5 Calores específicos

Quantidade de calor necessária para elevar a temperatura em um grau por unidade de massa.

1ª Lei, substância compressível simples, <u>monofásica</u>, processo quase estático, ΔEC e ΔEP nulas:

$$\delta Q = \mathrm{d}U + \delta W = \mathrm{d}U + p\mathrm{d}\cancel{V}$$

1. <u>$\cancel{V}$ constante</u>: $\quad p\mathrm{d}\cancel{V} = 0$

$$c_v \equiv \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v = \left.\frac{\partial u}{\partial T}\right|_v$$

2. <u>p constante</u>: $\quad \delta Q = \mathrm{d}H$

$$c_p \equiv \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left.\frac{\partial h}{\partial T}\right|_p$$

c_p e c_v também são propriedades termodinâmicas.

5.1 Líquidos e sólidos

Tratamos como substâncias incompressíveis, com v muito pequenos:

$$\mathrm{d}h = \mathrm{d}u + \mathrm{d}(pv) = \mathrm{d}u + \cancelto{\approx 0}{v\mathrm{d}p} + \cancel{p\mathrm{d}v}$$

Portanto vale a aproximação:

$$\mathrm{d}h \approx \mathrm{d}u \approx c\mathrm{d}T$$

c pode ser admitido constante na maior parte dos casos.[‡]

$$h_2 - h_1 \approx u_2 - u_1 \approx c(T_2 - T_1)$$

5.2 Gases perfeitos

Para gás perfeito, pode-se mostrar que $u = u(T)$. Além disso, $pv = RT$, portanto:

$$h = u + pv = u + RT \quad \Rightarrow \quad h = h(T)$$

[‡]Calorimetria: $Q = mc\Delta T$. Calores específicos na tabela A.3.

Sendo assim: $c_{v_0} = \dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}T}$, $c_{p_0} = \dfrac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}T}$ e $c_{v_0} = c_{v_0}(T)$, $c_{p_0} = c_{p_0}(T)$[§]

Diferenciando a expressão da entalpia:

$$h = u + RT \quad \Rightarrow \quad \mathrm{d}h = \mathrm{d}u + R\mathrm{d}T \quad \Rightarrow \quad c_{p_0}\mathrm{d}T = c_{v_0}\mathrm{d}T + R\mathrm{d}T$$

$$\therefore \quad c_{p_0} - c_{v_0} = R; \quad \bar{c}_{p_0} - \bar{c}_{v_0} = \bar{R}$$

Razão entre calores específicos: $k \equiv \dfrac{c_{p_0}}{c_{v_0}}$

5.2.1 Cálculo dos calores específicos

a) Admitir constante. Tomar temperatura média do processo.

[§]Gráficos de calores específicos para gases

b) Utilizar expressão analítica (Tabela A.6).

c) Tabelas de gás ideal (Tabelas A.7 e A.8).

Exercício 4

Calcular a variação de entalpia para 1 kg de oxigênio quando este é aquecido de 300 K a 1500 K. Admita modelo de gás perfeito, com calor específico:

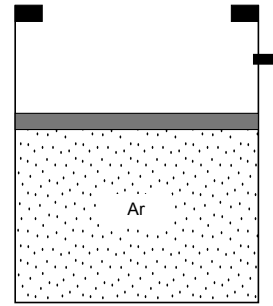
a) calculado com a tabela de gás ideal;

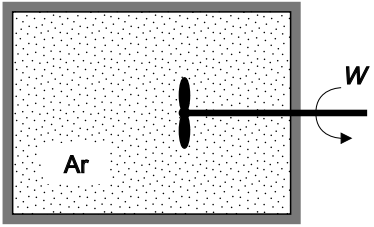
b) dado por expressão analítica;

c) constante.

Exercício 5

O conjunto cilindro-pistão mostrado na figura contém, inicialmente, 2 kg de ar a 200 kPa e 600 K (estado 1). O ar é expandido num processo a pressão constante, até que o volume se torne igual ao dobro do inicial (estado 2). Neste ponto, o pistão é travado com um pino e transfere-se calor do ar até que a temperatura atinja 600 K (estado 3). Determine a pressão e a temperatura para os estados 2 e 3 e calcule Δh, W e Q para os dois processos.



Exercício 6

Por meio de um hélice, realiza-se 200 kJ de trabalho sobre o ar no interior de um recipiente isolado de volume $2\,\mathrm{m}^3$. Se a pressão e a temperatura iniciais forem 200 kPa e 100 °C, respectivamente, determine T e p finais.