

Ficha — Variação da energia interna em aquecimento, fusão e vaporização

10.º Ano Física e Química A 4 páginas 12 exercícios

Objetivo: Aplicar a Primeira Lei às mudanças de temperatura e de fase de um sistema, calcular a variação de energia interna em aquecimentos e transições, e reconstruir o balanço energético de processos sucessivos.

Revisão rápida

Ligação entre os temas — a Primeira Lei ($\Delta U = Q + W$) com o calor ($Q = mc\Delta T$ e $Q = m\lambda$): para líquidos e sólidos em recipiente fechado o **trabalho de expansão é desprezível** ($W \approx 0$), logo:

$$\Delta U \approx Q \text{ (sólidos/líquidos: } W \approx 0)$$

Processo	Q	W	ΔU
Aquecimento (mesma fase)	$+mc\Delta T$ absorvido	≈ 0	aumenta
Fusão	$+m\lambda_{fus}$ absorvido	pequeno (expansão)	aumenta
Vaporização	$+m\lambda_{vap}$ absorvido	negativo (gás expande muito)	aumenta (menos que Q)
Arrefecimento	libertado (-)	≈ 0	diminui
Condensação	libertado (-)	pequeno	diminui

Na **vaporização** há assimetria: o vapor ocupa ~1700× o volume da água — o sistema faz um grande trabalho de expansão contra a pressão exterior, e parte do Q absorvido vai para isso. É por isso que a energia interna do vapor a 100 °C é maior que a da água a 100 °C, mas **não em toda a energia latente**.

Processos sucessivos — quando há várias etapas (gelo → água → vapor), soma-se tudo: $\Delta U_{total} = \Sigma Q_i + \Sigma W_i$. Cada etapa com a sua fórmula, cada soma com sinais rigorosos.

Estratégia: decompor em etapas → em cada uma: fase muda? (λ) ou só T? ($mc\Delta T$) → $W \approx 0$? (sólido/líquido) → somar → interpretar o sinal.

Exercícios

1. Completar: para líquidos e sólidos em recipiente fechado, $W \approx$ logo $\Delta U \approx$ _____. Num aquecimento, Q é _____ e ΔU _____; numa condensação, Q é _____ e ΔU _____.

2. Calcula a variação da energia interna de 0,500 kg de água aquecida 20,0 K num recipiente fechado.

3. Um sistema arrefece de $80,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,300\text{ kg}$ de água). Calcula Q e ΔU e indica para onde foi a energia interna perdida.

4. Determina a variação da energia interna na fusão de $18,0\text{ g}$ de gelo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\lambda = 334\text{ kJ/kg}$) e comenta a escala por mol de água ($M = 18,0\text{ g/mol}$).

5. Que variação de energia interna ocorre na vaporização de $0,500\text{ kg}$ de água a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\lambda = 2260\text{ kJ/kg}$)? Porque é que a energia interna do vapor fica inferior ao Q absorvido?

6. Reconstroi o balanço completo: $0,250\text{ kg}$ de gelo a $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ convertido em vapor a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por etapas ($c_{\text{gelo}} = 2090$, $\lambda_{\text{fus}} = 334\text{ kJ/kg}$, $c_{\text{água}} = 4180$, $\lambda_{\text{vap}} = 2260\text{ kJ/kg}$).

7. Um gás é comprimido adiabaticamente com 300 J de trabalho. Qual a variação da sua energia interna? Compara com o caso de um sólido a receber 300 J de calor a volume constante.

8. Verdadeiro ou falso. Corrige as falsas.

- a) Num aquecimento a volume constante, $\Delta U = Q$. (V/F)
- b) Na fusão, a energia absorvida aumenta a energia interna e a temperatura simultaneamente. (V/F)
- c) Na vaporização, todo o Q absorvido fica na energia interna do vapor. (V/F)
- d) Uma substância arrefecendo perde energia interna para o ambiente. (V/F)
- e) ΔU de um processo composto depende da ordem das etapas. (V/F)

9. Um bloco de metal de 2,00 kg ($c = 450 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$) aquece 75,0 K ao ser aquecido. Se todo o calor vem de uma chama que liberta 900 kJ, que rendimento térmico teve o aquecimento (assumindo $W \approx 0$ no bloco)?

10. Explica com a Primeira Lei por que razão um depósito de vapor a 100 °C queima mais gravemente que água a 100 °C, apesar da temperatura igual.

11. Numa câmara de vácuo, a água evaporada à temperatura ambiente provoca arrefecimento. Justifica: que sinais têm Q e ΔU neste processo, mesmo sem mudança de temperatura?

12. Sintetiza num esquema (em palavras): os dois caminhos pelos quais a energia entra num sistema — calor e trabalho — e como cada um se manifesta no aquecimento, na fusão e na vaporização.

Soluções — Variação da energia interna térmica

10.º Ano

Física e Química A

Resolução completa

1. $W \approx 0 \rightarrow \Delta U \approx Q$. Aquecimento: Q positivo, ΔU **aumenta**; condensação: Q negativo, ΔU **diminui**.

2. $\Delta U = Q = 0,500 \times 4180 \times 20,0 = 41\,800\text{ J} = \mathbf{41,8\text{ kJ}}$ — com $W \approx 0$, todo o calor recebido fica na energia interna (e a temperatura sobe 20 K).

3. $\Delta U = Q = 0,300 \times 4180 \times (30,0 - 80,0) = -62\,700\text{ J} = \mathbf{-62,7\text{ kJ}}$ — o sistema perde energia interna, entregue como calor à vizinhança (a mesa, o ar). Nada se perde: o ambiente ganhou exatamente 62,7 kJ.

4. $\Delta U \approx Q = m \cdot \lambda = 0,0180 \times 334\,000 = 6012\text{ J} \approx \mathbf{6,01\text{ kJ}}$ (W pequeno: o gelo expande pouco ao derreter). Por mol: 18,0 g de gelo = 1 mol de água, logo $6012\text{ J} \div 1\text{ mol} = \approx \mathbf{6,0\text{ kJ/mol}}$ — ordem de grandeza típica de ligações intermoleculares fracas (é isso que a fusão quebra).

5. $Q = 0,500 \times 2260 = 1130\text{ kJ}$. $\Delta U < Q$ porque uma fração do calor serve para o **trabalho de expansão** contra a pressão atmosférica (o vapor ocupa $\sim 1700\times$ o volume): $\Delta U = Q + W$ com W negativo. A energia interna **aumenta** — mas não em 1130 kJ.

6. Etapa 1 (gelo $-20 \rightarrow 0$): $0,250 \times 2090 \times 20 = 10,45\text{ kJ}$. Etapa 2 (fusão): $0,250 \times 334 = 83,5\text{ kJ}$. Etapa 3 (água $0 \rightarrow 100$): $0,250 \times 4180 \times 100 = 104,5\text{ kJ}$. Etapa 4 (vaporização): $0,250 \times 2260 = 565,0\text{ kJ}$. Total: $10,45 + 83,5 + 104,5 + 565,0 = \mathbf{763,5\text{ kJ}}$ — 74 % do total está na última etapa, a vaporização.

7. Adiabático: $Q = 0 \rightarrow \Delta U = W = +300\text{ J}$ (o trabalho de compressão aumenta U : o gás aquece). Sólido a volume constante: $W = 0 \rightarrow \Delta U = Q = +300\text{ J}$ — mesmo ΔU , mas por caminhos opostos: um entra como trabalho, outro como calor. A Primeira Lei não distingue a origem da energia.

8. a) V — é o caso $W = 0$. b) F — durante a fusão a T fica constante: Q vai em ΔU , não em temperatura. c) F — parte faz trabalho de expansão. d) V — ΔU negativo significa saída de energia. e) F — ΔU só depende dos estados inicial e final (grandeza de estado).

9. $Q_{\text{útil}} = 2,00 \times 450 \times 75,0 = 67\,500\text{ J} = 67,5\text{ kJ}$; $\eta = 67,5 \div 900 \times 100 = \mathbf{7,5\%}$ — os 92,5 % restantes aqueceram o ar e os suportes: um forno sem isolamento é isso mesmo.

10. O vapor a 100 °C carrega **energia latente**: ao condensar na pele, liberta $m \cdot \lambda$ (2260 kJ por kg) — energia que vem toda para o corpo numa fração de segundo. A água a 100 °C só pode libertar o calor sensível (resfriar) — muito menos energia por kg. Temperatura igual, **energias internas muito diferentes**: é o conteúdo latente que queima.

11. A evaporação é endotérmica: $Q = +m\lambda$ (absorvido da água restante) e $\Delta U = Q$ (W do vapor crescente é pequeno mas negativo, não anula). Logo $\Delta U > 0$ para o vapor formado, e a **água que fica perde energia interna** — como não recebe calor, essa energia sai da sua própria energia interna: a temperatura desce. Sem termómetro a indicar mudança na substância que evapora, o arrefecimento é mesmo assim uma queda de U .

12. Os dois caminhos de entrada: **calor (Q)** — por diferença de temperatura ou radiação, medido por $mc\Delta T$ ou $m\lambda$; e **trabalho (W)** — por compressão/expansão. No **aquecimento**, entra Q ($W \approx 0$). Na **fusão**, Q latente quebra ligações intermoleculares (ΔU sobe, T constante). Na **vaporização**, Q latente maior, parte volta a sair como trabalho de expansão — mas o balanço $\Delta U = Q + W$ fecha sempre.

Nota: esta ficha é a costura entre os dois temas térmicos: fórmulas de calor dentro da Primeira Lei. Quando só há troca térmica em condensed phases, $\Delta U \approx Q$ — e a vaporização lembra que nem todo o calor fica.