verm.}} - f_{\text{viol.}} \Rightarrow d = 0,05 \text{ m} = 5,0 \text{ cm}$$

P.358 A um objeto distante a lente conjuga uma imagem no foco principal imagem. Logo,  $f = 10$  cm. Pela equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 15 \text{ cm}$$

P.359 Em relação à lente:

Sendo  $f_1 = 20$  cm e  $p_1 = 40$  cm, pela equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{40} + \frac{1}{p'_1} \Rightarrow p'_1 = 40 \text{ cm}$$

Em relação ao espelho:

Sendo  $p_2 = 50$  cm e  $p'_2 = -30$  cm (note que  $p'_2 < 0$ , pois a imagem é virtual), calculamos a distância focal  $f_2$  do espelho:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{50} + \frac{1}{-30} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{3-5}{150} \Rightarrow \boxed{f_2 = -75 \text{ cm}}$$

P.360

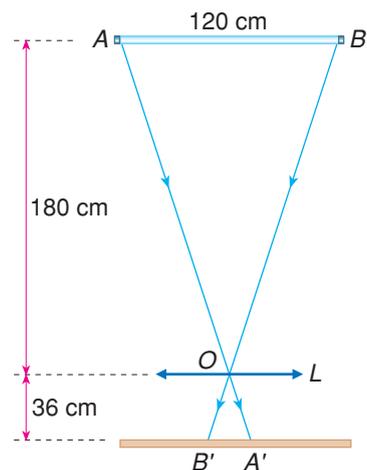
a) A lâmpada é o objeto e a imagem se forma no tampo da mesa. Logo,  $p = 180$  cm e  $p' = 36$  cm. Pela equação dos pontos conjugados calculamos a distância focal  $f$ :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{180} + \frac{1}{36} \Rightarrow \boxed{f = 30 \text{ cm}}$$

b) Na figura, representamos os raios de luz que partem de A e de B, passam pelo centro óptico O da lente e determinam as imagens A' e B' no tampo da mesa.

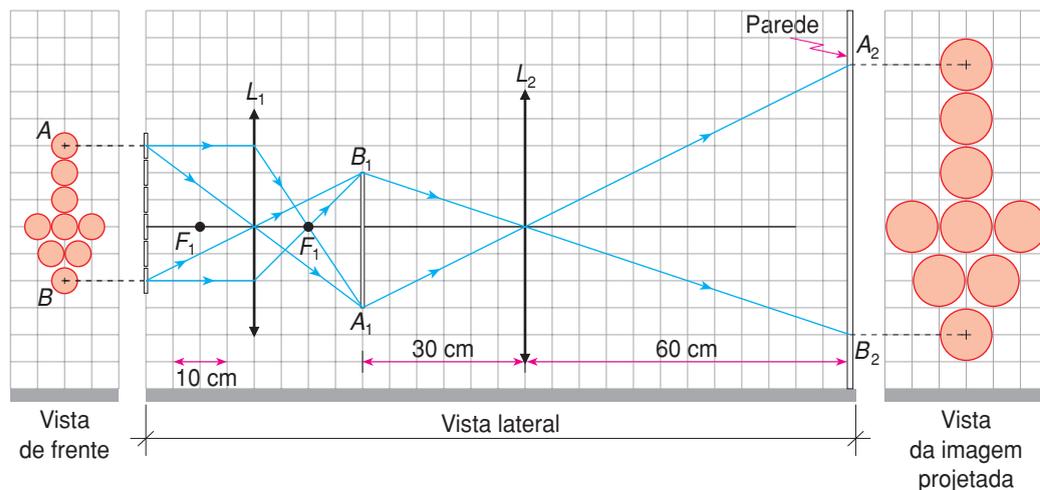
A semelhança entre os triângulos OAB e OA'B' fornece:

$$\frac{A'B'}{120} = \frac{36}{180} \Rightarrow \boxed{A'B' = 24 \text{ cm}}$$



P.361

a) Por meio de raios notáveis localizamos a imagem  $A_1B_1$  conjugada pela lente  $L_1$ .  
b)  $A_1B_1$  funciona como objeto em relação à lente  $L_2$ . Conhecendo a imagem final  $A_2B_2$ , localizamos  $L_2$ .



- c) Usando a escala fornecida, calculamos as distâncias  $p = 30$  cm e  $p' = 60$  cm do objeto ( $A_1B_1$ ) e da imagem ( $A_2B_2$ ) em relação à lente  $L_2$ .

Pela equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{2+1}{60}$$

$$f_2 = 20 \text{ cm}$$

Observação:

Podemos chegar ao mesmo resultado traçando um raio partindo de  $A$ , paralelo ao eixo principal. Ao emergir de  $L_2$ , ele deve passar por  $A_2$ . O ponto em que cruzar o eixo principal é o foco principal imagem  $F'_2$ .

P.362

Dados:  $i = -o$  (imagem real, invertida, do mesmo tamanho que o objeto);  $p = 40$  cm

- a) Para que a lente forneça imagem de mesmo tamanho, o objeto deve estar no ponto antiprincipal. Então:

$$p = 2f = 40 \text{ cm} \Rightarrow f = \frac{40}{2} \Rightarrow f = 20 \text{ cm} \Rightarrow f = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{De } D = \frac{1}{f}, \text{ vem: } D = \frac{1}{0,2 \text{ m}} \Rightarrow D = 5 \text{ di}$$

- b) A imagem é simétrica ao objeto em relação à lente:  $p' = p \Rightarrow p' = 40 \text{ cm}$

Podemos comprovar esse resultado aplicando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{2-1}{40} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{40} \Rightarrow p' = 40 \text{ cm}$$

- c)  $n_2 = 1,5$ ;  $n_1 = 1$  (ar)

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{20} = \left( \frac{1,5}{1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{20} = 0,5 \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow R = 0,5 \cdot 20 \Rightarrow R = 10 \text{ cm}$$

P.363

- a) A lente se localiza a 1,8 m da tela e a 0,36 m da parede. Logo,  $p = 1,8$  m e  $p' = 0,36$  m.

Sendo  $0,42 \text{ m} \times 0,55 \text{ m}$  as dimensões da tela (objeto), devemos, para cada lado, aplicar a fórmula do aumento linear transversal:

$$\frac{i_1}{o_1} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i_1}{0,42} = -\frac{0,36}{1,8} \Rightarrow i_1 = -0,084 \text{ m} \Rightarrow i_1 = -8,4 \text{ cm}$$

$$\frac{i_2}{o_2} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i_2}{0,55} = -\frac{0,36}{1,8} \Rightarrow i_2 = -0,11 \text{ m} \Rightarrow \boxed{i_2 = -11 \text{ cm}}$$

Assim, a imagem tem as dimensões:  $\boxed{8,4 \text{ cm} \times 11 \text{ cm}}$

Para o cálculo da distância focal  $f$ , vamos aplicar a equação dos pontos conjugados:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{1,8} + \frac{1}{0,36} \Rightarrow \boxed{f = 0,30 \text{ m} = 30 \text{ cm}}$$

b) A imagem aparece invertida na vertical e na horizontal:



Objeto

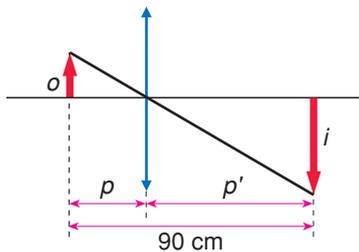


Imagem

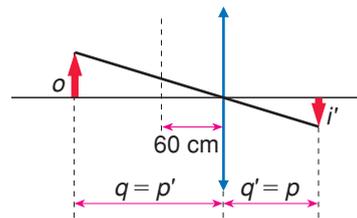
P.364

a)

Situação I



Situação II



Ao passar de uma situação para outra, trocam-se as abscissas.

Desse modo, temos:

$$p' = p + 60 \quad \textcircled{1}$$

$$\text{Mas: } p + p' = 90 \text{ cm} \quad \textcircled{2}$$

Logo, de  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ , vem:

$$p = 15 \text{ cm e } p' = 75 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{15} + \frac{1}{75} \Rightarrow \boxed{f = 12,5 \text{ cm}}$$

b) A segunda imagem obtida é real, invertida e menor do que o objeto:

$$\frac{i}{o} = -\frac{q'}{q} \Rightarrow \frac{i}{o} = -\frac{15}{75} \Rightarrow \boxed{\frac{i}{o} = -\frac{1}{5}} \text{ (invertida e cinco vezes menor)}$$

P.365

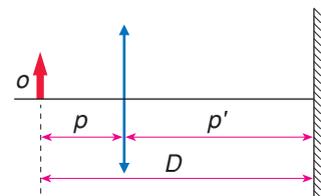
$$p + p' = D \Rightarrow p = D - p' \quad \textcircled{1}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} \text{ em } \textcircled{2}: \frac{1}{f} = \frac{1}{D - p'} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p'^2 - Dp' + fD = 0$$

Para que existam soluções, é necessário que  $\Delta \geq 0$ . Logo:

$$\Delta = D^2 - 4fD \geq 0 \Rightarrow \boxed{D \geq 4f}$$



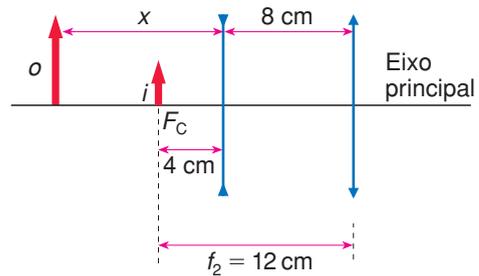
- P.366** a) O objeto  $o$  situado à distância  $x$  da lente divergente conjuga uma imagem  $i$  que funciona como objeto em relação à lente convergente. Esse objeto ( $i$ ) deve se localizar no foco principal objeto  $F_C$  da lente convergente para que a imagem final se forme no infinito.

Nessas condições, a distância de  $i$  até a lente divergente é de 4 cm, como mostra a figura ao lado.

Temos:  $p = x$ ;  $p' = -4$  cm (imagem virtual);  $f_1 = -6$  cm; com esses dados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-6} = \frac{1}{x} + \frac{1}{-4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{x = 12 \text{ cm}}$$



- b) A imagem  $i$  conjugada pela lente divergente é **virtual, direita e menor** do que o objeto.

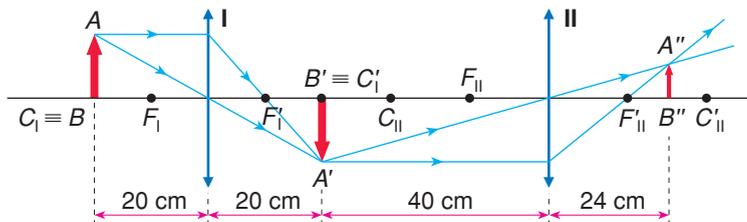
- P.367** Aplicando a equação dos pontos conjugados à lente I, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{20} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 20 \text{ cm}$$

Esse resultado poderia ser obtido lembrando que o objeto se encontra no ponto antiprincipal objeto ( $p = 2f$ ) e, portanto, a imagem se forma no ponto antiprincipal imagem ( $p' = 2f = 20$  cm).

A imagem conjugada pela lente I funciona como objeto em relação à lente II. Nesse caso,  $f = 15$  cm e  $p = 40$  cm. Portanto:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{15} = \frac{1}{40} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 24 \text{ cm}}$$



**P.368** Como a vergência da lente equivalente é a soma algébrica das vergências das lentes associadas, vem:

$$D = D_1 + D_2 \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{0,1} + \frac{1}{-0,2} \Rightarrow \boxed{f = 0,2 \text{ m}}$$

Pela definição de vergência, vem:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,2} \Rightarrow \boxed{D = 5 \text{ di}}$$

**P.369** a) **Lente biconvexa:**

Pela equação dos fabricantes de lentes, temos:

$$\frac{1}{f_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) \Rightarrow \frac{1}{f_1} = \left( \frac{1,8}{1,0} - 1 \right) \cdot \frac{2}{10} \Rightarrow \boxed{f_1 = 6,25 \text{ cm}}$$

$$\text{Como } D_1 = \frac{1}{f_1} \text{ vem: } D_1 = \frac{1}{6,25 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{D_1 = 16 \text{ di}}$$

**Lente plano-côncava:**

Aplicando a equação dos fabricantes de lentes no caso da lente plano côncava, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{-R} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \cdot \frac{1}{-10} \Rightarrow \boxed{f_2 = -20 \text{ cm}}$$

$$\text{De } D_2 = \frac{1}{f_2}, \text{ obtemos: } D_2 = \frac{1}{-20 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{D_2 = -5 \text{ di}}$$

b) A vergência da lente equivalente é a soma algébrica das vergências das lentes associadas. Portanto:

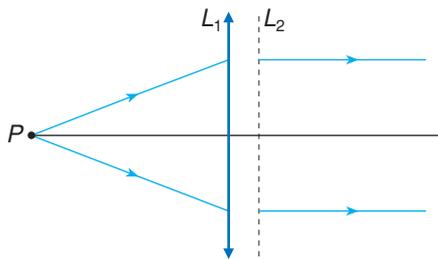
$$D = D_1 + D_2 \Rightarrow D = 16 + (-5) \Rightarrow \boxed{D = 11 \text{ di}}$$

$$\text{Como } D = \frac{1}{f}, \text{ vem: } 11 = \frac{1}{f} \Rightarrow f \approx 0,091 \text{ m} \Rightarrow \boxed{f \approx 9,1 \text{ cm}}$$

P.370 Dados:  $p = 20$  cm;  $p' = 20$  cm

Com a equação dos pontos conjugados, calculamos a distância focal da primeira lente ( $f_1$ ):

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f_1} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} \Rightarrow \frac{1}{f_1} = \frac{2}{20} \Rightarrow f_1 = 10 \text{ cm}$$



Para a associação, a lâmpada deve estar no foco, pois os raios emergentes devem ser paralelos. Então:

$$f_{\text{ass.}} = 20 \text{ cm}$$

Mas:  $\frac{1}{f_{\text{ass.}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ . Logo:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_{\text{ass.}}} - \frac{1}{f_1} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1-2}{20} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{-1}{20} \Rightarrow \boxed{f_2 = -20 \text{ cm}}$$

O sinal negativo indica que a segunda lente deve ser divergente.

P.371 a) Não. A lente **divergente** conjuga, de um objeto real, uma **imagem virtual**. Esta não pode ser projetada no filme.

b) A imagem de um objeto infinitamente afastado se forma no **plano focal imagem**. Por isso, o filme deve ser colocado no plano focal imagem.

c) Da equação dos pontos conjugados  $\left(\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}\right)$ , sendo  $f$  constante, quando o objeto se aproxima da câmara,  $p$  diminui. Nessas condições, como  $f$  é constante,  $p'$  deve aumentar. Para isso, deve-se **afastar a lente do filme**.

P.372 Como o objeto está muito afastado (50 m), podemos admitir que as imagens se formam nos planos focais, isto é:  $p'_1 = f_1 = 10$  cm e  $p'_2 = f_2 = 40$  cm. Aplicando a relação entre os tamanhos de objeto e imagem e as respectivas abscissas, obtemos:

$$\frac{i_1}{o} = -\frac{p'_1}{p} \Rightarrow \frac{i_1}{p'_1} = -\frac{o}{p} \quad \textcircled{1}$$

$$\frac{i_2}{o} = -\frac{p'_2}{p} \Rightarrow \frac{i_2}{p'_2} = -\frac{o}{p} \quad \textcircled{2}$$

Igualando  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ , obtemos:

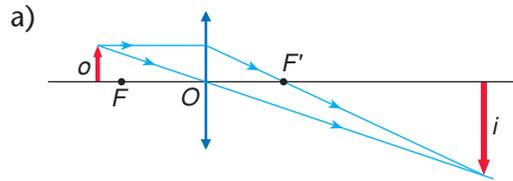
$$\frac{i_1}{p'_1} = \frac{i_2}{p'_2} \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{p'_1}{p'_2} \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{10}{40} \Rightarrow \boxed{\frac{i_1}{i_2} = 0,25}$$

P.373 Dados:  $p' = 7 \text{ m}$ ;  $A = -20$

a) De  $A = -\frac{p'}{p}$ , obtemos:  $-20 = -\frac{7}{p} \Rightarrow p = 0,35 \text{ m} \Rightarrow \boxed{p = 35 \text{ cm}}$

b) Como  $D = \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , vem:  $D = \frac{1}{0,35} + \frac{1}{7} \Rightarrow \boxed{D = 3 \text{ di}}$

P.374 Dados:  $f = 10 \text{ cm}$ ;  $p = 10,4 \text{ cm}$



b) Utilizando a equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{10,4} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 260 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{p' = 2,6 \text{ m}}$$

P.375 Dados: distância focal da objetiva ( $f_1$ ) = 6 mm; distância focal da ocular ( $f_2$ ) = 24 mm;  $p_1 = 6,1 \text{ mm}$ ;  $p'_2 = -250 \text{ mm}$

a) De  $A_{\text{ob}} = \frac{f_1}{f_1 - p_1}$ , vem:

$$A_{\text{ob}} = \frac{6}{6 - 6,1} \Rightarrow \boxed{A_{\text{ob}} = -60}$$

Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{24} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{-250} \Rightarrow p_2 \approx 21,9 \text{ mm}$$

Como  $A_{\text{oc}} = -\frac{p'_2}{p_2}$ , vem:  $A_{\text{oc}} = -\frac{-250}{21,9} \Rightarrow \boxed{A_{\text{oc}} \approx 11,4}$

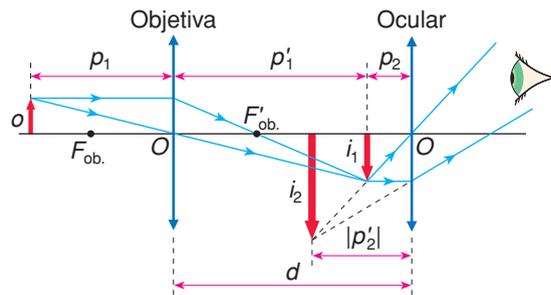
O aumento linear transversal  $A$  do microscópio é dado pelo produto dos aumentos da objetiva e da ocular:

$$A = A_{\text{ob}} \cdot A_{\text{oc}} \Rightarrow A = -60 \cdot 11,4 \Rightarrow \boxed{A = -684}$$

b) Como  $A_{\text{ob}} = -\frac{p'_1}{p_1}$ , vem:  $-60 = -\frac{p'_1}{6,1} \Rightarrow p'_1 = 366 \text{ mm}$

A distância entre a objetiva e a ocular é dada por:

$$d = p'_1 + p_2 \Rightarrow d = 366 + 21,9 \Rightarrow \boxed{d = 387,9 \text{ mm}}$$



**P.376** Dados: distância focal da objetiva ( $f_1 = 2 \text{ cm}$ );  $p_1 = 3 \text{ cm}$ ; distância focal da ocular ( $f_2 = 5 \text{ cm}$ );  $d = p'_1 + p_2 = 10 \text{ cm}$

O aumento linear transversal da objetiva ( $A_{\text{ob.}}$ ) é dado por:

$$A_{\text{ob.}} = \frac{f_1}{f_1 - p_1} \Rightarrow A_{\text{ob.}} = \frac{2}{2 - 3} \Rightarrow A_{\text{ob.}} = -2$$

De  $A_{\text{ob.}} = -\frac{p'_1}{p_1}$ , obtemos:  $-2 = -\frac{p'_1}{3} \Rightarrow p'_1 = 6 \text{ cm}$

Como  $d = p'_1 + p_2$ , vem:  $10 = 6 + p_2 \Rightarrow p_2 = 4 \text{ cm}$

O aumento linear transversal da ocular ( $A_{\text{oc.}}$ ) é dado por:

$$A_{\text{oc.}} = \frac{f_2}{f_2 - p_2} \Rightarrow A_{\text{oc.}} = \frac{5}{5 - 4} \Rightarrow A_{\text{oc.}} = 5$$

Por fim, o aumento linear transversal do microscópio ( $A$ ) é obtido pelo produto entre o aumento linear transversal da objetiva ( $A_{\text{ob.}}$ ) e o aumento transversal linear da ocular ( $A_{\text{oc.}}$ ).

$$A = A_{\text{ob.}} \cdot A_{\text{oc.}} \Rightarrow A = -2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{A = -10}$$

**P.377** Dados: objetiva  $f_1 = 2 \text{ m}$ ;  
ocular  $f_2 = 5 \text{ cm}$ ;  
 $d = f_1 + p_2 = 2,04 \text{ m}$   
A partir da figura pode-se observar que:

a)  $d = f_1 + p_2 \Rightarrow 2,04 = 2 + p_2 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow p_2 = 0,04 \text{ m} \Rightarrow p_2 = 4 \text{ cm}$

Utilizando a equação dos pontos conjugados para a lente ocular, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow$$

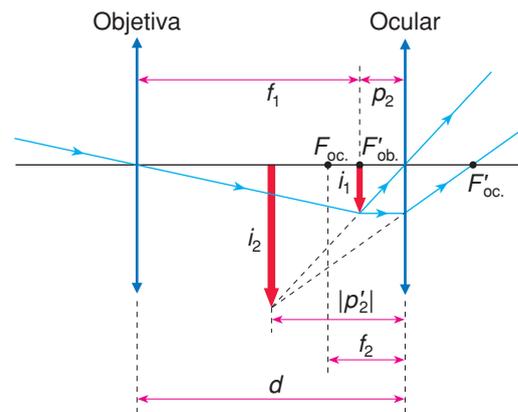
$$\Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{1}{4} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{p'_2 = -20 \text{ cm}}$$

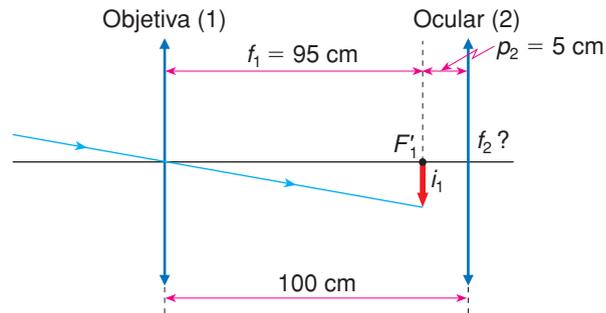
Logo, a imagem está a 20 cm da ocular e é virtual.

b) Em condições usuais de observação, o aumento visual  $G$  é dado por:

$$G = \frac{f_1}{f_2} \Rightarrow G = \frac{200 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} \Rightarrow \boxed{G = 40}$$



P.378



$p_2 = 100 \text{ cm} - 95 \text{ cm} = 5 \text{ cm}$ ;  $p'_2 = -15 \text{ cm}$  (a imagem final é virtual); logo:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{-15} \Rightarrow \boxed{f_2 = 7,5 \text{ cm}}$$

P.379 A amplitude de acomodação é expressa por:

$$a = \frac{1}{p_P} - \frac{1}{p_R}$$

Em que,  $p_P$  é a abscissa do ponto próximo e  $p_R$  a abscissa do ponto remoto. Sendo  $p_P = 50 \text{ cm} = 50 \cdot 10^{-2} \text{ m}$  e  $p_R \rightarrow \infty$ , temos:

$$a = \frac{1}{50 \cdot 10^{-2}} - 0 \Rightarrow \boxed{a = 2 \text{ di}}$$

P.380 Aplicando a fórmula da amplitude de acomodação, vem:

$$a = \frac{1}{p_P} - \frac{1}{p_R} \Rightarrow 4 = \frac{1}{p_P} - \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{p_P \approx 0,22 \text{ m}} \text{ ou } \boxed{p_P \approx 22 \text{ cm}}$$

Observe que o **ponto próximo** do míope está mais próximo do olho que o de uma pessoa de visão normal.

P.381 A distância focal  $f$  da lente que corrige a miopia deve ser igual, em módulo, à abscissa  $p_R$  do ponto remoto do olho:

$$f = -p_R \Rightarrow \boxed{f = -2 \text{ m}}$$

Pela definição de vergência, obtemos:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{-2} \Rightarrow \boxed{D = -0,5 \text{ di}}$$

P.382 Como  $D = \frac{1}{f}$ , vem:

$$-2 = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -0,5 \text{ m}$$

Mas a distância focal  $f$  da lente que corrige a miopia é igual, em módulo, à abscissa  $p_R$  do ponto remoto do olho dessa pessoa. Logo:

$$f = -p_R \Rightarrow -0,5 = -p_R \Rightarrow p_R = 0,5 \text{ m}$$

P.383 a) O míope deve usar lentes **divergentes**.

$$b) f = -p_R \Rightarrow f = -20 \text{ cm}$$

P.384 a) O hipermetrope deve usar lentes **convergentes**.

b) Sua vergência é dada por:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p} \Rightarrow D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{0,75} \Rightarrow D \approx 2,67 \text{ di}$$

P.385 A lente que a pessoa deve usar é **convergente**.

A distância focal  $f$  dessa lente é dada por:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{p_p} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{125} \Rightarrow f = 31,25 \text{ cm}$$

P.386 Se o cristalino está comprimido ao máximo, o ponto  $P$  é o ponto próximo. Logo,  $p_p = 1 \text{ m}$ . A lente a ser usada é **convergente**. Sua vergência é dada por:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p} \Rightarrow D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{1} \Rightarrow D = 3 \text{ di}$$

P.387 A pessoa possui **presbiopia**. A correção da presbiopia para a visão próxima é realizada com lentes **convergentes**, de modo semelhante ao que foi visto na correção da hipermetropia:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p} \Rightarrow D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{1,0} \Rightarrow D = 3 \text{ di}$$

P.388 Lente bicôncava

$$\frac{1}{f_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f_1} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{-20} + \frac{1}{-100} \right)$$

$$\frac{1}{f_1} = -\frac{3}{100} \text{ cm}^{-1}$$

Lente plano-convexa

$$\frac{1}{f_2} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{f_2} = \left( \frac{1,7}{1,0} - 1 \right) \cdot \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{7}{200} \text{ cm}^{-1}$$

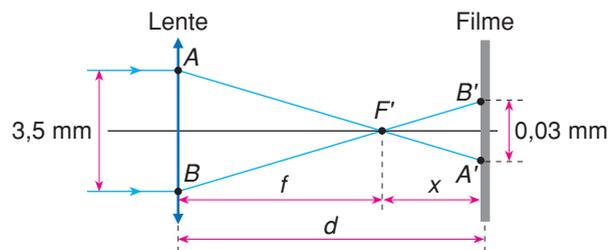
Distância focal  $f$  da lente equivalente

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{3}{100} + \frac{7}{200} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{200} \text{ cm}^{-1} \Rightarrow f = 200 \text{ cm}$$

Sendo  $o = 10 \text{ cm}$  e  $p = 40 \text{ cm}$ , vem:

$$\frac{i}{o} = \frac{f}{f-p} \Rightarrow \frac{i}{10} = \frac{200}{200-40} \Rightarrow i = 12,5 \text{ cm}$$

P.389 a)



Da semelhança entre os triângulos  $ABF'$  e  $A'B'F'$ , obtemos:  $\frac{x}{f} = \frac{0,03}{3,5}$

Como  $f = 35 \text{ mm}$ , vem:

$$\frac{x}{35} = \frac{0,03}{3,5} \Rightarrow x = 0,3 \text{ mm}$$

Portanto, a distância  $d$  do filme à lente é dada por:

$$d = f + x \Rightarrow d = 35 + 0,3 \Rightarrow d = 35,3 \text{ mm}$$

b)  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{35} = \frac{1}{p} + \frac{1}{35,3} \Rightarrow p = 4.118 \text{ mm}$

**P.390** Dados:  $p' = 4,1$  m;  $o = 35$  mm;  $i = -1,4$  m ( $i < 0$ , pois a imagem que está sendo projetada é real e, portanto, invertida).

a) De  $\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$  vem:

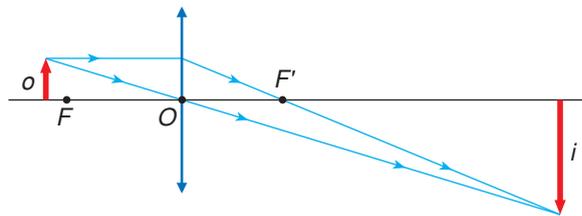
$$\frac{-1,4}{35 \cdot 10^{-3}} = -\frac{4,1}{p} \Rightarrow p = 102,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

A distância focal da lente que compõe o projetor de *slides* pode ser obtida pela equação dos pontos conjugados (equação de Gauss):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{102,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{4,1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1.000 + 25}{102,5} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1.025}{102,5} \Rightarrow f = 0,1 \text{ m} \Rightarrow \boxed{f = 10 \text{ cm}}$$

b)



**P.391** Dados:  $f = 100$  mm;  $p = 102$  mm

a) De  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$  vem:

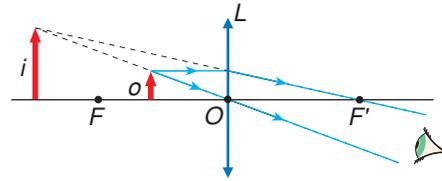
$$\frac{1}{100} = \frac{1}{102} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 5.100 \text{ mm} \Rightarrow \boxed{p' = 5,1 \text{ m}}$$

b) Como  $A = -\frac{p'}{p}$  obtemos:

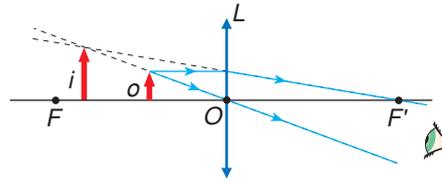
$$A = -\frac{5.100}{102} \Rightarrow A = -50 \Rightarrow \boxed{\frac{i}{o} = -50}$$

A razão entre o tamanho da imagem e o tamanho do objeto é igual a  $-50$ . O sinal negativo significa que a imagem é invertida em relação ao objeto.

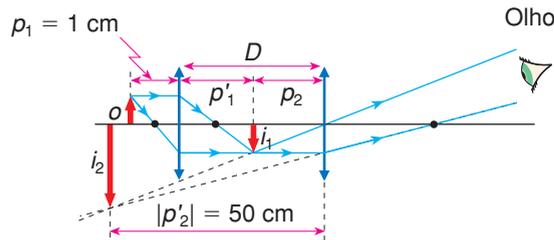
- P.392 a) O objeto (palavras) deve estar situado entre o foco objeto principal  $F$  e o centro óptico  $O$  da lente. Nessas condições, a imagem é direita e ampliada, como indicado na figura ao lado.



- b) De  $\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{água}}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$  concluímos que  $f$  aumenta pois  $n_{\text{água}} > n_{\text{ar}}$ . Logo, o poder de ampliação diminui, como se mostra no esquema ao lado.



P.393



$$A_{\text{ob.}} = -\frac{p'_1}{p_1} \Rightarrow -20 = -\frac{p'_1}{1} \Rightarrow p'_1 = 20 \text{ cm}$$

$$A_{\text{microscópio}} = A_{\text{ob.}} \cdot A_{\text{oc.}} \Rightarrow -100 = -20 \cdot A_{\text{oc.}} \Rightarrow A_{\text{oc.}} = 5$$

$$A_{\text{oc.}} = -\frac{p'_2}{p_2} \Rightarrow 5 = -\frac{-50}{p_2} \Rightarrow p_2 = 10 \text{ cm}$$

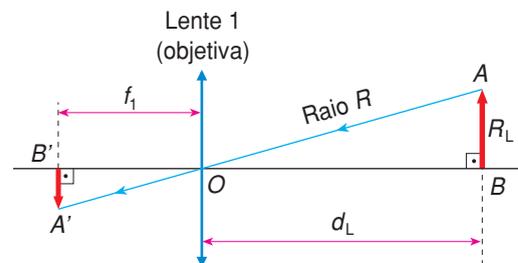
$$D = p'_1 + p_2 \Rightarrow D = 20 + 10 \Rightarrow \boxed{D = 30 \text{ cm}}$$

- P.394 a) O triângulo  $A'B'O$  é semelhante ao triângulo  $ABO$ :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{BO}$$

$$\frac{A'B'}{1.750 \text{ km}} = \frac{133 \text{ cm}}{384.000 \text{ km}}$$

$$\boxed{A'B' \approx 0,61 \text{ cm}}$$



b) Vamos aplicar a equação dos pontos conjugados para a ocular.

Sendo  $p'_2 = -20$  cm ( $p'_2 < 0$ , pois a imagem é virtual) e  $f_2 = 9,5$  cm, vem:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{p'_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{9,5} = \frac{1}{p_2} + \frac{1}{-20} \Rightarrow \frac{1}{p_2} = \frac{1}{9,5} + \frac{1}{20} \Rightarrow$$

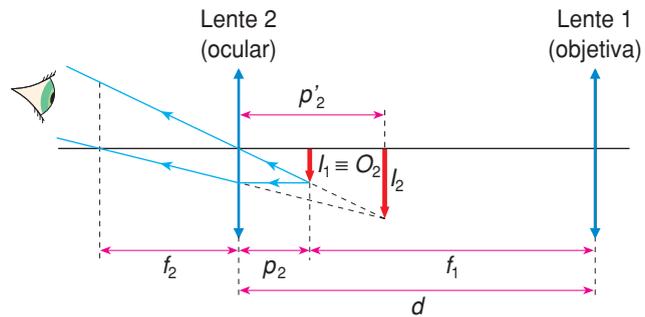
$$\Rightarrow p_2 = \frac{20 \cdot 9,5}{29,5} \Rightarrow p_2 \approx 6,4 \text{ cm}$$

Distância  $d$  entre a ocular e a objetiva:

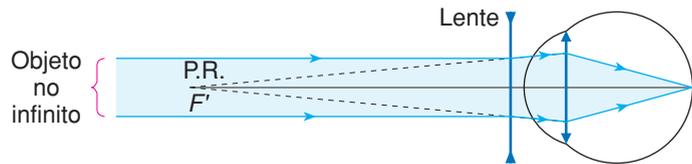
$$d = p_2 + f_1$$

$$d \approx 6,4 + 133$$

$$d \approx 139,4 \text{ cm}$$



P.395 a)



P.R.: ponto remoto do míope

$F'$ : foco principal imagem da lente divergente

$P.R. \equiv F'$

b)  $f = -p_R \Rightarrow f = -0,40$  m

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{-0,40} \Rightarrow D = -2,5 \text{ di}$$

c) Basta calcular a abscissa  $p_R$  do ponto remoto:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow -4 = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -0,25 \text{ m}$$

$$f = -p_R \Rightarrow -0,25 = -p_R \Rightarrow p_R = 0,25 \text{ m}$$

Sem os óculos o míope pode enxergar bem a partir de 0,25 m.

P.396 a) As lentes dos óculos ampliam as imagens dos olhos. Logo, as lentes dos óculos são **convergentes**. Provavelmente o defeito visual é a **hipermetropia**.

b) Sabendo que  $i$  é 25% maior do que  $o$ , obtemos:  $i = 1,25 \cdot o$

$$\text{De } \frac{i}{o} = \frac{f}{f-p} \text{ vem:}$$

$$\frac{1,25 \cdot o}{o} = \frac{f}{f-2} \Rightarrow f = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Aplicando a definição de vergência, vem:

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow D = \frac{1}{0,1} \Rightarrow \boxed{D = 10 \text{ di}}$$

P.397

a) Andréa apresenta **miopia**, pois deve utilizar para os olhos direito e esquerdo (OD e OE) lentes esféricas de vergência negativa, isto é, **lentes esféricas divergentes**. Observe que os óculos foram receitados “para longe”, o que confirma a miopia. Além desse defeito visual, Andréa apresenta também **astigmatismo**, pois as lentes receitadas são **cilíndricas**.

Rafael apresenta **hipermetropia**, pois deve utilizar óculos cujas lentes esféricas têm vergência positiva, isto é, **lentes esféricas convergentes**. Observe que os óculos foram receitados “para perto”, o que confirma a hipermetropia. Rafael também apresenta **astigmatismo**.

b) Para o olho direito (OD):

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow 5,50 = \frac{1}{f} \Rightarrow \boxed{f \approx 0,182 \text{ m}}$$

Para o olho esquerdo (OE):

$$D = \frac{1}{f} \Rightarrow 5,00 = \frac{1}{f} \Rightarrow \boxed{f = 0,200 \text{ m}}$$

- P.398** a) O período do movimento não depende da amplitude, mas da massa  $m$  e da constante elástica  $k$ . Calculando o período  $T$  para  $m = 0,1$  kg e  $k = 0,4\pi^2$  N/m, temos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{0,1}{0,4\pi^2}} \Rightarrow T = 1 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{1} \Rightarrow f = 1 \text{ Hz}$$

$$2a = 10 \text{ cm} \Rightarrow a = 5 \text{ cm}$$

- b) Calculando o período para  $m = 0,3$  kg e  $k = 1,2$  N/m, temos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{0,3}{1,2}} \Rightarrow T = \pi \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{\pi} \text{ Hz}$$

$$2a = 4 \text{ cm} \Rightarrow a = 2 \text{ cm}$$

- P.399** a) Na posição de equilíbrio:

$$F_{\text{el.}} = P \Rightarrow kx = mg \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4x = 0,10 \cdot 10 \Rightarrow x = 0,25 \text{ m}$$

Da figura pode-se observar que:

$$L = 0,80 + 0,25 \Rightarrow L = 1,05 \text{ m} \text{ ou } L = 105 \text{ cm}$$

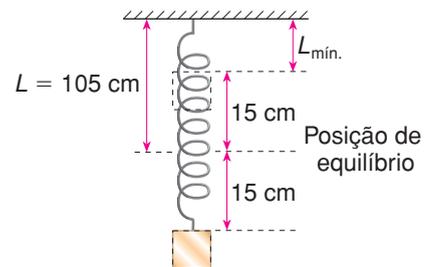
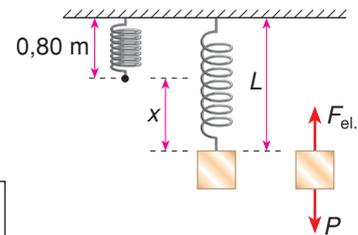
- b) Para calcular o intervalo de tempo em que o corpo retorna à posição de partida, basta calcular o período:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{0,10}{4}} \Rightarrow T \approx 1 \text{ s}$$

A amplitude do movimento é  $a = 15 \text{ cm}$

Da figura observamos que:

$$L_{\text{mín.}} = 105 - 15 \Rightarrow L_{\text{mín.}} = 90 \text{ cm}$$



- P.400** a) Na posição  $O$  de equilíbrio, a energia potencial elástica é nula ( $E_p = 0$ ) e a energia cinética ( $E_c$ ) é máxima. Temos:

$$E_{\text{mec.}} = E_p + E_c \Rightarrow E_{\text{mec.}} = 0 + \frac{mv_{\text{máx.}}^2}{2} \Rightarrow E_{\text{mec.}} = \frac{0,2 \cdot 1^2}{2} \Rightarrow E_{\text{mec.}} = 0,1 \text{ J}$$

b)  $E_{\text{mec.}} = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow 0,1 = \frac{5 \cdot a^2}{2} \Rightarrow a = 0,2 \text{ m}$

c)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{0,2}{5}} \Rightarrow T = 0,4\pi \text{ s}$

- P.401** a) Do gráfico tiramos:  $a = 0,2 \text{ m}$

- b) Quando a mola está deformada de  $x = 0,2 \text{ m}$ , a energia potencial elástica acumulada na mola corresponde à energia mecânica do sistema ( $E_p = E_{\text{mec.}}$ ). Logo, temos:

$$E_{\text{mec.}} = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow 10 = \frac{k \cdot (0,2)^2}{2} \Rightarrow k = 5 \cdot 10^2 \text{ N/m}$$

c)  $E_p = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow E_p = \frac{5 \cdot 10^2 \cdot (0,1)^2}{2} \Rightarrow E_p = 2,5 \text{ J}$

$$E_{\text{mec.}} = E_c + E_p \Rightarrow 10 = E_c + 2,5 \Rightarrow E_c = 7,5 \text{ J}$$

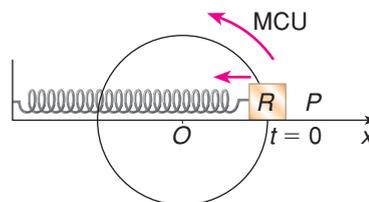
- P.402** a) Determina-se, primeiro, o período de oscilação:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{0,1}{0,4}} \Rightarrow T = \pi \text{ s}$$

A pulsação  $\omega$  relaciona-se com o período pela fórmula:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{\pi} \Rightarrow \omega = 2 \text{ rad/s}$$

- b) Neste caso,  $a = 0,1 \text{ m}$  e  $\varphi_0 = 0$ , pois em  $t = 0$  o móvel está na posição  $R$ :



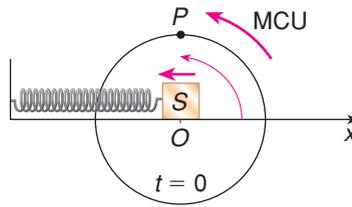
Assim, temos:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow x = 0,1 \cdot \cos 2t \text{ (SI)}$$

$$v = -\omega a \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow v = -0,2 \cdot \text{sen} 2t \text{ (SI)}$$

$$\alpha = -\omega^2 a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \alpha = -0,4 \cdot \cos 2t \text{ (SI)}$$

c) Neste caso,  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2}$  rad:



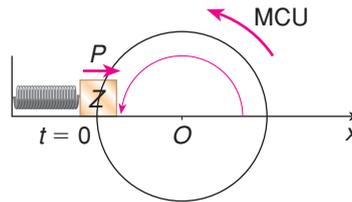
As funções horárias são:

$$x = 0,1 \cdot \cos \left( 2t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ (SI)}$$

$$v = -0,2 \cdot \text{sen} \left( 2t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ (SI)}$$

$$\alpha = -0,4 \cdot \cos \left( 2t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ (SI)}$$

d) A fase inicial é  $\varphi_0 = \pi$  rad:



As funções horárias são:

$$x = 0,1 \cdot \cos (2t + \pi) \text{ (SI)}$$

$$v = -0,2 \cdot \text{sen} (2t + \pi) \text{ (SI)}$$

$$\alpha = -0,4 \cdot \cos (2t + \pi) \text{ (SI)}$$

**P.403** a) Comparando  $x = 0,4 \cdot \cos \left( \frac{\pi}{2}t + \pi \right)$  com  $x = a \cdot \cos (\omega t + \varphi_0)$ , resulta:

$$a = 0,4 \text{ m} ; \quad \omega = \frac{\pi}{2} \text{ rad/s} ; \quad \varphi_0 = \pi \text{ rad}$$

O período  $T$  é obtido a partir da fórmula:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \frac{\pi}{2} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 4 \text{ s}$$

b) Substituindo os valores de  $a$ ,  $\omega$  e  $\varphi_0$  na expressão da velocidade escalar do MHS, obtemos:

$$v = -\omega a \cdot \text{sen} (\omega t + \varphi_0) \Rightarrow v = -\frac{\pi}{2} \cdot 0,4 \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{2}t + \pi \right) \text{ (SI)}$$

Para  $t = 1$  s, temos:

$$v = -0,2\pi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1 + \pi\right) \Rightarrow v = -0,2\pi \cdot \sin \frac{3\pi}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = -0,2\pi \cdot (-1) \Rightarrow \boxed{v = 0,2\pi \text{ m/s}}$$

Para  $t = 2$  s, temos:

$$v = -0,2\pi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2 + \pi\right) \Rightarrow v = -0,2\pi \cdot \sin 2\pi \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = -0,2\pi \cdot 0 \Rightarrow \boxed{v = 0}$$

Substituindo  $a$ ,  $\omega$  e  $\varphi_0$  na expressão da aceleração escalar do MHS, obtemos:

$$\alpha = -\omega^2 a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \alpha = -\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot 0,4 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} t + \pi\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = -0,1 \cdot \pi^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} t + \pi\right) \text{ (SI)}$$

Para  $t = 1$  s, temos:

$$\alpha = -0,1 \cdot \pi^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 1 + \pi\right) \Rightarrow \alpha = -0,1\pi^2 \cdot \cos \frac{3\pi}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = -0,1\pi^2 \cdot 0 \Rightarrow \boxed{\alpha = 0}$$

Para  $t = 2$  s, temos:

$$\alpha = -0,1\pi^2 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot 2 + \pi\right) \Rightarrow \alpha = -0,1\pi^2 \cdot \cos 2\pi \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = -0,1\pi^2 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{\alpha = -0,1\pi^2 \text{ m/s}^2}$$

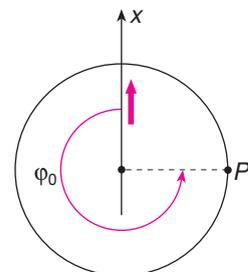
**P.404** a) Do gráfico, obtemos:

$$\boxed{a = 0,3 \text{ m}} ; \boxed{T = 2 \text{ s}} ; \omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{2} \Rightarrow \boxed{\omega = \pi \text{ rad/s}}$$

b) Determinemos  $\varphi_0$ . No instante  $t = 0$ , temos  $x = 0$  e, imediatamente após,  $x$  é positivo (figura ao lado).

Logo, a fase inicial é dada por:  $\varphi_0 = \frac{3\pi}{2}$  rad

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \boxed{x = 0,3 \cdot \cos\left(\pi t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}}$$



P.405 a) Da figura, obtemos:  $a = 0,5 \text{ m}$

Como  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , vem:  $\omega = \frac{2\pi}{2} \Rightarrow \omega = \pi \text{ rad/s}$

b)  $v_{\text{máx.}} = \omega a \Rightarrow v_{\text{máx.}} = \pi \cdot 0,5 \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 0,5\pi \text{ m/s}$

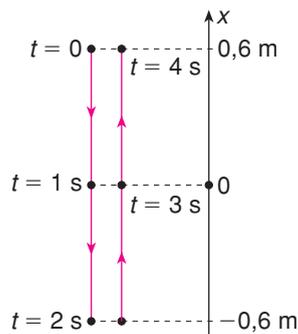
$\alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a \Rightarrow \alpha_{\text{máx.}} = \pi^2 \cdot 0,5 \Rightarrow \alpha_{\text{máx.}} = 0,5\pi^2 \text{ m/s}^2$

P.406 a) Do gráfico:  $a = 0,6 \text{ m}$ ;  $T = 4 \text{ s}$ ;  $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{4} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{2} \text{ rad/s}$

$v_{\text{máx.}} = \omega a \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 0,3\pi \text{ m/s}$

$\alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a \Rightarrow \alpha_{\text{máx.}} = 0,15\pi^2 \text{ m/s}^2$

b) Do gráfico dado, concluímos que:



$$t = 0 \begin{cases} v = 0 \\ \alpha = -0,15\pi^2 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

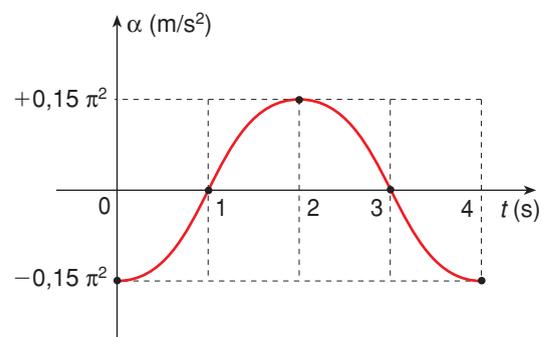
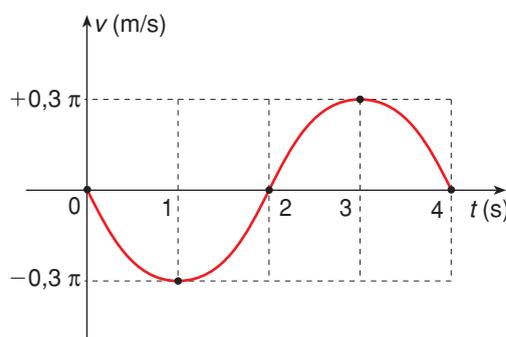
$$t = 1 \text{ s} \begin{cases} v = -0,3\pi \text{ m/s} \\ \alpha = 0 \end{cases}$$

$$t = 2 \text{ s} \begin{cases} v = 0 \\ \alpha = 0,15\pi^2 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

$$t = 3 \text{ s} \begin{cases} v = 0,3\pi \text{ m/s} \\ \alpha = 0 \end{cases}$$

$$t = 4 \text{ s} \begin{cases} v = 0 \\ \alpha = -0,15\pi^2 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

Com esses resultados, podemos construir os gráficos  $v \times t$  e  $\alpha \times t$ :



P.407

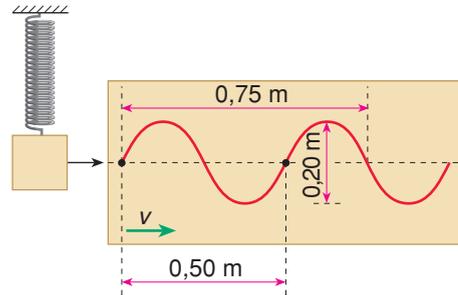
- a) No gráfico observamos que, durante uma oscilação completa do corpo, a fita de papel percorre 0,50 m, com velocidade constante 0,20 m/s:

$$s = vt \Rightarrow 0,50 = 0,20 \cdot t \Rightarrow t = 2,5 \text{ s}$$

Esse intervalo de tempo é o período;  
logo:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{2,5} \Rightarrow \boxed{f = 0,40 \text{ Hz}}$$

Também do gráfico, obtemos:  $2a = 0,20 \Rightarrow \boxed{a = 0,10 \text{ m}}$



b)  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow 2,5 = 2\pi \sqrt{\frac{2}{k}} \Rightarrow 6,25 = 4\pi^2 \cdot \frac{2}{k} \Rightarrow \boxed{k \approx 12,6 \text{ N/m}}$

- c) No instante  $t = 0$ , temos a situação ilustrada ao lado.

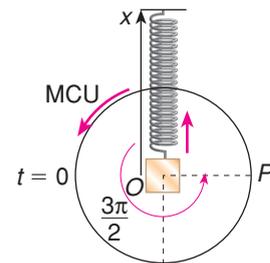
Nesse caso, temos:  $\varphi_0 = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$

A função horária do movimento do corpo é dada por:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0). \text{ Sendo } a = 0,10 \text{ m}, \varphi_0 = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$$

e  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2,5} \text{ rad/s} = 0,8\pi \text{ rad/s}$ , vem:

$$\boxed{x = 0,10 \cdot \cos\left(0,8\pi t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}}$$



P.408

Na situação da figura a, a constante elástica é dada por:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} \Rightarrow k_s = \frac{k}{2}$$

Logo, na figura a, o bloco representado oscila com período  $T_A$  dado por:

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}} \Rightarrow T_A = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{k}{2}}}$$

Na situação mostrada na figura b, a constante elástica é dada por:

$$k_p = k + k \Rightarrow k_p = 2k$$

Logo, o bloco oscila com período  $T_B$  dado por:

$$T_B = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_p}} \Rightarrow T_B = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$$

Como  $T_A = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{k}{2}}}$  e  $T_B = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$ , vem:  $\boxed{\frac{T_A}{T_B} = 2}$

- P.409** a) Ao ser transportado para o quente verão nordestino, o comprimento  $L$  do pêndulo sofrerá dilatação térmica e aumentará. Conseqüentemente, o período de oscilação  $T$  também aumentará. Nessas condições, o relógio **atrasará**.
- b) Na Lua a aceleração da gravidade  $g$  é menor do que na Terra. O período de oscilação do pêndulo aumentará e o relógio **atrasará**.

- P.410** a) Da fórmula  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ , vem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{10}} \Rightarrow T = 2\sqrt{10} \cdot \sqrt{\frac{67}{10}} \Rightarrow T = 2\sqrt{67} \Rightarrow \boxed{T \approx 16 \text{ s}}$$

- b) O período permaneceria o mesmo, pois não depende da massa da esfera pendular.

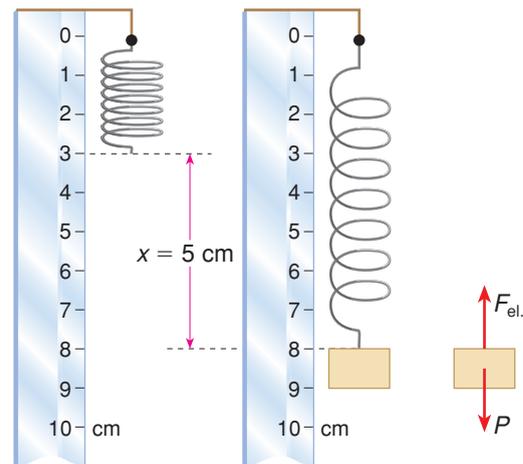
- P.411** a) Na posição de equilíbrio, temos:

$$F_{\text{el.}} = P$$

$$kx = mg$$

$$k \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 400 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$\boxed{k = 80 \text{ N/m}}$$



- b) O corpo descreveria um MHS cujo período é dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{400 \cdot 10^{-3}}{80}} \Rightarrow \boxed{T \approx 0,44 \text{ s}}$$

- P.412** Dados:  $k = 16 \text{ N/m}$ ;  $m = 4 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ ;  $a = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$   
Como  $k = m\omega^2$ , vem:  $16 = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \omega^2 \Rightarrow \omega = 20 \text{ rad/s}$   
De  $v_{\text{máx.}} = \omega a$ , obtemos:

$$v_{\text{máx.}} = 20 \cdot 3,5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{v_{\text{máx.}} = 0,70 \text{ m/s}}$$

P.413 a) No instante em que o corpo é abandonado, temos:  $E_c = 0$

$$E_p = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow E_p = \frac{5,0 \cdot 10^2 \cdot (0,20)^2}{2} \Rightarrow E_p = 10 \text{ J}$$

b)  $E_{\text{mec.}} = E_c + E_p \Rightarrow E_{\text{mec.}} = 10 \text{ J}$

c) De  $E_{\text{mec.}} = E_c + E_p$ , sendo  $E_c = E_p$ , vem:

$$E_{\text{mec.}} = 2E_p \Rightarrow E_{\text{mec.}} = 2 \cdot \frac{kx^2}{2} \Rightarrow E_{\text{mec.}} = kx^2 \Rightarrow 10 = 5,0 \cdot 10^2 \cdot x^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x^2 = \frac{2}{10^2} \Rightarrow x = \pm \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ m} \Rightarrow x = \pm 10\sqrt{2} \text{ cm}$$

P.414 a) No ponto C do gráfico, temos:

$$F = -1,5 \text{ nN}; x = 30 \text{ nm}$$

De  $F = -kx$ , vem:

$$-1,5 = -k \cdot 30 \Rightarrow k = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$$

b) A massa do tubo oscilante, constituído de 90 átomos de carbono, será dada por:

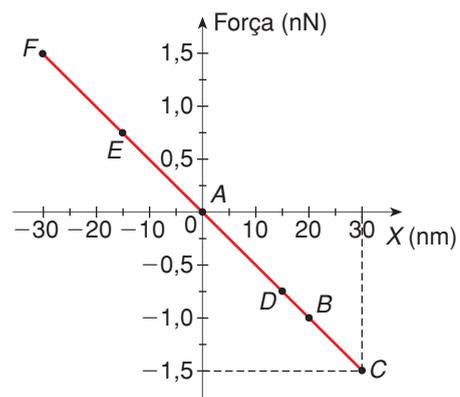
$$m = 90 \cdot 2 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \Rightarrow m = 180 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

Pelo princípio da conservação da energia mecânica, vem:

$$E_{\text{mec.(A)}} = E_{\text{mec.(C)}} \Rightarrow \frac{m \cdot (v_{\text{máx.}})^2}{2} = \frac{ka^2}{2}$$

Sendo  $a = 30 \text{ nm} = 30 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  a amplitude do MHS, obtemos:

$$\frac{180 \cdot 10^{-26} \cdot (v_{\text{máx.}})^2}{2} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot (30 \cdot 10^{-9})^2}{2} \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$



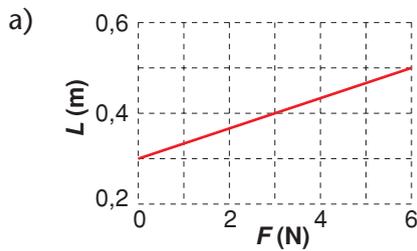
P.415 Comparando  $x = 8 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \pi\right)$  ( $x$  em cm e  $t$  em s) com  $x = a \cdot \cos(\omega t + \phi_0)$ ,

obtemos:  $a = 8 \text{ cm}$

Portanto:

$$\omega = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow T = 4 \text{ s}$$

P.416



No gráfico ao lado, para  $F = 6 \text{ N}$ , a deformação sofrida pela mola é:

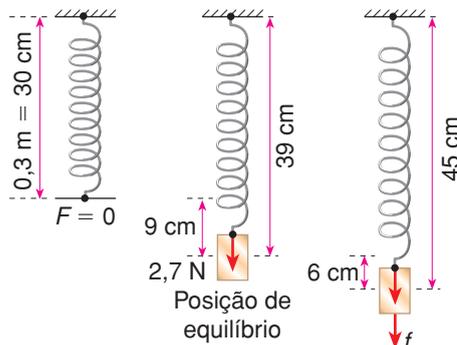
$$x = 0,5 \text{ m} - 0,3 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$$

De  $F = kx$ , vem:

$$6 = k \cdot 0,2 \Rightarrow k = 30 \text{ N/m}$$

b) Para  $F = 2,7 \text{ N}$ , temos:

$$F = kx \Rightarrow 2,7 = 30 \cdot x \Rightarrow x = 0,09 \text{ m} = 9 \text{ cm}$$



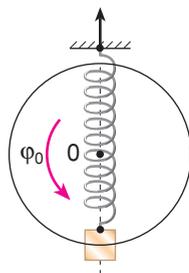
Na sequência de situações indicadas, observe que, quando o comprimento total da mola é 45 cm, o corpo está a 6 cm da posição de equilíbrio. Retirando-se  $f$ , o corpo sobe até 6 cm acima da posição de equilíbrio. Assim, o mínimo comprimento por que passa a mola é 33 cm:

$$L_{\text{mín.}} = 33 \text{ cm}$$

c) Esse tempo é o período:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{0,27}{30}} \Rightarrow T \approx 0,6 \text{ s}$$

d)



- $a = 6 \text{ cm} \Rightarrow a = 0,06 \text{ m}$

- $\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{0,6} \Rightarrow \omega \approx 10,4 \text{ rad/s}$

- $\varphi_0 = \pi \text{ rad}$

Substituindo-se os valores de  $a$ ,  $\omega$  e  $\varphi_0$  na função horária do movimento, temos:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow x = 0,06 \cdot \cos(10,4t + \pi) \text{ (SI)}$$

P.417

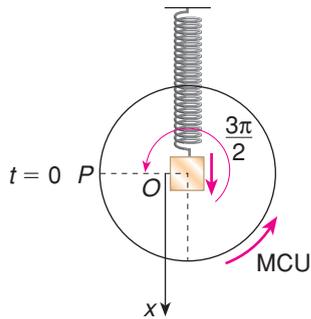
Como  $k = m\omega^2$ , vem:

$$0,32 = 0,02 \cdot \omega^2 \Rightarrow \omega = 4 \text{ rad/s}$$

Quando a mola se encontra totalmente deformada, a energia mecânica do sistema está na forma de energia potencial elástica. Logo, temos:

$$E_{\text{mec.}} = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow 16 \cdot 10^{-4} = \frac{0,32 \cdot a^2}{2} \Rightarrow a = 0,1 \text{ m}$$

Cálculo de  $\varphi_0$ :



Na figura é possível observar que:

$$\varphi_0 = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$$

Com os valores obtidos para  $\omega$ ,  $a$  e  $\varphi_0$ , pode-se determinar as funções da posição, velocidade e aceleração, em função do tempo.

Função horária da posição:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow x = 0,1 \cdot \cos\left(4t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$

Função horária da velocidade:

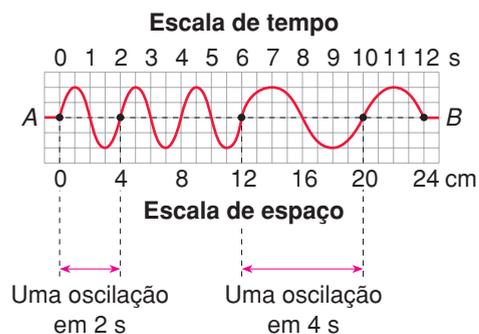
$$v = -\omega a \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow v = -0,4 \cdot \sin\left(4t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$

Função horária da aceleração:

$$\alpha = -\omega^2 a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \alpha = -1,6 \cdot \cos\left(4t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$

- P.418** a) Na figura dada observamos que a folha percorre 24 cm em 12 s. Logo, sua velocidade será:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{24}{12} \Rightarrow v = 2 \text{ cm/s}$$



- b) No intervalo de 0 a 6 s, uma oscilação completa é realizada em 2 s. Portanto:

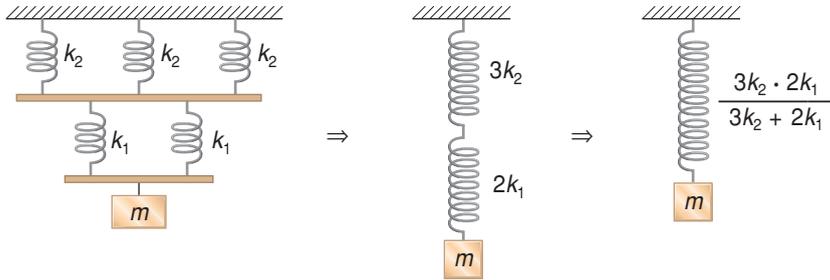
$$T_1 = 2 \text{ s} \quad f_1 = \frac{1}{T_1} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2} \text{ Hz}$$

No intervalo de 6 s a 12 s, uma oscilação completa é realizada em 4 s. Portanto:

$$T_2 = 4 \text{ s} \quad f_2 = \frac{1}{T_2} \Rightarrow f_2 = \frac{1}{4} \text{ Hz}$$

Logo:  $\frac{f_1}{f_2} = \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} \Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = 2$

P.419



Sendo  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{\text{eq}}}}$ , vem:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{\text{eq}}}{m}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{6k_2 \cdot k_1}{m \cdot (3k_2 + 2k_1)}}$$

P.420 a) A expressão para o período de um pêndulo simples na Terra ( $T_T$ ) é dada por:

$$T_T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_T}} \quad \textcircled{1}$$

Nessa fórmula,  $g_T$  é a aceleração gravitacional na Terra.

De maneira análoga, o período de um pêndulo simples na Lua ( $T_L$ ) é expresso por:

$$T_L = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_L}} \quad \textcircled{2}$$

Nessa fórmula,  $g_L$  é a aceleração gravitacional na Lua.

Dividindo  $\textcircled{2}$  por  $\textcircled{1}$ , obtemos:  $\frac{T_L}{T_T} = \sqrt{\frac{g_T}{g_L}} \Rightarrow \frac{T_L}{T_T} = \sqrt{\frac{g_T}{\frac{g_T}{6}}} \Rightarrow \frac{T_L}{T_T} = \sqrt{6}$

Como o período do pêndulo na Terra é de 1 s, vem:

$$\frac{T_L}{1} = \sqrt{6} \Rightarrow T_L = \sqrt{6} \text{ s} \Rightarrow T_L \approx 2,45 \text{ s}$$

b) À medida que o pêndulo fosse removido para uma região livre de ações gravitacionais, a aceleração da gravidade  $g$  iria diminuir e o período de oscilação do pêndulo iria aumentar – até tornar-se infinitamente grande, quando totalmente livre das ações gravitacionais.

**P.421** Da definição de densidade linear ( $\mu$ ), vem:

$$\mu = \frac{m}{L} \Rightarrow \mu = \frac{600 \cdot 10^{-3} \text{ kg}}{3 \text{ m}} \Rightarrow \mu = 200 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m} \Rightarrow \mu = 0,2 \text{ kg/m}$$

A velocidade de propagação do pulso na corda depende apenas da intensidade da força de tração ( $T$ ) e da densidade linear ( $\mu$ ) da corda, sendo dada por:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{500}{0,2}} \Rightarrow \boxed{v = 50 \text{ m/s}}$$

**P.422** Dados:  $d = 9 \text{ g/cm}^3 = 9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $A = 10 \text{ mm}^2 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ;  $v = 100 \text{ m/s}$

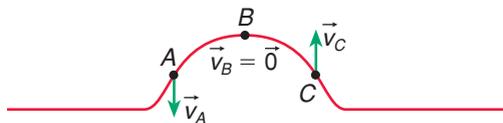
Do exercício **R.119**, temos:  $v = \sqrt{\frac{T}{dA}}$ . Assim, obtemos:

$$100 = \sqrt{\frac{T}{9 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}} \Rightarrow (100)^2 = \frac{T}{9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{T = 900 \text{ N}}$$

**P.423** Na figura abaixo, representamos o pulso no instante  $t_0$  (linha cheia) e num instante imediatamente posterior (linha tracejada). A parte dianteira do pulso está se movendo para cima ( $\vec{v}_C$  é vertical e para cima) e a traseira, para baixo ( $\vec{v}_A$  é vertical e para baixo):

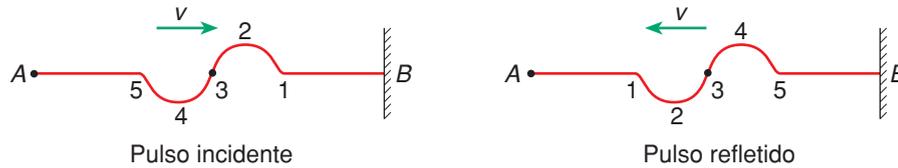


Assim, temos:

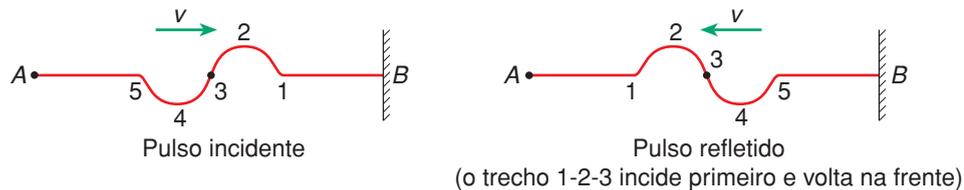


O ponto  $B$ , nesse instante, tem velocidade nula:  $\vec{v}_B = \vec{0}$

- P.424 a) Ao incidir na extremidade  $B$ , fixa, o pulso sofre reflexão com inversão de fase. Observe que o trecho 1-2-3, que incide primeiro, volta na frente. Assim, temos:



- b) Sendo a extremidade  $B$  livre, o pulso reflete sem inversão de fase. Assim, temos:



- P.425 O pulso refratado não sofre inversão de fase. O pulso refletido também não sofre inversão de fase, pois o pulso incidente se propaga no sentido da corda de maior densidade linear para a corda de menor densidade linear. Assim, temos:

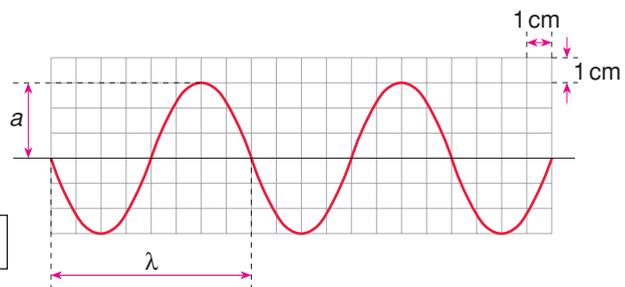


- P.426 a) Na figura, temos:

$$a = 3 \cdot 1 \text{ cm} \Rightarrow a = 3 \text{ cm}$$

$$\lambda = 8 \cdot 1 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 8 \text{ cm}$$

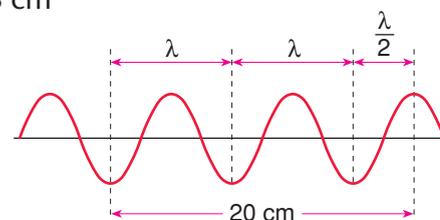
$$b) v = \lambda f \Rightarrow 8 = 8 \cdot f \Rightarrow f = 1 \text{ Hz}$$



- P.427 Na figura, temos:

$$\lambda + \lambda + \frac{\lambda}{2} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \frac{5\lambda}{2} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 8 \text{ cm}$$

Se cada ponto da corda executa uma vibração completa em 2 s, concluímos que o período da onda é  $T = 2 \text{ s}$ .



$$\text{Como } v = \lambda f, \text{ vem: } v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \frac{8}{2} \Rightarrow v = 4 \text{ cm/s}$$

P.428 a) A partir da definição de velocidade, obtemos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{250}{2} \Rightarrow \boxed{v = 125 \text{ cm/s}}$$

b) A distância entre duas cristas sucessivas é o comprimento de onda  $\lambda$ :

$$\boxed{\lambda = 25 \text{ cm}}$$

c) De  $v = \lambda f$ , vem:  $125 = 25 \cdot f \Rightarrow \boxed{f = 5 \text{ Hz}}$

P.429 a) Pelo esquema são produzidas 2,5 ondas em 2 s. Assim, a frequência pode ser calculada por regra de três simples e direta:

$$\left. \begin{array}{l} 2 \text{ s} \text{ — } 2,5 \text{ ondas} \\ 1 \text{ s} \text{ — } f \end{array} \right\} f = \frac{2,5}{2} \Rightarrow \boxed{f = 1,25 \text{ Hz}}$$

b) Sendo  $v = 0,5 \text{ m/s}$ , temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{0,5}{1,25} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,4 \text{ m}}$$

P.430 a) A frequência não se modifica quando a onda muda de corda:  $f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$

Temos:  $v_1 = 12 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 8 \text{ m/s}$ ;  $\lambda_1 = 1,5 \text{ m}$ ; logo:

$$\frac{12}{1,5} = \frac{8}{\lambda_2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{8 \cdot 1,5}{12} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 1 \text{ m}}$$

b)  $f = \frac{v_1}{\lambda_1} \Rightarrow f = \frac{12}{1,5} \Rightarrow \boxed{f = 8 \text{ Hz}}$

P.431 De  $v = \lambda f$ , vem:  $3,0 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 100 \cdot 10^6 \Rightarrow \boxed{\lambda = 3,0 \text{ m}}$

P.432 Comparando  $y = 3 \cdot \cos [2\pi \cdot (20t - 4x)]$  ( $x$  e  $y$  em cm e  $t$  em s) com

$$y = a \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right], \text{ obtemos:}$$

a)  $\boxed{a = 3 \text{ cm}}$

b)  $\frac{1}{\lambda} = 4 \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,25 \text{ cm}}$

$$c) \frac{1}{T} = 20 \Rightarrow T = 0,05 \text{ s}$$

$$d) v = \lambda f \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \frac{0,25}{0,05} \Rightarrow v = 5 \text{ cm/s}$$

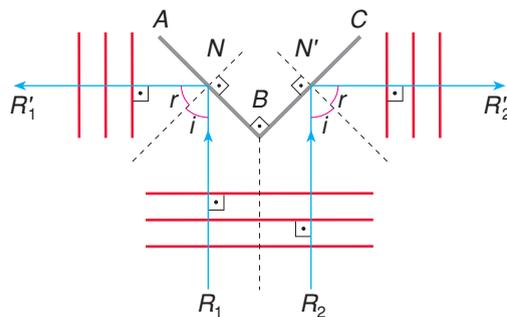
**P.433** Comparando  $y = 4 \cdot \cos [\pi \cdot (10t - 2x) + \pi]$  ou  $y = 4 \cdot \cos [2\pi \cdot (5t - x) + \pi]$  ( $x$  e  $y$  em cm e  $t$  em s) com  $y = a \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \phi_0 \right]$ , vem:

$$f = \frac{1}{T} = 5 \Rightarrow f = 5 \text{ Hz}$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1 \Rightarrow \lambda = 1 \text{ cm}$$

$$\text{De } v = \lambda f, \text{ vem: } v = 1 \cdot 5 \Rightarrow v = 5 \text{ cm/s}$$

**P.434** Desenhamos os raios incidentes ( $R_1$  e  $R_2$ ) e os correspondentes raios refletidos ( $R'_1$  e  $R'_2$ ). As frentes de onda refletidas são perpendiculares aos raios refletidos.



**P.435** Em 5 s a frente de onda percorre a distância:

$$d = v \cdot \Delta t \Rightarrow d = 10 \cdot 5 \Rightarrow d = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

Na **figura a**, representamos a frente de onda, no instante 5 s, se não houvesse as paredes; na **figura b**, representamos os arcos refletidos:

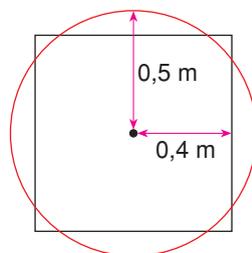


Figura a

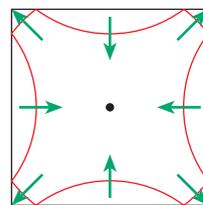
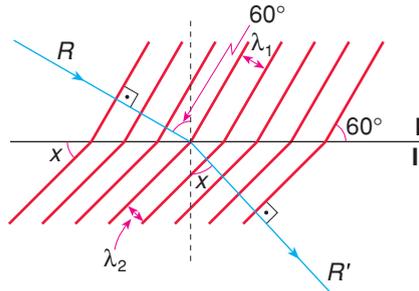


Figura b

P.436 a)  $\frac{\sin 60^\circ}{\sin x} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\sin x} = \frac{4}{2} \Rightarrow \boxed{\sin x = \frac{\sqrt{3}}{4}}$

b)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = 2}$



P.437 a) De  $v_1 = \lambda_1 f$ , vem:  $10 = \lambda_1 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\lambda_1 = 2 \text{ m}}$

b) A frequência não muda na refração:  $\boxed{f = 5 \text{ Hz}}$

De  $v_2 = \lambda_2 f$ , vem:  $5 = \lambda_2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 1 \text{ m}}$

P.438 a) De  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , vem:  $v = \sqrt{\frac{10^{-2}}{9 \cdot 10^{-2}}} \Rightarrow \boxed{v = \frac{1}{3} \text{ m/s}}$

b) Como  $v = \lambda f$ , temos:

$$\frac{1}{3} = \lambda \cdot 2 \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{1}{6} \text{ m}}$$

c) Sabemos que  $\varphi_0 = 0$ ;  $a = 0,3 \text{ m}$ ;  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2} \text{ s}$ ;  $\lambda = \frac{1}{6} \text{ m}$ ; logo:

$$y = a \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right]$$

$$y = 0,3 \cdot \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{t}{\frac{1}{2}} - \frac{x}{\frac{1}{6}} \right) + 0 \right]$$

$$y = 0,3 \cdot \cos [2\pi \cdot (2t - 6x)]$$

ou

$$\boxed{y = 0,3 \cdot \cos [4\pi \cdot (t - 3x)] \text{ (SI)}}$$

**P.439** As duas cordas estão submetidas à mesma força tensora  $\vec{T}$ . As velocidades  $v_1$  e  $v_2$  dos pulsos nessas cordas serão expressas por:

$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{\mu_1}} \quad \textcircled{1} \qquad v_2 = \sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , obtemos:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{\frac{T}{\mu_1}}}{\sqrt{\frac{T}{\mu_2}}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$

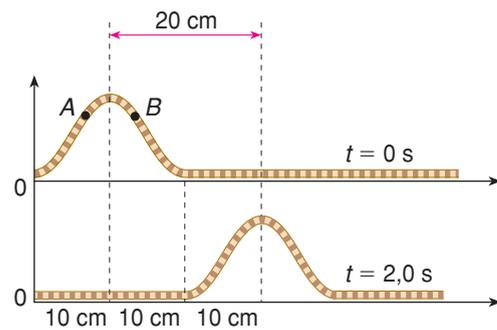
Como  $\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1}{2}$ , vem:  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{1}{2}} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}}$

**P.440** a) Na figura podemos observar que a crista da onda percorre 20 cm em 2,0 s.

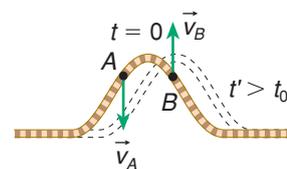
De  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , vem:

$$v = \frac{20}{2,0}$$

$$\boxed{v = 10 \text{ cm/s}}$$



b) Desenhando o pulso no instante  $t = 0$  e num instante  $t'$  imediatamente posterior, obtemos a figura ao lado.



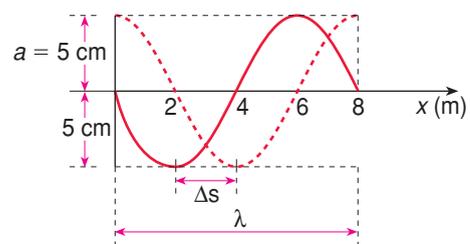
**P.441** a) Na figura, temos:

$$\boxed{a = 5 \text{ cm}}$$

b) Também na figura é possível observar que:

$$\boxed{\lambda = 8 \text{ m}}$$

c) De  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , vem:



$$v = \frac{4 - 2}{0,5 - 0,3} \Rightarrow v = 10 \text{ m/s}$$

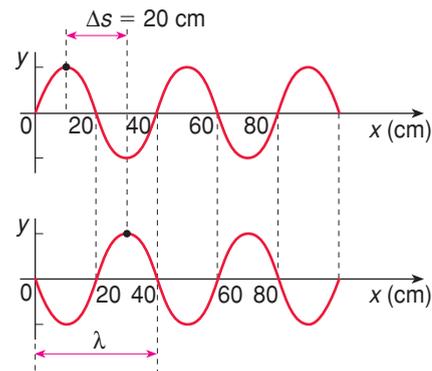
d) Como  $v = \lambda f$ , temos:  $10 = 8 \cdot f \Rightarrow f = 1,25 \text{ Hz}$

**P.442** No intervalo de tempo  $t_A$  o pulso se desloca  $\Delta s_A = 20 \text{ cm}$ ; no intervalo de tempo  $t_B$ ,  $\Delta s_B = 60 \text{ cm}$ .

$$\Delta s_A = vt_A \quad \textcircled{1} \quad \Delta s_B = vt_B \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , obtemos:  $\frac{t_A}{t_B} = \frac{\Delta s_A}{\Delta s_B} \Rightarrow \frac{t_A}{t_B} = \frac{20}{60} \Rightarrow \frac{t_A}{t_B} = \frac{1}{3}$

**P.443** a) Na figura, temos:  $\lambda = 40 \text{ cm}$



b) Observe que a onda avança  $\Delta s = 20 \text{ cm}$  em  $\Delta t = \frac{1}{10} \text{ s}$ ; logo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{20}{\frac{1}{10}} \Rightarrow v = 200 \text{ cm/s ou } v = 2,0 \text{ m/s}$$

De  $v = \lambda f$ , vem:

$$200 = 40 \cdot f \Rightarrow f = 5,0 \text{ Hz}$$

**P.444** a) Observando o gráfico, concluímos que o período da onda é  $T = 2 \text{ s}$ . Sendo  $\lambda = 0,84 \text{ m}$ , vem:

$$v = \lambda f \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \frac{0,84}{2} \Rightarrow v = 0,42 \text{ m/s}$$

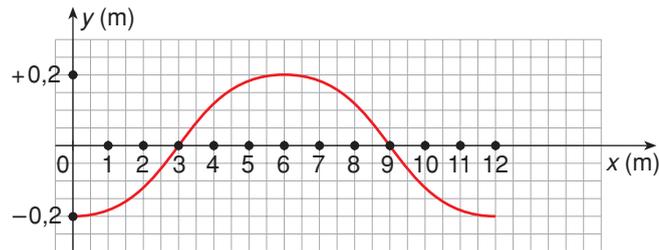
b) A velocidade da rolha é nula nos instantes em que há inversão no sentido do movimento. Isso ocorre nos instantes:  $0,5 \text{ s}$ ;  $1,5 \text{ s}$ ;  $2,5 \text{ s}$  etc.

- P.445 a) Do instante  $t = 0$  ao instante  $t = 6$  s, a bola completa  $\frac{3}{4}$  de sua trajetória circular. Sendo  $T$  o período, vem:

$$\frac{3}{4} \cdot T = 6 \Rightarrow T = 8 \text{ s}$$

b) De  $v = \frac{\lambda}{T}$ , sendo  $v = 1,5$  m/s e  $T = 8$  s, resulta:  $1,5 = \frac{\lambda}{8} \Rightarrow \lambda = 12 \text{ m}$

- c) Sendo o período  $T = 8$  s, concluímos que a posição inicial da bola no instante  $t = 14$  s é a mesma que no instante  $t = 6$  s ( $14 \text{ s} - 8 \text{ s} = 6 \text{ s}$ ). Portanto, sendo  $a = 0,2$  m a amplitude, para  $x = 0$  resulta  $y = -a = -0,2$  m. O comprimento de onda é de 12 m. Assim, temos o esquema do perfil da onda para  $t = 14$  s:



P.446 a) De  $v = \lambda f$ , vem:  $3,0 = 5,0 \cdot f \Rightarrow f = 0,60 \text{ Hz}$

- b) Aumentando apenas a amplitude de vibração, a frequência, a velocidade de propagação e o comprimento de onda **não se alteram**. De fato, a frequência da onda é a frequência da fonte (vibrador) que lhe dá origem, e essa frequência não se altera. A velocidade de propagação depende apenas do meio em que a onda se propaga, e o meio continua sendo o mesmo. Assim, se a frequência e a velocidade não se alteram, o comprimento de onda também não se altera ( $\lambda = \frac{v}{f}$ ).

P.447 a) Quando ancorado:  $v = 2$  m/s;  $\lambda = 10$  m. Logo:  $f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{2}{10} \Rightarrow f = 0,2 \text{ Hz}$

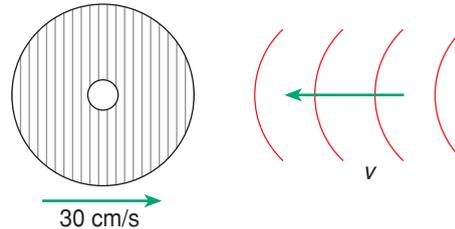
O período é dado por:  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,2} \Rightarrow T = 5 \text{ s}$

- b) Se o barco se movimenta com velocidade de 8 m/s, a velocidade relativa das ondas em relação ao barco é:  $v' = 2 + 8 \Rightarrow v' = 10$  m/s

Sendo  $\lambda = 10$  m, vem:  $f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{10}{10} \Rightarrow f' = 1 \text{ Hz}$

O período é dado por:  $T' = \frac{1}{f'} = \frac{1}{1} \Rightarrow T' = 1 \text{ s}$

**P.448** Se as ondas chegam de 10 em 10 segundos a um ponto da margem, concluímos que o período é:  $T = 10 \text{ s}$



A velocidade da boia em relação à onda (ou da onda em relação à boia) é  $30 + v$ , sendo  $v$  a velocidade de propagação das ondas. Assim, se a bóia leva 5 s para ir de uma depressão a outra, transpondo 8 cristas, concluímos que a bóia se desloca  $8\lambda$ . Logo:  $(30 + v) \cdot 5 = 8\lambda$

Sendo  $v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = 0,1\lambda$ , obtemos:

$$(30 + 0,1\lambda) \cdot 5 = 8\lambda \Rightarrow \lambda = 20 \text{ cm}$$

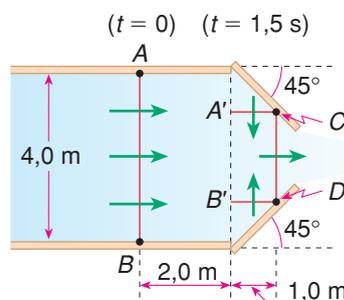
**P.449** O período da onda é o período com que as gotas tocam a superfície da água e esse é igual ao tempo de queda das gotas:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow s = \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow 3,2 = 5 t^2 \Rightarrow t = 0,8 \text{ s}$$

Logo:  $T = 0,8 \text{ s}$

$$v = \lambda f \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 15 = \frac{\lambda}{0,8} \Rightarrow \lambda = 12 \text{ cm}$$

**P.450** Com velocidade 2,0 m/s, em 1,5 s a crista AB percorrerá 3,0 m. Como está a 2,0 m da região tracejada, parte da crista será refletida pelas comportas:



$$AB = A'C + CD + DB'$$

$$4,0 = 1,0 + A'B' + 1,0 \Rightarrow A'B' = 2,0 \text{ m}$$

P.451 a) Para o meio 1, temos:  $v_1 = 200,0 \text{ m/s}$ ;  $\lambda_1 = 4,0 \text{ cm} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$\text{De } v_1 = \lambda_1 \cdot f_1, \text{ vem: } 200 = 4,0 \cdot 10^{-2} \cdot f_1 \Rightarrow f_1 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

A frequência não muda na refração.

$$\text{Logo, para o meio 2, temos: } f_2 = f_1 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

b) De  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$ , sendo  $\sin \theta_1 = 0,8$ ,  $\sin \theta_2 = 0,5$  e  $v_1 = 200,0 \text{ m/s}$ , vem:

$$\frac{0,8}{0,5} = \frac{200,0}{v_2} \Rightarrow v_2 = 125,0 \text{ m/s}$$

c) A distância  $d$  entre duas frentes de ondas consecutivas é o comprimento de onda  $\lambda_2$ .

De  $v_2 = \lambda_2 \cdot f_2$ , vem:

$$125,0 = \lambda_2 \cdot 5,0 \cdot 10^3 \Rightarrow \lambda_2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$$

P.452 a) A frequência das ondas que se propagam do meio B é **igual** à das que se propagam no meio A, pois a frequência de uma onda é a da fonte que a emite – no caso, o vibrador.

b) Como  $v_A = \lambda_A f$  ① e  $v_B = \lambda_B f$  ②, dividindo ① por ②, obtemos:

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} \Rightarrow \frac{340}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\frac{\lambda_A}{2}} \Rightarrow v_B = 170 \text{ m/s}$$

P.453 a) De  $v_1 = \lambda_1 f$ , vem:  $2,0 = 0,40 \cdot f \Rightarrow f = 5,0 \text{ Hz}$

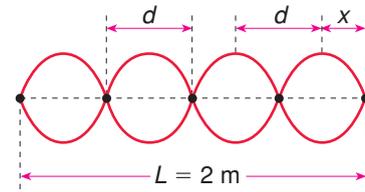
b) Na corda 2 a frequência da onda também é  $f = 5,0 \text{ Hz}$ . A distância entre duas cristas consecutivas da corda 2 é o comprimento de onda  $\lambda_2$ . Sendo  $v_2 = 1,0 \text{ m/s}$ , vem:

$$v_2 = \lambda_2 f \Rightarrow 1,0 = \lambda_2 \cdot 5,0 \Rightarrow \lambda_2 = 0,20 \text{ m} \Rightarrow \lambda_2 = 20 \text{ cm}$$

P.454 O som se difrata muito mais do que a luz, pois seu comprimento de onda é muito maior do que o da luz.

- P.455 a) A distância entre dois ventres consecutivos é igual à distância entre dois nós consecutivos:

$$4d = L \Rightarrow d = \frac{L}{4} \Rightarrow d = \frac{2}{4} \Rightarrow \boxed{d = 0,5 \text{ m}}$$



b)  $x = \frac{d}{2} \Rightarrow x = \frac{0,5}{2} \Rightarrow \boxed{x = 0,25 \text{ m}}$

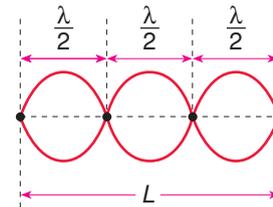
c)  $d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d \Rightarrow \lambda = 2 \cdot 0,5 \Rightarrow \boxed{\lambda = 1 \text{ m}}$

- d) Sendo  $v = 0,5 \text{ m/s}$ , temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0,5}{1} \Rightarrow \boxed{f = 0,5 \text{ Hz}}$$

- P.456 Observando a figura ao lado, podemos escrever:

$$L = 3 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{L}{\lambda} = \frac{3}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{L}{\lambda} = 1,5}$$



- P.457 a) A amplitude da onda estacionária é dada por:

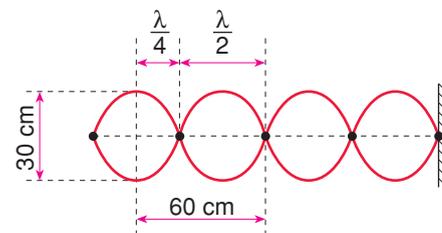
$$A = \frac{30}{2} \Rightarrow A = 15 \text{ cm}$$

Já a amplitude das ondas que se superpõem será:

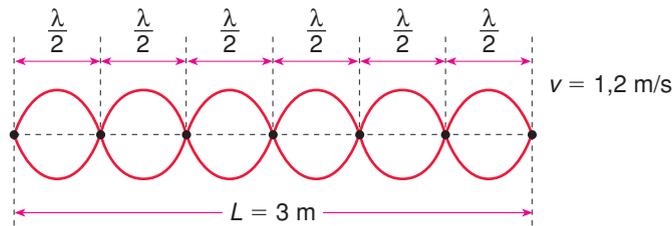
$$a = \frac{A}{2} = \frac{15}{2} \Rightarrow \boxed{a = 7,5 \text{ cm}}$$

- b) Da figura:  $\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = 60 \text{ cm} \Rightarrow$

$$\Rightarrow 3 \frac{\lambda}{4} = 60 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{\lambda = 80 \text{ cm}}$$



P.458



a) Na figura, podemos observar que:  $6 \frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow 6 \frac{\lambda}{2} = 3 \Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$

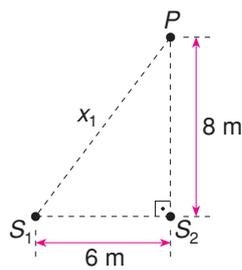
b) Como  $v = \lambda f$ , então:  $f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{1,2}{1} \Rightarrow f = 1,2 \text{ Hz}$

P.459

A quarta linha nodal corresponde a  $i = 7$ . Assim, a diferença  $\Delta$  entre os caminhos percorridos pelas ondas até atingirem o ponto de interferência, sendo  $\lambda$  o comprimento de onda, será dada por:

$$\Delta = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \frac{7}{2} \lambda \Rightarrow \Delta = 3,5 \lambda$$

P.460



Na figura, temos:  $x_2 = 8 \text{ m}$ ;  $S_1 S_2 = 6 \text{ m}$

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtemos:

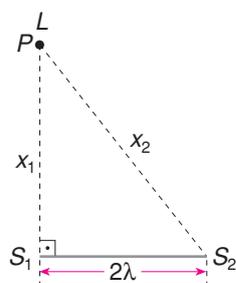
$$x_1^2 = 6^2 + 8^2 = 36 + 64 = 100 \Rightarrow x_1 = 10 \text{ m}$$

O maior valor de  $\lambda$  para que a interferência em  $P$  seja construtiva corresponde a  $p = 2$ ; logo:

$$x_1 - x_2 = p \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x_1 - x_2 = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_1 - x_2 = \lambda \Rightarrow \lambda = 10 - 8 \Rightarrow \lambda = 2 \text{ m}$$

P.461



O ponto  $P$  é o primeiro máximo ( $p = 2$ , pois os caminhos percorridos são diferentes):

$$x_2 - x_1 = p \frac{\lambda}{2} = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow x_2 - x_1 = \lambda \Rightarrow x_2 = \lambda + x_1 \quad \textcircled{1}$$

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtemos:

$$x_2^2 = x_1^2 + (2\lambda)^2 \Rightarrow x_2^2 = x_1^2 + 4\lambda^2 \quad \textcircled{2}$$

Substituindo  $\textcircled{1}$  em  $\textcircled{2}$ , obtemos:

$$(\lambda + x_1)^2 = x_1^2 + 4\lambda^2 \Rightarrow \lambda^2 + 2\lambda x_1 + x_1^2 = x_1^2 + 4\lambda^2 \Rightarrow \lambda^2 + 2\lambda x_1 = 4\lambda^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2\lambda x_1 = 4\lambda^2 - \lambda^2 \Rightarrow 2\lambda x_1 = 3\lambda^2 \Rightarrow 2x_1 = 3\lambda \Rightarrow x_1 = 3 \frac{\lambda}{2}$$

P.462 Dados:  $d = 0,001 \text{ m}$ ;  $L = 0,50 \text{ m}$ ;  $\lambda_0 = 4.600 \text{ \AA} = 4.600 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ;  
 $p = 2$

$$\text{De } \Delta = p \frac{\lambda}{2}, \text{ vem: } \Delta = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \lambda = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{Como } \Delta = \frac{dy}{L}, \text{ temos: } 4,6 \cdot 10^{-7} = \frac{0,001 \cdot y}{0,50} \Rightarrow y = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 23 \text{ nm}$$

P.463 Dados:  $n = 1,4$ ;  $n_{\text{ar}} = 1,0$ ;  $\lambda_{\text{ar}} = 8.400 \text{ \AA} = 8,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

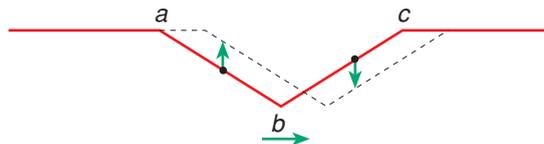
De  $n\lambda = n_{\text{ar}} \cdot \lambda_{\text{ar}}$  vem:

$$1,4 \cdot \lambda = 1,0 \cdot 8,4 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

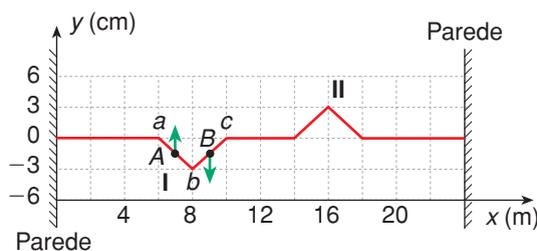
Como a lâmina se apresenta escura por luz transmitida, sua menor espessura corresponde a  $i = 1$ :

$$\Delta = 2d = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 2d = 1 \cdot \frac{6,0 \cdot 10^{-7}}{2} \Rightarrow d = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 1.500 \text{ \AA}$$

P.464 a) O pulso se propaga da esquerda para a direita. Então, os pontos da corda atingidos pelo trecho  $ab$  têm velocidade orientada para cima, enquanto os atingidos pelo trecho  $bc$  têm velocidade orientada para baixo. O esquema seguinte ilustra esse fato:



Portanto, para os pontos A e B, no instante  $t = 0$ , teremos



b) Simultaneamente, o pulso I desloca-se 2 m ao longo do eixo  $x$  e os pontos da corda (ao serem atingidos pelo pulso) deslocam-se 3 cm ao longo do eixo  $y$ . Então, temos:

$$\text{Pulso I: } v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v} \quad \textcircled{1}$$

$$\text{Ponto A: } v_A = \frac{\Delta y}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta y}{v_A} \quad \textcircled{2}$$

Igualando ① e ②, temos:  $\frac{\Delta x}{v} = \frac{\Delta y}{v_A}$

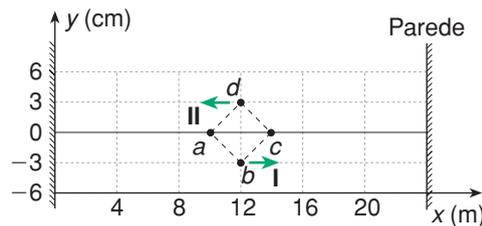
Mas:  $\Delta x = 2 \text{ m} = 2 \cdot 10^2 \text{ cm}$ ;  $\Delta y = 3 \text{ cm}$ ;  $v = 4 \cdot 10^2 \text{ cm/s}$ ; logo:

$$\frac{2 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^2} = \frac{3}{v_A} \Rightarrow v_A = 6 \text{ cm/s}$$

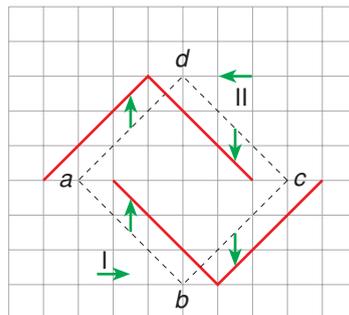
c) No intervalo de tempo  $\Delta t$ , o pulso I e o pulso II deslocam-se:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t = 4 \cdot 1 \Rightarrow \Delta x = 4 \text{ m}$$

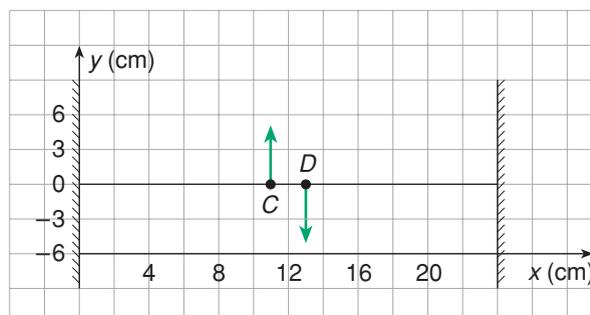
Então, cada pulso desloca-se 4 m em sentidos opostos, e os dois ficam exatamente superpostos no instante  $t = 1 \text{ s}$ . Por conseguinte, há *interferência destrutiva* e a corda apresenta-se *reta e horizontal*, conforme o esquema:



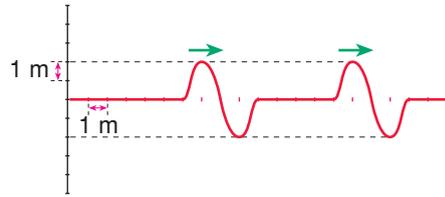
Os pontos da corda atingidos pelo trecho  $ab$  do pulso I e pelo trecho  $ad$  do pulso II têm velocidades orientadas para cima. Os pontos da corda atingidos pelo trecho  $bc$  do pulso I e pelo trecho  $dc$  do pulso II têm velocidades orientadas para baixo, como mostrado neste esquema:



Assim, para os pontos C e D, temos:



P.465 a) Dado:  $v = 2 \text{ m/s}$



Da figura:  $a = 2 \text{ m}$  ;  $\lambda = 4 \text{ m}$

$$\text{De } v = \lambda f, \text{ vem: } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2}{4} \Rightarrow f = 0,5 \text{ Hz}$$

b)



As ondas interferem construtivamente, de modo que a amplitude da onda resultante será:

$$A = 2a = 2 \cdot 2 \Rightarrow A = 4 \text{ m}$$

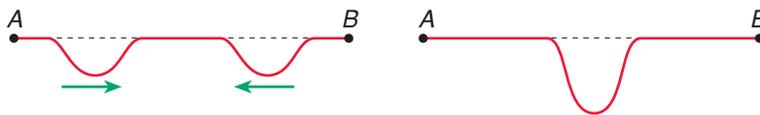
P.466 Na primeira corda:  $\frac{\lambda_I}{2} = L \Rightarrow \lambda_I = 2L$

Na segunda corda:  $2 \frac{\lambda_{II}}{2} = L \Rightarrow \lambda_{II} = L$

Sendo a velocidade das ondas igual nas duas cordas, vem:

$$v = \lambda_I f_I = \lambda_{II} f_{II}, \text{ isto é: } \frac{f_I}{f_{II}} = \frac{\lambda_{II}}{\lambda_I} = \frac{L}{2L} \Rightarrow \frac{f_I}{f_{II}} = 0,5$$

P.467 Até a primeira nova superposição, cada pulso percorre duas vezes metade do comprimento  $L$  da corda ( $\Delta s = 2 \frac{L}{2} = L$ ). Entretanto, como há inversão nas extremidades fixas, nessa primeira superposição a “onda resultante” se apresenta invertida:



Somente na segunda superposição, depois de os pulsos percorrerem novamente a distância  $\Delta s' = 2 \frac{L}{2} = L$  e sofrerem nova inversão, é que se reproduz a deformação inicial:



Portanto, a distância total percorrida pelos pulsos vale:

$$d = \Delta s + \Delta s' \Rightarrow d = 2L$$

Sendo  $v$  a velocidade dos pulsos, o intervalo de tempo mínimo para que se reproduza a deformação inicial será dado por:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{d}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{2L}{v}$$

P.468 A distância entre dois mínimos sucessivos é igual a meio comprimento de onda:

$$\frac{\lambda}{2} = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \lambda = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 10^{-1} \text{ m}$$

Sendo  $v = 3 \cdot 10^8$  m/s, vem:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{-1}} \Rightarrow f = 3 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

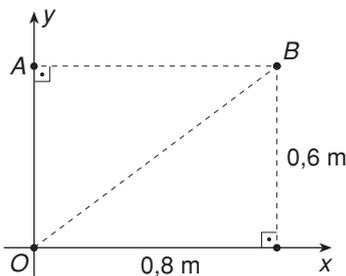
P.469 A diferença de caminhos corresponde à distância entre as fontes:

$$\Delta = F_1 F_2 = 5\lambda \Rightarrow \Delta = 10 \frac{\lambda}{2} \quad (\text{interferência construtiva})$$

Sendo construtiva a interferência no ponto  $P$ , a onda resultante terá amplitude dada pela soma das amplitudes das ondas que interferem:

$$A_R = A_1 + A_2 \Rightarrow A_R = 2A$$

P.470



No triângulo retângulo  $ABO$ , temos:

$$(OB)^2 = (AO)^2 + (AB)^2 \Rightarrow (OB)^2 = (0,6)^2 + (0,8)^2 \Rightarrow (OB)^2 = 0,36 + 0,64 = 1 \Rightarrow OB = 1 \text{ m}$$

A diferença de caminhos das ondas que partem de  $A$  e  $O$  até atingir  $B$  vale:

$$OB - AB = 1 - 0,8 = 0,2 \text{ m}$$

Por outro lado, temos:  $OB - AB = p \frac{\lambda}{2}$ .

$$p \frac{\lambda}{2} = 0,2 \Rightarrow \lambda = \frac{0,4}{p} \quad (\text{com } p \text{ par, mas diferente de zero})$$

P.471 Calculemos, inicialmente, o comprimento de onda  $\lambda$  das ondas emitidas por  $F_1$  e  $F_2$ :

$$v = \lambda f \Rightarrow 340 = \lambda \cdot 170 \Rightarrow \lambda = 2,0 \text{ m}$$

a) Para que o observador  $A$  detecte mínimos de intensidade, as ondas provenientes de  $F_1$  e  $F_2$  que atingem  $A$  devem sofrer *interferência destrutiva* e, para que isso ocorra, a diferença de percursos entre elas ( $\Delta_A$ ) deve ser *múltiplo ímpar* de meio comprimento de onda, ou seja:  $\Delta_A = i \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $i = 1, 3, 5, \dots$ )

A solução para  $i = 1$  não convém, pois, nesse caso,  $\Delta_A = 1,0 \text{ m}$ . Observemos que  $\Delta_A > 2,5 \text{ m}$ .

Para  $i = 3$ , temos:  $\Delta_A = 3 \frac{2,0}{2} \Rightarrow \Delta_A = 3,0 \text{ m}$

O comprimento  $\Delta_A$  é a separação entre as fontes ( $L_A$ ).

$$\text{Logo: } L_A = \Delta_A \Rightarrow L_A = 3,0 \text{ m}$$

b) Para que o observador  $B$  detecte máximos de intensidade, as ondas provenientes de  $F_1$  e  $F_2$  que atingem  $B$  devem sofrer *interferência construtiva* e, para que isso ocorra, a diferença de percursos entre elas ( $\Delta_B$ ) deve ser *múltiplo par* de meio comprimento de onda, ou seja:  $\Delta_B = p \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $p = 0, 2, 4, \dots$ )

A solução para  $p = 0$  não convém, pois, nesse caso,  $F_1$  estaria superposta a  $F_2$ .

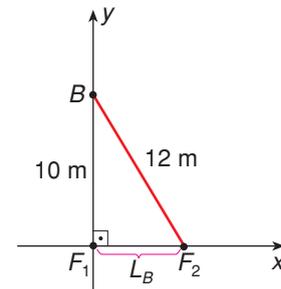
Para  $p = 2$ , vem:  $\Delta_B = 2 \frac{2,0}{2} \Rightarrow \Delta_B = 2,0 \text{ m}$

O esquema ao lado ilustra a situação para  $p = 2$ .

Aplicando o teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo

$F_1 F_2 B$ , calculamos a separação entre as fontes:

$$(12)^2 = (10)^2 + L_B^2 \Rightarrow L_B \approx 6,6 \text{ m}$$



**P.472** Dados:  $n_{\text{ar}} = 1,00$ ;  $\lambda_{\text{ar}} = 5.500 \text{ \AA}$ ;  $n_{\text{p}} = 1,30$

Podemos calcular o comprimento de onda  $\lambda_{\text{p}}$  da luz do material da película:

$$n_{\text{ar}} \cdot \lambda_{\text{ar}} = n_{\text{p}} \cdot \lambda_{\text{p}}$$

$$1,00 \cdot 5.500 = 1,30 \cdot \lambda_{\text{p}}$$

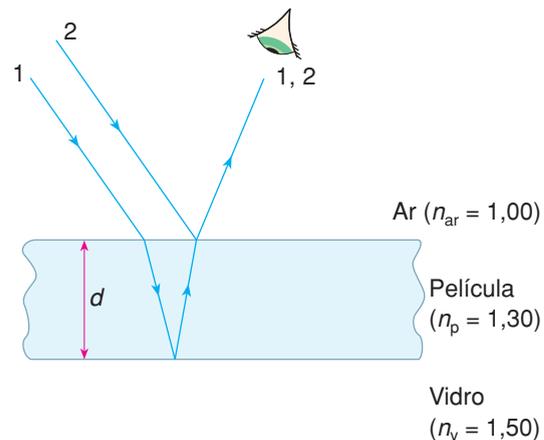
$$\lambda_{\text{p}} = \frac{5.500}{1,30} \text{ \AA}$$

Na interface ar-película e na interface película-vidro, a luz sofre reflexão com inversão de fase. Essas reflexões não acarretam defasagem entre as ondas que emergem do sistema. Nessas condições, temos para a diferença de caminhos:

$$\Delta = 2d = i \cdot \frac{\lambda_{\text{p}}}{2} \text{ (sendo } i = 1, 3, 5, \dots)$$

Sabemos que  $d$  mínimo corresponde a  $i = 1$ . Logo:

$$2d_{\text{min.}} = \frac{\lambda_{\text{p}}}{2} \Rightarrow d_{\text{min.}} = \frac{\lambda_{\text{p}}}{4} \Rightarrow d_{\text{min.}} = \frac{5.500}{4 \cdot 1,30} \text{ \AA} \Rightarrow d_{\text{min.}} \approx 1058 \text{ \AA}$$



**P.473** Como as ondas se superpõem em  $O$  estando em concordância de fase, a condição

de interferência construtiva impõe que:  $d_2 - d_1 = p \frac{\lambda}{2}$

Para  $\lambda$  máximo, devemos ter  $p$  mínimo, isto é:  $p = 2$

As distâncias percorridas valem:  $d_1 = a$ ;  $d_2 = 3a$

$$\text{Portanto: } 3a - a = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2a$$

*Observação*

O raio de luz  $R_2$  emitido por  $F$  sofre duas reflexões com inversão de fase, o que não acarreta defasagem total.

**P.474** Dados:  $d = 0,10 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ;  $L = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$ ;

$$\Delta x = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}; v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

a) Considerando a primeira franja clara ao lado da central, temos  $p = 2$ . A condição de interferência construtiva impõe:

$$\Delta = p \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta = \lambda$$

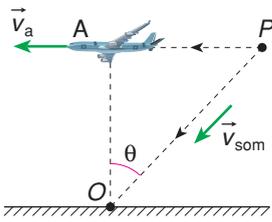
$$\text{Mas: } \Delta = \frac{d \cdot \Delta x}{L} = \frac{1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0,50} \Rightarrow \Delta = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{Portanto: } \lambda = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 4.000 \text{ \AA}$$

$$\text{b) De } v = \lambda f, \text{ vem: } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,0 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

c) As franjas ficam menos definidas quando o tamanho das fendas aumenta e mais definidas quando o tamanho das fendas diminui.

P.475 Dados:  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ ;  $\theta = 45^\circ$ ;  $\text{sen } 45^\circ = 0,7$



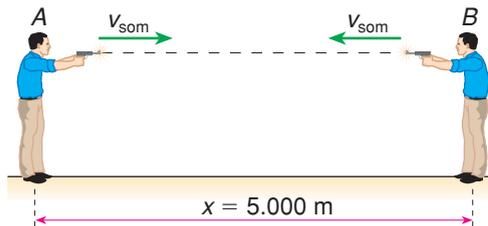
Da figura, vem:  $\frac{PA}{PO} = \text{sen } 45^\circ$ ; logo:

$$\frac{PA}{PO} = 0,7 \Rightarrow PA = PO \cdot 0,7$$

Mas:  $PA = v_a \cdot t$ ;  $PO = v_{\text{som}} \cdot t$ ; portanto:

$$v_a \cdot t = v_{\text{som}} \cdot t \cdot 0,7 \Rightarrow v_a = 340 \cdot 0,7 \Rightarrow v_a = 238 \text{ m/s}$$

P.476



$$A \rightarrow B: \Delta t = 14,5 \text{ s}$$

$$v_{\text{som}} + v_{\text{vento}} = \frac{x}{\Delta t} = \frac{5.000}{14,5} = 344,8$$

$$B \rightarrow A: \Delta t' = 15,5 \text{ s}$$

$$v_{\text{som}} - v_{\text{vento}} = \frac{x}{\Delta t'} = \frac{5.000}{15,5} = 322,6$$

$$\begin{cases} v_{\text{som}} + v_{\text{vento}} = 344,8 & \textcircled{1} \\ v_{\text{som}} - v_{\text{vento}} = 322,6 & \textcircled{2} \end{cases}$$

Somando membro a membro  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ , obtemos:

$$2 \cdot v_{\text{som}} = 667,4 \Rightarrow v_{\text{som}} = \frac{667,4}{2} \Rightarrow v_{\text{som}} = 333,7 \text{ m/s}$$

$$333,7 + v_{\text{vento}} = 344,8 \Rightarrow v_{\text{vento}} = 344,8 - 333,7 \Rightarrow v_{\text{vento}} = 11,1 \text{ m/s}$$

P.477 O intervalo de tempo para o atirador ouvir o ruído do impacto da bala no alvo é  $\Delta t = \Delta t_{\text{bala}} + \Delta t_{\text{som}}$ , em que  $\Delta t_{\text{bala}} = \frac{x}{v_{\text{bala}}}$  é o intervalo de tempo gasto pela bala até o alvo e  $\Delta t_{\text{som}} = \frac{x}{v_{\text{som}}}$  é o intervalo de tempo gasto pelo som do alvo ao ouvinte, sendo  $x$  a distância entre alvo e ouvinte. Substituindo  $\Delta t = 3 \text{ s}$ ,  $v_{\text{bala}} = 680 \text{ m/s}$  e  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ , vem:

$$\Delta t = \frac{x}{v_{\text{bala}}} + \frac{x}{v_{\text{som}}} \Rightarrow 3 = \frac{x}{680} + \frac{x}{340} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 = \frac{x + 2x}{680} \Rightarrow 3 = \frac{3x}{680} \Rightarrow x = 680 \text{ m}$$

**P.478** No ar:  $v_1 = 340$  m/s; no trilho:  $v_2 = 3.400$  m/s

Para a propagação no ar:  $d = v_1 t_1$  ①

Para a propagação no trilho:  $d = v_2 t_2$  ②

Igualando ① e ②, vem:  $v_1 t_1 = v_2 t_2 \Rightarrow 340 t_1 = 3.400 t_2 \Rightarrow t_1 = 10 t_2$

Mas:  $t_1 - t_2 = 0,18$  s  $\Rightarrow 10 t_2 - t_2 = 0,18 \Rightarrow 9 t_2 = 0,18 \Rightarrow t_2 = 0,02$  s

O comprimento do trilho vale:

$$d = v_2 t_2 = 3.400 \cdot 0,02 \Rightarrow \boxed{d = 68 \text{ m}}$$

**P.479** Dados:  $v_1 = 340$  m/s (no ar);  $v_2 = 4.780$  m/s (no trilho);  $d = 2.380$  m

Para o som se propagando no ar, temos:

$$d = v_1 t_1 \Rightarrow 2.380 = 340 t_1 \Rightarrow t_1 = 7 \text{ s}$$

Para a propagação do som no trilho, temos:

$$d = v_2 t_2 \Rightarrow 2.380 = 4.780 t_2 \Rightarrow t_2 \approx 0,5 \text{ s}$$

A diferença de tempo do sinal é dada por:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 7 - 0,5 \Rightarrow \boxed{\Delta t = 6,5 \text{ s}}$$

**P.480** Dados:  $f = 440$  Hz;  $v = 330$  m/s

$$\text{De } v = \lambda f, \text{ vem: } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{330}{440} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,75 \text{ m}}$$

**P.481** Dados:  $f_1 = 20$  Hz;  $f_2 = 20.000$  Hz;  $v = 340$  m/s

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340}{20} \Rightarrow \boxed{\lambda_1 = 17 \text{ m}}$$

$$\lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{340}{20.000} \Rightarrow \boxed{\lambda_2 = 17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 17 \text{ mm}}$$

**P.482** Dados:  $f = 440$  Hz;  $v = 1.404$  m/s

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.404}{440} \Rightarrow \boxed{\lambda \approx 3,2 \text{ m}}$$

**P.483** Dado:  $f = 440$  Hz

a) Como  $i = \frac{f_2}{f_1}$ , e sabendo que, quando uma nota está um tom maior acima,

$$\text{temos } i = \frac{9}{8}, \text{ então: } \frac{9}{8} = \frac{f_2}{440} \Rightarrow \boxed{f_2 = 495 \text{ Hz}}$$

b) Quando uma nota está uma oitava acima, temos:

$$i = \frac{f_2}{f_1} = 2 \Rightarrow f_2 = 2 f_1 = 2 \cdot 440 \Rightarrow \boxed{f_2 = 880 \text{ Hz}}$$

**P.484** A partir do exposto no exercício, temos:  $i = \frac{25}{24}$ ;  $f = 297$  Hz

$$\text{De } i = \frac{f_2}{f_1}, \text{ vem: } \frac{25}{24} = \frac{f_2}{297} \Rightarrow f_2 \approx 309,4 \text{ Hz}$$

**P.485** No jardim ( $I_1 = 10^{-4} \mu\text{W}/\text{m}^2$ ;  $I_0 = 10^{-6} \mu\text{W}/\text{m}^2$ ):

$$\beta_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \Rightarrow \beta_1 = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-4}}{10^{-6}}\right) \Rightarrow \beta_1 = 10 \cdot \log 10^2 \Rightarrow \beta_1 = 20 \text{ dB}$$

No restaurante ( $I_2 = 10^{-1} \mu\text{W}/\text{m}^2$ ;  $I_0 = 10^{-6} \mu\text{W}/\text{m}^2$ ):

$$\beta_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \Rightarrow \beta_2 = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-1}}{10^{-6}}\right) \Rightarrow \beta_2 = 10 \cdot \log 10^5 \Rightarrow \beta_2 = 50 \text{ dB}$$

**P.486** Dados:  $\beta = 100$  dB;  $I_0 = 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$

$$\begin{aligned} \beta &= 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow 100 = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{10} \Rightarrow I = 10^{10} \cdot I_0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow I = 10^{10} \cdot 10^{-12} \Rightarrow I = 10^{-2} \text{ W}/\text{m}^2 \end{aligned}$$

**P.487** a) A posição em que o som começa a ser perceptível corresponde a uma área  $A_0$  dada por:  $A_0 = 4\pi R_0^2 = 4 \cdot \pi \cdot (1.000)^2 \Rightarrow A_0 = 4\pi \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 4\pi \cdot 10^{10} \text{ cm}^2$

$$\text{Pela definição de intensidade: } I_0 = \frac{Pot}{A_0}$$

$$\text{Logo: } Pot = I_0 A_0 = 10^{-16} \cdot 4\pi \cdot 10^{10} \Rightarrow Pot = 4\pi \cdot 10^{-6} \Rightarrow Pot = 4 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Pot = 12 \cdot 10^{-6} \text{ W} \Rightarrow Pot = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

b) Para a posição correspondente à sensação dolorosa,  $A = 4\pi R^2$ . Substituindo na fórmula da intensidade:

$$I = \frac{Pot}{4\pi R^2} \Rightarrow 10^{-4} = \frac{4\pi \cdot 10^{-6}}{4\pi R^2} \Rightarrow R^2 = 10^{-2} \text{ cm}^2 \Rightarrow R = 10^{-1} \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

c) O nível sonoro será dado por:

$$\beta = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log\left(\frac{10^{-4}}{10^{-16}}\right) \Rightarrow \beta = 10 \cdot \log 10^{12} \Rightarrow \beta = 120 \text{ dB}$$

P.488 a) Dados:  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $\Delta t = 3,0 \text{ s}$ ;  $\Delta s = 2x$

$$\text{De } \Delta s = v \cdot \Delta t, \text{ vem: } 2x = 340 \cdot 3,0 \Rightarrow x = 510 \text{ m}$$

b) Para distinguir o som direto e o eco, o intervalo de tempo entre a percepção dos dois deve ser:  $\Delta t' = 0,10 \text{ s}$  (persistência auditiva).

$$\Delta s' = 2x' \Rightarrow \Delta s' = v \cdot \Delta t' \Rightarrow 2x' = 340 \cdot 0,10 \Rightarrow x' = 17 \text{ m}$$

P.489 Dados:  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $\Delta s = 2x = 2 \cdot 17 = 34 \text{ m}$

O som deve percorrer no mínimo a distância  $\Delta s = 34 \text{ m}$ , no ar, para que se ouça o eco. Logo, temos:  $\Delta s = v \cdot \Delta t \Rightarrow 34 = 340 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 0,1 \text{ s}$

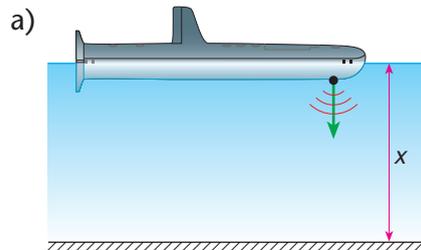
Esse intervalo de tempo corresponde ao tempo de persistência auditiva, que é o mínimo para que o ouvinte perceba o som direto e o eco.

Para  $v' = 2.000 \text{ m/s}$ , a distância mínima a que deve estar o obstáculo refletor pode ser calculada por:

$$\Delta s' = v' \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta s' = 2.000 \cdot 0,1 \Rightarrow \Delta s' = 200 \text{ m}$$

$$\text{Mas: } \Delta s' = 2x' \Rightarrow 200 = 2x' \Rightarrow x' = 100 \text{ m}$$

P.490 Dados:  $f = 4,00 \cdot 10^4 \text{ Hz}$ ;  $v_1 = 3,70 \cdot 10^2 \text{ m/s}$  (no ar);  $v_2 = 1,40 \cdot 10^3 \text{ m/s}$  (na água);  
 $\Delta t = 0,80 \text{ s}$



O percurso do sinal emitido é  $\Delta s = 2x$ , em que  $x$  é a profundidade do oceano. Mas:

$$\Delta s = v_2 \cdot \Delta t \Rightarrow 2x = 1,40 \cdot 10^3 \cdot 0,80 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2x = 1,12 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 5,6 \cdot 10^2 \text{ m}$$

b) Como a frequência das ondas sonoras não varia com o meio de propagação:

$$f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{3,70 \cdot 10^2}{1,40 \cdot 10^3} \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \approx 0,264$$

P.491 Dados:  $f = 500 \text{ Hz}$ ;  $v_1 = 330 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 1.500 \text{ m/s}$

$$\lambda_1 = \frac{v_1}{f} = \frac{330}{500} \Rightarrow \lambda_1 = 0,66 \text{ m} \text{ (no ar)}$$

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = \frac{1.500}{500} \Rightarrow \lambda_2 = 3 \text{ m} \text{ (na água)}$$

**P.492** Se  $N$  é o primeiro ponto nodal:

$$\Delta = F_2N - F_1N = i \frac{\lambda}{2}$$

Mas:  $F_2N = x_1$ ;  $F_1N = 7 \text{ m}$ ;  $i = 1$ ;  $\lambda = 2 \text{ m}$ ; então:

$$x - 7 = 1 \cdot \frac{2}{2} \Rightarrow \boxed{x = 8 \text{ m}}$$

**P.493** Da figura:  $PR = 8 \text{ m}$ ;  $QR = 7,8 \text{ m}$

Para a interferência construtiva inicial, temos:

$$\Delta = PR - QR = p \frac{\lambda}{2} \text{ ①, em que } \lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{340}{3.400} = 0,1 \text{ m}$$

Substituindo o valor de  $\lambda$  e as distâncias  $PR$  e  $QR$  em ①, obtemos:

$$8 - 7,8 = p \frac{0,1}{2} \Rightarrow 0,2 = p \frac{0,1}{2} \Rightarrow p = 4$$

Se a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui e a interferência se torna destrutiva com  $i = 5$ . Assim, temos:

$$\Delta = PR - QR = i \frac{\lambda'}{2} \Rightarrow 8 - 7,8 = 5 \frac{\lambda'}{2} \Rightarrow 0,2 = 5 \frac{\lambda'}{2} \Rightarrow \lambda' = 0,08 \text{ m}$$

$$\text{A nova frequência vale: } f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{340}{0,08} \Rightarrow \boxed{f' = 4.250 \text{ Hz}}$$

**P.494** Dados:  $f_b = 5$  batimentos por segundo (5 Hz);  $f = 528 \text{ Hz}$

$$\text{Para } f' > f \Rightarrow f_b = f' - f \Rightarrow 5 = f' - 528 \Rightarrow \boxed{f' = 533 \text{ Hz}}$$

$$\text{Para } f'' < f \Rightarrow f_b = f - f'' \Rightarrow 5 = 528 - f'' \Rightarrow \boxed{f'' = 523 \text{ Hz}}$$

**P.495** Dados:  $L = 2,0 \text{ m}$ ;  $f = 120 \text{ Hz}$ ;  $n = 3$

$$\text{a) } \lambda_n = \frac{2L}{n} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{2 \cdot 2,0}{3} \Rightarrow \boxed{\lambda_3 \approx 1,33 \text{ m}}$$

$$\text{b) } v = \lambda_3 \cdot f \Rightarrow v = 1,33 \cdot 120 \Rightarrow \boxed{v = 160 \text{ m/s}}$$

$$\text{c) } d = \frac{\lambda_3}{4} = \frac{1,33}{4} \Rightarrow \boxed{d \approx 0,33 \text{ m}}$$

**P.496** Dados:  $L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ ;  $f = 500 \text{ Hz}$

a) Para a frequência fundamental:

$$\lambda = 2L = 2 \cdot 0,5 \Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$$

$$\text{De } v = \lambda f, \text{ vem: } v = 1 \cdot 500 \Rightarrow v = 500 \text{ m/s} = 5 \cdot 10^2 \text{ m/s}$$

b) Para  $L' = \frac{L}{2} = \frac{0,5}{2} \Rightarrow L' = 0,25 \text{ m}$ , teremos:

$$\lambda' = 2L' = 2 \cdot 0,25 \Rightarrow \lambda' = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{De } f' = \frac{v}{\lambda'}, \text{ vem: } f' = \frac{500}{0,5} \Rightarrow f' = 1.000 \text{ Hz}$$

**P.497** Seja  $n$  o número de ordem do harmônico cuja frequência é  $f_n = 24 \text{ Hz}$ . Sendo  $f$  a frequência fundamental, temos:

$$f_n = nf \Rightarrow 24 = nf \quad \textcircled{1}$$

A frequência imediatamente superior a essa é o harmônico de ordem  $(n + 1)$ , ou seja,  $f_{(n+1)} = 30 \text{ Hz}$ :

$$f_{(n+1)} = (n + 1)f \Rightarrow 30 = (n + 1)f \quad \textcircled{2}$$

Subtraindo membro a membro  $\textcircled{2}$  e  $\textcircled{1}$ , vem:

$$30 - 24 = (n + 1)f - nf \Rightarrow 6 = nf + f - nf \Rightarrow f = 6 \text{ Hz}$$

**P.498** Dados:  $L_1 = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$ ;  $T_1 = 40 \text{ N}$ ;  $f_1 = 36 \text{ Hz}$ ;  $L_2 = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$ ;  $T_2 = 90 \text{ N}$   
Para a frequência fundamental, temos:

$$f_1 = \frac{1}{2L_1} \sqrt{\frac{T_1}{\mu}} \quad \textcircled{1} \qquad f_2 = \frac{1}{2L_2} \sqrt{\frac{T_2}{\mu}} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , obtemos:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1} \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = \frac{0,4}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{40}{90}} \Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \Rightarrow \frac{f_1}{f_2} = \frac{4}{9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{36}{f_2} = \frac{4}{9} \Rightarrow f_2 = 81 \text{ Hz}$$

**P.499** a) Dados:  $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ ;  $L = 0,50 \text{ m}$ ;  $\mu = 10^{-2} \text{ kg/m}$ ;  $T = 100 \text{ N}$

$$f = \frac{1}{2 \cdot 0,50} \cdot \sqrt{\frac{100}{10^{-2}}} = \frac{1}{1,0} \cdot \sqrt{10^4} \Rightarrow \boxed{f = 10^2 \text{ Hz} = 100 \text{ Hz}}$$

b) De acordo com a fórmula, para dobrar a frequência do som fundamental, pode-se:

- manter a tração e reduzir o comprimento à metade;
- manter o comprimento e quadruplicar a tração.

**P.500** De  $f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , temos:

• para  $n = 2$  (2º harmônico):  $f' = \frac{2}{2L} \sqrt{\frac{T_1}{\mu}} \Rightarrow f' = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{T_1}{\mu}}$

• para  $n = 1$  (frequência fundamental):  $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T_2}{\mu}}$

Para que a mesma corda emita como fundamental o segundo harmônico, devemos impor:

$$f = f' \Rightarrow \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T_2}{\mu}} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{T_1}{\mu}} \Rightarrow \frac{\sqrt{T_2}}{\sqrt{T_1}} = 2$$

Elevando ao quadrado vem:

$$\frac{T_2}{T_1} = 4 \Rightarrow T_2 = 4T_1$$

Como  $T_1 = 2 \text{ kgf}$ , temos:

$$T_2 = 4 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{T_2 = 8 \text{ kgf}}$$

**P.501** Dados:  $\mu = 0,60 \text{ g/m}$ ;  $L = 85 \text{ cm} = 0,85 \text{ m}$ ;  $f = 294 \text{ Hz}$

a) Como a fórmula para a frequência da vibração fundamental é  $f = \frac{v}{2L}$ , temos:

$$294 = \frac{v}{2 \cdot 0,85} \Rightarrow \boxed{v \approx 500 \text{ m/s} = 5 \cdot 10^2 \text{ m/s}}$$

b) De  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , vem:

$$v^2 = \frac{T}{\mu} \Rightarrow T = v^2 \cdot \mu$$

Mas:  $\mu = 0,60 \text{ g/m} = 0,60 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}$ ; então:

$$T = (5 \cdot 10^2)^2 \cdot 0,60 \cdot 10^{-3} \Rightarrow T = 25 \cdot 10^4 \cdot 0,60 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

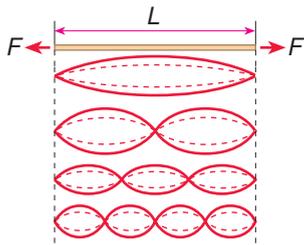
$$\Rightarrow \boxed{T = 1,5 \cdot 10^2 \text{ N} = 150 \text{ N}}$$

P.502 a) Pelo exposto no exercício, temos:  $f_n = \left(\frac{n}{2L}\right) \cdot \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ;  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

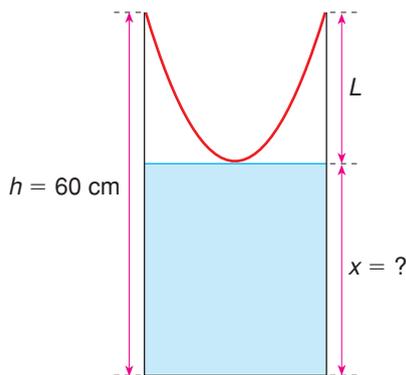
Comparando essas duas fórmulas, vem:

$$f_n = \left(\frac{n}{2L}\right) \cdot v \Rightarrow \frac{v}{f_n} = \frac{2L}{n} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n}$$

b)



P.503



Sendo o comprimento de onda  $\lambda = 100$  cm, o comprimento do "tubo" que entra em ressonância com o diapasão, sendo  $i = 1$ , vale:

$$\lambda = \frac{4L}{i} \Rightarrow L = \frac{\lambda \cdot i}{4}$$

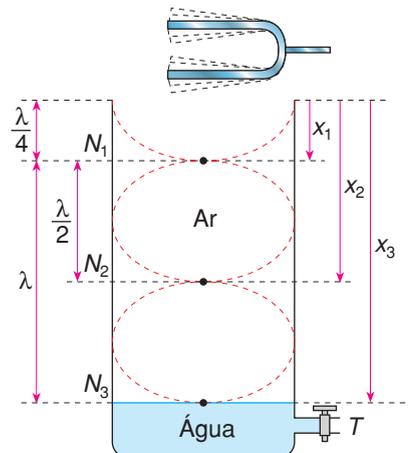
$$\Rightarrow L = \frac{100 \cdot 1}{4} \Rightarrow L = 25 \text{ cm}$$

Para a altura da água na proveta, temos:

$$x = h - L \Rightarrow x = 60 - 25 \Rightarrow x = 35 \text{ cm}$$

P.504

O nível da água no tubo pode ser baixado abrindo-se a torneira  $T$ . Na coluna de ar do tubo formam-se ondas estacionárias que entram em ressonância com o diapasão. Isso ocorre para os comprimentos  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  da coluna de ar, formando-se os nós  $N_1$ ,  $N_2$  e  $N_3$  no nível da água, de modo que o comprimento das ondas formadas seja sempre igual ao comprimento da onda sonora emitida pelo diapasão.



A partir dessas considerações, podemos escrever:

•  $x_1 = \frac{\lambda}{4}$ , e sendo  $x_1 = 11$  cm, vem:

$$11 = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$$

•  $x_2 = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = 3\frac{\lambda}{4}$ , e sendo  $x_2 = 33$  cm, vem:

$$33 = 3\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$$

•  $x_3 = \frac{\lambda}{4} + \lambda = 5\frac{\lambda}{4}$ , e sendo  $x_3 = 55$  cm, vem:

$$55 = 5\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \boxed{\lambda = 44 \text{ cm}}$$

**P.505** Dados:  $v = 330$  m/s;  $\lambda = 44$  cm = 0,44 m

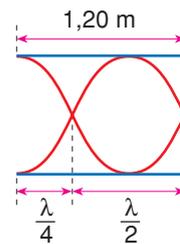
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{330}{0,44} \Rightarrow \boxed{f = 750 \text{ Hz}}$$

**P.506** Dado:  $v = 340$  m/s

Da figura:  $\frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2} = 1,20$  m; logo:

$$\frac{3\lambda}{4} = 1,20 \Rightarrow \lambda = 1,60 \text{ m}$$

De  $f = \frac{v}{\lambda}$ , vem:  $f = \frac{340}{1,60} \Rightarrow \boxed{f = 212,5 \text{ Hz}}$



Outra solução:

Como  $f = i \frac{v}{4L}$  e  $i = 3$ , pois é o segundo modo de vibração, temos:

$$f = 3 \cdot \frac{340}{4 \cdot 1,20} \Rightarrow \boxed{f = 212,5 \text{ Hz}}$$

**P.507** Dados:  $L = 50$  cm = 0,5 m (tubo aberto);  $f = 1.360$  Hz;  $v = 340$  m/s

De  $f = n \frac{v}{2L}$ , vem:  $1.360 = n \frac{340}{2 \cdot 0,5} \Rightarrow n = 4$

Assim, o som emitido corresponde ao  $\boxed{4^\circ \text{ harmônico}}$ .

**P.508** Para o harmônico fundamental:  $f = \frac{v}{2L}$

Para o harmônico de ordem  $n$ :  $f_n = n \frac{v}{2L} \Rightarrow f_n = nf$

Para o harmônico de ordem  $(n + 1)$ :  $f_{(n+1)} = (n + 1) f$

Substituindo  $f_n = 222 \text{ Hz}$  e  $f_{(n+1)} = 296 \text{ Hz}$ , vem:

$$222 = nf \text{ ①} \quad 296 = (n + 1) \cdot f \text{ ②}$$

Subtraindo membro a membro ② e ①, obtemos:

$$296 - 222 = (n + 1) \cdot f - nf \Rightarrow 74 = nf + f - nf \Rightarrow \boxed{f = 74 \text{ Hz}}$$

**P.509** Dados:  $L = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$  (tubo aberto);  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $f = n \frac{v}{2L}$

Para  $n = 1$  (som fundamental):

$$f_1 = 1 \frac{v}{2L} \Rightarrow f_1 = 1 \cdot \frac{340}{2 \cdot 0,4} \Rightarrow f_1 = 425 \text{ Hz (som audível)}$$

Para  $n = 2$ :  $f_2 = 2f_1 = 2 \cdot 425 \Rightarrow f_2 = 850 \text{ Hz (som audível)}$

Para  $n = 3$ :  $f_3 = 3f_1 = 3 \cdot 425 \Rightarrow f_3 = 1.275 \text{ Hz (som audível)}$

Para  $n = 4$ :  $f_4 = 4f_1 = 4 \cdot 425 \Rightarrow f_4 = 1.700 \text{ Hz (som audível)}$

... e assim por diante.

O último harmônico audível deve ter frequência próxima de 20.000 Hz, mas inferior a esse valor. Fazendo  $f_n = 20.000 \text{ Hz}$ , obtemos um valor para o número de ordem próximo ao desse último harmônico:

$$f_n = nf \Rightarrow n = \frac{f_n}{f} \Rightarrow n = \frac{20.000}{425} \Rightarrow n \simeq 47,06$$

Como  $n$  deve ser inteiro, adotamos  $n = 47$ . A frequência correta desse último harmônico audível é:

$$f_{47} = 47 \cdot 425 \Rightarrow \boxed{f_{47} = 19.975 \text{ Hz}}$$

Portanto, são audíveis **todos os harmônicos**, desde o fundamental ( $n = 1$ ) até o de ordem  $n = 47$ .

**P.510** Dados:  $f = 400 \text{ Hz}$ ;  $v = 500 \text{ m/s}$

O menor comprimento do tubo aberto ou do tubo fechado deve corresponder à frequência fundamental:

$$f = \frac{v}{2L_a} \Rightarrow 400 = \frac{500}{2 \cdot L_a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_a = 0,625 \text{ m ou } L_a = 62,5 \text{ cm (aberto)}$$

$$f = \frac{v}{4L_f} \Rightarrow 400 = \frac{500}{4 \cdot L_f} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_f = 0,3125 \text{ m ou } L_f = 31,25 \text{ cm (fechado)}$$

**P.511** Dados:  $f = 528 \text{ Hz}$ ;  $v_F = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ ;  $v_0 = 0$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$



De  $f' = f \cdot \left( \frac{v}{v - v_F} \right)$ , vem:

$$f' = 528 \cdot \left( \frac{340}{340 - 20} \right) \Rightarrow f' = 561 \text{ Hz}$$

**P.512** Dados:  $f = 340 \text{ Hz}$ ;  $v_F = 0$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $f' = 360 \text{ Hz}$

Para ouvir um som de frequência maior que a do emitido ( $f' > f$ ), o observador deve **aproximar-se** da fonte.

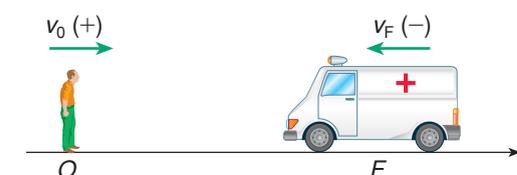


De  $f' = f \cdot \left( \frac{v + v_0}{v} \right)$ , vem:

$$360 = 340 \cdot \left( \frac{340 + v_0}{340} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 360 = 340 + v_0 \Rightarrow v_0 = 20 \text{ m/s}$$

**P.513** Dados:  $f = 1.000 \text{ Hz}$ ;  $v_F = 40 \text{ m/s}$ ;  $v_0 = 5 \text{ m/s}$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$



De  $f' = f \cdot \left( \frac{v + v_0}{v - v_F} \right)$ , vem:

$$f' = 1.000 \cdot \left( \frac{340 + 5}{340 - 40} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f' = 1.150 \text{ Hz}$$

**P.514** a) A situação de  $N_2$  puro corresponde à fração molar 0% de Ar. No gráfico, obtemos para a velocidade do som:  $v \approx 347$  m/s

A frequência da onda sonora é:  $f = 800$  kHz =  $800 \cdot 10^3$  Hz

O comprimento de onda será dado por:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{347}{80 \cdot 10^4} \Rightarrow \lambda = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

b) Quando a fração molar de Ar é 60%, a velocidade do som, lida no gráfico, é:  $v \approx 325$  m/s

Sendo  $\Delta s = 10$  cm =  $10^{-1}$  m, vem:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{10^{-1}}{325} \Rightarrow \Delta t \approx 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

**P.515** a) Pela simples análise do gráfico, obtemos para a velocidade mínima do som:

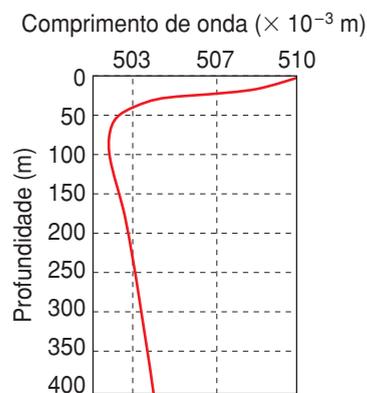
$$v \approx 1.507 \text{ m/s}$$

A respectiva profundidade é:  $y \approx 75$  m

b) Usando a fórmula  $v = \lambda f$ , sendo  $f = 3.000$  Hz, obtemos a tabela:

$v$ (m/s)	1.510	1.520	1.530
$\lambda$ ( $10^{-3}$ m)	503	507	510
$y$ (m)	40 ou 250	25	0

O gráfico terá então o seguinte aspecto:



**P.516** a) Considerando que as ondas sonoras não se propagam no vácuo, somente o filme *2001, uma odisséia no espaço* está de acordo com as leis da Física.

b) Considerando que as ondas luminosas propagam-se no vácuo, quanto aos efeitos luminosos, ambos os filmes estão de acordo com as leis da Física.

**P.517** a) No ar:  $t_1 = 0,731$  s; na água:  $t_2 = 0,170$  s

Como o percurso é o mesmo, temos:

$$\Delta s = v_{\text{ar}} \cdot t_1 \quad \Delta s = v_{\text{água}} \cdot t_2$$

Igualando essas duas fórmulas, obtemos:

$$v_{\text{ar}} \cdot t_1 = v_{\text{água}} \cdot t_2 \Rightarrow \frac{v_{\text{água}}}{v_{\text{ar}}} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{0,731}{0,170} \Rightarrow \boxed{\frac{v_{\text{água}}}{v_{\text{ar}}} = 4,3}$$

b) Como a frequência não se altera, temos:

$$f = \frac{v_{\text{ar}}}{\lambda_{\text{ar}}} \quad \textcircled{1} \quad f = \frac{v_{\text{água}}}{\lambda_{\text{água}}} \quad \textcircled{2}$$

Igualando  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ :

$$\frac{v_{\text{ar}}}{\lambda_{\text{ar}}} = \frac{v_{\text{água}}}{\lambda_{\text{água}}} \Rightarrow \frac{\lambda_{\text{água}}}{\lambda_{\text{ar}}} = \frac{v_{\text{água}}}{v_{\text{ar}}} \Rightarrow \boxed{\frac{\lambda_{\text{água}}}{\lambda_{\text{ar}}} = 4,3}$$

**P.518** a) A distância entre dois nós consecutivos corresponde a meio comprimento de onda. Então:

$$d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d = 2 \cdot 12 \Rightarrow \boxed{\lambda = 24 \text{ cm}}$$

b) A força que traciona o fio é:  $F = mg = 0,18 \cdot 10 \Rightarrow F = 1,8$  N

Sendo a densidade linear do fio  $\mu = 5,0 \cdot 10^{-4}$  kg/m, podemos usar a fórmula dada para calcular a velocidade de propagação da onda:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{1,8}{5,0 \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{36 \cdot 10^2} \Rightarrow v = 60 \text{ m/s}$$

Como o comprimento de onda é  $\lambda = 24 \text{ cm} = 0,24$  m, a frequência da onda é:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{60}{0,24} \Rightarrow \boxed{f = 250 \text{ Hz}}$$

**P.519** a) Combinando a fórmula dos harmônicos na corda tensa  $\left(f = n \frac{v}{2L}\right)$  com a fórmula da velocidade das ondas na corda  $\left(v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}\right)$ , obtemos:  $f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

O fio mais denso ( $\mu_1$ ) é o que vibra no 3º harmônico. Então, aplicando a fórmula para os dois fios, obtemos:

$$f = \frac{3}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu_1}} \quad f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu_2}}$$

Igualando, pois a frequência é a mesma, vem:

$$\frac{3}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu_1}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \Rightarrow 3 \sqrt{\frac{1}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_2}}$$

Elevando ao quadrado:  $\frac{9}{\mu_1} = \frac{1}{\mu_2} \Rightarrow \mu_2 = \frac{\mu_1}{9}$

b) Em cada corda, a tração  $T$  é metade do peso do corpo  $M$ :  $T = \frac{Mg}{2}$

Substituindo na fórmula da frequência do fio de densidade linear  $\mu_1$ , vem:

$$f = \frac{3}{2L} \sqrt{\frac{Mg}{2\mu_1}} \Rightarrow f^2 = \frac{9}{4L^2} \cdot \frac{Mg}{2\mu_1}$$

Tirando o valor de  $M$ :  $M = \frac{8\mu_1 L^2 \cdot f^2}{9g}$

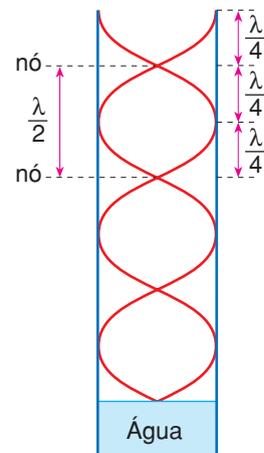
P.520

- a) Os sons do ambiente entram em ressonância com as frequências naturais do ar no interior da concha. O som resultante dá a sensação de o ouvinte estar escutando o barulho do mar.
- b) Trata-se de um tubo aberto de comprimento  $L = 0,30$  m e onde a velocidade do som é  $v = 330$  m/s. Fazendo  $n = 1$  (fundamental) na fórmula, vem:

$$f = \frac{v}{2L} = \frac{330}{2 \cdot 0,30} \Rightarrow f = 550 \text{ Hz}$$

P.521

- a) Como uma das extremidades do tubo é a superfície da água, podemos considerar que se trata de um tubo fechado entrando em ressonância com o som do diapasão. A frequência do som que produz as ondas estacionárias no tubo é  $f = 440$  Hz. A intensificação do som ocorre quando se forma um ventre na extremidade aberta e um nó na superfície da água, conforme o esquema seguinte:



A diferença entre os comprimentos do tubo nas duas situações sucessivas em que ocorre reforço do som ( $L_1 = 0,6 \text{ m}$  e  $L_2 = 1,0 \text{ m}$ ) corresponde exatamente à distância entre dois nós consecutivos, ou seja, metade do comprimento de onda  $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ . Então:

$$\frac{\lambda}{2} = L_2 - L_1 \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 1,0 - 0,6 \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 0,4 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,8 \text{ m}}$$

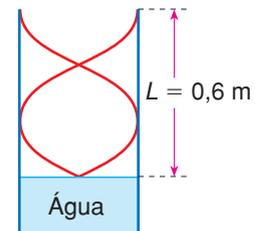
b) Como a velocidade do som é dada por  $v = \lambda f$ , temos:

$$v = \lambda f \Rightarrow v = 0,8 \cdot 440 \Rightarrow \boxed{v = 352 \text{ m/s}}$$

c) Para a primeira situação, aplicando a fórmula para o comprimento de onda ( $\lambda$ ) em função do comprimento do tubo ( $L$ ), teremos:

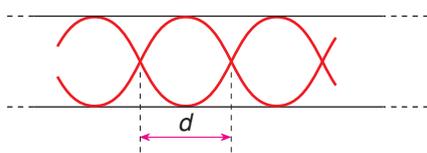
$$n \frac{\lambda}{4} = L \Rightarrow n = \frac{4L}{\lambda} \Rightarrow n = \frac{4 \cdot 0,6}{0,8} \Rightarrow n = 3$$

Trata-se, portanto, do harmônico de ordem 3, representado no esquema ao lado:



**P.522** A distância entre dois pontos onde a intensidade sonora é mínima (nós) corresponde

a meio comprimento de onda:  $d = \frac{\lambda}{2}$



Como  $f = 200 \text{ Hz}$  e  $v = 340 \text{ m/s}$ , vem:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{340}{200} \Rightarrow \lambda = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Assim: } d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow d = \frac{1,7}{2} \Rightarrow d = 0,85 \text{ m}$$

Essa distância é percorrida em  $\Delta t = 1,7 \text{ s}$ . A velocidade da pessoa vale, portanto:

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{0,85}{1,7} \Rightarrow \boxed{v = 0,5 \text{ m/s}}$$

**P.523** a) Da análise do gráfico, obtemos:

$$2\lambda_A = 3,0 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_A = 1,5 \text{ m}}$$

$$2\lambda_B = 1,0 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_B = 0,50 \text{ m}}$$

$$5\lambda_C = 1,5 \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda_C = 0,30 \text{ m}}$$

Preenchendo o quadro:

	$\lambda$ (m)
A	1,5
B	0,50
C	0,30

- b) O comprimento de onda da onda resultante  $S$  corresponde ao comprimento de onda da componente de menor frequência, isto é, a onda A:  $\lambda_0 = 1,5$  m

Podemos chegar ao mesmo resultado verificando que a onda resultante  $S$  começa a se repetir a partir da posição  $x = 1,5$  m.

- c) De acordo com o "Note e adote", a intensidade  $I$  é proporcional ao quadrado da amplitude:

$$I = KA^2 \text{ (sendo } K \text{ uma constante)}$$

Com o valor dado para a onda B de frequência  $f_B = 3f_0$  (3º harmônico):

$$I_B = KA_B^2 \left\} K = \frac{I_B}{A_B^2} = \frac{4}{2^2} \Rightarrow K = 1$$

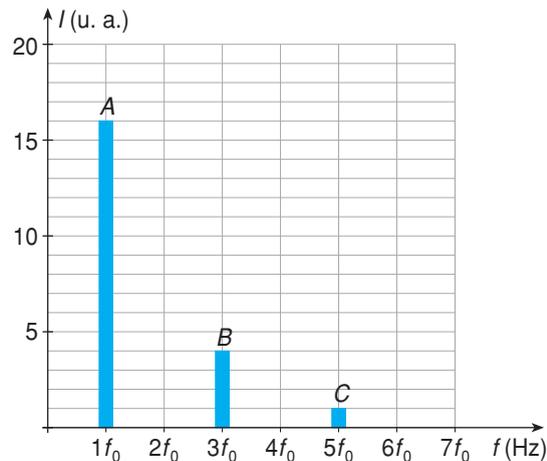
Assim para a onda A, cuja frequência é  $f_0$  (fundamental), temos:

$$I_A = KA_A^2 = 1 \cdot 4^2 \Rightarrow I_A = 16 \text{ u. a.}$$

E para a onda C, cuja frequência é  $f_C = 5f_0$  (5º harmônico)

$$I_C = KA_C^2 = 1 \cdot 1^2 \Rightarrow I_C = 1 \text{ u. a.}$$

Construindo o gráfico:



- P.524** a) O primeiro pico do sinal emitido corresponde ao instante  $t_1 = 20 \mu\text{s}$  e o instante correspondente à recepção do mesmo sinal é  $t_2 = 60 \mu\text{s}$ .  
Portanto, o intervalo de tempo entre esses instantes é:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 60 - 20 \Rightarrow \Delta t = 40 \mu\text{s}$$

- b) Nesse intervalo de tempo, o pulso percorre o dobro da espessura da placa (ida e volta), com velocidade  $v = 1.200 \text{ m/s}$ . Assim:

$$v = \frac{2D}{\Delta t} \Rightarrow D = \frac{v \cdot \Delta t}{2} = \frac{1.200 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow \boxed{D = 24 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 24 \text{ mm}}$$

- c) Sendo a frequência do ultrassom utilizado  $f = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ , o comprimento de onda será:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.200}{1,5 \cdot 10^6} \Rightarrow \boxed{\lambda = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,8 \text{ mm}}$$

- P.525** a) A frequência de batimentos entre os sons de frequências  $f_A = 150 \text{ Hz}$  e  $f_B = 155 \text{ Hz}$  corresponde à diferença:

$$f_b = f_B - f_A = 155 - 150 \Rightarrow \boxed{f_b = 5 \text{ Hz}}$$

- b) A frequência do tubo B deve diminuir, para se igualar à do tubo A e portanto ele deve se *afastar* do observador. Para calcular sua velocidade, usamos a fórmula:



$$f' = f_B \cdot \frac{v_s}{v_s + v_B}$$

- $f' = f_A = 150 \text{ Hz}$ ;  $f_B = 155 \text{ Hz}$ ;  $v_s = 300 \text{ m/s}$ ; logo:

$$150 = 155 \frac{300}{300 + v_B} \Rightarrow 300 + v_B = 310 \Rightarrow \boxed{v_B = 10 \text{ m/s}}$$

- P.526** a) Sendo  $\Delta s_F = 9,0 \text{ m}$  e  $\Delta t = 0,9 \text{ s}$ , a velocidade da fonte é:

$$v_F = \frac{\Delta s_F}{\Delta t} = \frac{9,0}{0,9} \Rightarrow \boxed{v_F = 10 \text{ m/s}}$$

- b) Como a velocidade da onda é  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ , isto é, o dobro da fonte, ela percorre o dobro da distância:

$$\Delta s_0 = 2\Delta s_F \Rightarrow \Delta s_0 = 18 \text{ m}$$

Entretanto, como ambas (fonte e onda) se movem no mesmo sentido, o deslocamento relativo entre elas será:  $x = \Delta s_0 - \Delta s_F = 18 - 9,0 \Rightarrow x = 9,0 \text{ m}$

Nesse trecho, contam-se *oito ondas* (incluindo a que está sendo emitida no instante considerado) e, portanto, *sete* distâncias de onda a onda. Logo:

$$\lambda_A = \frac{x}{N} = \frac{9,0}{7} \Rightarrow \boxed{\lambda_A \approx 1,29 \text{ m}}$$

- c) Considerando o afastamento entre as ondas e a fonte (lado do observador  $B$ ), o deslocamento relativo será:

$$x' = \Delta s_0 + \Delta s_F = 18 + 9,0 \Rightarrow x' = 27 \text{ m}$$

O comprimento de onda aparente, para o observador  $B$ , será:

$$\lambda_B = \frac{x'}{N} = \frac{27}{7} \Rightarrow \lambda_B \approx 3,86 \text{ m}$$

Sendo a velocidade da onda  $v_0 = 20 \text{ m/s}$ , a frequência medida por  $B$  é:

$$f_B = \frac{v_0}{\lambda_B} = \frac{20}{3,86} \Rightarrow \boxed{f_B \approx 5,2 \text{ Hz}}$$



Aplicando a fórmula:  $f_B = f \cdot \frac{v_0}{v_0 + v_F}$ , vem:

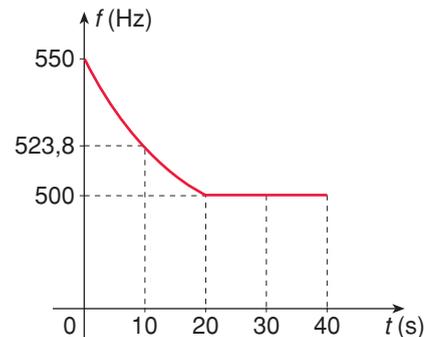
$$5,2 = f \cdot \frac{20}{20 + 10} \Rightarrow \boxed{f \approx 7,8 \text{ Hz}}$$

Observação:

Vale ressaltar que as ondas referidas *não são* ondas sonoras propagando-se no ar. Portanto, quando se diz que a frequência é *medida* pelo observador, não significa que seja ouvida. Além disso, a velocidade de  $20 \text{ m/s}$  é incompatível para ondas sonoras.

P.527

- a) No gráfico verifica-se que, entre  $t = 0$  e  $t = 20 \text{ s}$ , a frequência registrada pelo detetor diminui. Então, pode-se concluir que, nesse intervalo de tempo, a ambulância está se afastando do detetor.



- b) No instante  $t = 0$ :  $f' = f = 550 \text{ Hz} \Rightarrow v_a = 0$   
 No instante  $t = 10 \text{ s}$ :  $f' = 523,8 \text{ Hz}$



De  $f' = f \cdot \left( \frac{v}{v + v_a} \right)$ , vem:

$$523,8 = 550 \cdot \left( \frac{340}{340 + v_a} \right) \Rightarrow 340 + v_a = 357 \Rightarrow v_a = 17 \text{ m/s}$$

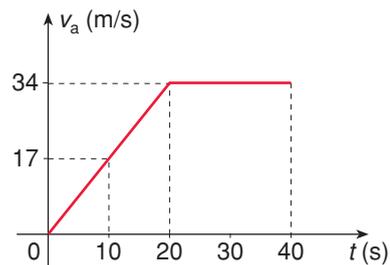
No instante  $t = 20$  s:  $f' = 500$  Hz

$$f' = f \cdot \left( \frac{v}{v + v_a} \right) \Rightarrow 500 = 550 \cdot \left( \frac{340}{340 + v_a} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 340 + v_a = 374 \Rightarrow v_a = 34 \text{ m/s}$$

A partir do instante 20 s, a frequência ouvida não se modifica, indicando que, a partir de então, a velocidade da ambulância se mantém constante.

Considerando que a velocidade da ambulância varia linearmente com o tempo entre os instantes  $t = 0$  e  $t = 20$  s, a representação gráfica da velocidade da ambulância será dada por:



T.1

**Resposta: b**

O termo calor é usado para referir-se à energia em trânsito entre dois sistemas em diferentes temperaturas.

T.2

**Resposta: b**

A transferência de calor entre dois corpos é determinada pela diferença de temperatura entre eles.

T.3

**Resposta: c**

Não tem sentido expressões com “calor armazenado”, “corpo acumula calor”, “corpo armazenou calor”, “calor nele contido”. Calor é energia em trânsito.

T.4

**Resposta: b**

A transferência de calor entre dois corpos é determinada pela diferença de temperatura entre eles.

T.5

**Resposta: a**

I. Incorreta.

Temperatura e calor são conceitos físicos diferentes.

II. Correta.

Calor corresponde à energia térmica em trânsito; trabalho mede a variação da energia cinética de um sistema.

III. Correta.

Temperatura relaciona-se com a energia cinética de agitação das moléculas.

T.6 Resposta: b

Se os dois corpos estão em equilíbrio térmico, suas temperaturas são iguais. Então, quando postos em contato, não há transferência de calor entre eles; a temperatura não varia.

T.7 Resposta: a

- Quando se misturam porções iguais de leite em temperaturas diferentes, as temperaturas **mudam** até se estabelecer o equilíbrio térmico.
- Como na segunda experiência uma parte tem a temperatura alterada (o leite) e outra não (a água e o gelo), isso mostra que **não é** a temperatura que se transfere no processo.
- O termômetro utilizado **sofre** uma variação de temperatura no processo.

T.8 Resposta: b

Os três corpos apresentam a mesma temperatura, uma vez que estão em equilíbrio térmico.

T.9 Resposta: b

Quando é atingido o equilíbrio térmico, as temperaturas dos corpos *A* e *B* serão iguais.

T.10 Resposta: b

A lei zero da Termodinâmica estabelece que dois corpos em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si.

T.11 Resposta: e

Se as temperaturas dos corpos de ferro e de alumínio aumentaram, eles receberam calor. Então, necessariamente, o corpo de cobre cede calor e teve sua temperatura diminuída.

T.12 Resposta: d

As forças de coesão entre as moléculas de certa substância têm intensidade maior no estado sólido e menor no estado gasoso.

**T.13 Resposta: b**

O aumento da temperatura faz com que aumentem a pressão e o volume do ar, de modo a diminuir a altura da coluna de líquido.

**T.14 Resposta: d**

$$\theta_C = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{150}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \theta_F = 302 \text{ }^\circ\text{F}$$

**T.15 Resposta: a**

$$\theta_F = 5 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{5 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = -15 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.16 Resposta: b**

$$\theta_F = 104 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{104 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.17 Resposta: b**

Se  $\theta_F = 172 \text{ }^\circ\text{F}$ , temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{172 - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{140}{9} \Rightarrow \theta_C \approx 78 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.18 Resposta: d**

$$\theta_F - \theta_C = 92 \Rightarrow \theta_F = 92 + \theta_C \quad \textcircled{1}$$

Substituindo  $\textcircled{1}$  na fórmula de conversão, temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{92 + \theta_C - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_C + 60}{9}$$

$$9\theta_C = 5\theta_C + 300 \Rightarrow 4\theta_C = 300 \Rightarrow \theta_C = 75 \text{ }^\circ\text{C} \quad \textcircled{2}$$

Substituindo  $\textcircled{2}$  em  $\textcircled{1}$ , temos:

$$\theta_F = 92 + \theta_C \Rightarrow \theta_F = 92 + 75 \Rightarrow \theta_F = 167 \text{ }^\circ\text{F}$$

**T.19** Resposta: c

$$\theta_F - \theta_C = 100 \Rightarrow \theta_F = 100 + \theta_C \quad \textcircled{1}$$

Substituindo  $\textcircled{1}$  na fórmula de conversão, temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{100 + \theta_C - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_C + 68}{9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9\theta_C = 5\theta_C + 340 \Rightarrow 4\theta_C = 340 \Rightarrow \theta_C = 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.20** Resposta: b

Se  $\theta_F = 5\theta_C$ , temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{5\theta_C - 32}{9} \Rightarrow 9\theta_C = 25\theta_C - 160 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 16\theta_C = 160 \Rightarrow \theta_C = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.21** Resposta: e

$$\theta_F = \frac{\theta_C}{5} \Rightarrow \theta_C = 5\theta_F \quad \textcircled{1}$$

Substituindo  $\textcircled{1}$  na fórmula de conversão, temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{5\theta_F}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow 9\theta_F = \theta_F - 32 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9\theta_F - \theta_F = -32 \Rightarrow 8\theta_F = -32 \Rightarrow \theta_F = -4 \text{ }^\circ\text{F}$$

**T.22** Resposta: c

$$\theta_F = 2\theta_C + 2 \quad \textcircled{1}$$

$$\theta_C = \frac{5}{9}(\theta_F - 32) \Rightarrow 9\theta_C = 5\theta_F - 160 \quad \textcircled{2}$$

Substituindo  $\textcircled{2}$  em  $\textcircled{1}$ , temos:

$$9\theta_C = 5(2\theta_C + 2) - 160 \Rightarrow 9\theta_C = 10\theta_C + 10 - 160 \Rightarrow \theta_C = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.23** Resposta: c

Dado:  $\Delta\theta_C = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} \Rightarrow \frac{100}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} \Rightarrow \Delta\theta_F = 180 \text{ }^\circ\text{F}$$

T.24 Resposta: d

Se  $\Delta\theta_C = 15\text{ }^\circ\text{C}$ , vem:

$$\frac{\Delta\theta_C}{5} = \frac{\Delta\theta_F}{9} \Rightarrow \frac{15}{5} = \frac{\Delta\theta_C}{9} \Rightarrow \Delta\theta_F = 27\text{ }^\circ\text{F}$$

T.25 Resposta: a

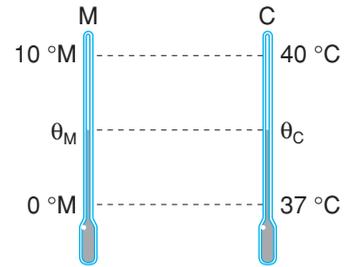
$$\frac{\theta_M}{10} = \frac{\theta_C - 37}{40 - 37} \Rightarrow \frac{\theta_M}{10} = \frac{\theta_C - 37}{3}$$

Para  $\theta_M = X\text{ }^\circ\text{M}$  e  $\theta_C = X\text{ }^\circ\text{C}$ , temos:

$$\frac{X}{10} = \frac{X - 37}{3} \Rightarrow 10X - 370 = 3X \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 7X = 370 \Rightarrow X \approx 52,9$$

Portanto:  $\theta_C \approx 52,9\text{ }^\circ\text{C}$



T.26 Resposta: c

Para efeitos de cálculo, o termômetro mal graduado (incorreto) estabelece uma nova escala. Chamando de  $\theta$  a temperatura correta que ele indica, temos:

$$\frac{\theta - 1}{99 - 1} = \frac{\theta - 0}{100 - 0} \Rightarrow \frac{\theta - 1}{98} = \frac{\theta}{100} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\theta - 1) \cdot 100 = 98\theta \Rightarrow 100\theta - 100 = 98\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2\theta = 100 \Rightarrow \theta = 50\text{ }^\circ\text{C}$$

T.27 Resposta: a

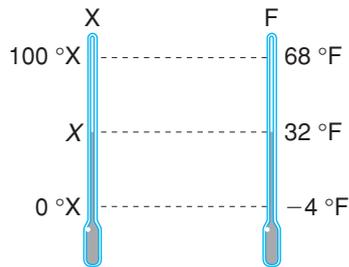
$$\theta_X = \frac{5}{4} \theta_C - 20$$

Para  $\theta_C = 0\text{ }^\circ\text{C}$ , temos:  $\theta_X = -20\text{ }^\circ\text{X}$

Para  $\theta_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$ , temos:

$$\theta_X = \frac{5}{4} \cdot 100 - 20 \Rightarrow \theta_X = 105\text{ }^\circ\text{X}$$

T.28 Resposta: c

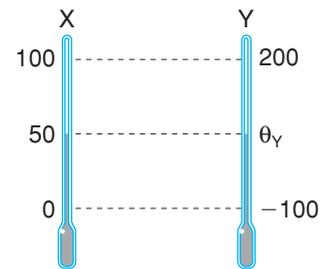


Para  $\theta_F = 32^\circ\text{F}$  (temperatura de fusão do gelo), temos:

$$\frac{X - 0}{100 - 0} = \frac{32 + 4}{68 + 4} \Rightarrow \frac{X}{100} = \frac{36}{72} \Rightarrow X = \frac{3 \cdot 600}{72} \Rightarrow X = 50^\circ\text{X}$$

T.29 Resposta: c

$$\frac{\theta_Y - (-100)}{200 - (-100)} = \frac{50 - 0}{100 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_Y + 100}{300} = \frac{50}{100} \Rightarrow \theta_Y = 50^\circ\text{Y}$$

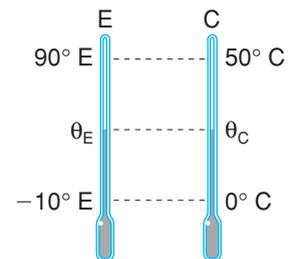


T.30 Resposta: d

$$\frac{\theta_E - (-10)}{90 - (-10)} = \frac{\theta_C - 0}{50 - 0} \Rightarrow \frac{\theta_E + 10}{100} = \frac{\theta_C}{50} \Rightarrow \frac{\theta_E + 10}{2} = \theta_C \Rightarrow \theta_E = 2\theta_C - 10$$

Para  $\theta_C = 90^\circ\text{C}$ , temos:

$$\theta_E = 2 \cdot 90 - 10 \Rightarrow \theta_E = 180 - 10 \Rightarrow \theta_E = 170^\circ\text{E}$$



T.31 Resposta: b

Do gráfico, obtemos:

$$\theta_C = -25^\circ\text{C} \Rightarrow \theta_H = 0^\circ\text{H}$$

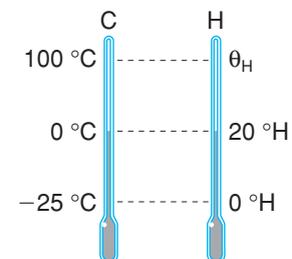
$$\theta_C = 0^\circ\text{C} \Rightarrow \theta_H = 20^\circ\text{H}$$

Então:

$$\frac{\theta_H - 0}{20 - 0} = \frac{100 - (-25)}{0 - (-25)}$$

$$\frac{\theta_H}{20} = \frac{125}{25}$$

$$\theta_H = 100^\circ\text{H}$$



T.32 Resposta: c

A escala X é uma escala inversa, isto é, quanto maior a indicação na escala Celsius, menor a indicação na escala X.

Entretanto, a resolução pode ser feita pela comparação dos segmentos definidos nas escalas. Do gráfico:

$$\frac{\theta_X - 60}{0 - 60} = \frac{\theta_C - 0}{60 - 0}$$

$$\frac{\theta_X - 60}{-60} = \frac{\theta_C}{60}$$

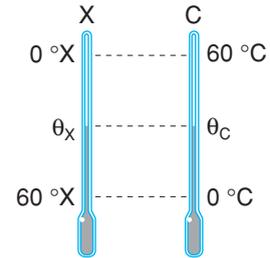
$$\theta_X - 60 = -\theta_C$$

$$\theta_X = -\theta_C + 60$$

Observe que a equação de conversão é do tipo  $y = ax + b$ , com a constante  $a$  negativa (reta decrescente).

Para  $\theta_C = 0^\circ\text{C}$ , temos:  $\theta_X = 60^\circ\text{X}$

Para  $\theta_C = 100^\circ\text{C}$ , temos:  $\theta_X = -100 + 60 \Rightarrow \theta_X = -40^\circ\text{X}$



T.33 Resposta: d

Trata-se de uma comparação entre variações de temperatura. Portanto:

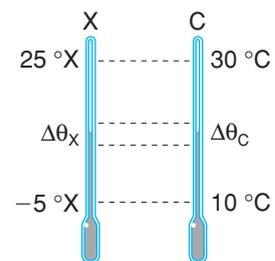
$$\frac{\Delta\theta_X}{25 - (-5)} = \frac{\Delta\theta_C}{30 - 10}$$

$$\frac{\Delta\theta_X}{30} = \frac{\Delta\theta_C}{20}$$

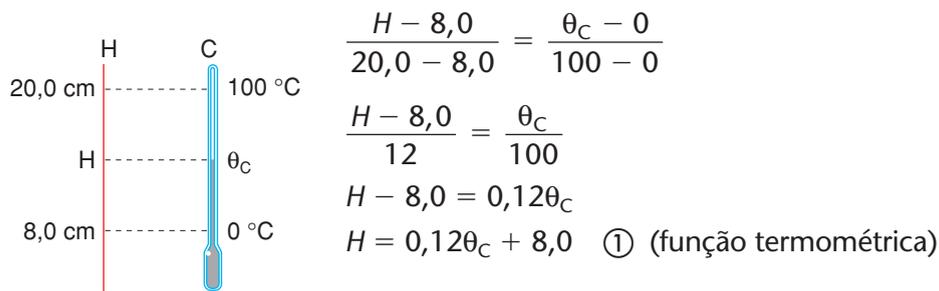
$$\Delta\theta_X = 1,5 \Delta\theta_C$$

Para  $\Delta\theta_C = 1^\circ\text{C}$ , temos:

$$\Delta\theta_X = 1,5^\circ\text{X}$$



T.34 Resposta: c



Para a situação considerada, temos:  $\theta_C = \theta_F = x$ . Logo:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{x - 32}{9} \Rightarrow 9x = 5x - 160 \Rightarrow 4x = -160 \Rightarrow x = -40$$

Portanto:  $\theta_C = -40 \text{ °C}$   $\textcircled{2}$

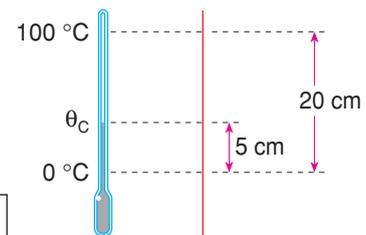
Substituindo  $\textcircled{2}$  em  $\textcircled{1}$ , vem:  $H = 0,12 \cdot (-40) + 8 \Rightarrow H = 3,2 \text{ cm}$

T.35 Resposta: a

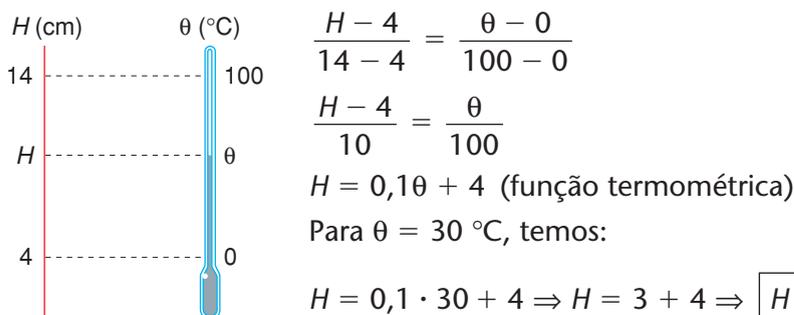
Usando a escala Celsius:

$$\frac{\theta_C - 0}{100 - 0} = \frac{5}{20} \Rightarrow \frac{\theta_C}{100} = \frac{5}{20} \Rightarrow \theta_C = 25 \text{ °C}$$

$$\theta_F = 1,8\theta_C + 32 \Rightarrow \theta_F = 1,8 \cdot 25 + 32 \Rightarrow \theta_F = 77 \text{ °F}$$



T.36 Resposta: c

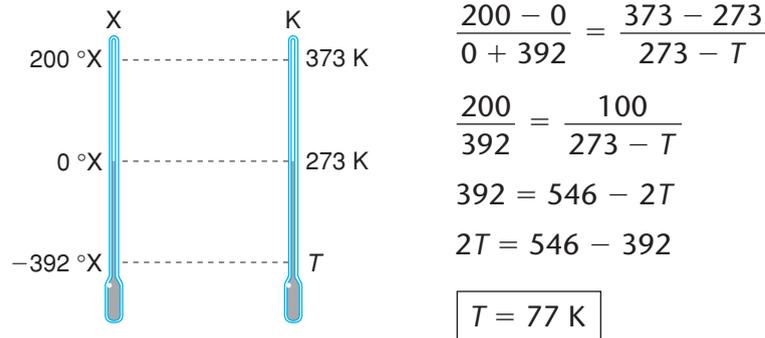


**T.37 Resposta: e**

A temperatura de um corpo é considerada como sendo a medida do grau de agitação das moléculas do corpo.

**T.38 Resposta: b**

Estabelecendo a correspondência dos valores dados pelo gráfico, vem:



**T.39 Resposta: c**

$$\theta_F = \frac{4}{5} \theta_C = 0,8\theta_C \text{ ①}$$

Substituindo ① na fórmula de conversão, obtemos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{0,8\theta_C - 32}{9} \Rightarrow 9\theta_C = 4\theta_C - 160 \Rightarrow \theta_C = -32 \text{ °C}$$

Na escala Kelvin, temos:

$$T = \theta_C + 273 \Rightarrow T = -32 + 273 \Rightarrow T = 241 \text{ K}$$

**T.40 Resposta: c**

Para  $T = 300 \text{ K}$ , temos:

$$\theta_0 = T - 273 \Rightarrow \theta_0 = 300 - 273 \Rightarrow \theta_0 = 27 \text{ °C}$$

Para  $\theta_F = 68 \text{ °F}$ , temos:

$$\frac{\theta_C}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C}{5} = \frac{68 - 32}{9} \Rightarrow \theta_C = 20 \text{ °C}$$

Variação de temperatura sofrida pelo corpo, medida na escala Celsius:

$$\Delta\theta = \theta_C - \theta_0 = 20 - 27 \Rightarrow \Delta\theta = -7 \text{ °C}$$

T.41 Resposta: b

A tampa dilata-se mais que o recipiente, porque o coeficiente de dilatação do alumínio é maior que o do vidro.

T.42 Resposta: c

Como o coeficiente de dilatação do alumínio é maior que o do aço, deve-se resfriar o conjunto (anel + eixo).

T.43 Resposta: b

A esfera e a barra são feitas do mesmo material (mesmo coeficiente de dilatação linear). A temperatura inicial é a mesma e as dimensões lineares iniciais são iguais (diâmetro da esfera = comprimento da barra). Então as dilatações lineares do diâmetro da esfera ( $\Delta d$ ) e do comprimento da barra ( $\Delta L$ ) serão iguais:

$$\Delta d = \Delta L \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta d}{\Delta L} = 1}$$

T.44 Resposta: b

A dimensão linear  $AB$  do sistema deve aumentar, isto é, o ponto  $B$  deve se afastar de  $A$ , que está fixo.

T.45 Resposta: e

Os lados de alumínio ( $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) dilatam-se igualmente e mais que o lado de ferro ( $\alpha_{Fe} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ). Portanto, após o processo de aquecimento, o sistema formará a figura de um **trapézio isósceles**. A haste de aço será a base menor e a haste oposta (de alumínio) será a base maior do trapézio.

**T.46 Resposta: e**

O coeficiente de dilatação linear de um material representa a dilatação por unidade de comprimento (1 metro, por exemplo) e para uma variação unitária de temperatura (no caso, 1 grau Celsius). Sendo  $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , podemos dizer que, para um comprimento inicial  $L_0 = 1,0 \text{ m}$  e variação de temperatura  $\Delta\theta = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , ocorre uma variação de comprimento  $\Delta L = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ . Se o comprimento inicial for  $L_0 = 2,0 \text{ m}$  e a variação de temperatura  $\Delta\theta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , temos:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 2,0 \cdot 10^{-6} \cdot 2,0 \cdot 10 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta L = 40 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \Rightarrow \boxed{\Delta L = 0,04 \text{ mm}}$$

**T.47 Resposta: e**

Dados:  $L_0 = 600 \text{ km}$ ;  $\Delta\theta = 30 - (-10) \Rightarrow \Delta\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\alpha = 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta L = 10^{-5} \cdot 600 \cdot 40 \Rightarrow \boxed{\Delta L = 240 \cdot 10^{-3} \text{ km} = 240 \text{ m}}$$

**T.48 Resposta: e**

Dados:  $L_0 = 20 \text{ m}$ ;  $\Delta\theta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta L = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 5 \cdot 10^{-3} = \alpha \cdot 20 \cdot 25 \Rightarrow \boxed{\alpha = 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}$$

**T.49 Resposta: c**

Sabemos que:  $L_{0(A)} = 2L_{0(B)}$ ;  $\Delta L_A = \Delta L_B$

$$\alpha_A \cdot L_{0(A)} \cdot \Delta\theta = \alpha_B \cdot L_{0(B)} \cdot \Delta\theta \Rightarrow \alpha_A \cdot 2L_{0(B)} \cdot \Delta\theta = \alpha_B \cdot L_{0(B)} \cdot \Delta\theta \Rightarrow \boxed{\alpha_A = \frac{\alpha_B}{2}}$$

**T.50 Resposta: e**

$L_0 = 1 \text{ m}$ ;  $\alpha_{\text{Fe}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\alpha_{\text{Al}} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta\theta = (320 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

Dilatação linear da barra de ferro:

$$\Delta L_{\text{Fe}} = \alpha_{\text{Fe}} \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 300 \Rightarrow \Delta L_{\text{Fe}} = 0,0036 \text{ m}$$

Dilatação linear da barra de alumínio:

$$\Delta L_{\text{Al}} = \alpha_{\text{Al}} \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 22 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 300 \Rightarrow \Delta L_{\text{Al}} = 0,0066 \text{ m}$$

O comprimento final após o aquecimento é:

$$L_f = 2L + \Delta L_{\text{Fe}} + \Delta L_{\text{Al}} = 2 + 0,0036 + 0,0066 \Rightarrow \boxed{L_f = 2,0102 \text{ m}}$$

**T.51 Resposta: b**

Dados:  $L_1 = 40 \text{ m}$ ;  $\alpha_1 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $L_2 = 30 \text{ m}$

Conforme foi deduzido no exercício **R.12**, para que a ponte permaneça sempre horizontal, independentemente da variação de temperatura, devemos ter:

$$\alpha_1 L_1 = \alpha_2 L_2 \Rightarrow 18 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = \alpha_2 \cdot 30 \Rightarrow \alpha_2 = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

**T.52 Resposta: e**

A diferença porcentual entre os diâmetros externo do rolamento e interno do mancal corresponde à dilatação ( $\Delta d$ ) que o diâmetro interno do mancal deve sofrer, isto é:

$$\Delta d = 0,1\% \cdot d_0 = \frac{0,1}{100} \cdot d_0 \Rightarrow \Delta d = \alpha \cdot d_0 \cdot \Delta\theta$$

Mas:  $\alpha = 25,0 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Substituindo esse valor, obtemos:

$$\frac{0,1}{100} \cdot d_0 = 25,0 \cdot 10^{-6} \cdot d_0 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = \left( \frac{0,1 \cdot 10^6}{100 \cdot 25,0} \right) \Rightarrow \Delta\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lembrando que  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ , vem:

$$\theta = \Delta\theta + \theta_0 \Rightarrow \theta = 40 + 22 \Rightarrow \theta = 62 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.53 Resposta: a**

De acordo com o esquema, considerando que a temperatura aumenta:

- a lâmina **2** deve ter coeficiente **maior** e, portanto, deve corresponder ao **cobre**.

ou

- a lâmina **1** deve ter coeficiente **menor** e, portanto, deve corresponder ao **ferro**.

**T.54 Resposta: d**

A parte externa da lâmina deve ser feita com o metal de maior coeficiente de dilatação ( $\alpha_1 < \alpha_{II}$ ), pois quando a temperatura aumenta é essa a parte que se dilata mais.

Quanto **mais apertado** o parafuso, mais depressa o contato vai se desfazer e, portanto, **menor** será a temperatura de funcionamento.

**T.55 Resposta: a**

Do gráfico, obtemos:

$$\Delta L = (2,24 - 2) \text{ m} = 0,24 \text{ m}; \Delta\theta = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$

Da fórmula da lei da dilatação  $\Delta L = \alpha L_0 \cdot \Delta\theta$ , temos:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta\theta} = \frac{0,24}{2 \cdot 200} = \frac{24 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^2} \Rightarrow \alpha = 6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

**T.56 Resposta: d**

As dilatações das duas barras diferem em 0,1 cm:

$$\Delta L_1 - \Delta L_2 = 0,1 \text{ cm}$$

$$\text{Mas: } \Delta L_1 = \alpha_1 \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \text{ e } \Delta L_2 = \alpha_2 \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$$

Então:

$$\alpha_1 \cdot L_0 \cdot \Delta\theta - \alpha_2 \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 0,1$$

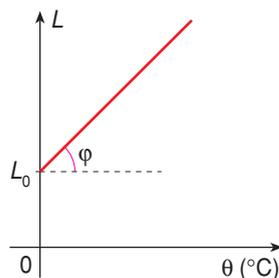
$$L_0 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta\theta - \alpha_2 \cdot \Delta\theta) = 0,1$$

Substituindo os dados  $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\alpha_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $\Delta\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ , obtemos:

$$L_0 \cdot (12 \cdot 10^{-6} \cdot 100 - 8 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = 0,1 \Rightarrow L_0 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_0 = \frac{0,1}{4 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} = 0,25 \cdot 10^3 \text{ cm} \Rightarrow L_0 = 250 \text{ cm}$$

**T.57 Resposta: c**



$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$L = L_0 + \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta$$

No gráfico:

$$\text{tg } \varphi = \alpha \cdot L_0$$

Como  $\alpha_1 = \alpha_2$ , o ângulo  $\varphi$  é maior para a barra de maior comprimento inicial ( $L_0$ ). Portanto, o gráfico correto é o da alternativa c.

Observe que se os comprimentos iniciais fossem iguais às retas correspondentes, as duas barras teriam a mesma inclinação.

T.58 Resposta: d

A dilatação relativa linear é dada:  $\frac{\Delta L}{L_0} = 0,2\%$

Mas:  $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \cdot \Delta\theta = 0,2\%$

Para a dilatação relativa superficial, temos:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = \beta \cdot \Delta\theta = 2\alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{\Delta A}{A_0} = 0,4\%$$

Para a dilatação relativa volumétrica, temos:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \cdot \Delta\theta = 3\alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{\Delta V}{V_0} = 0,6\%$$

T.59 Resposta: b

Sendo proveniente de Marte, o coeficiente de dilatação linear do material da placa é muito elevado ( $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), da ordem de 1.000 vezes maior que o dos materiais terrestres. Por isso, não convém usar a aproximação que normalmente utilizamos para o coeficiente de dilatação superficial ( $\beta = 2\alpha$ ), válida quando o coeficiente de dilatação linear é pequeno. Vamos analisar, então, a variação de cada lado ( $L_0 = 10 \text{ cm}$ ) da placa quando a temperatura diminui  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  para  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta\theta = 0 \text{ }^\circ\text{C} - 100 \text{ }^\circ\text{C} = -100 \text{ }^\circ\text{C}$ ), usando o coeficiente de dilatação linear dado.

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot (-100) \Rightarrow \Delta L = -2,0 \text{ cm}$$

O comprimento final da placa será:

$$L = L_0 + \Delta L = 10 - 2,0 \Rightarrow L = 8,0 \text{ cm}$$

A área da placa vale:

$$A = L^2 = 8^2 \Rightarrow A = 64 \text{ cm}^2$$

Observe neste caso que, se utilizássemos o coeficiente de dilatação superficial  $\beta = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , obteríamos para a área final (a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) o valor  $A = 60 \text{ cm}^2$ .

T.60 Resposta: d

Dados:  $R_0 = 100 \text{ cm}$ ;  $\theta_0 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta = 122 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_{Al} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Cálculo do raio final  $R$ :

$$\Delta R = \alpha \cdot R_0 \cdot (\theta - \theta_0) = 22 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot (122 - 12) \Rightarrow \Delta R = 0,242 \text{ cm}$$

$$R = R_0 + \Delta R = 100 + 0,242 \Rightarrow R = 100,242 \text{ cm}$$

Área final do furo:

$$A = \pi R^2 \approx 3,14 \cdot (100,242)^2 \Rightarrow A \approx 3,155 \cdot 10^4 \text{ cm}^2 \Rightarrow A \approx 3,155 \text{ m}^2$$

T.61 Resposta: b

$$\text{Dado: } \Delta V = \frac{4,5}{100} V_0 \text{ (para } \Delta\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{4,5}{100} V_0 = \gamma \cdot V_0 \cdot 100 \Rightarrow \gamma = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\gamma}{3} = \frac{4,5 \cdot 10^{-4}}{3} \Rightarrow \alpha = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Cálculo do aumento de comprimento:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta = 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot L_0 \cdot 100 \Rightarrow \Delta L = \frac{1,5}{100} L_0 \Rightarrow \Delta L = 1,5\% \cdot L_0$$

T.62 Resposta: a

$$\text{Dado: } \Delta L = 0,20\% \cdot L_0 = \frac{0,20}{100} \cdot L_0 = 2 \cdot 10^{-3} \cdot L_0$$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 2 \cdot 10^{-3} \cdot L_0 = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \alpha = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\Delta\theta}$$

$$\beta = 2\alpha \Rightarrow \beta = 2 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\Delta\theta} \Rightarrow \beta = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{\Delta\theta}$$

Como  $A_0 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$ , vem:

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta A = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{\Delta\theta} \cdot 2,50 \cdot 10^3 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta A = 10 \text{ cm}^2$$

A área final da placa passa a ser:

$$\Delta A = A - A_0 \Rightarrow A = \Delta A + A_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 10 + 2.500 \Rightarrow A = 2.510 \text{ cm}^2 \Rightarrow A = 2,51 \cdot 10^3 \text{ cm}^2$$

T.63 Resposta: d

Tomando dois pontos distintos do gráfico, obtemos:

$$\Delta A = A - A_0 = 25,00180 - 25,00000 \Rightarrow \Delta A = 0,00180 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = (34 - 30) \text{ }^\circ\text{C} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Da fórmula  $\Delta A = \beta A_0 \cdot \Delta\theta$ , vem:

$$\beta = \frac{\Delta A}{A_0 \cdot \Delta\theta} = \frac{0,00180}{25,00000 \cdot 4} \Rightarrow \beta = 18 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Mas:

$$\beta = 2\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{2} = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow \alpha = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

T.64 Resposta: c

$$V_0 = 6 \text{ l} = 6 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$$

$$\Delta\theta = (120 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \gamma = 3\alpha = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

O acréscimo de volume, em  $\text{cm}^3$ , é dado por:

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 100 \Rightarrow \Delta V = 14,4 \text{ cm}^3$$

T.65 Resposta: b

$$V_0 = 1 \text{ cm}^3; \theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}; h = 12 \text{ mm} = 1,2 \text{ cm}; S = 1 \text{ mm}^2 = 10^{-2} \text{ cm}^2$$

A variação de volume do líquido corresponde ao volume do líquido contido na haste:

$$\Delta V = Sh = 10^{-2} \cdot 1,2 \Rightarrow \Delta V = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3$$

Mas  $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta$ . Logo:

$$1,2 \cdot 10^{-2} = \gamma \cdot 1 \cdot (50 - 20) \Rightarrow \gamma = \frac{1,2 \cdot 10^{-2}}{30} \Rightarrow \gamma = 4 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

T.66 Resposta: Soma = 09 (01 + 08)

$$\alpha = 25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; a_0 = 20 \text{ cm}; \theta_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \gamma_{\text{Hg}} = 180 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \theta = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

01) Correta.

$$\beta = 2\alpha = 2 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \Rightarrow \beta = 50 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

02) Incorreta.

$$\Delta a = \alpha \cdot a_0 \cdot \Delta\theta = 25 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 100 \Rightarrow \Delta a = 5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$$

04) Incorreta.

Para a dilatação volumétrica do cubo, temos:

$$V_0 = a_0^3 = 8.000 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = 3\alpha = 75 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 75 \cdot 10^{-6} \cdot 8.000 \cdot 100 \Rightarrow \Delta V = 60 \text{ cm}^3$$

08) Correta.

Para a dilatação de mercúrio, temos:

$$\Delta V_{\text{Hg}} = \gamma_{\text{Hg}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 180 \cdot 10^{-6} \cdot 8.000 \cdot 100 \Rightarrow \Delta V_{\text{Hg}} = 144 \text{ cm}^3$$

16) Incorreta.

O volume transbordado (dilatação aparente  $\Delta V_{\text{ap.}}$ ) será dado por:

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \Delta V_{\text{Hg}} - \Delta V = 144 - 60 \Rightarrow \Delta V_{\text{ap.}} = 84 \text{ cm}^3$$

T.67 Resposta: b

O volume transbordado corresponde à **dilatação aparente** do líquido.

T.68 Resposta: a

O volume transbordado corresponde à dilatação aparente do mercúrio. Assim:

$$\Delta V_{\text{ap.}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{ap.}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow 3,0 = 1.000 \cdot \gamma_{\text{ap.}} \cdot 100 \Rightarrow \gamma_{\text{ap.}} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Como  $\gamma_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{F}}$ , temos:

$$3,0 \cdot 10^{-5} = 1,8 \cdot 10^{-4} - 3\alpha_{\text{F}}$$

$$1,0 \cdot 10^{-5} = 6,0 \cdot 10^{-5} - \alpha_{\text{F}}$$

$$\alpha_{\text{F}} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

T.69 Resposta: c

Dados:  $V_0 = 1,0 \text{ l} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ cm}^3$ ;  $\gamma_{\text{L}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\Delta\theta = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\gamma_{\text{L}} = 2\gamma_{\text{F}} \Rightarrow \gamma_{\text{F}} = \frac{\gamma_{\text{L}}}{2} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{2} \Rightarrow \gamma_{\text{F}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{L}} - \gamma_{\text{F}} = 2 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \gamma_{\text{ap.}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

O volume de líquido transbordado corresponde à dilatação aparente:

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 30$$

$$\Delta V_{\text{ap.}} = 3,0 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3 = 0,30 \text{ cm}^3$$

**T.70 Resposta: e**

a) A gasolina possui maior coeficiente de dilatação volumétrica do que o tanque. Portanto, ao ser aquecida, a gasolina se dilata mais do que o tanque e, ao ser resfriada, contrai-se mais do que este. Sendo assim, à noite, ocorrendo o resfriamento, não haverá derramamento.

b) Justamente pelo fato de o combustível estar dilatado, a pessoa estará comprando menos massa de gasolina por unidade de volume.

$$c) \gamma_F = 63 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}; \gamma_{\text{gas.}} = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 960 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{gas.}} - \gamma_F \Rightarrow \gamma_{\text{ap.}} = 960 \cdot 10^{-6} - 63 \cdot 10^{-6}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = 897 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 8,97 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$d) \Delta\theta = 10 \text{ } ^\circ\text{C}; V_0 = 100 \text{ l}$$

$$\Delta V = \gamma_{\text{gas.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta V = 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 10 \Rightarrow \Delta V = 0,96 \text{ l}$$

$$e) V_0 = 200 \text{ l}; \Delta\theta = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta = 8,97 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 25 \Rightarrow \Delta V_{\text{ap.}} \approx 4,48 \text{ l}$$

Extravasam, aproximadamente, 4,48 l de gasolina.

**T.71 Resposta: d**

$$V_F = 1.000 \text{ cm}^3; V_G = 980 \text{ cm}^3; \theta_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta V_{\text{ap.}} = V_F - V_G = 1.000 - 980 \Rightarrow \Delta V_{\text{ap.}} = 20 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_G = 48 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 480 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_F = 3\alpha_F = 27 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\gamma_{\text{ap.}} = \gamma_G - \gamma_F = 480 \cdot 10^{-6} - 27 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \gamma_{\text{ap.}} = 453 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V_{\text{ap.}} = \gamma_{\text{ap.}} \cdot V_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow 20 = 453 \cdot 10^{-6} \cdot 980 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta \approx 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Portanto:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow \theta = \Delta\theta + \theta_0 \approx 45 + 20 \Rightarrow \theta \approx 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Podemos também resolver este teste igualando os volumes finais do frasco e da glicerina:

$$V_F \cdot (1 + \gamma_F \cdot \Delta\theta) = V_G \cdot (1 + \gamma_G \cdot \Delta\theta)$$

$$1.000 \cdot (1 + 27 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta\theta) = 980 \cdot (1 + 48 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta\theta)$$

$$1.000 + 27 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta = 980 + 470,4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta$$

$$20 = 443,4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta \approx 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \Rightarrow \theta = \Delta\theta + \theta_0 \approx 45 + 20 \Rightarrow \theta \approx 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**T.72 Resposta: c**

I. Incorreta.

Não existe transferência de “frio”. É sempre ganho ou perda de calor.

II. Correta.

A mão transfere calor para a água fria e recebe calor da água morna.

III. Incorreta.

A energia que se transfere devido a uma diferença de temperatura é denominada calor.

IV. Correta.

A sensação de calor ou frio depende das condições anteriores em que a mão se encontrava.

**T.73 Resposta: a**

I. Correta.

A afirmação está de acordo com o conceito de calor específico.

II. Errada.

A massa deve ser igual a 1 grama.

III. Errada.

**T.74 Resposta: a**

$$Q = C_A \cdot \Delta\theta_A \text{ e } Q = C_B \cdot \Delta\theta_B$$

Igualando essas duas expressões de  $Q$ , obtemos:  $C_A \cdot \Delta\theta_A = C_B \cdot \Delta\theta_B$

Sendo  $\Delta\theta_A = 2\Delta\theta_B$ , vem:

$$C_A \cdot 2\Delta\theta_B = C_B \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow \boxed{C_B = 2C_A}$$

**T.75 Resposta: e**

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 10 \cdot 0,20 \cdot (30 - 80) \Rightarrow Q_1 = -100 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 20 \cdot 0,10 \cdot (30 - 70) \Rightarrow Q_2 = -80 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 15 \cdot 0,10 \cdot (30 - 80) \Rightarrow Q_3 = -75 \text{ cal}$$

$$Q_4 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 30 \cdot 0,05 \cdot (30 - 60) \Rightarrow Q_4 = -45 \text{ cal}$$

$$Q_5 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 20 \cdot 0,20 \cdot (30 - 50) \Rightarrow Q_5 = -80 \text{ cal}$$

Portanto, a amostra que cedeu maior quantidade de calor para a água foi a 1.

**T.76 Resposta: b**

Para a água:  $Q_A = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta$

Para o corpo:  $Q_C = m_C \cdot c_C \cdot \Delta\theta$

Como  $Q_A = Q_C$ , vem:

$$m_A \cdot c_A = m_C \cdot c_C \Rightarrow c_C = \frac{m_A}{m_C} \cdot c_A$$

Sendo  $m_A = 100\text{g}$ ,  $c_A = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  e  $m_C = 400 \text{ g}$ , vem:

$$c_C = \frac{100}{400} \cdot 1,0 \Rightarrow \boxed{c_C = 0,25 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

**T.77 Resposta: e**

Quantidade de calor trocada pelo primeiro corpo:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta_1 \Rightarrow 80 = m \cdot c \cdot 20 \quad \textcircled{1}$$

Quantidade de calor trocada pelo segundo corpo:

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta_2 \Rightarrow 120 = 2m \cdot c \cdot \Delta\theta_2 \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$  membro a membro, vem:

$$\frac{80}{120} = \frac{20}{2\Delta\theta_2} \Rightarrow \Delta\theta_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como  $\theta_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , vem:

$$\Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_0 \Rightarrow 15 = \theta_2 - 10 \Rightarrow \boxed{\theta_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}}$$

**T.78 Resposta: e**

Em  $\Delta t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$ , o líquido sofre a variação de temperatura

$\Delta\theta = (54 - 24) \text{ }^\circ\text{C} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . A quantidade de calor pode ser calculada por

$Q = Pot \cdot \Delta t$ , em que  $Pot = 120 \text{ W}$  é a potência recebida pelo líquido. Assim:

$$Q = 120 \cdot 300 \Rightarrow Q = 36.000 \text{ J}$$

A capacidade térmica é dada por:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow C = \frac{36.000}{30} \Rightarrow \boxed{C = 1.200 \text{ J/}^\circ\text{C}}$$

T.79 Resposta: d

$$Pot = 55 \text{ cal/s}; \Delta t = 10 \text{ s}; m = 100 \text{ g}; \Delta\theta = (45 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = Pot \cdot \Delta t = 55 \cdot 10 \Rightarrow Q = 550 \text{ cal}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{550}{25} \Rightarrow C = 22 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$c = \frac{C}{m} = \frac{22}{100} \Rightarrow c = 0,22 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

T.80 Resposta: Soma = 27 (01 + 02 + 08 + 16)

01) Correta.

A capacidade térmica é dada por:  $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$ . Considerando que A e B absorvem a mesma quantidade de calor Q, e que  $\Delta\theta_A < \Delta\theta_B$ , temos:  $C_A > C_B$ .

02) Correta.

$$C_A = \frac{400}{10} \Rightarrow C_A = 40 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

$$C_B = \frac{400}{20} \Rightarrow C_B = 20 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

04) Incorreta.

Não sendo conhecidas as massas dos objetos, nada se pode afirmar sobre os calores específicos.

08) Correta.

Para a mesma quantidade de calor (1 cal), sofre maior variação de temperatura o objeto que tem menor capacidade térmica.

16) Correta.

Sendo c o calor específico do material do objeto e  $m = 200 \text{ g}$  a sua massa, vem:

$$C = mc \Rightarrow 40 = 200 \cdot c \Rightarrow c = 0,2 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

T.81 Resposta: d

Em  $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ , a energia consumida pelo cérebro ( $Pot = 16 \text{ W}$ ) será:

$$Q = Pot \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 16 \cdot 60 \Rightarrow Q = 960 \text{ J}$$

O volume  $V = 10 \text{ ml} = 10 \text{ cm}^3 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 10^{-5} \text{ m}^3$  terá massa:

$$m = dV \Rightarrow m = 1,0 \cdot 10^3 \cdot 10^{-5} \Rightarrow m = 10^{-2} \text{ kg}$$

Sendo aquecida com a quantidade de calor Q calculada, a referida massa de água sofrerá a variação de temperatura  $\Delta\theta$ , então:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 960 = 10^{-2} \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = \frac{960}{42} \Rightarrow \Delta\theta = 22,8 \Rightarrow \Delta\theta \approx 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

**T.82 Resposta: a**

De  $Q = Pot \cdot \Delta t$ , sendo  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , vem  $Q = 12,6 \cdot 10^9 \text{ J}$

Sendo  $d = 1,0 \text{ g/cm}^3 = 1,0 \text{ kg/l}$  a densidade da água, o volume  $V = 175 \cdot 10^6 \text{ l}$  tem massa  $m = 175 \cdot 10^6 \text{ kg}$ .

O calor específico da água é:

$$c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \Rightarrow c = 4,2 \text{ J}/10^{-3} \text{ kg} \cdot ^\circ\text{C} \Rightarrow c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

Aplicando a equação fundamental da Calorimetria, obtemos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 12,6 \cdot 10^9 = 175 \cdot 10^6 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{12,6}{175 \cdot 4,2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\theta = 0,017 \Rightarrow \Delta\theta \simeq 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow \text{ordem de grandeza: } \boxed{10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

**T.83 Resposta: b**

Podemos determinar, pela fase inicial do processo, a relação entre as capacidades térmicas das duas porções de líquidos. Como ambas recebem a mesma quantidade de calor, sofrendo as variações de temperatura  $\Delta\theta_A = (40 - 20) \text{ } ^\circ\text{C} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  e  $\Delta\theta_B = (80 - 20) \text{ } ^\circ\text{C} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$ , temos:

$$Q_A = Q_B \Rightarrow C_A \cdot \Delta\theta_A = C_B \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow C_A \cdot 20 = C_B \cdot 60 \Rightarrow C_A = 3C_B$$

Quando são misturadas, sendo  $Q'_A$  e  $Q'_B$  as quantidades de calor trocadas entre elas até o equilíbrio térmico, temos:

$$Q'_A + Q'_B = 0 \Rightarrow C_A \cdot \Delta\theta'_A + C_B \cdot \Delta\theta'_B = 0 \Rightarrow C_A \cdot (\theta - 40) + C_B \cdot (\theta - 80) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_A \cdot (\theta - 40) = C_B \cdot (80 - \theta) \Rightarrow 3C_B \cdot (\theta - 40) = C_B \cdot (80 - \theta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3\theta - 120 = 80 - \theta \Rightarrow 4\theta = 200 \Rightarrow \boxed{\theta = 50 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

**T.84 Resposta: d**

O calor recebido pela água do primeiro caldeirão, quando aquecida de  $10 \text{ } ^\circ\text{C}$  a  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $\Delta\theta = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) é:

$$Q = m_1 \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = m_1 \cdot 1,0 \cdot 10 \Rightarrow Q = 10 m_1 \quad \textcircled{1}$$

Na mistura da água do segundo caldeirão ( $\theta = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) com a água do primeiro ( $\theta_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), a temperatura de equilíbrio é  $\theta = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

A soma das quantidades de calor trocadas é nula; logo:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow m_1 \cdot c \cdot \Delta\theta_1 + m_2 \cdot c \cdot \Delta\theta_2 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot 1,0 \cdot (32 - 20) + m_2 \cdot 1,0 \cdot (32 - 80) = 0$$

Como  $m_1 + m_2 = 10 \text{ kg}$ , temos  $m_2 = 10 - m_1$ . Então:

$$m_1 \cdot 12 = (10 - m_1) \cdot 48 \Rightarrow 12m_1 = 480 - 48m_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 48m_1 + 12m_1 = 480 \Rightarrow 60m_1 = 480 \Rightarrow m_1 = 8 \text{ kg}$$

Substituindo  $m_1$  por  $8 \text{ kg}$  em  $\textcircled{1}$ , obtemos:

$$Q = 10 \cdot 8 \Rightarrow \boxed{Q = 80 \text{ kcal}}$$

T.85 Resposta: e

	$m$	$c$ (cal/g °C)	$\theta_0$	$\theta_f$	$\Delta\theta$	
Bloco metálico	$C_1 = 80$ cal/°C		100 °C	40 °C	-60 °C	( $Q_1$ )
Calorímetro	$C_2 = 8$ cal/°C		20 °C	40 °C	20 °C	( $Q_2$ )
Água	200 g	1	20 °C	40 °C	20 °C	( $Q_3$ )
Energia dissipada	$Q_4 = ?$					

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$$

$$C_1 \cdot \Delta\theta_1 + C_2 \cdot \Delta\theta_2 + m \cdot c \cdot \Delta\theta_2 + Q_4 = 0$$

$$80 \cdot (-60) + 8 \cdot 20 + 200 \cdot 1 \cdot 20 + Q_4 = 0$$

$$-4.800 + 160 + 4.000 + Q_4 = 0$$

$$Q_4 = 4.800 - 160 - 4.000$$

$$Q_4 = 640 \text{ cal}$$

T.86 Resposta: d

Dados:

$$c_B = 0,22 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}; \Delta\theta_A = (20 - 100) \text{ °C} = -80 \text{ °C}; \Delta\theta_B = (20 + 20) \text{ °C} = 40 \text{ °C}$$

$$Q_A = m \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A = m \cdot c_A \cdot (-80) \Rightarrow Q_A = -80mc_A$$

$$Q_B = m \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B = m \cdot 0,22 \cdot 40 \Rightarrow Q_B = 8,8m$$

$$Q_A + Q_B = 0 \Rightarrow Q_B = -Q_A$$

Substituindo:

$$8,8m = 80mc_A \Rightarrow c_A = \frac{8,8}{80} \Rightarrow c_A = 0,11 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

T.87 Resposta: c

	$m$	$c$	$\theta_0$	$\theta$	$\Delta\theta$
Calorímetro	$C = 5,0$ cal/°C		20 °C	60 °C	40 °C
Água	200 g	1,0 cal/g °C	20 °C	60 °C	40 °C
Metal	500 g	$x$	100 °C	60 °C	-40 °C

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 5,0 \cdot 40 \Rightarrow Q_1 = 200 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 200 \cdot 1,0 \cdot 40 \Rightarrow Q_2 = 8.000 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = 500 \cdot x \cdot (-40) \Rightarrow Q_3 = -20.000x$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$200 + 8.000 - 20.000x = 0$$

$$20.000x = 8.200$$

$$x = 0,41 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

T.88 Resposta: e

$$\text{Bloco A: } m_A = m; \theta_0 = \theta; \theta_F = 0,75\theta; \Delta\theta_A = 0,75\theta - \theta = -0,25\theta$$

$$\text{Bloco B: } m_B = m; \theta_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}; \theta_F = 0,75\theta; \Delta\theta_B = 0,75\theta$$

$$Q_A = m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta_A \Rightarrow Q_A = mc_A \cdot (-0,25\theta) \Rightarrow Q_A = -mc_A \cdot 0,25\theta$$

$$Q_B = m_B \cdot c_B \cdot \Delta\theta_B \Rightarrow Q_B = mc_B \cdot 0,75\theta$$

$$Q_A + Q_B = 0 \Rightarrow Q_B = -Q_A$$

$$\text{Substituindo: } \cancel{mc_B \cdot 0,75\theta} = \cancel{mc_A \cdot 0,25\theta}$$

$$\text{Portanto: } \frac{c_A}{c_B} = \frac{0,75}{0,25} \Rightarrow \boxed{\frac{c_A}{c_B} = 3}$$

T.89 Resposta: a

Na primeira experiência, misturam-se volumes iguais (1,0 litro) de uma mesma substância (água). A temperatura de equilíbrio é a média aritmética das temperaturas iniciais ( $\theta_A = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $\theta_B = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Então:

$$\theta = \frac{(\theta_A + \theta_B)}{2} \Rightarrow \theta = \frac{(60 + 20)}{2} \Rightarrow \theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Na segunda experiência, há inicialmente, no recipiente B, 2,0 litros de água a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  que devem ser aquecidos até a temperatura  $\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ , produzindo então uma variação de temperatura  $\Delta\theta = 40 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Entretanto, de início o enunciado informa que 2,0 litros de água contidos no recipiente A são aquecidos de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  até  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) com um aquecedor de potência constante em  $\Delta t = 80 \text{ s}$ . Na segunda experiência, aquece-se a **mesma quantidade** de água com o **mesmo aquecedor**, produzindo uma variação de temperatura **duas vezes menor**. Portanto, o intervalo de tempo para esse aquecimento deve ser duas vezes menor:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{2} = \frac{80}{2} \Rightarrow \boxed{\Delta t' = 40 \text{ s}}$$

T.90 Resposta: d

$$Q_A = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta_1 + m \cdot L_F + m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_A = m \cdot 0,500 \cdot 10 + m \cdot 80,0 + m \cdot 1,000 \cdot 20 \Rightarrow Q_A = 105m$$

$$Q_B = m \cdot c_{\text{água}} \cdot |\Delta\theta_1| + m \cdot |L_s| + m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot |\Delta\theta_2| \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_B = m \cdot 1,000 \cdot 10 + m \cdot 80,0 + m \cdot 0,500 \cdot 20 \Rightarrow Q_B = 100m$$

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{105}{100}$$

$$\frac{Q_A}{Q_B} = 1,05$$

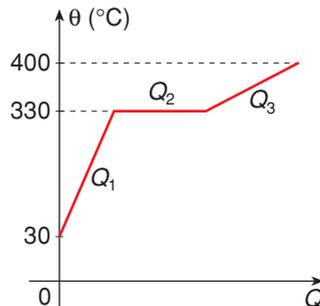
T.91 Resposta: a

Dados:  $m = 200 \text{ g}$ ;  $\theta_i = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\theta_f = 400 \text{ }^\circ\text{C}$

$\theta_F = 330 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $L_F = 5 \text{ cal/g}$

$c_{\text{sólido}} = 0,03 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{líquido}} = 0,04 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$

Graficamente:



- Aquecimento do chumbo sólido ( $\Delta\theta = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ):  
 $Q_1 = m \cdot c_{\text{sólido}} \cdot \Delta\theta = 200 \cdot 0,03 \cdot 300 \Rightarrow Q_1 = 1.800 \text{ cal}$
- Fusão do chumbo à temperatura de  $330 \text{ }^\circ\text{C}$ :  
 $Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 200 \cdot 5 \Rightarrow Q_2 = 1.000 \text{ cal}$
- Aquecimento do chumbo líquido ( $\Delta\theta' = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ )  
 $Q_3 = m \cdot c_{\text{líquido}} \cdot \Delta\theta' \Rightarrow Q_3 = 200 \cdot 0,04 \cdot 70 \Rightarrow Q_3 = 560 \text{ cal}$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow Q = 1.800 + 1.000 + 560 \Rightarrow Q = 3.360 \text{ cal}$$

T.92 Resposta: d

O chumbo, inicialmente, é levado de 25 °C a 660 °C (ou seja,  $\Delta\theta = 635$  °C).

Sendo  $c = 900$  J/kg · K e  $m = 500$  kg, nesse processo, são gastos:

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 500 \cdot 900 \cdot 635 \Rightarrow Q_1 = 285,75 \cdot 10^6 \text{ J}$$

No processo de fusão, sendo  $L_F = 400 \cdot 10^3$  J/kg o calor latente de fusão, o gasto energético é:

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = 500 \cdot 400 \cdot 10^3 \Rightarrow Q_2 = 200 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Portanto, o gasto total é a soma dessas duas parcelas:

$$Q = Q_1 + Q_2 \Rightarrow Q = 285,75 \cdot 10^6 + 200 \cdot 10^6 \Rightarrow Q = 485,75 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Somando as energias realmente consumidas nas cinco etapas, temos o gasto energético real:

$$Q_R = (122 + 120 + 121 + 122 + 120) \cdot 10^6 \text{ J} \Rightarrow Q_R = 605 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Logo, o gasto adicional de energia é:

$$\Delta Q = Q_R - Q \Rightarrow \Delta Q = 605 \cdot 10^6 - 485,75 \cdot 10^6 \Rightarrow \Delta Q = 119,25 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Porcentualmente, essa perda representa:

$$x = \frac{\Delta Q}{Q_R} \Rightarrow x = \frac{119,25 \cdot 10^6}{605 \cdot 10^6} \Rightarrow x = 0,197 \Rightarrow \boxed{x \approx 20\%}$$

T.93 Resposta: d

Dados:  $\theta_0 = -40$  °C (temperatura inicial);  $\theta_f = 120$  °C (temperatura final)

$$L_F = 80 \text{ cal/g}; L_V = 540 \text{ cal/g}$$

$$c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}; c_{\text{gelo}} = c_{\text{vapor}} = 0,50 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$$

- Aquecimento do gelo:  $\Delta\theta = 0$  °C – (–40 °C) = 40 °C

$$Q_1 = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = m \cdot 0,50 \cdot 40 \Rightarrow Q_1 = 20m$$

- Fusão do gelo:

$$Q_2 = mL_F \Rightarrow Q_2 = m \cdot 80 \Rightarrow Q_2 = 80m$$

- Aquecimento da água líquida:  $\Delta\theta = 100$  °C

$$Q_3 = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = m \cdot 1,0 \cdot 100 \Rightarrow Q_3 = 100m$$

- Vaporização da água líquida:

$$Q_4 = mL_V \Rightarrow Q_4 = m \cdot 540 \Rightarrow Q_4 = 540m$$

- Aquecimento do vapor:  $\Delta\theta = 120$  °C – 100 °C = 20 °C

$$Q_5 = m \cdot c_{\text{vapor}} \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_5 = m \cdot 0,50 \cdot 20 \Rightarrow Q_5 = 10m$$

Do gráfico:  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 750$  kcal; logo:

$$20m + 80m + 100m + 540m + 10m = 750.000 \text{ cal} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 750m = 750.000 \Rightarrow \boxed{m = 1.000 \text{ g} = 1,0 \text{ kg}}$$

**T.94 Resposta: a**

Para identificar a substância, usamos o primeiro trecho do gráfico:

$$Q = (232 \cdot 10) \text{ cal} = 2.320 \text{ cal e } \Delta\theta = (40 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Como a massa  $m$  é igual a 200 g, vem:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 2.320 = 200 \cdot c \cdot 20 \Rightarrow c = 0,58 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

Da tabela, concluímos que a substância é o **álcool etílico** e seu calor latente de ebulição é  $L = 160 \text{ cal/g}$ .

Então, a quantidade de calor recebida durante a ebulição é:

$$Q = mL \Rightarrow Q = 200 \cdot 160 \Rightarrow Q = 32.000 \text{ cal}$$

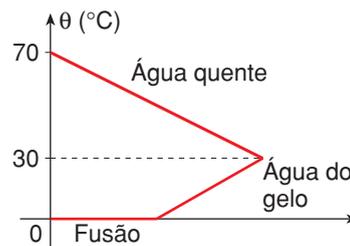
A fonte fornece 232 cal/min. Assim:

$$\left. \begin{array}{l} 232 \text{ cal} \text{ — } 1 \text{ min} \\ 32.000 \text{ cal} \text{ — } \Delta t \end{array} \right\} \Delta t = \frac{32.000}{232} \Rightarrow \Delta t \approx 137 \text{ min}$$

Sendo assim, o intervalo de tempo  $\Delta t$  está **acima de 130 min**.

**T.95 Resposta: d**

Interessa-nos considerar apenas a troca de calor entre a água a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  e o gelo a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , de modo que a temperatura final seja  $\theta_f = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . O óleo não deve ser considerado, pois no início e no final do processo sua temperatura é a mesma ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Tudo se passa como se ele não trocasse calor no processo. Seu calor específico, dado pelo problema, é dispensável. Assim, teremos:



$$Q_1 = m_1 L_f \Rightarrow Q_1 = 40 \cdot 80 \Rightarrow Q_1 = 3.200 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m_1 \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 40 \cdot 1 \cdot 30 \Rightarrow Q_2 = 1.200 \text{ cal}$$

$$Q_3 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_3 = m \cdot 1 \cdot (-40) \Rightarrow Q_3 = -40m$$

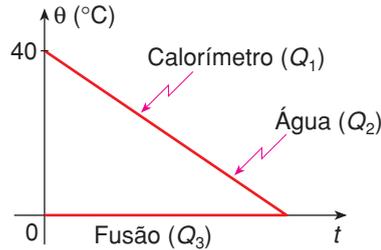
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow Q_1 + Q_2 = -Q_3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3.200 + 1.200 = 40m \Rightarrow 4.400 = 40m \Rightarrow \boxed{m = 110 \text{ g}}$$

T.96 Resposta: e

Vamos supor que o gelo não derreta completamente e a temperatura final seja  $\theta_f = 0^\circ\text{C}$ .

Graficamente:



	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$
(1) Calorímetro		$C = 20 \text{ cal/}^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C}$	$-40^\circ\text{C}$
(2) Água	$300 \text{ g}$	$1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C}$	$-40^\circ\text{C}$
(3) Fusão do gelo	$x = ?$		$L_F = 80 \text{ cal/g}$		

$$Q_1 = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 20 \cdot (-40) \Rightarrow Q_1 = -800 \text{ cal}$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_2 = 300 \cdot 1,0 \cdot (-40) \Rightarrow Q_2 = -12.000 \text{ cal}$$

$$Q_3 = mL_F \Rightarrow Q_3 = x \cdot 80 \Rightarrow Q_3 = 80x$$

Então, temos:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \Rightarrow -800 - 12.000 + 80x = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 80x = 12.800 \Rightarrow \boxed{x = 160 \text{ g}}$$

T.97 Resposta: b

Na figura percebemos que, das duas esferas de massas iguais, a de alumínio tem maior volume. Como a densidade é dada por  $d = \frac{m}{V}$ , concluímos que a densidade

do alumínio é menor que a do cobre:  $\boxed{d_{\text{Cu}} > d_{\text{Al}}}$

A quantidade de calor trocada pelas esferas com o gelo pode ser avaliada pela massa de gelo derretida. A esfera de alumínio troca maior quantidade de calor, pois afunda mais no gelo. Como  $\Delta\theta$  é a mesma, a fórmula  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$  permite

concluir que o alumínio tem calor específico maior que o cobre:  $\boxed{C_{\text{Cu}} < C_{\text{Al}}}$

T.98 Resposta: c

A massa  $m = 100$  g de gelo ( $c = 0,50$  cal/g °C) para se aquecer de  $-20$  °C até  $0$  °C ( $\Delta\theta = 20$  °C) e fundir-se totalmente ( $L_f = 80$  cal/g) precisa de:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta + mL \Rightarrow Q = 100 \cdot 0,50 \cdot 20 + 100 \cdot 80 \Rightarrow Q = 1.000 + 8.000 \Rightarrow Q = 9.000 \text{ cal}$$

A máxima quantidade de calor (em módulo) que o calorímetro ( $C = 70$  cal/°C) e a água ( $m = 100$  g;  $c = 1,0$  cal/g °C) podem fornecer corresponde à variação de temperatura  $\Delta\theta = (0 - 20)$  °C =  $-20$  °C:

$$Q' = C \cdot \Delta\theta + m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q' = 70 \cdot (-20) + 100 \cdot 1,0 \cdot (-20) \Rightarrow Q' = -1.400 - 2.000 \Rightarrow Q' = -3.400 \text{ cal}$$

Dessa quantidade de calor, uma parcela aquece o gelo (1.000 cal) e outra derrete uma parte dele ( $Q_G = 2.400$  cal). A temperatura de equilíbrio é  $0$  °C e a massa de gelo que se derrete pode ser calculada por:

$$Q_G = m_G \cdot L_f \Rightarrow 2.400 = m_G \cdot 80 \Rightarrow m_G = 30 \text{ g}$$

Assim, no equilíbrio térmico temos **70 g de gelo** que não derreteram e **130 g de água** líquida.

T.99 Resposta: b

De acordo com o enunciado, 64 g de água se solidificam e a temperatura de equilíbrio é  $0$  °C. Dispondo os dados em uma tabela, temos:

	$m$	$c$	$\theta_i$	$\theta_f$	$\Delta\theta$	
<b>Gelo</b>	725 g	0,50 cal/g °C	$x = ?$	0 °C	$-x$	$Q_1$
<b>Água</b>	2.500 g	1,0 cal/g °C	5,0 °C	0 °C	$-5$ °C	$Q_2$
<b>Solidificação</b>	64 g	$L_s = -80$ cal/g				$Q_3$

Graficamente:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

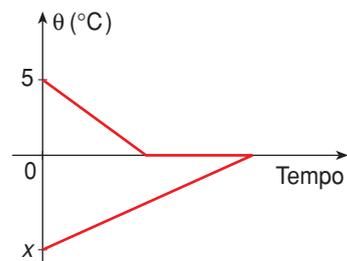
$$m_G \cdot c_G \cdot \Delta\theta_1 + m_A \cdot c_A \cdot \Delta\theta_2 + m \cdot L_s = 0$$

$$725 \cdot 0,50 \cdot (-x) + 2.500 \cdot 1,0 \cdot (-5) + 64 \cdot (-80) = 0$$

$$-362,5x - 12.500 - 5.120 = 0$$

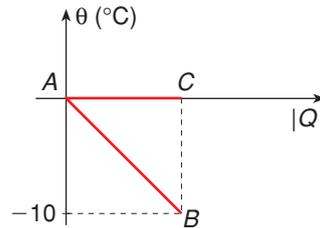
$$362,5x = 17.620$$

$$x = -48,6 \text{ °C}$$



T.100 Resposta: c

Graficamente:



- Sobrefusão (trecho AB):  $m = 100 \text{ g}$ ;  $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta = -10^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} = -10^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q_1 = 100 \cdot 1 \cdot (-10) \Rightarrow Q_1 = -1.000 \text{ cal}$$

- Solidificação (trecho AC):  $m' = ?$ ;  $L_S = -80 \text{ cal/g}$

$$Q_2 = m' L_S \Rightarrow Q_2 = m' \cdot (-80) \Rightarrow Q_2 = -80m'$$

$$Q_2 = Q_1 \Rightarrow -80m' = -1.000 \Rightarrow m' = 12,5 \text{ g}$$

T.101 Resposta: b

A energia cinética inicial do projétil é dada por:

$$E_c = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow E_c = \frac{m \cdot (300)^2}{2} \quad (m \text{ em kg})$$

Dessa energia,  $\frac{2}{3}$  se convertem em calor e são absorvidos pelo projétil:

$$Q = \frac{2}{3} E_c \Rightarrow Q = \frac{2}{3} \cdot \frac{m \cdot (300)^2}{2} \Rightarrow Q = \frac{m \cdot (300)^2}{3} \text{ (J)} \Rightarrow Q = 30.000m \text{ (J)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = 30.000m \cdot \frac{1}{4} \text{ (cal)} \Rightarrow Q = 7.500m \text{ (cal)}$$

Essa energia aquece o projétil ( $\Delta\theta = 300^\circ\text{C}$ ) e derrete uma massa  $m'$  dele.

Assim, temos:

$$Q = m \cdot 10^3 \cdot c \cdot \Delta\theta + m' \cdot 10^3 \cdot L_F$$

Sendo  $c = 0,02 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  e  $L_F = 6 \text{ cal/g}$ , vem:

$$7.500m = m \cdot 10^3 \cdot 0,02 \cdot 300 + m' \cdot 10^3 \cdot 6$$

$$7.500m = 6.000m + 6.000m'$$

$$1.500m = 6.000m'$$

A fração pedida é:

$$x = \frac{m'}{m} \Rightarrow x = \frac{1.500}{6.000} \Rightarrow x = 0,25$$

**T.102** Resposta: Soma = 28 (04 + 08 + 16)

(01) Incorreta.

O estado  $X$  corresponde à região onde a substância está na fase sólida e o estado  $Y$  à região onde a substância está na fase líquida. Portanto, a passagem de  $X$  para  $Y$  é uma fusão.

(02) Incorreta.

O estado  $Z$  pertence à região do vapor. Portanto, a passagem de  $Y$  para  $Z$  corresponde a uma vaporização.

(04) Correta.

O ponto correspondente à pressão de 5 atm e temperatura de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  é figurativo de um estado em que a substância está na fase líquida.

(08) Correta.

A expansão a partir do estado  $X$  (fase sólida) acarreta diminuição de pressão, podendo determinar a passagem para a fase sólida, isto é, uma sublimação.

(16) Correta.

A curva à qual pertence o ponto  $A$  separa os estados sólido e de vapor, sendo, portanto, a curva de sublimação.

**T.103** Resposta: a

I. Correta.

A temperatura de ebulição (ponto do vapor) da água é tanto mais alta quanto mais elevada for a pressão atmosférica. Então, na cidade de Londrina, onde a pressão atmosférica é maior que no pico Paraná, gasta-se mais energia, pois é necessário alcançar uma temperatura maior.

II. Incorreta.

A variação de temperatura entre o ponto do gelo e o ponto do vapor muda conforme a localidade, variando também a quantidade de energia necessária para o referido aquecimento.

III. Incorreta.

De acordo com o gráfico, a temperatura do ponto do gelo é maior em  $C$  (pico Paraná) e menor em  $A$  (Paranaguá), apresentando valor intermediário em  $B$  (Londrina).

**T.104 Resposta: c**

a) Incorreta.

No diagrama I, se a pressão aumenta, a temperatura de fusão diminui.

b) Incorreta.

Acima da temperatura crítica (31 °C) a substância só pode ocorrer no estado gasoso (gás).

c) Correta.

Acima da temperatura crítica (374 °C) a substância é gás — que se diferencia do vapor pelo fato de não poder ser liquefeito por simples compressão.

d) Incorreta.

Dependendo da pressão, acima de 20 °C a substância pode estar no estado sólido.

e) Incorreta.

No diagrama II, se a pressão aumenta, a temperatura de fusão também aumenta.

**T.105 Resposta: e**

I. Incorreta.

Na região A, a água está no estado líquido.

II. Correta.

Os pontos da curva de sublimação correspondem à coexistência das fases sólida e gasosa (vapor).

III. Correta.

A água congelada do produto sublima, isto é, passa diretamente da fase sólida (região B) para a fase gasosa (região C).

IV. Correta.

O ponto o é o ponto triplo, comum às três curvas de mudança de fase.

**T.106 Resposta: a**

Se o sólido flutua no líquido, conclui-se que o sólido é menos denso que o líquido. Trata-se, portanto, de uma substância que diminui de volume na fusão e **umenta de volume ao se solidificar**.

**T.107 Resposta: c**

a) Correta.

Em pressões inferiores à do ponto triplo, a substância não pode estar na fase líquida.

b) Correta.

A curva de sublimação está situada, no diagrama  $p \times \theta$ , sempre abaixo do ponto triplo.

c) Incorreta.

A substância somente pode existir na fase líquida se estiver a uma temperatura inferior à temperatura crítica.

d) Correta.

Em temperaturas maiores que a temperatura crítica, a substância é um gás e, portanto, não pode sofrer condensação. Para que essa mudança de fase ocorra, é preciso reduzir a temperatura da substância a um valor abaixo da temperatura crítica, pois, desse modo, a substância na fase gasosa torna-se um vapor, podendo se condensar.

e) Correta.

Como a Lua não tem atmosfera, a pressão na sua superfície é praticamente nula, possibilitando a sublimação do gelo, isto é, a passagem direta da água solidificada para a fase gasosa (vapor).

**T.108 Resposta: a**

O arame exerce uma elevada pressão sobre o gelo no local onde é posicionado, diminuindo assim a temperatura de fusão do gelo. Nesse local, o gelo derrete e o arame desce. Depois da passagem do arame, a água formada volta a se congelar, de modo a manter o bloco de gelo íntegro.

**T.109 Resposta: b**

O ar expelido contém vapor de água, que se condensa ao entrar em contato com o ar mais frio do ambiente.

**T.110 Resposta: a**

(V) A pressão máxima de vapor aumenta quando a temperatura aumenta.

(V) O ponto triplo corresponde à coexistência das fases sólida, líquida e gasosa (vapor) de uma substância.

(V) De acordo com a curva de vaporização do diagrama de fases, a água pode ferver a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  se a pressão sobre ela for menor que  $1\text{ atm}$ .

**T.111 Resposta: e**

Ao nível do mar, a água ferve a uma temperatura mais elevada. Logo, o cozimento das batatas é mais rápido no Rio de Janeiro.

**T.112 Resposta: d**

I. Correta.

Para que haja influência da pressão atmosférica sobre a temperatura de ebulição da água, é necessário que a superfície livre da água esteja exposta ao ar atmosférico. Assim, o recipiente deve estar aberto.

II. Correta.

Segundo o gráfico, a pressão cai para a metade (de 1.000 mbar para 500 mbar), enquanto a temperatura da água cai de 100 °C para cerca de 88 °C.

III. Incorreta.

Em vista da inclinação variável do gráfico da pressão, essa afirmação não é válida para qualquer altitude.

**T.113 Resposta: b**

O cozimento mais rápido numa panela de pressão deve-se ao fato de a água ferver numa temperatura mais elevada (devido ao aumento de pressão).

**T.114 Resposta: d**

À medida que a altitude aumenta, a pressão diminui, o que acarreta um aumento no ponto de fusão da água ( $\theta_F > 0$  °C) e uma diminuição no ponto de ebulição ( $\theta_E < 100$  °C).

**T.115 Resposta: d**

Para se comportar aproximadamente como gás ideal, um gás real deve estar submetido a **baixas pressões e elevadas temperaturas**.

**T.116 Resposta: d**

A temperatura de  $-75$  °C corresponde, na escala Kelvin, a:

$$T = \theta_c + 273 \Rightarrow T = -75 + 273 \Rightarrow T = 198 \text{ K}$$

Abaixo da temperatura crítica, o vapor pode se liquefazer por compressão isotérmica. Portanto, dos gases citados, apenas o criptônio (Kr) pode sofrer essa mudança.

**T.117 Resposta: a**

Se existe líquido, conclui-se que o botijão está a uma temperatura (temperatura ambiente) menor que a temperatura crítica, ou seja:

$$\theta_{\text{amb.}} < \theta_C \Rightarrow \theta_C > \theta_{\text{amb.}}$$

**T.118 Resposta: c**

Sendo  $T_C = 647$  K, resulta:

$$\theta_C = T_C - 273 \Rightarrow \theta_C = 647 - 273 \Rightarrow \theta_C = 374 \text{ }^\circ\text{C}$$

Portanto, acima de  $374 \text{ }^\circ\text{C}$ , a água está sob a forma de gás. Nessas condições, a alternativa correta é a c.

**T.119 Resposta: d**

É dada a pressão parcial de vapor a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $f = 14,0$  mbar).

No gráfico, obtemos a pressão máxima de vapor (ou pressão de vapor saturado) a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $F = 25,0$  mbar).

Da definição de umidade relativa:

$$H = \frac{f}{F} = \frac{14,0}{25,0} \Rightarrow H = 0,56 \Rightarrow H = 56\%$$

**T.120 Resposta: d**

O ventilador afasta da pele o vapor proveniente da transpiração, aumentando a velocidade de evaporação.

**T.121 Resposta: a**

A evaporação do líquido que permanece sobre o corpo retira calor da pele, produzindo a sensação de frio.

T.122 Resposta: d

I. Correta.

A evaporação da saliva diminui a quantidade de líquido na língua, secando-a.

II. Incorreta.

Considerando que a água e esse outro líquido tenham a mesma pressão parcial

$f$  na atmosfera, temos, pela fórmula de Dalton  $\left( v = K \frac{A \cdot (F - f)}{p_e} \right)$ , que uma

menor pressão (máxima) de vapor  $F$  implica uma menor velocidade de evaporação.

III. Correta.

Considerando a pressão atmosférica normal (1 atm), a água congela a 0 °C.

Então, num ambiente a -10 °C, a água da saliva congelaria.

IV. Correta.

Sendo um líquido muito volátil, a acetona, ao evaporar, absorveria calor, produzindo a sensação de frio.

T.123 Resposta: a

A diminuição da temperatura do líquido deve-se ao fato de escaparem para o ambiente as moléculas com maior energia cinética.

T.124 Resposta: c

Parte da água que passa pelo barro poroso evapora, retirando calor da moringa e da água nela contida.

T.125 Resposta: b

A transformação do gelo (boneco de neve) em água líquida é a **fusão**. A evaporação da água é um processo de **vaporização**. A conversão do vapor de água na água da chuva é a **condensação**.

**T.126 Resposta: c**

Intervalo de tempo:  $\Delta t = 1\text{ h} = 3.600\text{ s}$

Potência de perda de calor:  $Pot = 113\text{ J/s}$

A quantidade de calor perdida nesse intervalo de tempo será:

$$Q = Pot \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 113 \cdot 3.600 \Rightarrow Q = 406.800\text{ J}$$

Mas:  $Q = mL$ . Sendo  $L = 2,26 \cdot 10^3\text{ J}$  o calor latente de vaporização da água, vem:

$$m = \frac{Q}{L} \Rightarrow m = \frac{406,8 \cdot 10^3}{2,26 \cdot 10^3} \Rightarrow m = 180\text{ g}$$

**T.127 Resposta: a**

A sublimação do  $\text{CO}_2$  ocorre porque a pressão a que o  $\text{CO}_2$  está submetido (1 atm) é menor que a pressão do ponto triplo.

**T.128 Resposta: d**

I. Incorreta.

A evaporação é maior nos oceanos do que nos continentes.

II. Correta.

Ao transpirar, os vegetais eliminam água que se evapora.

III. Correta.

Os processos envolvendo a água ocorrem na crosta terrestre (litosfera), no ar atmosférico (atmosfera) e deles participam os seres vivos (biosfera).

IV. Correta.

A movimentação da água, por exemplo nas quedas de água, é devida à energia gravitacional.

V. Correta.

O homem interfere intensamente no ciclo hidrológico, acarretando desequilíbrios com frequência.

**T.129 Resposta: d**

De acordo com o gráfico, em um intervalo  $\Delta t = 24$  h, ocorreu a fusão de uma massa  $m = (20 - 8)$  kg = 12 kg de gelo. Como o calor latente de fusão do gelo é  $L_f = 320$  kJ/kg, a quantidade de calor que atravessou as paredes do recipiente é dada por:

$$Q = mL_f = 12 \cdot 320 \Rightarrow Q = 3.840 \text{ kJ}$$

O fluxo de calor será:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow \Phi = \frac{3.840}{24} \Rightarrow \Phi = 160 \text{ kJ/h}$$

**T.130 Resposta: e**

Como o cobertor é isolante térmico, ele dificulta a troca de calor entre o ambiente e o gelo, retardando a fusão.

**T.131 Resposta: e**

I. Correta.

O metal é um bom condutor térmico, acelerando a transmissão de calor para a carne.

II. Correta.

O ar aprisionado entre as fibras do tecido é isolante térmico e dificulta a perda de calor do corpo humano para o ambiente.

III. Incorreta.

Estando no mesmo ambiente, a barra de metal e a barra de madeira apresentam a mesma temperatura.

**T.132 Resposta: d**

A maior condutividade térmica do metal faz com que ele retire calor mais rapidamente da mão do estudante, dando a ele a impressão de que a mesa metálica está mais fria.

**T.133 Resposta: e**

O ar aprisionado entre as partículas da serragem é isolante térmico, dificultando as trocas de calor.

**T.134 Resposta: d**

De acordo com a fórmula da lei de Fourier:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = K \frac{A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$

Para a primeira barra, temos:  $e_1 = L$ ;  $A_1 = 2L \cdot D$

Para a segunda, os valores correspondentes são:  $e_2 = 2L$ ;  $A_2 = L \cdot D$

Nessas fórmulas,  $D$  é o comprimento de ambas as barras.

Aplicando a fórmula para cada uma das barras, vem:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t_1} = K \frac{A_1 \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e_1} \Rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t_1} = K \frac{2L \cdot D \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{L} \quad \textcircled{1}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t_2} = K \frac{A_2 \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e_2} \Rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t_2} = K \frac{L \cdot D \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{2L} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , membro a membro, obtemos:

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{2D}{D} \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = 4}$$

**T.135 Resposta: c**

Através da parede de 4 cm de espessura há uma perda mensal de 35 kWh, enquanto pela parede de espessura 10 cm a perda se reduz a 15 kWh.

Portanto, comparativamente, o uso da parede de 4 cm de espessura representa um acréscimo de **20 kWh** na perda energética mensal, o que corresponde a **10%** do consumo total de eletricidade (200 kWh).

**T.136 Resposta: b**

Supondo estacionário o regime de condução, a temperatura varia linearmente ao longo da barra. Em consequência, a temperatura no ponto médio da barra corresponde à média aritmética das temperaturas nas extremidades, ou seja:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Portanto, a afirmativa I está incorreta, enquanto II e III estão corretas.

**T.137 Resposta: d**

a) Correta.

O fato de o gelo ser mau condutor de calor justifica sua utilização nas construções feitas nas regiões polares.

b) Correta.

Sendo isolante, a lã evita o ganho de calor durante o dia e a perda durante a noite.

c) Correta.

A lã é isolante térmico e, aprisionando o ar, diminui as correntes de convecção.

d) Incorreta.

O fato de o gelo estar a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  nada tem a ver com sua condição de isolante térmico.

e) Correta.

**T.138 Resposta: a**

As correntes de convecção ascendentes (ar quente em ascensão, na parte interna) é que acionam os exaustores.

**T.139 Resposta: e**

I. A transferência de calor pela movimentação do fluido caracteriza a **convecção**.

II. A propagação de calor através das camadas sólidas da crosta se dá por **condução**.

III. O aquecimento da superfície da Terra pelo Sol se dá por **radiação**.

**T.140 Resposta: d**

I. Correta.

Os espaços entre os alimentos facilitam a circulação das correntes de convecção.

II. Incorreta.

O gelo é isolante térmico e seu acúmulo dificulta as trocas de calor.

III. Correta.

A limpeza do radiador, livrando-o do depósito de substâncias isolantes, facilita as trocas de calor.

**T.141 Resposta: c**

O corpo negro  $N$  absorve maior quantidade de calor que o corpo aluminizado  $A$ , em que o fenômeno predominante é a reflexão. Por isso, ao final de 1 hora, a temperatura de  $N$  é maior que a temperatura de  $A$ .

**T.142 Resposta: c**

Decorre da fórmula da energia radiante emitida pelo corpo ( $E = e \cdot \sigma \cdot T^4$ )

**T.143 Resposta: e**

I. Incorreta.

O reservatório deve ser de material isolante para manter a temperatura da água.

II. Correta.

O vidro dificulta a perda do calor radiante (raios infravermelhos) para o ambiente.

III. Correta.

A superfície escurecida tem maior absorvidade do que uma superfície clara ou metalizada.

**T.144 Resposta: a**

I. Correta.

II. Correta.

III. Incorreta.

O único erro do texto é que as ondas de calor correspondem aos raios infravermelhos, e não aos ultravioletas.

IV. Correta.

**T.145 Resposta: e**

I. Incorreta.

A maçaneta e a madeira estão à mesma temperatura. A sensação de que a maçaneta está mais fria deve-se ao fato de que o metal que a constitui tem maior coeficiente de condutibilidade e, por isso, absorve calor mais rapidamente da mão.

II. Incorreta.

A "sensação de quente" é devida à radiação. Na convecção, o ar quente sobe, afastando-se, portanto, da mão posicionada abaixo da panela.

III. Correta.

IV. Correta.

**T.146** Resposta: Soma = 26 (02 + 08 + 16)

(01) Incorreta.

O efeito estufa é benéfico ao ser humano, visto que contribui para a estabilidade da temperatura terrestre. Apenas sua intensificação é que não é desejável.

(02) Correta.

É exatamente essa propriedade que determina o efeito estufa.

(04) Incorreta.

Além do  $\text{CO}_2$ , existem outros gases que contribuem para o efeito estufa, tais como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o vapor de água.

(08) Correta.

Ver a observação anterior.

(16) Correta.

A queima de combustíveis fósseis libera gases que contribuem para a intensificação do efeito estufa e, portanto, para o aquecimento global.

**T.147** Resposta: c

a) Correta.

O texto explica corretamente a inversão térmica.

b) Correta.

É o princípio das estufas.

c) Incorreta.

O vidro é um isolante térmico, minimizando a condução. A dupla parede de vidro, por sua vez, possibilita estabelecer um vácuo que evita a propagação do calor por condução.

d) Correta.

A absorção (e também a reflexão) da radiação térmica está relacionada com a cor e o grau de polimento do corpo.

e) Correta.

O ar aprisionado entre as penas é isolante térmico.

**T.148** Resposta: a

I. Correta.

II. Correta.

III. Correta.

**T.149 Resposta: c**

Dados:  $p_A = p_0$ ;  $T_A = T_0$ ;  $p_B = 2p_0$ ;  $T_B = 2T_0$

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos, obtemos:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{p_0 V_A}{T_0} = \frac{2p_0 V_B}{2T_0} \Rightarrow V_A = V_B \Rightarrow \boxed{\frac{V_B}{V_A} = 1}$$

**T.150 Resposta: d**

A transformação é isocórica:  $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T}$

Sendo  $p_0 = 30 \text{ lbf/pol}^2$ ;  $p = 32 \text{ lbf/pol}^2$ ;  $T_0 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ , vem:

$$\frac{30}{300} = \frac{32}{T} \Rightarrow T = 320 \text{ K}$$

Em graus Celsius:  $T = 320 - 273 \Rightarrow \boxed{T = 47 \text{ }^\circ\text{C}}$

**T.151 Resposta: e**

Dados:  $\theta_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ;  $V_2 = 1,2V_1$  (20% maior);

$p_2 = p_1$  (transformação isobárica)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{300} = \frac{1,2V_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = 360 \text{ K}$$

$\Delta T = T_2 - T_1 \Rightarrow \Delta T = 360 - 300 \Rightarrow \Delta T = 60 \text{ K} \Rightarrow \boxed{\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}}$

**T.152 Resposta: a**

Sendo **isovolumétrica** a transformação, temos:  $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T}$

Mas:  $T_0 = 25 + 273 \Rightarrow T_0 = 298 \text{ K}$

$T = 100 + 273 \Rightarrow T = 373 \text{ K}$

Substituindo esses valores, obtemos:

$$\frac{p_0}{298} = \frac{p}{373} \Rightarrow p = \frac{373}{298} p_0 \Rightarrow p \approx 1,25 p_0 \Rightarrow \boxed{p \approx \frac{5}{4} p_0}$$

**T.153 Resposta: e**

A transformação é isotérmica; logo:  $p_0V_0 = pV$

Temos:  $V_0 = 15 \text{ l}$ ,  $p_0 = 8 \text{ atm}$ ;  $V = V_0 + \frac{1}{3}V_0 = \frac{4}{3}V_0 = 20 \text{ l}$

Então:  $8 \cdot 15 = p \cdot 20 \Rightarrow p = 6 \text{ atm}$

**T.154 Resposta: b**

Transformação isotérmica:  $p_0V_0 = pV$

Dados:  $V_0 = 5,0 \text{ cm}^3$ ;  $p_0 = 0,90 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ;  $V = 20,0 \text{ cm}^3$

Então:  $0,90 \cdot 10^5 \cdot 5,0 = p \cdot 20,0 \Rightarrow p = 2,25 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

**T.155 Resposta: d**

No estado inicial A:  $p_A = 8 \text{ N/m}^2$ ;  $V_A = 2 \text{ m}^3$

No estado final B:  $p_B = 6 \text{ N/m}^2$ ;  $V_B = 4 \text{ m}^3$

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{8 \cdot 2}{T_A} = \frac{6 \cdot 4}{T_B} \Rightarrow \frac{T_A}{T_B} = \frac{2}{3}$$

**T.156 Resposta: a**

Condições iniciais:

$T_0 = 27 + 273 \Rightarrow T_0 = 300 \text{ K}$ ;  $V_0 = 450 \text{ l}$ ;  $p_0 = p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$

Condições finais:  $T = -13 + 273 \Rightarrow T = 260 \text{ K}$ ;  $p = 39 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos, obtemos:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{10^5 \cdot 450}{300} = \frac{39 \cdot 10^3 \cdot V}{260} \Rightarrow V = 1.000 \text{ l}$$

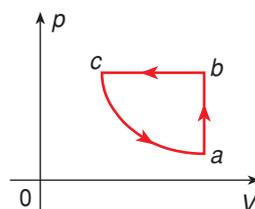
**T.157 Resposta: b**

Transformação *ab*: isocórica ( $V_{\text{constante}}$ ).

Transformação *bc*: isobárica ( $p_{\text{constante}}$ ).

Transformação *ca*: isotérmica ( $T_{\text{constante}}$ ).

Representando no diagrama  $pV$ :



## T.158 Resposta: d

Dados:  $m = 10 \text{ kg}$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;  $S = 0,01 \text{ m}^2$ ;  $p_{\text{atm}} = 10,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

$$\Delta p = \frac{mg}{S} \Rightarrow \Delta p = \frac{10 \cdot 10}{0,01} \Rightarrow \Delta p = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Pressão inicial do gás:

$$p_1 = p_{\text{atm}} + \Delta p = 10,0 \cdot 10^4 + 1,0 \cdot 10^4 \Rightarrow p_1 = 11,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Volume inicial do gás ( $H_1 = 18 \text{ cm}$ ):

$$V_1 = H_1 \cdot S \Rightarrow V_1 = 18 \cdot S$$

Pressão final do gás ( $p'_{\text{atm}} = 8,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ):

$$p_2 = p'_{\text{atm}} + \Delta p = 8,0 \cdot 10^4 + 1,0 \cdot 10^4 \Rightarrow p_2 = 9,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Volume final do gás:  $V_2 = H_2 \cdot S$

Como a transformação é isotérmica, temos:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow 11,0 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot S = 9,0 \cdot 10^4 \cdot H_2 \cdot S \Rightarrow H_2 = 22 \text{ cm}$$

## T.159 Resposta: d

Após o aquecimento, o empuxo permanece constante, pois o peso do sistema não varia. Sendo assim, o nível da água no interior do cilindro continua 2,0 m abaixo do nível externo. Portanto, trata-se de uma transformação **isobárica** (pressão constante). Então, sendo  $S$  a área da seção transversal do cilindro, temos:

$$\text{Volume inicial do ar: } V_0 = (9,0 + 2,0) \cdot S \Rightarrow V_0 = 11S$$

$$\text{Volume final do ar: } V = (H + 2,0) \cdot S$$

$$\text{Temperatura inicial: } T_0 = 300 \text{ K}$$

$$\text{Temperatura final: } T = 360 \text{ K}$$

Aplicando a lei de Charles para a transformação isobárica, obtemos:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \Rightarrow \frac{11S}{300} = \frac{(H + 2,0) \cdot S}{360} \Rightarrow H = 11,2 \text{ m}$$

**T.160 Resposta: d**

Situação inicial:

$$\theta_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}; T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}; p_1 = 1,0 \text{ atm}$$

Situação final:

$$\theta_2 = -3 \text{ }^\circ\text{C}; T_2 = (-3 + 273) \text{ K} = 270 \text{ K}; p_2 = ?$$

O volume do ar no interior do *freezer* não se modifica; portanto, a transformação é **isocórica**:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,0}{300} = \frac{p_2}{270} \Rightarrow p_2 = 0,9 \text{ atm}$$

A dificuldade de abrir o *freezer* é devida ao fato de a pressão externa (1,0 atm) ser maior que a pressão interna (0,9 atm).

**T.161 Resposta: a**

Condições iniciais:  $T_0 = 27 + 273 \Rightarrow T_0 = 300 \text{ K}$

Condições finais:  $T = -18 + 273 \Rightarrow T = 255 \text{ K}$

- Considerando a 1ª versão:  $V = V_0 - 0,1V_0 = 0,9V_0$

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{p_0V_0}{300} = \frac{p \cdot 0,9V_0}{255} \Rightarrow p = \frac{255}{270} p_0$$

Nesse caso, portanto,  $p < p_0$  (compatível).

- Considerando a 2ª versão:  $V = V_0 - 0,5V_0 = 0,5V_0$

$$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{p_0V_0}{300} = \frac{p \cdot 0,5V_0}{255} \Rightarrow p = \frac{255}{150} p_0$$

Nessa versão,  $p > p_0$  (incompatível).

Portanto, das duas versões, somente a primeira pode ser verdadeira.

**T.162 Resposta: d**

Dados:  $m = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ kg} = 64 \text{ g}; M = 32 \text{ g/mol}; V = 10 \text{ l}; \theta = 27 \text{ }^\circ\text{C};$

$$T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}; R = 0,08 \text{ atm} \cdot \text{l/mol} \cdot \text{K}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow p \cdot 10 = \frac{64}{32} \cdot 0,08 \cdot 300 \Rightarrow p = 4,8 \text{ atm}$$

**T.163 Resposta: a**

Dados:  $p_1 = 0,50 \text{ atm}$ ;  $n_1 = 1 \text{ mol}$ ;  $n_2 = 3 \text{ mols}$

Situação inicial:  $p_1V = n_1RT$  ①

Situação final:  $p_2V = n_2RT$  ②

Dividindo ① por ②, obtemos:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{0,50}{p_2} = \frac{1}{3} \Rightarrow p_2 = 1,50 \text{ atm}$$

**T.164 Resposta: b**

Se  $Pot = 1.000 \text{ W}$  a potência e  $\Delta t = 14 \text{ min} = 840 \text{ s}$ , a quantidade de calor recebida vale:  $Q = Pot \cdot \Delta t = 1.000 \cdot 840 \Rightarrow Q = 8,4 \cdot 10^5 \text{ J}$

Como  $c = 4,2 \cdot \text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}$  é o calor específico da água, ao receber essa quantidade de calor, a massa  $m = 20 \text{ kg} = 20 \cdot 10^3 \text{ g}$  (correspondente a 20 litros) sofre a variação de temperatura  $\Delta\theta$ , dada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 8,4 \cdot 10^5 = 20 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ao receber essa mesma quantidade de calor,  $m' = 22 \text{ mg}$  de  $\text{CO}_2$  tem sua temperatura variando de  $\theta_0 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 300 \text{ K}$ ) para  $\theta = \theta_0 + \Delta\theta = 37 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T = 310 \text{ K}$ ).

O volume do gás, que se mantém constante no processo, é  $V = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ l}$ , e a massa molar do  $\text{CO}_2$  é  $M = 44 \text{ g/mol}$ . Sendo  $R = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ atm} \cdot \text{l/mol K}$ , aplicando a equação de Clapeyron, obtemos:

$$pV = nRT \Rightarrow pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow p \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} = \frac{22 \cdot 10^{-3}}{44} \cdot 8,2 \cdot 10^{-2} \cdot 310 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 8,2 \cdot 310 \Rightarrow p \approx 1,27 \text{ atm}$$

**T.165 Resposta: a**

Considerando que a cada 10 metros que se desce na água a pressão aumenta de aproximadamente 1 atm, quando o balão está a 90 metros de profundidade, a pressão do ar ( $n_0 = 20.000 \text{ mols}$ ) é:  $p_0 = 1 \text{ atm} + 9 \text{ atm} = 10 \text{ atm}$

Na profundidade de 10 metros, a pressão do ar ( $n = ?$ ) é:

$$p = 1 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 2 \text{ atm}$$

Aplicando a equação de Clapeyron às duas situações, obtemos:

$$p_0V = n_0RT \Rightarrow 10V = 20.000 RT \quad \text{①} \qquad pV = nRT \Rightarrow 2V = nRT \quad \text{②}$$

Dividindo ① por ② membro a membro, vem:

$$\frac{10}{2} = \frac{20.000}{n} \Rightarrow n = 4.000 \text{ mols}$$

$$\text{Porcentualmente: } \frac{n}{n_0} = \frac{4.000}{20.000} \cdot 100\% \Rightarrow \frac{n}{n_0} = 20\%$$

**T.166 Resposta: b**

Para uma quantidade inicial  $n_0$  de  $\text{CO}_2$ , a pressão é  $p_0 = 200$  atm. Para a quantidade final  $n$ , a pressão cai para  $p = 160$  atm.

Aplicando a equação de Clapeyron às duas situações, obtemos:

$$p_0V = n_0RT \Rightarrow 200V = n_0RT$$

$$pV = nRT \Rightarrow 160V = nRT$$

Dividindo membro a membro, vem:

$$\frac{200}{160} = \frac{n_0}{n} \Rightarrow \frac{n}{n_0} = \frac{160}{200} \Rightarrow \frac{n}{n_0} = 0,8$$

Esse resultado significa que 80% da quantidade inicial de  $\text{CO}_2$  permaneceram no cilindro, tendo escapado 20%.

**T.167 Resposta: c**

Dados:  $p_1 = 10 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>;  $p_2 = 2,5 \cdot 10^6$  N/m<sup>2</sup>;  $m_1 = 10,0$  kg

Situação inicial:  $p_1V = \frac{m_1}{M}RT$  ①

Situação final:  $p_2V = \frac{m_2}{M}RT$  ②

Dividindo ① por ②, obtemos:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_2} \Rightarrow \frac{10 \cdot 10^6}{2,5 \cdot 10^6} = \frac{10}{m_2} \Rightarrow m_2 = 2,5 \text{ kg}$$

A massa  $m$  de gás que sai vale:

$$m = m_1 - m_2 \Rightarrow m = 10 - 2,5 \Rightarrow \text{m = 7,5 kg}$$

**T.168 Resposta: b**

Na situação inicial, a massa de gás é  $m_0$  e a temperatura é  $T_0 = 280$  K. Na situação final, a massa de gás é  $m'$  e a temperatura é  $T = 350$  K. A pressão ( $p_0$ ) e o volume ( $V$ ) não se modificam.

Aplicando a equação de Clapeyron às duas situações, obtemos:

$$p_0V = \frac{m_0}{M}RT_0 \Rightarrow p_0V = \frac{m_0}{M}R \cdot 280$$

$$p_0V = \frac{m'}{M}RT_0 \Rightarrow p_0V = \frac{m'}{M}R \cdot 350$$

Igualando  $p_0V$ , vem:

$$\frac{m_0}{M}R \cdot 280 = \frac{m'}{M}R \cdot 350 \Rightarrow \frac{m'}{m_0} = \frac{280}{350} \Rightarrow \frac{m'}{m_0} = 0,8 \Rightarrow \text{m' = 0,8m}_0$$

**T.169** Resposta: Soma = 08

(01) Incorreta.

A energia cinética das moléculas é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás.

(02) Incorreta.

A temperatura de 32 °F corresponde a 0 °C ou 273 K. A agitação térmica somente cessa no zero absoluto (0 K).

(04) Incorreta.

As temperaturas 100 °C e 100 K são diferentes e, portanto, correspondem a diferentes estados de agitação térmica.

(08) Correta.

Teoricamente, o zero absoluto é a temperatura em que cessa a agitação molecular.

(16) Incorreta.

A energia cinética das moléculas seria nula à temperatura de 0 K, e não a 0 °C.

**T.170** Resposta: e

Sendo  $E_C = \frac{3}{2}nRT$  a energia cinética do gás e  $N$  o número de moléculas, resulta que a energia cinética média por molécula é dada por:

$$e_c = \frac{3nRT}{2N}$$

Mas:  $nRT = pV$ ; portanto:  $e_c = \frac{3pV}{2N}$

**T.171** Resposta: c

Situação I: Verdadeira. Os choques das moléculas dos gases contra as paredes internas determinam a pressão que faz com que o volume aumente.

Situação II: Falsa. Sendo constante o volume, para reduzir a pressão pela metade (de 6 atm para 3 atm), a temperatura também deve se reduzir pela metade (de 300 K para 150 K).

Situação III: Falsa. A lata é amassada pela pressão externa porque a pressão do ar no seu interior diminui quando a temperatura diminuir.

T.172 Resposta: a

Sabe-se que:  $E_c = \frac{3}{2} nRT$

1ª experiência ( $p$  constante):  $V_2 = 2V_1 \Rightarrow T_2 = 2T_1 \Rightarrow E_{c(2)} = 2E_{c(1)}$  ①

2ª experiência ( $V$  constante):  $p_2 = 2p_1 \Rightarrow T_2 = 2T_1 \Rightarrow E_{c(2)} = 2E_{c(1)}$  ②

A energia cinética do gás **duplicou nas duas experiências**.

T.173 Resposta: e

$m_{H_2} = 3,3 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $m_{O_2} = 53 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Sendo  $m_{H_2} < m_{O_2}$ , para as massas molares, temos:  $M_{H_2} < M_{O_2}$

Entretanto, a energia cinética das moléculas não depende da massa molar

$$\left( E_c = \frac{3}{2} nRT \right).$$

Portanto:  $E_{c(H_2)} = E_{c(O_2)}$

A velocidade média das moléculas depende da massa molar, de acordo com a

fórmula:  $v^2 = \frac{3RT}{M}$ . Portanto:  $v_{H_2} > v_{O_2}$

Quanto à influência da temperatura, de acordo com as fórmulas, no zero absoluto

( $T = 0$ ), a energia cinética e a velocidade das moléculas se anulam:  $E_c = 0$

T.174 Resposta: a

De acordo com a fórmula  $v^2 = \frac{3RT}{M}$ , quanto menor for a massa molar, maior será a velocidade das moléculas. Comparando os gases referidos, o hidrogênio ( $H_2$ ) é o que tem a menor massa molar e, portanto, suas moléculas são as que têm maior velocidade.

**T.175 Resposta: a**

Para a energia interna dos gases, temos:

$$U_1 = \frac{3}{2} nRT_1 \quad \textcircled{1} \quad U_2 = \frac{3}{2} nRT_2 \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , temos:  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{T_1}{T_2}$

Sendo  $T_1 = T$  e  $T_2 = 2T$ , vem:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{T}{2T} \Rightarrow \boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{2}}$$

**T.176 Resposta: c**

Como a transformação referida é isocórica ( $\zeta = 0$ ), a variação de energia interna é dada por:  $\Delta U = Q \Rightarrow \Delta U = 1.250 \text{ J}$

Sendo  $U = 12,5T$ , então,  $\Delta U = 12,5 \cdot \Delta T$ . Logo:

$$1.250 = 12,5 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = 100 \text{ K}$$

Como  $T_1 = 300 \text{ K}$ , vem:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \Rightarrow 100 = T_2 - 300 \Rightarrow \boxed{T_2 = 400 \text{ K}}$$

**T.177 Resposta: e**

Como a temperatura aumenta, a energia interna aumenta ( $\Delta U > 0$ ). Tendo em vista a primeira lei da Termodinâmica,  $\Delta U = Q - \zeta$ , devemos ter  $\boxed{Q > \zeta}$ , isto é, o gás recebe uma quantidade de calor maior que o trabalho que realiza.

**T.178 Resposta: a**

$$\Delta Q = 8 \text{ cal} \Rightarrow \Delta Q = 8 \cdot 4 \text{ J} \Rightarrow \Delta Q = 32 \text{ J}$$

O trabalho realizado pelo gás é dado numericamente pela área assinalada no gráfico:  $\zeta = 4,0 \cdot (4,4 - 1,2) \Rightarrow \zeta = 12,8 \text{ J}$

Pela primeira lei da Termodinâmica, vem:

$$\Delta U = \Delta Q - \zeta = 32 - 12,8 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 19,2 \text{ J}}$$

Observação

Considerando o gás perfeito monoatômico, a variação de energia interna pode ser calculada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \cdot \Delta T = \frac{3}{2} p \cdot \Delta V = \frac{3}{2} \zeta = \frac{3}{2} \cdot 12,8 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 19,2 \text{ J}}$$

**T.179 Resposta: a**

O processo é isobárico, sob pressão  $p = 10 \text{ N/m}^2$ .

A variação de volume é:

$$\Delta V = V_B - V_A \Rightarrow \Delta V = 8 - 2 \Rightarrow \Delta V = 6 \text{ m}^3$$

Então, o trabalho realizado pelo gás nessa expansão vale:

$$\zeta = p \cdot \Delta V = 10 \cdot 6 \Rightarrow \boxed{\zeta = 60 \text{ J}}$$

Considerando que o calor recebido nesse processo é  $Q = 150 \text{ J}$ , vem:

$$\Delta U = Q - \zeta = 150 - 60 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 90 \text{ J}}$$

Observação

$$\Delta U = \frac{3}{2} \zeta = \frac{3}{2} \cdot 60 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 90 \text{ J}}$$

**T.180 Resposta: b**

Supondo que a pressão se mantenha constante, a temperatura do gás aumenta (ocorre aumento da energia interna) e o volume aumenta (o gás realiza trabalho na expansão).

**T.181 Resposta: Soma = 15 (01 + 02 + 04 + 08)**

(01) Correta.

$AB$ : volume constante (isovolumétrica);  $BC$ : pressão constante (isobárica);  $CD$ : temperatura constante (isotérmica).

(02) Correta.

$V$  e  $T$  diretamente proporcionais (transformação isobárica).

(04) Correta.

$$\zeta = p \cdot \Delta V \Rightarrow \zeta \stackrel{N}{=} \text{Área}$$

(08) Correta.

Na transformação isotérmica,  $\Delta U = 0$ ; logo,  $Q = \zeta$ , que corresponde numericamente à área destacada no gráfico.

**T.182 Resposta: a**

A transformação  $BC$  é isocórica:  $\bar{c}_{BC} = 0$

O trabalho total realizado pelo gás corresponde ao trabalho realizado na transformação isobárica  $AB$ :  $\bar{c}_{ABC} = \bar{c}_{AB}$

Aplicando a equação de Clapeyron ao estado inicial  $A$ , vem:  $pV_A = nRT_A$

Mas:  $V_A = 0,1 \text{ m}^3$ ;  $n = 1 \text{ mol}$ ;  $R = 2 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$ ;  $T_A = 300 \text{ K}$ ; logo:

$$p \cdot 0,1 = 1 \cdot 2 \cdot 300 \Rightarrow p = 6.000 \text{ cal/m}^3$$

Observe que a unidade em que a pressão é expressa deve-se às unidades da constante  $R$ .

A variação de volume é:

$$\Delta V = V_B - V_A = 0,3 - 0,1 \Rightarrow \Delta V = 0,2 \text{ m}^3$$

O trabalho realizado será dado por:

$$\bar{c}_{AB} = p \cdot \Delta V = 6.000 \cdot 0,2 \Rightarrow \bar{c}_{AB} = 1.200 \text{ cal}$$

Portanto:  $\bar{c}_{ABC} = 1.200 \text{ cal}$

**T.183 Resposta: d**

Considerando a primeira lei da Termodinâmica,  $\Delta U = Q - \bar{c}$ , a temperatura aumenta se  $Q > \bar{c}$ , pois haverá aumento da energia interna ( $\Delta U > 0$ ). Ao contrário, a temperatura diminui se  $Q < \bar{c}$ , isto é, o trabalho realizado pelo gás é maior que o calor recebido, acarretando diminuição da energia interna ( $\Delta U < 0$ ).

**T.184 Resposta: e**

Há uma expansão adiabática. Nesse processo, o volume aumenta e a pressão diminui. Proporcionalmente, porém, **a pressão diminui mais do que o volume aumenta**, pois, além do aumento da área sobre a qual as moléculas incidem, diminui o grau de agitação das moléculas, em virtude da diminuição da temperatura.

**T.185 Resposta: d**

Sendo adiabática a transformação, não há troca de calor ( $Q = 0$ ). Então, de acordo com a primeira lei da Termodinâmica,  $\Delta U = -\bar{c}$ . Comprimindo o gás, o trabalho é realizado sobre ele ( $\bar{c} < 0$ ), o que acarreta um aumento da energia interna ( $\Delta U > 0$ ) e, portanto, um aumento de temperatura.

Assim: I. Correta.

II. Correta.

III. Incorreta.

**T.186 Resposta: a**

Numa compressão adiabática, temos:  $Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -\bar{c}$

O trabalho realizado sobre o ar ( $\bar{c} < 0$ ) corresponde ao aumento de energia interna.

**T.187 Resposta: c**

Em I, o calor recebido é usado para o gás realizar trabalho (expansão) e aumentar a energia interna e, portanto, a temperatura. Em II, não há variação de volume e, portanto, o trabalho é nulo. Sendo assim, a quantidade de calor recebido presta-se **apenas** para aumentar a energia interna e, portanto, a temperatura.

Logo, a temperatura do gás aumenta mais na situação II do que na situação I.

**T.188 Resposta: d**

Como os estados inicial e final são os mesmos nos dois processos, as variações de energia interna são iguais:  $\Delta U_1 = \Delta U_2$

O trabalho realizado no processo 1 é maior que o realizado no processo 2, pois a expansão é realizada sob maior pressão, para uma mesma variação de volume:

$$\bar{c}_1 = p_1 \cdot \Delta V \text{ e } \bar{c}_2 = p_2 \cdot \Delta V; \text{ como } p_1 > p_2, \text{ vem: } \bar{c}_1 > \bar{c}_2$$

Sendo a mesma variação de energia interna, é trocada maior quantidade de calor no processo 1:

$$\Delta U = Q_1 - \bar{c}_1 = Q_2 - \bar{c}_2; \text{ como } \bar{c}_1 > \bar{c}_2, \text{ vem: } Q_1 > Q_2$$

A alternativa incorreta é **d**, pois a energia interna dos gases é a mesma no ponto final.

**T.189 Resposta: d**

I. Correta.

O trabalho é maior na transformação 1 ( $W_1 > W_2$ ), pois é realizado sob pressão mais alta (maior área).

II. Incorreta.

Como os estados inicial *i* e final *f* são os mesmos para os dois processos, a variação de energia interna é a mesma ( $\Delta U_1 = \Delta U_2$ ). Portanto, o calor trocado é maior na transformação em que o trabalho é maior ( $Q_1 > Q_2$ ).

III. Correta.

T.190 Resposta: Soma = 41 (01 + 08 + 32)

(01) Correta.

A transformação  $AB$  é isocórica. A temperatura absoluta do gás aumenta proporcionalmente com a pressão.

(02) Incorreta.

A transformação  $BC$  não é isotérmica, pois seria representada graficamente por uma hipérbole. Além disso,  $p_B V_B \neq p_C V_C$  e, na isotérmica, esse produto se mantém constante.

(04) Incorreta.

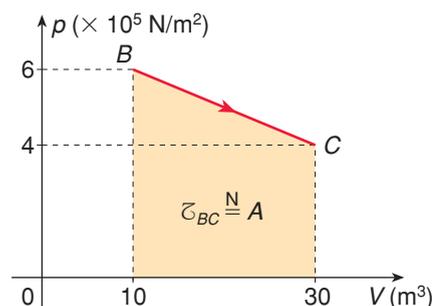
Numa compressão isobárica, o volume diminui e a temperatura absoluta do gás diminui na mesma proporção. Portanto, a energia interna do gás diminui ( $\Delta U < 0$ ).

(08) Correta.

A área interna do ciclo corresponde numericamente ao trabalho realizado pela massa gasosa e à quantidade de calor trocada com o meio externo:

$$\bar{\tau} = Q = \frac{(30 - 10) \cdot (6 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5)}{2} \Rightarrow Q = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$$

(16) Incorreta.



O trabalho  $\bar{\tau}_{BC}$  realizado na expansão  $BC$  é dado numericamente pela área do trapézio (A) assinalado no gráfico ( $\bar{\tau}_{BC} \stackrel{N}{=} A$ ):

$$\bar{\tau}_{BC} = \frac{(6 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5)}{2} \cdot (30 - 10)$$

$$\bar{\tau}_{BC} = 1 \cdot 10^7 \text{ J}$$

(32) Correta.

Como a transformação  $AB$  é isocórica (volume constante), não há realização de trabalho:  $\bar{\tau} = 0$ . Portanto, há equivalência entre a variação de energia

interna e a quantidade de calor trocada pelo gás:  $\Delta U = Q$

T.191 Resposta: e

a) Incorreta.

Na transformação  $AB$  (isocórica), a pressão diminui e a temperatura absoluta diminui na mesma proporção.

b) Incorreta.

O ciclo  $ABCA$  é realizado no sentido anti-horário e, portanto, o trabalho realizado no processo é negativo.

c) Incorreta.

Na etapa  $AB$  o trabalho é nulo:  $\boxed{\bar{\zeta} = 0}$

d) Incorreta.

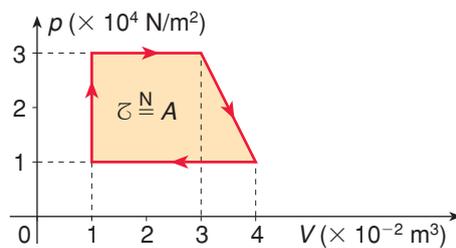
A transformação  $CA$  é isotérmica e, portanto, devemos ter  $pV = \text{constante}$ . Se  $p = 3 \text{ N/m}^2$ , teremos:

$$pV = p_C V_C \Rightarrow 3 \cdot V = 1 \cdot 12 \Rightarrow \boxed{V = 4 \text{ m}^3}$$

e) Correta.

Na transformação  $AB$ , a temperatura diminui e, portanto, a energia interna da amostra diminui.

T.192 Resposta: b



O trabalho é dado numericamente pela área interna ( $A$ ) do ciclo:

$$\bar{\zeta} = \frac{(4 - 1) \cdot 10^{-2} + (3 - 1) \cdot 10^{-2}}{2} \cdot (3 - 1) \cdot 10^4$$

$$\boxed{\bar{\zeta} = 5 \cdot 10^2 \text{ J} = 0,5 \text{ kJ}}$$

Em  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , temos:  $\bar{\zeta}_{\text{total}} = 20\bar{\zeta} = 20 \cdot 0,5 \Rightarrow \bar{\zeta}_{\text{total}} = 10 \text{ kJ}$

$$\text{Como } Pot = \frac{\bar{\zeta}_{\text{total}}}{\Delta t}, \text{ vem: } Pot = \frac{10}{1} \Rightarrow \boxed{Pot = 10 \text{ kW}}$$

**T.193** Resposta: Soma = 22 (02 + 04 + 16)

(01) Incorreta.

Na compressão adiabática, a temperatura do gás aumenta e, portanto, sua energia interna aumenta.

(02) Correta.

Na expansão isotérmica, o gás recebe calor da fonte quente.

(04) Correta.

Na expansão adiabática, o gás realiza trabalho e, portanto, perde energia interna, sofrendo diminuição de temperatura.

(08) Incorreta.

Em qualquer processo isotérmico, a energia interna permanece constante.

(16) Correta.

Ao reiniciar o ciclo, o gás retorna às condições iniciais.

**T.194** Resposta: a

I. Correta.

É rejeitada para a fonte fria a parte do calor recebido que não se converte em trabalho.

II. Incorreta.

No decorrer de um ciclo, a energia interna do vapor de água pode aumentar, diminuir ou manter-se constante em algum trecho (se a transformação for isotérmica). Portanto, *no decorrer* de um ciclo, a energia interna varia, embora seja a mesma no início e no fim do ciclo.

III. Incorreta.

Apenas uma parte do calor recebido da fonte quente se transforma em trabalho.

**T.195** Resposta: c

I. Correta.

Trata-se de uma compressão adiabática.

II. Incorreta.

No processo isobárico  $3 \rightarrow 4$  a temperatura diminui, pois o volume diminui.

III. Correta.

Trata-se de uma expansão adiabática.

IV. Incorreta.

No processo isobárico  $1 \rightarrow 2$  a temperatura aumenta proporcionalmente ao aumento do volume.

**T.196 Resposta: c**

Segundo a afirmação de Carnot, não há aprimoramento técnico que possa fazer uma máquina térmica real ter rendimento maior que a máquina térmica ideal de Carnot.

**T.197 Resposta: a**

Em 1s, o trabalho obtido na máquina é  $\mathcal{C} = 200$  J. A quantidade de calor fornecida pela fonte quente, nesse mesmo intervalo de tempo, é:  $Q_1 = 4 \times 100$  J = 400 J  
Seu rendimento, nessas condições, seria:

$$\eta = \frac{\mathcal{C}}{Q_1} = \frac{200}{400} \Rightarrow \eta = 0,5 = 50\%$$

Entretanto, funcionando entre as temperaturas  $T_1 = 600$  K e  $T_2 = 400$  K, o máximo rendimento que poderia apresentar seria:

$$\eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{400}{600} \Rightarrow \eta = 1 - 0,67 \Rightarrow \boxed{\eta \approx 0,33 = 33\%}$$

Portanto, esse feito contraria a segunda lei da Termodinâmica.

Observe que a primeira lei da Termodinâmica (princípio da conservação da energia) não é violada.

**T.198 Resposta: e**

A primeira lei da Termodinâmica corresponde ao princípio da conservação da energia. Assim, **a primeira lei não é violada** se o gás recebe 300 J de calor da fonte quente, produz 150 J de trabalho e rejeita 150 J de calor para a fonte fria.

Entretanto, essa máquina **viola a segunda lei** da Termodinâmica, pois apresenta um rendimento maior que o máximo possível, previsto pelo princípio de Carnot:

$$\eta = \frac{\mathcal{C}}{Q_1} = \frac{150}{300} \Rightarrow \eta = 0,5 = 50\%$$

$$\eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 1 - 0,75 \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 0,25 = 25\%$$

**T.199 Resposta: a**

Sendo  $Q_1 = 4,0 \cdot 10^5$  J a quantidade de calor fornecida pela fonte quente e  $\mathcal{C} = 5,0 \cdot 10^4$  J =  $0,50 \cdot 10^5$  J o trabalho obtido, o rendimento da máquina do inventor seria:

$$\eta = \frac{\mathcal{C}}{Q_1} = \frac{0,50 \cdot 10^5}{4,0 \cdot 10^5} \Rightarrow \eta = 0,125 = 12,5\%$$

As temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente, valem:

$$T_1 = (227 + 273) \text{ K} = 500 \text{ K}; T_2 = (177 + 273) \text{ K} = 450 \text{ K}$$

Assim, o rendimento máximo vale:

$$\eta_{\text{máx.}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{450}{500} \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 0,10 = 10\%$$

Portanto, a referida máquina tem rendimento maior que o de uma máquina de Carnot, o que não é possível.

**T.200 Resposta: e**

Dado:  $\eta = 0,3$  (ou seja, 30%)

De  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ , vem:

$$0,3 = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 0,7 \Rightarrow T_1 = \frac{T_2}{0,7}$$

$$\text{Para } T'_1 = 2T_1, \text{ temos: } T'_1 = 2 \cdot \frac{T_2}{0,7} \Rightarrow T'_1 = \frac{T_2}{0,35}$$

$$\text{Portanto: } \eta' = 1 - \frac{T_2}{T'_1} \Rightarrow \eta' = 1 - \frac{T_2}{\left(\frac{T_2}{0,35}\right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta' = 1 - 0,35 \Rightarrow \boxed{\eta' = 0,65 = 65\%}$$

**T.201 Resposta: d**

Para ter rendimento igual a 1, a temperatura da fonte fria teria que ser igual ao zero absoluto ( $T_2 = 0$  K), o que não é possível.

**T.202 Resposta: c**

As transformações naturais sempre acarretam um aumento da entropia do Universo.

**T.203 Resposta:** Soma = 25 (01 + 08 + 16)

(01) Correta.

Trata-se de uma compressão adiabática na qual é realizado um trabalho sobre o gás, acarretando aumento na energia interna ( $Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -\bar{c}$ ).

Como  $\bar{c} < 0$ , vem:  $\Delta U > 0$

(02) Incorreta.

O ciclo de Carnot é composto de duas transformações isotérmicas alteradas com duas transformações adiabáticas.

(04) Incorreta.

O rendimento da máquina térmica depende das temperaturas da fonte quente e da fonte fria.

(08) Correta.

Resumidamente, o calor é removido da fonte fria pela vaporização do gás refrigerante e transferido à fonte quente por sua condensação.

(16) Correta.

**T.204 Resposta:** e

Com a quebra da lâmpada, ocorre uma expansão livre do ar (considerado um gás ideal). Nessas condições, podemos considerar que a transformação é adiabática ( $Q = 0$ ) e que não há realização de trabalho ( $\bar{c} = 0$ ), pois não houve resistências contra a expansão do ar. Pela primeira lei da Termodinâmica, a variação da energia interna também é nula ( $\Delta U = 0$ ) e, portanto, a temperatura do gás permanece constante. A pressão do ar diminui, pois há aumento de volume. Como a transformação é irreversível, a entropia do sistema aumenta.

**T.205 Resposta:** a

Com a separação das moléculas mais velozes (de maior temperatura) e das moléculas mais lentas (de menor temperatura), torna-se impossível estabelecer o equilíbrio térmico da mistura.

T.206 Resposta: c

Um ano-luz é a **distância** que a luz percorre no vácuo em um ano.

$$1 \text{ ano-luz} \approx 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

T.207 Resposta: c

Um bilhão de anos-luz é a distância que a luz percorreu em 1 bilhão de anos. Portanto, a radiação recebida na Terra foi emitida pela estrela há 1 bilhão de anos.

T.208 Resposta: a

$$26 \text{ anos-luz} = 26 \cdot 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m} \approx 2,47 \cdot 10^{17} \text{ m}$$

Ordem de grandeza:  $10^{17} \text{ m}$

T.209 Resposta: c

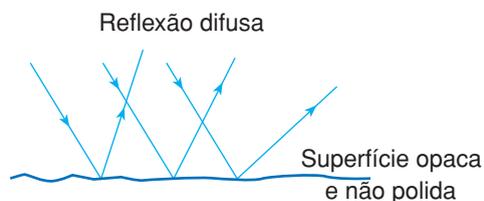
O sobrevivente veria somente as estrelas, pois elas são fontes primárias de luz.

T.210 Resposta: a

Nos meios translúcidos, a luz se propaga seguindo trajetórias irregulares.

T.211 Resposta: b

Sendo a superfície opaca e não polida, os raios refletidos perdem o paralelismo (reflexão difusa).



**T.212 Resposta: b**

Os espelhos não funcionariam, pois a formação de imagens é devida à reflexão regular da luz. A reflexão difusa é responsável pela visualização dos corpos. Por isso, as flores, a vegetação e a Lua não poderiam ser vistas. Os corpos luminosos poderiam ser vistos, pois são fontes primárias de luz.

Portanto, todas as afirmações são corretas.

**T.213 Resposta: e**

I) Correta.

O papel branco reflete difusamente as luzes de todas as cores. Ao ser iluminado por luz vermelha, o papel a reflete difusamente e, portanto, será visto vermelho. Por isso, o papel pode ser branco e estar sendo iluminado por luz vermelha.

II) Correta.

O papel vermelho reflete difusamente a luz vermelha e absorve as demais. Ao ser iluminado com luz vermelha será visto vermelho. Por isso, o papel pode ser vermelho e estar sendo iluminado por luz vermelha.

III) Correta.

O papel vermelho, ao ser iluminado com luz branca, reflete a luz vermelha e absorve as demais; logo, será visto vermelho. Por isso, o papel pode ser vermelho e estar sendo iluminado com luz branca.

**T.214 Resposta: d**

I. Correta.

Sob luz solar, a faixa central e o lema se apresentariam nas cores branca e verde, respectivamente.

II. Correta.

Se fosse iluminada com luz monocromática amarela, a faixa central se apresentaria amarela e o lema, negro.

III. Correta.

Se fosse iluminada com luz monocromática verde, a faixa central e o lema se apresentariam verdes.

**T.215 Resposta: c**

Grupo I: conclusão correta.

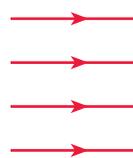
Os feixes de luz podem ser convergentes, divergentes ou paralelos:



Convergente



Divergente



Paralelo

Grupo II: conclusão errada.

Os fenômenos de reflexão, refração e absorção ocorrem **simultaneamente**, com maior ou menor intensidade, dependendo na natureza dos meios e da superfície que os separa.

Grupo III: conclusão correta.

Num corpo pintado de preto fosco predomina a absorção, e num corpo pintado de branco predomina a reflexão difusa.

Grupo IV: conclusão correta.

É o princípio da propagação retilínea da luz.

T.216 Resposta: d

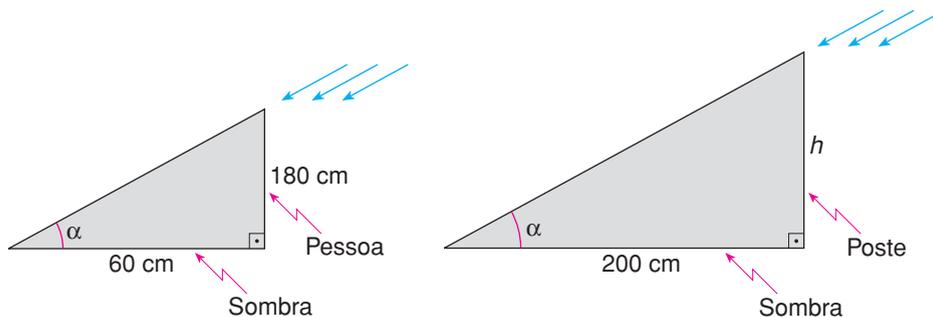
A explicação é dada pelo **princípio da reversibilidade da luz**.

T.217 Resposta: a

A formação de sombras é uma consequência da **propagação retilínea da luz**.

T.218 Resposta: b

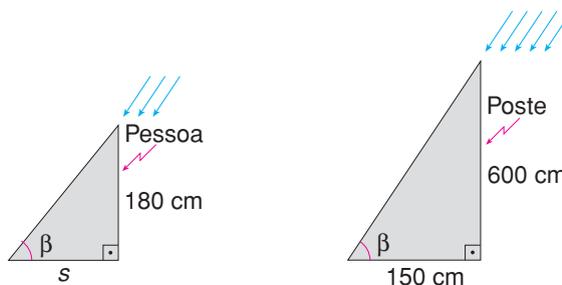
No instante em que a sombra de uma pessoa (que tem 180 cm de altura) mede 60 cm, a sombra de um poste (que tem  $h$  cm de altura) mede 200 cm.



Assim sendo, por semelhança de triângulos, vem:

$$\frac{h}{180} = \frac{200}{60} \Rightarrow h = 600 \text{ cm}$$

Mais tarde, a sombra do poste (que tem 600 cm de altura) passou a medir 150 cm (pois diminuiu 50 cm).



Então, sendo  $s$  cm a medida da nova sombra da mesma pessoa, teremos, por semelhança de triângulos:

$$\frac{s}{150} = \frac{180}{600} \Rightarrow s = 45 \text{ cm}$$

T.219 Resposta: a

Se a fonte fosse pontual, não haveria penumbra, apenas região iluminada e região de sombra.

T.220 Resposta: d

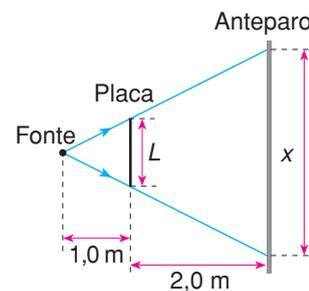
Sendo a placa quadrada, concluímos, pelo princípio da propagação retilínea, que a sombra projetada no anteparo também é quadrada. Por semelhança de triângulos, temos:

$$\frac{L}{x} = \frac{1,0}{1,0 + 2,0}$$

$$\frac{10}{x} = \frac{1,0}{1,0 + 2,0} \Rightarrow x = 30 \text{ cm}$$

A área da sombra projetada será:

$$A = x^2 = 30^2 \text{ cm}^2 \Rightarrow A = 900 \text{ cm}^2$$



T.221 Resposta: e

Na região plenamente iluminada, o observador não vê o eclipse solar. No cone de sombra, o eclipse é total e, na região de penumbra, parcial.

T.222 Resposta: b

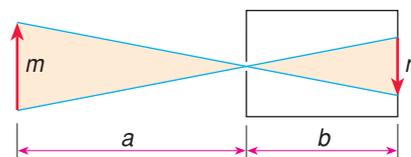
Por semelhança de triângulos, temos:  $\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$

$$1^\circ) \frac{m}{5,0} = \frac{15}{b} \quad \textcircled{1}$$

$$2^\circ) \frac{m}{10} = \frac{a}{b} \quad \textcircled{2}$$

$$\text{Dividindo } \textcircled{1} \text{ por } \textcircled{2}: \frac{10}{5,0} = \frac{15}{a} \Rightarrow a = 7,5 \text{ m}$$

Assim, a pessoa deve aproximar-se 7,5 m da câmara.



**T.223 Resposta: a**

O ponto I pertence à região plenamente iluminada: o observador não vê o eclipse solar.

Os pontos II, III, IV e V pertencem à região de penumbra: o observador vê um eclipse parcial.

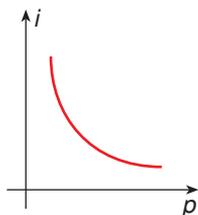
Os pontos II e III estão do mesmo lado do cone de sombra e correspondem à primeira e terceira fotos, pois estas mostram a forma de C. O ponto III, por estar mais perto do cone de sombra, corresponde à primeira foto. Portanto, primeira foto: ponto III; terceira foto: ponto II. A segunda foto foi tirada de um ponto do outro lado do cone de sombra (mostra a forma D) que é simétrico ao ponto II, em relação ao cone de sombra. Logo, a segunda foto foi tirada do ponto V. Portanto, a ordem correta dos pontos é: III, V e II.

**T.224 Resposta: c**

Basta lembrar que a imagem fornecida pela câmara escura de orifício é invertida e troca a esquerda pela direita, e vice-versa.

**T.225 Resposta: a**

De  $\frac{i}{o} = \frac{p'}{p}$ , concluímos que  $i$  e  $p$  são grandezas inversamente proporcionais e, portanto, o gráfico  $i$  versus  $p$  é um ramo de hipérbole equilátera.



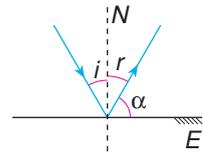
T.226 Resposta: d

Como o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, temos:

$$i = r = 35^\circ$$

Sendo  $N$  a reta normal à superfície do espelho, os ângulos  $r$  e  $\alpha$  são complementares. Logo:

$$\alpha + r = 90^\circ \Rightarrow \alpha + 35^\circ = 90^\circ \Rightarrow \alpha = 55^\circ$$



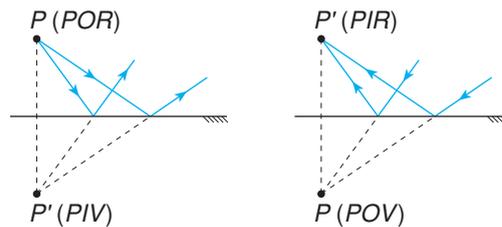
T.227 Resposta: a

Como o raio luminoso incide perpendicularmente sobre a superfície do espelho plano, tanto o ângulo de incidência como o de reflexão são iguais a zero. Portanto, temos:

$$i = r = 0^\circ \Rightarrow i + r = 0^\circ$$

T.228 Resposta: e

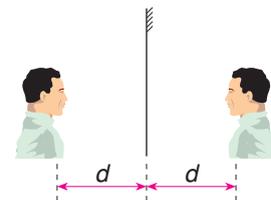
O espelho plano forma **imagens virtuais de objetos reais** e **imagens reais de objetos virtuais**:



T.229 Resposta: a

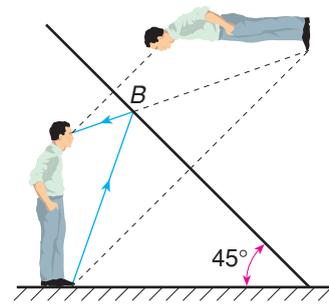
Seja  $d$  a distância do rosto da pessoa ao espelho. A distância da imagem do rosto ao espelho é também  $d$ . Para que a pessoa veja nitidamente a imagem de seu rosto, devemos ter:

$$2d = 25 \text{ cm} \Rightarrow d = 12,5 \text{ cm}$$



T.230 Resposta: b

Traçamos o raio de luz que parte do sapato, sofre reflexão no espelho e chega ao olho da pessoa. Concluímos que, para ver os sapatos, a pessoa deve olhar para a direção  $B$ .



T.231 Resposta: b

Da semelhança entre os triângulos  $ABF$  e  $CDF$ , obtemos:

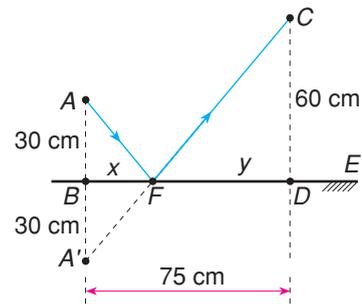
$$\frac{30}{60} = \frac{x}{y} \Rightarrow y = 2x \quad (1)$$

Na figura, temos:

$$x + y = 75 \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), vem:

$$x + 2x = 75 \Rightarrow x = 25 \text{ cm}$$



T.232 Resposta: a

Da semelhança entre os triângulos  $ACI$  e  $BDI$ , obtemos:

$$\frac{2}{3} = \frac{x}{y} \Rightarrow y = \frac{3x}{2} \quad (1)$$

Na figura, temos:

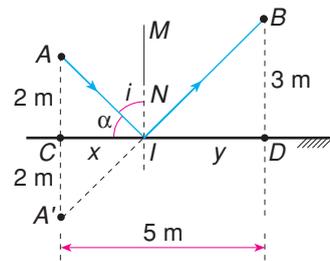
$$x + y = 5 \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), vem:

$$x + \frac{3x}{2} = 5 \Rightarrow x = 2 \text{ m}$$

Portanto,  $\alpha = 45^\circ$ . Da figura, vem:

$$\alpha + i = 90^\circ \Rightarrow 45^\circ + i = 90^\circ \Rightarrow i = 45^\circ$$



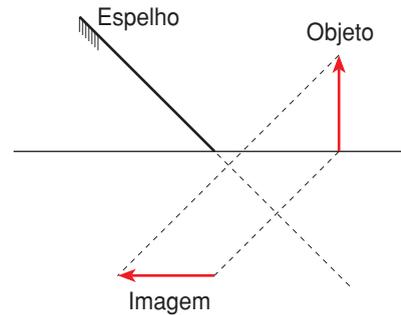
T.233 Resposta: e

Sendo  $x = 2 \text{ m}$  e  $y = 3 \text{ m}$ , vem:  $AI = 2\sqrt{2} \text{ m}$  e  $IB = 3\sqrt{2} \text{ m}$

Logo:  $AI + IB = 5\sqrt{2} \text{ m}$

T.234 Resposta: c

Com base na propriedade de simetria, determinamos as imagens das extremidades da vela:



T.235 Resposta: a

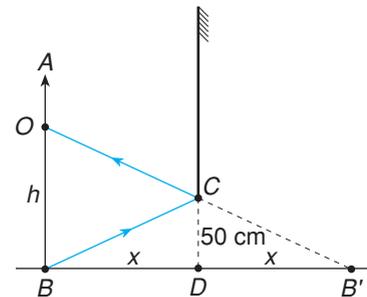
Se a imagem que aparece é **SORRIA**, significa que o objeto está escrito de forma contrária (**AIRRAO**).

T.236 Resposta: b

Sendo  $O$  o olho do observador, o raio  $CO$  (construído a partir de  $B'$ ) é que possibilita a ele ver a imagem de seus pés.

Como os triângulos  $OBB'$  e  $CDB'$  são semelhantes, temos:

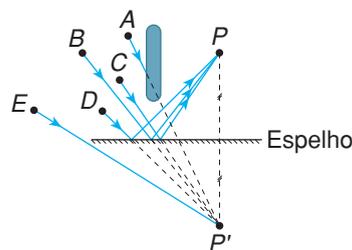
$$\frac{h}{50} = \frac{2x}{x} \Rightarrow h = 100 \text{ cm}$$



T.237 Resposta: d

Na figura, os raios de luz provenientes de  $B$ ,  $C$  e  $D$  incidem no espelho, sofrem reflexão e chegam ao observador  $P$ . Seus prolongamentos passam por  $P'$ . O observador vê as imagens de  $B$ ,  $C$  e  $D$ .

O raio proveniente de  $A$  não tem seu prolongamento passando por  $P'$ , pois o objeto opaco intercepta esse raio. O raio proveniente de  $E$  não reflete passando por  $P$ , pois não atinge o espelho.



T.238 Resposta: a

I) Correta.

O deslocamento da imagem é o dobro do deslocamento do espelho, no mesmo sentido.

II) Correta.

O ângulo de giro do raio refletido é o dobro do ângulo de giro do espelho.

III) Incorreta.

A altura mínima do espelho é  $\frac{h}{2}$ .

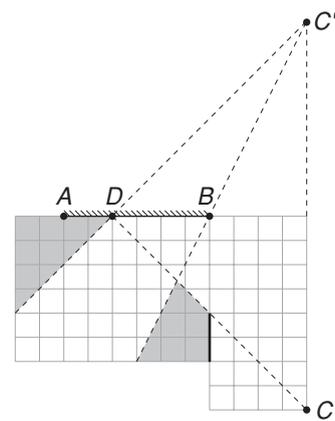
T.239 Resposta: c

Se a pessoa se aproxima do espelho plano, sua imagem também se aproxima, deslocando-se a mesma distância no mesmo intervalo de tempo. Assim, a pessoa e sua imagem têm a mesma velocidade, em módulo, e igual a 2,5 m/s. Como a imagem e a pessoa deslocam-se na mesma direção e em sentidos opostos, a velocidade da pessoa em relação à sua imagem será:

$$v = 2,5 \text{ m/s} + 2,5 \text{ m/s} \Rightarrow v = 5,0 \text{ m/s}$$

T.240 Resposta: b

Para obtenção do campo visual do espelho, em relação à câmera C, marcamos o ponto C', simétrico a C, em relação ao espelho AB. Em seguida, unimos o ponto C' aos pontos B e D, extremos da parte útil do espelho.



T.241 Resposta: e

Função horária da imagem:

$$s = s_0 + v_i \cdot t$$

Sendo  $s_0 = 10 \text{ m}$  e

$v_i = -0,5 \text{ m/s}$ , vem:

$$s = 10 - 0,5 \cdot t \quad (\text{s em metros e } t \text{ em segundos})$$

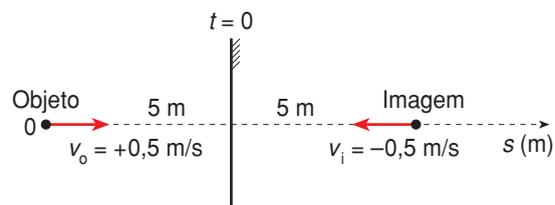
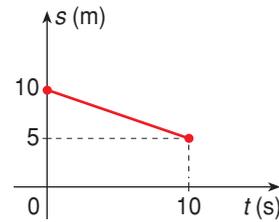


Gráfico  $s \times t$

Para  $t = 0 \Rightarrow s = 10 \text{ m}$

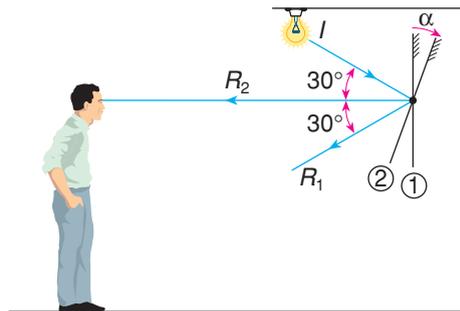
Para  $t = 10 \text{ s} \Rightarrow s = 5 \text{ m}$

(No instante  $t = 10 \text{ s}$ , o objeto, e portanto a imagem, encostam no espelho.)



T.242 Resposta: c

Estando o espelho na posição inicial ①, o raio refletido é  $R_1$ . Para passar de  $R_1$  para  $R_2$ , o raio refletido deve girar  $30^\circ$ . Para isso, devemos girar o espelho de um ângulo  $\alpha$  (representado na figura), sendo:  $\alpha = 15^\circ$



T.243 Resposta: c

Como o número de imagens  $N$  é igual a 11, temos:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \Rightarrow 11 = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \Rightarrow \alpha = 30^\circ$$

T.244 Resposta: e

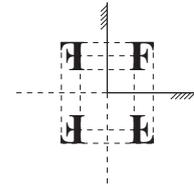
- (V) É o princípio da independência dos raios de luz.
- (V) O ponto  $B$  é definido pela interseção dos prolongamentos dos raios emergentes (refletidos). Trata-se, portanto, de um ponto imagem virtual.
- (V) Os raios 3 e 4 incidem no espelho  $E_2$  provenientes do ponto  $B$ . Então  $B$  é, para  $E_2$ , um ponto objeto. Os correspondentes raios refletidos são 5 e 6, que definem o ponto imagem  $C$ .
- (V) Os raios 5 e 6 pertencem a retas concorrentes e, portanto, definem um plano.

T.245 Resposta: c

A imagem  $L'$  aparece como o objeto por ser imagem da imagem.

T.246 Resposta: c

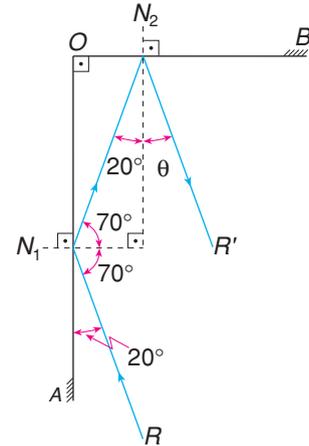
As imagens fornecidas por um espelho plano são simétricas ao objeto, em relação ao espelho. É nesse fato que se baseia o esquema ao lado.



T.247 Resposta: c

O raio emergente  $R'$  forma com a normal ( $N_2$ ) ao espelho  $OB$  o ângulo  $\theta = 20^\circ$ .

Note que  $R$  e  $R'$  são paralelos, quando o ângulo entre os espelhos é  $90^\circ$ .



T.248 Resposta: c

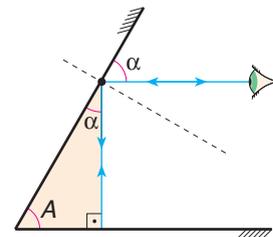
O raio emergente  $R'$  não é paralelo ao raio incidente  $R$ , pois o ângulo entre os espelhos é  $135^\circ$ . O paralelismo só ocorre quando o ângulo entre os espelhos é  $90^\circ$ .

T.249 Resposta: c

Para que os raios retornem pela mesma trajetória, devemos ter a situação esquematizada ao lado.

No triângulo destacado, temos:  $A + \alpha = 90^\circ$

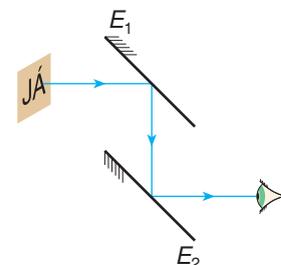
Como  $A = \alpha$ , vem:  $2A = 90^\circ \Rightarrow A = 45^\circ$



T.250 Resposta: d

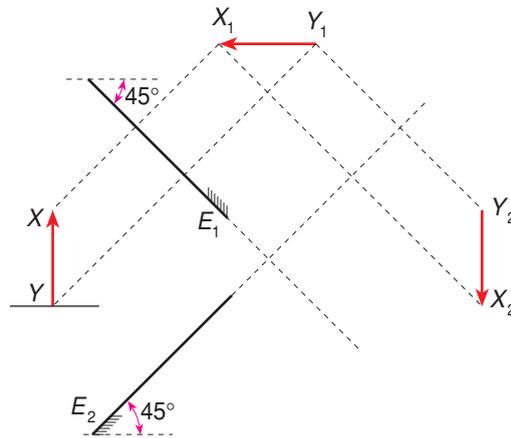
Devido à dupla reflexão, a imagem final fornecida pelo periscópio é idêntica ao objeto.

A imagem fornecida pelo espelho  $E_1$  é  $\hat{A}|$ . Essa imagem funciona como objeto para o espelho  $E_2$ . A imagem final, vista pelo observador, é  $\hat{J}\hat{A}$ .



T.251 Resposta: a

Vamos aplicar a propriedade de simetria, analisando inicialmente o que ocorre na direção vertical:



Observando a imagem final  $X_2Y_2$ , notamos que essa imagem é invertida em relação ao objeto  $XY$ . Além disso, ocorre inversão também na direção horizontal. Assim, temos:



Objeto

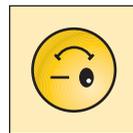
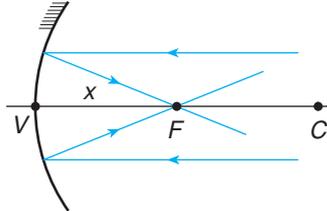


Imagem final

T.252 Resposta: c

O esquema que melhor representa a situação descrita é o da alternativa c: os raios de luz provenientes do Sol incidem no espelho segundo um feixe paralelo. Os raios refletidos concentram-se no foco principal, onde deve se situar a panela.

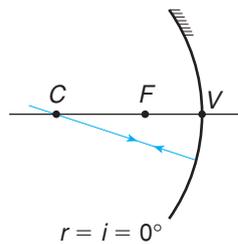


T.253 Resposta: c

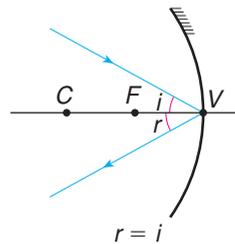
O espelho da figura 1 é **convexo**, pois a imagem é direita e menor. Já o espelho da figura 2 é **côncavo** e funciona como espelho de aumento (imagem direita e maior). Logo, o boneco está **entre o foco e o vértice** do espelho.

T.254 Resposta: c

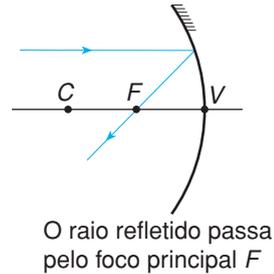
I) Correta.



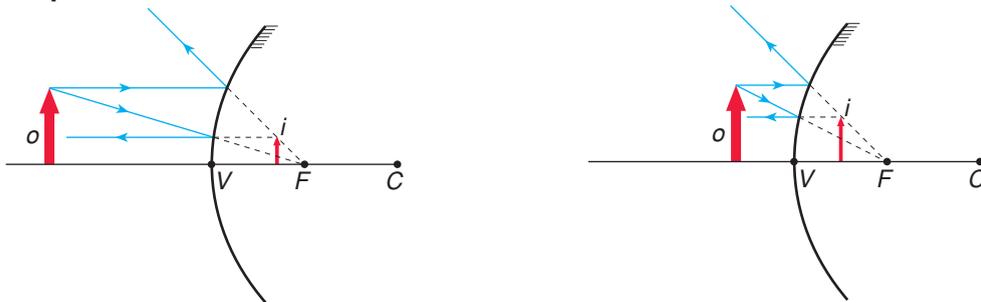
II) Correta.



III) Incorreta.

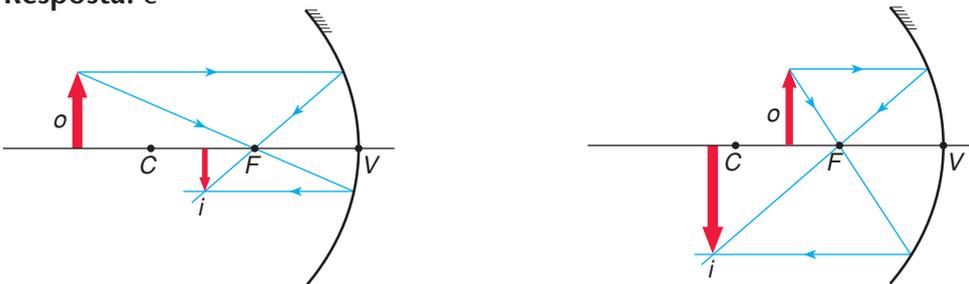


T.255 Resposta: a



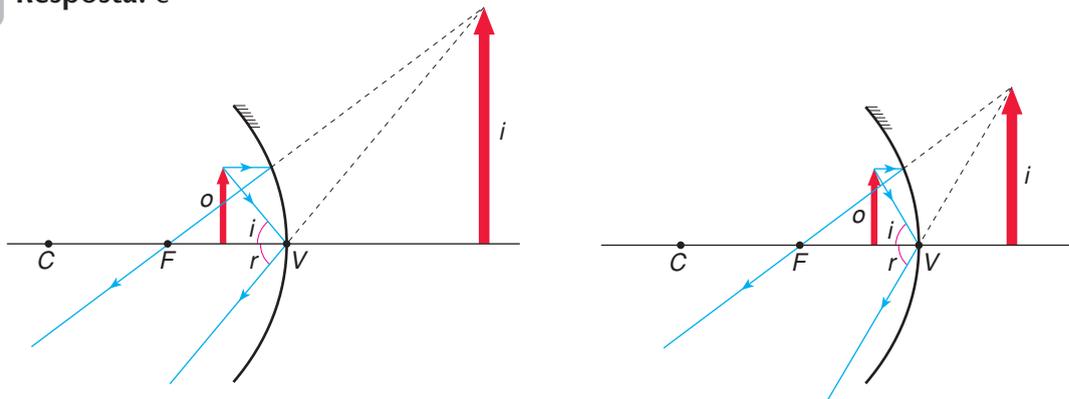
Quando o objeto se aproxima do espelho convexo, a imagem aumenta de tamanho, aproxima-se do espelho e continua direita.

T.256 Resposta: c



A imagem aumenta de tamanho, afasta-se do espelho e é real.

T.257 Resposta: c



A imagem diminui de tamanho, aproxima-se do espelho e é virtual.

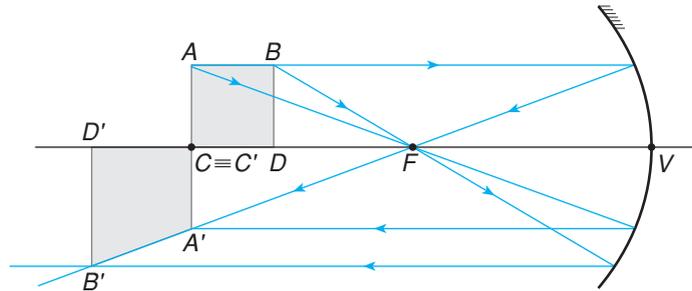
T.258 Resposta: c

A imagem é real, invertida e maior.

T.259 Resposta: b

Se, na face côncava, a imagem aparece invertida, significa que ela é real e situa-se à frente da superfície da concha. Na face convexa, a imagem é virtual e se forma atrás da superfície da concha.

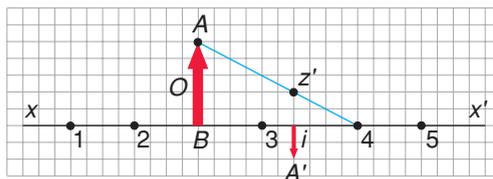
T.260 Resposta: d



T.261 Resposta: d

Nesse caso, o objeto está situado entre o foco e o vértice do espelho côncavo. A imagem é virtual, direita, maior do que o objeto e troca a esquerda pela direita, e vice-versa.

T.262 Resposta: d



O vértice  $V$  é o ponto 4. Ele foi obtido invertendo-se a imagem e unindo-se o extremo do objeto  $A$  com o extremo  $z'$  da imagem  $i$  invertida.

T.263 Resposta: e

Seja  $\mu$  a medida do lado menor de cada pequeno retângulo. Da figura, vem:

$$f = FV = 4\mu \qquad p = PV = 6\mu$$

$$\text{De } \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}, \text{ vem: } \frac{1}{4\mu} = \frac{1}{6\mu} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 12\mu$$

Logo, a imagem situa-se a 12 unidades  $\mu$  do vértice  $V$ . Isso significa que a imagem situa-se no ponto  $E$ .

T.264 Resposta: b

$$\text{De } A = \frac{f}{f-p}, \text{ obtemos: } 2 = \frac{f}{f-50} \Rightarrow f = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Como } R = 2f, \text{ temos: } R = 2 \cdot (100 \text{ cm}) \Rightarrow R = 200 \text{ cm}$$

Sendo  $f > 0$ , concluímos que o espelho é **côncavo**.

T.265 Resposta: a

Na figura dada, temos  $p = 6 \text{ cm}$  e  $p' = 3 \text{ cm}$ . Podemos, assim, calcular a distância focal  $f$  do espelho a partir da equação dos pontos conjugados:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} \Rightarrow f = 2 \text{ cm}$$

Para a nova posição ( $p = 1 \text{ cm}$ ) do objeto, podemos calcular a posição da nova imagem ( $p'$ ):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{1}{1} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = -2 \text{ cm}$$

T.266 Resposta: d

A imagem sendo virtual, concluímos que é direita:  $i = +4,0 \text{ mm} = +0,40 \text{ cm}$

$$\text{De } A = \frac{i}{o} = \frac{f}{f - p}, \text{ obtemos: } \frac{0,40}{2,0} = \frac{f}{f - 20} \Rightarrow f = -5,0 \text{ cm}$$

Sendo  $f < 0$ , resulta que o espelho é **convexo**.

T.267 Resposta: d

Na figura, temos:  $f = VF$ ;  $FC = 25 \text{ cm}$

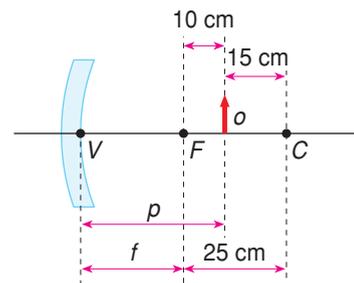
$$p = 25 \text{ cm} + 10 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

De  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , vem:

$$\frac{1}{25} = \frac{1}{35} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 87,5 \text{ cm}$$

A distância entre o objeto e sua imagem conjugada é:

$$d = p' - p \Rightarrow d = 87,5 - 35 \Rightarrow d = 52,5 \text{ cm}$$



T.268 Resposta: e

De  $\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$ , sendo  $p = 2500$  e  $p' \approx f = 1 \text{ m}$ , vem:

$$\frac{i}{o} = -\frac{1}{2500} \Rightarrow i = -\frac{1}{2500} \text{ m} \Rightarrow i = -4 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow |i| = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

T.269 Resposta: e

Sendo  $A = -4$  (imagem invertida e quatro vezes maior do que o objeto), vem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -4 = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = 4p \quad \textcircled{1}$$

$$\text{Mas: } p' - p = 30 \text{ cm} \quad \textcircled{2}$$

Substituindo ① em ②, obtemos:  $4p - p = 30 \Rightarrow p = 10 \text{ cm}$  e  $p' = 40 \text{ cm}$

Da equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{40} \Rightarrow f = 8,0 \text{ cm} \text{ e } R = 2f = 16 \text{ cm}$$

**T.270** Resposta: 97 (soma: 01 + 32 + 64)

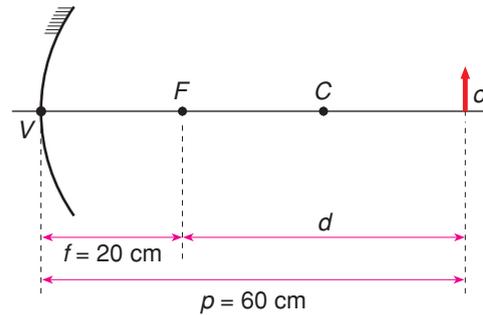
Dados:  $f = \frac{R}{2} = 20 \text{ cm}$ ;  
 $o = 2 \text{ cm}$  e  $p = 60 \text{ cm}$

01) Correta.

$$d = p - f$$

$$d = 60 - 20$$

$$d = 40 \text{ cm}$$



02) Incorreta.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 30 \text{ cm}$$

04) Incorreta.

$p' > 0 \Rightarrow$  imagem real

08) Incorreta.

Estando o objeto além do centro de curvatura, concluímos que a imagem conjugada é menor do que o objeto.

16) Incorreta.

Sendo a imagem real, ela é invertida.

32) Correta.

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{30}{60} \Rightarrow A = -0,5$$

64) Correta.

Nesse caso, o objeto estaria sobre o centro de curvatura. A imagem seria real, invertida e do mesmo tamanho do objeto (2 cm de altura).

**T.271** Resposta: e

Como  $R = 2f$ , vem:  $20 = 2f \Rightarrow f = 10 \text{ cm}$

Substituindo o valor de  $f$  obtido e considerando que  $p' = 20 \text{ cm}$  (imagem a 20 cm do vértice), na equação dos pontos conjugados, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{p} + \frac{1}{20} \Rightarrow p = 20 \text{ cm}$$

Como o objeto foi afastado 5 cm do espelho, concluímos que a distância primitiva do objeto ao espelho é de 15 cm.

T.272 Resposta: d

Determinemos, inicialmente, a posição da imagem conjugada pelo espelho côncavo em relação a esse espelho.

$$\text{Equação de Gauss: } \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Sendo  $f = \frac{R}{2} = \frac{40 \text{ cm}}{2} = 20 \text{ cm}$  e  $p = 30 \text{ cm}$ , vem:

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{3-2}{60} \Rightarrow \boxed{p' = 60 \text{ cm}}$$

Para que a imagem final, formada sobre o objeto A, seja de natureza real, a imagem fornecida pelo espelho côncavo deve se comportar como objeto virtual em relação ao espelho plano.

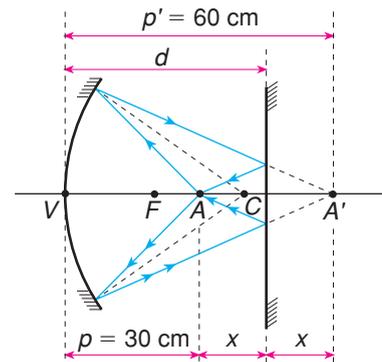
A trajetória dos raios de luz pode ser observada no esquema ao lado.

Lembrando que no espelho plano a imagem é **simétrica** ao objeto em relação à superfície refletora, temos:

$$2x = p' - p \Rightarrow 2x = 60 - 30 \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

A distância  $d$  pedida fica, então, determinada por:

$$d = p + x \Rightarrow d = 30 + 15 \Rightarrow \boxed{d = 45 \text{ cm}}$$



**T.273 Resposta: c**

À noite diminui a parcela de luz refratada proveniente do exterior, predominando a parcela de luz refletida.

**T.274 Resposta: d**

A luz externa que incide no vidro sofre **reflexão** (o que permite à pessoa fora do banco ver sua imagem) e **refração** (o que permite à pessoa no interior do banco ver o que acontece fora).

**T.275 Resposta: b**

Quanto menor for o ângulo de incidência, maior será a intensidade da radiação transmitida ou refratada (curva *T*). Assim, para ver melhor o que está dentro da vitrina, o observador deve olhar na **direção I**.

Quanto maior for o ângulo de incidência, maior será a intensidade da radiação refletida (curva *R*). Assim, para ver melhor o que a vitrina reflete, o observador deve olhar na **direção III**.

**T.276 Resposta: e**

De  $n = \frac{c}{v}$ , concluímos que no meio de menor índice de refração a velocidade de propagação da luz é maior. Sendo  $n_{\text{água}} = 1,33$  e  $n_{\text{álcool}} = 1,36$ , resulta que na água a velocidade de propagação da luz é maior do que no álcool etílico.

**T.277 Resposta: b**

Da definição de índice de refração absoluto, vem:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow \frac{4}{3} = \frac{3,00 \cdot 10^5}{v} \Rightarrow v = 2,25 \cdot 10^5 \text{ km/s}$$

**T.278 Resposta: b**

O índice de refração relativo da água em relação ao vidro é dado por:

$$n_{a,v} = \frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{vidro}}} \Rightarrow \frac{8}{9} = \frac{\frac{4}{3}}{n_{\text{vidro}}} \Rightarrow n_{\text{vidro}} = 1,5$$

A partir da definição de índice de refração absoluto, vem:

$$n_{\text{vidro}} = \frac{c}{v_{\text{vidro}}} \Rightarrow 1,5 = \frac{3 \cdot 10^8}{v_{\text{vidro}}} \Rightarrow v_{\text{vidro}} = 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

T.279 Resposta: b

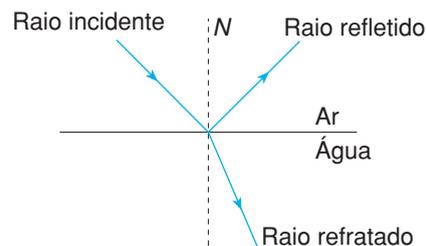
$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow n = \frac{c}{0,80 \cdot c} \Rightarrow n = \frac{1}{0,80} \Rightarrow n = 1,25$$

T.280 Resposta: d

De  $n = \frac{c}{v}$ , concluímos que o meio de menor  $n$  tem maior  $v$ . Assim, como  $n_{\text{diamante}} > n_{\text{vidro}} > n_{\text{ar}}$ , temos:  $v_{\text{diamante}} < v_{\text{vidro}} < v_{\text{ar}}$ . Portanto, sendo  $v_3 < v_2 < v_1$ , podemos afirmar que ①, ② e ③ são, respectivamente, ar, vidro e diamante.

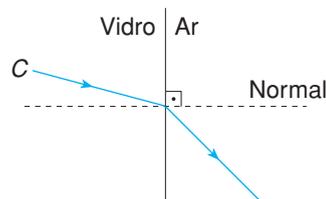
T.281 Resposta: c

Os raios incidente e refratado estão em quadrantes opostos, sendo que o raio refratado está mais próximo da normal, pois a água é mais refringente do que o ar. Os raios incidente e refletido estão no mesmo meio e os ângulos de incidência e de reflexão são iguais:



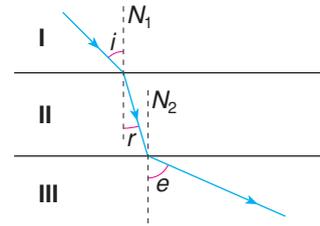
T.282 Resposta: c

O raio incidente se propaga no vidro e, portanto, está mais próximo da normal do que o raio refratado que se propaga no ar.



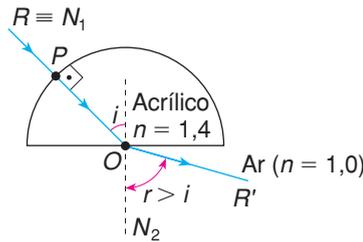
T.283 Resposta: b

Sendo  $r < i < e$ , concluímos que  $n_{II} > n_I > n_{III}$ . Logo, de  $n = \frac{c}{v}$ , resulta:  $v_{II} < v_I < v_{III}$ . Portanto, a velocidade de propagação da luz no líquido I é maior do que no líquido II.



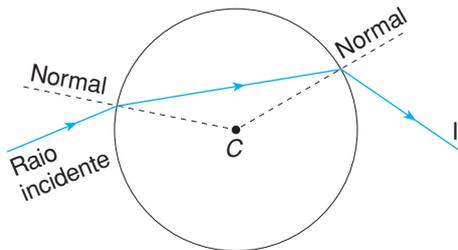
T.284 Resposta: c

O raio incidente  $R$  atravessa a face curva sem desvio, pois coincide com a normal  $N_1$ . Ao emergir do acrílico para o ar o raio ( $R'$ ) se afasta da normal  $N_2$ .



T.285 Resposta: Soma = 6 (02 + 04)

- (01) Errada. O raio de luz se aproxima da normal.
- (02) Correta. O eixo secundário passa pelo centro de curvatura.
- (04) Correta:



- (08) Errada. O lápis é visto "dobrado para cima".

T.286 Resposta: b

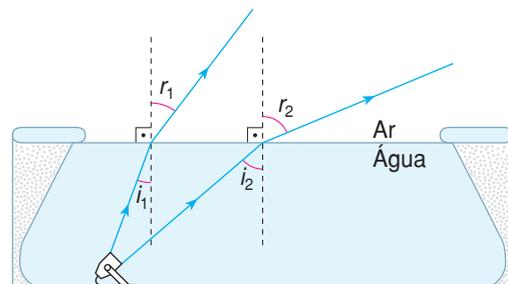
Pela lei de Snell-Descartes:

$$\begin{cases} n_{\text{água}} \cdot \sin i_1 = n_{\text{ar}} \cdot \sin r_1 \\ n_{\text{água}} \cdot \sin i_2 = n_{\text{ar}} \cdot \sin r_2 \end{cases}$$

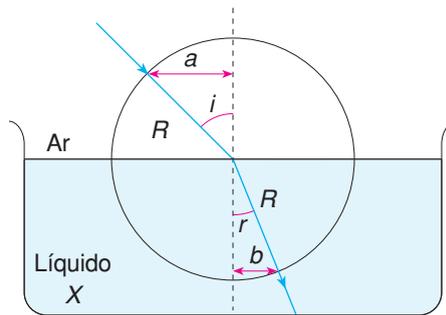
Sendo  $i_2 > i_1$ , vem:

sen  $i_2 >$  sen  $i_1$ ; logo:

$$\text{sen } r_2 > \text{sen } r_1 \Rightarrow r_2 > r_1$$



T.287 Resposta: b



Sendo  $R$  o raio do disco, nos triângulos retângulos da figura temos:

$$\text{sen } i = \frac{a}{R} \quad \text{e} \quad \text{sen } r = \frac{b}{R}$$

Aplicando a lei de Snell-Descartes, obtemos:

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } i = n_x \cdot \text{sen } r$$

Como  $n_{\text{ar}} = 1$ , vem:

$$1 \cdot \frac{a}{R} = n_x \cdot \frac{b}{R} \Rightarrow n_x = \frac{a}{b} \Rightarrow n_x = \frac{30}{20} \Rightarrow \boxed{n_x = 1,5}$$

T.288 Resposta: e

Aplicando a lei de Snell-Descartes, vem:  $n_A \cdot \text{sen } \alpha = n_B \cdot \text{sen } \beta$

Dessa igualdade, obtemos:

$$n_A \cdot \text{sen } 30^\circ = n_B \cdot \text{sen } 45^\circ \quad \textcircled{1}$$

$$n_A \cdot \text{sen } 45^\circ = n_B \cdot \text{sen } \beta \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{1}$  por  $\textcircled{2}$ , temos:

$$\frac{\text{sen } 30^\circ}{\text{sen } 45^\circ} = \frac{\text{sen } 45^\circ}{\text{sen } \beta} \Rightarrow \frac{\frac{1}{2}}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\text{sen } \beta} \Rightarrow \text{sen } \beta = 1 \Rightarrow \boxed{\beta = 90^\circ}$$

T.289 Resposta: d

Pela lei de Snell-Descartes:

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } \theta = n_{\text{água}} \cdot \text{sen } \alpha \quad \textcircled{1}$$

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } \theta = n_{\text{óleo}} \cdot \text{sen } \beta \quad \textcircled{2}$$

$$n_{\text{óleo}} \cdot \text{sen } \theta = n_{\text{água}} \cdot \text{sen } 90^\circ \quad \textcircled{3}$$

De  $\textcircled{1}$  e  $\textcircled{2}$ :

$$n_{\text{água}} \cdot \text{sen } \alpha = n_{\text{óleo}} \cdot \text{sen } \beta \Rightarrow \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha} = \frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{óleo}}}$$

De ③:  $\frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{óleo}}} = \text{sen } \theta$

Logo:  $\frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha} = \text{sen } \theta$

$$\text{sen } \beta = \text{sen } \alpha \cdot \text{sen } \theta$$

**T.290 Resposta: c**

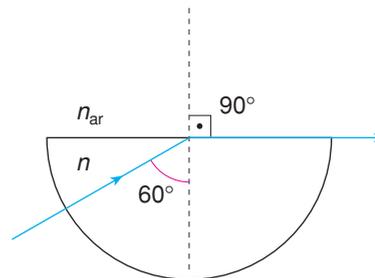
Da lei de Snell-Descartes, vem:

$$n \cdot \text{sen } 60^\circ = n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } 90^\circ$$

$$\frac{c}{v} \cdot 0,86 = \frac{c}{v_{\text{ar}}} \cdot 1,0$$

$$\frac{0,86}{v} = \frac{1,0}{3,0 \cdot 10^8}$$

$$v \approx 2,6 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$



**T.291 Resposta: b**

Pelo cálculo do ângulo limite, vem:

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow L = 45^\circ$$

Para  $i > 45^\circ$ : **reflexão total**

Para  $i \leq 45^\circ$ : **refração**

**T.292 Resposta: d**

Na figura, temos:  $PB = 0,5 \text{ m}$ ;  $AB = 1,0 \text{ m}$

Como o triângulo  $ABP$  é retângulo, pode-se aplicar o teorema de Pitágoras:

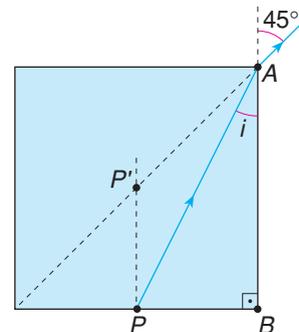
$$(AP)^2 = (PB)^2 + (AB)^2 = 0,25 + 1 = 1,25 \Rightarrow AP = \sqrt{1,25}$$

$$\text{Então: } \text{sen } i = \frac{PB}{AP} \Rightarrow \text{sen } i = \frac{0,5}{\sqrt{1,25}}$$

Aplicando a lei de Snell-Descartes:

$$n_{\text{líqu.}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } 45^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_{\text{líqu.}} \cdot \frac{0,5}{\sqrt{1,25}} = 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow n_{\text{líqu.}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{1,25} \Rightarrow n_{\text{líqu.}} = \sqrt{2,5}$$



T.293 Resposta: c

Sendo  $n_{\text{diamante}} > n_{\text{vidro}}$ , concluímos que o ângulo limite do par de meios ar-diamante é menor do que o ângulo limite do par ar-vidro ( $L_{\text{diamante}} \approx 23^\circ$  e  $L_{\text{vidro}} \approx 42^\circ$ ). Assim, mais raios de luz que penetram em peças de diamante sofrem reflexão total. Em seguida, emergem dessas peças, brilhando mais do que peças idênticas de vidro.

T.294 Resposta: a

$$\text{sen } L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}} = \frac{1}{\frac{5}{4}}$$

$$\text{sen } L = \frac{4}{5} \Rightarrow \text{sen } L = 0,8$$

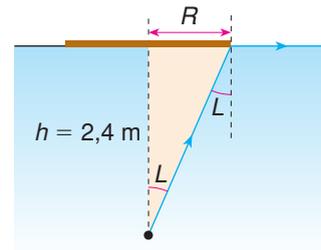
$$\cos^2 L = 1 - \text{sen}^2 L$$

$$\cos^2 L = 1 - 0,64 = 0,36$$

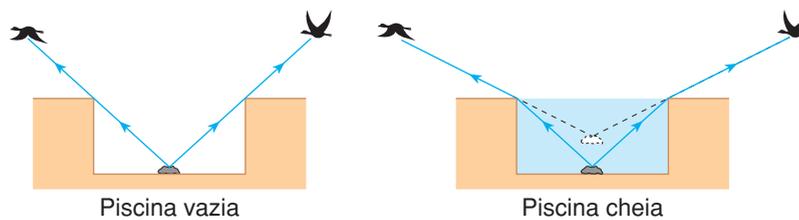
$$\cos L = 0,6$$

No triângulo destacado na figura, temos:

$$\text{tg } L = \frac{R}{h} \Rightarrow \frac{\text{sen } L}{\cos L} = \frac{R}{h} \Rightarrow \frac{0,8}{0,6} = \frac{R}{2,4} \Rightarrow R = 3,20 \text{ m}$$



T.295 Resposta: a



Com a piscina cheia, devido à refração da luz, o pássaro poderá ver a pedra num intervalo de tempo maior do que se a piscina estivesse vazia.

T.296 Resposta: c

O raio atinge a face interna do objeto por um ângulo de  $45^\circ$  com a normal.

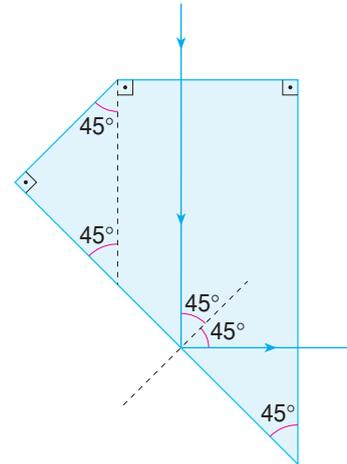
$$\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,70$$

$$\sin L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

$$\sin L = \frac{1,0}{2,4} \approx 0,42$$

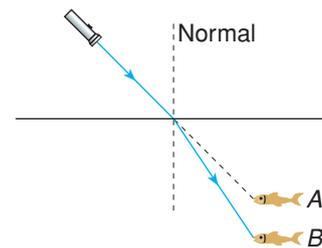
Portanto:  $\sin 45^\circ > \sin L$

$45^\circ > L \Rightarrow$  reflexão total



T.297 Resposta: e

$B$  é a posição real do peixe e  $A$  é sua posição aparente (imagem vista por Marcos). Marcos deve apontar o *laser* para a posição  $A$ . Ao atingir a água, o *laser* sofre refração, aproxima-se da normal e atinge  $B$ .



T.298 Resposta: c

Temos:  $n = 1,33 \approx \frac{4}{3}$ ;  $n' = n_{\text{ar}} = 1,0$ ;  $x = 10$  m;  $x' = h$

$$\text{De } \frac{x}{x'} = \frac{n}{n'}, \text{ vem: } \frac{10}{h} = \frac{\frac{4}{3}}{1,0} \Rightarrow \boxed{h = 7,5 \text{ m}}$$

T.299 Resposta: a

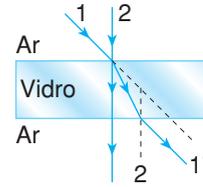
Dados:  $n = \frac{4}{3}$ ;  $n' = 1$ ;  $x = 12$  cm

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{12}{x'} = \frac{\frac{4}{3}}{1} \Rightarrow \boxed{x' = 9 \text{ cm}}$$

O banhista verá 12 azulejos de 9 cm de lado vertical.

T.300 Resposta: c

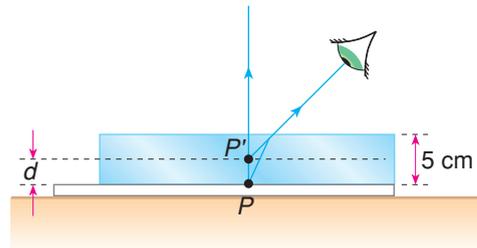
O raio 2 atravessa a lâmina sem desvio. O raio 1 aproxima-se da normal, ao penetrar no vidro, e depois emerge para o ar, afastando-se da normal de modo que 1' é paralelo a 1.



T.301 Resposta: a

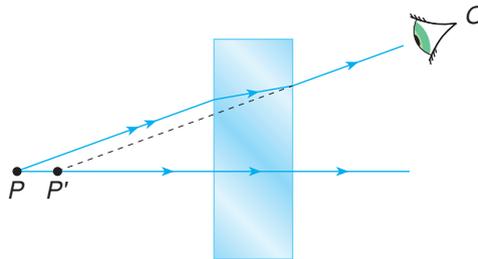
Colocando a placa de vidro sobre a folha de papel, um observador verá a imagem do desenho numa posição acima da posição real. A elevação aparente  $d$  será inferior a 5 cm.

Como o objeto a ser fotografado se aproximou da câmara, devemos afastá-la de uma distância  $d$  menor do que 5 cm.

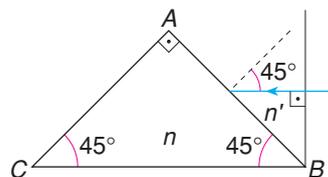


T.302 Resposta: a

O ponto  $P$  é um ponto objeto real. O ponto imagem  $P'$  é virtual e está mais próximo da lâmina.



T.303 Resposta: d



I. Incorreta.

O raio incide na face  $AB$  do prisma com ângulo de incidência  $i = 45^\circ$ . O ângulo limite de incidência  $L$  para o dióptro líquido-vidro é dado por:

$$\text{sen } L = \frac{n}{n'} \Rightarrow \text{sen } L = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

Como  $\text{sen } i = \frac{\sqrt{2}}{2}$ , temos:  $\text{sen } i < \text{sen } L$

Portanto:  $i < L$  e não haverá reflexão total.

II. Incorreta.

Aplicando a lei de Snell-Descartes para a refração na face AB, vem:

$$n' \cdot \text{sen } 45^\circ = n \cdot \text{sen } r \Rightarrow \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \text{sen } r \Rightarrow \text{sen } r = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow r = 60^\circ$$

III. Correta.

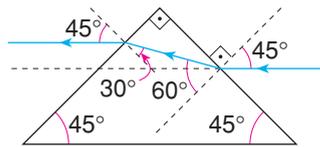
Usando a lei de Snell-Descartes para a refração na face AC, vem:

$$n \cdot \text{sen } r' = n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } i'$$

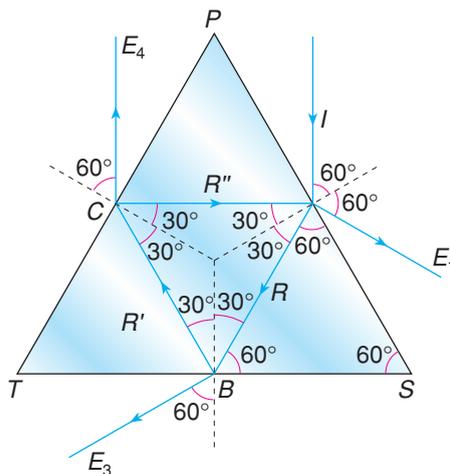
$$\text{Mas: } r' = A - r \Rightarrow r' = 90^\circ - 60^\circ \Rightarrow r' = 30^\circ$$

$$\text{Portanto: } \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \text{sen } i' \Rightarrow \text{sen } i' = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow i' = 45^\circ$$

IV. Correta:



T.304 Resposta: d

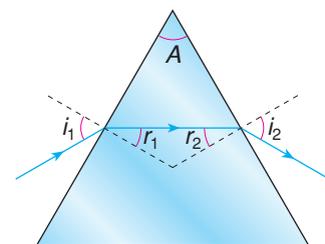


O raio  $R$  incide no ponto  $B$  da face  $TS$  com ângulo de  $30^\circ$ . Sofre refração (raio  $E_3$ ) e reflexão (raio  $R'$ ).  $R'$  incide no ponto  $C$  da face  $TP$ , sofre refração (raio  $E_4$ ) e reflexão (raio  $R''$ ). Este, por sua vez, origina  $E_1$  e  $R$ . Assim, os raios compatíveis com as reflexões e refrações sofridas pelo raio incidente  $I$  são:  $E_1$ ,  $E_3$  e  $E_4$ .

T.305 Resposta: a

Havendo desvio mínimo, temos:  $r_1 = r_2 = r$

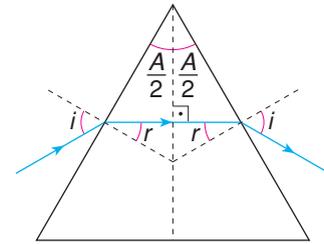
Portanto,  $A = 2r$  ou  $r = \frac{A}{2}$ , ou seja: o ângulo de refração, no interior do prisma, é a metade do ângulo de refração.



Desvio mínimo:  
 $r_1 = r_2 = r$  e  $i_1 = i_2 = i$

**T.306 Resposta: a**

Quando o raio no interior do prisma tem a direção da perpendicular ao plano bissetor do ângulo  $A$ , temos  $r_1 = r_2 = r$ , o que corresponde ao desvio mínimo.



**T.307 Resposta: a**

Dados:  $\delta = 30^\circ$  e  $A = 90^\circ$

Em condições de desvio mínimo, temos:

$$A = 2r \Rightarrow 90^\circ = 2r \Rightarrow r = 45^\circ$$

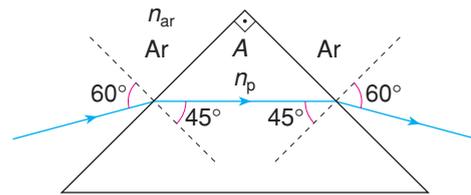
$$\delta = 2i - A \Rightarrow 30^\circ = 2i - 90^\circ \Rightarrow i = 60^\circ$$

Pela lei de Snell-Descartes, obtemos:

$$n_{ar} \cdot \sin 60^\circ = n_p \cdot \sin 45^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_{ar} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_p \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{n_p}{n_{ar}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{\frac{n_p}{n_{ar}} = \frac{\sqrt{6}}{2}}$$



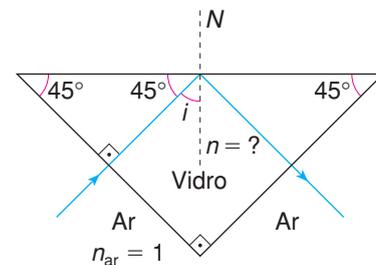
**T.308 Resposta: c**

O ângulo de incidência  $i$  na face hipotenusa é  $45^\circ$ .

Para haver reflexão total, devemos impor:

$$i > L \Rightarrow 45^\circ > L \Rightarrow \sin 45^\circ > \sin L \Rightarrow$$

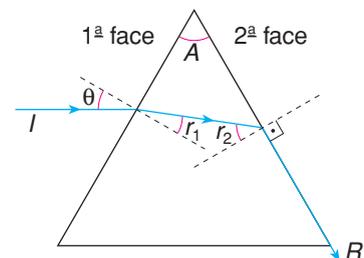
$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{1}{n} \Rightarrow n > \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{n > 1,41}$$



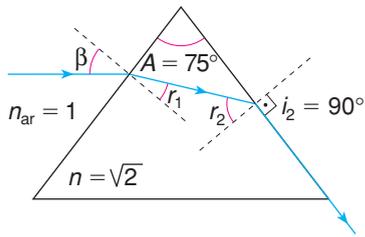
**T.309 Resposta: a**

Como o raio  $R$  emerge rasante, concluímos que  $r_2 = L$  (ângulo limite).

Diminuindo-se o ângulo  $\theta$ , o ângulo  $r_1$  também diminui. Mas, sendo  $A = r_1 + r_2$ , o ângulo de incidência  $r_2$  aumenta, tornando-se maior do que  $L$ . Assim, na 2ª face do prisma, ocorre reflexão total.



T.310 Resposta: d



O ângulo mínimo de incidência  $i = \beta$  corresponde à emergência rasante. Então, na segunda face:

$$n \cdot \sin r_2 = n_{ar} \cdot \sin i_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} \cdot \sin r_2 = 1 \cdot 1 \Rightarrow \sin r_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r_2 = 45^\circ$$

Como  $A = r_1 + r_2$ , vem:  $75^\circ = r_1 + 45^\circ \Rightarrow r_1 = 30^\circ$

Na primeira face:

$$n_{ar} \cdot \sin \beta = n \cdot \sin r_1 \Rightarrow 1 \cdot \sin \beta = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \boxed{\beta = 45^\circ}$$

Portanto, para  $i = \beta = 45^\circ$ , temos emergência rasante.

Assim, se  $i < 45^\circ$ , ocorrerá reflexão total. Então, para haver emergência, impõe-se

que:  $\boxed{i \geq 45^\circ}$

T.311 Resposta: Somente (1) é correta.

1. Correta.

Para cada cor que compõe a luz branca, o vidro oferece um índice de refração.

2. Incorreta.

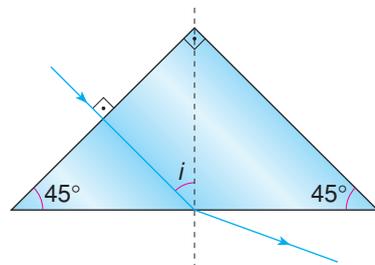
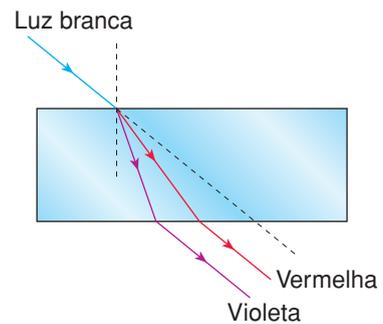
Ao emergirem do bloco de vidro, os feixes de luz vermelha e violeta são paralelos um ao outro e ao feixe de luz branca incidente. O feixe de luz violeta sofre maior desvio lateral.

3. Incorreta.

Sendo um feixe de luz monocromático, não ocorre dispersão.

4. Incorreta.

O ângulo de incidência  $i$  é de  $45^\circ$ . Sendo o ângulo limite  $L$  igual a  $48^\circ$ , resulta  $i < L$ . Logo, não haverá reflexão total.



T.312 Resposta: b

Aplicando a lei de Snell-Descartes ao raio de luz vermelha, vem:

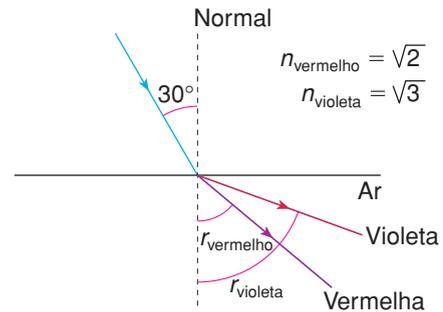
$$n_{\text{vermelho}} \cdot \sin 30^\circ = n_{\text{ar}} \cdot \sin r_{\text{vermelho}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \sin r_{\text{vermelho}} \Rightarrow r_{\text{vermelho}} = 45^\circ$$

Aplicando a lei de Snell-Descartes ao raio de luz violeta, vem:

$$n_{\text{violeta}} \cdot \sin 30^\circ = n_{\text{ar}} \cdot \sin r_{\text{violeta}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \sin r_{\text{violeta}} \Rightarrow r_{\text{violeta}} = 60^\circ$$

O ângulo entre os raios refratados vale:

$$r_{\text{violeta}} - r_{\text{vermelho}} = 60^\circ - 45^\circ = 15^\circ$$



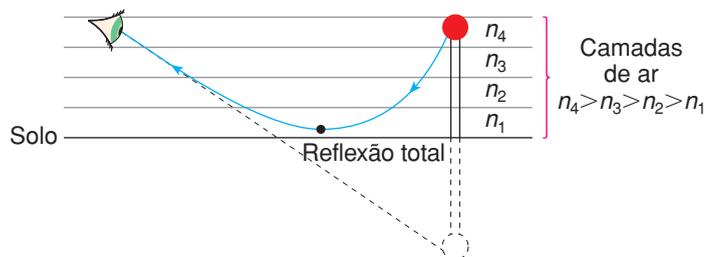
T.313 Resposta: a

A posição aparente dos astros é devida à variação do índice de refração do ar com a altitude.

T.314 Resposta: Soma = 55 (01 + 02 + 04 + 16 + 32)

(01) Correta.

Quando a temperatura do ar aumenta, sua densidade diminui e, conseqüentemente, seu índice de refração também diminui. Em dias quentes, o ar, em contato com o solo, está mais aquecido e, por isso, menos denso, isto é, menos refringente, que as camadas superiores. Os raios de luz que partem de um objeto, ao descenderem, passam de meios mais refringentes para meios menos refringentes, afastam-se da normal até ocorrer reflexão total em uma das camadas. A partir daí, os raios sobem, aproximam-se da normal, curvando-se para cima, até atingirem os olhos do observador.



(02) Correta.

Observe na figura:  $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$

(04) Correta.

As diversas camadas da atmosfera são dioptros planos.

(08) Incorreta.

Os raios luminosos provenientes de camadas mais elevadas afastam-se da normal até ocorrer reflexão total.

(16) Correta.

Sendo  $n_1 < n_2 < n_3 < n_4$ , resulta, de  $n = \frac{c}{v}$ ,  $v_1 > v_2 > v_3 > v_4$ : a velocidade da luz diminui progressivamente quando ela se propaga para as camadas mais elevadas.

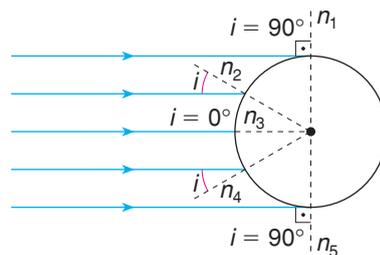
(32) Correta.

O observador vê a imagem especular do objeto, determinada pela luz refletida. Ele tem a impressão de que há água produzindo a reflexão.

T.315 Resposta: corretas: (1) e (2); incorretas: (3) e (4)

(1) Correta.

A figura abaixo mostra que o ângulo de incidência  $i$  varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ :



(2) Correta.

A dispersão ocorre porque o índice de refração da água varia de acordo com a cor da luz.

(3) Incorreta.

A refração ocorre para luz de qualquer cor.

(4) Incorreta.

A lei de Snell pode ser aplicada quer seja plana ou curva a superfície que separa dois meios.

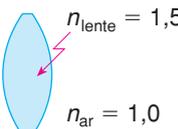
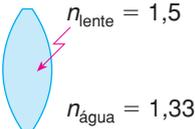
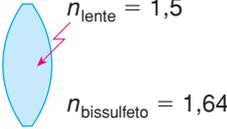
**T.316 Resposta: b**

As lentes devem ser **convergentes**. Sendo de vidro e imersas no ar, temos:

$$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$$

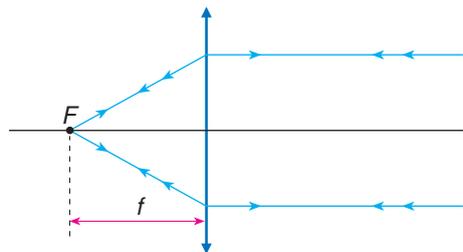
Assim, o estudante deverá usar **lentes de bordas delgadas: I** (biconvexa) ou **III** (plano-convexa).

**T.317 Resposta: c**

- Experiência A:   $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ : convergente
- Experiência B:   $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ : convergente
- Experiência C:   $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$ : divergente

**T.318 Resposta: a**

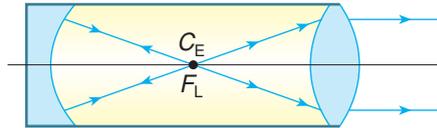
Se o objeto, suposto pontual, estiver no foco principal da lente, a imagem se forma no mesmo ponto, qualquer que seja a distância do espelho à lente, conforme a figura seguinte:



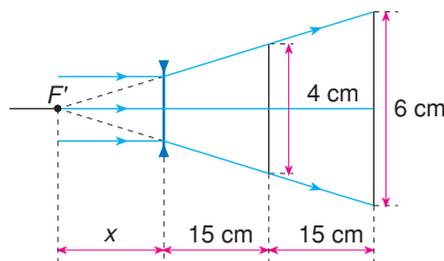
Portanto:  $f = 15 \text{ cm}$

T.319 Resposta: b

O filamento deve estar no centro de curvatura  $C_E$  do espelho esférico e no foco  $F_L$  da lente para que os raios emergentes sejam todos paralelos, conforme o esquema:



T.320 Resposta: b



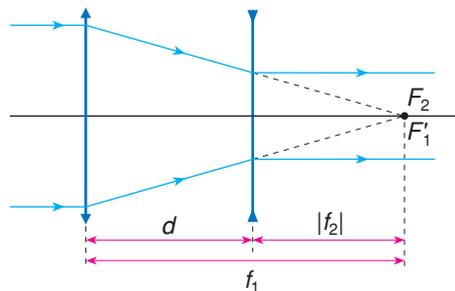
Da figura, por semelhança de triângulos, vem:

$$\frac{6}{(15 + 15 + x)} = \frac{4}{(15 + x)} \Rightarrow \frac{6}{(30 + x)} = \frac{4}{(15 + x)} \Rightarrow \frac{3}{(30 + x)} = \frac{2}{(15 + x)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 45 + 3x = 60 + 2x \Rightarrow 3x - 2x = 60 - 45 \Rightarrow x = 15 \text{ cm} \Rightarrow |f| = 15 \text{ cm}$$

T.321 Resposta: c

Como  $d < f_1$ , a única situação possível é a seguinte:

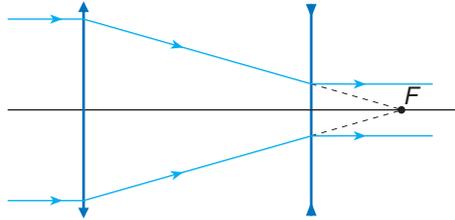


Portanto, a segunda lente deve ser divergente, com seu foco-objeto ( $F_2$ ) coincidindo com o foco-imagem ( $F'_1$ ) da primeira lente.

Da figura, obtemos:  $|f_2| = f_1 - d = 30,0 - 10,0 \Rightarrow |f_2| = 20,0 \text{ cm}$

T.322 Resposta: e

Os focos das lentes convergente (foco-imagem) e divergente (foco-objeto) devem coincidir, como mostra o esquema.



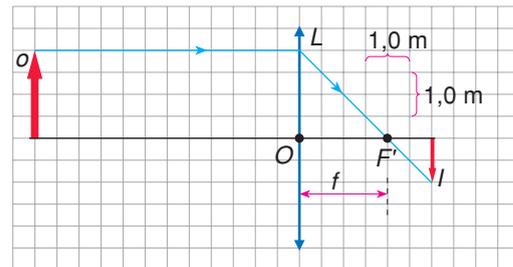
Como  $f_{\text{conv.}} = 20 \text{ cm}$  e  $f_{\text{div.}} = -5 \text{ cm}$ , a lente divergente deve ser colocada em E, isto é, a 5 cm do foco da lente convergente, antes do cruzamento dos raios.

T.323 Resposta: d

Podemos determinar a distância focal  $f$  diretamente na figura:

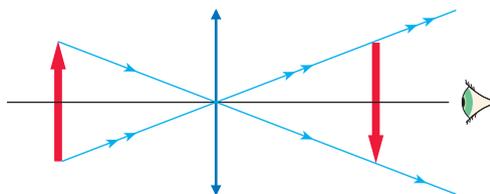
$$f = F'O = 2 \cdot 1,0$$

$$f = 2,0 \text{ m}$$

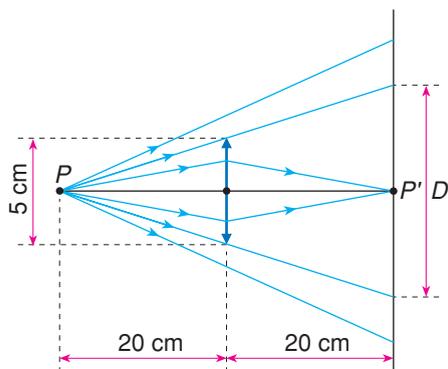


T.324 Resposta: c

O observador deve se colocar na posição C para receber os raios de luz que definem a imagem.



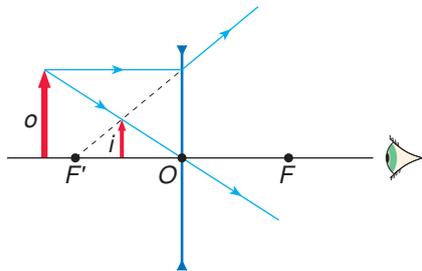
T.325 Resposta: b



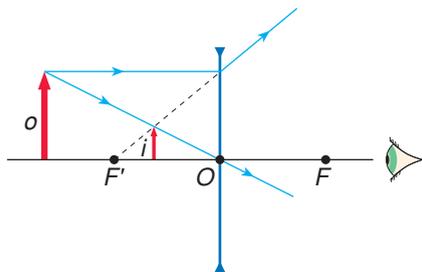
No anteparo, forma-se um ponto central brilhante  $P'$ , imagem da fonte  $P$  que está situada no ponto antiprincipal da lente ( $f = 10 \text{ cm}$ ;  $p = 2f = 20 \text{ cm}$ ). Em torno de  $P'$  há um círculo de diâmetro  $D$  não iluminado. Por semelhança de triângulos, obtemos:

$$\frac{D}{5} = \frac{(20 + 20)}{20} \Rightarrow D = 10 \text{ cm}$$

T.326 Resposta: a

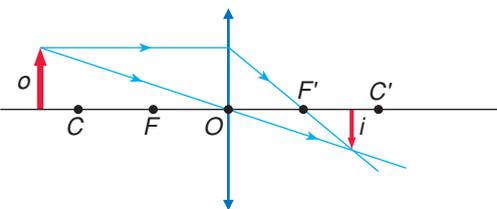
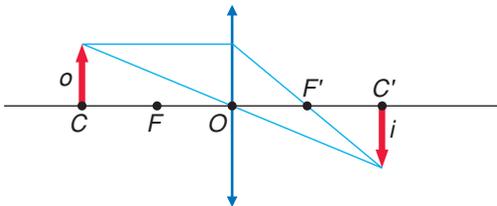
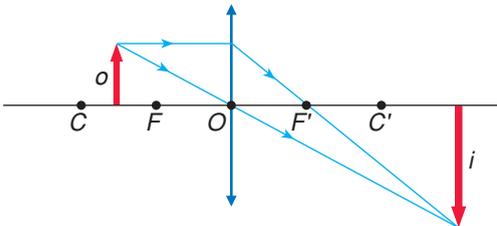


A lente é divergente, pois a imagem é direita e menor.



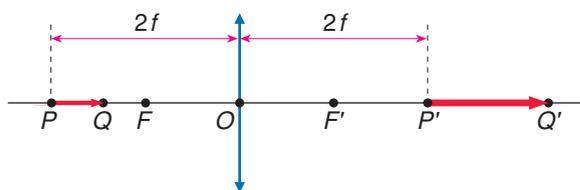
Aproximado-se a lente dos olhos, a imagem continua direita e passa a ser menor, conforme se observa nos esquemas.

T.327 Resposta: d



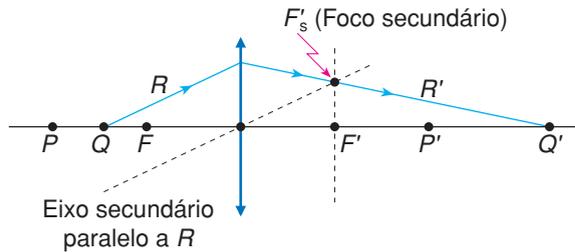
À medida que o objeto  $o$  se afasta da lente, a partir do foco principal objeto  $F$ , a imagem se aproxima do outro foco principal da lente ( $F'$ ).

T.328 Resposta: c



A imagem do ponto  $P$  (antiprincipal objeto) é o ponto  $P'$  (antiprincipal imagem). A imagem de  $Q$  (entre  $P$  e  $F$ ) é um ponto  $Q'$  (além de  $P'$ ).

Na figura abaixo mostramos um modo de se obter o ponto Q':



T.329 Resposta: c

Fórmula dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Sendo  $R_1$  e  $R_2$  constantes, temos  $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = k$  (constante). Assim:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{lente}} - n_{\text{meio}}}{n_{\text{meio}}} \right) \cdot k \Rightarrow f = \left( \frac{n_{\text{meio}}}{n_{\text{lente}} - n_{\text{meio}}} \right) \cdot \frac{1}{k}$$

I. Incorreta.

Se  $n_{\text{lente}} = n_{\text{meio}}$ , a distância focal tende ao infinito. O sistema é afocal.

II. Correta.

Se  $n_{\text{meio}} > n_{\text{ar}}$ , ou seja,  $n_{\text{meio}}$  aumenta, a diferença  $n_{\text{lente}} - n_{\text{meio}}$  diminui e, portanto,  $f$  aumenta.

III. Correta.

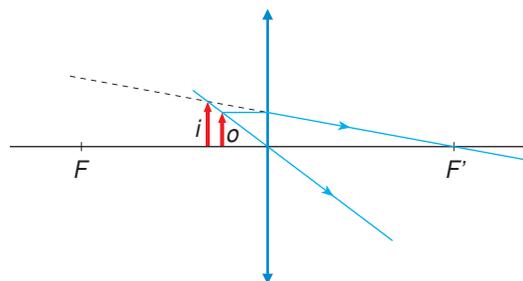
Quanto maior a diferença  $n_{\text{lente}} - n_{\text{meio}}$ , menor será a distância focal  $f$  da lente.

T.330 Resposta: b

Fórmula dos fabricantes de lentes:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{f} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{50} + \frac{1}{75} \right) \Rightarrow f = 60 \text{ cm}$$

Estando o objeto a 10 cm da lente, concluímos que ele está posicionado entre o foco  $F$  e o centro óptico  $O$ . Logo, a imagem é virtual, direita e maior do que o objeto:



Podemos confirmar o resultado analiticamente:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{60} = \frac{1}{10} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = -12 \text{ cm (imagem virtual)}$$

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{-12}{10} \Rightarrow A = 1,2 \text{ (imagem maior e direita)}$$

**T.331 Resposta: a**

I. Correta.

A lente é **convergente**, pois a imagem é real.

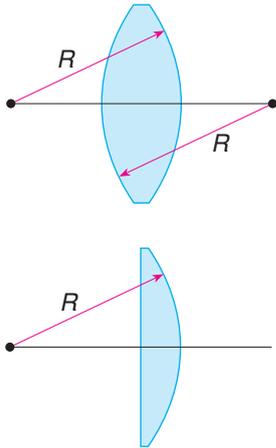
II. Incorreta.

$$A = \frac{i}{o} = \frac{f}{f-p} \Rightarrow \frac{-\frac{o}{2}}{o} = \frac{f}{f-12} \Rightarrow -\frac{1}{2} = \frac{f}{f-12} \Rightarrow \boxed{f = 4 \text{ cm}}$$

III. Incorreta.

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -\frac{1}{2} = -\frac{p'}{12} \Rightarrow \boxed{p' = 6 \text{ cm}}$$

**T.332 Resposta: e**



Lente biconvexa:

$$\frac{1}{f_0} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) \Rightarrow \frac{1}{f_0} = (n-1) \cdot \frac{2}{R} \quad \textcircled{1}$$

Lente plano-convexa:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \frac{1}{R} \quad \textcircled{2}$$

De ① e ②, vem:  $\frac{1}{f_0} = 2 \cdot \frac{1}{f} \Rightarrow \boxed{f = 2f_0}$

**T.333 Resposta: e**

a) Incorreta.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-6} = \frac{1}{12} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = -4 \text{ cm}$$

Portanto, a imagem é virtual e sua distância à lente é de 4 cm.

b) Incorreta.

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow A = -\frac{-4}{12} \Rightarrow A = \frac{1}{3}$$

c) Incorreta.

$$A = \frac{i}{o} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{i}{10} \Rightarrow i = 4 \text{ cm}$$

d) Incorreta.

A imagem é virtual, direita e menor do que o objeto.

e) Correta.

A imagem que a lente divergente conjuga, de um objeto real, é sempre virtual, qualquer que seja a posição do objeto.

T.334 Resposta: d

Pela equação dos pontos conjugados, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{0,30} + \frac{1}{1,2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{5}{1,2} \text{ m}^{-1}$$

Substituindo esse resultado na fórmula dos fabricantes de lentes, obtemos:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{5}{1,2} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R} \Rightarrow R = 0,12 \text{ m} \Rightarrow \boxed{R = 12 \text{ cm}}$$

T.335 Resposta: d

A imagem é invertida em relação ao objeto real. Sendo invertida, é real. Nessas condições, **objeto e imagem estão em lados opostos da lente**.

Da figura, temos:  $o = 6,0 \text{ cm}$  e  $i = -2,0 \text{ cm}$

Pela equação do aumento linear transversal, vem:

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{-2,0}{6,0} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p = 150 \text{ cm}$$

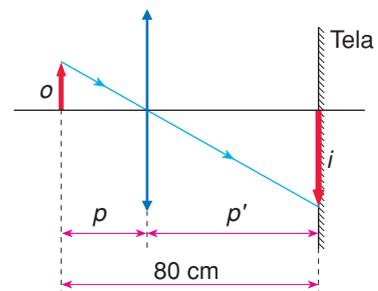
Utilizando esse resultado na equação dos pontos conjugados, sabendo-se que  $p' = 50 \text{ cm}$ , obtemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{150} + \frac{1}{50} \Rightarrow \boxed{f = 37,5 \text{ cm}}$$

T.336 Resposta: a

A imagem é obtida sobre uma tela. Logo, ela é real e, portanto, invertida. A lente é **convergente**. O aumento linear transversal é  $A = -3$ .

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -3 = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p' = 3p \quad \textcircled{1}$$



Da figura, vem:

$$p + p' = 80 \text{ cm} \quad (2)$$

De (1) e (2), obtemos:  $p + 3p = 80 \Rightarrow p = 20 \text{ cm}$  e  $p' = 60 \text{ cm}$

Substituindo os valores de  $p$  e  $p'$  na equação dos pontos conjugados, podemos, então, determinar a distância focal  $f$  da lente:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60} \Rightarrow f = 15 \text{ cm}$$

**T.337 Resposta: c**

A partir da figura, vem:

$$p + p' = 100 \text{ cm} \Rightarrow p = 100 - p' \quad (1)$$

Substituindo a expressão (1) na equação dos pontos conjugados e conhecendo a distância focal  $f$  da lente, podemos determinar a distância da imagem ( $p'$ ) à lente:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{22,0} = \frac{1}{100 - p'} + \frac{1}{p'}$$

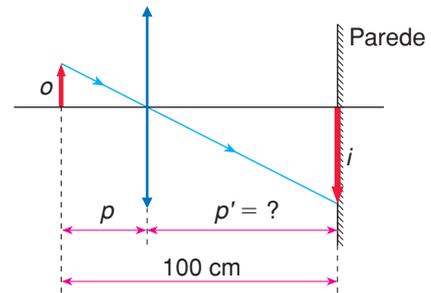
$$\frac{1}{22,0} = \frac{p' + 100 - p'}{(100 - p') \cdot p'}$$

$$(100 - p') \cdot p' = 2.200$$

$$p'^2 - 100p' + 2.200 = 0$$

As raízes são:  $p' \approx 32,7 \text{ cm}$  ou  $p' \approx 67,3 \text{ cm}$

Como a imagem é ampliada, devemos escolher o maior valor de  $p'$ :  $p' \approx 67,3 \text{ cm}$



**T.338 Resposta: d**

Utilizando a equação de Gauss nas duas situações, temos:

$$1^{\text{a}} \text{ situação: } \frac{1}{f} = \frac{1}{L} + \frac{1}{D-L} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{D}{L \cdot (D-L)} \quad (1)$$

$$2^{\text{a}} \text{ situação: } \frac{1}{f} = \frac{1}{L'} + \frac{1}{D-L'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{D}{L' \cdot (D-L')} \quad (2)$$

Igualando (1) e (2), temos:

$$L \cdot (D-L) = L' \cdot (D-L')$$

Sendo  $L' = L - a$ , vem:

$$L \cdot (D - L) = (L - a)(D - L + a)$$

$$LD - L^2 = LD - L^2 + aL - aD + aL - a^2$$

$$2aL = aD + a^2 \Rightarrow L = \frac{D + a}{2} \quad \textcircled{3}$$

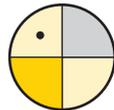
Substituindo  $\textcircled{3}$  em  $\textcircled{1}$ , temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{D}{\left(\frac{D-a}{2}\right) \cdot \left(D - \frac{D+a}{2}\right)} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{D}{\left(\frac{D+a}{2}\right) \cdot \left(\frac{D-a}{2}\right)} \Rightarrow$$

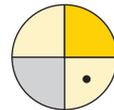
$$\Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{D}{\left(\frac{D^2 - a^2}{4}\right)} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{4D}{D^2 - a^2} \Rightarrow \boxed{f = \frac{D^2 - a^2}{4D}}$$

T.339 Resposta: d

A imagem é real, pois foi projetada no anteparo fosco. Sendo real, é invertida e troca a direita pela esquerda e vice-versa. Assim, temos:



Objeto



Imagem

T.340 Resposta: d

Calculando as posições das imagens ( $x_0 = 40$  cm;  $x_1 = 30$  cm;  $f = 20$  cm):

$$\frac{1}{x'_0} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x_0} = \frac{1}{20} - \frac{1}{40} = \frac{2-1}{40} \Rightarrow \frac{1}{x'_0} = \frac{1}{40} \Rightarrow x'_0 = 40 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{x'_1} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{3-2}{60} \Rightarrow \frac{1}{x'_1} = \frac{1}{60} \Rightarrow x'_1 = 60 \text{ cm}$$

O deslocamento da imagem foi:  $|\Delta x'| = x'_1 - x'_0 = 60 \text{ cm} - 40 \text{ cm} \Rightarrow |\Delta x'| = 20 \text{ cm}$

O intervalo de tempo pode ser calculado pelo deslocamento do objeto

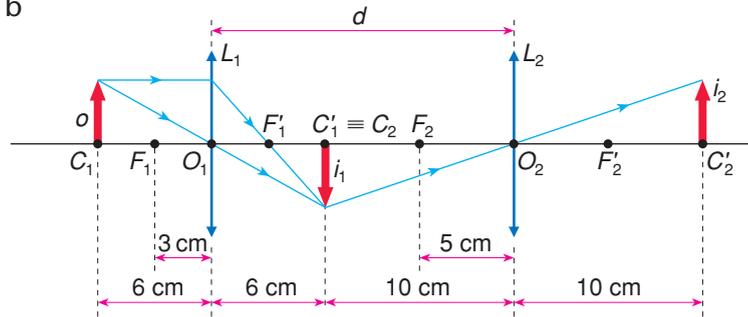
( $|\Delta x| = x_0 - x_1 = 40 \text{ cm} - 30 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$ ), cuja velocidade tem módulo 1,0 cm/s:

$$|v| = \frac{|\Delta x|}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{|\Delta x|}{|v|} \Rightarrow \Delta t = \frac{10}{1} \Rightarrow \Delta t = 10 \text{ s}$$

Portanto, o módulo da velocidade média da imagem é:

$$|v'_m| = \frac{|\Delta x'|}{\Delta t} \Rightarrow |v'_m| = \frac{20}{10} \Rightarrow \boxed{|v'_m| = 2,0 \text{ cm/s}}$$

T.341 Resposta: b



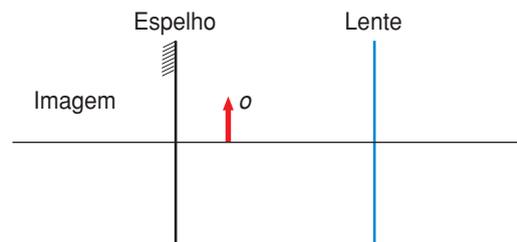
Relativamente à lente  $L_1$  ( $f_1 = 3 \text{ cm}$ ), o objeto  $o$  está posicionado no ponto antiprincipal objeto ( $C_1$ ) e a imagem  $i_1$  se forma no ponto antiprincipal imagem ( $C_1'$ ). Nessa situação, como o objeto tem 6 cm de altura, a imagem tem também a mesma altura.

A imagem  $i_1$  funciona como objeto em relação à lente  $L_2$  ( $f_2 = 5 \text{ cm}$ ). Para que a imagem final  $i_2$  tenha também 6 cm de altura, concluímos que  $i_1$  deve estar posicionado no ponto antiprincipal objeto  $C_2$  da lente  $L_2$ . Portanto:

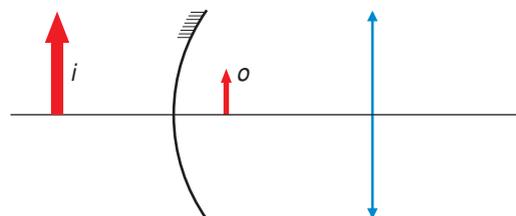
$$d = 2f_1 + 2f_2 \Rightarrow d = 6 + 10 \Rightarrow \boxed{d = 16 \text{ cm}}$$

T.342 Resposta: c

De acordo com o enunciado, as imagens são direitas e portanto virtuais. Logo, no esquema abaixo elas devem se localizar à esquerda do espelho.



Para que isso ocorra, a lente deve ser convergente e a imagem será maior do que o objeto. Nessas condições, o espelho esférico deve ser côncavo. Observe o esquema:



T.343 Resposta: a

Como as lentes são convergentes,  $\frac{1}{f} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{f''}$  corresponde à soma de números positivos. Então:

$$\frac{1}{f} > \frac{1}{f'} \qquad \frac{1}{f} > \frac{1}{f''}$$

Invertendo as desigualdades, temos:  $f < f'$  e  $f < f''$

T.344 Resposta: d

Como a vergência da lente equivalente é a soma algébrica das vergências das lentes associadas, temos:  $D = D_1 + D_2$

Mas:  $D = \frac{1}{f}$ ; logo:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{10} + \frac{1}{-20} \Rightarrow f = +20 \text{ cm}$$

T.345 Resposta: c

De  $D = D_1 + D_2$ , vem:

$$\frac{1}{2f} = \frac{1}{f} + \frac{1}{x} \Rightarrow x = -2f \Rightarrow |x| = 2f$$

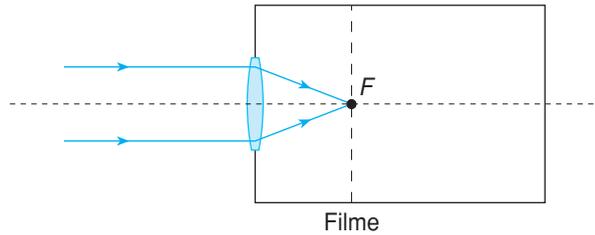
Portanto, a lente é **divergente** (pois  $x < 0$  e  $|x| \neq f$ ).

T.346 Resposta: e

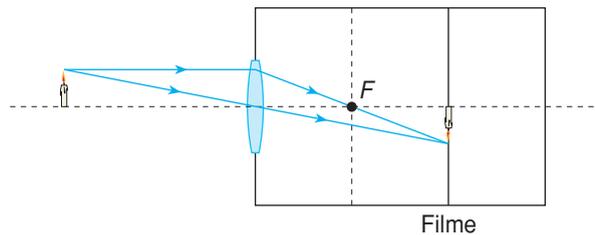
Sendo a lente divergente, a imagem formada é virtual e não pode ser projetada no filme. Logo, **não apareceu imagem alguma**.

T.347 Resposta: b

Estando o objeto muito distante, a imagem se forma no foco  $F$ :



Vela próxima da câmara:



A imagem projetada sobre o filme é real e invertida e se situa além do plano focal da lente.

A mesma conclusão pode ser obtida a partir da equação dos pontos conjugados.

De  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , sendo  $f$  constante, quando  $p$  diminui (objeto se aproximando da lente),  $p'$  aumenta. Assim, a imagem e, conseqüentemente, o filme se afastam da lente.

T.348 Resposta: a

Para um objeto no infinito, a imagem se forma no plano focal imagem. Nesse plano está localizado o filme. Assim, a distância da lente ao filme é de 100 mm.

Para um objeto a 30 cm (300 mm) da objetiva, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{100} = \frac{1}{300} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 150 \text{ mm}$$

Nesse caso, a distância da lente ao filme passa de 100 mm para 150 mm. Portanto, o deslocamento da objetiva de uma foto para outra foi de 50 mm.

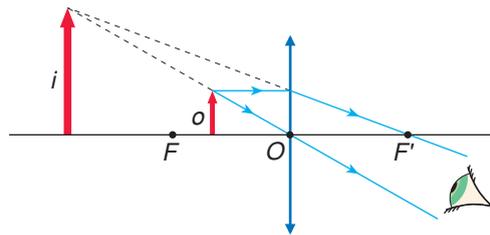
T.349 Resposta: b

O feixe luminoso que se refrata através da lente de maior diâmetro tem “maior quantidade de luz” do que o feixe luminoso que se refrata através da lente de menor diâmetro. Portanto, o brilho da imagem produzida pela lente I é maior do que o brilho da imagem produzida pela lente II.

As lentes I e II têm a mesma distância focal, pois são de mesmo material e têm os mesmos raios de curvatura. De  $A = \frac{f}{f-p}$ , concluímos que, para um objeto situado à mesma distância das duas lentes (mesmo  $p$ ), o aumento linear transversal  $A$  é o mesmo, isto é, as imagens têm o mesmo tamanho.

T.350 Resposta: b

A lupa é uma lente **convergente**. O objeto deve ser posicionado entre o foco principal objeto  $F$  e a lente. A imagem formada é virtual, direita e maior.



T.351 Resposta: a

$A = -24$  (imagem invertida);  $f = 9,6$  cm

Aplicando a fórmula do aumento linear transversal, obtemos:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -24 = -\frac{p'}{p} \Rightarrow p = \frac{p'}{24}$$

De  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ , vem:

$$\frac{1}{9,6} = \frac{24}{p'} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{9,6} = \frac{25}{p'} \Rightarrow p' = 240 \text{ cm}$$

e

$$p = \frac{240}{24} \Rightarrow p = 10 \text{ cm}$$

Pede-se a distância da tela ao *slide* ( $x$ ). Portanto:

$$x = p + p' = 240 + 10 \Rightarrow \boxed{x = 250 \text{ cm}}$$

T.352 Resposta: b

O aumento linear transversal  $A$  é dado por:  $A = -\frac{p'}{p}$

Como a imagem fornecida por uma lupa é direita, temos:  $A = +2,5$

Sendo  $p = 5$  cm, vem:

$$2,5 = -\frac{p'}{5} \Rightarrow p' = -12,5 \text{ cm}$$

O sinal negativo no valor de  $p'$  significa que a imagem é virtual. Portanto, a distância da imagem ao centro óptico da lente é de 12,5 cm.

T.353 Resposta: a

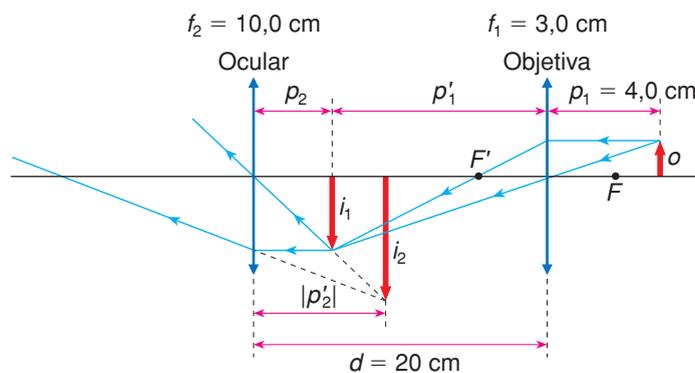
A objetiva e a ocular são lentes **convergentes**, e a distância focal da objetiva (da ordem de alguns milímetros) é menor do que a distância focal da ocular (da ordem de alguns centímetros). Das lentes disponíveis escolhemos: objetiva  $L_1$  e ocular  $L_2$ .

T.354 Resposta: a

Na luneta astronômica, a objetiva e a ocular são lentes convergentes.

T.355 Resposta: e

Primeiramente, determina-se o aumento linear transversal da objetiva.



$$A_{\text{ob.}} = \frac{f_1}{f_1 - p_1} \Rightarrow A_{\text{ob.}} = \frac{3,0}{3,0 - 4,0} \Rightarrow A_{\text{ob.}} = -3,0$$

De  $A_{\text{ob.}} = -\frac{p'_1}{p_1}$ , vem:

$$-3,0 = -\frac{p'_1}{4,0} \Rightarrow p'_1 = 12,0 \text{ cm}$$

Como  $d = p'_1 + p_2$ , obtemos:

$$20,0 = 12,0 + p_2 \Rightarrow p_2 = 8,0 \text{ cm}$$

A partir do valor de  $p_2$  determinado anteriormente, pode-se obter o aumento linear transversal da lente ocular ( $A_{oc.}$ ) pela seguinte fórmula:

$$A_{oc.} = \frac{f_2}{f_2 - p_2} \Rightarrow A_{oc.} = \frac{10,0}{10,0 - 8,0} \Rightarrow A_{oc.} = 5,0$$

Finalmente, o aumento linear transversal do microscópio ( $A$ ) é obtido pelo produto entre o aumento linear transversal da objetiva ( $A_{ob.}$ ) e o aumento linear transversal da ocular ( $A_{oc.}$ ):

$$A = A_{ob.} \cdot A_{oc.} \Rightarrow A = -3,0 \cdot 5,0 \Rightarrow \boxed{A = -15}$$

Portanto, o observador vê o inseto 15 vezes maior, isto é,  $n = 15$ .

**T.356 Resposta: e**

A objetiva e a ocular são lentes convergentes. Logo,  $f_1 > 0$  e  $f_2 > 0$ .

A distância focal  $f_1$  da objetiva (da ordem de alguns centímetros) é menor do que a distância focal  $f_2$  da objetiva (às vezes da ordem de alguns metros). Portanto:  $f_1 < f_2$ .

**T.357 Resposta: e**

O aumento visual ( $G$ ) da luneta, em condições usuais de observação, é dado pela razão entre as distâncias focais da objetiva ( $f_1$ ) e da ocular ( $f_2$ ). Portanto, temos:

$$G = \frac{f_{1(\text{objetiva})}}{f_{2(\text{ocular})}} \Rightarrow G = \frac{200}{20} \Rightarrow \boxed{G = 10}$$

**T.358 Resposta: c**

O cristalino funciona como uma lente convergente, formando na retina imagens reais, invertidas e diminuídas.

T.359 Resposta: c

**Objeto distante:** a distância focal é máxima e igual a 2,5 cm ( $f_1 = 2,5$  cm).

**Objeto no ponto próximo padrão:**

Nesse caso,  $p = 25$  cm e  $p' = 2,5$  cm.

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{25} + \frac{1}{2,5} \Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1 + 10}{25} \Rightarrow f_2 = \frac{25}{11} \text{ cm}$$

De  $\Delta f = f_2 - f_1$ , vem:

$$\Delta f = \frac{25}{11} - 2,5 \Rightarrow \Delta f = \frac{25 - 27,5}{11} \Rightarrow \Delta f = -\frac{2,5}{11} \text{ cm}$$

T.360 Resposta: e

Lentes convergentes: hipermetropia ou presbiopia.

Lentes divergentes: miopia.

Lentes cilíndricas: astigmatismo.

T.361 Resposta: e

As lentes dos óculos de um míope são **divergentes**.

De  $D = \frac{1}{f}$ , vem:

$$-2,0 = \frac{1}{f} \Rightarrow f = -0,50 \text{ m} \Rightarrow f = -50 \text{ cm}$$

A distância focal das lentes de correção tem módulo 50 cm. O sinal negativo indica que a lente é divergente.

T.362 Resposta: e

Para a lente convergente do hipermetrope, temos:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p}$

Sendo  $\frac{1}{f} = 3$  di, vem:

$$3 = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{p_p} \Rightarrow 3 = 4 - \frac{1}{p_p} \Rightarrow \frac{1}{p_p} = 1 \Rightarrow p_p = 1,0 \text{ m}$$

T.363 Resposta: e

Uma pessoa hipermetrope que se torna presbíope só poderá ver objetos próximos se utilizar lentes mais convergentes para corrigir os dois defeitos. Portanto: lentes **mais convergentes, se hipermetrope**. Uma pessoa míope enxerga bem de perto e outra presbíope não enxerga bem de perto. Se um míope se tornar presbíope, a lente que ele usa poderá ser alterada para uma lente menos divergente. Portanto, lentes **menos divergentes, se míope**.

Uma pessoa míope, ao se tornar presbíope, em certa fase de sua vida, poderá ter seu ponto próximo igual ao de uma pessoa de visão normal.

T.364 Resposta: e

Para a hipermetropia e para a presbiopia as lentes corretivas são convergentes e, portanto, suas vergências são positivas.

Na hipermetropia (figura a) e na presbiopia (figura b), temos:

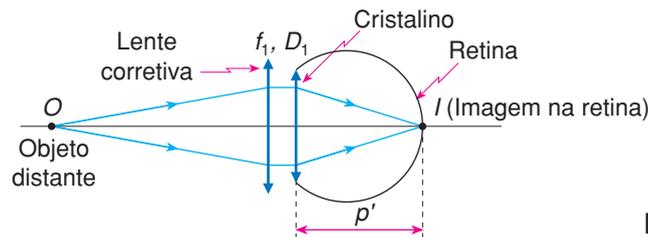


Figura a

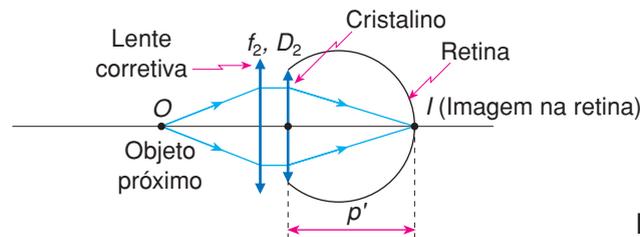


Figura b

Tanto para corrigir a hipermetropia como para corrigir a presbiopia a lente corretora tem que ser convergente e, portanto, com *vergência positiva*.

Entretanto, na visão para longe, só há um defeito a corrigir – a hipermetropia, pois a presbiopia não afeta a visão a distância. Na visão para perto, a lente tem que corrigir dois defeitos – a hipermetropia e a presbiopia. Por isso, a lente para leitura deve ser mais “forte” (ter maior vergência) que a lente para ver objetos distantes. No caso da questão, a vergência da lente de leitura deve ser +4,5 dioptrias e a vergência da lente para longe deve ser +1,5 dioptrias.

**T.365 Resposta:** Estão corretas a 3ª e a 5ª.

1ª) Incorreta.

A lente utilizada pelas crianças é divergente.

2ª) Incorreta.

Somente as lentes de vidro de bordas mais delgadas, imersas no ar, é que podem ser utilizadas, pois são convergentes.

3ª) Correta.

O personagem Porquinho é míope.

4ª) Incorreta.

A lente é divergente e a imagem conjugada é menor do que o objeto.

5ª) Correta.

As lentes dos óculos do personagem são divergentes e a imagem conjugada é virtual.

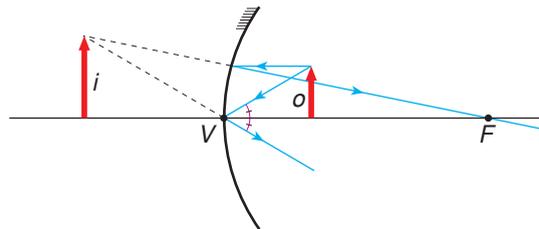
**T.366 Resposta:** Soma = 31 (01 + 02 + 04 + 08 + 16)

(01) Correta.

Devido à refração da luz na atmosfera, a posição aparente de um astro é mais elevada do que a real.

(02) Correta.

A imagem fornecida por um espelho côncavo, de um objeto situado entre o foco e o vértice, é maior, direita e virtual:



(04) Correta.

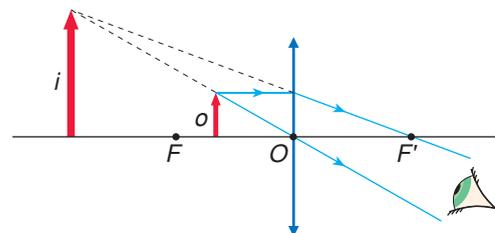
O arco-íris ocorre devido à decomposição da luz solar nas gotículas de água existentes na atmosfera. Essa decomposição acontece porque a água possui diferentes índices de refração para as diferentes cores que formam a luz do Sol.

(08) Correta.

Devido ao fato de o olho dessa pessoa míope ter convergência muito maior que o de uma pessoa míope normal, o ponto remoto está a uma distância muito pequena do seu olho, enquanto para o olho normal, o ponto remoto está no infinito.

(16) Correta.

A imagem fornecida por uma lente convergente, de um objeto situado entre o foco principal objeto  $F$  e o centro óptico  $O$  da lente, é virtual direita e ampliada:



T.367 Resposta: c

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \quad \textcircled{1} \qquad \frac{3T}{2} = 2\pi \sqrt{\frac{M+m}{K}} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo membro a membro  $\textcircled{2}$  por  $\textcircled{1}$ , vem:

$$\frac{3}{2} = \sqrt{\frac{M+m}{M}}$$

$$\frac{9}{4} = 1 + \frac{m}{M}$$

$$\boxed{\frac{m}{M} = \frac{5}{4}}$$

T.368 Resposta: e

Na posição de equilíbrio, temos:

$$F_{\text{el.}} = P \Rightarrow kx = mg \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k \cdot 0,20 = 500 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \Rightarrow k = 25 \text{ N/m}$$

Da expressão para o período de oscilação de um sistema corpo-mola, vem:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{0,5}{25}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{50}} \Rightarrow \boxed{T \approx 0,9 \text{ s}}$$

T.369 Resposta: e

I. Incorreta.

O período depende de  $m$ :  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

II. Correta.

No MHS há conservação da energia mecânica.

III. Correta.

Na posição de equilíbrio  $O$  ( $x = 0$ ), a energia potencial elástica é nula e a energia cinética é máxima.

**T.370 Resposta: a**

A soma da energia potencial com a energia cinética é constante. Sendo nula a energia potencial na posição de equilíbrio  $O$ , essa soma vale:

$$E_p + E_c = \frac{ka^2}{2} \text{ (em que } a \text{ é a amplitude do MHS)}$$

Na posição de elongação  $x$ , onde  $E_c = 2E_p$ , temos:

$$E_p + 2E_p = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow 3 \cdot E_p = \frac{ka^2}{2}$$

Como  $E_p = \frac{kx^2}{2}$ , vem:

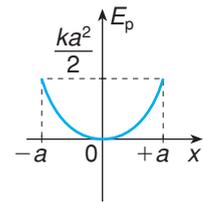
$$3 \cdot \frac{kx^2}{2} = \frac{ka^2}{2} \Rightarrow x^2 = \frac{a^2}{3} \Rightarrow x = \pm \sqrt{\frac{a^2}{3}} = \pm \frac{a}{\sqrt{3}} \Rightarrow \boxed{x = \pm \frac{\sqrt{3}a}{3}}$$

**T.371 Resposta: b**

De  $E_p = \frac{kx^2}{2}$ , concluímos que o gráfico  $E_p \times x$  é um arco de parábola com concavidade para cima.

Para  $x = 0$ , temos  $E_p = 0$ ; para  $x = -a$  ou  $x = +a$ , temos

$E_p = \frac{ka^2}{2}$ , o que corresponde ao gráfico ao lado.



**T.372 Resposta: Soma = 48 (16 + 32)**

1. Incorreta.

Sendo o sistema massa-mola ideal, a energia mecânica se conserva.

2. Incorreta.

A energia mecânica é dada por:  $E_{\text{mec.}} = \frac{kA^2}{2}$ . No ponto  $\frac{A}{2}$ , temos:

$$E_p = \frac{k \cdot \left(\frac{A}{2}\right)^2}{2} \Rightarrow E_p = \frac{1}{4} \cdot \frac{kA^2}{2} \Rightarrow \boxed{E_p = \frac{1}{4} \cdot E_{\text{mec.}}}$$

$$\text{Mas: } E_{\text{mec.}} = E_p + E_c \Rightarrow \frac{kA^2}{2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{kA^2}{2} + E_c \Rightarrow \boxed{E_c = \frac{3}{4} \cdot E_{\text{mec.}}}$$

A energia potencial corresponde a 25% da energia mecânica, e a energia cinética, a 75%.

4. Incorreta.

A energia mecânica se conserva.

8. Incorreta.

As energias cinéticas em  $-\frac{A}{2}$  e em  $+\frac{A}{2}$  são iguais, pois, nesses pontos, as energias potenciais são iguais.

16. Correta.

Nos pontos  $+A$  e  $-A$ , a velocidade do corpo é nula e, portanto, a energia cinética é nula. Nesses pontos, a energia mecânica é exclusivamente potencial.

32. Correta.

Na posição de equilíbrio ( $x = 0$ ), a energia potencial é nula. Logo, a energia mecânica é exclusivamente cinética.

**T.373 Resposta: d**

Nos pontos de inversão do movimento, a **velocidade é nula**. Nesses pontos ( $x = +a$  e  $x = -a$ , nos quais  $a$  é a amplitude), a aceleração tem módulo máximo ( $\alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a$ ).

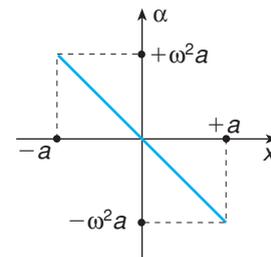
**T.374 Resposta: e**

De  $\alpha = -\omega^2 x$ , concluímos que o gráfico  $\alpha \times x$  é uma reta passando pela origem ( $x = 0 \Rightarrow \alpha = 0$ ).

Para  $x = +a$ , temos:  $\alpha = -\omega^2 a$

Para  $x = -a$ , temos:  $\alpha = +\omega^2 a$

Assim, o gráfico ao lado é o que satisfaz as condições do problema.



**T.375 Resposta: c**

A velocidade da projeção ortogonal do objeto no anteparo tem módulo máximo no ponto B.

Temos:  $\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot \frac{60}{60} \Rightarrow \omega = 2\pi \text{ rad/s}$ ;  $a = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ ; logo:

$$v_{\text{máx.}} = \omega a \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 2\pi \cdot 0,1 \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 0,2\pi \Rightarrow v_{\text{máx.}} \approx 6,3 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$$

**T.376 Resposta: c**

Como a lâmina se movimenta para a frente e para trás, com uma distância máxima de 2,0 mm, concluímos que a amplitude do movimento é  $a = 1,0 \text{ mm} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ . Cálculo de  $\omega$ :

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot 60 \Rightarrow \omega = 120\pi \text{ rad/s}$$

Cálculo de  $\alpha_{\text{máx.}}$ :

$$\alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a \Rightarrow \alpha_{\text{máx.}} = (120\pi)^2 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \alpha_{\text{máx.}} \approx 142 \text{ m/s}^2$$

Cálculo de  $v_{\text{máx.}}$ :

$$v_{\text{máx.}} = \omega a \Rightarrow v_{\text{máx.}} = 120 \cdot \pi \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \Rightarrow v_{\text{máx.}} \approx 0,37 \text{ m/s}$$

T.377 Resposta: e

Como  $v_{\text{máx.}} = \omega a$ , vem:

$$2,0\pi = \omega \cdot 0,20 \Rightarrow \omega = 10\pi \text{ rad/s}$$

$$\text{De } \omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ obtemos: } 10\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 0,20 \text{ s}$$

T.378 Resposta: a

Comparando  $x = 10 \cdot \cos\left(100\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$  ( $x$  em cm e  $t$  em s) com  $x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$ , vem:

$$a = 10 \text{ cm}$$

Como  $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ , sendo  $\omega = 2\pi f$ , obtemos:

$$2\pi f = 100\pi \Rightarrow f = 50 \text{ Hz}$$

T.379 Resposta: d

Vamos adotar  $t = 0$  na primeira passagem pelo ponto  $X$ .

Sendo  $OX = 20 \text{ cm}$  e  $OP = 40 \text{ cm}$ , resulta  $\theta = 60^\circ$ . Portanto,  $\varphi_0 = 180^\circ + 60^\circ = 240^\circ$

$$\text{ou } \varphi_0 = \frac{4\pi}{3} \text{ rad.}$$

A segunda passagem pelo ponto  $x$  ocorre no instante  $t = 4 \text{ s}$ . O ângulo  $\varphi$  descrito será:

$$\varphi = 360^\circ + 120^\circ = 480^\circ \quad \text{ou} \quad \varphi = \frac{8\pi}{3} \text{ rad}$$

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

$$\frac{8\pi}{3} = \omega \cdot 4 + \frac{4\pi}{3}$$

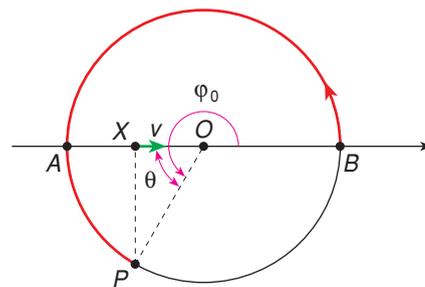
$$4 \cdot \omega = \frac{4\pi}{3}$$

$$\omega = \frac{\pi}{3}$$

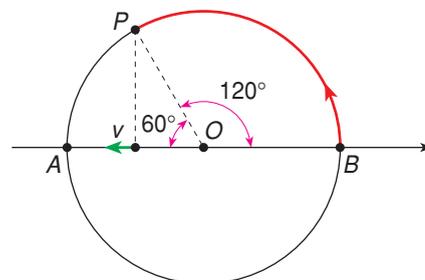
$$\frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{3}$$

$$T = 6 \text{ s}$$

1ª passagem:  $t_0 = 0$



2ª passagem:  $t = 4 \text{ s}$



**T.380** Resposta: d

Do gráfico, vem:  $a = 5 \text{ m}$  e  $T = 8 \text{ s}$

Como  $f = \frac{1}{T}$ , obtemos:  $f = \frac{1}{8} \text{ Hz}$

**T.381** Resposta: d

Do gráfico, vem:  $a = 2 \text{ m}$ ;  $T = 4 \text{ s}$

Observe que o móvel tem elongação  $x = -a$  no instante  $t = 0$ . Logo:  $\varphi_0 = \pi \text{ rad}$

De  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , vem:  $\omega = \frac{2\pi}{4} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$

Assim, a função horária da elongação será:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow x = 2 \cdot \cos\left[\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot t + \pi\right] \text{ (SI)}$$

**T.382** Resposta: Soma = 13 (01 + 04 + 08)

(01) Correta.

Do gráfico, vem:  $a = 5 \text{ m}$ ;  $T = 8 \text{ s}$

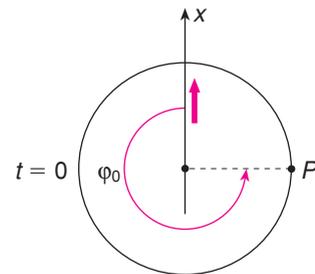
$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{8} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}$

No instante  $t = 0$ , o móvel está na origem ( $x = 0$ ) e se desloca no sentido do eixo  $x$ .

Logo:  $\varphi_0 = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$

Assim, a função horária da elongação será:

$$x = 5 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$



(02) Incorreta.

$$v = -\omega a \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow v = -\frac{5\pi}{4} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{4} t + \frac{3\pi}{2}\right) \text{ (SI)}$$

(04) Correta.

$$\text{Para } t = 2 \text{ s} \rightarrow v = -\frac{5\pi}{4} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{4} \cdot 2 + \frac{3\pi}{2}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = -\frac{5\pi}{4} \cdot \text{sen } 2\pi \Rightarrow v = -\frac{5\pi}{4} \cdot 0 \Rightarrow v = 0$$

(08) Correta.

$$\begin{aligned} \alpha &= -\omega^2 a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow \alpha = -\frac{5\pi^2}{16} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot t + \frac{3\pi}{2}\right) \Rightarrow \\ \Rightarrow \alpha &= -\frac{5\pi^2}{16} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} \cdot 6 + \frac{3\pi}{2}\right) \Rightarrow \alpha = -\frac{5\pi^2}{16} \cdot \cos(3\pi) \Rightarrow \\ \Rightarrow \alpha &= -\frac{5\pi^2}{16} \cdot (-1) \Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{5\pi^2}{16} \text{ m/s}^2} \end{aligned}$$

(16) Incorreta.

No instante  $t = 8 \text{ s}$ , completa-se um período, isto é, o móvel retorna à posição  $x = 0$ . Nesse ponto, sua velocidade não é nula, o mesmo ocorrendo com sua energia cinética.

**T.383 Resposta: b**

Observamos no gráfico que, enquanto o móvel A realiza uma oscilação completa, o móvel B realiza três. Logo, a frequência de B é três vezes maior do que a de A:

$$f_B = 3f_A \Rightarrow \boxed{\frac{f_A}{f_B} = \frac{1}{3}}$$

**T.384 Resposta: e**

Do gráfico, vem:  $a_A = 2a_B$ . Logo:  $\boxed{\frac{a_A}{a_B} = 2}$

**T.385 Resposta: a**

Comparando  $x = 0,05 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{2}\right)$  (SI) com  $x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$ , temos:

$$a = 0,05 \text{ m}; \omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad}; \varphi_0 = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

A função horária da velocidade é dada por:

$$v = -\omega a \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \Rightarrow v = -0,05 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\text{Para } t = 6 \text{ s, obtemos: } v = -0,05 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{4} \cdot 6 + \frac{\pi}{2}\right) \Rightarrow$$

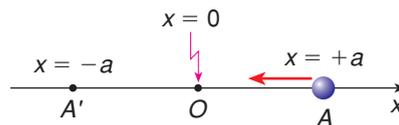
$$\Rightarrow v = -0,05 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \text{sen } 2\pi \Rightarrow v = -0,05 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0 \Rightarrow \boxed{v = 0}$$

T.386 Resposta: e

A velocidade do ponto varia senoidalmente com o tempo. Portanto, seu movimento é **harmônico simples**.

T.387 Resposta: c

No gráfico observamos que, para  $t = 0$ , temos  $v = 0$ . Portanto, o móvel parte com velocidade nula, mas não da origem (posição de equilíbrio). Na origem, a velocidade tem módulo máximo. A análise do gráfico mostra que, imediatamente após a partida, a velocidade é negativa. Isso significa que o móvel parte do ponto de inversão do movimento e em sentido oposto ao do eixo  $Ox$ , isto é, de  $x = +a$  (em que  $a$  é a amplitude), como na figura abaixo.



T.388 Resposta: c

Vamos calcular a amplitude  $a$ . Do gráfico, vem:  $v_{\text{máx.}} = 10 \text{ cm/s}$ ;  $T = \pi \text{ s}$

$$\text{Como } v_{\text{máx.}} = \omega a, \text{ obtemos: } v_{\text{máx.}} = \frac{2\pi}{T} \cdot a \Rightarrow 10 = \frac{2\pi}{\pi} \cdot a \Rightarrow \boxed{a = 5 \text{ cm}}$$

T.389 Resposta: d

$$\text{De } \alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a, \text{ obtemos: } \alpha_{\text{máx.}} = \left(\frac{2\pi}{\pi}\right)^2 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{\alpha_{\text{máx.}} = 20 \text{ cm/s}^2}$$

T.390 Resposta: c

Seja  $k$  a constante elástica de cada mola. Para a figura 1, temos:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$  ①

Na figura 2, as molas estão em paralelo e a mola equivalente tem constante elástica  $k_p = k + k = 2k$ . O período de oscilação do sistema será:

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}} \Rightarrow T' = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{②}$$

Substituindo ① em ②, obtemos:

$$T' = \frac{T}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{T' = \frac{T\sqrt{2}}{2}}$$

**T.391** Resposta: Soma = 24 (08 + 16)

(01) Incorreta.

A intensidade da força resultante é:  $F = ka$

(02) Incorreta.

O período  $T$  do MHS depende de  $m$  e de  $k$ , de acordo com a fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

(04) Incorreta.

Nos pontos de inversão do movimento ( $x = +a$  e  $x = -a$ ), o módulo da aceleração é máximo ( $\alpha_{\text{máx.}} = \omega^2 a$ ).

(08) Correta.

Nos pontos de inversão, temos:  $E_p = \frac{ka^2}{2}$  e  $E_c = 0$

$$\text{Logo: } E_{\text{mec.}} = E_c + E_p = \frac{ka^2}{2}$$

(16) Correta.

A constante elástica da mola equivalente da associação de duas molas em série de constantes elásticas  $k$  e  $k'$ , é dada por:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k'} \Rightarrow \frac{1}{k_s} = \frac{k' + k}{k \cdot k'} \Rightarrow k_s = \frac{k \cdot k'}{k + k'}$$

Sendo  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_s}}$ , vem:

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_s}{m}} \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[ \frac{kk'}{(k + k') \cdot m} \right]^{\frac{1}{2}}$$

**T.392** Resposta: c

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \textcircled{1} \qquad 2T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L'}{g}} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo membro a membro  $\textcircled{2}$  por  $\textcircled{1}$ , vem:

$$2 = \sqrt{\frac{L'}{L}} \Rightarrow 4 = \frac{L'}{L} \Rightarrow L' = 4L$$

O comprimento do pêndulo era  $L$  e deve passar para  $4L$ . Logo, ele deve ser aumentado em  $3L$ .

T.393 Resposta: b

Do enunciado concluímos que o período do pêndulo é igual à metade do período do oscilador:

$$2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$4 \cdot \frac{L}{g} = \frac{m}{k}$$

$$4 \cdot \frac{0,50}{10} = \frac{1,00 \cdot 10^{-1}}{k}$$

$$k = 0,50 \text{ N/m}$$

T.394 Resposta: e

De  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$  concluímos que, variando a temperatura, varia o comprimento  $L$

do pêndulo e, conseqüentemente, a frequência  $f$  se altera. Temos dois casos:

- Quando a temperatura aumenta:

$L$  aumenta  $\Rightarrow f$  diminui  $\Rightarrow T$  aumenta e o **relógio atrasa**.

- Quando a temperatura diminui:

$L$  diminui  $\Rightarrow f$  aumenta  $\Rightarrow T$  diminui e o **relógio adianta**.

Se a temperatura é mantida constante e o relógio é conduzido para locais de maior altitude, a aceleração da gravidade  $g$  diminui. Conseqüentemente,  $f$  diminui,  $T$  aumenta e o **relógio atrasa**.

T.395 Resposta: a

Seja  $T_1$  o período do pêndulo sem o pino e  $T_2$  o período do pêndulo a partir do pino. Temos:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 2,0 \text{ s} \text{ e } T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{4g}} \Rightarrow T_2 = \frac{1}{2} \cdot T_1 \Rightarrow T_2 = 1,0 \text{ s}$$

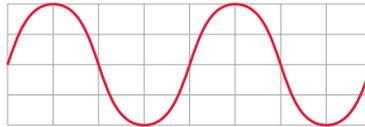
O novo período do pêndulo será:  $T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} \Rightarrow T = 1,5 \text{ s}$

T.396 Resposta: b

De  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$  concluímos que, dividindo-se comprimento  $L$  por 4, o período  $T$  fica reduzido à metade:

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{4g}} \Rightarrow T' = \frac{2\pi}{2}\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T' = \frac{T}{2}$$

Logo, no mesmo intervalo de tempo  $T$  anterior, o pêndulo completa duas oscilações.



T.397 Resposta: a

I. Correta.

As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagarem.

II. Incorreta.

As ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo e em certos meios materiais.

III. Incorreta.

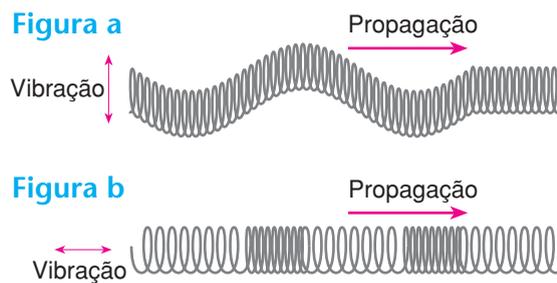
A luz é uma onda eletromagnética.

T.398 Resposta: b

I. Luz: onda transversal.

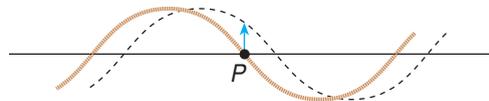
II. Som no ar: onda longitudinal.

III. Perturbação propagando-se numa mola helicoidal: pode ser transversal (figura a) ou longitudinal (figura b).



T.399 Resposta: b

Cada ponto da corda vibra numa direção perpendicular à direção de propagação da onda. Vamos representar a onda no instante dado (linha cheia) e num instante imediatamente posterior (linha tracejada):



O sentido do deslocamento do ponto P, no instante mostrado, está indicado na figura.

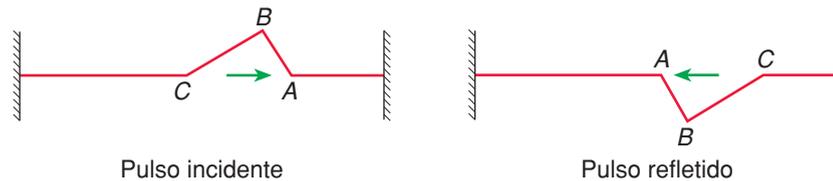
**T.400 Resposta: b**

Na situação I (extremidade fixa), ocorre reflexão com inversão de fase. Na situação II (extremidade livre), a reflexão é sem inversão de fase.



**T.401 Resposta: a**

O pulso incide na extremidade fixa à direita e sofre reflexão com inversão de fase. Observe que o trecho  $AB$ , que incide primeiro, volta na frente:



**T.402 Resposta: a**

I. Correta.

Na refração não há inversão de fase.

II. Incorreta.

A perturbação sofre uma reflexão em  $N$ , mas sem inversão de fase, pois está se propagando do meio de maior densidade linear (I) para o de menor (II).

III. Incorreta.

Ambas são dirigidas para cima, pois não há inversão de fase na refração e na reflexão.

**T.403 Resposta: b**

I. Incorreta.

As extremidades  $M$  e  $P$  são fixas e as duas reflexões ocorrem com inversão de fase. Uma perturbação para baixo percorre a corda I de  $M$  a  $N$  e outra, também para baixo, percorre a corda II de  $P$  para  $N$ .

II. Correta.

III. Incorreta.

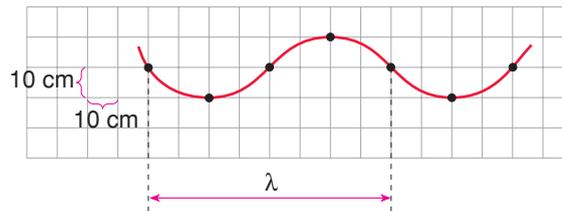
T.404 Resposta: e

O número de oscilações completas por segundo de um ponto da corda é a **frequência** de oscilação do ponto, que é igual à frequência de propagação da onda. A duração de uma oscilação completa de um ponto da corda é o **período** de oscilação do ponto, que é igual ao período de propagação da onda. A distância que a onda percorre durante uma oscilação completa é o **comprimento de onda**. O deslocamento máximo de um ponto da corda é a **amplitude**.

T.405 Resposta: e

De  $v = \lambda f$ , sendo  $v$  constante (pois a velocidade depende do meio em que a onda se propaga), se a frequência  $f$  aumenta, o **comprimento de onda  $\lambda$  diminui**.

T.406 Resposta: d



Na figura, temos:

$$\lambda = 8 \cdot 10 \text{ cm} \Rightarrow \boxed{\lambda = 80 \text{ cm}}$$

De  $f = \frac{1}{T}$  vem:

$$f = \frac{1}{0,25} \Rightarrow \boxed{f = 4,0 \text{ Hz}}$$

$$\text{Como } v = \lambda f, \text{ obtemos: } v = 80 \cdot 4,0 \Rightarrow \boxed{v = 320 \text{ cm/s}}$$

T.407 Resposta: b

A distância  $x$  é igual a meio comprimento de onda:

$$x = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 20 = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 40 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 40 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

De  $v = \frac{\lambda}{T}$ , vem:

$$10 = \frac{40 \cdot 10^{-2}}{T} \Rightarrow \boxed{T = 0,04 \text{ s}}$$

**T.408 Resposta: d**

O produto  $A \cdot d$  é a densidade linear  $\mu$  da corda. De fato:

$$A \cdot d = A \cdot \frac{m}{v} = A \cdot \frac{m}{A \cdot L} = \frac{m}{L} = \mu$$

Assim, a velocidade de propagação da onda na corda será:  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Temos:  $T = 1,80 \text{ N}$ ;  $m = 1,00 \text{ kg}$ ;  $L = 5,00 \text{ m}$

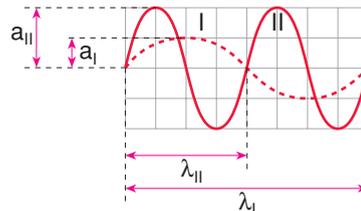
$$\text{Portanto: } v = \sqrt{\frac{1,80}{\frac{1,00}{5,00}}} \Rightarrow v = 3,00 \text{ m/s}$$

A fonte realiza duas oscilações completas por segundo. Logo, a frequência da onda é de 2 Hz.

$$\text{De } v = \lambda \cdot f, \text{ vem: } 3,00 = \lambda \cdot 2 \Rightarrow \lambda = 1,50 \text{ m}$$

**T.409 Resposta: d**

A frequência da onda I é **menor** do que a da onda II. Observe que, enquanto a onda I completa uma oscilação, a onda II completa duas oscilações.



Da figura, notamos que  $\lambda_I$  é **maior** do que  $\lambda_{II}$  e  $a_I$  é **menor** do que  $a_{II}$ .

**T.410 Resposta: e**

$$\text{De } v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \text{ vem: } v = \frac{8}{5,0} \Rightarrow v = 1,6 \text{ m/s}$$

Como  $v = \lambda f$  e lembrando que  $f = \frac{1}{T}$ , obtemos:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 1,6 = \frac{\lambda}{0,5} \Rightarrow \lambda = 0,8 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 80 \text{ cm}$$

**T.411 Resposta: a**

Se o galho oscila 10 vezes em 20 s, temos, por regra de três simples e direta:

$$\left. \begin{array}{l} 10 \text{ oscilações} \text{ — } 20 \text{ s} \\ 1 \text{ oscilação} \text{ — } T \end{array} \right\} \Rightarrow T = 2,0 \text{ s}$$

De  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , vem:

$$v = \frac{12}{6,0} \Rightarrow v = 2,0 \text{ m/s}$$

As cristas estão a 15 cm acima da superfície do lago. Logo:  $a = 15 \text{ cm}$

Como  $v = \lambda f$  e lembrando que  $f = \frac{1}{T}$ , obtemos:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 2,0 = \frac{\lambda}{2,0} \Rightarrow \lambda = 4,0 \text{ m}$$

**T.412 Resposta: d**

Como  $v = \lambda f$ , temos:  $v = 4 \cdot 5 \Rightarrow v = 20 \text{ cm/s}$

Utilizando a definição de velocidade, obtemos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 20 = \frac{40}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 2 \text{ s}$$

**T.413 Resposta: b**

São produzidas 20 cristas a cada 10 s:

$$\left. \begin{array}{l} 20 \text{ cristas} \text{ — } 10 \text{ s} \\ f_1 \text{ cristas} \text{ — } 1 \text{ s} \end{array} \right\} f_1 = 2 \text{ Hz}$$

De  $v = \lambda_1 \cdot f_1$ , vem:  $v = 10 \cdot 2 \Rightarrow v = 20 \text{ cm/s}$

Em seguida, são produzidas 40 cristas a cada 10 s:

$$\left. \begin{array}{l} 40 \text{ cristas} \text{ — } 10 \text{ s} \\ f_2 \text{ cristas} \text{ — } 1 \text{ s} \end{array} \right\} f_2 = 4 \text{ Hz}$$

De  $v = \lambda_2 \cdot f_2$  e observando que  $v$  não varia, pois o meio é o mesmo, temos:

$$20 = \lambda_2 \cdot 4 \Rightarrow \lambda_2 = 5 \text{ cm}$$

*Observação:*

Como a velocidade é a mesma, poderíamos igualar diretamente:

$$v = \lambda_1 \cdot f_1 = \lambda_2 \cdot f_2 \Rightarrow 10 \cdot 2 = \lambda_2 \cdot 4 \Rightarrow \lambda_2 = 5 \text{ cm}$$

T.414 Resposta: a

$$v_{\text{rel.}} = v_{\text{onda}} + v_{\text{barco}} = \lambda f \Rightarrow 5,5 + 3,3 = 2,3 \cdot f \Rightarrow f \approx 3,83 \text{ Hz}$$

T.415 Resposta: d

Como o barco está parado em relação às margens, ele irá oscilar com frequência igual à das ondas:

$$v_{\text{O}} = \lambda f_{\text{B}} \Rightarrow f_{\text{B}} = \frac{v_{\text{O}}}{\lambda}$$

A garrafa move-se em relação às margens com velocidade  $v_{\text{G}}$ .

Assim, as ondas passam pela garrafa com velocidade relativa ( $v_{\text{O}} - v_{\text{G}}$ ). Portanto:

$$(v_{\text{O}} - v_{\text{G}}) = \lambda f_{\text{G}} \Rightarrow f_{\text{G}} = \frac{v_{\text{O}} - v_{\text{G}}}{\lambda}$$

T.416 Resposta: e

No intervalo de tempo  $\Delta t = 0,2 \text{ s}$ , a crista da onda avançou  $\Delta s = 0,5 \text{ m}$ ; portanto:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{0,5 \text{ m}}{0,2 \text{ s}} \Rightarrow v = 2,5 \text{ m/s}$$

O período de oscilação da boia é o mesmo da onda. Da figura dada, obtemos:

$$\lambda = 2,0 \text{ m}$$

Portanto:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 2,5 = \frac{2,0}{T} \Rightarrow T = 0,8 \text{ s}$$

T.417 Resposta: c

Comparando  $y = A \cdot \cos(bt - ax)$  com  $y = a \cdot \cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) + \phi_0\right]$ , vem:

$$\frac{2\pi}{T} = b \quad T = \frac{2\pi}{b} \quad \frac{2\pi}{\lambda} = a \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{a}$$

Como  $v = \lambda f$  e lembrando que  $f = \frac{1}{T}$ , obtemos:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow v = \frac{\frac{2\pi}{a}}{\frac{2\pi}{b}} \Rightarrow v = \frac{b}{a} \Rightarrow v = \frac{6,0 \cdot 10^3}{2,00} \Rightarrow v = 3,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

**T.418 Resposta: c**

Na figura, temos:  $\lambda = 1,0 \text{ m}$

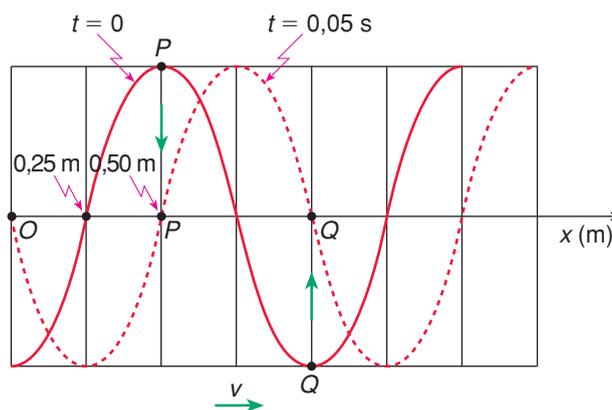
De  $v = \lambda f$  e lembrando que  $f = \frac{1}{T}$ , obtemos:

$$v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow 5,0 = \frac{1,0}{T} \Rightarrow T = 0,20 \text{ s}$$

A distância entre  $P$  e  $Q$  será mínima quando ambos atingirem a posição de equilíbrio (eixo  $Ox$ ). Para isso, o intervalo de tempo decorrido será um quarto do período:

$$\Delta t = \frac{1}{4}T \Rightarrow \Delta t = 0,05 \text{ s}$$

Graficamente, temos:



Outro modo de resolver seria observar que a onda avança  $\Delta s = 0,50 \text{ m} - 0,25 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$ , com velocidade  $v = 5,0 \text{ m/s}$ , logo;

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow 5,0 = \frac{0,25}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 0,05 \text{ s}$$

**T.419 Resposta: c**

I. Incorreta.

Do gráfico, vem:  $\lambda = 8 \text{ m}$

$$\text{De } v = \lambda f, \text{ sendo } v = 24 \text{ m/s, vem: } 24 = 8 \cdot f \Rightarrow f = 3 \text{ Hz}$$

II e III. Corretas.

Os pontos da corda oscilam, realizando um MHS numa direção perpendicular à direção de propagação da onda. No instante considerado, os pontos  $A$ ,  $C$  e  $E$  têm velocidade nula. Logo, são pontos de inversão do MHS. Nesses pontos a aceleração tem módulo máximo e deslocamento transversal em módulo máximo (igual à amplitude das oscilações).

IV. Incorreta.

A velocidade de  $24 \text{ m/s}$  é de propagação da onda, e não dos pontos da corda.

**T.420** Resposta: Corretos: 1, 2 e 3

1) Correto.

$$v_I = \lambda_I \cdot f_0 \quad (1) \quad v_{II} = \lambda_{II} \cdot f_0 \quad (2)$$

Dividindo (1) por (2), vem:  $\frac{v_I}{v_{II}} = \frac{\lambda_I}{\lambda_{II}}$ . Se  $v_I > v_{II}$ , então,  $\lambda_I > \lambda_{II}$ .

2) Correto.

A frequência da onda é a mesma em ambos os meios e igual à frequência da fonte ( $f_0$ ).

3) Correto.

Considerando, por exemplo, uma onda luminosa, sendo  $v_I > v_{II}$ , concluímos que o meio I é menos refringente do que o meio II ( $n_I < n_{II}$ ). Nessas condições, quando a onda se propaga no meio I e incide na junção dos dois meios, parte sofre refração e parte sofre reflexão.

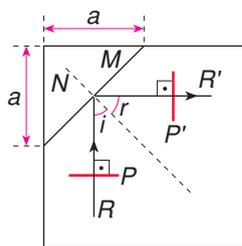
4) Incorreto.

Poderá ocorrer reflexão total. O ângulo de incidência deverá superar o ângulo limite.

5) Incorreto.

O fato de as ondas “quebrarem” na praia, isto é, enfraquecerem, está relacionado com a diminuição da profundidade do mar. Observa-se que, à medida que a onda se propaga para regiões mais rasas, diminui sua velocidade de propagação.

**T.421** Resposta: a



Desenhamos o raio incidente  $R$  e o correspondente raio refletido  $R'$ . A frente de onda do pulso refletido  $P'$  é perpendicular ao raio  $R'$ .

**T.422** Resposta: c

A frequência permanece inalterada.

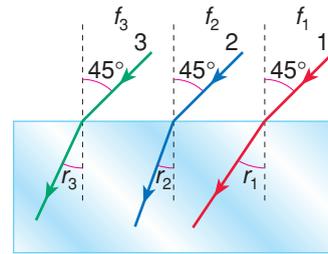
$$\frac{v'}{v} = \frac{n}{n'} \Rightarrow \frac{v'}{3,00 \cdot 10^8} = \frac{1,00}{\frac{4}{3}} \Rightarrow v' = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\frac{v'}{v} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \frac{2,25 \cdot 10^8}{3,00 \cdot 10^8} = \frac{\lambda'}{600} \Rightarrow \lambda' = 450 \text{ nm}$$

T.423 Resposta: e

Da figura 2, concluímos que  $r_1 > r_3 > r_2$ . Sendo  $n_1$ ,  $n_2$  e  $n_3$  os índices de refração da substância para os raios 1, 2 e 3, resulta:  $n_1 < n_3 < n_2$ . Logo, da figura 1, vem:

$$f_1 < f_3 < f_2$$



T.424 Resposta: a

De  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_{\perp}}{\lambda_{\parallel}}$ , sendo  $\lambda_{\perp} < \lambda_{\parallel}$ , resulta  $i < r$ .

No esquema feito por Bernardo, temos:  $i > r$ ; no esquema de Clarice,  $i < r$ . Logo, Clarice traçou um diagrama coerente.

No caso  $\lambda_{\perp} > \lambda_{\parallel}$ , resulta  $i > r$ . No esquema feito por Júlia, temos  $i > r$ ; no esquema de Rafael,  $i < r$ . Logo, Júlia traçou um diagrama coerente.

T.425 Resposta: d

O fenômeno da difração somente será nítido quando as dimensões da abertura ou do obstáculo forem da ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente.

T.426 Resposta: c

O som se difrata pela porta entreaberta da caixa-forte e eventualmente sofre reflexão, incidindo no ouvido do funcionário.

T.427 Resposta: b

O som é uma onda longitudinal; logo, não pode ser polarizado.

T.428 Resposta: d

A luz é uma onda transversal, porque pode ser polarizada.

T.429 Resposta: c

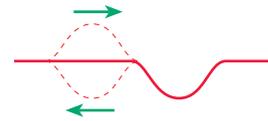
A luz refletida pelo vidro está polarizada. Utilizando-se um filtro polarizador na frente da lente da câmara fotográfica, elimina-se a luz refletida. Com isso, podem-se ver nitidamente os objetos no interior da vitrine, pois a luz proveniente deles não está polarizada.

T.430 Resposta: e

O pulso A sofre inversão ao se refletir na parede e, ao se superpor ao pulso B, há interferência destrutiva. Após a ocorrência do fenômeno, os pulsos seguem seus caminhos, readquirindo suas características originais.

T.431 Resposta: b

A configuração possível na interferência dos pulsos é a da alternativa b, conforme se indica na figura ao lado.

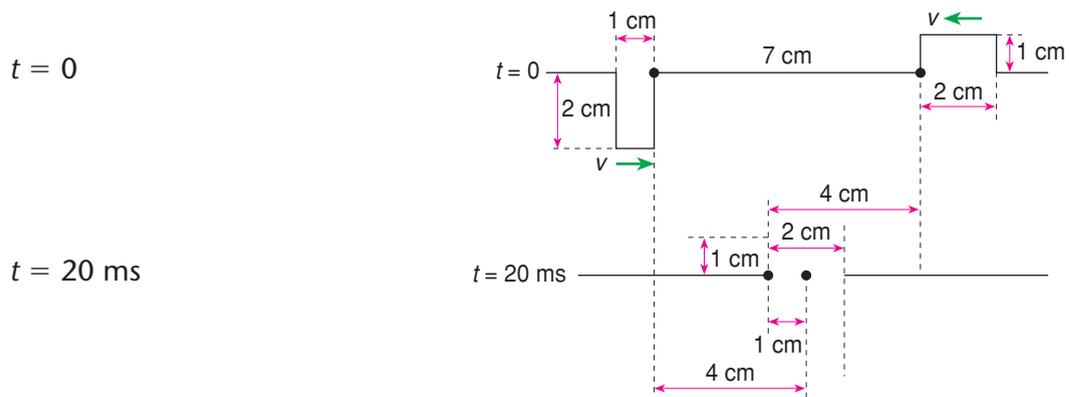


T.432 Resposta: d

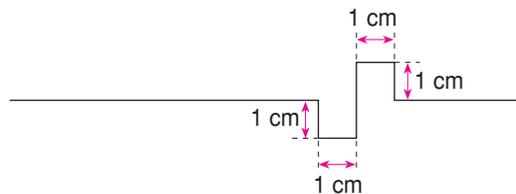
Durante o intervalo de tempo  $\Delta t = 20 \text{ ms} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ , cada ponto dos pulsos percorre a distância:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow \Delta s = 4 \text{ cm}$$

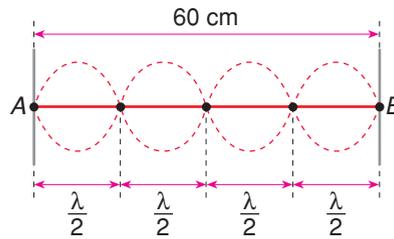
No instante  $t = 0$  e no instante da superposição, temos:



O pulso resultante terá a forma no instante  $t = 20 \text{ ms}$ :



T.433 Resposta: d



Da figura, vem:  $4 \frac{\lambda}{2} = 60 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$

Logo:  $v = \lambda f = 0,3 \cdot 60 \Rightarrow v = 18 \text{ m/s}$

T.434 Resposta: c

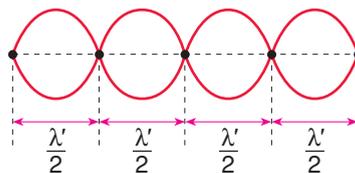
O comprimento das ondas de frequência  $f = 360 \text{ Hz}$  que se superpõem, de acordo com a figura, vale:

$$3 \frac{\lambda}{2} = L \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{3} \text{ (sendo } L \text{ o comprimento da corda)}$$

A velocidade de propagação das ondas nessa corda será dada por:

$$v = \lambda f = \frac{2L}{3} \cdot 360 \Rightarrow v = 240L$$

Como o número de nós é sempre uma unidade maior que o número de ventres, a nova configuração só pode corresponder à alternativa c (cinco nós e quatro ventres):



Vamos confirmar a resposta calculando a frequência das novas ondas que se superpõem:

$$4 \frac{\lambda'}{2} = L \Rightarrow \lambda' = \frac{2L}{4} = 0,5L$$

A velocidade não se altera. Então:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{240L}{0,5L} \Rightarrow f' = 480 \text{ Hz}$$

**T.435 Resposta: b**

Para ondas em fase, a interferência é construtiva, desde que  $PA - PB = p \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $p$  um número par). Se  $p = 0$ , então  $PA = PB$ .

$$\text{Se } p = 2, \text{ vem: } PA - PB = 2 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow PA - PB = \lambda$$

A interferência é destrutiva para  $PA - PB = i \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $i$  ímpar)

$$\text{Se } i = 1, \text{ então: } PA - PB = \frac{\lambda}{2}$$

**T.436 Resposta: b**

Interferência destrutiva:  $MP - MQ = i \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $i$  ímpar)

**T.437 Resposta: d**

Dados:  $F_2P = 85 \text{ cm}$ ;  $F_1P = 80 \text{ cm}$ ;  $F_2P - F_1P = (85 - 80) \text{ cm} = 5 \text{ cm}$

Na interferência destrutiva, temos:

$$F_2P - F_1P = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 5 = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{10}{i} \text{ (sendo } i \text{ ímpar)}$$

$$\text{Se } i = 1, \text{ então: } \lambda = 10 \text{ cm}$$

Para os outros números ímpares, não corresponde nenhum dos valores de  $\lambda$  das alternativas propostas.

**T.438 Resposta: e**

O ponto  $P$  oscila com o mesmo período  $T$  das fontes, isto é, no intervalo de tempo  $T$  a bóia completa uma oscilação. Nesse intervalo ocorrem duas interferências construtivas: superposição de duas cristas e de dois vales, provenientes das fontes  $A$  e  $B$ . Isso é mostrado na alternativa (e).

**T.439 Resposta: c**

O fenômeno descrito deve-se à interferência entre os sinais direto e refletido pela camada atmosférica.

T.440 Resposta: c

O fenômeno de interferência luminosa só pode ser explicado levando-se em conta o caráter ondulatório da luz.

T.441 Resposta: b

Interferência destrutiva de ondas em fase:  $PF' - PF = i \frac{\lambda}{2}$  (sendo  $i$  ímpar)

T.442 Resposta: c

Fontes coerentes são as que emitem ondas em fase, de mesma frequência e mesma amplitude.

T.443 Resposta: b

Interferência construtiva de ondas em fase:

$$F_1P - F_2P = p \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } p \text{ par)}$$

Para a primeira franja clara após a central:

$$p = 2 \Rightarrow F_1P - F_2P = 2 \frac{\lambda}{2}$$

T.444 Resposta: d

$$\Delta = i \frac{\lambda}{2} \text{ (sendo } i \text{ ímpar): interferência destrutiva}$$

Para a primeira franja escura após a central:

$$i = 1 \Rightarrow \Delta = 1 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2\Delta$$

$$\text{Sendo } \Delta = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ m, vem: } \lambda = 2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \lambda = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Esse comprimento de onda corresponde à **cor azul**.

T.445 Resposta: d

Interferência dos raios refletidos pelas ranhuras do CD, que funcionam como uma rede de difração.

**T.446** Resposta: bDados:  $n_f = 1,6$ ;  $\lambda_{ar} = 500 \text{ nm}$ ;  $n_{ar} = 1,0$ Devemos considerar o comprimento de onda da luz no filme ( $\lambda_f$ ):

$$\lambda_f \cdot n_f = \lambda_{ar} \cdot n_{ar} \Rightarrow \lambda_f = \frac{500 \cdot 1,0}{1,6} \Rightarrow \lambda_f = 312,5 \text{ nm}$$

A interferência deve ser destrutiva por luz refletida (eliminação de reflexos), mas as ondas estão em concordância de fase, pois as reflexões de ambas ocorrem com inversão de fase.

Assim, sendo  $d$  a espessura da película, vem:  $2d = i \frac{\lambda_f}{2}$ Como  $i = 1$ , temos:

$$2d = 1 \cdot \frac{312,5}{2} \Rightarrow \boxed{d = 78,1 \text{ nm}}$$

**T.447 Resposta: d**

Do gráfico:  $T = 20 \mu\text{s} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{f = 50.000 \text{ Hz}}$$

Dentre os seres vivos indicados, somente gatos e morcegos podem ouvir o apito.

**T.448 Resposta: b**

Temos:  $\Delta s = 49.000\lambda$ ;  $\Delta t = 7 \text{ s}$ ; logo:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{49.000\lambda}{7} = 7.000\lambda$$

Mas:  $v = \lambda f$ ; portanto:

$$\lambda f = 7.000\lambda \Rightarrow \boxed{f = 7.000 \text{ Hz} = 7 \text{ kHz}}$$

**T.449 Resposta: a**

Sendo  $v = 340 \text{ m/s}$  e  $f = 2 \text{ kHz} = 2.000 \text{ Hz}$  (mais agudo), temos:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{2.000} \Rightarrow \lambda = 170 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = 17 \cdot 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \boxed{\lambda = 17 \text{ cm}}$$

**T.450 Resposta: d**

O som percorre  $\Delta s = 2.046 \text{ m}$  em  $\Delta t = 6 \text{ s}$ . Portanto, a velocidade do som vale:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2.046}{6} \Rightarrow v = 341 \text{ m/s}$$

Como a frequência é  $f = 6,82 \text{ kHz} = 6.820 \text{ Hz}$ , o comprimento de onda vale:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{341}{6.820} \Rightarrow \boxed{\lambda = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}}$$

**T.451 Resposta: c**

O instante em que o alto-falante emite o som de frequência  $f_1 = 1.080$  Hz é:

$$1.080 = 1.000 + 200 t_1 \Rightarrow 200 t_1 = 80 \Rightarrow t_1 = 0,4 \text{ s}$$

Mas o som leva 0,1 s para chegar ao ouvinte, pois  $D = 34$  m e  $v_{\text{som}} = 340$  m/s.

Então, no instante em que o alto-falante está emitindo o som de frequência  $f_1$ , o ouvinte ouve o som emitido 0,1 s antes, isto é, em  $t_2 = 0,3$  s. Na fórmula:

$$f_2 = 1.000 + 200 \cdot 0,3 \Rightarrow f_2 = 1.060 \text{ Hz}$$

**T.452 Resposta: e**

I. Correta.

A intensidade está relacionada com a energia transportada pela onda sonora.

II. Correta.

A altura relaciona-se com a frequência do som.

III. Correta.

O timbre nos permite diferenciar sons de mesma altura e intensidade.

**T.453 Resposta: d**

Estando a maior distância das caixas, Paulo ouvirá sons de menor intensidade. A altura e o timbre não se modificam.

**T.454 Resposta: d**

A palavra “ferir”, no contexto dos versos, refere-se à **intensidade** (som forte) e à altura (som agudo), que, por sua vez, corresponde à **frequência** do som.

**T.455 Resposta: c**

Os harmônicos que compõem uma onda sonora caracterizam o **timbre** da fonte emissora.

**T.456** Resposta: Soma = 94 (02 + 04 + 08 + 16 + 64)

(01) Incorreta.

Os sons dos instrumentos têm a mesma altura (frequência). Portanto, a percepção da posição do instrumento não pode estar baseada nessa qualidade.

(02) Correta.

O timbre diferente dos instrumentos possibilita definir as posições.

(04) Correta.

A frequência é a grandeza que caracteriza a nota musical.

(08) Correta.

A altura dos sons é definida pela frequência. Portanto, mesma altura corresponde a mesma frequência.

(16) Correta.

A forma da onda é definida pelos harmônicos que acompanham a frequência fundamental, caracterizando o timbre da fonte emissora.

(32) Incorreta.

De acordo com o enunciado, os sons emitidos pela flauta e pelo violino têm a mesma altura.

(64) Correta.

O "mais forte" da frase indica que o som tem maior intensidade.

**T.457** Resposta: Soma = 15 (01 + 02 + 04 + 08)

(01) Correta.

Um som grave apresenta frequência menor que um som agudo.

(02) Correta.

A intensidade sonora está relacionada com a energia transportada pela onda e, portanto, com sua amplitude.

(04) Correta.

Os morcegos se orientam por meio da emissão de ultra-sons e sua reflexão (eco) nos obstáculos.

(08) Correta.

Uma mesma nota musical (som com mesma frequência e intensidade) apresenta timbre diferente para instrumentos distintos.

**T.458 Resposta: c**

Como  $\beta_1 = 40$  dB e  $\beta_2 = 60$  dB, então:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 \Rightarrow \Delta\beta = 60 \text{ dB} - 40 \text{ dB} \Rightarrow \Delta\beta = 20 \text{ dB}$$

Mas:  $\Delta\beta = 10 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$ ; logo:

$$20 = 10 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) \Rightarrow \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = 2 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^2 \Rightarrow \boxed{I_2 = 100 I_1}$$

**T.459 Resposta: c**

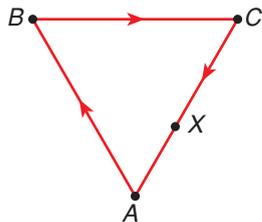
Como  $\beta_1 = 20$  dB e  $\beta_2 = 70$  dB, então:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 70 - 20 \Rightarrow \Delta\beta = 50 \text{ dB}$$

Mas:  $\Delta\beta = 10 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right)$ ; logo:

$$50 = 10 \cdot \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) \Rightarrow \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right) = 5 \Rightarrow \boxed{\frac{I_2}{I_1} = 10^5}$$

**T.460 Resposta: c**



Velocidade do som:  $v_{\text{som}} = 340$  m/s

Velocidade do corredor:  $v_c = 10$  m/s

Distância percorrida pelo som:

$$d = AB + BC + CA = 3 \cdot 340 \Rightarrow d = 1.020 \text{ m}$$

Para o som:  $d = v_{\text{som}} \cdot \Delta t \Rightarrow$

$$\Rightarrow 1.020 = 340 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 3 \text{ s}$$

Para o corredor:  $XA = v_c \cdot \Delta t = 10 \cdot 3 \Rightarrow \boxed{XA = 30 \text{ m}}$

**T.461 Resposta: c**

Se ele dá 30 palmas por minuto, o intervalo de tempo entre 2 palmas consecutivas é:

$$\Delta t = \frac{1 \text{ min}}{30} \Rightarrow \Delta t = \frac{60 \text{ s}}{30} \Rightarrow \Delta t = 2 \text{ s}$$

Esse é o intervalo de tempo para o som de cada palma ir até a parede, refletir e voltar até o ouvido da pessoa, superpondo-se ao som da palma seguinte. O som percorreu então  $\Delta s = 2x$ , sendo  $x$  a distância do ouvinte à parede.

Como  $v_{\text{som}} = 330$  m/s, vem:

$$\Delta s = v_{\text{som}} \cdot \Delta t \Rightarrow 2x = 330 \cdot 2 \Rightarrow 2x = 660 \Rightarrow \boxed{x = 330 \text{ m}}$$

**T.462 Resposta: b**

O pulso que se reflete na parede anterior da carótida é recebido pelo receptor no instante  $t = 15 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ , após percorrer:  $\Delta s = 2 \cdot (d_1 + d_2)$

O pulso que se reflete na parede posterior é recebido no instante  $t' = 35 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ , após percorrer:

$$\Delta s' = 2 \cdot (d_1 + 2d_2) + 2D \Rightarrow \Delta s' = \Delta s + 2D \quad \textcircled{1}$$

Mas:  $\Delta s' = v \cdot t'$ ;  $\Delta s = vt$

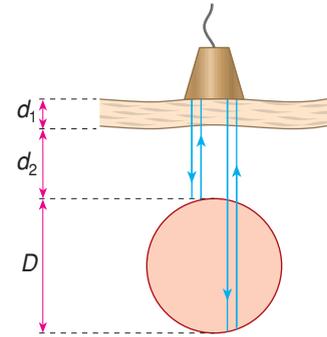
Substituindo em  $\textcircled{1}$ , obtemos

$$vt' = vt + 2D \Rightarrow 2D = vt' - vt \Rightarrow 2D = v(t' - t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2D = 1,5 \cdot 10^5 (35 \cdot 10^{-6} - 15 \cdot 10^{-6}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2D = 1,5 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2D = 3 \Rightarrow \boxed{D = 1,5 \text{ cm}}$$



**T.463 Resposta: a**

Na refração de uma onda, alteram-se velocidade de propagação e comprimento de onda, mas a frequência não se modifica.

**T.464 Resposta: c**

I. Incorreta.

Ao passar de um meio para outro, o período da onda permanece constante.

II. Incorreta.

A frequência da onda não se modifica quando a onda passa para outro meio.

III. Correta.

Sendo constante a frequência, a velocidade e o comprimento de onda são diretamente proporcionais. Portanto, o menor comprimento de onda corresponde à menor velocidade de propagação (ar).

**T.465 Resposta: c**

I. Incorreta.

A frequência permanece constante.

II. Correta.

Nos fluidos, as ondas mecânicas são longitudinais, e nos sólidos, têm duplo caráter – longitudinal e transversal.

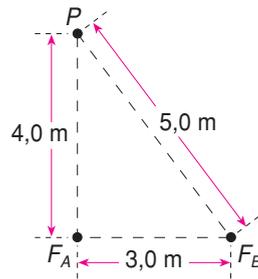
III. Incorreta.

Ao passar do líquido (água) para o sólido (rocha), a velocidade aumenta, o mesmo ocorrendo com o comprimento de onda.

IV. Correta.

Nos sólidos, as ondas mecânicas têm velocidade maior.

T.466 Resposta: e



Em  $P$  ocorre interferência destrutiva (sinal muito fraco). Como as ondas estão em fase, a condição para que isso ocorra é:

$$F_{BP} - F_{AP} = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 5,0 - 4,0 = i \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 1 = i \frac{\lambda}{2}$$

Fazendo  $i = 1$ :  $\lambda = 2,0 \text{ m}$

T.467 Resposta: d

I. Correta.

A diferença de caminhos é igual à distância entre as fontes  $\left(\Delta = \frac{\lambda}{2}\right)$ .

Logo, a interferência é destrutiva.

II. Correta.

Na mediatriz, as distâncias percorridas pelas ondas são iguais  $(\Delta = 0)$ .

Portanto, a interferência é construtiva.

III. Incorreta.

A condição anterior vale para o ponto médio entre as fontes.

T.468 Resposta: e

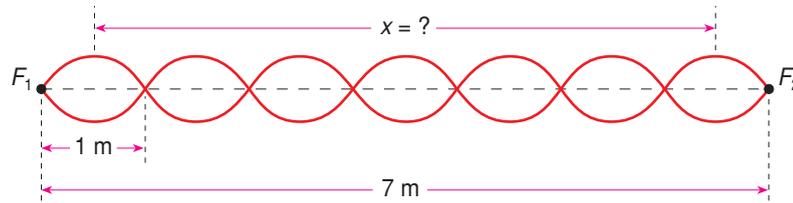
O comprimento de onda  $\lambda$ , sendo  $v = 340 \text{ m/s}$  e  $f = 170 \text{ Hz}$ , vale:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{170} \Rightarrow \lambda = 2 \text{ m}$$

Entre os dois alto-falantes formam-se ondas estacionárias. Na posição de cada uma das fontes, há um nó. Chamando de  $N$  o número de distâncias de nó a nó no intervalo, vem:

$$N \cdot \frac{\lambda}{2} = 7 \text{ m} \Rightarrow N \frac{2}{2} = 7 \Rightarrow N = 7$$

Então, a onda estacionária que se forma tem o aspecto:



Da figura, a maior distância entre dois máximos (ventres) é:

$$x = 6 \frac{\lambda}{2} = 6 \frac{2}{2} \Rightarrow \boxed{x = 6 \text{ m}}$$

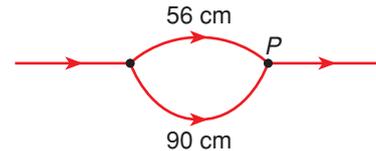
**T.469 Resposta: e**

Dados:  $f = 1.000 \text{ Hz}$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$

De  $\lambda = \frac{v}{f}$ , vem:  $\lambda = \frac{340}{1.000} \Rightarrow \lambda = 0,34 \text{ m}$

De acordo com a figura, a diferença de caminhos das ondas que se superpõem em  $P$  vale:

$$\Delta = 90 - 56 \Rightarrow \Delta = 34 \text{ cm} \Rightarrow \Delta = 0,34 \text{ m}$$

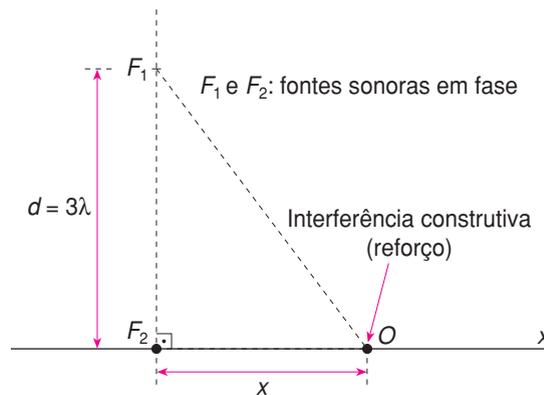


Comparando esses resultados, vem:  $\Delta = \lambda \Rightarrow$

$$\boxed{\Delta = 2 \frac{\lambda}{2}}$$

A interferência em  $P$  é construtiva, ocorrendo um reforço do som.

**T.470 Resposta: b**



Com base na figura, acima, como a interferência em  $O$  deve ser construtiva, podemos escrever:

$$F_1O - F_2O = p \frac{\lambda}{2} \quad \textcircled{1}$$

$$(p = 0, 2, 4, 6 \dots)$$

Na figura:  $F_2O = x$ ;  $F_1F_2 = d = 3\lambda$

Aplicando o teorema de Pitágoras, vem:

$$(F_1O)^2 = d^2 + x^2 \Rightarrow (F_1O)^2 = 9\lambda^2 + x^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1O = \sqrt{9\lambda^2 + x^2}$$

Substituindo em ①, obtemos:

$$\sqrt{9\lambda^2 + x^2} - x = p \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sqrt{9\lambda^2 + x^2} = p \frac{\lambda}{2} + x$$

Elevando ao quadrado:

$$9\lambda^2 + \cancel{x^2} = p^2 \frac{\lambda^2}{4} + p\lambda x + \cancel{x^2} \Rightarrow 9\lambda^2 = p^2 \frac{\lambda^2}{4} + p\lambda x \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 9\lambda = p^2 \frac{\lambda}{4} + px \Rightarrow px = 9\lambda - p^2 \frac{\lambda}{4} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{p} \cdot \left(9 - \frac{p^2}{4}\right)$$

Substituindo os valores de  $p$ :

$$p = 0 \text{ (descartado)}$$

$$p = 2 \Rightarrow x = 4\lambda$$

$$p = 4 \Rightarrow x = \frac{5}{4}\lambda$$

$$p = 6 \Rightarrow x = 0$$

Como o exercício pede a menor distância não nula, a resposta é:

$$x = \frac{5}{4}\lambda$$

**T.471 Resposta: d**

A frequência de batimento é dada pela diferença das frequências das ondas que interferem ( $f_1 = 100 \text{ Hz}$  e  $f_2 = 102 \text{ Hz}$ ):

$$f_b = f_2 - f_1 = 102 - 100 \Rightarrow f_b = 2 \text{ Hz}$$

**T.472 Resposta: d**

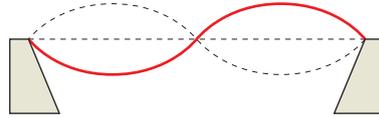
O estado estacionário que se estabelece com as oscilações do viaduto corresponde ao harmônico fundamental ou 1º harmônico:



A frequência é dada pela relação entre o número de oscilações (75) e o intervalo de tempo (30 s):

$$f_1 = \frac{75}{30} \Rightarrow f_1 \approx 2,5 \text{ Hz}$$

A próxima forma de onda estacionária que pode se estabelecer no sistema é o 2º harmônico, com mais um nó entre os nós extremos:



A frequência desse 2º harmônico é o dobro da frequência fundamental:

$$f_2 = 2f_1 = 2 \cdot 2,5 \Rightarrow f_2 = 5,0 \text{ Hz}$$

**T.473 Resposta: c**

Frequência fundamental:  $f_0 = 100 \text{ Hz}$

2º harmônico:  $f_2 = 2f_0 = 2 \cdot 100 \Rightarrow f_2 = 200 \text{ Hz}$

3º harmônico:  $f_3 = 3f_0 = 3 \cdot 100 \Rightarrow f_3 = 300 \text{ Hz}$

4º harmônico:  $f_4 = 4f_0 = 4 \cdot 100 \Rightarrow f_4 = 400 \text{ Hz}$

5º harmônico:  $f_5 = 5f_0 = 5 \cdot 100 \Rightarrow f_5 = 500 \text{ Hz}$

**T.474 Resposta: e**

I. Incorreta.

Tendo em vista a fórmula da frequência na corda  $\left(f = n \frac{v}{2L}\right)$ , com a redução do comprimento pela metade, a frequência dobra, sendo emitida uma nota de uma oitava acima.

II. Correta.

Poderão ser emitidas notas oitava acima ou oitava abaixo que, embora tenham frequências diferentes, correspondem à mesma nota.

III. Correta.

Se quadruplicarmos o comprimento, a frequência se reduzirá a  $\frac{1}{4}$  da anterior, ainda correspondendo à mesma nota musical.

IV. Incorreta.

A nota emitida vai depender, entre outros fatores, da tensão a que estão submetidas.

V. Correta.

Se dobrarmos o comprimento da corda, reduziremos à metade a frequência emitida, isto é, uma oitava abaixo.

**T.475 Resposta: a**

De acordo com a fórmula  $f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ , percebemos que, se o comprimento da corda diminuir ou se a tensão aumentar, a frequência aumenta.

**T.476 Resposta: b**

Pela fórmula  $v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$  conclui-se que, para dobrar a velocidade de propagação da onda numa mesma corda (densidade linear  $\mu$  constante), deve-se quadruplicar a intensidade da força de tração  $T$ .

Se o comprimento  $L$  e a tração  $T$  forem mantidos, a velocidade será duplicada se a massa da corda for reduzida à quarta parte de seu valor inicial, pois  $\mu = \frac{m}{L}$ .

**T.477 Resposta: c**

Para a corda de comprimento  $L = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$ , a frequência fundamental é  $f_1 = 400 \text{ Hz}$ . Aplicando a fórmula da frequência, obtemos:

$$f_1 = 1 \frac{v}{2L} \Rightarrow v = 2L \cdot f_1 = 2 \cdot 0,6 \cdot 400 \Rightarrow v = 480 \text{ m/s}$$

Se a outra corda é exatamente igual e está submetida à mesma tensão, a velocidade das ondas é a mesma, só mudando o comprimento, que passa a ser  $L'$ . Nessas condições, ela emite o 3º harmônico ( $f_3 = 600 \text{ Hz}$ ). Aplicando a fórmula, vem:

$$f_3 = 3 \frac{v}{2L'} \Rightarrow L' = \frac{3v}{2f_3} = \frac{3 \cdot 480}{2 \cdot 600} \Rightarrow L' = 1,2 \text{ m} = 120 \text{ cm}$$

**T.478 Resposta: c**

Para os dois fios podemos escrever as seguintes fórmulas:

$$f_1 = \frac{1}{2L_1} \sqrt{\frac{T}{\mu_1}} \quad \textcircled{1} \qquad f_2 = \frac{1}{2L_2} \sqrt{\frac{T}{\mu_2}} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo  $\textcircled{2}$  por  $\textcircled{1}$ , obtemos:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{L_1}{L_2} \sqrt{\frac{\mu_1}{\mu_2}} \quad \textcircled{3}$$

Sendo  $\rho$  a densidade (massa específica) do material, temos:

$$\mu_1 = \rho S_1 = \rho \cdot \pi R_1^2 \qquad \mu_2 = \rho S_2 = \rho \cdot \pi R_2^2$$

Substituindo  $\mu_1$  e  $\mu_2$  em (3), obtemos:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{L_1}{L_2} \sqrt{\frac{\rho \cdot \pi R_1^2}{\rho \cdot \pi R_2^2}} \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Como  $L_2 = 3L_1$  e  $R_2 = \frac{R_1}{2}$ , vem:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{L_1}{3L_1} \cdot \frac{2R_1}{R_1} \Rightarrow \frac{f_2}{f_1} = \frac{2}{3} \Rightarrow f_2 = \frac{2}{3} f_1$$

Como  $f_1 = 600$  Hz, obtemos:

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

**T.479 Resposta: b**

Vimos que, para a frequência fundamental da corda, podemos escrever:  $f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Mg}{\mu}}$

Elevando ao quadrado:

$$f^2 = \frac{1}{4L^2} \cdot \frac{Mg}{\mu} \Rightarrow M = \frac{f^2 \mu \cdot 4L^2}{g}$$

Mas:  $f = 200$  Hz;  $L = 0,5$  m;  $\mu = 1$  g/m =  $10^{-3}$  kg/m;  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>; logo:

$$M = \frac{40.000 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot (0,5)^3}{10} \Rightarrow \boxed{M = 4 \text{ kg}}$$

**T.480 Resposta: c**

Existe o perigo da ponte entrar em **ressonância**, pois a marcha fornece energia periodicamente à mesma, fazendo-a vibrar. Se a frequência de vibração for igual à sua frequência natural, esse fenômeno (ressonância) pode ocorrer com o risco de destruir a ponte.

**T.481 Resposta: e**

O ar no interior da cavidade entra em ressonância com o **ruído do ambiente**, intensificando-o. A frequência ressonante depende da forma geométrica da cavidade.

**T.482 Resposta: b**

Dados:  $L = 2,5$  cm =  $2,5 \cdot 10^{-2}$  m (tubo fechado);  $v = 340$  m/s

$$\text{De } f = \frac{v}{4L}, \text{ vem: } f = \frac{340}{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{f = 3,4 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 3,4 \text{ kHz}}$$

**T.483 Resposta: e**

Dados:  $L = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$ ;  $f = 1.700 \text{ Hz}$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$

$$\text{De } \lambda = \frac{v}{f}, \text{ vem: } \lambda = \frac{340}{1.700} \Rightarrow \lambda = 0,2 \text{ m}$$

Como a extremidade fechada é necessariamente um nó, as alternativas possíveis são a e e. Calculando  $\lambda$  para cada uma delas:

$$\text{a) } \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} = L \Rightarrow \frac{3\lambda}{4} = 0,25 \Rightarrow \lambda = \frac{1}{3} \text{ m (incorreta)}$$

$$\text{e) } \lambda + \frac{\lambda}{4} = L \Rightarrow \frac{5\lambda}{4} = 0,25 \Rightarrow \lambda = 0,2 \text{ m (correta)}$$

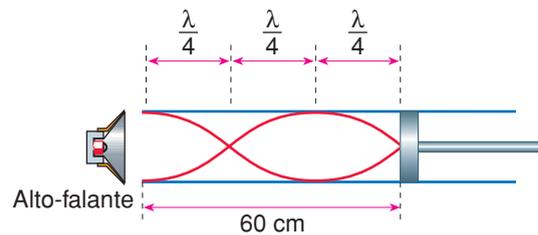
**T.484 Resposta: c**

Dado:  $v = 340 \text{ m/s}$

Da figura, vem:

$$3 \frac{\lambda}{4} = 60 \text{ cm} = 0,60 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 0,8 \text{ m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,8} \Rightarrow f = 425 \text{ Hz}$$

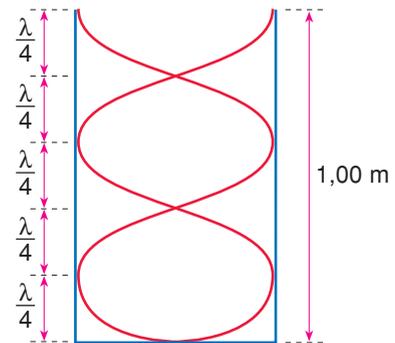


**T.485 Resposta: b**

Dado:  $v = 340 \text{ m/s}$

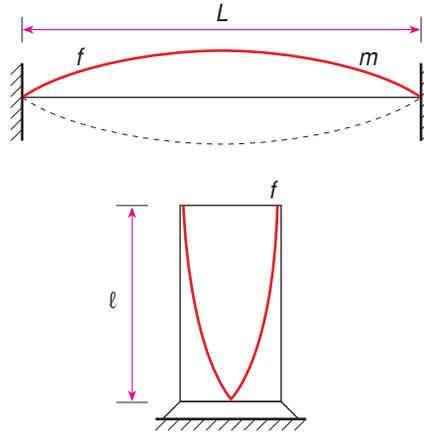
$$\text{Da figura: } 5 \frac{\lambda}{4} = 1,00 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 0,80 \text{ m}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,80} \Rightarrow f = 425 \text{ Hz}$$



T.486 Resposta: b

A situação proposta corresponde ao seguinte esquema:



Como há ressonância entre o fio e o tubo, ambos no modo fundamental, podemos escrever:

$$f_{\text{fio}} = f_{\text{tubo}}$$

A frequência do tubo (fechado), sendo  $c$  a velocidade do som no ar, é dada por:

$$f_{\text{tubo}} = \frac{c}{4\ell}$$

A frequência fundamental no fio é:

$$f_{\text{fio}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}}$$

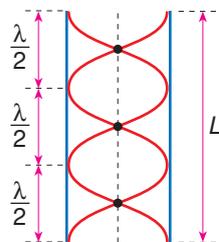
Igualando essas frequências, obtemos:

$$\frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T \cdot L}{m}} = \frac{c}{4\ell} \Rightarrow \frac{1}{L} \sqrt{\frac{TL}{m}} = \frac{c}{2\ell}$$

Elevando ao quadrado, vem:

$$\frac{1}{L^2} \cdot \frac{TL}{m} = \left(\frac{c}{2\ell}\right)^2 \Rightarrow T = \left(\frac{c}{2\ell}\right)^2 \cdot mL$$

T.487 Resposta: c



Dado:  $v = 340$  m/s

Da figura, temos:

$$L = 3 \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{3}$$

De  $v = \lambda f$ , vem:

$$340 = \frac{2L}{3} \cdot 30 \Rightarrow L = 17 \text{ m}$$

**T.488 Resposta: a**

Dados:  $v = 320$  m/s;  $f_1 = 80$  Hz (fundamental);  $f_2 = 240$  Hz;  $f_3 = 400$  Hz

Com esses valores, obtemos:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{240}{80} = 3 \quad \frac{f_3}{f_1} = \frac{400}{80} = 5$$

Sendo assim, o tubo é fechado, pois as frequências dos harmônicos são múltiplos ímpares da frequência fundamental.

$$\text{De } f_1 = \frac{v}{4L}, \text{ vem: } 80 = \frac{320}{4L} \Rightarrow L = 1,0 \text{ m}$$

Portanto, I, II e III estão corretas.

**T.489 Resposta: e**

I. Incorreta.

No tubo aberto:  $\lambda = 2L$

II. Incorreta.

No tubo fechado:  $\lambda = 4L$

III. Incorreta.

Os tubos sonoros fechados só emitem os harmônicos cujas frequências sejam múltiplos ímpares da frequência fundamental.

**T.490 Resposta: c**

Comparando um tubo aberto com um tubo fechado de mesmo comprimento, os respectivos sons fundamentais são dados por:

$$f_a = \frac{v}{2L} \quad f_f = \frac{v}{4L}$$

Dessa comparação, concluímos:  $f_a = 2f_f$

Portanto, se a frequência aumentou, um dos tubos está aberto.

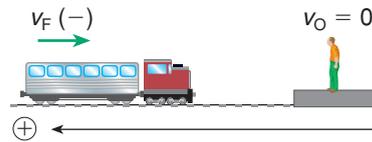
O comprimento pode ser determinado levando-se em conta que  $f_a = 260$  Hz e  $v = 340$  m/s. Substituindo esses valores na fórmula para o tubo aberto, obtemos:

$$260 = \frac{340}{2L} \Rightarrow 2L = \frac{340}{260} \Rightarrow L = 0,65 \text{ m}$$

**T.491 Resposta: a**

Quando a ambulância se aproxima, o observador percebe um som de maior frequência e de maior intensidade.

T.492 Resposta: a

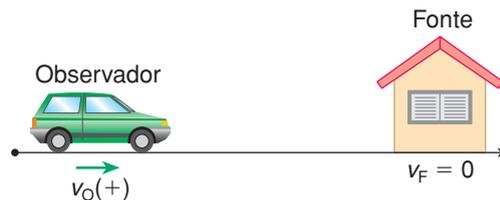


Dados:  $v_F = 10 \text{ m/s}$ ;  $f = 1,0 \text{ kHz} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ ;  $v = 330 \text{ m/s}$

$$f' = f \cdot \left( \frac{v}{v - v_F} \right) \Rightarrow f' = 1,0 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{330}{330 - 10} \right) \Rightarrow f' = 1,03 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{De } \lambda' = \frac{v}{f'}, \text{ vem: } \lambda' = \frac{330}{1,03 \cdot 10^3} \Rightarrow \lambda' \approx 0,32 \text{ m}$$

T.493 Resposta: b



Dados:  $v = 350 \text{ m/s}$ ;  $f = 700 \text{ Hz}$ ;  $v_O = 80 \text{ km/h} = \frac{80}{3,6} \text{ m/s} \approx 22,2 \text{ m/s}$

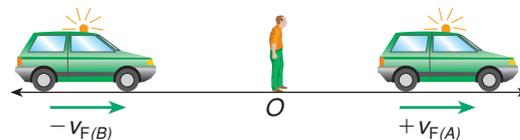
$$\text{Assim, temos: } f' = f \cdot \left( \frac{v + v_O}{v} \right) \Rightarrow f' = 700 \cdot \left( \frac{350 + 22,2}{350} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f' = 700 \cdot \frac{372,2}{350} \Rightarrow f' \approx 745 \text{ Hz}$$

T.494 Resposta: e

Dados:

$v = 340 \text{ m/s}$ ;  $f'_A = f'_B$  e  $v_{F(A)} = v_{F(B)} = 125 \text{ km/h} = \frac{125}{3,6} \text{ m/s} \Rightarrow v_F \approx 34,7 \text{ m/s}$



$$f'_B = f_B \cdot \left( \frac{v}{v - v_F} \right) \Rightarrow f_B = f'_B \cdot \left( \frac{v - v_F}{v} \right) \quad \textcircled{1}$$

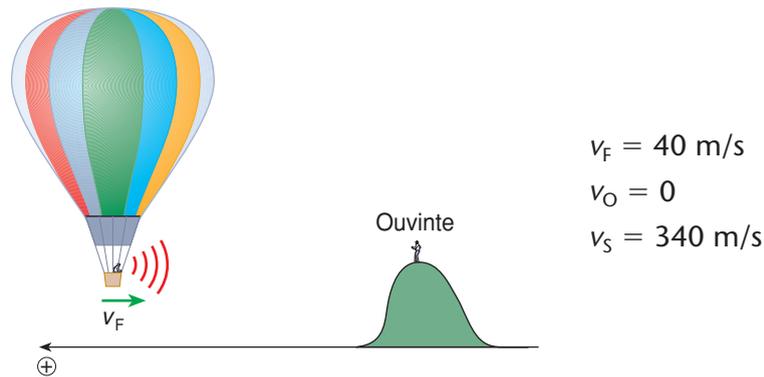
$$f'_A = f_A \cdot \left( \frac{v}{v + v_F} \right) \Rightarrow f_A = f'_A \cdot \left( \frac{v + v_F}{v} \right) \quad \textcircled{2}$$

Dividindo ② por ①:

$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{\cancel{f'_A}(v + v_F)}{\cancel{f'_B}(v - v_F)} \Rightarrow \frac{f_A}{f_B} = \left( \frac{340 + 34,7}{340 - 34,7} \right) \Rightarrow \frac{f_A}{f_B} = \frac{374,7}{305,3} \Rightarrow \boxed{\frac{f_A}{f_B} \approx 1,23}$$

T.495 Resposta: d

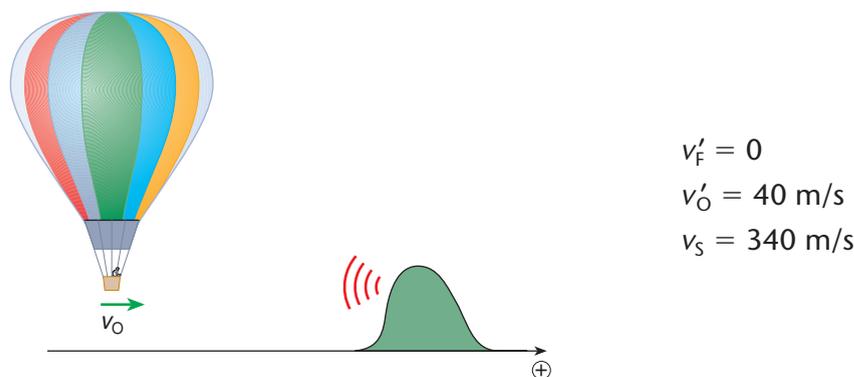
Vamos admitir de início um ouvinte fictício na montanha da qual o balão se aproxima:



Se  $f = 570 \text{ Hz}$  a frequência emitida e  $f_O$  a frequência ouvida, teremos:

$$f_O = f \cdot \frac{v_S}{v_S - v_F} = 570 \cdot \frac{340}{340 - 40} \Rightarrow f_O = 646 \text{ Hz}$$

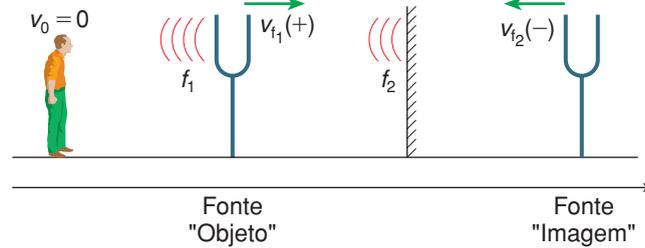
Após a reflexão, a montanha passa a ser a fonte, emitindo com frequência  $f' = f_O = 646 \text{ Hz}$ . O receptor no balão corresponde ao ouvinte, registrando uma frequência  $f'_O$ . Esquemáticamente:



Aplicando a fórmula:

$$f'_O = f' \cdot \frac{v_S + v'_O}{v_S} = 646 \cdot \frac{340 + 40}{340} \Rightarrow \boxed{f'_O = 722 \text{ Hz}}$$

T.496 Resposta: c



Dados:  $f = 400 \text{ Hz}$ ;  $v = 340 \text{ m/s}$ ;  $v_F = 1,7 \text{ m/s}$

Para as ondas diretas:  $f_1 = f \cdot \left( \frac{v}{v + v_{F_1}} \right)$ ; logo:

$$f_1 = 400 \cdot \left( \frac{340}{340 + 1,7} \right) \Rightarrow f_1 = 398 \text{ Hz}$$

Para as ondas refletidas:  $f_2 = f \cdot \left( \frac{v}{v - v_{F_2}} \right)$ ; logo:

$$f_2 = 400 \cdot \left( \frac{340}{340 - 1,7} \right) \Rightarrow f_2 = 402 \text{ Hz}$$

Para os batimentos, temos:

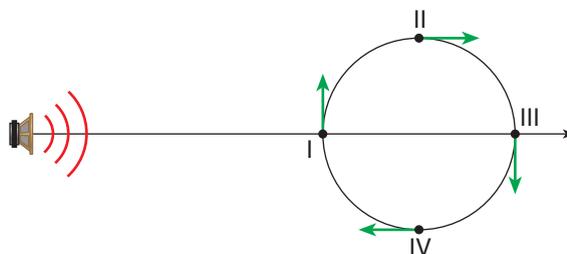
$$f_3 = f_2 - f_1 \Rightarrow f_3 = 402 - 398 \Rightarrow f_3 = 4 \text{ Hz}$$

T.497 Resposta: a

Nas posições I e III, a velocidade do ouvinte tem direção perpendicular à direção de propagação, não produzindo variação na frequência ouvida.

Na posição II, há afastamento do ouvinte em relação à fonte, de modo que a frequência ouvida é **menor** que a frequência emitida (som mais **grave**).

Na posição IV, há aproximação do ouvinte em relação à fonte. Então, a frequência ouvida é **maior** que a frequência emitida (som mais **agudo**).

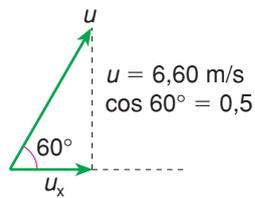


T.498 Resposta: d

No efeito Doppler para a luz, o movimento da estrela produz alteração na frequência e no comprimento de onda da onda luminosa por ela emitida.

T.499 Resposta: b

Calculando a velocidade do atleta na direção da propagação da onda:



$$u_x = u \cdot \cos 60^\circ \Rightarrow u_x = 6,60 \cdot 0,5 \Rightarrow u_x = 3,30 \text{ m/s}$$

A frequência do som emitido é dada por:  $f = \frac{v_{\text{som}}}{\lambda}$

Sendo  $v_{\text{som}} = 330 \text{ m/s}$  e  $\lambda = 16,5 \text{ cm} = 0,165 \text{ m}$ , temos:

$$f = \frac{330}{0,165} \Rightarrow f = 2.000 \text{ Hz}$$

Orientando o eixo do ouvinte (atleta) para a fonte, teremos:



$$f' = f \cdot \left( \frac{v_{\text{som}} - u_x}{v_{\text{som}}} \right) \Rightarrow f' = 2.000 \cdot \left( \frac{330 - 3,30}{330} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f' = 2.000 \cdot \frac{326,7}{330} \Rightarrow \boxed{f' = 1.980 \text{ Hz}}$$