Introduzione alla fisica
261SM
Esercizi di termodinamica

Prof. Pierre Thibault
pthibault@units.it

23. • **MS** Una piccola resistenza elettrica a immersione è usata per scaldare 100 g di acqua per una tazza di caffè solubile. La resistenza è etichettata come “200 watt” (converte energia elettrica in energia termica con questa rapidità). Trascurando qualunque perdita di calore, calcolate il tempo necessario per aumentare la temperatura dell’acqua da 23,0 °C a 100 °C.

31. •• Quale massa di vapore a 100 °C deve essere mescolata con 150 g di ghiaccio al suo punto di fusione, in un contenitore termicamente isolato, per produrre acqua liquida a 50 °C?

$L_f = 3{,}33 \times 10^5\ J/kg$

$L_e = 2{,}260 \times 10^6\ J/kg$

$c = 4{,}186 \times 10^3\ J/kg\,K$

sistema isolato:

$$Q_g + Q_v = 0$$

$$Q_g = m_g L_f + m_g c \Delta T$$

$$Q_v = -(m_v L_e + m_v c \Delta T)$$

$$m_g (L_f + c\Delta T) = m_v (L_e + c \Delta T)$$

$$m_v = m_g \frac{(L_f + c\Delta T)}{(L_e + c\Delta T)} = 33\ g$$

35. •• Un thermos isolato contiene 130 cm^3 di caffè caldo a 80,0 °C. Mettete nel thermos un cubetto di ghiaccio di massa 12,0 g al suo punto di fusione per raffreddare il caffè. Di quanti gradi si sarà raffreddato il caffè una volta che il ghiaccio sarà fuso e il sistema avrà raggiunto l'equilibrio termico? Trattate il caffè come se fosse acqua pura e trascurate gli scambi termici con l'ambiente circostante.

41. ••• **MS** (a) Due cubetti di ghiaccio di massa 50 g vengono lasciati cadere in un recipiente isolato contenente 200 g di acqua. Se l'acqua è inizialmente a 25 °C e se il ghiaccio proviene direttamente dal congelatore a –15 °C, qual è la temperatura finale all'equilibrio termico? (b) Qual è la temperatura finale se viene usato un solo cubetto di ghiaccio?

60. •• La **Figura 18.46** mostra la sezione trasversale di una parete formata da tre strati. Gli spessori degli strati sono L_1, $L_2 = 0{,}700L_1$ e $L_3 = 0{,}350L_1$. Le conducibilità termiche sono k_1, $k_2 = 0{,}900k_1$ e $k_3 = 0{,}800k_1$. Le temperature alla sinistra e alla destra della parete sono rispettivamente $T_S = 30{,}0$ °C e $T_D = -15{,}0$ °C. La conduzione termica è in uno stato stazionario. (a) Qual è la differenza di temperatura ΔT_2 attraverso lo strato 2 (tra il lato sinistro e il lato destro dello strato)? Se k_2 fosse, invece, uguale a $1{,}1k_1$, (b) la rapidità con la quale l'energia viene trasmessa per conduzione attraverso la parete sarebbe maggiore, minore o uguale a quella precedente e (c) quale sarebbe il valore di ΔT_2?

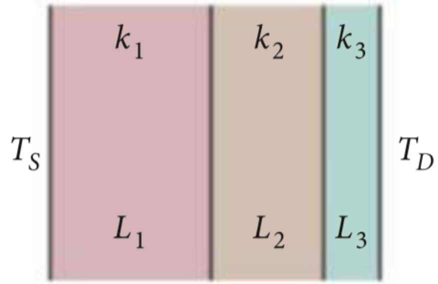


Figura 18.46 Problema 60.

a)
$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{A}(R_1 + R_2 + R_3) \qquad R_i = \frac{L_i}{k_i}$$

$$\dot{Q} = \Delta T A (R_1 + R_2 + R_3)^{-1}$$

$$R_1 = \frac{L_1}{k_1} \qquad R_2 = \frac{7}{9}R_1 \qquad R_3 = \frac{7}{16}R_1$$

$$R_1 + R_2 + R_3 = R_1\left(1 + \frac{7}{9} + \frac{7}{16}\right)$$

$$= \frac{319}{144}R_1 = 2.22\,R_1$$

$$\dot{Q} = (45°C)A \cdot \frac{144}{319}\frac{1}{R_1} \simeq (20.3°C)\frac{A}{R_1}$$

$$\Delta T_2 = \frac{\dot{Q}}{A}R_2$$

$$= 20.3°C\frac{R_2}{R_1} = \frac{7}{9}20.3°C = 15.8°C$$

b) $k_2 = 1{,}1k_1 \rightarrow \dot{Q}$ maggiore

c) $\Delta T_2 = 13.8$


20°C

98. Il diagramma p-V nella **Figura 18.60** mostra due percorsi attraverso i quali un campione di gas può essere portato dallo stato a allo stato b, in cui $V_b = 3{,}0V_1$. Il percorso 1 richiede che un'energia uguale a $5{,}0p_1V_1$ sia trasferita al gas sotto forma di calore. Il percorso 2 richiede che un'energia uguale a $5{,}5p_1V_1$ sia trasferita al gas sotto forma di calore. Qual è il rapporto p_2/p_1?

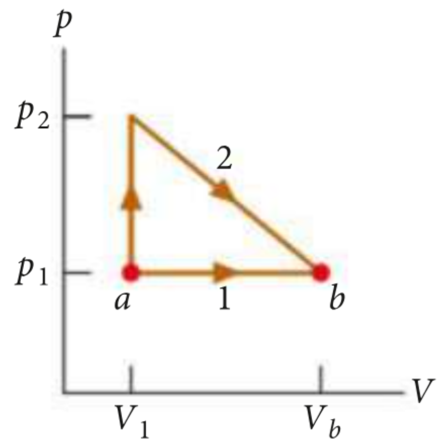


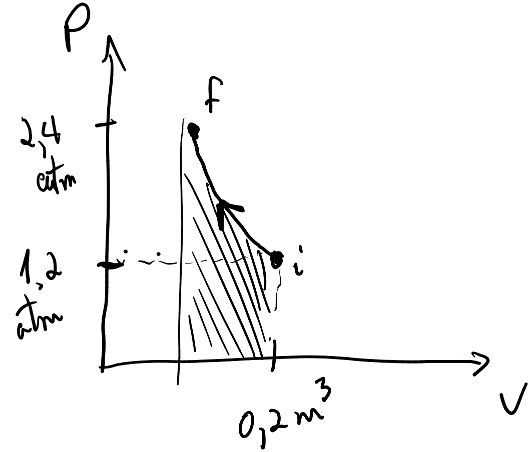
Figura 18.60 Problema 98.

3. Per un aumento ΔT_1 di temperatura una certa quantità di un gas perfetto richiede $30\ \mathrm{J}$ quando viene riscaldata a volume costante e $50\ \mathrm{J}$ quando viene riscaldata a pressione costante. Quanto lavoro compie il gas nel secondo caso?

18. • La temperatura e la pressione nell'atmosfera solare sono $2{,}00 \cdot 10^6$ K e 0,0300 Pa. Calcolate la velocità quadratica media degli elettroni liberi (massa di $9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg), supponendo che si comportino come un gas perfetto.

43. ●● La temperatura di 3,00 moli di un gas perfetto biatomico viene aumentata di 40,0 °C senza che la pressione del gas cambi. Le molecole del gas ruotano ma non oscillano. (a) Quanta energia viene trasferita al gas sotto forma di calore? (b) Qual è la variazione dell'energia interna del gas? (c) Quanto lavoro viene compiuto dal gas? (d) Di quanto aumenta l'energia cinetica rotazionale del gas?

62. ••• Un gas perfetto biatomico, nel quale le molecole possono ruotare ma non oscillare, subisce una compressione adiabatica. La sua pressione e il suo e volume iniziali sono 1,20 atm e 0,200 m³. La sua pressione finale è 2,40 atm. Quanto lavoro viene compiuto dal gas?



$$\gamma = \frac{7}{5}$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P\,dV$$

adiabatico: $PV^{\gamma} = \text{costante} = P_i V_i^{\gamma}$

$$P_f V_f^{\gamma} = P_i V_i^{\gamma} \Rightarrow \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\gamma} = \frac{P_i}{P_f}$$

$$P(V) = \frac{P_i V_i^{\gamma}}{V^{\gamma}}$$

$$\frac{V_i}{V_f} = \left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P_i V_i^{\gamma} \frac{dV}{V^{\gamma}} = P_i V_i^{\gamma} (1-\gamma)\left(V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma}\right)$$

$$= P_i V_i (1-\gamma)\left(\left(\frac{V_i}{V_f}\right)^{\gamma-1} - 1\right) = P_i V_i (1-\gamma)\left(\left(\frac{P_f}{P_i}\right)^{\overbrace{\frac{\gamma-1}{\gamma}}^{2/7}} - 1\right) = -2130\ \text{J}$$

8. •• A temperature molto basse il calore specifico molare C_V c_V di molti solidi è approssimativamente $c_V = AT^3$, dove A dipende della sostanza. Per l'alluminio $A = 3{,}15 \cdot 10^{-5}$ J/(mol · K^4). Trovate la variazione dell'entropia per 4,00 mol di alluminio quando la loro temperatura viene aumentata da 5,00 K a 10,0 K.

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta Q = C_v \, dT$$
$$= c_v n \, dT$$
$$= AT^3 n \, dT$$

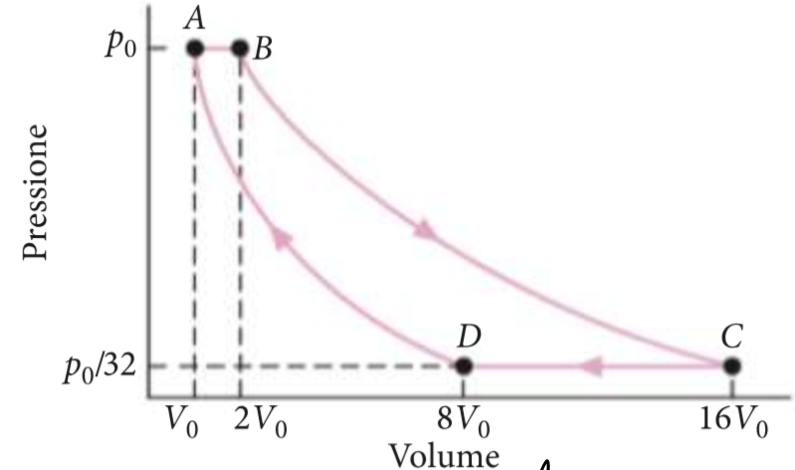
$$\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} A n T^2 \, dT$$

$$= A n \frac{1}{3} \left(T_f^3 - T_i^3\right)$$

$$= 3{,}68 \times 10^{-2} \ \text{J/K}$$

30. •• Una macchina di Carnot da 500 W lavora tra due sorgenti a temperatura costante che si trovano a 100 °C e a 60,0 °C. Qual è la rapidità con la quale l'energia (a) è assorbita dalla macchina sotto forma di calore e (b) è rilasciata dalla macchina sotto forma di calore?

34. •• Un gas perfetto (1,0 mol) è il fluido di lavoro di una macchina che funziona nel ciclo mostrato nella **Figura 20.30**. Le trasformazioni BC e DA sono reversibili e adiabatiche. (a) Il gas è monoatomico, biatomico o poliatomico? (b) Qual è il rendimento della macchina?



a) adiabatico $\Rightarrow$ PV^γ = costante

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v} = 1 + \frac{2}{f}$$

* relazione di Mayer:

$$c_p - c_v = R$$

e.g. paragonare A, D

$$P_A V_A^\gamma = P_D V_D^\gamma$$

$$\cancel{P_0 V_0^\gamma} = \frac{\cancel{P_0}}{32} \cancel{V_0^\gamma}\, 8^\gamma$$

* equipartizione

$$c_v = \frac{f}{2} R$$

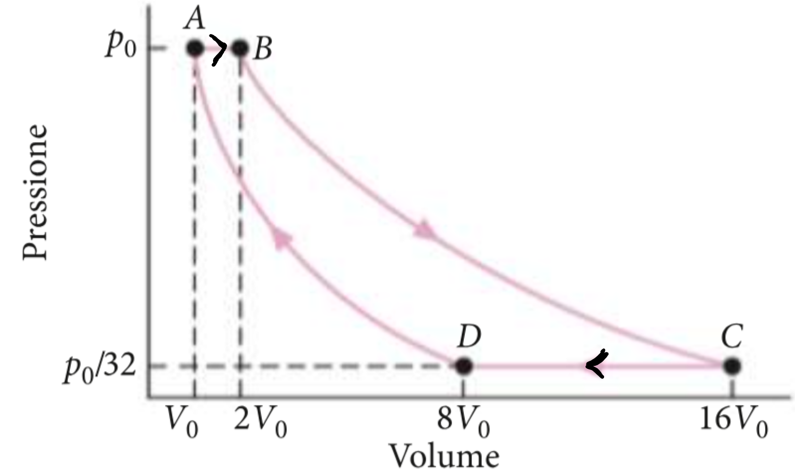
numero di gradi di libertà

$$32 = 8^\gamma = 2^5 = 2^{3\gamma} \Rightarrow \gamma = \frac{5}{3}$$

$$\ln 32 = \gamma \ln 8 \qquad \gamma = \frac{\ln 32}{\ln 8}$$

$\gamma = \frac{5}{3}$ mono $\quad \frac{7}{5}, \frac{9}{7}$ biatomico

34. •• Un gas perfetto (1,0 mol) è il fluido di lavoro di una macchina che funziona nel ciclo mostrato nella **Figura 20.30**. Le trasformazioni BC e DA sono reversibili e adiabatiche. (a) Il gas è monoatomico, biatomico o poliatomico? (b) Qual è il rendimento della macchina?



$$PV = nRT$$

$$T = \frac{PV}{nR}$$

b) $Q_c = c_p n \Delta T$

$$\Delta T = T_B - T_A$$

$$= \frac{P_B V_B}{nR} - \frac{P_A V_A}{nR}$$

$$= \frac{c_p n}{nR}(P_B V_B - P_A V_A)$$

$$= \frac{c_p}{R}(2p_0 V_0 - p_0 V_0) = \frac{c_p}{R} p_0 V_0 = \frac{5}{2} p_0 V_0$$

$$Q_f = \left| c_p n \Delta T \right|$$

$$= \left| \frac{c_p n}{nR} (P_D V_D - P_C V_C) \right|$$

$$= \left| \frac{c_p}{R} \left(\frac{1}{4} p_0 V_0 - \frac{1}{2} p_0 V_0 \right) \right|$$

$$= \frac{1}{4} \frac{5}{2} p_0 V_0$$

$$\left(c_p = c_v + R = \frac{f}{2} R + R = \frac{f+2}{2} R = \frac{5}{2} R \right)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4} = 75\%$$

49. Un'asta cilindrica di rame di lunghezza 1,50 m e raggio 2,00 cm è isolata per evitare la perdita di calore attraverso la sua superficie curva. Un'estremità è attaccata a un serbatoio termico fissato a 300 °C; l'altra è attaccata a un serbatoio termico fissato a 30,0 °C. Qual è la rapidità con la quale l'entropia aumenta per il sistema asta-serbatoi?

Sostanza	k (W/(m · K))
Metalli	
Acciaio inossidabile	14
Piombo	35
Ferro	67
Ottone	109
Alluminio	235
Rame	401
Argento	428

$$\dot{Q} = -K A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$= 401 \, \frac{W}{mK} \cdot \pi (0{,}02\,m)^2 \, \frac{270\,°C}{1{,}5\,m} = 90.7\ W$$

$$\dot{S}_F = \frac{\dot{Q}}{T_F}$$

$$\dot{S}_C = \frac{-\dot{Q}}{T_C}$$

$$\dot{S}_{tot} = \dot{S}_F + \dot{S}_C = \dot{Q}\left(\frac{1}{T_F} - \frac{1}{T_C}\right) = 0.14\ \frac{J}{Ks}$$

63. Un ciclo in tre passaggi è compiuto reversibilmente da 4,00 moli di un gas perfetto: (1) un'espansione adiabatica che dà al gas 2,00 volte il suo volume iniziale, (2) una trasformazione a volume costante, (3) una compressione isoterma allo stato iniziale del gas. Non sappiamo se il gas sia monoatomico o biatomico; se è biatomico, non sappiamo se le molecole ruotino né se oscillino. Quali sono le variazioni dell'entropia (a) per il ciclo, (b) per la trasformazione 1, (c) per la trasformazione 3 e (d) per la trasformazione 2?

Il rendimento una macchina di Carnot che opera tra T_f e T_c è maggiormente migliorato se cambiano le temperature secondo...

$$\eta_c = \frac{T_c - T_f}{T_c}$$

1. $T_c \to T_c + \Delta T$

$$\eta = \frac{T_c - T_f + \Delta T}{T_c + \Delta T} \quad \text{X}$$

2. $T_f \to T_f - \Delta T$

$$\eta = \frac{T_c - T_f + \Delta T}{T_c} = \eta_c + \frac{\Delta T}{T_c}$$

3. $T_f \to T_f + \Delta T$ e $T_c \to T_c + \Delta T$

$$\frac{T_c - T_f}{T_c + \Delta T} \quad \text{X} \qquad \simeq \eta_c\left(1 + \frac{\Delta T}{T_c}\right) = \eta_c + \frac{\Delta T}{T_c}\eta_c$$

4. $T_f \to T_f - \Delta T$ e $T_c \to T_c - \Delta T$

$$\frac{T_c - T_f}{T_c - \Delta T} = \eta_c \cdot \left(\frac{T_c}{T_c - \Delta T}\right) = \eta_c\left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta T}{T_c}}\right)$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{W}{W + Q_F}$$

$$\eta(W + Q_F) = W$$

$$W(1-\eta) = \eta Q_F$$

$$Q_F = W\left(\frac{1-\eta}{\eta}\right)$$

$$Q_c - Q_F = W$$

$$Q_c = W + Q_F$$

$$P = \frac{1}{3}\rho\langle v^2\rangle$$