

**Corsi di laurea in ingegneria civile ed energetica**

*Prof. D. Galli*

25 maggio 2002

**(1)**

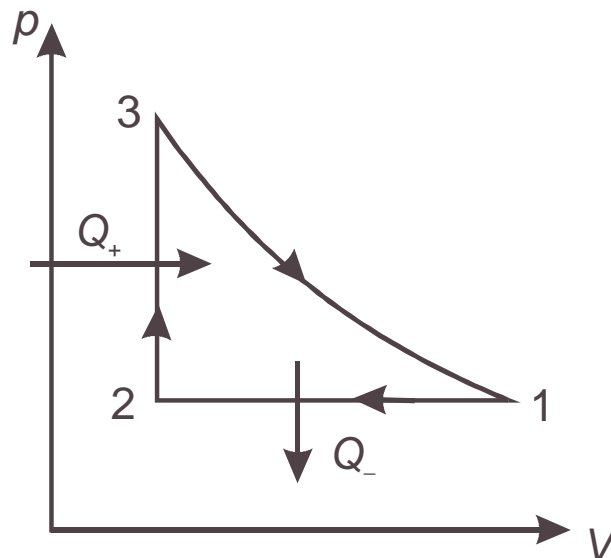
1. Tracciare nel diagramma di Clapeyron l'isoterma di un *gas perfetto*. Tracciare nel diagramma di Clapeyron l'isoterma di un *vapore in equilibrio col proprio liquido*.
2. Che cosa contengono le bolle di una pentola d'acqua in ebollizione? Perché l'acqua, in condizioni standard, bolle proprio a quella data temperatura (100 °C nella scala Celsius)?
3. Come si definisce un *termostato* (o serbatoio di calore o sorgente di calore o bagno di calore)? Come si può realizzare in pratica, con buona approssimazione, un termostato?
4. Un sistema subisce un'*espansione isoterma quasi-statica*. Dire se è positiva, negativa o nulla: *a)* la variazione di entropia del sistema; *b)* la variazione di entropia dell'ambiente; *c)* la variazione di entropia dell'universo.
5. Specificare *dimensioni e unità di misura* nel Sistema Internazionale delle seguenti grandezze: energia, calore, lavoro, lavoro tecnico, capacità termica, entalpia, entropia, pressione.
6. Il *punto di fusione* dell'alcool etilico è pari a  $-115\text{ °C}$  e il *calore latente di fusione* dell'alcool etilico è  $104\text{ J/g}$ . *a)* Calcolare il calore che è necessario sottrarre a 1 kg di alcool etilico liquido a  $-115\text{ °C}$  per farlo *solidificare*. *b)* Calcolare la variazione di entropia di 1 kg di alcool etilico durante la solidificazione alla temperatura di  $-115\text{ °C}$ , e specificare se essa è positiva, negativa o nulla.
7.  $n$  moli di *gas perfetto* compiono una trasformazione *quasi statica*, lungo la quale il calore specifico molare ha l'espressione:  $c(T) = c_V + aT^4$ , dove  $a$  è una costante nota. Se inizialmente il gas si trova all'equilibrio termodinamico a temperatura  $T_A$  e volume  $V_A$  noti, e lo stato finale è caratterizzato da una temperatura  $T_B$  anch'essa nota, determinare il volume finale  $V_B$  occupato dal gas. Determinare inoltre le dimensioni di  $a$ .
8. Un gas, caratterizzato dalla *capacità termica a volume costante*  $C_V = 3nR$  e dall'*equazione di stato*  $(p + 2\varepsilon V)V = nRT$ , si espande *liberamente* in un recipiente *adiabatico*, passando dal volume iniziale  $V_i$  e dalla temperatura iniziale  $T_i$  al volume finale  $V_f$  e alla temperatura finale  $T_f$ . Calcolare la variazione di *temperatura* e la variazione di *entropia* del gas.

9. Un sistema termodinamico costituito da  $n$  moli di *gas perfetto*, compie il *ciclo reversibile* mostrato in figura, composto dalle seguenti 3 trasformazioni:  $1 \rightarrow 2$ , compressione isobara quasi-statica;  $2 \rightarrow 3$ , aumento isocoro quasi-statico della temperatura;  $3 \rightarrow 1$ , espansione adiabatica quasi-statica. *a)* Calcolare pressione, volume e temperatura negli stati 1, 2 e 3, in funzione di  $V_1$ ,  $p_1$ ,  $r = V_1/V_2$  e  $\gamma = C_p/C_V$ . *b)* Calcolare il calore assorbito dal sistema  $Q_+$  e il calore ceduto dal sistema  $Q_-$  in funzione di  $C_p$ ,  $C_V$ ,  $T_1$ ,  $r$  e  $\gamma$ . *c)* Calcolare il rendimento  $\eta$  in funzione di  $r$  e  $\gamma$ .

[Risultato finale:  $\eta = 1 - \gamma \frac{r-1}{r^\gamma - 1}$  ].

10. La funzione di Helmholtz, per un certo gas, dipende dalla temperatura e dal volume nel modo seguente:  $F(V, T) = -nRT \ln(VT^2) + \varepsilon V$ , dove  $\varepsilon$  è una costante. *a)* Trovare l'*equazione di stato* del gas. *b)* trovare l'energia interna  $U$  e l'entropia  $S$  del gas in funzione di  $V$  e  $T$ . *c)* Trovare la capacità termica a volume costante  $C_V$  del gas. *d)* Trovare la variazione di entropia del gas in una trasformazione che porti dallo stato iniziale  $(V_i, T_i)$  allo stato finale  $(V_f, T_f)$ .

[Risultato finale:  $\Delta S = nR \ln \frac{V_f T_f^2}{V_i T_i^2}$  ].



## Corsi di laurea in ingegneria civile ed energetica

Prof. D. Galli

25 maggio 2002

(2)

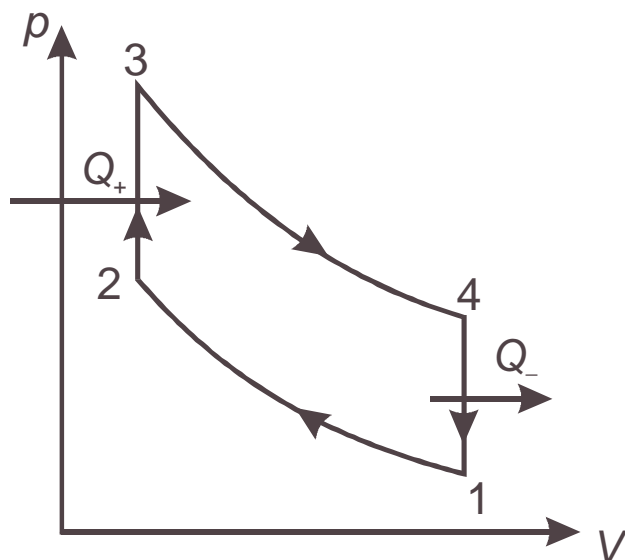
1. Che cosa rappresenta la *temperatura critica*? Qual è approssimativamente la temperatura critica dell'acqua?
2. Come mai si forma la condensa sulle bottiglie di vetro estratte dal frigorifero?
3. Che cos'è un *gas perfetto*? Quali proprietà soddisfano i suoi parametri di stato e la sua energia interna?
4. Un sistema subisce una *compressione isoterma quasi-statica*. Dire se è positiva, negativa o nulla: a) la variazione di entropia del sistema; b) la variazione di entropia dell'ambiente; c) la variazione di entropia dell'universo.
5. Specificare *dimensioni e unità di misura* nel Sistema Internazionale delle seguenti grandezze: calore, lavoro, lavoro tecnico, capacità termica, entalpia, entropia, pressione, energia interna.
6. Il *punto di ebollizione* dell'alcool etilico è pari a  $78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e il *calore latente di vaporizzazione* dell'alcool etilico è  $885\text{ J/g}$ . a) Calcolare il calore che è necessario cedere a  $1\text{ kg}$  di alcool etilico liquido a  $78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  per farlo *evaporare*. b) Calcolare la variazione di entropia di  $1\text{ kg}$  di alcool etilico durante l'evaporazione alla temperatura di  $78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e specificare se essa è positiva, negativa o nulla.
7.  $n$  moli di *gas perfetto* compiono una trasformazione *quasi statica*, lungo la quale il calore specifico molare ha l'espressione:  $c(T) = c_V + \frac{a}{T^3}$ , dove  $a$  è una costante nota. Se inizialmente il gas si trova all'equilibrio termodinamico a temperatura  $T_A$  e volume  $V_A$  noti, e lo stato finale è caratterizzato da una temperatura  $T_B$  anch'essa nota, determinare il volume finale  $V_B$  occupato dal gas. Determinare inoltre le dimensioni di  $a$ .
8. Un gas, caratterizzato dalla *capacità termica a volume costante*  $C_V = 3nR$  e dall'*equazione di stato*  $(p + \varepsilon)V = nRT$ , si espande *liberamente* in un recipiente *adiabatico*, passando dal volume iniziale  $V_i$  e dalla temperatura iniziale  $T_i$  al volume finale  $V_f$  e alla temperatura finale  $T_f$ . Calcolare la variazione di *temperatura* e la variazione di *entropia* del gas.

9. Un sistema termodinamico costituito da  $n$  moli di *gas perfetto*, compie il *ciclo reversibile* mostrato in figura, composto dalle seguenti 4 trasformazioni:  $1 \rightarrow 2$ , compressione adiabatica quasi-statica;  $2 \rightarrow 3$ , aumento isocoro quasi-statico della temperatura;  $3 \rightarrow 4$ , espansione adiabatica quasi-statica;  $4 \rightarrow 1$ , diminuzione isocora quasi-statica della temperatura. a) Calcolare pressione, volume e temperatura negli stati 1, 2, 3 e 4, in funzione di  $V_1$ ,  $p_1$ ,  $r = V_1/V_2 > 1$ ,  $\gamma = C_p/C_V$  e  $k = T_3/T_2 > 1$ . b) Calcolare il calore assorbito dal sistema  $Q_+$  e il calore ceduto dal sistema  $Q_-$  in funzione di  $C_V$ ,  $T_1$ ,  $r$ ,  $k$  e  $\gamma$ . c) Calcolare il rendimento  $\eta$  in funzione di  $r$  e  $\gamma$ .

[Risultato finale:  $\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$ ].

10. La funzione di Helmholtz, per un certo gas, dipende dalla temperatura e dal volume nel modo seguente:  $F(V, T) = -nRT \ln(VT^2) + \varepsilon V^2$ , dove  $\varepsilon$  è una costante. a) Trovare l'*equazione di stato* del gas. b) trovare l'energia interna  $U$  e l'entropia  $S$  del gas in funzione di  $V$  e  $T$ . c) Trovare la capacità termica a volume costante  $C_V$  del gas. d) Trovare la variazione di entropia del gas in una trasformazione che porti dallo stato iniziale  $(V_i, T_i)$  allo stato finale  $(V_f, T_f)$ .

[Risultato finale:  $\Delta S = nR \ln \frac{V_f T_f^2}{V_i T_i^2}$ ].



**Corsi di laurea in ingegneria civile ed energetica**

*Prof. D. Galli*

25 maggio 2002

**(3)**

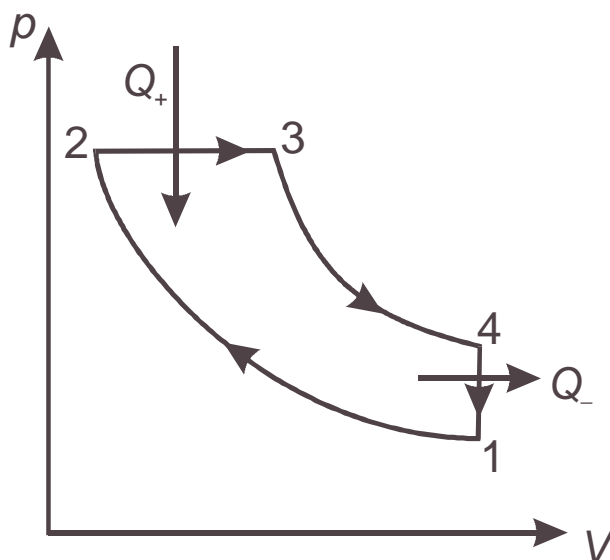
1. Che cosa rappresenta il punto triplo? Qual è la temperatura del punto triplo dell'acqua? Al punto triplo dell'acqua è associata una ben definita pressione o si può avere il punto triplo a pressioni diverse?
2. Perché a temperature inferiori al punto di ebollizione l'acqua non bolle?
3. Che curva rappresenta nel diagramma di Clapeyron un'espansione adiabatica quasi-statica (specificare l'equazione della curva)?
4. Un sistema subisce un'espansione libera adiabatica. Dire se è positiva, negativa o nulla: *a)* la variazione di entropia del sistema; *b)* la variazione di entropia dell'ambiente; *c)* la variazione di entropia dell'universo.
5. Specificare dimensioni e unità di misura nel Sistema Internazionale delle seguenti grandezze: calore specifico, energia, calore, lavoro, lavoro tecnico, entalpia, entropia, pressione.
6. Il *punto di fusione* del piombo è pari a 327 °C e il *calore latente di fusione* del piombo è 23 J/g. *a)* Calcolare il calore che è necessario cedere a 1 kg di piombo solido a 327 °C per farlo *fondere*. *b)* Calcolare la variazione di entropia di 1 kg di piombo durante la fusione alla temperatura di 327 °C, e specificare se essa è positiva, negativa o nulla.
7.  $n$  moli di *gas perfetto* compiono una trasformazione *quasi statica*, lungo la quale il calore specifico molare ha l'espressione:  $c(T) = c_V + aT^3$ , dove  $a$  è una costante nota. Se inizialmente il gas si trova all'equilibrio termodinamico a temperatura  $T_A$  e volume  $V_A$  noti, e lo stato finale è caratterizzato da una temperatura  $T_B$  anch'essa nota, determinare il volume finale  $V_B$  occupato dal gas. Determinare inoltre le dimensioni di  $a$ .
8. Un gas, caratterizzato dalla *capacità termica a volume costante*  $C_V = 2nR$  e dall'*equazione di stato*  $(p + 2\varepsilon V)V = nRT$ , si espande *liberamente* in un recipiente *adiabatico*, passando dal volume iniziale  $V_i$  e dalla temperatura iniziale  $T_i$  al volume finale  $V_f$  e alla temperatura finale  $T_f$ . Calcolare la variazione di *temperatura* e la variazione di *entropia* del gas.

9. Un sistema termodinamico costituito da  $n$  moli di *gas perfetto*, compie il *ciclo reversibile* mostrato in figura, composto dalle seguenti 4 trasformazioni:  $1 \rightarrow 2$ , compressione adiabatica quasi-statica;  $2 \rightarrow 3$ , espansione isobara quasi-statica;  $3 \rightarrow 4$ , espansione adiabatica quasi-statica;  $4 \rightarrow 1$ , diminuzione isocora quasi-statica della temperatura. a) Calcolare pressione, volume e temperatura negli stati 1, 2, 3 e 4, in funzione di  $V_1$ ,  $p_1$ ,  $r = V_1/V_2 > 1$ ,  $r' = V_4/V_3 > 1$  e  $\gamma = C_p/C_V$ , con  $r' < r$ . b) Calcolare il calore assorbito dal sistema  $Q_+$  e il calore ceduto dal sistema  $Q_-$  in funzione di  $C_V$ ,  $C_p$ ,  $T_1$ ,  $r$ ,  $r'$  e  $\gamma$ . c) Calcolare il rendimento  $\eta$  in funzione di  $r$ ,  $r'$  e  $\gamma$ .

[Risultato finale:  $\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\frac{1}{r'^\gamma} - \frac{1}{r^\gamma}}{\frac{1}{r'} - \frac{1}{r}}$ ].

10. La funzione di Helmholtz, per un certo gas, dipende dalla temperatura e dal volume nel modo seguente:  $F(V, T) = -nRT \ln(VT^3) + \varepsilon V$ , dove  $\varepsilon$  è una costante. a) Trovare l'*equazione di stato* del gas. b) trovare l'energia interna  $U$  e l'entropia  $S$  del gas in funzione di  $V$  e  $T$ . c) Trovare la capacità termica a volume costante  $C_V$  del gas. d) Trovare la variazione di entropia del gas in una trasformazione che porti dallo stato iniziale  $(V_i, T_i)$  allo stato finale  $(V_f, T_f)$ .

[Risultato finale:  $\Delta S = nR \ln \frac{V_f T_f^3}{V_i T_i^3}$ ].



**Corsi di laurea in ingegneria civile ed energetica**

*Prof. D. Galli*

25 maggio 2002

**(4)**

1. In quali condizioni un sistema termodinamico si dice essere in stato di equilibrio termodinamico? In quali condizioni due sistemi termodinamici si dicono in equilibrio termico tra loro?
2. Il “fumo” che si osserva uscire da una pentola di acqua in ebollizione è costituito da vapore acqueo o da piccole goccioline di acqua liquida?
3. Che cos'è una mole? Come si definisce il calore molare?
4. Un sistema termodinamico a temperatura più alta viene messo a contatto con un sistema termodinamico a temperatura più bassa. Dire se è positiva, negativa o nulla: *a)* la variazione di entropia del sistema a temperatura più alta; *b)* la variazione di entropia del sistema a temperatura più bassa; *c)* la variazione di entropia complessiva dei due sistemi.
5. Specificare dimensioni e unità di misura nel Sistema Internazionale delle seguenti grandezze: calore, lavoro, lavoro tecnico, capacità termica, entalpia, entropia, pressione, energia libera.
6. Il *punto di ebollizione* dell'anidride solforosa è pari a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e il *calore latente di vaporizzazione* dell'anidride solforosa è  $389\text{ J/g}$ . *a)* Calcolare il calore che è necessario sottrarre a  $1\text{ kg}$  di anidride solforosa gassosa a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  per farla *condensare*. *b)* Calcolare la variazione di entropia di  $1\text{ kg}$  di anidride solforosa durante la condensazione alla temperatura di  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e specificare se essa è positiva, negativa o nulla.
7.  $n$  moli di *gas perfetto* compiono una trasformazione *quasi statica*, lungo la quale il calore specifico molare ha l'espressione:  $c(T) = c_v + \frac{a}{T^2}$ , dove  $a$  è una costante nota. Se inizialmente il gas si trova all'equilibrio termodinamico a temperatura  $T_A$  e volume  $V_A$  noti, e lo stato finale è caratterizzato da una temperatura  $T_B$  anch'essa nota, determinare il volume finale  $V_B$  occupato dal gas. Determinare inoltre le dimensioni di  $a$ .
8. Un gas, caratterizzato dalla *capacità termica a volume costante*  $C_v = 2nR$  e dall'*equazione di stato*  $(p + \varepsilon)V = nRT$ , si espande *liberamente* in un recipiente *adiabatico*, passando dal volume iniziale  $V_i$  e dalla temperatura iniziale  $T_i$  al volume finale  $V_f$  e alla temperatura finale  $T_f$ . Calcolare la variazione di *temperatura* e la variazione di *entropia* del gas.

9. Un sistema termodinamico costituito da  $n$  moli di *gas perfetto*, compie il *ciclo reversibile* mostrato in figura, composto dalle seguenti 4 trasformazioni:  $1 \rightarrow 2$ , compressione adiabatica quasi-statica;  $2 \rightarrow 3$ , aumento isocoro quasi-statico della temperatura;  $3 \rightarrow 4$ , espansione adiabatica quasi-statica;  $4 \rightarrow 1$ , compressione isobara quasi-statica. a) Calcolare pressione, volume e temperatura negli stati 1, 2, 3 e 4, in funzione di  $V_1$ ,  $p_1$ ,  $r = V_1/V_2 > 1$ ,  $r' = V_4/V_3 > 1$  e  $\gamma = C_p/C_V$ , con  $r < r'$ . b) Calcolare il calore assorbito dal sistema  $Q_+$  e il calore ceduto dal sistema  $Q_-$  in funzione di  $C_V$ ,  $C_p$ ,  $T_1$ ,  $r$ ,  $r'$  e  $\gamma$ . c) Calcolare il rendimento  $\eta$  in funzione di  $r$ ,  $r'$  e  $\gamma$ .

[Risultato finale:  $\eta = 1 - \gamma \frac{r' - r}{r'^\gamma - r^\gamma}$ ].

10. La funzione di Helmholtz, per un certo gas, dipende dalla temperatura e dal volume nel modo seguente:  $F(V, T) = -nRT \ln(VT^3) + \varepsilon V^2$ , dove  $\varepsilon$  è una costante. a) Trovare l'*equazione di stato* del gas. b) trovare l'energia interna  $U$  e l'entropia  $S$  del gas in funzione di  $V$  e  $T$ . c) Trovare la capacità termica a volume costante  $C_V$  del gas. d) Trovare la variazione di entropia del gas in una trasformazione che porti dallo stato iniziale  $(V_i, T_i)$  allo stato finale  $(V_f, T_f)$ .

[Risultato finale:  $\Delta S = nR \ln \frac{V_f T_f^3}{V_i T_i^3}$ ].

