

# Esercizi Termodinamica

Esercitazioni di Fisica LA per ingegneri - A.A. 2004-2005

## Esercizio 1

Un recipiente a pareti adiabatiche e base conduttrice, chiuso da un pistone mobile (senza attrito) pure adiabatico, racchiude una mole di gas perfetto monoatomico alla pressione  $P_1$  e al volume  $V_1$  (stato 1). Si pone il recipiente su un serbatoio di calore che ha la stessa temperatura del gas e si aumenta il volume fino al valore  $8V_1$  (stato 2). Si toglie poi il contatto termico con il serbatoio di calore e, mantenendo costante il volume, si porta il gas in uno stato 3 in cui la pressione è minore di quella dello stato 2. A partire da questo stato, infine, si pone il cilindro su un isolante termico e lo si riporta allo stato iniziale. Considerando reversibili tutte le trasformazioni, calcolare il rendimento della macchina termica che lavora su questo ciclo. (R: 0.46)

## Esercizio 2

Una macchina di Carnot che lavora fra due serbatoi di calore a temperatura  $T_1 = 1000^\circ K$  e  $T_2 = 300^\circ K$ , cede al serbatoio più freddo una quantità di calore  $Q_2 = 12000 J$ . Trovare il rendimento e il lavoro compiuto dalla macchina in un ciclo. (R: 0.70, 28000 J)

## Esercizio 3

Invertendo un ciclo di Carnot si vuole sottrarre una quantità di calore  $Q_1 = 4180 cal$  da un serbatoio a temperatura  $T_1 = -23^\circ C$  e trasferirla ad un secondo serbatoio a temperatura  $T_2 = 27^\circ C$ . Determinare il minimo lavoro occorrente e la quantità di calore  $Q_2$  trasferita al secondo serbatoio. (R: 5016 cal, 836 cal)

## Esercizio 4

Calcolare la variazione di energia interna e la variazione di entropia di 6 moli di gas perfetto monoatomico che, inizialmente a pressione  $P_1 = 10 atm$  a volume  $V_1 = 1.5 l$ , si espandono fino ad un volume  $V_2 = 9 l$  e pressione  $P_2 = 3 atm$ . (R:  $18 l \cdot atm$ ,  $1.32 l \cdot atm/K$ )

## Esercizio 5

Un sistema termodinamico inizialmente in uno stato a temperatura  $T_1 = 400^\circ K$  passa in uno stato a temperatura  $T_2 = 500^\circ K$  con una trasformazione reversibile caratterizzata dall'equazione  $T = aS + b$  dove  $S$  è l'entropia,  $T$  la temperatura assoluta,  $a = 45^\circ K^2/cal$  e  $b = cost$ . Calcolare il calore scambiato dal sistema con l'esterno. (R: 1000 cal)

## Esercizio 6

Una massa  $m = 1 kg$  di piombo viene scaldata reversibilmente alla pressione atmosferica dalla temperatura  $T_1 = 17^\circ C$  alla temperatura  $T_2 = 37^\circ C$ . Assumendo il calore specifico del piombo  $c = 0.03 cal/gC$  calcolare la variazione di entropia del piombo e quella dell'ambiente circostante. (R:  $2 cal/k$ ,  $-2 cal/k$ )

### Esercizio 7

In un recipiente adiabatico vengono mescolate una massa  $m_1 = 2\text{ kg}$  di acqua che si trova alla temperatura  $T_1 = 77^\circ\text{C}$  e una massa  $m_2 = 5\text{ kg}$  di acqua alla temperatura di  $T_2 = 7^\circ\text{C}$ . calcolare la temperatura finale di equilibrio e la variazione di entropia dell'universo. (R:  $27^\circ\text{C}$ ,  $37\text{ cal/K}$ )

### Esercizio 8

Una mole di gas perfetto, contenuta in un recipiente adiabatico, inizialmente a temperatura  $T_1$  e volume  $V_1$  si espande fino ad occupare un volume  $V_2$ . Calcolare la variazione di energia interna, il lavoro compiuto e la variazione di entropia nel caso in cui l'espansione sia reversibile e nel caso in cui sia libera.

### Esercizio 9

Un recipiente a pareti rigide ed adiabatiche è diviso da un setto pure adiabatico in due parti  $A$   $B$ , ciascuna di volume  $V_0$ . In  $A$  sono contenute  $n_A$  moli di gas perfetto monoatomico a pressione  $P_0$  e in  $B$  sono contenute  $n_B$  moli dello stesso gas pure alla pressione  $P_0$ . calcolare la variazione di entropia dell'universo se si toglie il setto e si attende che il gas raggiunga la nuova configurazione di equilibrio. (R:  $5/2R(n_A \ln(2n_A/(n_A + n_B)) + n_B \ln(2n_B/(n_A + n_B)))$ )

### Esercizio 10

Un recipiente adiabatico è diviso in due parti uguali da un pistone pure adiabatico di massa trascurabile, scorrevole senza attrito. In una delle due parti sono contenute a temperatura  $T_0$   $n$  moli di un gas perfetto, i cui calori molari  $c_V$  e  $c_P$  sono noti ed indipendenti dalla temperatura; nell'altra parte del recipiente c'è il vuoto. Si sbolcca il pistone e il gas compie un'espansione libera fino ad occupare l'intero volume del cilindro. Successivamente il pistone viene riportato lentamente nella posizione iniziale. Calcolare la variazione di entropia e di energia intero dopo l'intero processo. (R:  $nR \ln 2$ ,  $nc_V T_0 (2^{R/c_v} - 1)$ )

### Esercizio 11

Un recipiente cilindrico ha la base  $B$  conduttrice e le pareti adiabatiche. Il recipiente è diviso in due parti da un setto  $S$  adiabatico di massa trascurabile e mobile senza attrito. Dalla parte opposta rispetto alla base  $B$  il cilindro è chiuso da un pistone  $C$  anch'esso di massa trascurabile e mobile senza attrito. Nelle due zone in cui è diviso il cilindro sono contenute rispettivamente (con l'indice 1 si intenda la zona che sta fra la base  $B$  e il setto  $S$ , e con l'indice 2 si intenda la zona fra il setto  $S$  ed il pistone  $C$ )  $n_1 = 8$  e  $n_2 = 16$  moli dello stesso gas perfetto monoatomico alle temperature  $T_1 = 300^\circ\text{K}$  e  $T_2 = 600^\circ\text{K}$ . Il sistema è inizialmente in equilibrio per un valore della pressione esterna pari a  $P_0 = 3.2\text{ atm}$ . Si fa espandere reversibilmente il gas contenuto nella zona 1 mettendo la base  $B$  in contatto con un serbatoio di calore a temperatura  $T_1$  fino all'uguaglianza dei due volume. Calcolare le coordinate termodinamiche degli stati finali di ciascuna parte, il lavoro compiuto dal sistema e la variazione di entropia del sistema. (R:  $1568\text{ l} \cdot \text{atm}$ ,  $2.27\text{ l} \cdot \text{atm/K}$ )

## Esercizio 12

Un recipiente rigido a pareti adiabatiche è diviso in due parti  $A$  e  $B$  da un setto perfettamente conduttore, di massa trascurabile e mobile senza attrito. In  $A$  sono contenute  $n_A = 0.5$  moli di gas perfetto e in  $B$   $n_B = 2n_A$  moli dello stesso gas perfetto alla stessa temperatura del gas contenuta in  $A$  ma a pressione doppia. Ad un certo istante si lascia il setto libero di muoversi si attende la nuova configurazione di equilibrio (si supponga che il setto, dopo aver compiuto un certo numero di oscillazioni si arresti). Calcolare la variazione di entropia del sistema. (R:  $7 \cdot 10^{-3} l \cdot atm/K$ )

## Esercizio 13

Un cilindro a pareti adiabatiche è chiuso da un pistone di massa trascurabile, pure adiabatico, mobile senza attrito e di sezione  $S = 1 dm^2$ . Il cilindro contiene 5 moli di gas perfetto monoatomico a una temperatura iniziale  $T_0 = 500^\circ K$  e il sistema è in equilibrio per un valore della pressione atmosferica  $P_0 = 1 atm$ . Si pone sul pistone una massa  $M = 105 kg$ ; supponendo che dopo un certo numero di oscillazioni il sistema raggiunga uno stato di equilibrio determinare la temperatura finale del gas e la sua variazione di entropia. (R:  $703^\circ K$ ,  $0.06 l \cdot atm/K$ )

## Esercizio 14

Una macchina termica ciclica  $M$  scambia calore con tre serbatoi, aventi temperature  $T_1 = T$ ,  $T_2 = 2T/3$ ,  $T_3 = T/3$ . In ogni ciclo  $M$  assorbe la quantità di calore  $Q_1 = Q$  dal primo serbatoio e compie un lavoro  $L = 3Q/2$ . Sapendo che in un ciclo l'entropia dell'universo cresce di  $2Q/T$ , determinare:

- 1) la quantità di calore  $Q_2$  e  $Q_3$  scambiate con gli altri serbatoi;
- 2) il rendimento di  $M$  e il rendimento di una macchina reversibile  $R$  che lavori con le stesse sorgenti, scambiando anch'essa con le prime due le medesime quantità di calore in ciascun ciclo.

## Esercizio 15

Una mole di gas perfetto biatomico, partendo dallo stato iniziale  $A$  ( $T_A = 300^\circ K$ ,  $V_A = 0.02 m^3$ ) raggiungono uno stato  $B$ , variando l'energia interna di  $\Delta U = -1000 J$  e l'entropia  $\Delta S = 2.75 J/K$ . Calcolare i parametri degli stati  $A$  e  $B$ . Nell'ipotesi che lo stato  $B$  sia raggiunto con un'espansione isoterma sino ad uno stato intermedio  $C$  seguita da un'adiabatica quasistatica, calcolare i parametri dello stato  $C$ , il lavoro e la quantità di calore scambiati dal gas con l'ambiente.

## Esercizio 16

Un sistema termodinamico (termicamente isolato) è costituito da un calorimetro cilindrico di capacità termica  $C_1 = R$  a pareti rigide (chiuso da un pistone che può scorrervi senza attrito) che contiene un mulinello di capacità termica  $C_2 = R/2$  e una mole di gas perfetto monoatomico. Inizialmente il pistone è bloccato, il mulinello è tenuto in rotazione, il sistema si trova ad una temperatura  $T_0$  ed il gas occupa un volume  $V_0$ . Sapendo che per tenere il mulinello in moto è necessario applicare una coppia di momento  $M$  costante, si calcolino dopo che il mulinello ha compiuto  $N$  giri ed è stato raggiunto l'equilibrio termico, le espressioni delle seguenti quantità:

- 1) l'aumento di temperatura  $\Delta T$  del sistema;
- 2) la variazione di entropia del gas  $\Delta S$ ;
- 3) supponendo di fermare istantaneamente il mulinello, si calcoli di quanto si deve variare reversibilmente il volume del gas ( $V_F/V_0$ ) affinché il sistema, nello stato finale  $F$ , torni alla temperatura  $T_0$ .

## Esercizi avanzati e d'esame

### Esercizio 1

Una mole di gas perfetto monoatomico è inizialmente in equilibrio in uno stato 1 alla temperatura  $T_1 = (400 + \xi)^\circ K$  in un volume  $V_1 = 10^{-2} m^3$ . Ad un certo istante il gas viene portato ad uno stato 2 da un'espansione adiabatica quasistatica. In tale trasformazione il gas compie un lavoro pari a  $\Delta L = 800 J$ . Calcolare il rapporto ( $V_1/V_2$ ) essendo  $V_2$  il volume del gas al termine di tale trasformazione  $1 \rightarrow 2$ . A questo punto, tramite la successione di una compressione  $2 \rightarrow 3$  isoterma ed una trasformazione  $3 \rightarrow 1$  isocora (entrambe quasistatiche) il sistema è riportato alle condizioni iniziali. Calcolare il rendimento del ciclo. (*Parziale 17/03/2004*)

### Esercizio 2

Un contenitore adiabatico è diviso in due volumi uguali entrambi a  $V_A = V_B = V_0$  da un setto inizialmente bloccato. Il setto è costituito da due pareti a contatto, una adiabatica ed una diatermica. In  $V_A$  sono contenute  $n_A = 1$  moli di gas perfetto con calore specifico molare  $c_V = R$  alla temperatura  $T_0 = 300^\circ K$  mentre in  $V_B$  sono  $n_B = 4$  moli dello stesso gas alla stessa temperatura. Ad un certo istante l'intero setto viene sbloccato e, conseguentemente, essendo in grado di scorrere senza attriti, raggiunge l'equilibrio (si immagini in modo sufficientemente lento da poter essere considerato quasistatico). In questa posizione il setto viene bloccato. Successivamente si rimuove la parete adiabatica ed il sistema tende ad un nuovo stato di equilibrio. Calcolare la variazione di entropia  $\Delta S$  dell'intero processo. (*Parziale A.A. 2002/2003*)