

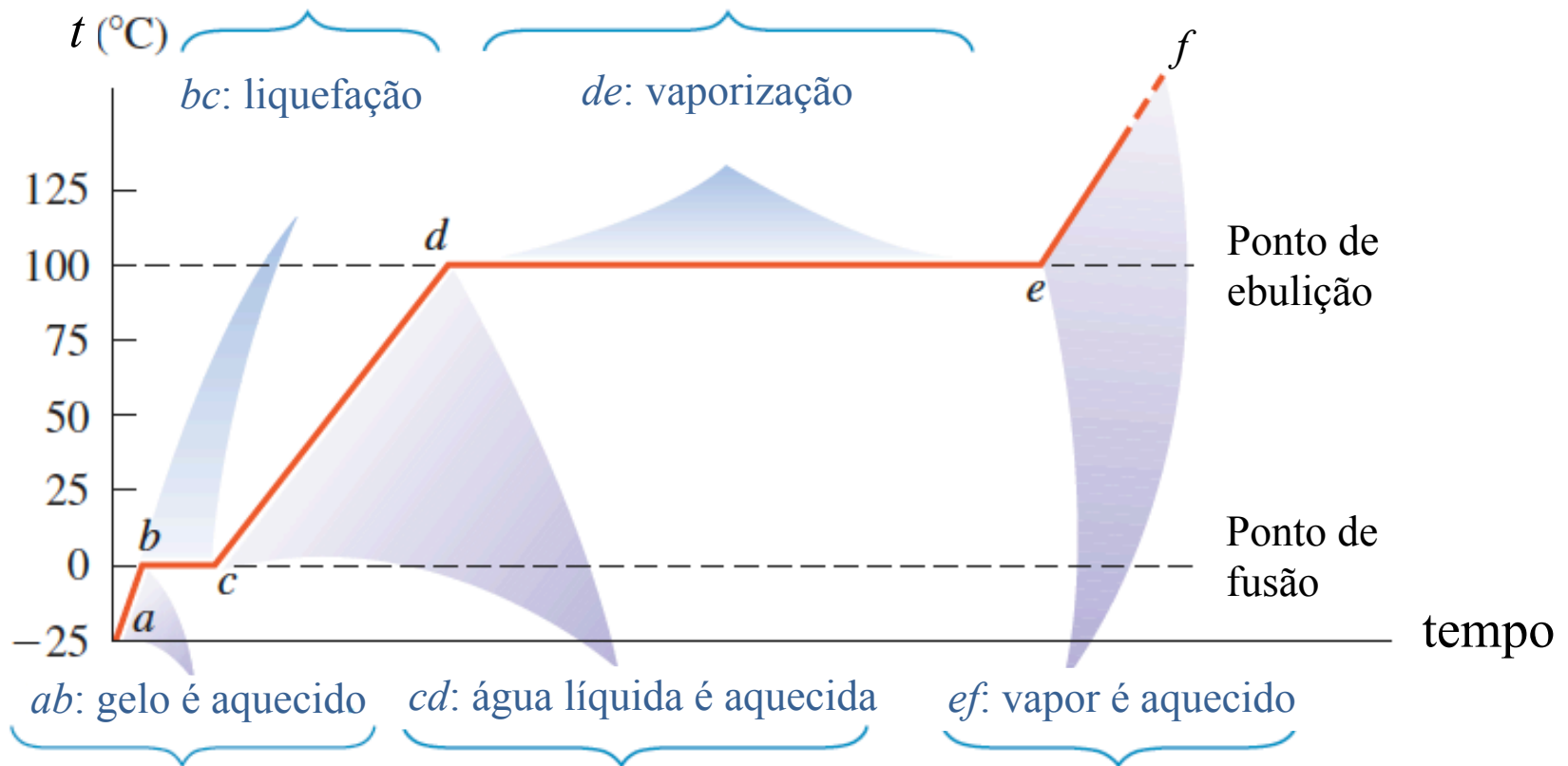


4300159 – Física do Calor

## **Calor e Mudança de Fase – II**

# Mudança de Fase

- No exemplo abaixo, calor é transferido lentamente à água (inicialmente gelo a  $-25^{\circ}\text{C}$ ).

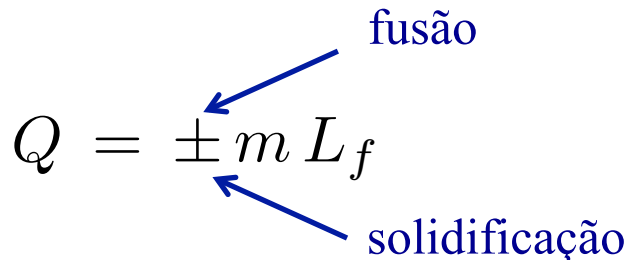


# Calor Latente

– Mudanças de fase de substâncias puras são caracterizadas pelo *calor latente* ( $L$ ), definido com a energia necessária para promover a mudança de fase de uma unidade de massa da substância.

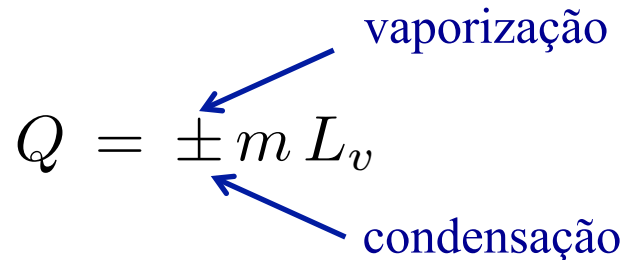
$$Q = m L$$

– Na situação considerada (sistema próximo ao equilíbrio térmico), as mudanças de fase são reversíveis, de forma que a mesma energia é necessária para fundir/solidificar ou evaporar/condensar.

$$Q = \pm m L_f$$


fusão

solidificação

$$Q = \pm m L_v$$


vaporização

condensação

**Q1)** Calor é transferido lentamente a um bloco de gelo, inicialmente a  $0.0^{\circ}\text{C}$ , com taxa constante (energia por unidade de tempo). Seja  $t$  o tempo necessário para que todo o gelo seja convertido em vapor a  $100^{\circ}\text{C}$ . Qual a situação do sistema no instante  $t/2$ ? (O calor latente de fusão da água é  $334 \text{ kJ/kg}$ , o de vaporização é  $2260 \text{ kJ/kg}$ , e o calor específico da água é  $4.19 \text{ kJ/kg.K}$ )

- (a) Há apenas gelo a  $0^{\circ}\text{C}$ .
- (b) Há uma mistura de gelo e água a  $0^{\circ}\text{C}$ .
- (c) Há apenas água, com temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$ .
- (d) Há uma mistura de água e vapor a  $100^{\circ}\text{C}$ .

Por kg de água, a energia necessária para evaporação completa é:  
 $Q_{\text{liq}} + mc\Delta T + Q_{\text{vap}} = 334 + 4.19 \times 100 + 2260 = 3013 \text{ kJ/kg}$ .

Sendo a taxa constante, metade desta energia (1506 kJ/kg) terão sido transferidos para o sistema no instante  $t/2$ . Isso é suficiente para derreter o gelo e aquecer a água até 100°C (753 kJ/kg), além de evaporar parcialmente o água (753 kJ/kg disponíveis para isso).

Alternativa (d).

**P1)** Calor é transferido a uma pedra de gelo com 2.0kg à taxa de 793 kW. Quanto tempo será necessário para derreter todo o gelo, inicialmente a 0.00°C? (O calor latente de fusão da água é 334 kJ/kg e o de vaporização é 2260 kJ/kg.)

Calor necessário para derreter o gelo:

$$Q_f = mL_f = 2.0 \times 334 = 668 \text{ kJ}$$

Tempo necessário:

$$P = \frac{Q_f}{\Delta t} \implies \Delta t = \frac{Q_f}{P} = \frac{668 \text{ kJ}}{793 \text{ kW}} = 0.84 \text{ s}$$

**P2)** Um aquecedor a gasolina é utilizado para aquecer 1.00 kg de água, desde 20°C até 100°C. Sabendo que ao final do processo 0.25kg de água foi evaporado, estime a massa de gasolina queimada, admitindo que a eficiência do aquecedor seja 30%.

Dados: calor específico da água: 4.19 kJ/kg.K

calor latente de vaporização da água: 2256 kJ/kg

calor de combustão da gasolina: 46000 kJ/kg



Energia necessária para aquecer a água:

$$Q_a = m c \Delta T = 1.00 \times 4.19 \times (100 - 20) = 335 \text{ kJ}$$

Energia necessária para evaporar parte da água:

$$Q_{\text{cap}} = m' L_{\text{vap}} = 0.25 \times 2256 = 564 \text{ kJ}$$

Gasolina consumida na combustão, levando em conta a eficiência de 30%:

$$m_{\text{gas}} = \frac{Q_a + Q_{\text{vap}}}{0.3 \times L_{\text{combust}}} = \frac{(335 + 564)}{0.3 \times 46000} = 0.064 \text{ kg} \quad (64 \text{ g})$$

**P3)** Vapor d'água a  $100^{\circ}\text{C}$  é misturado com gelo a  $0^{\circ}\text{C}$ . Encontre a massa de gelo derretida e a temperatura final, sendo a massa de vapor  $10.0\text{g}$  e a massa de gelo  $50.0\text{g}$ .

Dados: calor específico da água:  $4.19 \text{ kJ/kg.K}$

calor latente de vaporização da água:  $2256 \text{ kJ/kg}$

calor latente de fusão da água:  $334 \text{ kJ/kg}$

i) O vapor irá ceder energia ao gelo, e, nas condições propostas, haverá condensação e fusão. A energia cedida pela condensação de 10.0g de vapor é:

$$Q_{\text{cond}} = -mL_v = -0.010 \times 2256 = -22.56 \text{ kJ}$$

ii) A energia necessária para fundir 50.0g de gelo é:

$$Q_{\text{fus}} = mL_f = 0.050 \times 334 = 16.70 \text{ kJ}$$

iii) O excedente de energia liberado pela condensação, ainda pode elevar a temperatura dos 50.0g de água formados pela fusão:

$$Q_{\text{cond}} + Q_{\text{fus}} + mc\Delta T = 0 \implies T_f = 28.0^\circ\text{C}$$

iv) Acima, concluímos que a energia cedida pela condensação é suficiente para derreter os 50.0g de gelo e elevar a temperatura da água condensada até 28.0°C. A temperatura final da mistura de 50.0g de água a 28.0°C com 10.0g de água a 100°C será 40.0°C.