

## ESERCIZI DI DINAMICA RIADATTATI DA TESTI D'ESAME

### PUNTO MATERIALE

1) Un punto materiale di massa  $m = 0,5 \text{ kg}$ , inizialmente fermo, si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato fino a raggiungere la velocità  $v_{\text{MAX}} = 72 \text{ km/h}$  in  $20 \text{ s}$ . A quale forza è sottoposto? Quanto lavoro ha compiuto tale forza? Con quale potenza massima?  
[ $F = 0,5 \text{ N}$ ;  $m/s^2$ ;  $L = 100 \text{ J}$ ;  $P = 10 \text{ W}$ ]



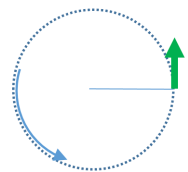
2) Il sistema frenante di emergenza di un ascensore sperimentale è in grado di ridurre a un decimo l'accelerazione che avrebbe in caduta libera. E' costituito da due pattini frenanti che agiscono su due rotaie poste ai lati della cabina di massa  $M = 400 \text{ kg}$ . Se il coefficiente di attrito dinamico vale  $0,8$  quale forza orizzontale deve essere applicata a ciascun freno?  
[ $F = 2,2 \text{ kN}$ ]

3) Un corpo puntiforme di massa  $m$  si muove nel piano  $XY$  con la legge oraria:  
 $x(t) = -p t^2 + q t$   
 $y(t) = q t + r$   
Determinare l'espressione dell'energia cinetica del corpo in funzione del tempo  
[ $1/2 m (4p^2 t^2 + q^2)$ ]

4) Il cestello cilindrico (raggio  $R = 5 \text{ cm}$ ) di una centrifuga ruota intorno all'asse **verticale** con velocità angolare iniziale  $\omega_0 = 100 \text{ rad/s}$ . Un oggetto è posto al suo interno in modo tale che l'attrito gli impedisca di scivolare lungo la parete rotante. Il moto rotatorio viene poi decelerato uniformemente e dopo un tempo pari a  $t_2 = 4 \text{ s}$  il cestello si arresta. Calcolare il coefficiente di attrito statico sapendo che l'oggetto inizia a scivolare dopo  $t_1 = 2 \text{ s}$  dall'inizio del rallentamento.  
[ $\mu_s = 0,078$ ]

5) Un corpo puntiforme di massa  $m = 10 \text{ g}$ , appeso a una molla, oscilla verticalmente con frequenza  $f = 10 \text{ Hz}$  intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza  $A = 2 \text{ cm}$ . Calcolare la massima energia cinetica del corpo.  
[ $E_{\text{cinMAX}} = 7,9 \text{ mJ}$ ]

6) Un sasso di massa  $100 \text{ g}$  viene fatto roteare nel piano verticale legato ad uno spago inestensibile, di massa trascurabile e lunghezza  $R = 40 \text{ cm}$ . Quando lo spago è lungo la direzione orizzontale viene lasciata l'altra estremità così che il sasso venga lanciato verso l'alto raggiungendo una quota massima superiore di  $8 \text{ m}$  rispetto a quella del rilascio. Determinare la velocità angolare dello spago al momento del rilascio.  
[ $31,3 \text{ rad/s}$ ]



7) Un corpo puntiforme di massa  $m = 0,5 \text{ kg}$ , collegato a una molla, oscilla orizzontalmente su un piano liscio con una ampiezza  $A = 2 \text{ cm}$ . Calcolare la frequenza di oscillazione sapendo che l'energia totale del sistema massa-molla è pari a  $E = 0,1 \text{ J}$ .  
[ $5,0 \text{ Hz}$ ]

8) Un blocco viene appoggiato su un piano scabro opportunamente inclinato ( $30^\circ$ ) affinché il blocco possa scendere con moto rettilineo uniforme. Quanto vale il coefficiente di attrito dinamico? A quale accelerazione verrebbe sottoposto il blocco se inizialmente si muovesse invece verso l'alto?

$$[\mu_d = 1/\sqrt{3}; a = g]$$

9) Un blocco di massa  $m$  può scendere lungo un piano, inclinato di  $\theta$  rispetto all'orizzontale, trattenuto da una molla di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo trascurabile fissata all'estremità superiore del piano. Il blocco viene lasciato libero di scendere lungo il piano e si arresta senza oscillare dopo aver percorso uno spazio  $d$ . Ricavare la relazione che determina il coefficiente di attrito dinamico fra blocco e piano.

$$[\mu = \tan\theta - \frac{1}{2}kd/(mg \cos\theta)]$$

## CORPO RIGIDO

10) Data una sbarra omogenea di massa  $m$  e lunghezza  $L$  descrivere i passaggi con cui determina:

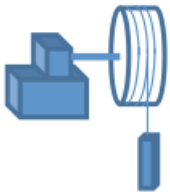
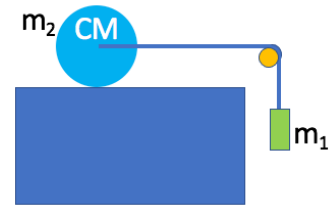
A) la posizione del centro di massa

B) il momento d'inerzia ( $\frac{1}{12} ML^2$ ) per una rotazione intorno al centro di massa

11) Un cilindro omogeneo di massa  $m_2$  e raggio  $r$  rotola senza strisciare lungo un piano orizzontale scabro tirato, tramite una fune ideale collegata col centro di massa, da una massa  $m_1$  che scende verticalmente.

Determinare l'accelerazione della massa  $m_1$  sapendo che  $m_1 = m_2 = m$

$$[g m_1/(m_1 + 3/2 m_2)]$$

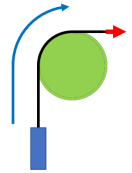


12) L'asse orizzontale del motore di un montacarichi è connesso a quello di una puleggia di raggio  $R$ . Intorno alla puleggia è avvolta una fune alla cui estremità è appeso un carico di massa  $m = 100$  kg che sale a velocità costante  $v_0 = 1$  m/s. Determinare la potenza erogata dal motore.

$$[P = m g v_0]$$

13) Una puleggia di massa  $M$  e raggio  $R$  ( $I = \frac{1}{2} M R^2$ ) è libera di ruotare intorno ad un asse orizzontale. Un corpo di massa  $m$  viene appeso tramite una fune che passa sulla puleggia mettendola in rotazione. L'altra estremità della fune è sottoposta all'azione di una forza  $F$  orizzontale costante. Quanto deve valere  $F$  affinché  $m$  salga con accelerazione  $g$ ?

$$[2 mg + \frac{1}{2} M]$$



14) Una carrucola a forma di disco di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$  kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale.

Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo inizialmente fermo di massa  $m = 0,2$  kg.

Il sistema viene lasciato libero; ricavare il valore dell'accelerazione alla quale è sottoposta la massa  $m$  dopo due secondi dal momento del rilascio.

$$[2,8 \text{ m/s}^2]$$

15) Un cilindro omogeneo di massa  $m = 6$  kg rotola senza strisciare lungo un piano inclinato di un angolo di  $30^\circ$ . Il coefficiente di attrito statico  $\mu_s$  vale  $0,8$ . Determinare l'accelerazione del centro di massa del cilindro.

Verificare che il moto sia di rotolamento puro.

$$[g/3]$$

1)  $a = v_{MAX}/t$ ;  $d = \frac{1}{2} a t^2$ ;  $F = ma$ ;  $L = Fd$ ;  $P = Fv$

2)  $Mg - 2F_A = M g/10$ ;  $F_A = \mu F$

3)  $E_c = \frac{1}{2} (v_x^2 + v_y^2)$

4)  $mg = \mu \omega^2 R$ ;  $\omega(t) = \omega_0 - a t$

5)  $E_{cMAX} = U_{MAX} = \frac{1}{2} k A^2$

6)  $\frac{1}{2} \omega^2 R = mgh$

7)  $\frac{1}{2} k A^2 = E$ ;  $\omega^2 = k/m$

8) La velocità uniforme implica che la risultante delle forze: peso, reazione vincolare e attrito sia nulla. Nel secondo caso la forza d'attrito e la componente della forza peso lungo il piano inclinato sono concordi

9) Considerare la variazione dell'energia totale (cinetica e potenziale, gravitazionale e elastica) dovuta al lavoro della forza di attrito:  $(0 + mgh + 0) - (0 + 0 + \frac{1}{2} k d^2) = F_A d$

11)  $R T = I a/R$ ;  $I = \frac{1}{2} m_2 R^2 + m_2 R_2$ ;  $m_1 g - T = m_1 a$

12)  $P = M \omega$ ;  $M = RT$ ;  $mg - T = ma$ ;  $a = 0$ ;  $\omega = v_0/R$

13)  $RF - RT = Ig/R$ ;  $-mg + T = mg$

14)  $mg - T = ma$ ;  $RT = \frac{1}{2} MR^2 a/R$ ;  $a = g m/(m+M/2)$

15) polo nel punto di contatto:  $R mg \sin 30^\circ = (\frac{1}{2} m R^2 + m R^2) a/R$ ;

polo nel CM:  $\frac{1}{2} m R^2 \alpha = R F_A$ ;  $F_A < \mu_s mg \cos 30^\circ$ ?



## DINAMICA

2) Un corpo puntiforme di massa  $m = 0,5$  kg collegato a una molla, oscilla orizzontalmente su un piano liscio con una ampiezza  $A = 2$  cm.

Calcolare la frequenza di oscillazione sapendo che l'energia totale del sistema massa-molla è pari a  $E = 0,1$  J.

8) Un corpo puntiforme di massa  $m = 10$  g, appeso a una molla, oscilla verticalmente con frequenza  $f = 10$  Hz intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza  $A = 2$  cm. Calcolare la massima energia cinetica del corpo.

[ $E_{\text{cinMAX}} = 7,9$  mJ]

2) Un corpo di massa  $m$ , libero di muoversi su un piano orizzontale, è collegato ad una molla di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo  $d$ . La molla viene tirata fino a raddoppiarne la lunghezza e poi viene lasciata libera.

Calcolare la massima velocità raggiunta dal corpo durante il moto.

6) Un blocco puntiforme di massa  $M$  è poggiato su un piano scabro. Quando l'inclinazione del piano viene aumentata fino a raggiungere i  $45^\circ$  il blocco inizia a scendere con accelerazione pari a  $g/(2\sqrt{2})$ .

Determinare i coefficienti di attrito statico e dinamico.

[ $\mu_s = 1$ ;  $\mu_d = 0,5$ ]

D38) Applicare il II principio della dinamica considerando sia l'attrito statico che dinamico a  $45^\circ$ .

6) Un blocco viene appoggiato su un piano scabro opportunamente inclinato ( $30^\circ$ ) affinché il blocco possa scendere con moto rettilineo uniforme. Quanto vale il coefficiente di attrito dinamico? A quale accelerazione verrebbe sottoposto il blocco se inizialmente si muovesse invece verso l'alto?

[ $\mu_d = 1/\sqrt{3}$ ;  $a = g$ ]

D28) Velocità uniforme implica che la risultante delle forze: peso, reazione vincolare e attrito è nulla. Nel secondo caso la forza d'attrito e la componente della forza peso lungo il piano inclinato sono concordi

D23) Un blocco di massa  $m$  può scendere lungo un piano, inclinato di  $\theta$  rispetto all'orizzontale, trattenuto da una molla di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo trascurabile fissata all'estremità superiore del piano. Il blocco viene lasciato libero di scendere lungo il piano e si arresta senza oscillare dopo aver percorso uno spazio  $d$ . Ricavare la relazione che determina il coefficiente di attrito dinamico fra blocco e piano.

[ $\mu = \tan\theta - \frac{1}{2}kd/(mg \cos\theta)$ ]

D23) Considerare la conservazione dell'energia e il lavoro contro la forza di attrito. Alternativamente va risolta l'equazione differenziale che descrive il moto ponendo come condizioni al contorno  $x(0) = 0$ ;  $v(0) = 0$ ;  $x(t^*) = d$ ;  $v(t^*) = 0 \rightarrow t^* = \pi (m/k)^{1/2}$

2) Un corpo puntiforme di massa  $m$  si muove nel piano XY con la legge oraria:

$$x(t) = -b t^2 + c t$$

$$y(t) = c t + d$$

Determinare l'intensità della forza che agisce sul corpo e la sua energia cinetica in funzione del tempo

[ $2mb$ ; ...]

5) Il cestello cilindrico (raggio  $R = 5$  cm) di una centrifuga ruota intorno all'asse verticale con velocità angolare iniziale  $\omega_0 = 100$  rad/s. Un oggetto è posto al suo interno in modo tale che l'attrito gli impedisca di scivolare lungo la parete rotante. Il moto rotatorio viene poi decelerato uniformemente e dopo un tempo pari a  $t_2 = 4$  s il cestello si arresta.

Calcolare il coefficiente di attrito statico sapendo che l'oggetto inizia a scivolare dopo  $t_1 = 2$  s dall'inizio del rallentamento.

[ $\mu_s = 0,08$ ]

8) Un corpo puntiforme di massa  $m = 10 \text{ g}$ , appeso a una molla, oscilla verticalmente con frequenza  $f = 10 \text{ Hz}$  intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza  $A = 2 \text{ cm}$ . Calcolare la massima energia cinetica del corpo. [ $E_{\text{cinMAX}} =$

7,9 mJ]

9) Un sasso di massa 100 g viene fatto roteare nel piano verticale legato ad uno spago inestensibile, di massa trascurabile e lunghezza  $R = 40 \text{ cm}$ . Quando lo spago è lungo la direzione orizzontale viene lasciata l'altra estremità così che il sasso venga lanciato verso l'alto raggiungendo una quota massima superiore di 8 m rispetto a quella del rilascio. Determinare la velocità angolare dello spago al momento del rilascio. [31,3 rad/s]

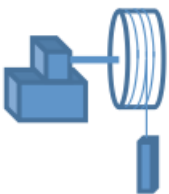


10) Un corpo viene lanciato verso l'alto con velocità iniziale di 20 m/s. Con quale velocità ricade al suolo?

Confrontare il risultato ottenuto dalla cinematica con quello ottenuto conservando l'energia



5) Il sistema frenante di emergenza di un ascensore sperimentale è in grado di ridurre a un decimo l'accelerazione che avrebbe in caduta libera. E' costituito da due pattini frenanti che agiscono su due rotaie poste ai lati della cabina di massa  $M = 400 \text{ kg}$ . Se il coefficiente di attrito dinamico vale 0,8 quale forza orizzontale deve essere applicata a ciascun freno? [ $F = 2,2 \text{ kN}$ ]



7) L'asse orizzontale del motore di un montacarichi è connesso a quello di una puleggia di raggio  $R$ . Intorno alla puleggia è avvolta una fune alla cui estremità è appeso un carico di massa  $m = 1000 \text{ kg}$  che sale a velocità costante  $v_0 = 1 \text{ m/s}$ . Determinare la potenza erogata dal motore. [ $P = 9,8 \text{ kW}$ ]

2) Un corpo puntiforme di massa  $m = 0,5 \text{ kg}$  collegato a una molla, oscilla orizzontalmente su un piano liscio con una ampiezza  $A = 2 \text{ cm}$ .

Calcolare la frequenza di oscillazione sapendo che l'energia totale del sistema massa-molla è pari a  $E = 0,1 \text{ J}$ .

5Hz

3) Un blocco di massa  $M$  viene appoggiato su un piano scabro inclinato di un angolo  $\theta$ . È collegato tramite un filo ideale a un secondo corpo di massa  $m$  che scende sotto l'azione della forza peso e della tensione  $T$  del filo.

1) Determinare l'espressione dell'accelerazione con la quale la massa  $M$  risale lungo un piano inclinato;

2) calcolare il valore dell'accelerazione inserendo nell'espressione ottenuta i seguenti dati:  $m = M$ ;  $\theta = 30^\circ$ ;  $\mu_d = 1/\sqrt{3}$



$$[m - M(\sin\theta + \mu\cos\theta)]/[m + M] = 0$$

5) Il cestello cilindrico (raggio  $R = 5 \text{ cm}$ ) di una centrifuga ruota intorno all'asse verticale con velocità angolare iniziale  $\omega_0 = 100 \text{ rad/s}$ . Un oggetto è posto al suo interno in modo tale che l'attrito gli impedisca di scivolare lungo la parete rotante. Il moto rotatorio viene poi decelerato uniformemente e dopo un tempo pari a  $t_2 = 4 \text{ s}$  il cestello si arresta.

Calcolare il coefficiente di attrito statico sapendo che l'oggetto inizia a scivolare dopo  $t_1 = 2 \text{ s}$  dall'inizio del rallentamento. [ $\mu_s = 0,08$ ]

7) Un oscillatore armonico è costituito da corpo di massa  $m$  libero di muoversi su un piano orizzontale e da una molla di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo  $d$ . La molla viene compressa fino a dimezzarne la lunghezza e poi viene lasciata libera.

Calcolare la velocità e l'accelerazione massime.

$$[v_M = \frac{d}{2}\sqrt{k/m}; \quad a_M =$$

$kd/2m]$

8) Un corpo puntiforme di massa  $m = 10 \text{ g}$ , appeso a una molla, oscilla verticalmente con frequenza  $f = 10 \text{ Hz}$  intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza  $A = 2 \text{ cm}$ . Calcolare la massima energia cinetica del corpo. [ $E_{\text{cinMAX}} =$

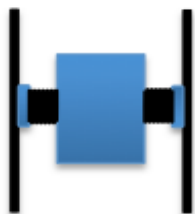
$7,9 \text{ mJ}]$

9) Un sasso di massa  $100 \text{ g}$  viene fatto roteare nel piano verticale legato ad uno spago (fio sottile) inestensibile, di massa trascurabile e lunghezza  $R = 40 \text{ cm}$ . Quando lo spago è lungo la direzione orizzontale viene lasciata l'altra estremità così che il sasso venga lanciato verso l'alto raggiungendo una quota massima superiore di  $8 \text{ m}$  rispetto a quella del rilascio. Determinare la velocità angolare dello spago al momento del rilascio. (determinare la tensione del filo subito prima del rilascio) [ $31,3 \text{ rad/s}$ ]

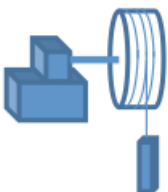


10) Un corpo viene lanciato verso l'alto con velocità iniziale di  $20 \text{ m/s}$ . Con quale velocità ricade al suolo?

Confrontare il risultato ottenuto dalla cinematica con quello ottenuto conservando l'energia



5) Il sistema frenante di emergenza di un ascensore sperimentale è in grado di ridurre a un decimo l'accelerazione che avrebbe in caduta libera. E' costituito da due pattini frenanti che agiscono su due rotaie poste ai lati della cabina di massa  $M = 400 \text{ kg}$ . Se il coefficiente di attrito dinamico vale  $0,8$  quale forza orizzontale deve essere applicata a ciascun freno? [ $F = 2,2 \text{ kN}$ ]



7) L'asse orizzontale del motore di un montacarichi è connesso a quello di una puleggia di raggio  $R$ . Intorno alla puleggia è avvolta una fune alla cui estremità è appeso un carico di massa  $m = 1000 \text{ kg}$  che sale a velocità costante  $v_0 = 1 \text{ m/s}$ . Determinare la potenza erogata dal motore. [ $P = 9,8 \text{ kW}$ ]

3) Un sasso di massa 100 g viene fatto roteare nel piano verticale legato a un filo sottile di massa trascurabile e lunghezza  $R = 40$  cm. Quando il filo è lungo la direzione orizzontale viene lasciata l'altra estremità così che il sasso venga lanciato verso l'alto raggiungendo una quota massima superiore di 8 m rispetto a quella del rilascio. Determinare la tensione del filo subito prima del rilascio  $[T=2mgh/R]$



Determinare la velocità angolare del filo al momento del rilascio.  $[9,9 \text{ rad/s}]$

D87) la velocità è tangente alla traiettoria per cui al momento del rilascio è verticale.

Conservare l'energia  $\rightarrow \omega = 1/R (2gh)^{1/2}$

D13) Il cestello cilindrico (raggio  $R = 5$  cm) di una centrifuga ruota intorno all'asse verticale con velocità angolare  $\omega_0 = 100$  rad/s. Un oggetto è posto al suo interno in modo tale che l'attrito gli impedisca di scivolare lungo la parete ruotante. Il moto rotatorio viene decelerato uniformemente e dopo un tempo pari a  $t_2 = 4$  s il cestello si arresta. Calcolare il coefficiente di attrito statico sapendo che l'oggetto inizia a scivolare dopo  $t_1 = 2$  s dall'inizio del rallentamento.  $[\mu_s = 0,08]$

D13) La velocità angolare risulta pari a  $\omega(t) = \omega_0 (1 - t/t_2)$ . L'oggetto inizia a scivolare quando la forza di attrito (dipendente dalla forza centrifuga) diventa inferiore al suo peso



D33) Il sistema frenante di emergenza di un ascensore sperimentale è in grado di ridurre a un decimo l'accelerazione che avrebbe in caduta libera. E' costituito da due pattini frenanti che agiscono su due rotaie poste ai lati della cabina di massa  $M = 400$  kg. Se il coefficiente di attrito dinamico vale 0,8 quale forza deve essere applicata a ciascun freno (se non ci fossero passeggeri)?  $[F = 2,2 \text{ kN}]$

D33) Applicare il secondo principio della dinamica facendo attenzione nel considerare le forze che agiscono sull'ascensore

D39) Un oscillatore armonico è costituito da corpo di massa  $m$  libero di muoversi su un piano orizzontale e da una molla di costante elastica  $k$  e lunghezza a riposo  $d$ . La molla viene compressa fino a dimezzarne la lunghezza e poi viene lasciata libera. Calcolare la velocità e l'accelerazione massime.  $[v_M = d/2 \sqrt{k/m}; a_M = k/m d/2]$

D39) Utilizzare la conservazione dell'energia per ricavare la massima velocità. Analizzare l'equazione differenziale del moto per ricavare la massima accelerazione.

D56) Un corpo puntiforme di 10 g di massa, appeso a una molla, oscilla verticalmente a 10 Hz intorno alla posizione di equilibrio con una ampiezza di 2 cm. Calcolare la massima energia cinetica del corpo.  $[T_{MAX} = 7,9 \text{ mJ}]$

D56) calcolare l'energia potenziale massima:  $\frac{1}{2} (4 \pi^2 m f^2) A^2$



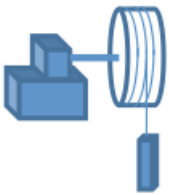
D64) L'asse orizzontale del motore di un montacarichi è connesso a quello di una puleggia di raggio  $R$ . Intorno alla puleggia è avvolta una fune alla cui estremità è appeso un carico di massa  $m = 100$  kg che sale a velocità costante  $v_0 = 1$  m/s. Determinare la potenza erogata dal motore.  $[P = m g v_0]$

D64)  $P = M \omega$ ;  $M = m g R$  (la velocità è costante  $\rightarrow T = mg$ );  $\omega R = v_0$ ;  
alternativamente:  $P = F v$  tutta la potenza del motore viene trasmessa alla massa che si muove contro la forza peso





5) Il sistema frenante di emergenza di un ascensore sperimentale è in grado di ridurre a un decimo l'accelerazione che avrebbe in caduta libera. E' costituito da due pattini frenanti che agiscono su due rotaie poste ai lati della cabina di massa  $M = 400$  kg. Se il coefficiente di attrito dinamico vale 0,8 quale forza orizzontale deve essere applicata a ciascun freno?  $[F = 2,2 \text{ kN}]$



7) L'asse orizzontale del motore di un montacarichi è connesso a quello di una puleggia di raggio  $R$ . Intorno alla puleggia è avvolta una fune alla cui estremità è appeso un carico di massa  $m = 1000$  kg che sale a velocità costante  $v_0 = 1$  m/s. Determinare la potenza erogata dal motore.  $[P = 9,8 \text{ kW}]$

3) Un blocco di massa  $M$  viene appoggiato su un piano scabro inclinato di un angolo  $\theta$ . È collegato tramite un filo ideale a un secondo corpo di massa  $m$  che scende sotto l'azione della forza peso e della tensione  $T$  del filo.

- 1) Determinare l'espressione dell'accelerazione con la quale la massa  $M$  risale lungo un piano inclinato;
- 2) calcolare il valore dell'accelerazione inserendo nell'espressione ottenuta i seguenti dati:  $m = M$ ;  $\theta = 30^\circ$ ;  $\mu_d = 1/\sqrt{3}$



-----\*\*\*\*\*-----

CORPO RIGIDO

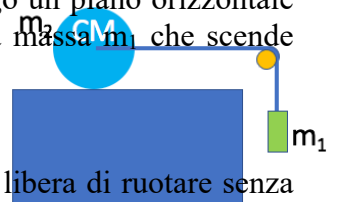
6) Una puleggia di massa  $M$  e raggio  $R$  ( $I = \frac{1}{2} M R^2$ ) è libera di ruotare intorno ad un asse orizzontale. Un corpo di massa  $m$  viene appeso tramite una fune che passa sulla puleggia mettendola in rotazione. L'altra estremità della fune è sottoposta all'azione di una forza  $F$  orizzontale costante. Quanto deve valere  $F$  perché  $m$  si muova con accelerazione  $g$ ?



6) Una carrucola a forma di disco di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$ kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale. Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo inizialmente fermo di massa  $m = 0,2$  kg. Il sistema viene lasciato libero; ricavare l'espressione e poi il valore dell'accelerazione alla quale è sottoposta la massa  $m$  dopo due secondi dal momento del rilascio.  $A = g m(m+M/2)$

6) Una carrucola a forma di disco di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$ kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale. Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo inizialmente fermo di massa  $m = 0,2$  kg. Il sistema viene lasciato libero; ricavare l'espressione e poi il valore dell'accelerazione alla quale è sottoposta la massa  $m$  dopo due secondi dal momento del rilascio.

6) Un cilindro omogeneo di massa  $m_2$  e raggio  $r$  rotola senza strisciare lungo un piano orizzontale scabro tirato, tramite una fune ideale collegata col centro di massa, da una massa  $m_1$  che scende verticalmente. Determinare l'accelerazione della massa  $m_1$  sapendo che  $m_1 = m_2 = m$



6) Una carrucola a forma di disco di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$ kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale. Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo inizialmente fermo di massa  $m = 0,2$  kg. Il sistema viene lasciato libero; ricavare l'espressione e poi il valore dell'accelerazione alla quale è sottoposta la massa  $m$  dopo due secondi dal momento del rilascio.

6) Una puleggia di massa  $M$  e raggio  $R$  ( $I = \frac{1}{2} M R^2$ ) è libera di ruotare intorno ad un asse orizzontale. Un corpo di massa  $m$  viene appeso tramite una fune che passa sulla puleggia mettendola in rotazione. L'altra estremità della fune è sottoposta all'azione di una forza  $F$  orizzontale costante. Quanto deve valere  $F$  perché  $m$  si muova con accelerazione  $g$ ?  
 $[F=(2m+M/2)g]$



1) Data una sbarra omogenea di massa  $m$  e lunghezza  $L$  ricavare l'espressione del momento d'inerzia per una rotazione intorno a una estremità della sbarra e confrontarlo con quanto si otterrebbe utilizzando il teorema di Huygens-Steiner

2) Una carrucola di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$  kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale ( $I = 10^{-2}$  kg m<sup>2</sup>).

Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo di massa  $m = 0,2$  kg inizialmente fermo.

Il sistema viene lasciato libero; calcolare l'energia cinetica del sistema (carrucola e corpo) dopo un secondo.

3) Un'asta omogenea di massa  $m$  e lunghezza  $L$  è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse passante per una estremità ( $I = 1/3 mL^2$ )

L'asta viene spostata dalla posizione verticale di un piccolo angolo  $\theta_0$  e lasciata andare.

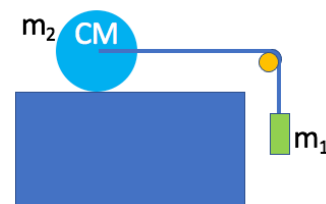
A) ricavare l'espressione del periodo di oscillazione

B) scrivere l'equazione del moto  $\theta(t)$  in funzione di  $m$ ,  $L$ ,  $g$  e  $\theta_0$

C) determinare la massima velocità angolare dell'asta

4) Un cilindro omogeneo di peso  $p = 60$  N rotola senza strisciare lungo un piano inclinato di  $30^\circ$ . Quanto deve valere come minimo il coefficiente di attrito statico  $\mu_s$ ?

6) Un cilindro omogeneo di massa  $m_2$  e raggio  $r$  rotola senza strisciare lungo un piano orizzontale scabro tirato, tramite una fune ideale collegata col centro di massa, da una massa  $m_1$  che scende verticalmente. Determinare l'accelerazione della massa  $m_1$  sapendo che  $m_1 = m_2 = m$



4) Una carrucola di raggio  $R = 10$  cm e massa  $M = 1$  kg è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale ( $I = 10^{-2}$  kg m<sup>2</sup>).

Sul bordo della carrucola è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo inizialmente fermo di massa  $m = 0,2$  kg.

Il sistema viene lasciato libero; calcolare l'energia cinetica del sistema (carrucola e corpo) dopo due secondi.

5) Un cilindro omogeneo di massa  $m = 6$  kg rotola senza strisciare lungo un piano inclinato di un angolo di  $30^\circ$ . Il coefficiente di attrito statico  $\mu_s$  vale  $0,8$ . Determinare l'accelerazione del centro di massa del cilindro.

1) Data una sbarra omogenea di massa  $m$  e lunghezza  $L$  determinare:

A) la posizione del centro di massa

B) il momento d'inerzia per una rotazione intorno al centro di massa

2) Un disco di raggio  $R = 10 \text{ cm}$  e massa  $M = 1 \text{ kg}$  è libero di ruotare senza attrito intorno ad un asse fisso orizzontale ( $I = \frac{1}{2}MR^2$ ).

Sul bordo del disco è arrotolata una fune alla cui estremità è appeso un corpo di massa  $m = 0,2 \text{ kg}$  inizialmente fermo.

Il sistema viene lasciato libero; di quanto è sceso il corpo dopo un secondo?

3) Un'asta omogenea di massa  $m$  e lunghezza  $L$  è libera di ruotare senza attrito intorno ad un asse passante per una estremità ( $I = \frac{1}{3} mL^2$ )

L'asta viene spostata dalla posizione verticale di un piccolo angolo  $\theta_0$  e lasciata andare.

A) determinare il periodo di oscillazione

B) scrivere l'equazione del moto  $\theta(t)$

C) determinare la massima accelerazione angolare dell'asta

4) Un cilindro omogeneo di peso  $p = 60 \text{ N}$  rotola senza strisciare lungo un piano inclinato di  $30^\circ$ .

Quanto vale la forza di attrito statico?

## TERMODINAMICA

14) In un contenitore isolato dall'esterno vengono introdotti 60 g di ghiaccio a  $0^{\circ}\text{C}$  e dell'acqua a  $30^{\circ}\text{C}$ . Determinare il quantitativo minimo di acqua che consente di sciogliere tutto il ghiaccio.

[160 g]

15) Un pallone sonda meteorologico ha un volume di  $1\text{ m}^3$  a  $300\text{ K}$  e  $1\text{ atm}$ . Salendo a circa  $10\text{ km}$  di altezza la temperatura scende a  $224\text{ K}$  e la pressione a  $0,25\text{ atm}$ ; quanto misura il suo nuovo volume?

[ $3,0\text{ m}^3$ ]

18) Un contenitore cilindrico adiabatico di volume  $V_0 = 2\text{ litri}$  è chiuso da un pistone, anch'esso adiabatico, che può scorrere orizzontalmente senza attrito. All'interno c'è del gas perfetto monoatomico a  $p_0 = 100\text{ kPa}$ . Quanto lavoro va effettuato dall'esterno affinché la pressione salga a  $p_1 = 3,2\text{ MPa}$ ? Considerare reversibile la trasformazione subita dal gas.

$\{T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}\}$

[900 J]

TERMO

DILATAZ

Un filo metallico è lungo 80 cm a  $-10^{\circ}\text{C}$  e si allunga di 0,6 mm passando a  $40^{\circ}\text{C}$ .  
A quale temperatura è lungo 800,3 mm?  
 $15^{\circ}\text{C}$  ( $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ K}$ )

## CAPACITA' TERMICA

2) Una stufa che eroga una potenza  $W = 1,85 \text{ MJ/h}$  per mantenere a  $20^{\circ}\text{C}$  una stanza che misura 3,3 m x 4,5 m x 3 m. Se non ci fosse scambio di calore con l'esterno di quanti kelvin salirebbe la temperatura in un'ora? Considerare l'aria come gas perfetto biatomico a pressione atmosferica (101,3 kPa).

$$pV = nRT \rightarrow n = 1852; W t = n c_v \Delta T \rightarrow 48^{\circ}\text{C}$$

## TRASMISSIONE

T15) La superficie corporea di un animale è di  $2 \text{ m}^2$ . Durante la notte, quando la temperatura ambiente è di  $5^{\circ}\text{C}$ , la sua temperatura superficiale scende a  $25^{\circ}\text{C}$ . Supponendo che il pelo dell'animale abbia una conducibilità termica  $\lambda = 0,03 \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{C})$ , ricavare lo spessore dello strato di pelo necessario per ridurre le perdite di calore di un fattore 2 rispetto a quelle che avrebbe avuto, in assenza di pelo, per irraggiamento (100 W). [2,4 cm]

8) Un locale tecnico cubico di lato 3 m è scaldato da apparecchiature che dissipano  $W = 1,8 \text{ kW}$ . Determinare quale temperatura viene raggiunta all'interno sapendo che le pareti laterali del locale (considerare adiabatici soffitto e pavimento) lo isolano parzialmente dall'esterno a  $5^{\circ}\text{C}$ . Lo spessore delle pareti è 10 cm; la conducibilità termica del materiale che le costituisce è  $0,2 \text{ W}/(\text{K m})$ .

$$8) T = 30^{\circ}\text{C}$$

$$8) dQ/dt = \lambda S/d \Delta T \rightarrow T = T_{\text{est}} + dQ/dt d/(\lambda S)$$

## CAMBIAMENTO DI STATO

4) In un contenitore isolato dall'esterno vengono introdotti 60 g di ghiaccio a  $0^{\circ}\text{C}$  e dell'acqua a  $30^{\circ}\text{C}$ . Determinare il quantitativo minimo di acqua che consente di sciogliere tutto il ghiaccio.

$$4) m_{\text{H}_2\text{O}} = 160 \text{ g}$$

$$4) m_{\text{gh}} \lambda_f + m_{\text{H}_2\text{O}} c_{\text{H}_2\text{O}} (0^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}) = 0$$

$$PV=nRT$$

Un pallone sonda meteorologico ha un volume di  $1 \text{ m}^3$  a  $300 \text{ K}$  e  $1 \text{ atm}$ . Salendo a circa 10 km di altezza la temperatura scende a  $224 \text{ K}$  e la pressione a  $0,25 \text{ atm}$ ; quanto misura il suo nuovo volume?

$$PV/T = \text{cost} \rightarrow V = 3,0 \text{ m}^3$$

3) Una bombola da 6 litri viene riempita di ossigeno alla temperatura  $t_0 = 18^{\circ}\text{C}$  e alla pressione  $p_0$ . Successivamente la bombola viene utilizzata per erogare 5 litri di ossigeno al minuto alla temperatura  $T_1 = 300 \text{ K}$  e pressione  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ . Determinare la pressione  $p_0$  alla quale è stata riempita la bombola sapendo che si svuota in due ore.

$$V_1 = 5 \times 10^{-3} \times 120 = 0,6 \text{ m}^3 \quad n = p_f V_f / R T_f = 10^5 \times 0,6 / (8,31 \times 300) = 24 \text{ mol}$$

$$p_0 = n R T_0 / V_0 = 24 \times 8,31 \times 291,15 / 6 \times 10^{-3} = 9,68 \text{ MPa} = 95,5 \text{ atm}$$

## TERMOTRASFO

OK5) Una mole di gas perfetto inizialmente a  $27^\circ\text{C}$  assorbe  $10 \text{ kJ}$  di calore mentre il volume raddoppia durante una trasformazione reversibile isobara. Determinare il calore specifico molare a volume costante del gas.

(considerare il rapporto e la differenza delle temperature)

5)  $c_v = 25 \text{ J/(Kmol)}$

5) In una isobara  $Q = n c_p (T_2 - T_1)$  e  $T_1/V_1 = T_2/V_2 \rightarrow c_p = 1/n Q/T_1$

OK10) Un contenitore cilindrico adiabatico di volume  $V_0 = 2$  litri è chiuso da un pistone, anch'esso adiabatico, che può scorrere orizzontalmente senza attrito. All'interno c'è del gas perfetto monoatomico a  $p_0 = 100 \text{ kPa}$ . Quanto lavoro va effettuato dall'esterno affinché la pressione salga a  $p_1 = 3,2 \text{ MPa}$ ? Considerare reversibile la trasformazione subita dal gas. ( $T p^{1/\gamma - 1} = \text{costante}$ )

10)  $L_{\text{ext}} = 900 \text{ J}$

10)  $L_{\text{ext}} = -L_{\text{gas}} = \Delta U \quad T_0 = p_0 V_0 / n R \quad T_1 = T_0 (p_0/p_1)^{1/\gamma - 1} = 4 T_0$

11) Tre moli di gas perfetto biatomico vengono sottoposte ad una trasformazione adiabatica reversibile durante la quale la temperatura diminuisce di  $10^\circ\text{C}$ . Calcolare quanto lavoro viene prodotto e la variazione di energia interna.

11)  $L = 623,3 \text{ J}$

0011) Tre moli di gas perfetto biatomico vengono sottoposte ad una trasformazione adiabatica reversibile durante la quale la temperatura diminuisce di  $10^\circ\text{C}$ . Calcolare quanto lavoro viene prodotto e la variazione di energia interna.

11)  $L = 623,3 \text{ J}$

oo12) Un recipiente con pareti adiabatiche e meccanicamente isolato dall'esterno, è diviso in due parti di volumi  $V_1 = 1$  litro e  $V_2 = 3$  litri, contenenti inizialmente rispettivamente  $0,5$  moli di  $\text{N}_2$  alla pressione  $p_1 = 2 \times 10^6 \text{ Pa}$  e due moli di  $\text{Ar}$  alla pressione  $p_2 = 10^6 \text{ Pa}$ . Il setto divisorio è permeabile al calore. Determinare la temperatura finale dei due gas (supposti perfetti).

(isocore in contenitore complessivamente adiabatico)

12)  $T_{\text{Ar}} = 269 \text{ K}$

12) Le trasformazioni sono isocore e data l'adiabaticità del recipiente  $dQ_1 + dQ_2 = 0$ ;

$n_{\text{N}_2} c_{V\text{N}_2} (T_f - T_{\text{N}_2}) + n_{\text{Ar}} c_{V\text{Ar}} (T_f - T_{\text{Ar}}) = 0$

OK14) Determinare la variazione di energia interna di tre moli di gas biatomico durante la fase di espansione di un ciclo di Carnot realizzato fra le temperature  $T_1 = 300 \text{ K}$  e  $T_2 > T_1$  con un rendimento del  $40\%$ .

14)  $\Delta U = -12,5 \text{ kJ}$

14)  $[\Delta U = -3 \cdot 5/2 R T_1 / (1 - \eta)]$  della fase di espansione conta solo quella adiabatica

OK15) Una mole di gas monoatomico ideale, partendo dallo stato  $[p_0, V_0, T_0]$  con  $T_0 = 600 \text{ K}$  subisce una serie di trasformazioni reversibili in cui prima raddoppia il volume a temperatura costante, poi viene compresso a pressione costante infine torna adiabaticamente allo stato iniziale.

Disegnare nel piano di Clapeyron il ciclo e calcolare la variazione di energia interna subita dal gas nelle tre trasformazioni.

15) A:  $\{p_0, V_0, T_0\} \rightarrow B: \{\frac{1}{2}p_0, 2V_0, T_0\} \rightarrow C: \{\frac{1}{2}p_0, V_0 2^{1/\gamma}, T_0 2^{[(1/\gamma)-1]}\} \rightarrow A$

$$T_C = 2^{-0,4} T_A; \quad \Delta U = n c_v \Delta T$$

15) isoterma: 0; isobara: - 1,81 kJ; adiabatica: 1,81 kJ

ok16) Un pistone adiabatico di massa trascurabile è libero di muoversi senza attriti all'interno di un cilindro anch'esso adiabatico posto in posizione orizzontale. Inizialmente il pistone è tutto a destra e l'intero volume è occupato da una mole di gas perfetto monoatomico a  $T_0 = 300$  K. Agendo dall'esterno il pistone viene portato lentamente nella posizione centrale in modo da dividere il volume in due parti uguali: a sinistra c'è il gas, a destra il vuoto. Calcolare la variazione di U del gas.

$$16) \Delta U = n c_v T_0 (2^{2/3} - 1) = 2,2 \text{ kJ}$$

$$16) TV^{(\gamma-1)} = \text{cost}$$

OK18) Una mole di gas perfetto monoatomico inizialmente a temperatura  $T_1 = 455$  K subisce dapprima una trasformazione adiabatica fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 600$  K poi una isocora in cui dimezza la temperatura e infine torna alla temperatura iniziale con una isobara. Il ciclo è reversibile; disegnarlo approssimativamente nel piano pV. Calcolare per ogni trasformazione e per il ciclo completo le quantità di calore e lavoro scambiate con l'esterno e la variazione di energia interna. Si consiglia di lavorare considerando solo le temperature e non pressioni e volumi.

$$18) Q = L = - 519 \text{ J}$$

18) A:  $[p_A, V_A, T_1] \rightarrow B: [p_B, V_B, T_2] \rightarrow C: [p_C, V_C, T_2/2] \rightarrow A$

$$Q_{A \rightarrow B} = 0; L_{A \rightarrow B} = -\Delta U_{A \rightarrow B} = -n c_v (T_2 - T_1); \Delta U_{A \rightarrow B} = n c_v (T_2 - T_1);$$

$$Q_{B \rightarrow C} = -n c_v T_2/2; L_{B \rightarrow C} = 0; \Delta U_{B \rightarrow C} = -n c_v T_2/2;$$

$$Q_{C \rightarrow A} = n c_p (T_1 - T_2/2); L_{C \rightarrow A} = Q_{C \rightarrow A} - \Delta U_{C \rightarrow A} = n c_p (T_1 - T_2/2) - n c_v (T_1 - T_2/2); \Delta U_{C \rightarrow A} = n c_v (T_1 - T_2/2);$$

$Q_{\text{ciclo}} = n c_p T_1 - n(c_p + c_v)T_2/2; L_{\text{ciclo}} = n c_p T_1 - n(c_p + c_v)T_2/2; \Delta U_{\text{ciclo}} = 0 \rightarrow$  è un ciclo frigorifero (è percorso in senso antiorario assorbendo calore dalle sorgenti a temperatura più bassa grazie al lavoro compiuto dall'esterno)

**okES5: 8 PUNTI)** Una macchina termica opera con gas perfetto monoatomico a temperatura  $T_0$  che viene prima portato a  $3 T_0$  mantenendo costante il volume e poi triplica il volume restando a contatto con la sorgente a  $3 T_0$ . Durante queste due trasformazioni il gas assorbe calore. Il ciclo si chiude mantenendo costante la pressione.

Calcolare il rendimento della macchina termica  $\eta = L/Q_{\text{ass}}$

$$3 \ln 3 / (5 + 3 \ln 3) = 39,7\%$$

2) Un recipiente aperto contiene 6 litri di acqua a  $20^\circ\text{C}$ . Viene messo a contatto con una piastra termica per 30 minuti al termine dei quali è evaporato il 10% del liquido.

Determinare la potenza termica dell'elemento riscaldante (considerare la pressione atmosferica pari a 100 kPa).

3) Una bombola da 6 litri viene riempita di ossigeno alla temperatura  $t_0 = 18^\circ\text{C}$  e alla pressione  $P_0$ . Successivamente la bombola viene utilizzata per erogare 5 litri di ossigeno al minuto alla temperatura  $T_1 = 300$  K e pressione  $P_1 = 100$  kPa. Determinare la pressione  $P_0$  alla quale è stata riempita la bombola sapendo che si svuota in due ore.



5) Una macchina termica opera con gas perfetto monoatomico a temperatura  $T_0$  che viene prima portato a  $3 T_0$  mantenendo costante il volume e poi triplica il volume restando a contatto con la sorgente a  $3 T_0$ . Durante queste due trasformazioni il gas assorbe calore. Il ciclo si chiude mantenendo costante la pressione.

Calcolare il rendimento della macchina termica  $\eta = L/Q_{\text{ass}}$

**ES1:** 7 PUNTI) Un recipiente aperto contiene 6 litri di acqua a  $20^\circ\text{C}$ . Alla pressione di 100 kPa, per farne evaporare il 10% il contenitore deve restare a contatto con una piastra termica per 30 minuti. Determinare la potenza termica dell'elemento riscaldante.

**ES2:** 4 PUNTI) Un filo metallico è lungo 80 cm a  $-10^\circ\text{C}$  e si allunga di 0,6 mm passando a  $40^\circ\text{C}$ . A quale temperatura è lungo 800,3 mm?

**ES3:** 6 PUNTI) Una sbarra di alluminio ( $k = 250 \text{ W}/(\text{Km})$ ) lunga mezzo metro e di sezione  $1 \text{ cm}^2$  ha un'estremità immersa in acqua all'ebollizione e l'altra in contatto con ghiaccio alla temperatura di fusione. In quanti minuti si sciolgono 10 g di ghiaccio?

**ES4:** 5 PUNTI) A 300 K e 100 kPa una bombola da 6 litri eroga 10 litri di ossigeno al minuto per due ore. A quale pressione, a  $18^\circ\text{C}$ , è stata riempita la bombola?

**ES5:** 8 PUNTI) Una macchina termica opera con gas perfetto monoatomico a temperatura  $T_0$  che viene prima portato a  $3 T_0$  mantenendo costante il volume e poi triplica il volume restando a contatto con la sorgente a  $3 T_0$ . Durante queste due trasformazioni il gas assorbe calore. Il ciclo si chiude mantenendo costante la pressione.

Calcolare il rendimento della macchina termica  $\eta = L/Q_{\text{ass}}$

1) (5 punti) Un'asta di sezione  $S$ , lunghezza  $L$  e conducibilità termica  $k_1$  è collegata da un lato a una sorgente termica a temperatura  $T_1$  e dall'altra a una seconda asta geometricamente identica ma con conducibilità termica  $k_2$ . L'altra estremità della seconda asta è collegata ad una seconda sorgente a temperatura  $T_2 > T_1$ .

Determinare la temperatura  $T_C$  di equilibrio nel punto di contatto delle due aste.

[la quantità di calore  $dQ/dt$  che nell'unità di tempo (potenza termica) attraversa le due sbarre è la stessa]

2) (4 punti) Con un metro a nastro di acciaio viene misurata a  $10^\circ\text{C}$  la lunghezza  $l_{\text{Al}} = 4 \text{ m}$  di una sbarra di alluminio. Si ripete la stessa misura a  $30^\circ\text{C}$ . Quanto vale la nuova lunghezza  $l_{30}$  e quanto indica il metro a nastro  $l_{30}$ '?

$\alpha_{\text{Al}} = 23 \times 10^{-6}/\text{K}$      $\alpha_{\text{acc}} = 12 \times 10^{-6}/\text{K}$

3) (4 punti) La colonna di liquido di un termometro ha un'altezza  $h_1 = 2 \text{ cm}$  quando il bulbo è alla temperatura del ghiaccio fondente e  $h_2 = 14 \text{ cm}$  quando è in equilibrio con acqua all'ebollizione.

A quale temperatura  $t_x$  l'altezza è  $h_x = 5 \text{ cm}$ ?

Il coefficiente di dilatazione del liquido (volumica) è  $3\alpha = 4 \times 10^{-4}/\text{K}$  e il bulbo termometrico ha un volume di  $0,6 \text{ cm}^3$ . Determinare la sezione  $s$  del capillare.

4) (6 punti) In contenitore adiabatico, una massa  $m_{\text{gh}} = 2 \text{ g}$  di ghiaccio a temperatura  $t_{\text{gh}} = -10^\circ\text{C}$  viene mescolata con una massa  $m_{\text{H}_2\text{O}}$  di acqua a  $t_{\text{H}_2\text{O}} = 20^\circ\text{C}$ . Raggiunto l'equilibrio termico si ha solo liquido a  $t_f = 5^\circ\text{C}$ . Determinare  $m_{\text{H}_2\text{O}}$ .

5) (8 punti) In un contenitore adiabatico vengono introdotti una massa  $m_{\text{gh}} = 50 \text{ g}$  di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$  e  $m_{\text{vap}} = 10 \text{ g}$  di vapore acqueo a  $100^\circ\text{C}$ . Calcolare la temperatura  $t_f$  all'equilibrio termico.

6) (5 punti) Con un apparato simile a quello utilizzato da Joule si vuole determinare l'innalzamento di temperatura di una massa  $m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ g}$  d'acqua chiusa in un calorimetro in cui un mulinello trasforma in calore l'energia totalmente dissipata per attrito viscoso da due masse  $m = 2 \text{ kg}$  che scendono, partendo da ferme, per  $h = 2 \text{ m}$ .

7) (7 punti) Un frigorifero viene utilizzato per congelare acqua liquida a  $0^\circ\text{C}$  scambiando calore con l'ambiente a  $40^\circ\text{C}$ . Assumendo che il frigorifero sia una macchina termica reversibile calcolare quanta energia occorre per congelare 100 litri d'acqua.

8) (7 punti) Una mole di gas perfetto monoatomico alla temperatura  $T_1 = 600 \text{ K}$  compie un'espansione adiabatica che ne aumenta il volume da  $V_1 = 1 \text{ m}^3$  a  $V_2 = 2 \text{ m}^3$ . Calcolare la temperatura finale del gas e il lavoro compiuto nell'espansione.

9) (8 punti) Una macchina termica utilizza una mole di gas perfetto biatomico e compie il ciclo  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  dove la trasformazione  $A \rightarrow B$  è isoterma, la trasformazione  $B \rightarrow C$  è isobara e la trasformazione  $C \rightarrow A$  è adiabatica. Sapendo che  $p_A = 200 \text{ kPa}$ ,  $p_B = 100 \text{ kPa}$  e  $V_A = 20 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  ricavare, dopo aver disegnato la trasformazione:

- i valori di pressione, volume e temperatura in A, B, C
- il rendimento della macchina termica.

10) (7 punti) Calcolare il rendimento di una macchina termica operante con un ciclo di Carnot mediante un gas perfetto monoatomico che durante la compressione adiabatica dimezza il suo volume (disegnare la trasformazione e porre agli estremi dell'adiabatica  $V_2 = 2 V_1$ )

1. Sapendo che il calore latente di vaporizzazione dell'acqua varia con la temperatura secondo la relazione :

$$\lambda_{\text{vap}} = 595,9 - 0,56 t \quad (t \text{ in } ^\circ\text{C} \text{ e } \lambda \text{ in cal/g})$$

calcolare quanto calore  $Q$  richiesto per convertire 4 kg di acqua a  $20^\circ\text{C}$  in vapore a  $60^\circ\text{C}$ .

2. Un cilindro isolante orizzontale contiene un pistone pure isolante e in grado di muoversi senza attrito. Da ciascuna parte del pistone ci sono 54 litri di un gas ideale mono-atomico a 1 atm e  $273^\circ\text{K}$ . Si riscalda lentamente il gas a sinistra fino a quando il pistone non abbia compresso il gas a destra a 7,59 atm.

- Qual e' la temperatura finale del gas di destra ?
- Qual e' la temperatura finale del gas di sinistra?
- A quanto vale il lavoro fatto sul gas di destra?
- Quanto calore e' stato fornito al gas di sinistra?

3. 10 kg di ghiaccio alla temperatura di  $273^\circ\text{K}$  ricevono calore da un serbatoio di calore alla temperatura di  $373^\circ\text{K}$  (a) Quale variazione di entropia hanno subito il ghiaccio, il serbatoio e l'universo nella fusione del ghiaccio?

(b) Quale sarebbe stata la variazione di entropia del ghiaccio, del serbatoio e dell'universo se il processo di fusione fosse avvenuto alla temperatura ambiente di  $25^\circ\text{C}$ ?

4. Il corpo di un ipotetico animale puo' essere assimilato ad un cilindro lungo due metri con un diametro di 30 cm. Si e' trovato che, durante la notte, la sua temperatura superficiale e' di  $25^\circ\text{C}$  quando la temperatura ambiente e' di  $5^\circ\text{C}$ . Calcolare la perdita netta di calore dell'animale per irraggiamento, assumendo che il suo corpo abbia una emissivita' di 0,9. Supponendo che il pelo dell'animale abbia una conducibilita' termica di  $0,035 \text{ J/m s } ^\circ\text{C}$ , ricavare lo spessore dello strato di pelo necessario per ridurre le perdite di calore di un fattore 2.

---

5. Una macchina termica utilizza una mole di gas perfetto biatomico e compie il ciclo  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  dove la trasformazione  $A \rightarrow B$  è isoterma, la trasformazione  $B \rightarrow C$  è isobara e la trasformazione  $C \rightarrow A$  è adiabatica. Sapendo che  $P_a = 2 \text{ atm}$ ,  $P_b = 1 \text{ atm}$  e  $V_a = 2 \text{ litri}$  ricavare:

a) i valori di pressione volume e temperatura in A, B, C.

b) il rendimento della macchina termica.

(ricorda che in una trasformazione adiabatica  $PV^\gamma = k$  con  $\gamma = C_p/C_v$ )

---

6. Un uomo ha la superficie della pelle di circa  $1,7 \text{ m}^2$ . Se è nudo, circa  $1,5 \text{ m}^2$  di superficie sono interessati alla perdita convettiva di calore. Se la temperatura dell'ambiente è di  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  e la velocità del vento di  $2 \text{ m/s}$ , quanto calore fluisce fuori dal corpo in un'ora? Si assuma la temperatura della pelle pari a  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ .

---

7. La perdita di calore dovuta alla sudorazione normale è pari a circa  $10 \text{ kcal/h}$ . Qual'è il valore normale della velocità di perdita di acqua attraverso la pelle?

---

8. Un uomo che pesa  $700 \text{ N}$  fa una passeggiata in montagna durante la quale passa da una quota di  $100 \text{ m}$  ad una quota di  $200 \text{ m}$ . Nello stesso tempo il suo corpo cede all'ambiente una quantità di calore pari a  $10 \text{ kcal}$ . Di quanto è variata la sua energia interna?

---

9. Un grammo di un gas perfetto (P.M. =  $28$ ,  $c_v = 0.74 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) compie la trasformazione ciclica reversibile  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  (AB=espansione isoterma; CD=compressione isoterma, BC= espansione adiabatica, DA= trasformazione isocora). Sapendo che il lavoro compiuto nella trasformazione AB è  $L_{AB} = 214 \text{ J}$ , il lavoro compiuto nella trasformazione CD è  $L_{CD} = -232 \text{ J}$ ,  $T_C = 600 \text{ }^\circ\text{K}$  e che  $V_B = 3 V_A$ , determinare: la temperatura  $T_A$ , il lavoro  $L_{BC}$  compiuto nella trasformazione adiabatica, il lavoro totale compiuto in un ciclo.

11) Un termometro a liquido è costituito da un bulbo di volume  $V_0 = 0,1 \text{ cm}^3$  e da un tubo di vetro capillare di sezione circolare di area interna  $s$ . A  $35^\circ\text{C}$  il liquido termometrico (coefficiente di dilatazione cubica  $\alpha = 2 \times 10^{-4}/\text{K}$ ) è interamente contenuto nel bulbo; a  $38^\circ\text{C}$  la colonnina si allunga di  $h = 3 \text{ cm}$  nel capillare. Determinare il diametro del capillare. [50  $\mu\text{m}$ ]

12) Un'automobile ( $m = 1000 \text{ kg}$ ) viaggia a  $20 \text{ m/s}$  e sotto la sola azione dei freni rallenta fino a fermarsi. Sapendo che la capacità termica di ognuno dei quattro freni è  $C = 4 \text{ kJ/K}$ ) determinare l'innalzamento di temperatura di ognuno di essi. [25°C]

13) Un contenitore cilindrico chiuso, adiabatico tranne che nella base diatermica di area  $S = 100 \text{ cm}^2$ , contiene  $m = 500 \text{ g}$  di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$ . Viene posto su una piastra termica di area  $s = 10 \text{ cm}^2$  termostata a  $50^\circ\text{C}$ .

La base del contenitore, spessa  $d = 1 \text{ cm}$ , ha una conducibilità termica  $\lambda = 500 \text{ W/(K m)}$ .

Quanto vale la potenza termica erogata dalla piastra durante la transizione di fase del ghiaccio?

Quanto tempo occorre perché fonda tutto il ghiaccio? [P = 2,5 kW; t = 66,6 s]

14) La finestra di una stanza ha un'area di  $2 \text{ m}^2$  ed è fornita di vetro dello spessore di  $4 \text{ mm}$  con conducibilità termica di  $0,8 \text{ W/Km}$ .

La temperatura esterna della casa è  $10^\circ\text{C}$  mentre quella all'interno della casa è  $25^\circ\text{C}$ .

Quanta energia si trasferisce per conduzione attraverso la finestra in un'ora? e per irraggiamento ( $\epsilon = 0,8$ )? [6 kWh; 134 Wh]

15) Una sbarra di alluminio ( $k = 250 \text{ W/(K m)}$ ) lunga mezzo metro e di sezione  $1 \text{ cm}^2$  ha un'estremità immersa in acqua all'ebollizione e l'altra in contatto con ghiaccio alla temperatura di fusione. In quanti minuti si sciolgono 10 g di ghiaccio? [11,1 min]

16) Un recipiente aperto contiene 6 litri di acqua a  $20^\circ\text{C}$ . Viene messo a contatto con una piastra termica per 30 minuti al termine dei quali è evaporato il 10% del liquido (a pressione atmosferica). Determinare la potenza termica dell'elemento riscaldante. [1,85 kW]

17) In un contenitore rigido di capacità termica  $C_{co} = 100 \text{ J/K}$  vengono immesse a  $p_0 = 100 \text{ kPa}$  quattro moli di gas perfetto monoatomico. Il contenitore, inizialmente in equilibrio a temperatura  $T_0 = 300 \text{ K}$ , viene posto a contatto con una sorgente termica che gli trasferisce calore (a volume costante) con una potenza di  $50 \text{ W}$ . Dopo quanto tempo entrerà in funzione la valvola di sicurezza del contenitore che è tarata per aprirsi a una sovrapressione di  $100 \text{ kPa}$  (cioè a una pressione interna che supera di  $100 \text{ kPa}$  quella esterna)? [15 min]

10) Un filo metallico è lungo  $80 \text{ cm}$  a  $-10^\circ\text{C}$  e si allunga di  $0,6 \text{ mm}$  passando a  $40^\circ\text{C}$ . A quale temperatura è lungo  $800,3 \text{ mm}$ ? [15°C]

11) Per mantenere a  $20^\circ\text{C}$  una stanza che misura  $3,3 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  occorre una stufa che eroga una potenza  $P = 1,85 \text{ MJ/h}$ . Se non ci fosse scambio di calore con l'esterno di quanti kelvin salirebbe la temperatura in un'ora? Considerare l'aria come gas perfetto biatomico a pressione atmosferica ( $p = 101,3 \text{ kPa}$ ). [48 K]

12) La superficie corporea di un animale è di  $2 \text{ m}^2$ . Durante la notte, quando la temperatura ambiente è di  $5^\circ\text{C}$ , la sua temperatura superficiale scende a  $25^\circ\text{C}$ . Supponendo che il pelo dell'animale abbia una conducibilità termica  $\lambda = 0,03 \text{ J/(m}^2 \text{ s K)}$ , ricavare lo spessore dello strato di pelo necessario per ridurre le perdite di calore di un fattore 2 rispetto a quelle che avrebbe avuto, in assenza di pelo, per irraggiamento ( $100 \text{ W}$ ). [2,4 cm]

13) Un locale tecnico cubico di lato  $3 \text{ m}$  è scaldato da apparecchiature che dissipano  $P = 1,8 \text{ kW}$ . Determinare quale temperatura viene raggiunta all'interno sapendo che le pareti laterali del locale (considerare adiabatici soffitto e pavimento) lo isolano parzialmente dall'esterno a  $5^\circ\text{C}$ . Lo spessore delle pareti è  $10 \text{ cm}$ ; la conducibilità termica del materiale che le costituisce è  $0,2 \text{ W/(K m)}$ . [30°C]

14) In un contenitore isolato dall'esterno vengono introdotti  $60 \text{ g}$  di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$  e dell'acqua a  $30^\circ\text{C}$ . Determinare il quantitativo minimo di acqua che consente di sciogliere tutto il ghiaccio. [160 g]

15) Un pallone sonda meteorologico ha un volume di  $1 \text{ m}^3$  a  $300 \text{ K}$  e  $1 \text{ atm}$ . Salendo a circa  $10 \text{ km}$  di altezza la temperatura scende a  $224 \text{ K}$  e la pressione a  $0,25 \text{ atm}$ ; quanto misura il suo nuovo volume? [3,0 m<sup>3</sup>]

16) Una bombola da 6 litri viene riempita di ossigeno alla temperatura  $t_0 = 18^\circ\text{C}$  e alla pressione  $p_0$ . Successivamente la bombola viene utilizzata per erogare 5 litri di ossigeno al minuto alla temperatura  $T_1 = 300 \text{ K}$  e pressione  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ . Determinare la pressione  $p_0$  alla quale è stata riempita la bombola sapendo che si svuota in due ore. [9,68 MPa]

17) Una mole di gas perfetto inizialmente a  $27^\circ\text{C}$  assorbe  $10 \text{ kJ}$  di calore mentre il volume raddoppia durante una trasformazione reversibile isobara. Determinare il calore specifico molare a volume costante del gas.

{considerare il rapporto e la differenza delle temperature} [25 J/(Kmol)]

18) Un contenitore cilindrico adiabatico di volume  $V_0 = 2$  litri è chiuso da un pistone, anch'esso adiabatico, che può scorrere orizzontalmente senza attrito. All'interno c'è del gas perfetto monoatomico a  $p_0 = 100$  kPa. Quanto lavoro va effettuato dall'esterno affinché la pressione salga a  $p_1 = 3,2$  MPa? Considerare reversibile la trasformazione subita dal gas.

{ $T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}$ } [900 J]

19) Tre moli di gas perfetto biatomico vengono sottoposte ad una trasformazione adiabatica reversibile durante la quale la temperatura diminuisce di  $10^\circ\text{C}$ . Calcolare quanto lavoro viene prodotto e la variazione di energia interna. [623,3 J]

20) Un recipiente con pareti adiabatiche e meccanicamente isolato dall'esterno, è diviso in due parti di volumi  $V_1 = 1$  litro e  $V_2 = 3$  litri, contenenti inizialmente rispettivamente 0,5 moli di  $\text{N}_2$  alla pressione  $p_1 = 2 \times 10^6$  Pa e due moli di Ar alla pressione  $p_2 = 10^6$  Pa. Il setto divisorio è permeabile al calore. Determinare le temperature iniziali e finale dei due gas (supposti perfetti).

{isocore in contenitore complessivamente adiabatico} [ $T_{\text{N}_2} = 481$  K;  $T_{\text{Ar}} = 181$  K;  $T_{\text{fin}} = 269$  K]

21) Determinare la variazione di energia interna di tre moli di gas biatomico durante l'espansione in un ciclo di Carnot realizzato fra le temperature  $T_1 = 300$  K e  $T_2 > T_1$  con un rendimento del 40%.

[ $\Delta U = -12,5$  kJ]

22) Una mole di gas monoatomico ideale, partendo dallo stato  $[p_0, V_0, T_0]$  con  $T_0 = 600$  K subisce una serie di trasformazioni reversibili in cui prima raddoppia il volume a temperatura costante, poi viene compresso a pressione costante infine torna adiabaticamente allo stato iniziale.

Disegnare nel piano di Clapeyron il ciclo e calcolare la variazione di energia interna subita dal gas nelle tre trasformazioni. [isoterma: 0; isobara: -1,81 kJ; adiabatica: 1,81 kJ]

23) Un pistone adiabatico di massa trascurabile è libero di muoversi senza attriti all'interno di un cilindro anch'esso adiabatico posto in posizione orizzontale. Inizialmente il pistone è tutto a destra e l'intero volume è occupato da una mole di gas perfetto monoatomico a  $T_0 = 300$  K. Agendo dall'esterno il pistone viene portato lentamente nella posizione centrale in modo da dividere il volume in due parti uguali: a sinistra c'è il gas, a destra il vuoto. Calcolare la variazione dell'energia interna del gas. { $TV^{(\gamma-1)} = \text{costante}$ } [+2,2 kJ]

24) Una mole di gas perfetto monoatomico inizialmente a temperatura  $T_1 = 455$  K subisce dapprima una trasformazione adiabatica fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 600$  K poi una isocora in cui dimezza la temperatura e infine torna alla temperatura iniziale con una isobara. Il ciclo è reversibile; disegnarlo approssimativamente nel piano pV. Calcolare per ogni trasformazione e per il ciclo completo le quantità di calore e lavoro scambiate con l'esterno e la variazione di energia interna. Si consiglia di lavorare considerando solo le temperature e non pressioni e volumi.

[ $Q_{\text{ciclo}} = L_{\text{ciclo}} = -519$  J]

25) Una macchina termica opera con gas perfetto monoatomico a temperatura  $T_0$  che viene prima portato a  $3 T_0$  mantenendo costante il volume e poi triplica il volume restando a contatto con la sorgente a  $3 T_0$ . Durante queste due trasformazioni il gas assorbe calore. Il ciclo si chiude mantenendo costante la pressione.

Calcolare il rendimento della macchina termica  $\eta = L/Q_{\text{ass}}$  [ $\eta = 20,6\%$ ]

4) Un contenitore cilindrico chiuso, adiabatico tranne che nella base diatermica di area  $S = 10 \text{ cm}^2$ , contiene  $m = 300 \text{ g}$  di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$ . Viene posto su una grande piastra termica termostata a  $40^\circ\text{C}$ . La base del contenitore, spessa  $d = 1 \text{ cm}$ , ha una conducibilità termica  $\lambda = 500 \text{ W}/(\text{K m})$ . Quanto vale la potenza termica trasmessa al ghiaccio durante la transizione di fase solido-liquido? Quanto tempo occorre perché fonda tutto il ghiaccio?

5) Una mole di gas perfetto monoatomico inizialmente a temperatura  $T_1 = 600 \text{ K}$  subisce una trasformazione adiabatica fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 455 \text{ K}$  poi una isobara e infine torna allo stato iniziale con una isocora raddoppiando la temperatura. Il ciclo è reversibile; disegnarlo approssimativamente nel piano  $pV$ . Calcolare per ogni trasformazione e per il ciclo completo le quantità di calore assorbite dal gas. Si consiglia di lavorare considerando solo le temperature e non pressioni e volumi.

4) Un contenitore refrigerato è costituito da sei pareti, di superficie complessiva pari a  $10 \text{ m}^2$ , spesse  $5 \text{ cm}$  e realizzate con un materiale isolante di conducibilità termica  $0,04 \text{ W}/(\text{Km})$ . Quanta potenza occorre per mantenere l'interno a  $-10^\circ\text{C}$  se l'ambiente esterno è a  $30^\circ\text{C}$ ?

5) Una macchina termica utilizza due moli di gas perfetto monoatomico che subiscono un ciclo termodinamico costituito da tre trasformazioni reversibili. Il gas, inizialmente a temperatura  $T_1 = 600 \text{ K}$ , viene raffreddato adiabaticamente fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 455 \text{ K}$ . Successivamente viene raffreddato a pressione costante e infine, mantenendone costante il volume viene riscaldato facendone raddoppiare la temperatura riportando il gas allo stato di equilibrio iniziale. Disegnare approssimativamente il ciclo nel piano  $pV$  e calcolare il rendimento  $\eta = L/Q_A$  della macchina termica.

4) Un contenitore cilindrico chiuso, adiabatico tranne che nella base diatermica di area  $S = 10 \text{ cm}^2$ , contiene  $m = 300 \text{ g}$  di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$ . Viene posto su una grande piastra termica termostata a  $40^\circ\text{C}$ . La base del contenitore, spessa  $d = 1 \text{ cm}$ , ha una conducibilità termica  $\lambda = 500 \text{ W}/(\text{K m})$ . Quanto vale la potenza termica trasmessa al ghiaccio durante la transizione di fase solido-liquido? Quanto tempo occorre perché fonda tutto il ghiaccio?

5) Una mole di gas perfetto monoatomico inizialmente a temperatura  $T_1 = 600 \text{ K}$  subisce una trasformazione adiabatica fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 455 \text{ K}$  poi una isobara e infine torna allo stato iniziale con una isocora raddoppiando la temperatura. Il ciclo è reversibile; disegnarlo approssimativamente nel piano  $pV$ . Calcolare per ogni trasformazione e per il ciclo completo le quantità di calore assorbite dal gas. Si consiglia di lavorare considerando solo le temperature e non pressioni e volumi.

4) Un contenitore refrigerato è costituito da sei pareti, di superficie complessiva pari a  $10 \text{ m}^2$ , spesse  $5 \text{ cm}$  e realizzate con un materiale isolante di conducibilità termica  $0,04 \text{ W}/(\text{Km})$ . Quanta potenza occorre per mantenere l'interno a  $-10^\circ\text{C}$  se l'ambiente esterno è a  $30^\circ\text{C}$ ?  
 $P = 320 \text{ W}$

5) Una macchina termica utilizza due moli di gas perfetto monoatomico che subiscono un ciclo termodinamico costituito da tre trasformazioni reversibili. Il gas, inizialmente a temperatura  $T_1 = 600 \text{ K}$ , viene raffreddato adiabaticamente fino a raggiungere la temperatura  $T_2 = 455 \text{ K}$ . Successivamente viene raffreddato a pressione costante e infine, mantenendone costante il volume viene riscaldato facendone raddoppiare la temperatura riportando il gas allo stato di equilibrio iniziale. Disegnare approssimativamente il ciclo nel piano  $pV$  e calcolare il rendimento della macchina termica  $\eta = L/Q_A$ .  
 $13,9\% = 125/900 = (c_v 145 - R 155)/c_v 300$

1) (5 punti) Un'asta di sezione  $S$ , lunghezza  $L$  e conducibilità termica  $k_1$  è collegata da un lato a una sorgente termica a temperatura  $T_1$  e dall'altra a una seconda asta geometricamente identica ma con conducibilità termica  $k_2$ . L'altra estremità della seconda asta è collegata ad una seconda sorgente a temperatura  $T_2 > T_1$ .

Determinare la temperatura  $T_C$  di equilibrio nel punto di contatto delle due aste.

[la quantità di calore  $dQ/dt$  che nell'unità di tempo (potenza termica) attraversa le due sbarre è la stessa]

2) (4 punti) Con un metro a nastro di acciaio viene misurata a  $10^\circ\text{C}$  la lunghezza  $l_{Al} = 4$  m di una sbarra di alluminio. Si ripete la stessa misura a  $30^\circ\text{C}$ . Quanto vale la nuova lunghezza  $l_{30}$  e quanto indica il metro a nastro  $l_{30}'$ ?

$$\alpha_{Al} = 23 \times 10^{-6}/\text{K} \quad \alpha_{acc} = 12 \times 10^{-6}/\text{K}$$

3) (4 punti) La colonna di liquido di un termometro ha un'altezza  $h_1 = 2$  cm quando il bulbo è alla temperatura del ghiaccio fondente e  $h_2 = 14$  cm quando è in equilibrio con acqua all'ebollizione.

A quale temperatura  $t_x$  l'altezza è  $h_x = 5$  cm?

Il coefficiente di dilatazione del liquido (volumica) è  $3\alpha = 4 \times 10^{-4}/\text{K}$  e il bulbo termometrico ha un volume di  $0,6$  cm<sup>3</sup>. Determinare la sezione  $s$  del capillare.

4) (6 punti) In contenitore adiabatico, una massa  $m_{gh} = 2$  g di ghiaccio a temperatura  $t_{gh} = -10^\circ\text{C}$  viene mescolata con una massa  $m_{H_2O}$  di acqua a  $t_{H_2O} = 20^\circ\text{C}$ . Raggiunto l'equilibrio termico si ha solo liquido a  $t_f = 5^\circ\text{C}$ . Determinare  $m_{H_2O}$ .

5) (8 punti) In un contenitore adiabatico vengono introdotti una massa  $m_{gh} = 50$  g di ghiaccio a  $0^\circ\text{C}$  e  $m_{vap} = 10$  g di vapore acqueo a  $100^\circ\text{C}$ . Calcolare la temperatura  $t_f$  all'equilibrio termico.

6) (5 punti) Con un apparato simile a quello utilizzato da Joule si vuole determinare l'innalzamento di temperatura di una massa  $m_{H_2O} = 100$  g d'acqua chiusa in un calorimetro in cui un mulinello trasforma in calore l'energia totalmente dissipata per attrito viscoso da due masse  $m = 2$  kg che scendono, partendo da ferme, per  $h = 2$  m.

7) (7 punti) Un frigorifero viene utilizzato per congelare acqua liquida a  $0^\circ\text{C}$  scambiando calore con l'ambiente a  $40^\circ\text{C}$ . Assumendo che il frigorifero sia una macchina termica reversibile calcolare quanta energia occorre per congelare 100 litri d'acqua.

8) (7 punti) Una mole di gas perfetto monoatomico alla temperatura  $T_1 = 600$  K compie un'espansione adiabatica che ne aumenta il volume da  $V_1 = 1$  m<sup>3</sup> a  $V_2 = 2$  m<sup>3</sup>. Calcolare la temperatura finale del gas e il lavoro compiuto nell'espansione.

9) (8 punti) Una macchina termica utilizza una mole di gas perfetto biatomico e compie il ciclo  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  dove la trasformazione  $A \rightarrow B$  è isoterma, la trasformazione  $B \rightarrow C$  è isobara e la trasformazione  $C \rightarrow A$  è adiabatica. Sapendo che  $p_A = 200$  kPa,  $p_B = 100$  kPa e  $V_A = 20 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup> ricavare, dopo aver disegnato la trasformazione:

- i valori di pressione, volume e temperatura in A, B, C
- il rendimento della macchina termica.

10) (7 punti) Calcolare il rendimento di una macchina termica operante con un ciclo di Carnot mediante un gas perfetto monoatomico che durante la compressione adiabatica dimezza il suo volume (disegnare la trasformazione e porre agli estremi dell'adiabatica  $V_2 = 2 V_1$ )

1)  $T_C = (k_1 T_1 + k_2 T_2) / (k_1 + k_2)$

5) La temperatura di due moli di gas perfetto biatomico aumenta di 10 °C durante una compressione adiabatica. Calcolare quanto lavoro è stato necessario per comprimere il gas.

$$[L=n c_v \Delta T]$$

5) La temperatura di due moli di gas perfetto biatomico aumenta di 10 °C durante una compressione adiabatica. Calcolare quanto lavoro è stato necessario per comprimere il gas.