

## 2. Trasformazioni elementari per il gas perfetto. Trasformazioni composte in gas ideali.

- 2.1. *[base]* In un sistema cilindro-stantuffo è contenuto idrogeno (gas ideale con  $M_m = 2 \text{ kg/kmol}$ ) alla temperatura  $T_1 = 50 \text{ °C}$  ed alla pressione  $P_1 = 10 \text{ bar}$ . Il gas viene fatto espandere isotermicamente fino alla pressione  $P_2 = 2 \text{ bar}$ . Si calcoli la variazione di volume specifico e di energia interna specifica.

$$[\Delta v_{12} = 5.37 \text{ m}^3/\text{kg}; \Delta u_{12} = 0 \text{ kJ}]$$

- 2.2. *[base]* Calcolare il lavoro di compressione di una massa di ossigeno (gas ideale con  $M_m = 32 \text{ kg/kmol}$ ), nell'ipotesi che il gas esegua una trasformazione politropica ( $Pv^n = \text{cost}$ ). La trasformazione è eseguita tra lo stato iniziale  $P_1 = 10 \text{ bar}$  e  $T_1 = 50 \text{ °C}$  e lo stato finale  $P_2 = 3 \text{ bar}$  e  $T_2 = 20 \text{ °C}$ .

$$[l^{\rightarrow} = 88.53 \text{ kJ/kg}]$$

- 2.3. *[intermedio]* Si consideri di avere 2 kg di azoto ( $N_2$ ) nello stato iniziale:  $P_1 = 1 \text{ bar}$  e  $T_1 = 20 \text{ °C}$ . Dopo una trasformazione adiabatica reversibile, si raggiunge uno stato di equilibrio per cui  $P_2 = 30 \text{ bar}$ . A seguito di una ulteriore trasformazione quasi-statica, questa volta isobara, si raggiunge il nuovo stato di equilibrio a  $T_3 = 1000 \text{ °C}$ . Si chiede di:

- Tracciare le due trasformazioni sui diagrammi P-v e T-s.
- Determinare il volume nelle tre condizioni di equilibrio.
- Calcolare la variazione di energia interna, entalpia ed entropia tra stato iniziale e finale.
- Calcolare il calore scambiato ed il lavoro prodotto tra lo stato iniziale e finale.

$$[V_1 = 1.74 \text{ m}^3; V_2 = 0.153 \text{ m}^3; V_3 = 0.251 \text{ m}^3; \Delta U_{13} = 1455 \text{ kJ}; \Delta H_{13} = 2037 \text{ kJ}; \Delta S_{13} = 1.03 \text{ kJ/K}; Q_{13}^{\leftarrow} = 1036 \text{ kJ}; L_{13}^{\rightarrow} = -419 \text{ kJ}]$$

- 2.4.** *[avanzato]* Una massa di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) è contenuta all'interno di un cilindro chiuso da un pistone, entrambi adiabatici. La pressione, il volume e la temperatura del gas sono inizialmente  $P_1 = 1 \text{ bar}$ ,  $V_1 = 3 \text{ dm}^3$ ,  $T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Il pistone viene caricato improvvisamente con un peso che fa scendere istantaneamente il pistone comprimendo, con una trasformazione non quasi-statica, il gas fino ad una pressione  $P_2 = 14.9 \text{ bar}$  e un volume  $V_2 = 1 \text{ dm}^3$ . Determinare le variazioni di energia interna, entalpia, entropia del gas a seguito della compressione. Lo stesso gas viene in seguito messo in contatto con un serbatoio di calore a temperatura  $T_S = 1700 \text{ }^\circ\text{C}$  e si riscalda fino a portarsi in equilibrio con il serbatoio. Sapendo che la corsa del pistone viene limitata superiormente da un fermo ( $V_{\max} = 1.2 \text{ dm}^3$ ), determinare temperatura, volume, pressione del gas nello stato finale e calore e lavoro scambiati durante la trasformazione.

$$[\Delta U_{12} = 2980 \text{ J}; \Delta H_{12} = 4171 \text{ J}; \Delta S_{12} = 2.88 \text{ J/K}; T_3 = 1973.15 \text{ K}; \\ V_3 = 1.2 \text{ dm}^3; P_3 = 16.16 \text{ bar}; L_{23}^{\rightarrow} = 298 \text{ J}; Q_{23}^{\leftarrow} = 1421 \text{ J}]$$

- 2.5.** *[intermedio]* Una bombola di volume  $V = 50 \text{ dm}^3$  contiene metano (gas ideale con  $M_m = 16 \text{ kg/kmol}$ ) alla pressione iniziale di  $200 \text{ bar}$  e alla temperatura di  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ad un certo istante la bombola viene appoggiata ad una piastra ( $M = 8 \text{ kg}$ ,  $c = 400 \text{ J/kgK}$ ) che si trova inizialmente alla temperatura di  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ha luogo un processo fino a quando la bombola e la piastra raggiungono una condizione di equilibrio. Trascurando la capacità termica della bombola e le dispersioni termiche verso l'ambiente, determinare:

- Temperatura e pressione del gas all'equilibrio.
- Calore e lavoro scambiato dal gas della bombola.
- La variazione di entropia del gas.

$$[T = 74.8 \text{ }^\circ\text{C}; P = 237.4 \text{ bar}; Q^{\leftarrow} = 560.7 \text{ kJ}; L^{\rightarrow} = 0 \text{ J}; \Delta S = 1.75 \text{ kJ/K}]$$

- 2.6.** *[avanzato]* Una bombola è suddivisa in due parti da un setto mobile impermeabile, inizialmente bloccato da un fermo. In entrambe le parti vi è ossigeno (gas perfetto biatomico con  $M_m = 32 \text{ kg/kmol}$ ), ma in una è alla temperatura  $T_{A1} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  e alla pressione  $P_{A1} = 8.547 \text{ bar}$ , e nell'altra a  $T_{B1} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $P_{B1} = 6 \text{ bar}$  con  $V_{B1} = 2V_{A1}$ . Ad un certo istante, il pistone viene sbloccato, e il sistema evolve spontaneamente portandosi in uno stato di equilibrio caratterizzato dalla temperatura finale  $T_2 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ . È noto che nel sottosistema A è presente una massa  $M_A = 4 \text{ kg}$  di gas, e che il processo subito complessivamente dall'ossigeno avvenga senza scambi termici con l'ambiente. Dopo aver rappresentato schematicamente il sistema e aver scritto l'equazione di bilancio energetico del sistema, si chiede di:

- Determinare la massa di gas presente nel sottosistema B.
- Valutare il volume complessivo della bombola.
- Valutare la pressione  $P_2$  nello stato finale.
- Valutare l'entropia prodotta per irreversibilità nel processo.

$$[M_B = 6 \text{ kg}; V_{TOT} = 1.142 \text{ m}^3; P_2 = 6.85 \text{ bar}; \Delta S_{TOT} = 28.4 \text{ J/K}]$$