

### 3. Stati bifase.

**3.1.** *[base]* Utilizzando la tabella dell'acqua satura e del vapore surriscaldato, determinare lo stato dell'acqua (liquido sottoraffreddato, bifase, liquido saturo, vapore saturo, vapore surriscaldato) e la grandezza indicata tra parentesi, per tutti i casi seguenti:

- |  |                                     |                    |
|--|-------------------------------------|--------------------|
| 1. $P = 10,561 \text{ MPa}$            | $s = 8.4521 \text{ kJ/kgK}$         | (stato dell'acqua) |
| 2. $T = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  | $v = 0.04276 \text{ m}^3/\text{kg}$ | (h)                |
| 3. $v = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg}$    | $P = 400 \text{ mbar}$              | (s)                |
| 4. $T = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$  | $P = 2 \text{ bar}$                 | (h)                |
| 5. $P = 60 \text{ bar}$                | $h = 3600 \text{ kJ/kg}$            | (T)                |
| 6. $P = 80 \text{ bar}$                | $h = 1200 \text{ kJ/kg}$            | (T)                |
| 7. $T = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$   | $P = 10 \text{ kPa}$                | (h)                |
| 8. $P = 2 \text{ bar}$                 | $s = 5.5967 \text{ kJ/kg}$          | (v)                |
| 9. $T = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$  | $v = 0.27 \text{ m}^3/\text{kg}$    | (P)                |
| 10. $P = 1000 \text{ kPa}$             | $h = 650 \text{ kJ/kg}$             | (T)                |
| 11. $P = 2 \text{ MPa}$                | $x = 0,5$                           | (s)                |
| 12. $T = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $v = 25 \text{ m}^3/\text{kg}$      | (h)                |
| 13. $P = 2500 \text{ kPa}$             | $h = 1800 \text{ kJ/kg}$            | (s)                |
| 14. $T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  | $P = 50 \text{ kPa}$                | (h)                |
| 15. $T = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ | $x = 1$                             | (P)                |
| 16. $P = 70 \text{ kPa}$               | $s = 5.3 \text{ kJ/kgK}$            | (v)                |

**3.2.** *[intermedio]* Una massa  $M = 5 \text{ kg}$  di acqua alla temperatura  $T_i = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e con titolo  $x_i = 0.9$  viene posta a contatto con una sorgente isoterma a  $T_s = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Determinare il calore che deve essere asportato dall'acqua per raffreddarla sino alla temperatura  $T_f = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a pressione costante. Determinare la variazione di entropia complessiva del sistema *sorgente + massa d'acqua*.

$$[Q_A^{\leftarrow} = -10577 \text{ kJ}; \Delta S_{TOT} = 3.38 \text{ kJ/K}]$$

**3.3.** *[avanzato]* Un sistema composto è costituito da due recipienti 1 e 2 interagenti entrambi con una sorgente di lavoro a pressione  $P = 1 \text{ bar}$ . Il recipiente 1 contiene una massa  $M_1 = 2 \text{ kg}$  di vapore d'acqua umido con titolo  $x_1 = 0.8$ . Il recipiente 2 contiene una massa  $M_2$  di vapore surriscaldato alla temperatura  $T_2 = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si chiede: la massa  $M_2$  di vapore surriscaldato necessaria per ottenere vapore saturo dalla miscelazione adiabatica del contenuto dei due recipienti, il lavoro assorbito o prodotto del processo di miscelazione e la variazione di entropia.

$$[M_2 = 8.95 \text{ kg}; L_{SL}^{\rightarrow} = -149.4 \text{ kJ}; \Delta S_{TOT} = 150.2 \text{ kJ/K}]$$

- 3.4.** *[intermedio]* In un'autoclave di laboratorio, schematizzabile come un recipiente chiuso con pareti rigide ed adiabatiche, funzionante a vapore e di volume 25 l, si trova una massa di acqua  $M = 0.43$  kg a temperatura  $35^\circ\text{C}$ . Determinare la potenza termica minima necessaria per portare l'acqua alla temperatura di  $125^\circ\text{C}$  in 18 min. Si consideri trascurabile la capacità termica dell'autoclave.

$$[\dot{Q}_A^{\leftarrow} = 0.208 \text{ kW}]$$

- 3.5.** *[intermedio]* Un sistema composto è costituito da due recipienti. Il recipiente 1 contiene una massa di 4 kg di vapore umido con titolo 0.8. Il recipiente 2 contiene una massa di 2 kg di acqua alla temperatura di  $80^\circ\text{C}$ . Il sistema è in equilibrio alla pressione  $P = 2.7 \cdot 10^5$  Pa. Si chiede di valutare lo stato finale, il lavoro esercitato e la variazione di entropia del sistema complessivo a seguito di una miscelazione adiabatica e isobara.

**[vapore umido con  $x_f = 0.501$ ;  $L_S^{\rightarrow} = -35.2$  kJ;  $\Delta S_S = 0.0688$  kJ/K  
se il titolo finale fosse approssimato con  $x_f = 0.5$ ;  $L_S^{\rightarrow} = -36.4$  kJ;  $\Delta S_S = 0.0364$  kJ/K]**

- 3.6.** *[base]* Del vapore umido con titolo  $x_1 = 0.3$  contenuto in un apparato cilindro-pistone viene compresso adiabaticamente. La pressione e il volume iniziali del sistema sono rispettivamente  $P_1 = 0.1$  bar e  $V_1 = 25$  dm<sup>3</sup>. La pressione finale è  $P_2 = 20$  bar. Nell'ipotesi che il processo sia reversibile, determinare il lavoro necessario per eseguire la compressione.

$$[L_S^{\rightarrow} = -1.35 \text{ kJ}]$$

- 3.7.** *[base]* In una massa d'acqua di 1 kg a  $T_a = 25^\circ\text{C}$  e pressione atmosferica vengono immessi 200 g di ghiaccio a temperatura  $T_g = -15^\circ\text{C}$ . Determinare la temperatura finale del sistema composto, sapendo che il sistema è adiabatico, il processo è isobaro, l'entalpia di fusione del ghiaccio è  $h_{\text{lst}} = -333.38$  kJ/kg (rispetto al punto triplo) e il calore specifico del ghiaccio è  $c_g = 2093$  J/kgK.

$$[T_2 = 6,3^\circ\text{C}]$$

- 3.8.** *[intermedio]* In un serbatoio a pressione costante e pari a 10 bar vengono miscelati, adiabaticamente, una massa di 4 kg di ghiaccio a temperatura di  $-40^\circ\text{C}$  con una massa di 0,4 kg di vapore surriscaldato alla temperatura di  $200^\circ\text{C}$ . Determinare le condizioni finali del sistema.

**[equilibrio liquido – solido con frazione liquida  $x_L = 0.634$ ]**

**3.9.** *[intermedio]* Un sistema ad autoclave per la sterilizzazione (schematizzabile come un recipiente chiuso con pareti rigide ed adiabatiche) è diviso in due sezioni comunicanti tra loro tramite una valvola inizialmente chiusa. La sezione 1 contiene  $M_1 = 500$  g di vapore saturo di refrigerante R134a alla pressione  $P_1 = 6$  bar, mentre nella sezione 2 si trova una miscela liquido-vapore dello stesso refrigerante (titolo  $x_2 = 0.8$  e massa  $M_2 = 1$  kg) alla pressione  $P_2 = 14$  bar.

Ad un certo momento, la valvola viene aperta e dopo alcuni momenti, il refrigerante si porta alla pressione  $P_3 = 10$  bar. Con l'ausilio delle tabelle, si chiede:

- Di impostare l'equazione di bilancio energetico per il sistema.
- Il volume della sezione 1 e della sezione 2 dell'autoclave.
- Lo stato finale (stato 3) (volume specifico, temperatura ed eventualmente titolo) del refrigerante.
- La quantità di calore scambiata con l'ambiente.

**$[V_1 = 0.0172 \text{ m}^3; V_2 = 0.0115 \text{ m}^3; v_3 = 0.01908 \text{ m}^3/\text{kg}; T_3 = 39.39 \text{ }^\circ\text{C}; x_3 = 0.89; Q = 11 \text{ kJ}]$**

**3.10.** *[avanzato]* In un processo di sterilizzazione, dei ferri chirurgici inizialmente a temperatura  $T_i = 20$  °C sono posti in uno sterilizzatore, schematizzabile come un contenitore a pareti rigide ed adiabatiche di volume pari a  $62 \text{ dm}^3$ . Il processo di sterilizzazione inizia riempiendo il contenitore con vapore alla pressione  $P_1 = 2$  bar e temperatura  $T_1 = 200$  °C e termina all'equilibrio, quando la temperatura al suo interno è pari a  $T_2 = 100$  °C. Ipotizzando di trascurare il volume occupato dai ferri chirurgici, determinare:

- La massa dei ferri chirurgici supponendo di trascurare le variazioni di energia interna dello sterilizzatore e le dispersioni termiche (calore specifico  $c_F = 0.45 \text{ kJ/kgK}$ )
- Se il processo è possibile, impossibile, reversibile, irreversibile, o indeterminabile sotto questo aspetto.

**$[M_F = 1.41 \text{ kg}; S_{irr} = 0.0218 \text{ kJ/K}; \text{processo irreversibile}]$**