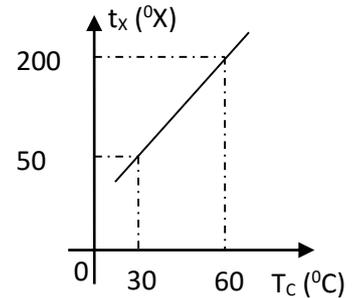


Questões – termometria e expansão térmica de sólidos e líquidos

1. Mediu-se a temperatura de um corpo com dois termômetros: um graduado na escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e o outro em uma escala X ($^{\circ}\text{X}$). O gráfico ao lado mostra a relação entre as escalas. Determine:

- A equação de conversão entre as escalas X e Celsius.
- A temperatura que medida na escala Celsius apresenta o dobro do valor da medida dada pela escala X.



2. Um termômetro de gás a volume constante é calibrado em gelo seco (isto é, dióxido de carbono em estado sólido, que tem uma temperatura de $-80,0^{\circ}\text{C}$) e em álcool etílico fervente ($78,0^{\circ}\text{C}$). As duas pressões são $0,900\text{ atm}$ e $1,635\text{ atm}$. (a) Qual é o valor do zero absoluto, em Celsius, produzido por esta calibração? Qual é a pressão (b) no ponto de congelamento da água e (c) no ponto de ebulição da água?

3. Em um termômetro de gás a volume constante, a pressão a $20,0^{\circ}\text{C}$ é de $0,980\text{ atm}$. (a) Qual é a pressão a $45,0^{\circ}\text{C}$? (b) Qual é a temperatura se a pressão for $0,500\text{ atm}$?

4. O nitrogênio líquido tem um ponto de ebulição de $-195,81^{\circ}\text{C}$ na pressão atmosférica. Expresse esta temperatura (a) em graus Fahrenheit e (b) em kelvins.

5. A diferença de temperatura entre o interior e a parte externa de um motor de automóvel é de 450°C . Expresse esta diferença de temperatura (a) na escala Fahrenheit e (b) na escala Kelvin.

6. A armação de um par de óculos é feita de resina epóxi. À temperatura ambiente ($20,0^{\circ}\text{C}$), a armação tem aberturas circulares das lentes de $2,20\text{ cm}$ de raio. A que temperatura a armação deve ser aquecida se lentes de $2,21\text{ cm}$ de raio tiverem de ser introduzidas nela? O coeficiente médio de expansão linear do epóxi é de $1,30 \times 10^{-4} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

7. O elemento ativo de um determinado laser é feito de uma haste de vidro de $30,0\text{ cm}$ de comprimento por $1,50\text{ cm}$ de diâmetro. Se a temperatura da haste aumentar $65,0^{\circ}\text{C}$ qual é o aumento (a) em seu comprimento, (b) em seu diâmetro e (c) em seu volume? Suponha que o coeficiente médio de expansão linear do vidro é $9,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

8. Um furo quadrado com $8,00\text{ cm}$ de lado é cortado em uma placa de cobre. (a) Calcule a mudança na área desse furo se a temperatura da placa for aumentada de $50,0\text{ K}$. (b) Essa mudança representa um aumento ou uma diminuição na área incluída pelo furo? Suponha que o coeficiente médio de expansão linear do cobre é $17,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

9. O coeficiente médio de expansão volumar do tetracloreto de carbono é $5,81 \times 10^{-4} (^{\circ}\text{C})^{-1}$. Se um recipiente de aço de $50,0$ galões estiver completamente cheio com tetracloreto de carbono quando a temperatura for $10,0^{\circ}\text{C}$, quanto de excesso derramará quando a temperatura se elevar para $30,0^{\circ}\text{C}$?

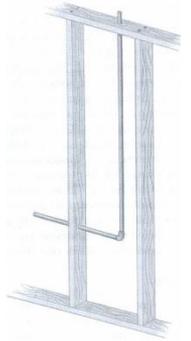
10. A $20,0^{\circ}\text{C}$, um anel de alumínio tem um diâmetro interno de $5,000\text{ cm}$ e uma haste de bronze tem um diâmetro de $5,050\text{ cm}$. (a) Se somente o anel for aquecido, qual temperatura ele deve alcançar de tal forma que se encaixe sobre a haste? (b) Se ambos forem aquecidos juntos, que temperatura eles devem alcançar para que o anel se encaixe sobre a haste? Esse último processo funcionaria? Suponha que os coeficientes médios de expansão linear do alumínio e do bronze sejam, respectivamente, $24,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$ e $19,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

11. Um cilindro oco de alumínio com $20,0\text{ cm}$ de profundidade tem uma capacidade interna de $2,000\text{ L}$ a $20,0^{\circ}\text{C}$. Ele é completamente cheio com terebintina e, então, lentamente aquecido até $80,0^{\circ}\text{C}$. (a) Quanta terebintina transborda? (b) Se o cilindro for então resfriado para $20,0^{\circ}\text{C}$, a que distância abaixo da borda do cilindro ficará a superfície da terebintina? Suponha que o coeficiente médio de expansão linear do alumínio é $24,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$ e que o coeficiente médio de expansão volumar da terebintina é $9,00 \times 10^{-4} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

12. Um determinado telescópio forma uma imagem de parte de um aglomerado de estrelas em um chip quadrado de silício de $2,00\text{ cm}$ de lado de um detector. Um campo estelar está focalizado no chip quando ele é ligado e sua temperatura é de $20,0^{\circ}\text{C}$. O

campo estelar contém 5342 estrelas espalhadas uniformemente. Para tornar o detector mais sensível, ele é resfriado a -100°C . Quantas imagens de estrelas caberão então no chip? O coeficiente médio de expansão linear do silício é $4,68 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

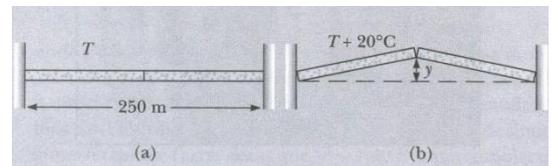
13. Dentro da parede de uma casa, uma seção em forma de L da tubulação de água quente consiste em uma parte horizontal reta de 28,0 cm de comprimento, um cotovelo e uma parte vertical reta de 134 cm de comprimento. Uma estrutura mantém estacionárias as extremidades desta seção da tubulação de cobre. Encontre o valor e a direção do deslocamento do cotovelo da tubulação quando o fluxo da água é ligado, elevando a temperatura da tubulação de $18,0^{\circ}\text{C}$ para $46,5^{\circ}\text{C}$.



14. Um líquido tem uma densidade ρ . (a) Mostre que a mudança fracionária na densidade para uma mudança ΔT na temperatura é $\Delta\rho/\rho = -\beta\Delta T$. O que o sinal negativo significa? (b) A água doce tem uma densidade máxima de $1,0000 \text{ g/cm}^3$ a $4,0^{\circ}\text{C}$. A $10,0^{\circ}\text{C}$, sua densidade é $0,9997 \text{ g/cm}^3$. Qual é o valor de β para a água nesse intervalo de temperatura?

15. Um relógio de pêndulo, com o sistema de suspensão feito de bronze, tem um período de 1,000 s a $20,0^{\circ}\text{C}$. Se a temperatura aumentar para $30,0^{\circ}\text{C}$, (a) de quanto muda o período, e (b) quanto tempo o relógio adianta ou atrasa em uma semana? Suponha que o coeficiente médio de expansão linear do bronze é $19,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

16. Duas extensões de concreto de uma ponte de 250 m de comprimento estão colocadas de extremidade a extremidade de tal forma que nenhum espaço está disponível para a expansão. Se ocorrer um aumento da temperatura de $20,0^{\circ}\text{C}$, qual é a altura y que as extensões atingirão quando se inclinarem. Suponha que o coeficiente médio de expansão linear do alumínio é $12,00 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.



17. O comprimento de uma ponte de aço é de 600 m. (a) Se fosse um vão contínuo, tendo uma extremidade fixa e outra livre, qual seria a variação do movimento da ponta livre, entre um dia frio de inverno (-20°F) e outro quente de verão (100°F)? (b) Se ambas as extremidades fossem rigidamente fixadas naquele dia de verão, qual seria a tensão no dia de inverno? Dado: $Y_{\text{aço}} = 210 \text{ GPa}$; $\alpha_{\text{aço}} = 1,2 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

18. Um duto para passagem de vapor, com diâmetro de 150 mm é posicionado a uma temperatura de 15°C . Quando o vapor passa pelo duto, sua temperatura se eleva para 115°C . O duto é de aço ($Y = 200 \text{ GPa}$) de coeficiente de dilatação térmica igual a $12 \cdot 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

a) Qual será o aumento do diâmetro do duto se este for livre para se expandir em todas as direções?

b) Qual será a tensão de compressão no duto se a vala onde for posicionado restringir seu alongamento a 1/4 do que ele se alongaria se pudesse se expandir livremente?

19. Verifica-se que um arame de aço, de 3 m de comprimento a 20°C , dilata-se 2 cm quando aquecido a 520°C . (a) Calcular seu coeficiente médio de dilatação linear. (b) Achar a tensão no arame se ele for esticado, tenso, a 520°C e, então, esfriado para 20°C , sem se permitir sua contração.

20. Duas barras de mesmo diâmetro, uma de aço de 40 cm de comprimento e outra de cobre de 36 cm, estão presas entre si por dois suportes rígidos, sem tensões iniciais. Eleva-se a 50°C a temperatura das barras e pergunta-se qual a tensão em cada uma delas. Dado: $Y_{\text{aço}} = 210 \text{ GPa}$; $\alpha_{\text{aço}} = 1,2 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$; $Y_{\text{cobre}} = 110 \text{ GPa}$; $\alpha_{\text{cobre}} = 1,7 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$.

Respostas e/ou resoluções de algumas questões:

1)

a)

$$\frac{200 - T_x}{200 - 50} = \frac{60 - T_c}{60 - 30} \Rightarrow \frac{200 - T_x}{5} = \frac{60 - T_c}{1} \Rightarrow 200 - T_x = 5(60 - T_c) \Rightarrow T_x = 5T_c - 100$$

b)

$$\left\{ \begin{array}{l} T_x = 5T_c - 100 \\ T_c = 2T_x \end{array} \right\} \Rightarrow T_x = 5.2T_x - 100 \Rightarrow T_x = \frac{100}{9} \text{ } ^\circ X \text{ ou } T_c = \frac{200}{9} \text{ } ^\circ C$$

2)

a)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{78 - T_c}{78 - (-80)} = \frac{1,635 - p}{1,635 - 0,900} \\ p = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{78 - T_c}{158} = \frac{1,635}{0,735} \Rightarrow T_c \cong -273,47 \text{ } ^\circ C$$

b)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{78 - T_c}{158} = \frac{1,635 - p}{0,735} \\ T_c = 0 \text{ } ^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{78}{158} = \frac{1,635 - p}{0,735} \Rightarrow p \cong 1,272 \text{ atm}$$

c)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{78 - T_c}{158} = \frac{1,635 - p}{0,735} \\ T_c = 100 \text{ } ^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{78 - 100}{158} = \frac{1,635 - p}{0,735} \Rightarrow p \cong 1,737 \text{ atm}$$

3)

$$\left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ } ^\circ C \Leftrightarrow 0,980 \text{ atm} \\ -273,15 \text{ } ^\circ C \Leftrightarrow 0 \text{ atm} \end{array} \right\} \frac{20 - T_c}{20 - (-273,15)} = \frac{0,980 - p}{0,980 - 0} \Rightarrow 0,98(20 - T_c) = 293,15(0,980 - p) \Rightarrow$$

$$0,98(20 - T_c) = 293,15(0,980 - p)$$

a)

$$0,98(20 - 45) = 293,15(0,980 - p) \Rightarrow p \cong 0,896 \text{ atm}$$

b)

$$0,98(20 - T_c) = 293,15(0,980 - 0,500) \Rightarrow T_c \cong -123,58 \text{ } ^\circ C$$

4)

$$a) T_F = 1,8T_C + 32 \Rightarrow 1,8(-195,81) + 32 = -320,46 \text{ } ^\circ F$$

$$b) T_K = T_C + 273,15 = -195,81 + 273,15 = 77,34 K$$

5)

$$a) \Delta T_F = 1,8\Delta T_C \Rightarrow \Delta T_F = 1,8.450 = 810 \text{ } ^\circ C$$

$$b) \Delta T_K = \Delta T_C \Rightarrow \Delta T_K = 450 K$$

6)
 $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T \Rightarrow 2,21 - 2,20 = 2,20 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T \cong 35 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow T_{\text{final}} = 35 + 20 = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$

7)
a) $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T = 30,9 \cdot 10^{-6} \cdot 65 = 17550 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \cong 0,176 \text{ mm}$
b) $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T = 1,5 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 65 = 877,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm} \cong 0,008775 \text{ mm ou } 8,78 \mu\text{m}$

c) $\Delta V = V_0 \gamma \Delta T = \left(\pi \left(\frac{1,5}{2} \right)^2 \cdot 30 \right) \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 65 = 93040 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 = 0,093 \text{ cm}^3$

8)
a) $\Delta A = A_0 \beta \Delta T = 64 \cdot 2 \cdot 17 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cong 0,11 \text{ cm}^2$

b) aumento

9)
 $\Delta V_{\text{aparente}} = \Delta V_{\text{líquido}} - \Delta V_{\text{aço}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{líquido}} \cdot \Delta T - V_0 \cdot \gamma_{\text{aço}} \cdot \Delta T = 50 \cdot 5,81 \cdot 10^{-4} \cdot 20 - 50 \cdot 3,11 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \Rightarrow$
 $\Delta V_{\text{aparente}} = 0,581 - 0,033 = 0,548 \text{ galões}$

10)
a) $\Delta L_{\text{Al}} = L_{0\text{Al}} \alpha_{\text{Al}} \Delta T \Rightarrow 0,05 = 5 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = 416,7 \text{ } ^\circ\text{C} \Rightarrow T_f \cong 436,7 \text{ } ^\circ\text{C}$
b) $L_{\text{Al}} = L_{\text{Cu}} \Rightarrow L_{0\text{Al}} (1 + \alpha_{\text{Al}} \Delta T)_{\text{Al}} = L_{0\text{Cu}} (1 + \alpha_{\text{Cu}} \Delta T)_{\text{Cu}} \Rightarrow 5 (1 + 24 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T) = 5,05 (1 + 19 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T) \Rightarrow$
 $5 (1 + 24 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T) = 5,05 (1 + 19 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T) \Rightarrow 5 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta T \cong 5,05 + 0,96 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta T \Rightarrow$
 $\Delta T \cong \frac{0,05}{0,24 \cdot 10^{-4}} = 2083,4 \text{ } ^\circ\text{C}$, temperatura acima do ponto de fusão de ambos metais,

com o método proposto não sendo possível.

11)
a)
 $\Delta V_{\text{aparente}} = \Delta V_{\text{líquido}} - \Delta V_{\text{Al}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{líquido}} \cdot \Delta T - V_0 \cdot \gamma_{\text{Al}} \cdot \Delta T = 2 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 60 - 2 \cdot 3 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \Rightarrow$
 $\Delta V_{\text{aparente}} = 0,108 - 0,00864 = 0,09936 \text{ litros} \cong 99,36 \text{ cm}^3$

- b)
- Ao retornar a 20°C, o recipiente voltará (a menos de uma desprezível diferença) ao volume original de 2L (2000 cm³), mas contendo 99,36 cm³ a menos de líquido.
 - Mas um cilindro de volume 2L (2000 cm³) e profundidade 20 cm tem área da base $A_0 = 100 \text{ cm}^2$.

Assim, a ausência de líquido corresponde a uma altura de:

$V = A_{\text{base}} \times h \Rightarrow 99,36 = 100 \cdot h \Rightarrow h = 0,9936 \text{ cm}$

12)
 $A = A_0 (1 + \beta \Delta T) = 4 (1 - 2,4 \cdot 68 \cdot 10^{-6} \cdot 120) \cong 3,995 \text{ cm}^2 \Rightarrow$
 $n_0 \text{ de estrelas} = \frac{3,995 \times 5342}{4} = 5335 \text{ estrelas}$

13)
0,663 mm a 78,2° abaixo da horizontal

14)

a) A expansão faz com que a densidade diminua.

b) $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

15)

a) $9,49 \cdot 10^{-5} \text{ s}$

b) 57,4 s perdidos

16)

2,74 m

17)

a)

$$t_F = 1,8t_C + 32 \Rightarrow -20^0 F = -28,8^0 C; 100^0 F = 37,7^0 C$$

$$\Delta \ell = \alpha l_0 \cdot \Delta \theta = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 600 \cdot 66,5 = 0,48 \text{ m}$$

b)

$$\sigma_{\text{térmica}} = \alpha Y \cdot \Delta \theta = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 66,5 = 167,58 \text{ MPa}$$