

Propriedades Mecânicas e Térmicas - 2022

Capacidade calorífica – aula TP

Dr. Andrei V. Kovalevsky (Kavaleuski)

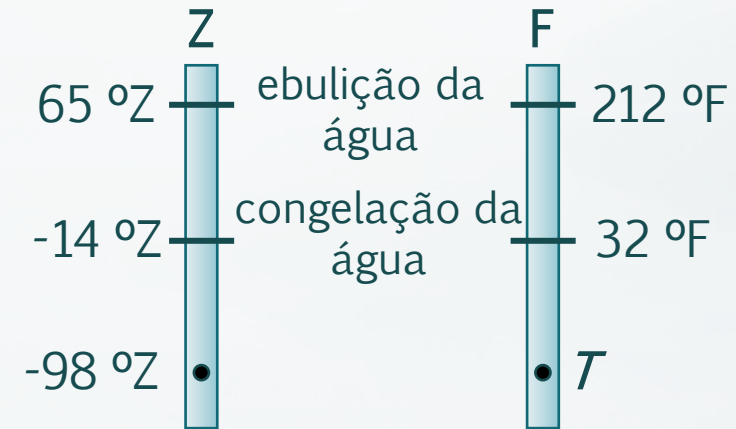
Investigador Principal

DEMaC / CICECO

e-mail: akavaleuski@ua.pt

Exercício 1

A diagrama apresenta a relação da escala de temperatura em $^{\circ}\text{F}$ com uma escala desconhecida de temperatura $^{\circ}\text{Z}$. Determine a temperatura T em $^{\circ}\text{F}$.



Resolução: Os fatores de conversão entre duas escalas (lineares) de temperatura pode ser calculado utilizando duas temperaturas conhecidas. Uma escala pode ser apresentada pela outra usando uma equação linear:

$$T(^{\circ}\text{F}) = a \times T(^{\circ}\text{Z}) + b$$



$$\begin{cases} T_1(^{\circ}\text{F}) = a \times T_1(^{\circ}\text{Z}) + b \\ T_2(^{\circ}\text{F}) = a \times T_2(^{\circ}\text{Z}) + b \end{cases}$$



$$a = \frac{T_2(^{\circ}\text{F}) - T_1(^{\circ}\text{F})}{T_2(^{\circ}\text{Z}) - T_1(^{\circ}\text{Z})}$$

$$b = T_1(^{\circ}\text{F}) - \frac{T_2(^{\circ}\text{F}) - T_1(^{\circ}\text{F})}{T_2(^{\circ}\text{Z}) - T_1(^{\circ}\text{Z})}$$

$$T = -159.39^{\circ}\text{F}$$

Exercício 2

Calcule a energia necessária para elevar de 20 °C para 150 °C a temperatura de 5 kg dos seguintes materiais: ouro, latão, alumina, polietileno.

Material	c_p (J/kg-K) at room T
• <u>Polymers</u>	
Polypropylene	1925
Polyethylene	1850
Polystyrene	1170
Teflon	1050

• <u>Metals</u>	
Aluminum	900
Steel	486
Tungsten	138
Gold	128
Brass	375

• <u>Ceramics</u>	
Magnesia (MgO)	940
Alumina (Al ₂ O ₃)	775
Glass	840

Resolução:

$$Q = c_p \times m \times (T_2 - T_1)$$

Ouro: $Q = 128 \times 5 \times 130 = 83.2 \text{ (kJ)}$

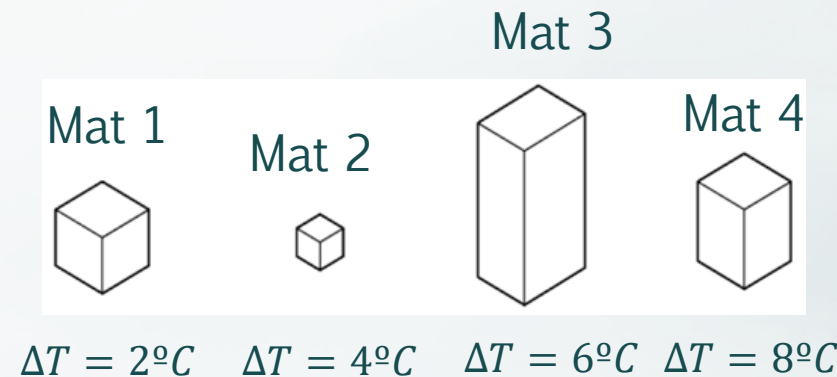
Latão: $Q = 375 \times 5 \times 130 = 243.75 \text{ (kJ)}$

Alumina: $Q = 775 \times 5 \times 130 = 503.75 \text{ (kJ)}$

Polietileno: $Q = 1850 \times 5 \times 130 = 1.2025 \text{ (MJ)}$

Exercício 3

Quatro blocos dos materiais diferentes com a densidade aproximadamente igual estão aquecidos usando mesma quantidade de energia, provocando um aumento de temperatura de cada. Qual material tem maior capacidade calorífica?



Resolução: $Q = c_p \times m \times \Delta T \quad \Rightarrow \quad Q = c_p \times \rho \times V \times \Delta T \quad \Rightarrow \quad c_p = \frac{Q}{\rho} \times \frac{1}{V \times \Delta T}$

Dado que $\frac{Q}{\rho}$ é constante, uma maior capacidade calorífica corresponde à amostra com menor $V \times \Delta T$

Mat 3 e Mat 4 têm os valores de $V \times \Delta T$ maiores de todos. $V(\text{Mat 1}) \approx 4V(\text{Mat 2})$

$$\frac{c_p(\text{Mat 2})}{c_p(\text{Mat 1})} = \frac{1}{V(\text{Mat 2}) \times 2} \div \frac{1}{4V(\text{Mat 2}) \times 4} = 2$$

Assim, Mat 2 tem uma maior capacidade calorífica.

Exercício 4

Uma peça de alumínio de 55 g a 100°C foi colocada num recipiente com 51.3 g de água a 20°C isolado termicamente do ambiente. A temperatura estabelecida depois do equilíbrio foi de 35°C. A capacidade calorífica da água é de 4.18 J/g/K. Qual é a capacidade calorífica de alumínio?

Resolução:

A quantidade de calor transferido de Al para água Q_{Al} é igual a quantidade de calor recebido por água $Q_{água}$. Assim:

$$c_p(Al) \times m(Al) \times (T_{Al} - T_{eq}) = c_p(água) \times m(água) \times (T_{eq} - T_{água})$$



$$c_p(Al) = \frac{c_p(água) \times m(água) \times (T_{eq} - T_{água})}{m(Al) \times (T_{Al} - T_{eq})}$$

$$c_p(Al) = 0.90 \frac{J}{g \times K}$$

Exercício 5

Estime os valores de capacidade calorífica (em J/g/K) usando a regra de Neumann-Kopp e os dados apresentados na tabela, para H₂O (água e gelo), alumínio metálico, K₂SO₄ (sólido e fundido) e ZrO₂ sólido.

Elemento	$c_{p,m}/(\text{mol} \times K)$	
	Sólidos	Líquidos
C	7.5	11.7
H	9.6	18.0
B	11.3	19.7
Si	15.9	24.3
O	16.7	25.1
F	20.9	29.3
P, S	22.6	31.0
Restantes elementos	25.1 a 25.9	33.5

Resolução:

$$c_{p,m}(A_a B_b C_c(s)) = a c_{p,m}(A(s)) + b c_{p,m}(B(s)) + c c_{p,m}(C(s))$$

Assumimos o valor médio de $c_{p,m}$ para restantes elementos como $(25.1+25.9)/2 = 25.5 \text{ J/mol/K}$

Relembramos que $c_p = \frac{c_{p,m}}{M}$

- Para água (líquida): $c_p = \frac{2 \cdot 18.0 + 25.1}{2 \cdot 1.008 + 15.999} = 3.4 \frac{J}{g \times K}$

- Para gelo: $c_p = \frac{2 \cdot 9.6 + 16.7}{2 \cdot 1.008 + 15.999} = 2.0 \frac{J}{g \times K}$

- Para Al: $c_p = \frac{25.5}{26.982} = 0.95 \frac{J}{g \times K}$

- Para K₂SO₄ sólido: $c_p = \frac{2 \cdot 25.5 + 22.6 + 4 \cdot 16.7}{2 \cdot 39.098 + 32.06 + 4 \cdot 15.999} = 0.8 \frac{J}{g \times K}$

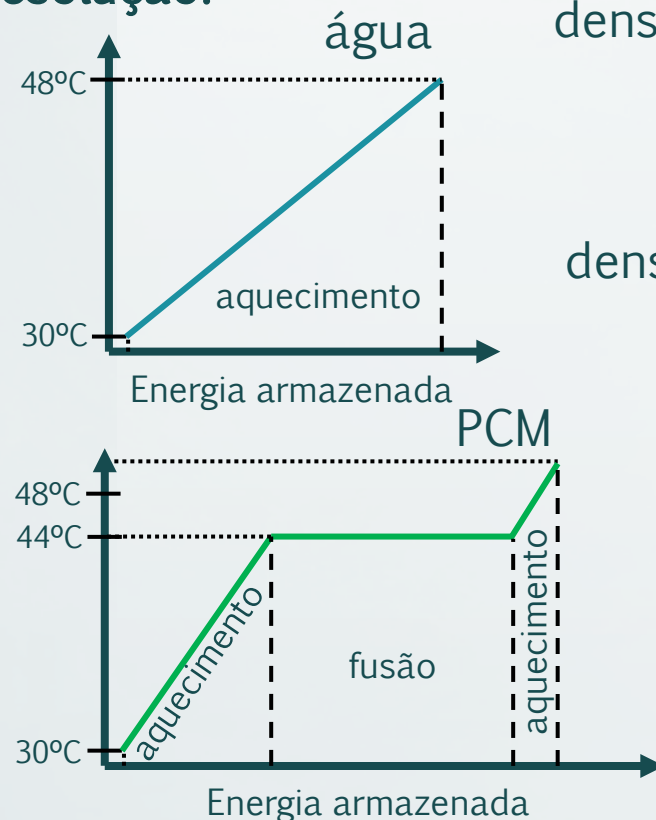
- Para K₂SO₄ fundido: $c_p = \frac{2 \cdot 33.5 + 31.0 + 4 \cdot 25.1}{2 \cdot 39.098 + 32.06 + 4 \cdot 15.999} = 1.1 \frac{J}{g \times K}$

- Para ZrO₂: $c_p = \frac{25.5 + 2 \cdot 16.7}{91.224 + 2 \cdot 15.999} = 0.5 \frac{J}{g \times K}$

Exercício 6

Compare a densidade de armazenamento de energia ($\frac{Q}{m}$) da água e parafina, um material de mudança de fase (PCM), no aquecimento de 30° a 48°C, assumindo que o PCM começa a fundir e funde completamente a 44°C, as capacidades caloríficas médias da água, PCM sólido e PCM líquido são 4182, 2400 e 1800 J/(kg*K), e o calor latente de fusão do PCM é de 250 kJ/kg.

Resolução:



densidade de armazenamento de energia da água:

$$Q_d(\text{água}) = c_p(\text{água}) \times \Delta T = 4182 \times (48 - 30) = 75276 \text{ J/kg}$$

densidade de armazenamento de energia do PCM:



$$\begin{aligned} Q_d(PCM) &= c_p(\text{PCM sólido}) \times \Delta T_1 + L_m + c_p(\text{PCM líquido}) \times \Delta T_2 = \\ &= 2400 \times (44 - 30) + 250000 + 1800 \times (48 - 44) = 290800 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

$$\frac{Q_d(PCM)}{Q_d(\text{água})} = 3.86$$

Exercício 7

A constante A na equação da dependência de capacidade calorífica de temperatura a $T \rightarrow 0K$ é igual a $\frac{12\pi^4 R}{5\theta_D^3}$, em que R é constante dos gases e θ_D é a temperatura de Debye (K). Estime o valor de θ_D para o alumínio, dado que a capacidade calorífica a 15 K é de 4.60 J/kg/K.

Resolução: $c_p \sim AT^3$ para $T \rightarrow 0K$ $A = \frac{12\pi^4 R}{5\theta_D^3}$

 $c_{p,m} = \frac{12\pi^4 R}{5\theta_D^3} \times T^3$  $\theta_D = T \times \sqrt[3]{\frac{12\pi^4 R}{5c_{p,m}}}$

Para serem usados na equação para θ_D , as unidades de c_p devem ser em J/mol/K

$$c_{p,m} \left[\frac{J}{mol \times K} \right] = c_{p,m} \left[\frac{J}{kg \times K} \right] : 1000 \times M(Al) \left[\frac{g}{mol} \right]$$

$$\theta_D = 15 \times \sqrt[3]{\frac{12\pi^4 \times 8.314}{5 \times \frac{4.60}{1000} \times 26.982}} = 375.3 \text{ (K)}$$

Exercício 8

Quantos litros de água a 80°C devem ser misturados com 40 litros de água a 10°C para ter uma mistura com uma temperatura final de 40°C?

Resolução:

Assumimos que a capacidade calorífica e densidade de água não dependem de temperatura nesta gama de temperaturas. Depois de misturar, a água está em condição de equilíbrio térmico a 40°C. Assim:

quantidade de calor transferida da água quente para
água fria:

$$Q_1 = c_p \times \rho V_{quente} \Delta T = c_p \times \rho V_{quente} \times (80 - 40) = 40 \times c_p \times \rho V_{quente} \text{ (J)}$$

quantidade de calor recebida por água fria da água
quente:

$$Q_2 = c_p \times \rho V_{fria} \Delta T = c_p \times \rho \times 40 \times (40 - 10) = 1200 \times c_p \times \rho \text{ (J)}$$

$$Q_1 = Q_2 \quad \Rightarrow \quad V_{quente} = \frac{1200 \times c_p \times \rho}{40 \times c_p \times \rho} = 30 \text{ (L)}$$