

**Fisica Generale I**  
**A.A. 2017-2018**

**ESERCIZI DI TERMODINAMICA**

**Esercizio 1**

Una lastra di metallo di massa  $m_M = 10$  kg e calore specifico  $c_M = 0.2$  kcal kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> si trova inizialmente ad una temperatura  $t_M = 400^\circ\text{C}$ . Su di essa viene messa una lastra di ghiaccio di massa  $m_g = 1$  kg a temperatura  $t_g = -10^\circ\text{C}$ .

**a)** Studiare qualitativamente l'andamento della temperatura dei due corpi e determinare la temperatura finale che raggiungono all'equilibrio termico.

**Esercizio 2**

Un recipiente cilindrico di raggio  $r = 15$  cm, chiuso nella parte inferiore e dotato di un pistone scorrevole (senza attriti) nella parte superiore, contiene al suo interno  $n = 3.5$  moli di un gas monoatomico. Il cilindro è parzialmente immerso in una vasca d'acqua che si trova a temperatura  $t_A = 25^\circ\text{C}$ . Le pareti del cilindro sono diatermiche. Il pistone ha massa trascurabile.

**a)** Determinare la quota  $h_A$  del pistone.

**b)** La temperatura dell'acqua viene ridotta lentamente fino a  $t_B = 10^\circ\text{C}$ . Determinare la variazione della quota del pistone  $\Delta h$ .

**c)** Il pistone viene adesso bloccato e l'acqua viene riportata a  $t_A$ . Qual è la pressione finale  $P_C$  del gas?

**d)** Supponiamo di ripartire con il gas nello stato A e depositare lentamente della sabbia sul pistone per aumentarne la pressione fino a  $P_C$ . Determinare la massa di sabbia utilizzata.

**e)** Partendo sempre da A e depositando la stessa quantità di sabbia, ma con un cilindro con pareti isolanti, quale sarebbe la temperatura finale raggiunta?

**Esercizio 3**

Un recipiente cilindrico di lunghezza  $l = 1.8$  m e base di area  $S = 10^{-2}$  m<sup>2</sup> è dotato al suo interno di tre settori adiacenti A, B e C. A e B, così come B e C, sono separati da pareti rigide che possono scorrere assialmente. Il recipiente è circondato al suo esterno da pareti adiabatiche. In ciascuno dei settori A e C sono presenti 0.2 moli di un gas biatomico (inizialmente alla stessa temperatura), mentre nel settore B è presente solo una molla di costante elastica  $k = 5 \times 10^3$  N/m e lunghezza a riposo  $l_0 = 0.5$  m, che collega le due pareti mobili. Inizialmente il sistema è in equilibrio con la molla a lunghezza  $l_m = 0.4$  m.

**a)** Determinare la temperatura e la pressione dei gas nei settori A e C.

**b)** Il gas nel settore A viene adesso scaldato lentamente mediante una resistenza fino ad osservare la molla a lunghezza  $l'_m = 0.3$  m. Calcolare i nuovi

volumi e le nuove temperature dei due gas.  
c) Determinare il calore ceduto al gas in A.

#### Esercizio 4

Il ciclo di Stirling su un gas ideale è un ciclo reversibile composto da una serie di trasformazioni reversibili che fanno variare lo stato del gas tra una temperatura minima  $T_F$  e una massima  $T_C$  e tra un volume massimo  $V_A$  e uno minimo  $V_B$ . Partendo dallo stato A, con  $V_A$  e  $T_A$ , il gas viene sottoposto ad una compressione isoterma fino a  $V_B$ , poi una compressione isocora fino a  $T_C$ , viene espanso in modo isoterma fino a  $V_A$ , infine raffreddato, a volume costante, fino allo stato iniziale.

a) Determinare il rendimento del ciclo di Stirling in funzione del rapporto di compressione  $\eta = V_A/V_B$  e confrontarlo con quello di un ciclo di Carnot che usa come serbatoi termostati a  $T_C$  e  $T_F$ .

#### Esercizio 5

Due macchine di Carnot operano tra gli stessi stati estremi, ma una utilizzando un gas ideale monoatomico e l'altra uno ideale biatomico.

a) Determinare quale delle due macchine produce più lavoro a parità di moli di gas utilizzato.

#### Esercizio 6

Supponiamo che esista un gas che soddisfi la legge  $U = U(T) = \alpha T^2$ , con  $\alpha > 0$ , e che la sua equazione di stato sia  $PV = \beta T^2$ , con  $\beta > 0$ .

a) Dimostrare che per adiabatiche reversibili si avrebbe  $T^2 V^{\beta/\alpha} = \text{cost.}$  e  $PV^\gamma = \text{cost.}$ , con  $\gamma = \frac{\beta}{\alpha} + 1$ .

b) Determinare lavoro compiuto  $W(T_1, T_2)$  e calore assorbito  $Q(T_1, T_2)$  su adiabatiche reversibili.

c) Determinare lavoro compiuto  $W(V_1, V_2)$  e calore assorbito  $Q(V_1, V_2)$  su isoterme reversibili ( $T_2 < T_1$ ).

d) Disegnare il diagramma  $PV$  per un ciclo di Carnot su questo gas.

e) Stimare il rendimento del ciclo.

#### Esercizio 7

Stimare il massimo lavoro ottenibile da una macchina termica che utilizza due sorgenti di calore: un blocco di ghiaccio di 3 kg a 273 K e un termostato a 300 K.

#### Esercizio 8

Un gas ideale monoatomico esegue un ciclo formato da due trasformazioni isobare reversibili a  $P_A = 4 \text{ Atm}$  e  $P_C = 2 \text{ Atm}$ , e due isocore irreversibili a  $V_A = 1 \text{ l}$  e  $V_B = 4 \text{ l}$ .

a) Determinare il lavoro nel ciclo.

b) Determinare il calore scambiato durante le varie trasformazioni.

c) Determinare il rendimento del ciclo.

d) Determinare la variazione di entropia dell'universo considerando che le isocore vengono realizzate mettendo il gas direttamente a contatto con un termostato già alla temperatura finale.

### Esercizio 9

Un palloncino sferico di raggio  $R$  contiene  $n$  moli d'aria ad una pressione  $P_0$ . Il palloncino si trova all'interno di un cilindro, anch'esso di raggio  $R$ , isolato dall'esterno e dotato di un pistone bloccato a quota  $4R$  dal fondo. Ad un certo istante il palloncino scoppia.

a) Determinare la variazione di entropia dell'aria e quella dell'universo a seguito dello scoppio.

b) Il pistone viene poi abbassato per riportare l'aria al volume che aveva nel palloncino. Quali sono i nuovi valori di pressione e temperatura dell'aria?

c) Di quanto sono variate l'entropia dell'aria e dell'universo in questo caso?

### Esercizio 10

Un recipiente di volume totale  $V$  fissato contiene due gas in due settori interni diversi, separati da una parete adiabatica. Inizialmente il settore A contiene  $n$  moli di un gas ideale a temperatura  $T_A$  in un volume  $V_A$ , mentre il settore B contiene  $n$  moli di gas ideale a temperatura  $T_B$  in un volume  $V_B$ , tali che  $V_A + V_B = V$ .

a) Mantenendo bloccata la parete separatrice, elimino lo strato isolante su di essa permettendo lo scambio termico tra i gas fino al raggiungimento dell'equilibrio termico a  $T_f$ . Si determini la variazione di entropia di ciascuno dei due gas e quella dell'universo.

b) Viene tolta anche la parete separatrice e i due gas si mescolano nel volume  $V$ . Determinare lo stato finale e la variazione di entropia dei gas e dell'universo.

### Esercizio 11

Su una lastra di ferro di massa  $m_{\text{Fe}} = 30$  kg a  $t_{\text{Fe}} = 50^\circ\text{C}$  viene appoggiato un blocco di ghiaccio di 1 kg che si trova a  $t_g = 0^\circ\text{C}$ . Il ghiaccio fonde completamente e i due sistemi raggiungono equilibrio termico.

a) Stimare la variazione di entropia di entrambi e quella dell'universo.

### Esercizio 12

Un recipiente cilindrico adiabatico di volume totale  $V = 4$  litri è dotato di un pistone, di superficie  $S = 100$  cm<sup>2</sup>. Inizialmente si trova al centro e divide il volume in due parti uguali. Nella parte superiore è presente una mole di un gas monoatomico, mentre nell'altra parte è presente solo una molla, di costante elastica  $k = 10^5$  N/m, vincolata sul fondo e al pistone. La forza di pressione del gas fa comprimere la molla di  $\Delta l = 10$  cm.

Ad un certo istante il pistone viene forato e il gas inizia a fluire lentamente

anche nell'altro settore fino al raggiungimento del nuovo equilibrio.

- a) Si determinini lo stato iniziale del gas.
- b) Si descriva il tipo di trasformazione subita dal gas e si determini lo stato di equilibrio finale.
- c) Calcolare  $\Delta U$  e  $\Delta S$  del gas.

### Esercizio 13

Un pezzo di 7 kg di un materiale sconosciuto viene analizzato in laboratorio. Sperimentalmente si osserva che tra  $T_0 = 500$  K e  $T_F$  esso si presenta nello stato solido ed ha un calore specifico costante  $c = a = 503$  J/kg K. Sopra  $T_F$  esso si presenta in forma liquida e il suo calore specifico varia linearmente con la temperatura come  $c(T) = a + bT$ , dove  $b = 0.1$  J/kg K<sup>2</sup>. Il calore latente di fusione del materiale è  $\lambda = 150$  kJ/kg.

Il pezzo, a temperatura iniziale  $T_0$ , viene messo dentro ad un forno che fornisce una potenza  $P = 3$  kJ/s. Si osserva che dopo  $\Delta t_1 = 4$  minuti inizia a fondere. Poi viene lasciato nel forno per altri 11 minuti.

- a) Determinare  $T_F$ .
- b) Determinare la frazione fusa allo scadere dell'undicesimo minuto e la temperatura finale raggiunta.
- c) Di quanto varia l'entropia del pezzo analizzato?

### Esercizio 14

Una bombola da 27 litri contiene un gas ideale monoatomico. Essa si trova dentro ad un recipiente adiabatico di 135 litri. Dopo uno scoppio improvviso della bombola, il gas va ad occupare rapidamente tutto il volume a disposizione nel recipiente. Successivamente un pistone viene mosso rapidamente comprimendo il gas fino alla pressione iniziale  $P_A = 2 \cdot 10^5$  Pa, compiendo un lavoro  $|W| = 12$  kJ. Infine, viene tolto lo strato isolante attorno al recipiente e il gas raggiunge l'equilibrio termico in soli 10 secondi con l'ambiente circostante a temperatura iniziale  $t_A = 23^\circ\text{C}$ .

- a) Determinare la variazione di entropia del gas durante la prima trasformazione AB.
- b) Determinare temperatura e volume nello stato C, alla fine della ricompressione.
- c) Qual è la potenza fornita dal termostato in CA?
- d) Stimare la variazione di entropia dell'universo nell'intero ciclo.

### Esercizio 15

Consideriamo  $n = 0.5$  moli di un gas biatomico in un recipiente con pareti diatermiche, inizialmente a  $t_i = 20^\circ\text{C}$ . Esso viene scaldato fino a  $t_f = 80^\circ\text{C}$  in tre modi diversi:

- A. immergendo il recipiente in acqua a  $20^\circ\text{C}$  e scaldandola lentamente;
- B. immergendo il recipiente direttamente in acqua a  $80^\circ\text{C}$ ;
- C. immergendo il recipiente prima in acqua a  $50^\circ\text{C}$ , poi a  $80^\circ\text{C}$ .

- a) Determinare la variazione di entropia del gas da  $i$  ad  $f$  e la variazione di entropia dell'universo nelle tre trasformazioni.
- b) Stimare la temperatura che dovrebbe avere il primo termostato (nel caso di utilizzo di due soli termostati) affinché l'aumento dell'entropia dell'universo sia minimizzato.

### Esercizio 16

Un recipiente adiabatico contiene un blocco di ghiaccio di massa  $M$  ad una temperatura di  $t = 0^\circ\text{C}$  e una mole di un gas perfetto. Il gas è mantenuto all'interno in un volume  $V_0$  grazie ad un pistone libero di scorrere lungo il recipiente. Anche il pistone è adiabatico e isola il gas dall'ambiente esterno che si trova inizialmente a pressione  $P_{\text{atm}}$ .

- a) Determinare  $V_0$ .
- b) Muovendo il pistone in modo quasistatico, l'intero sistema viene scaldato fino a  $20^\circ\text{C}$ . Determinare la pressione in funzione del volume del gas e riportarla in grafico.
- c) Scrivere l'espressione per la variazione di entropia del gas.

### Esercizio 17

In un recipiente adiabatico contenente un litro di acqua a  $100^\circ\text{C}$  viene immerso un blocco di ghiaccio di 3 kg a  $-20^\circ\text{C}$ .

- a) Determinare le condizioni di equilibrio del sistema.
- b) Calcolare la variazione di entropia.

### Esercizio 18

Un recipiente adiabatico contiene al suo interno tre gas con proprietà differenti in tre settori, ciascuno di volume  $V$ , inizialmente separati e isolati termicamente. Nel primo settore sono presenti 2 moli di un gas monoatomico a  $T_A = 330\text{ K}$ , nel secondo una mole di gas biatomico a  $T_B = 350\text{ K}$  e nel terzo 3 moli di gas monoatomico a  $T_C = 400\text{ K}$ .

- a) Determinare la temperatura del sistema dopo aver eliminato le pareti separatrici.
- b) Di quanto varia l'entropia dell'universo?
- c) Cosa cambierebbe nel caso si togliesse prima una parete e successivamente l'altra?

### Esercizio 19

Dell'elio è contenuto in un volume  $V_0 = 1$  litro di un recipiente adiabatico dotato di pistone mobile di sezione  $A = 0.01\text{ m}^2$ , di massa trascurabile. Inizialmente il gas è in equilibrio termico a  $T_0 = 300\text{ K}$  ed ha una pressione  $P_0 = 1\text{ atm}$ . Esternamente sul pistone agisce una molla di costante elastica  $k = 10^4\text{ N/m}$ . Viene fornito lentamente del calore  $Q$  al gas tramite un dissipatore inserito nel recipiente. Al termine dell'operazione il gas occupa un volume  $V_f = 1.5$  litri e la molla, di conseguenza viene compressa ulteriormente.

- a) Determinare pressione e temperatura finale del gas.
- b) Determinare  $Q$ .
- c) Determinare la variazione di entropia del gas e dell'universo.