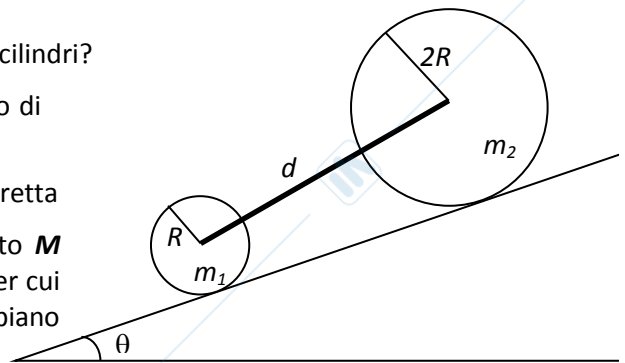


ESERCIZIO 1

Due cilindri omogenei di raggio R e $2R$ e masse m_1 e m_2 , rispettivamente, sono collegati da una barretta rigida di massa trascurabile e lunghezza d , che vincola gli assi dei due cilindri a mantenere fissa la loro distanza. Il sistema si muove lungo un piano inclinato di un angolo θ rispetto all'orizzontale. Se il moto dei due cilindri è di puro rotolamento:

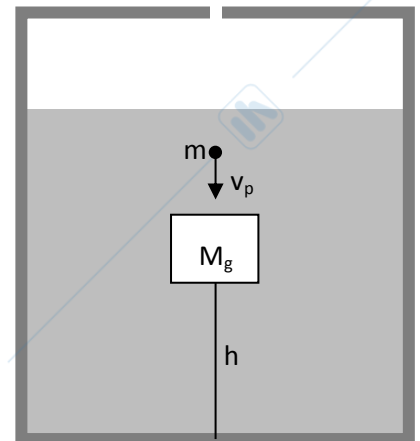
- quanto vale il rapporto tra le velocità angolari ω_1 e ω_2 dei due cilindri?
- quale velocità assume il sistema dopo aver percorso un tratto di lunghezza L sul piano inclinato, partendo da fermo?
- determinare l'accelerazione del sistema e la tensione della barretta
- se sul cilindro di raggio maggiore agisce anche un momento M ortogonale al foglio e con verso entrante, qual è la condizione per cui è garantito il contatto del cilindro di raggio più piccolo con il piano inclinato?

**ESERCIZIO 2**

Un blocco di ghiaccio di massa $M_g = 1$ kg alla temperatura $t_0 = 0$ °C è mantenuto completamente sommerso in una massa d'acqua a $t_0 = 0$ °C per mezzo di un filo, ad una distanza $h = 1$ m dal fondo di un contenitore adiabatico. Il blocco viene colpito verticalmente da un proiettile di piombo di massa $m = 10$ g, temperatura $t_p = 20$ °C, velocità $v_p = 100$ m/s e volume trascurabile, che si conficca nel ghiaccio, fermandosi al suo interno. (Si trascuri l'attrito viscoso dell'acqua).

(densità ghiaccio $\rho_{ghiaccio} = 0.917$ g/cm³; densità acqua $\rho_{acqua} \approx 1$ g/cm³; calore specifico piombo $c_{pb} = 130$ J/kg K; calore latente fusione ghiaccio $\lambda_g = 3.3 \cdot 10^5$ J/kg)

- quale sarà la velocità del sistema ghiaccio + proiettile subito dopo l'urto?
- quale massa di ghiaccio si fonderà in seguito all'urto?
- come varierà, di conseguenza, il volume del blocco di ghiaccio?
- ipotizzando, per semplicità, che la massa di ghiaccio che si fonde si fonda istantaneamente dopo l'urto, a quale distanza minima dal fondo arriverà il sistema ghiaccio + proiettile?

**ESERCIZIO 3**

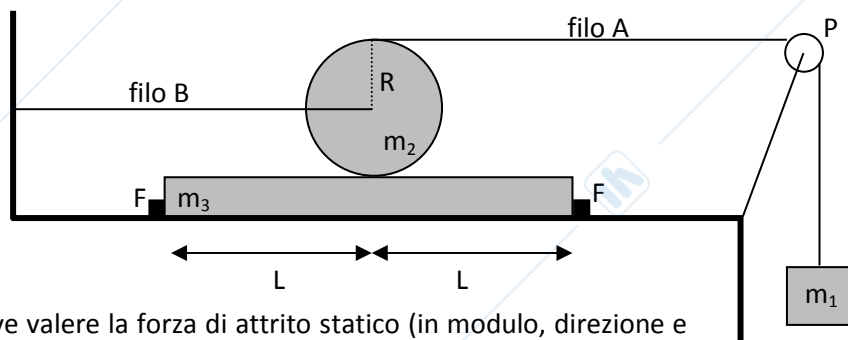
Una macchina termica non completamente reversibile scambia calore con due sorgenti che si trovano alle temperature $t_1=0$ °C e $t_2=100$ °C. La macchina ha un rendimento pari al 20% di quello che avrebbe una macchina termica completamente reversibile operante tra le stesse due sorgenti, e fornisce una potenza media pari a $P=200$ W

- quanto calore assorbe complessivamente la macchina in un'ora di funzionamento, avendo compiuto $n=275$ cicli?
- calcolare la variazione di entropia del sistema (macchina termica + sorgenti) in un ciclo
- se le temperature delle due sorgenti sono note con un'incertezza relativa del 5%, qual è l'incertezza relativa del rendimento della macchina termica non completamente reversibile?

ESERCIZIO 4

Intorno ad un cilindro omogeneo di massa m_2 e raggio R è avvolto un filo inestensibile e di massa trascurabile (filo A) che passa per una puleggia P e che reca all'estremo opposto una contrappeso di massa m_1 . Un secondo filo (filo B) inizialmente fissa la posizione dell'asse del cilindro rispetto alla parete.

Inizialmente la lamina di massa m_3 e lunghezza $2L$ su cui poggia il cilindro è mantenuta fissa da opportuni fermi (F) e poggia a sua volta su un piano liscio. Il cilindro si trova inizialmente a metà della lamina.

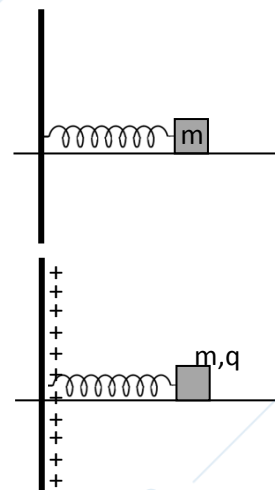


- In queste condizioni iniziali, quanto deve valere la forza di attrito statico (in modulo, direzione e verso) tra cilindro e lamina perché il sistema sia in equilibrio? E quanto valgono, in questo caso, le tensioni dei fili?
- Successivamente il filo B viene tagliato e il cilindro inizia a rotolare senza strisciare sulla lamina, sempre tenuta in posizione fissata mediante i fermi. Determinare la nuova tensione del filo A e la nuova forza di attrito tra cilindro e lamina (modulo, direzione e verso). [attenzione: il centro di massa del cilindro ed il punto del cilindro in cui è applicata la tensione del filo A hanno accelerazioni diverse!]
- I fermi F possono sopportare un carico massimo (cioè una forza massima applicata) F^{\max} . Se si pone, per semplicità, $m_1=m_2=m$, qual è il valore massimo di m per cui i fermi non si rompono durante tutto l'esperimento (punti a) e b))?

ESERCIZIO 5

Una massa puntiforme m è agganciata all'estremità di una molla di costante elastica k e lunghezza a riposo L , che all'altra estremità è fissata ad una parete. La massa m si può muovere senza attrito su un piano orizzontale.

- Qual è il periodo delle oscillazioni della massa m attorno alla posizione di equilibrio? (Lo si ricavi possibilmente a partire dalla legge di Newton e dall'espressione della forza elastica)
- Se la massa m e la costante elastica k sono note con un'incertezza relativa pari al 5%, da quale incertezza relativa risulta affetto il valore del periodo delle oscillazioni?
- Se al tempo $t=0$ la massa m passa con velocità v_0 dal punto corrispondente alla posizione di equilibrio e se la fase iniziale è da considerarsi nulla, a quale distanza minima dalla parete può arrivare la massa m ?
- Ricalcolare la distanza minima dalla parete raggiungibile dalla massa m (che passa con velocità v_0 dalla posizione di equilibrio, con fase iniziale nulla), nel caso in cui essa sia anche carica elettricamente con carica $q>0$ e la parete sia uniformemente carica con densità superficiale di carica $\sigma>0$ e quindi generi un campo elettrico uniforme di modulo $E=\sigma/(2\epsilon_0)$.

**ESERCIZIO 6**

Una quantità $m_1 = 500$ g di acqua alla temperatura $t_1 = 10^\circ\text{C}$ viene posta in contatto con una massa $m_2 = 500$ g di ghiaccio alla temperatura $t_2 = -10^\circ\text{C}$ all'interno di un recipiente adiabatico.

- Determinare la temperatura finale t_f della miscela e la sua composizione.
- Se nella miscela viene ulteriormente introdotta una massa $m_3 = 200$ g di vapore alla temperatura $t_3 = 120^\circ\text{C}$, trovare la temperatura finale t_f' della miscela e la sua composizione.

calori specifici: acqua liquida $c_l \approx 4186$ J/(kg K); ghiaccio $c_g \approx 2100$ J/(kg K); vapore a volume costante $c_v \approx 1463$ J/(kg K)
calori latenti: di fusione del ghiaccio $\lambda_f = 3.34 \cdot 10^5$ J/K; di condensazione del vapore $\lambda_{cond} = 2.25 \cdot 10^6$ J/K

ESERCIZIO 7

Un corpo di massa $m = 0.5 \text{ kg}$ è lanciato con velocità $v_0 = 2 \text{ m/s}$ su un piano orizzontale scabro. Nell'istante in cui ha percorso un tratto $d = 30 \text{ cm}$ la sua velocità è $v_0/2$.

Supponendo che la forza d'attrito sia costante, determinare:

- il coefficiente di attrito tra il corpo ed il piano;
- la durata del moto;
- il lavoro totale della forza di attrito.

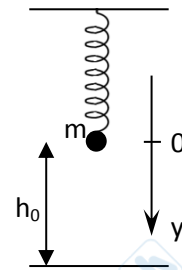
Inoltre:

d) se il piano viene inclinato di un angolo $\theta = 30^\circ$ rispetto all'orizzontale ed il corpo viene lanciato sul piano verso l'alto con la stessa velocità iniziale v_0 , quale tratto d' percorrerà il corpo sul piano prima di arrestarsi?

ESERCIZIO 8

Una massa $m = 2 \text{ kg}$ si muove lungo la verticale, appesa ad una molla avente costante elastica $k = 400 \text{ N/m}$ e massa trascurabile. Quando la massa si trova ad una quota $h_0 = 1 \text{ m}$ rispetto al suolo la molla non è deformata. Supponendo che il moto abbia inizio a tale quota e con velocità iniziale nulla, determinare:

- la legge secondo la quale la velocità v della massa m dipende dalla sua distanza dalla posizione iniziale: $v(y)$
- la quota minima h^{\min} e la quota massima h^{\max} raggiunte dalla massa m nel suo moto.



Si supponga ora che, raggiunta la quota minima, la massa m si sganci dalla molla. Raggiunto il suolo, si supponga che lo urti in modo anelastico, perdendo il 75% della sua energia cinetica. In queste condizioni:

- quale altezza h' rispetto al suolo raggiungerà la massa m dopo l'urto?

ESERCIZIO 9

Un liquido ideale di densità $\rho = 1.1 \text{ g/cm}^3$ fluisce in un tubo orizzontale di raggio interno $r_1 = 2 \text{ cm}$. Il tubo piega verso l'alto fino a coprire un dislivello di $h = 10 \text{ m}$, poi si allarga e si congiunge con un altro tubo orizzontale di raggio interno $r_2 = 6 \text{ cm}$. Quale deve essere la sua portata se la pressione nel tratto orizzontale a quota più alta è di 1000 Pa inferiore alla pressione nel tratto orizzontale a quota più bassa?

ESERCIZIO 10

Una macchina termica che funziona in modo irreversibile assorbe in ogni ciclo una quantità di calore $Q_2 = 18000 \text{ J}$ da una sorgente alla temperatura $T_2 = 500 \text{ K}$ e cede calore a una sorgente alla temperatura $T_1 = 300 \text{ K}$. La variazione di entropia delle sorgenti in ogni ciclo è $\Delta S = 7.5 \text{ J/K}$.

Determinare:

- il lavoro prodotto in ogni ciclo;
- la differenza tra il rendimento di tale macchina irreversibile e quello di una macchina di Carnot reversibile operante con le medesime sorgenti;
- l'incertezza assoluta del rendimento del ciclo di Carnot di cui al punto b), se l'incertezza relativa delle temperature delle due sorgenti è 0.1 .

ESERCIZIO 11

In un lago, una barca di massa $M = 100$ kg si muove in direzione sud con una velocità costante di modulo $v_0 = 2$ m/s. A bordo si trovano il barcaiolo, di massa $m_b = 80$ kg, ed un carico composto da tre pacchi, ciascuno di massa $m_p = 10$ kg. Determinare:

- a) la nuova velocità della barca \mathbf{v}_1 (in modulo, direzione e verso), immediatamente dopo che il barcaiolo ha gettato uno dei pacchi in direzione nord con una velocità iniziale \mathbf{v}_p in modulo pari a 2 m/s rispetto ad un osservatore esterno.

Successivamente, il barcaiolo getta i restanti due pacchi in direzione ovest, con una velocità iniziale \mathbf{v}_p' in modulo pari a 2 m/s rispetto ad un osservatore esterno. Determinare:

- b) la nuova velocità della barca, \mathbf{v}_2 (in modulo, direzione e verso).

ESERCIZIO 12

Un cilindro di raggio $R_1 = 10$ cm e altezza $H = 10$ cm, un disco sottile di raggio R_2 e un anello sottile di raggio R_3 rotolano senza strisciare lungo un piano inclinato di 30° rispetto all'orizzontale, partendo contemporaneamente dalla stessa quota.

- a) Se avessero tutti e tre la stessa massa, in quale ordine temporale i tre oggetti arriverebbero al fondo del piano inclinato?
 b) Per quali valori di R_2 e R_3 i tre oggetti arriverebbero ad avere la stessa velocità angolare rispetto al proprio centro di massa dopo aver percorso un tratto di lunghezza $L = 1$ m sul piano inclinato?

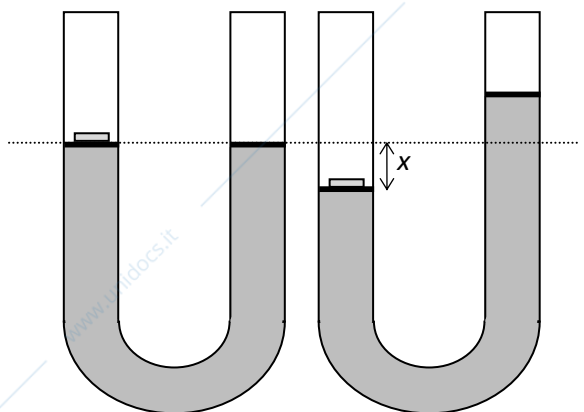
ESERCIZIO 13

In un tubo ad U di sezione $S = 50$ cm² è presente una massa di acqua. Sulle due superficie libere dell'acqua sono posti due dischetti di sughero, di massa e spessore trascurabili. Il sistema si trova inizialmente in equilibrio. Successivamente una moneta di massa $m = 50$ g viene appoggiata su uno dei dischi di sughero. Trascurando gli attriti, determinare:

- a) l'accelerazione della moneta in funzione dello spazio percorso x
 b) la massima altezza x_M raggiunta dall'altro disco di sughero, rispetto alla sua iniziale posizione di equilibrio.

Facoltativo – Se invece la moneta viene lasciata cadere da un'altezza $h = 10$ cm rispetto ad uno dei dischi di sughero:

- c) determinare la massima altezza x_M raggiunta dall'altro disco di sughero, rispetto alla sua iniziale posizione di equilibrio (si trascurino l'attrito dell'aria e la dissipazione di energia durante l'urto completamente anelastico tra moneta e sughero).

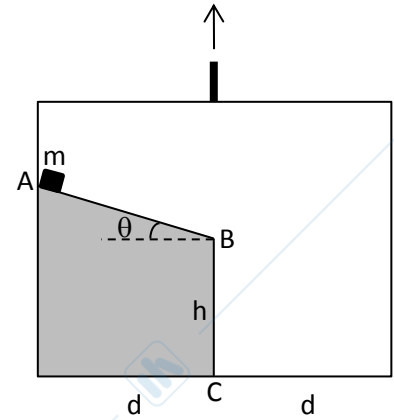
**ESERCIZIO 14**

Una macchina termica reversibile lavora tra due sorgenti termiche, una costituita dall'ambiente a $t_1 = 17$ °C e l'altra da una grande massa di stagno fuso alla temperatura $t_2 = 267$ °C di fusione. Ad ogni ciclo della macchina termica solidificano 10 grammi di stagno, viene scambiato il lavoro W , viene scambiato il calore Q_1 con la sorgente a t_1 e viene scambiato il calore Q_2 con la sorgente a t_2 . Calcolare:

- a) il valore del calore Q_1 e Q_2 scambiati dalla macchina termica in un ciclo con le due sorgenti termiche (calore di fusione/solidificazione dello stagno: $\lambda_F = 5.86 \times 10^4$ J/kg);
 b) il valore del lavoro W ;
 c) la variazione di entropia subita dal sistema termodinamico formato dall'insieme della macchina termica e dalle due sorgenti termiche durante un ciclo.

ESERCIZIO 15

All'interno di un montacarichi che si muove verso l'alto è presente un piano scabro, inclinato di un angolo $\theta=30^\circ$ rispetto alla direzione orizzontale e la cui proiezione sul pavimento è di lunghezza $d=1$ m (vedi figura). Un corpo puntiforme di massa $m=0.1$ kg è appoggiato sul piano inclinato, nel punto più alto (punto A nella figura). Siano $\mu_s=0.3$ e $\mu_d=0.2$ i coefficienti di attrito statico e dinamico, rispettivamente.



Se il montacarichi si muove verso l'alto con velocità costante $v_m=0.5$ m/s:

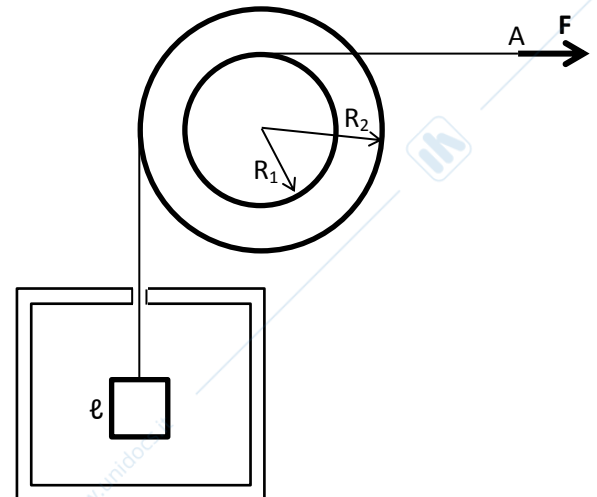
- a) in quanto tempo il corpo di massa m , partendo da fermo dal punto A, raggiunge il bordo del piano inclinato (punto B)?

Se invece il montacarichi si muove verso l'alto con accelerazione costante $a_m=0.5$ m/s²:

- b) con quale velocità il corpo di massa m giunge nel punto B?
Esistono valori di a_m per cui il corpo non scorre lungo il piano inclinato a causa dell'attrito statico?
- c) se il punto B nel quale il corpo di massa m si stacca dal piano inclinato è ad un'altezza $h=1$ m dal pavimento del montacarichi, a quale distanza dal punto C il corpo cade sul pavimento?

ESERCIZIO 16

In figura è rappresentata schematicamente una puleggia a due raggi, $R_1=1$ m e $R_2=1.5$ m. Due fili inestensibili e di massa trascurabile sono avvolti sui due dischi che costituiscono la puleggia. Il filo avvolto attorno al disco di raggio maggiore reca all'altro estremo un cubo di ghiaccio di lato $\ell=0.3$ m. Il blocco di ghiaccio si trova ad una temperatura di 273.15 K ed è all'interno di un contenitore adiabatico di volume interno pari a 1 m³.



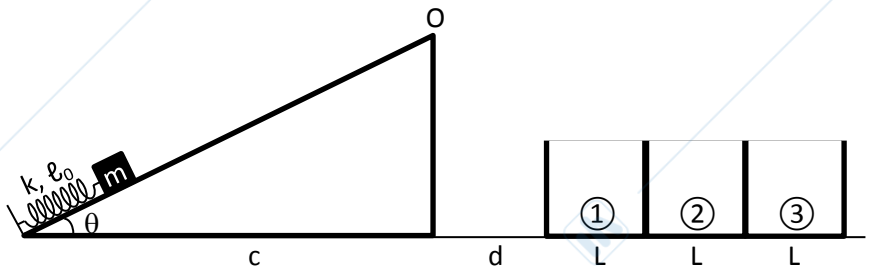
- a) Se il contenitore adiabatico che contiene il blocco di ghiaccio è altrimenti vuoto, quale forza orizzontale F occorre applicare nel punto A, all'estremo della fune avvolta attorno al disco di raggio minore, perché il sistema sia in equilibrio?
- b) Se il contenitore adiabatico che contiene il blocco di ghiaccio viene completamente riempito di alcool (liquido) avente temperatura di 0 °C, quale forza orizzontale F' occorre applicare nel punto A, all'estremo della fune avvolta attorno al disco di raggio minore, perché il sistema sia in equilibrio?
- c) Se invece il contenitore adiabatico che contiene il blocco di ghiaccio viene completamente riempito di alcool (liquido) avente temperatura di 3 °C, quale forza orizzontale F'' occorre applicare nel punto A, perché il sistema sia in equilibrio meccanico (dopo aver raggiunto l'equilibrio termico all'interno del contenitore adiabatico)?

Ulteriori dati del problema:

- densità ghiaccio, $\rho_{gh} = 0.917$ g/cm³
- calore latente fusione ghiaccio, $\lambda_{gh} = 3.3 \cdot 10^5$ J/kg
- densità alcool, $\rho_{al} = 0.789$ g/cm³
- calore specifico alcool, $c_{al} = 2432$ J/(kg K)

ESERCIZIO 17

Una molla di costante elastica k e lunghezza a riposo ℓ_0 viene compressa di una lunghezza $\Delta\ell$. Un corpo puntiforme di massa m viene appoggiato ad un'estremità della molla (vedi figura). Quando la molla viene lasciata libera, la massa m acquista velocità verso l'alto scorrendo lungo il piano inclinato senza attrito.



a) Quale velocità assumerà la massa m al termine del piano inclinato (punto O)?

[attenzione a determinare correttamente il punto di partenza della massa m]

b) In quale delle tre scatole cubiche di lato L cadrà la massa puntiforme m ? (giustificare la risposta)

c) Quale dovrebbe essere il coefficiente di attrito minimo tra la massa m ed il piano inclinato per far sì che, a parità degli altri parametri, la massa m non cada in alcuna delle tre scatole?

[suggerimento: determinare prima la velocità massima nel punto O perché la massa m non cada nelle scatole, poi determinare quale deve di conseguenza essere il lavoro della forza di attrito e infine determinare il coefficiente di attrito corrispondente]

[dati: $k=10^3$ N/m; $\ell_0=5$ cm; $\Delta\ell=4$ cm; $m=100$ g; $c=1$ m; $\theta=30^\circ$; $d=20$ cm; $L=30$ cm]

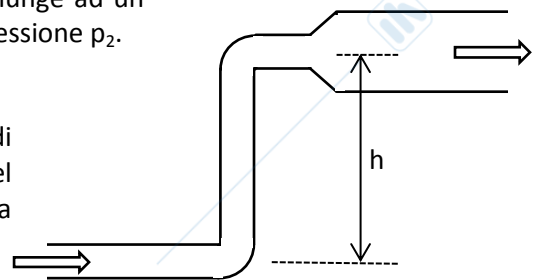
ESERCIZIO 18

Un liquido ideale di densità ρ fluisce in un tubo orizzontale di raggio interno r_1 con pressione p_1 . Il tubo piega verso l'alto fino ad un'altezza h e si congiunge ad un altro tubo orizzontale di raggio interno r_2 , dove il liquido scorre con pressione p_2 .

a) Quale deve essere la sua portata se $p_2 = 0.95 p_1$?

b) Se la velocità di scorrimento del liquido in uno dei tratti orizzontali di tubo fosse nota con un'incertezza relativa pari a 0.05 ed il raggio del tubo con un'incertezza relativa pari a 0.01, quale sarebbe l'incertezza relativa della portata del liquido?

[dati: $\rho = 10^3$ kg/m³; $r_1 = 2$ cm; $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Pa; $r_2 = 6$ cm; $h = 11$ m]

**ESERCIZIO 19**

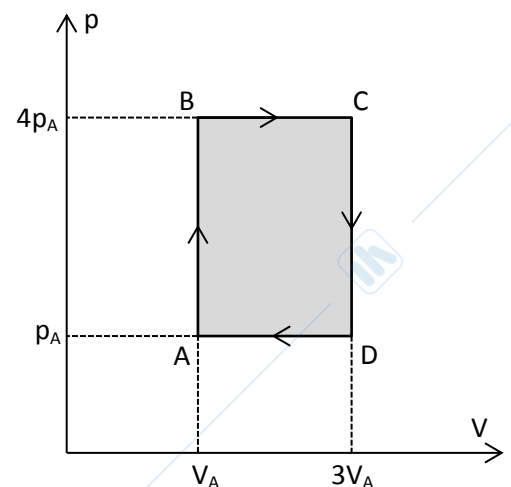
In figura è rappresentato il ciclo eseguito da una mole di gas ideale monoatomico, costituito da quattro trasformazioni reversibili. Nel punto A è nota la temperatura, $T_A = 320$ K.

a) Calcolare lavoro e calore scambiato durante tutte le trasformazioni del ciclo.

b) Determinare il rendimento della macchina termica che lavora secondo il ciclo indicato.

c) Calcolare le variazioni di entropia del gas per tutte le trasformazioni del ciclo. Quanto vale la variazione totale di entropia?

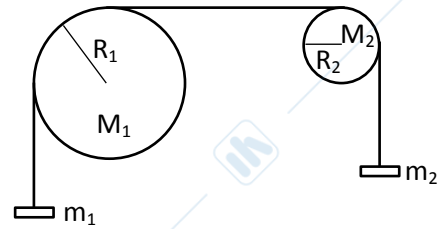
[per un gas la ideale monoatomico il calore specifico molare a volume costante vale $c_v = (3/2)R$, con $R = 8.3$ J/(mol·K) costante universale dei gas ideali]



ESERCIZIO 20

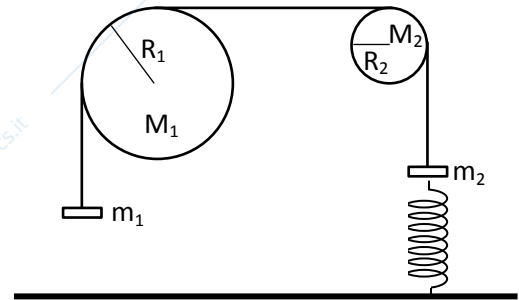
Un sistema meccanico è composto da due carrucole cilindriche di raggi R_1 ed R_2 e masse M_1 e M_2 , rispettivamente, sulle quali passa un filo inestensibile e di massa trascurabile (vedi figure).

a) Se il filo reca agli estremi due masse m_1 ed m_2 uguali, qual è la tensione T_2 che il filo esercita sulla massa m_2 ?
(Si consideri il sistema inizialmente fermo)



b) Se ora la massa m_2 viene raddoppiata ($m_2=2m_1$), qual è la nuova tensione T_2 esercitata dal filo sulla massa m_2 ?

c) Sempre considerando $m_2=2m_1$ si immagini ora di inserire tra la massa m_2 ed il suolo una molla di costante elastica k . Si consideri inizialmente il sistema fermo e la molla non deformata. Quando il sistema viene lasciato libero, quale sarà la massima compressione della molla?

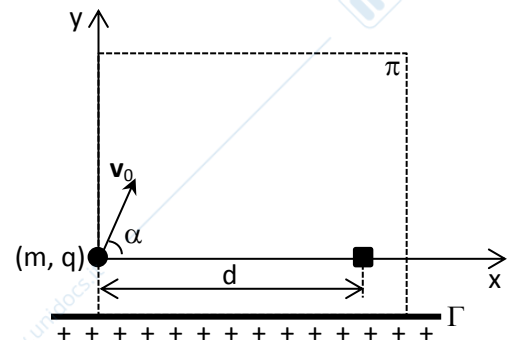


ESERCIZIO 21

In un piano verticale π è posta una pallina di massa $m = 20$ g e carica $q = 1.5 \cdot 10^{-6}$ C, alla quale viene conferita una velocità iniziale v_0 con un angolo $\alpha = 30^\circ$ rispetto alla direzione orizzontale. Il piano indefinito Γ è orizzontale ed è inizialmente scarico.

a) per quale valore del modulo della velocità iniziale v_0 la pallina colpisce un cubetto posto a distanza $d = 80$ cm dalla posizione della pallina stessa? (vedi figura)

b) se invece si pone $v_0 = 10$ m/s, a parità degli altri parametri dati, con quale densità di carica bisogna coprire uniformemente il piano indefinito Γ affinché la pallina colpisca il cubetto?
(costante dielettrica del vuoto = $8.85 \cdot 10^{-12}$ C²N⁻¹m⁻²)



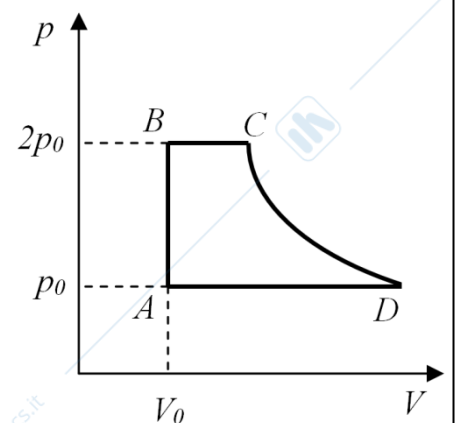
ESERCIZIO 22

a) Sapendo che il calore specifico molare di un gas ideale biatomico è $c_v = (5/2)R$, con $R = 8.3$ J/(mol K) (costante universale dei gas ideali), determinare il rendimento di un ciclo termico reversibile eseguito da una mole di tale gas e costituito dalle seguenti trasformazioni (vedi figura):

- due trasformazioni isobare $p=p_0$ e $p=2p_0$
- una trasformazione isocora a $V=V_0$
- un trasformazione isoterma a $T=6T_0$

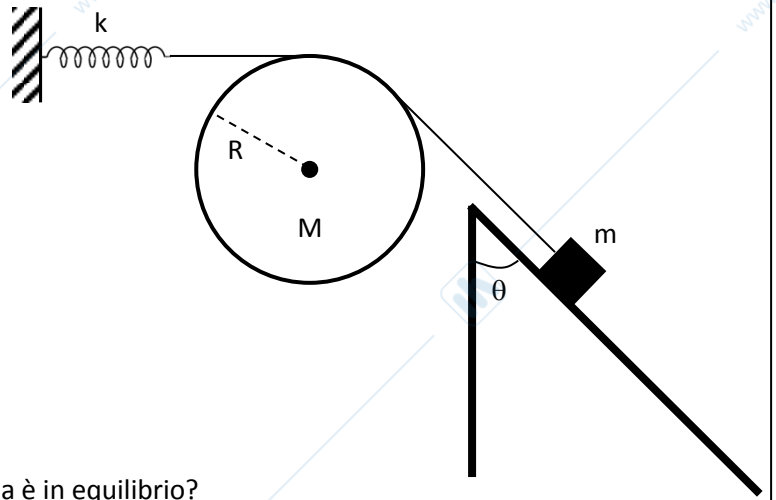
dove p_0 , V_0 e T_0 sono le variabili termodinamiche relative allo stato termodinamico iniziale A.

b) Ipotizzando che le incertezze assolute sui calori assorbiti e ceduti siano uguali e pari a $0.1RT_0$, quanto vale l'incertezza assoluta del rendimento?



ESERCIZIO 23

Un sistema meccanico è formato da una carrucola cilindrica di raggio R e di massa $M=0.3$ kg, che può ruotare senza attrito attorno ad un asse orizzontale passante per il centro, e da un piano liscio, inclinato di un angolo $\theta=\pi/3$ rispetto alla verticale. Un filo inestensibile e di massa trascurabile si avvolge sulla carrucola senza strisciare e reca ad un estremo una massa $m=M/3$ che a sua volta poggia sul piano inclinato, e all'altro estremo una molla di costante elastica $k=20$ N/m, a sua volta agganciata ad un muro.

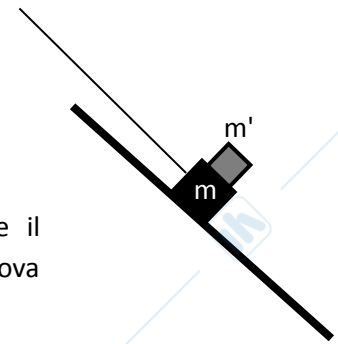


A) Qual è la deformazione della molla quando il sistema è in equilibrio?

B) Se la massa m viene posta al tempo $t=0$ sul piano inclinato in una posizione tale per cui la molla non è deformata e poi viene lasciata libera di muoversi, quale accelerazione assume dopo aver percorso un tratto $L=1$ cm sul piano inclinato?

C) nelle condizioni di cui al punto B), quale velocità assume la massa m dopo aver percorso un tratto $L=1$ cm sul piano inclinato?

D) Se si ponesse una massa $m'=m/2$ sulla massa m , quale dovrebbe essere il coefficiente di attrito statico minimo tra i due corpi affinché la massa m' non si muova rispetto a m , al tempo $t=0$?

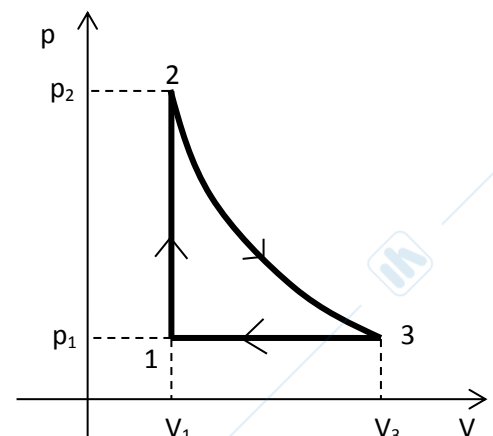
**ESERCIZIO 24**

Un gas ideale, di cui è noto il valore di $\gamma = c_p/c_v = 1.4$ ma non il numero di moli, esegue il ciclo in figura, partendo dal punto 1 di cui sono dati $p_1=10^4$ Pa, $V_1=0.1$ m³ e $T_1=20$ K. La trasformazione $1 \rightarrow 2$ è isocora e $T_2=2T_1$. La trasformazione $2 \rightarrow 3$ è adiabatica. La trasformazione $3 \rightarrow 1$ è isobara. Le trasformazioni sono tutte reversibili.

A) Determinare la pressione p_2 nello stato 2.

B) Determinare V_3 e T_3 , volume e temperatura nello stato 3.

C) Calcolare il lavoro compiuto durante il ciclo, il calore assorbito ed il rendimento.



ESERCIZIO 25

Un sistema rigido è costituito da una sbarra omogenea di sezione trascurabile, massa $M=100$ g e lunghezza $L=1$ m, la cui estremità è saldata al centro di un disco di raggio $r = L/3$ e di massa trascurabile. Il sistema può ruotare senza attrito attorno all'asse del disco, disposto orizzontalmente, ed è tenuto in equilibrio da un corpo di massa $m=3M/4$ agganciato ad un estremo di un filo inestensibile e di massa trascurabile, arrotolato all'altro estremo attorno al disco.

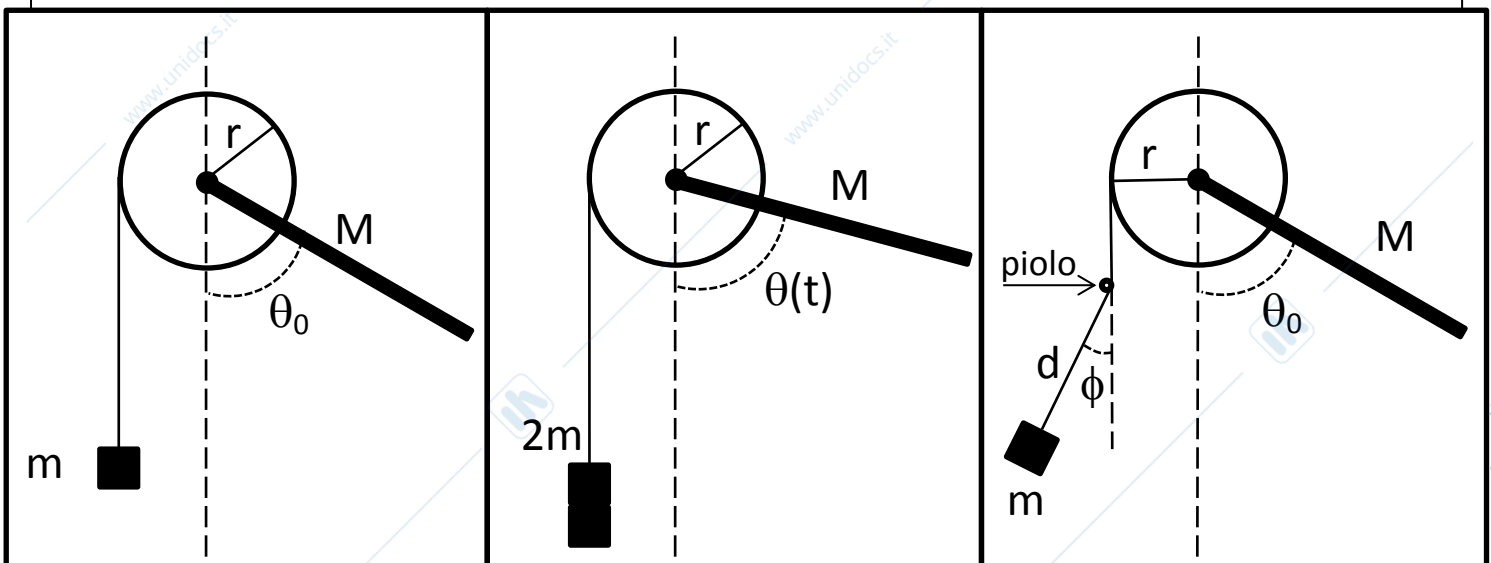
A) Qual è l'angolo θ_0 di equilibrio?

B) Se al filo si aggancia un ulteriore peso di massa m (quindi in totale la massa appesa è $2m$), qual è la velocità angolare del sistema quando la sbarra arriva ad essere orizzontale (cioè quando $\theta=\pi/2$) ?

(momento d'inerzia di una sbarra sottile rispetto ad un asse ortogonale passante per il centro di massa: $I_0=ML^2/12$)

C) Si supponga di ripartire dalle condizioni del punto A), cioè con la massa m appesa al filo e con l'angolo θ_0 , ma con attrito non più trascurabile. Inoltre, fissato un piolo come in figura C, si supponga di inclinare di un angolo $\phi=\pi/3$ il filo al di sotto del piolo, essendo $d=10$ cm la lunghezza del filo al di sotto del piolo.

Quale deve essere il momento delle forze di attrito sul disco \mathbf{M}_{attr} affinché la sbarra non ruoti quando la massa m viene lasciata libera di oscillare e raggiunge la verticale? (Si trascuri l'attrito tra filo e piolo)

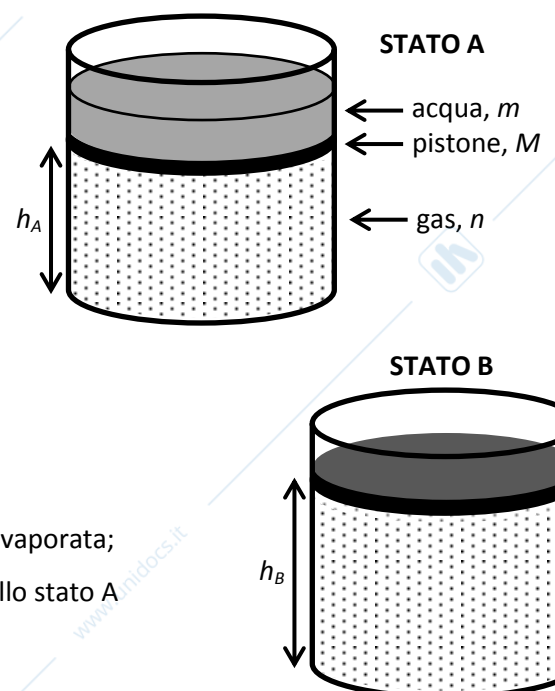
**ESERCIZIO 26**

Un contenitore cilindrico di raggio r e con pareti diatermiche è a contatto con aria a pressione p_{atm} . Il cilindro è chiuso nella sua parte superiore da un pistone di massa M , termicamente isolante. Sebbene il pistone sia a tenuta stagna, si supponga trascurabile l'attrito tra il pistone e le pareti del contenitore cilindrico. All'interno del cilindro sono contenute n moli di gas ideale biatomico. Al di sopra del pistone vi è inizialmente una massa m di acqua e il pistone si trova ad un'altezza h_A rispetto al fondo del recipiente (stato A, di equilibrio). Poi l'acqua evapora molto lentamente, finché non si trasforma tutta in vapore (stato B). Determinare, in funzione dei dati del problema:

A) la pressione iniziale p_A e la temperatura iniziale T_A del gas;

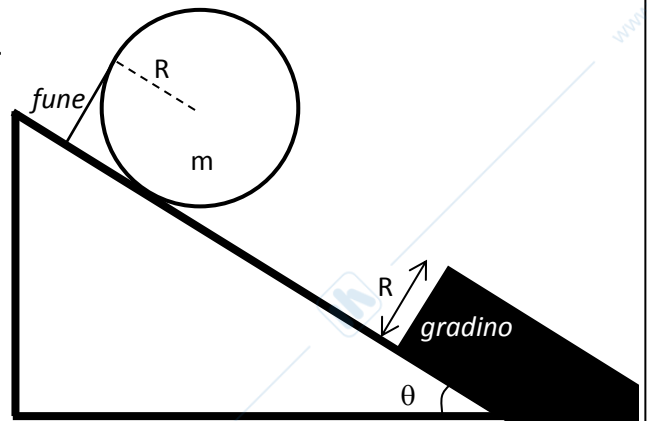
B) la pressione p_B e la quota h_B del pistone quando tutta l'acqua è evaporata;

C) la variazione di entropia ΔS del gas durante la trasformazione dallo stato A allo stato B.



ESERCIZIO 27

Un cilindro di raggio $R=20$ cm e massa $m=0.1$ kg poggia su un piano scabro inclinato di un angolo $\theta=30^\circ$ rispetto all'orizzontale. Il cilindro è inizialmente mantenuto in equilibrio (quiete) per mezzo di una fune inestensibile e di massa trascurabile, agganciata al cilindro e al piano inclinato in modo da essere ortogonale a quest'ultimo (vedi figura).



a) Quanto vale la tensione della fune?

b) Qual è il minimo valore del coefficiente di attrito statico tra cilindro e piano che rende possibile una tale configurazione di equilibrio?

Successivamente la fune viene tagliata e il cilindro inizia a rotolare senza strisciare lungo il piano inclinato:

c) quanto vale la velocità del centro di massa del cilindro dopo che il cilindro ha compiuto un giro completo?

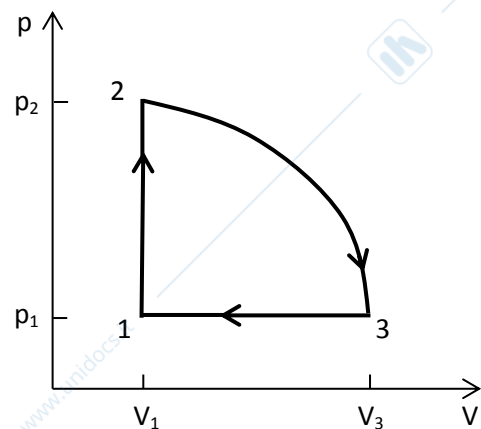
d) Esattamente dopo aver compiuto un giro completo, il cilindro incontra un gradino di altezza uguale ad R (vedi figura). Riesce a superarlo? Giustificare la risposta. Qual è il minimo valore di θ per cui il cilindro riesce a superare il gradino?

ESERCIZIO 28

Ad una quantità $n = 1.5$ moli di un gas ideale monoatomico viene fatto seguire un ciclo composto da tre trasformazioni reversibili (vedi figura), con $p_1=4 \cdot 10^5$ Pa, $V_1=5 \cdot 10^3$ cm³, $p_2=2p_1$, $V_2=V_1$, $p_3=p_1$, $V_3=3V_1$. (costante dei gas ideali: $R=8.314$ J/mol K).

Nella trasformazione $2 \rightarrow 3$ la pressione varia con il volume secondo la legge $p(V)=A+BV^2$, dove A e B sono delle costanti di opportune dimensioni. Determinare:

- le temperature dei tre stati;
- i valori delle costanti A e B ;
- il lavoro compiuto dal gas nell'intero ciclo;
- il calore scambiato lungo la trasformazione $2 \rightarrow 3$.

**ESERCIZIO 29**

Il motore di un'automobile eroga una potenza media $P = 100$ kW, ha un rendimento $\eta=0.15$ e lavora fra una sorgente a temperatura $T_1 = 95$ °C (acqua di raffreddamento) e una sorgente a temperatura $T_2 = 495$ °C (combustione miscela aria-benzina). Ipotizzando che il motore dell'automobile lavori come una macchina termica ciclica, determinare:

- il rapporto fra il suo rendimento e quello massimo raggiungibile;
- il calore ceduto alla sorgente a temperatura minore in un'ora di funzionamento;
- la variazione di entropia del sistema termodinamico composto dal motore e dalle due sorgenti termiche in un'ora di funzionamento.

ESERCIZIO 30

Una fune inestensibile e di massa trascurabile è avvolta attorno ad un cilindro omogeneo di raggio R e massa m . L'altro estremo della fune è fissato al soffitto (vedi figura (a)). Il cilindro, inizialmente fermo, viene lasciato traslare verso il basso, mentre la fune si srotola senza mai slittare sul cilindro.

Determinare:

a) la tensione della fune mentre si svolge e l'accelerazione del centro di massa del cilindro.

Quando il centro di massa del cilindro è sceso di un tratto h , la fune si è srotolata completamente (fig. (b)):

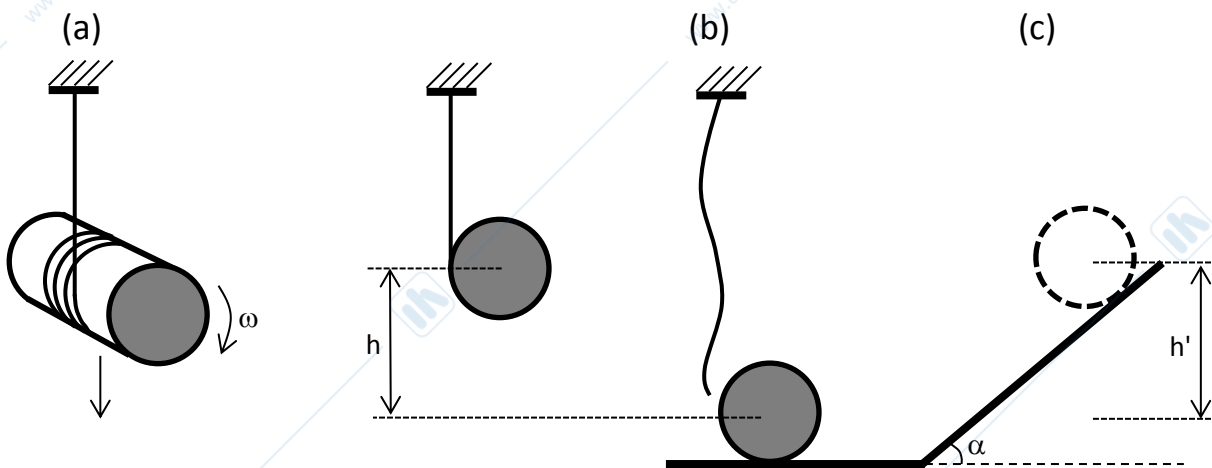
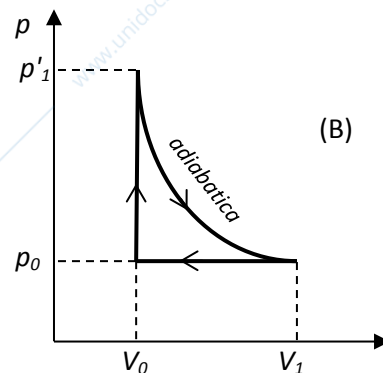
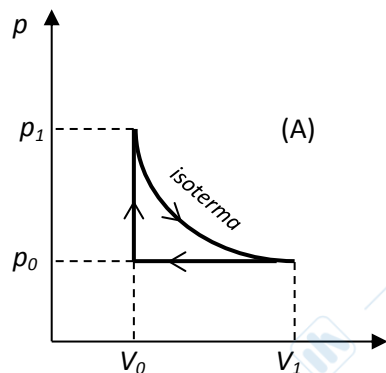
b) qual è in quel momento la velocità angolare ω_0 di rotazione del cilindro attorno al proprio asse?

Esattamente in quell'istante, cioè quando la fune si è srotolata completamente, il cilindro va ad appoggiarsi su un piano scabro ed inizia a muoversi su di esso. Il cilindro comincia a rotolare sul piano orizzontale quando la sua velocità angolare diventa pari a $\omega' = 0.6 \omega_0$.

c) Se da quel momento in avanti il moto del cilindro sul piano è sempre di puro rotolamento, a quale altezza massima h' arriva quando il piano si inclina di un angolo α ? (figura (c))

d) Qual è il minimo valore del coefficiente di attrito statico necessario affinché il moto lungo il piano inclinato sia di puro rotolamento?

e) Perché è realistico porre $\omega' < \omega_0$? Descrivere qualitativamente cosa succede quando il cilindro in rotazione si appoggia sul piano orizzontale.

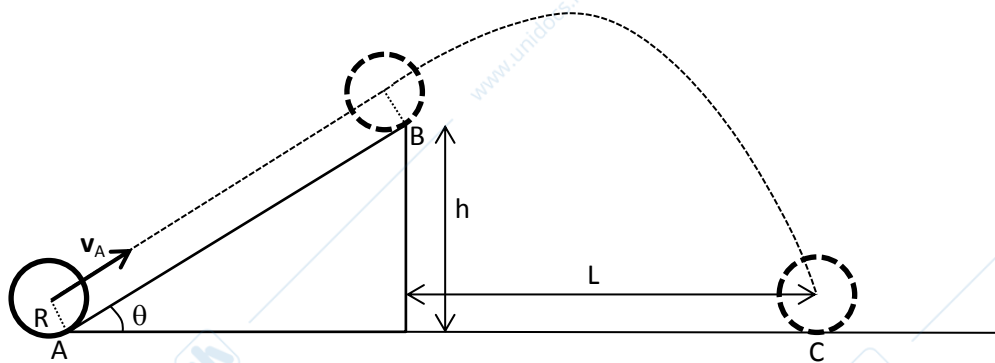
**ESERCIZIO 31**

A $n=2$ moli di gas ideale biatomico ($c_v = \frac{5}{2}R$; $R=8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) vengono fatti seguire i due cicli schematizzati nelle figure (A) e (B). Entrambi i cicli sono formati da una trasformazione isocora e una trasformazione isobara. La terza trasformazione, che chiude il ciclo, è una isoterma nel ciclo (A) e una adiabatica nel ciclo (B). I dati del problema sono i seguenti: $V_0=0.02 \text{ m}^3$, $V_1=2 V_0$, $p_0=2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Determinare:

a) La pressione p_1 nel ciclo (A) ed il lavoro complessivamente compiuto dal gas nel ciclo (A)

b) La pressione p'_1 nel ciclo (B) ed il lavoro complessivamente compiuto dal gas nel ciclo (B)

c) I rendimenti dei due cicli

ESERCIZIO 32

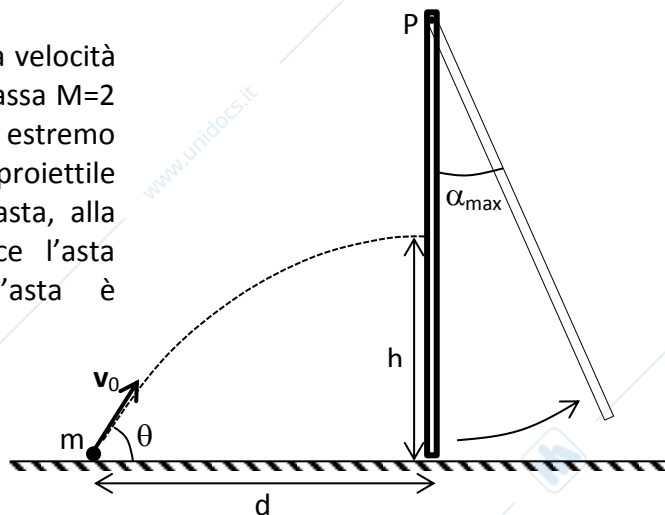
Un cilindro di raggio $R=10$ cm viene lanciato verso l'alto lungo un piano inclinato di $\theta=30^\circ$ rispetto all'orizzontale. La velocità iniziale del suo centro di massa, nel punto A alla base del piano, è $v_A=10$ m/s. Il cilindro percorre il piano inclinato con un moto che fin dall'inizio è di puro rotolamento. Sapendo che la sommità del piano inclinato (punto B) è ad una quota $h=2.4$ m rispetto al punto più basso, determinare:

- la velocità angolare di rotazione del cilindro attorno al proprio asse, nel punto A, ω_A ;
- la velocità del centro di massa del cilindro e la sua velocità angolare alla sommità del piano inclinato, nel punto B: v_B e ω_B ;
- il minimo coefficiente di attrito tra cilindro e piano inclinato (affinché il moto sia di puro rotolamento) (N.B.: attenzione a fissare correttamente il verso della forza di attrito);
- la distanza L dal piano inclinato alla quale il cilindro tocca il suolo (si trascuri l'attrito dell'aria);
- il numero di giri che compie il cilindro in tutto il suo moto, dal punto A al punto C.

ESERCIZIO 33

Un proiettile di massa $m=200$ g viene lanciato con una velocità in modulo pari a $v_0=10$ m/s verso un'asta sottile di massa $M=2$ kg e lunghezza $L=50$ cm (vedi figura) appesa per il suo estremo superiore nel punto P e disposta verticalmente. Il proiettile viene lanciato da un punto a distanza $d=2$ m dall'asta, alla stessa quota del suo estremo inferiore e colpisce l'asta orizzontalmente. L'urto tra il proiettile e l'asta è completamente anelastico. Determinare:

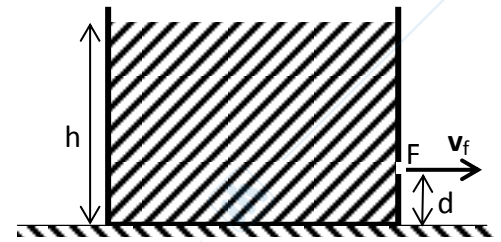
- l'angolo θ (rispetto all'orizzontale) con il quale è lanciato il proiettile;
- la quota h alla quale il proiettile urta l'asta;
- la velocità angolare del sistema asta+proiettile subito dopo l'urto;
- l'angolo massimo α_{\max} raggiunto dal sistema asta+proiettile successivamente all'urto.



[momento d'inerzia di un'asta sottile rispetto ad un asse perpendicolare all'asta e passante per il baricentro: $\frac{1}{12} ML^2$]

ESERCIZIO 34

Un recipiente a base rettangolare, di area $A_0=0.5 \text{ m}^2$, può scivolare senza attrito su un piano orizzontale. Il recipiente è riempito di acqua fino ad un'altezza h . Sulla parete verticale di destra, ad una quota $d=10 \text{ cm}$ dal piano, è presente un foro F di sezione $A=1 \text{ cm}^2$, inizialmente tappato. Quando il tappo viene rimosso l'acqua inizia a fluire attraverso il foro. Determinate:



a) la legge con la quale varia la velocità di efflusso dal foro, v_f , in funzione della quota h dell'acqua nel recipiente (considerando la velocità con cui l'acqua scende nel recipiente trascurabile rispetto alla velocità di efflusso dal foro). Qual è la velocità massima v_f^{\max} se il recipiente è inizialmente riempito fino all'altezza $h=50 \text{ cm}$?

b) La forza F (in modulo direzione e verso) che bisogna esercitare sul recipiente per tenerlo fermo (perché non scorra sul piano orizzontale). Qual è la forza massima se il recipiente è inizialmente riempito fino all'altezza $h=50 \text{ cm}$?

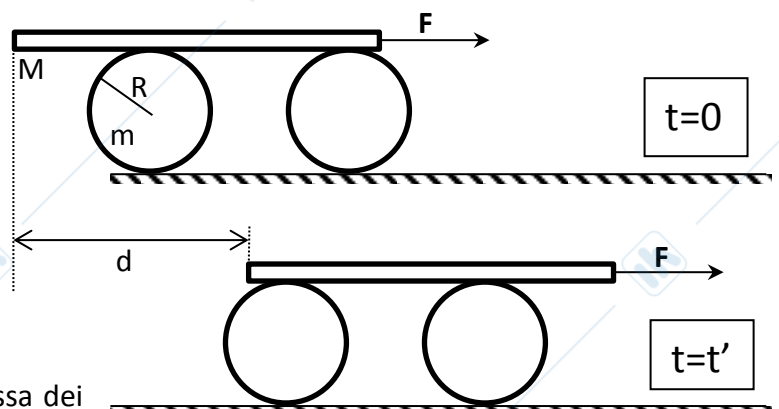
ESERCIZIO 35

Una macchina ciclica scambia calore con tre sorgenti a temperatura T_1 , $T_2=2T_1/3$ e $T_3=T_1/3$. In ogni ciclo, la macchina assorbe la quantità di calore Q_1 dalla prima sorgente e compie il lavoro $W=3Q_1/2$. Per ogni ciclo l'entropia dell'universo aumenta di una quantità pari a $(2Q_1/T_1)$. Determinare

- la quantità di calore Q_2 e Q_3 scambiate con le altre sorgenti;
- il rendimento della macchina.

ESERCIZIO 36

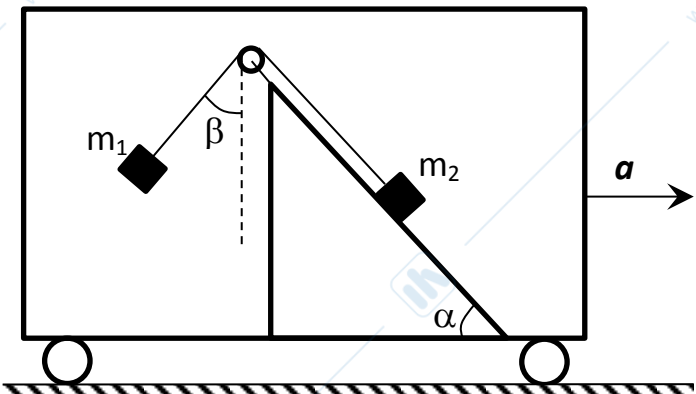
Una tavola di massa $M=50 \text{ kg}$ si muove sotto l'azione di una forza orizzontale costante F , in modulo pari a 60 N , partendo all'istante $t=0$ da condizioni iniziali di quiete. La tavola scorre su due cilindri identici, di raggio $R=1 \text{ m}$ e massa $m=10 \text{ kg}$, che rotolano senza strisciare sia sul piano orizzontale di appoggio, sia sulla tavola. All'istante $t=t'$ la tavola ha percorso una distanza $d=2.5 \text{ m}$. Determinare:



- il rapporto tra la velocità dei centri di massa dei due cilindri, v_{CM} , e la velocità della tavola, v_T ;
- l'energia cinetica dell'intero sistema nell'istante $t=t'$;
- la velocità dei centri di massa dei due cilindri, v_{CM} , nell'istante $t=t'$;
- il tempo che intercorre tra gli istanti $t=0$ e $t=t'$.

ESERCIZIO 37

Un treno, in moto con accelerazione orizzontale costante a rispetto ai binari, trasporta il dispositivo per prove meccaniche mostrato in figura, con un piano liscio di inclinazione $\alpha = \pi/3$ sul quale può scorrere la massa m_2 , che è unita ad una massa m_1 mediante un filo inestensibile e di massa trascurabile, che si appoggia su una carrucola di massa trascurabile.



Per un osservatore fermo sul treno, il sistema si trova in equilibrio, nella configurazione in figura, con l'angolo $\beta = \pi/6$. Se $m_1 = 0.5$ kg, determinare:

- l'accelerazione a del treno e la tensione T del filo;
- la massa m_2 ;
- il modulo della forza esercitata dal piano inclinato sulla massa m_2 .

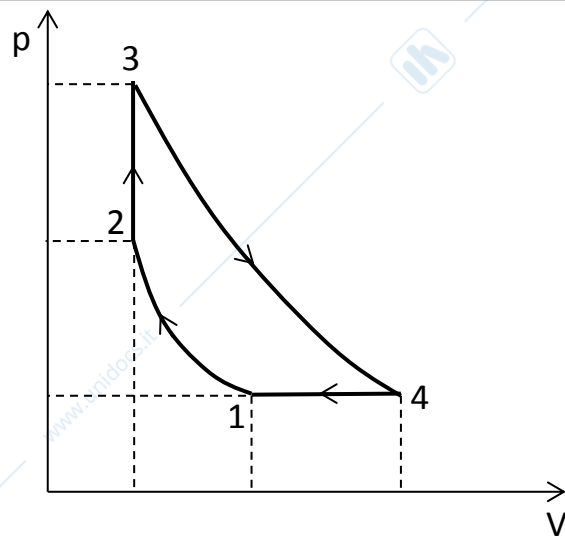
Supponiamo invece ora che il piano inclinato sia scabro e che l'accelerazione del treno venga progressivamente aumentata nel tempo, a partire dal valore calcolato al punto a). Si osserva che il sistema rimane in uno stato di equilibrio fino a quando l'accelerazione del treno raggiunge il valore $a' = 7$ m/s², dopodiché la massa m_2 si mette in movimento (rispetto al treno):

- quanto vale il coefficiente di attrito statico tra il piano inclinato e la massa m_2 ?

ESERCIZIO 38

Un gas ideale segue un ciclo termodinamico costituito da due trasformazioni adiabatiche intervallate da un'isocora e un'isobara (vedi figura).

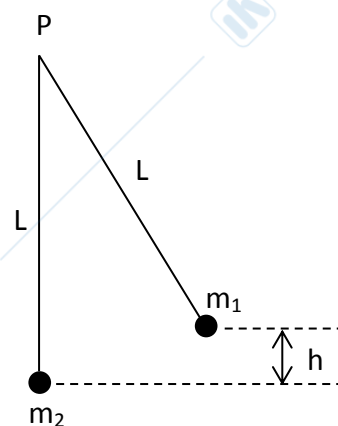
Determinare il rendimento del ciclo in funzione delle temperature T_1, T_2, T_3, T_4 dei corrispondenti stati del ciclo e di $\gamma = c_p/c_v$ (esponente delle adiabatiche).

**ESERCIZIO 39**

Due masse puntiformi $m_1 = 300$ g e $m_2 = 150$ g sono collegate mediante fili inestensibili, di massa trascurabile e di lunghezza $L = 50$ cm allo stesso punto fisso P. Inizialmente la massa m_2 è disposta sulla verticale al punto P mentre la massa m_1 è trattenuta ad una quota $h = 10$ cm rispetto alla posizione di m_2 , con il filo teso (vedi figura).

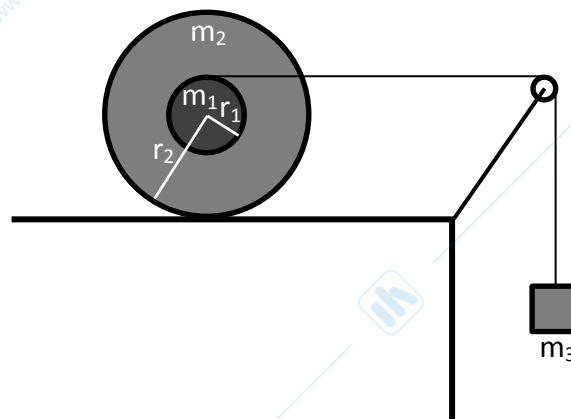
Quando la massa m_1 viene lasciata libera, va ad urtare m_2 (urto completamente anelastico). Determinare:

- Il modulo della velocità v_1 con cui la massa m_1 arriva ad urtare la massa m_2 ;
- la quota massima h' raggiunta dal sistema dopo l'urto;
- la perdita di energia cinetica ΔE_k del sistema nell'urto.



ESERCIZIO 40

Un corpo rigido è composto da due dischi coassiali di massa $m_1=3$ kg e $m_2=1$ kg e di raggi $r_1=10$ cm e $r_2=25$ cm, saldati tra di loro. Il corpo rotola senza strisciare su un piano orizzontale, per effetto dell'azione di una massa $m_3=2$ kg, ad esso collegata mediante una fune inestensibile e di massa trascurabile, che passa su una carrucola anch'essa di massa e dimensioni trascurabili ed è avvolta sul disco di raggio r_1 (vedi figura). Determinare:



- il rapporto tra l'accelerazione a_3 della massa m_3 e l'accelerazione a_{CM} del centro di massa del corpo rigido;
- il valore dell'accelerazione a_3 , della tensione della fune e della reazione vincolare che il piano esercita sul corpo rigido;
- il valore minimo del coefficiente di attrito statico fra il piano ed il corpo rigido affinché il moto sia di puro rotolamento.

ESERCIZIO 41

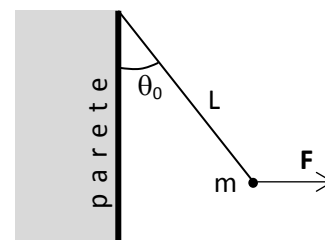
All'interno di un recipiente adiabatico vengono posti in contatto termico un blocco di ghiaccio alla temperatura $t_1=0$ °C e un blocco di rame alla temperatura $t_2=95$ °C. Quando si raggiunge l'equilibrio termico, una parte di ghiaccio, di massa Δm , si è sciolta.

Sapendo che la capacità termica del blocco di rame è $C_{rame}=6 \cdot 10^3$ J/K e che il calore latente di fusione del ghiaccio è $\lambda=3.33 \cdot 10^5$ J/kg, determinare:

- il valore di Δm ;
- la variazione di entropia conseguente al processo.

ESERCIZIO 42

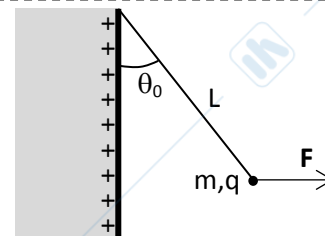
Una piccola sfera di massa $m=0.1$ kg è tenuta in equilibrio dall'azione contemporanea di una forza orizzontale F e di quella esercitata da un filo teso (inestensibile e di massa trascurabile) di lunghezza L , che forma con una parete verticale un angolo $\theta_0=60^\circ$ (vedi figura).



- Determinare i moduli della forza F e della tensione T del filo.

Se la forza F è una forza elettrica dovuta al fatto che sulla sfera è posta una carica q e la parete verticale (indefinita) presenta una densità di carica superficiale $\sigma=3 \times 10^{-5}$ C/m²,

- determinare q .

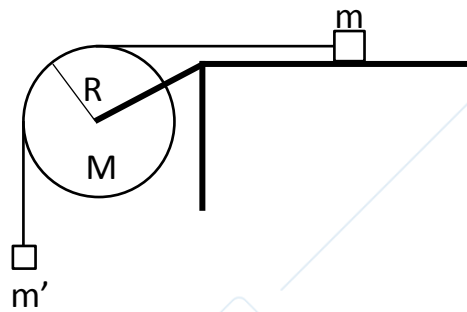


Infine, se viene meno la forza F (parete scarica) e se l'urto della sfera con la parete verticale (di massa molto maggiore di m) è un urto anelastico con coefficiente di restituzione $e=0.8$,

- qual è l'angolo massimo θ' che la pallina raggiunge dopo il primo urto?

ESERCIZIO 43

Un sistema meccanico è composto da una carrucola cilindrica di raggio R e massa M , sulla quale passa un filo inestensibile e di massa trascurabile, che reca agli estremi due blocchetti di massa m e $m'=m/2$ (vedi figura). Il blocchetto di massa m può scorrere su un piano orizzontale scabro. Inizialmente i due blocchetti sono fermi.



- b) Quale deve essere il minimo coefficiente di attrito statico μ_s^{\min} tra la massa m ed il piano affinché il sistema rimanga in equilibrio?
- c) Se invece i coefficienti di attrito statico e dinamico sono rispettivamente $\mu_s=0.3$ e $\mu_d=0.25$, e $M = 3m$, quanto vale l'accelerazione angolare del cilindro che funge da carrucola? (il filo non striscia sulla carrucola).

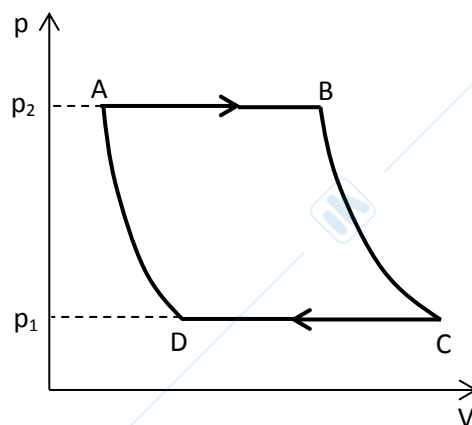
ESERCIZIO 44

Un gas ideale compie un ciclo reversibile formato da due adiabatiche e da due isobare (vedi figura).

- a) Calcolare il rendimento del ciclo in funzione delle pressioni p_1 e p_2 e dei volumi V_A, V_B, V_C, V_D .

Sapendo che il gas è monoatomico ($\gamma=c_p/c_v=5/3$),

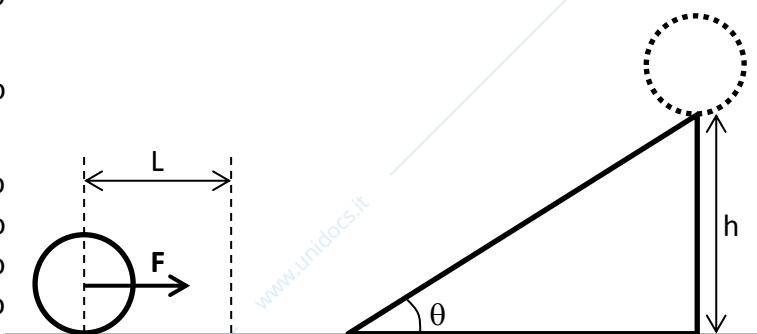
- b) come si può esprimere il rendimento in funzione unicamente del rapporto tra le pressioni, p_2/p_1 ?

**ESERCIZIO 45**

Un cilindro omogeneo di raggio $R=10$ cm e massa $M=1$ kg viene accelerato (partendo da fermo) lungo un piano orizzontale da una forza F orizzontale e costante esercitata sul suo centro di massa (vedi figura). La forza agisce solo per un tratto di lunghezza $L=1$ m, dopo di che il cilindro continua liberamente il suo moto ($F=0$) verso un piano inclinato di un angolo $\theta = 30^\circ$ e di altezza massima $h=1.5$ m.

Supponendo che il cilindro si muova sempre di moto di puro rotolamento, determinare:

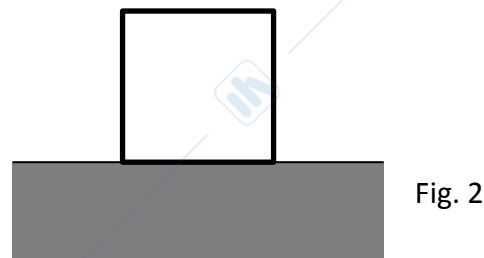
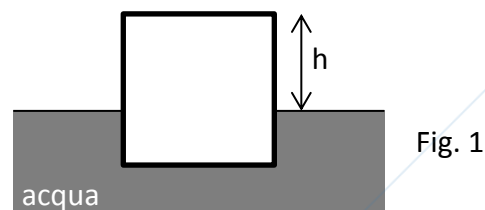
- a) il minimo valore del modulo di F , F_{\min} , affinché il cilindro raggiunga la sommità del piano inclinato;
- b) la velocità angolare che ha il cilindro all'inizio del piano inclinato per $F=F_{\min}$;
- c) i valori minimi dei coefficienti di attrito statico del piano orizzontale, μ_{orizz} , e del piano inclinato, μ_{incl} , che garantiscono che il moto del cilindro sia sempre di puro rotolamento (sempre per $F=F_{\min}$).



ESERCIZIO 46

Un cubo pieno, di lato $L=10$ cm, è costituito da una sostanza avente densità pari al 95% di quella dell'acqua.

- Se il corpo è in equilibrio in uno stato di galleggiamento nell'acqua, determinare lo spessore h della parte emersa (vedi figura 1).
- Se il corpo viene posto completamente fuori dall'acqua, con la base inferiore a contatto con la superficie dell'acqua (figura 2), si determini quale profondità massima raggiunge il corpo quando viene liberato da fermo da tale posizione.



(Si trascuri qualsiasi effetto di tensione superficiale del liquido o di resistenza del mezzo e si supponga che, anche in movimento, la basi del cubo rimangano sempre orizzontali)

ESERCIZIO 47

Una mole di gas ideale subisce in un primo tempo una espansione reversibile senza scambio di calore con l'esterno, fino a raddoppiare il suo volume iniziale. Successivamente il gas subisce una compressione reversibile a temperatura costante, fino a tornare al volume iniziale. Sapendo che le temperature iniziale e finale del gas sono $t_{ini} = 61$ °C e $t_{fin} = -20$ °C, determinare:

- Il rapporto γ tra i calori specifici a pressione e volume costante;
- l'eventuale variazione di entropia del gas.

(Costante gas ideali $R=8.31$ J/(mol K))

ESERCIZIO 48

Un sistema meccanico (manubrio) è formato da due sferette di massa $m=100$ g e dimensioni trascurabili, fissate agli estremi di una sbarretta rigida di massa trascurabile e di lunghezza $d=40$ cm. Il manubrio è fissato, nel suo centro di massa, ad un asse verticale z intorno al quale ruota con velocità angolare $\omega=2$ rad/s. Il manubrio forma, con l'asse z , un angolo $\varphi=70^\circ$ (vedi figura) che si mantiene costante durante tutte le fasi del moto considerate. Determinare:

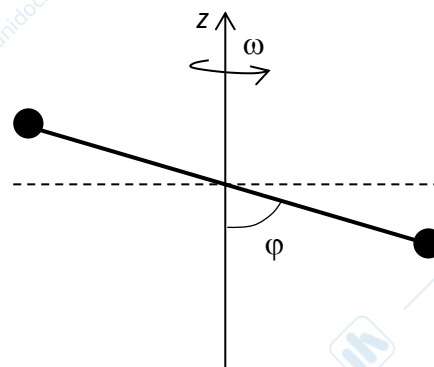
- l'energia cinetica del sistema;
- Il modulo del momento angolare del sistema rispetto al centro di massa e l'angolo che esso forma con l'asse z ;

Immaginando che la sbarretta sia telescopica, cioè che se ne possa variare la lunghezza mediante forze interne:

- quale dovrà essere la nuova lunghezza della barretta d' affinché l'energia cinetica del sistema raddoppi? (si trascuri l'effetto delle forze vincolari esterne operanti sull'asse per tenerlo verticale)

Successivamente, fissato d' , l'asse di rotazione viene frenato e si osserva che il sistema si arresta in un tempo $t=7.5$ s. Calcolare:

- il modulo del momento frenante, supposto costante, applicato all'asse di rotazione.



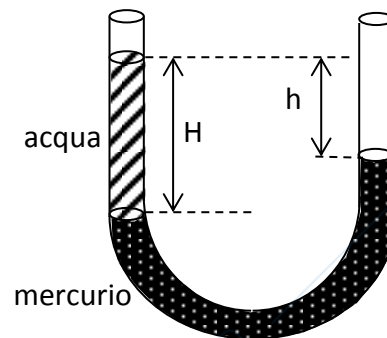
ESERCIZIO 49

Il tubo in figura, aperto ad entrambe le estremità, contiene mercurio (densità $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) e acqua. L'altezza della colonna d'acqua è pari a $H=15 \text{ cm}$. Determinare:

- la pressione all'interfaccia acqua-mercurio;
- la differenza di quota h tra il pelo libero del mercurio e quello dell'acqua.

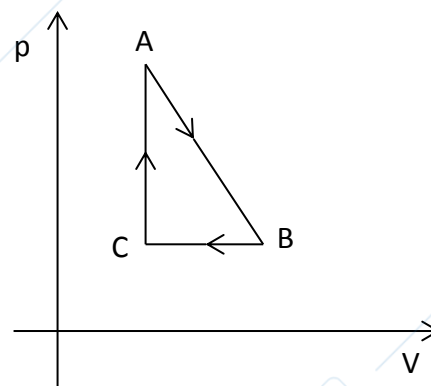
Se si potesse rimuovere istantaneamente la colonna d'acqua,

- quale sarebbe il periodo delle oscillazioni del livello di mercurio, sapendo che la sezione del tubo è $S=20 \text{ cm}^2$ e la massa di mercurio $m=0.8 \text{ kg}$?

**ESERCIZIO 50**

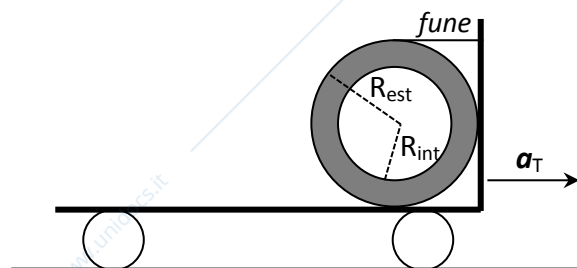
Una mole di gas ideale monoatomico effettua il ciclo reversibile descritto in figura, dove p_A e V_A sono pressione e volume nello stato A e dove $p_B=p_A/2$ e $V_B=2V_A$. Determinare:

- il rendimento del ciclo
- la variazione di entropia nella trasformazione $A \rightarrow B$

**ESERCIZIO 51**

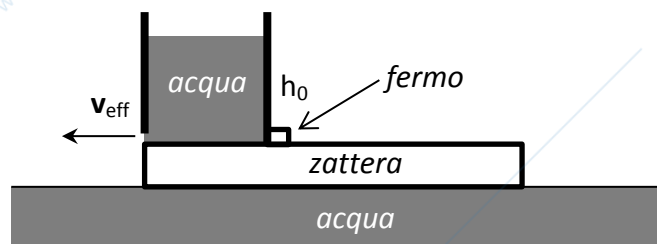
Un carrello si muove di moto uniformemente accelerato con accelerazione a_T . Su di esso, un cilindro cavo di densità $\rho=2.7 \text{ g/cm}^3$, altezza $h=2 \text{ cm}$, raggio esterno $R_{est}=30 \text{ cm}$ e raggio interno $R_{int}=20 \text{ cm}$ è mantenuto fermo da una fune inestensibile e di massa trascurabile, agganciata alla sommità del cilindro e al carrello in modo da essere orizzontale (vedi figura). Il piano del carrello è scabro, con coefficiente di attrito statico $\mu=0.4$. Determinare:

- il momento d'inerzia del cilindro cavo, rispetto al suo asse geometrico;
- il valore massimo dell'accelerazione del carrello a_T^{\max} consentito affinché il cilindro non inizi a scivolare sul piano del carrello;
- il valore dell'accelerazione del carrello, a_T^* , tale da spezzare la fune, se $T^{\max}=20 \text{ N}$ è il suo carico di rottura;
- assumendo $a_T = a_T^*$ e sapendo che, spezzata la fune, il cilindro si muove sul carrello con un moto di puro rotolamento, determinare la velocità v del cilindro, relativamente al carrello stesso, dopo aver percorso un tratto di lunghezza $L=1.5 \text{ m}$ sul piano del carrello.



ESERCIZIO 52

Una zattera di massa $M=10$ kg galleggia in quiete sull'acqua. Sulla zattera è appoggiato un recipiente a base rettangolare di area $A=0.5$ m², riempito di acqua inizialmente fino ad un'altezza $h_0=80$ cm. Il recipiente è mantenuto fisso rispetto alla zattera mediante un fermo. Ad un dato istante viene rimosso un tappo liberando un foro di area $A'=1$ cm² alla base del recipiente (vedi figura). Calcolare:



- la velocità di efflusso $v_{\text{eff},0}$ dell'acqua dal foro nell'istante immediatamente successivo alla rimozione del tappo;
- la velocità che assume il sistema zattera-recipiente (trascurando l'attrito tra zattera e acqua), 1 s dopo la rimozione del tappo (assumendo costante e pari a $v_{\text{eff},0}$ la velocità di efflusso dell'acqua);
- la forza media che il fermo esercita sul recipiente, durante l'intervallo di tempo $\Delta t=1$ s dopo la rimozione del tappo.

ESERCIZIO 53

Una macchina reversibile utilizza $n=2$ moli di gas ideale biatomico ($c_v=5/2 R$, con $R=8.31$ JK⁻¹mol⁻¹) che ha uno stato iniziale caratterizzato dai valori $p_1=3 \times 10^5$ Pa e $T_1=316$ K e V_1 . Il gas esegue un ciclo formato da tre trasformazioni:

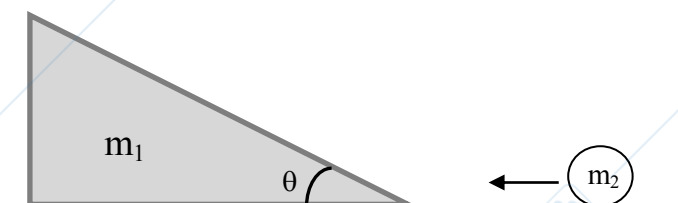
- una espansione isoterma fino a che il volume si porta da un valore $V_2=4V_1$;
- una trasformazione isobara che porta il gas sull'adiabatica passante per lo stato iniziale;
- una trasformazione lungo tale adiabatica, che riporta il gas allo stato iniziale.

E' richiesto:

- di tracciare un grafico di tale ciclo sul piano ($p;V$) e di determinare i valori di pressione, volume e temperatura nei tre stati interessati dal ciclo;
- di calcolare il lavoro ed il calore scambiati dal gas in un ciclo;
- di calcolare il rendimento del ciclo;
- di determinare la variazione di entropia lungo la trasformazione isobara.

ESERCIZIO 54

Un cuneo di massa $m_1=4$ kg inclinato di un angolo $\theta=45^\circ$ rispetto all'orizzontale, è fissato su di un piano orizzontale. Un cilindro omogeneo di massa $m_2 = m_1$ e raggio $R=0.2$ m, inizialmente in quiete, viene lanciato da fermo lungo il piano orizzontale verso il cuneo con moto di puro rotolamento.



A tale scopo viene applicato un momento costante M ortogonale al foglio con verso uscente (con riferimento alla figura) di modulo $M=10$ Nm, durante i primi 3 giri di rotazione del cilindro. Determinare:

- la velocità v_{cm} del centro di massa del cilindro nell'istante in cui esso raggiunge il piano inclinato ipotizzando che il cilindro rotoli senza strisciare anche lungo il piano inclinato, si determini:
- la massima altezza raggiunta dal centro di massa del cilindro, rispetto al piano orizzontale;
- il valore minimo del coefficiente di attrito statico μ_s^{min} tra il cilindro e il piano inclinato che permetta il moto di puro rotolamento.

Se il cuneo, inizialmente in quiete, fosse libero di muoversi senza attrito sul piano orizzontale, si determini:

- il valore del modulo F della forza orizzontale che occorrerebbe esercitare sul cuneo per tenerlo fermo durante il moto di salita del cilindro.

ESERCIZIO 55

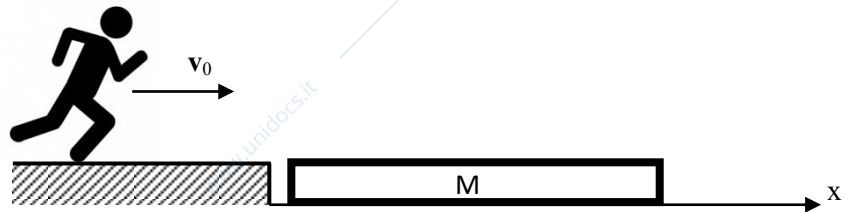
Un cilindro di altezza $h_c=1$ m e sezione $S=0.1$ m² contiene $n=2$ moli di un gas ideale monoatomico ($c_v=3R/2$, $R=8.31$ J/mol K). Un pistone mobile, di massa trascurabile e privo di attriti, chiude il gas superiormente ad un'altezza $h_p < h_c$. All'esterno del cilindro e del pistone vi è pressione atmosferica $p_{atm}=10^5$ Pa. Il pistone e le pareti del cilindro sono adiabatiche, mentre la base inferiore permette lo scambio di calore con l'esterno. Inizialmente il cilindro si trova in equilibrio termodinamico a contatto con una sorgente termica di temperatura $t_1 = 20$ °C. Ad un certo istante il cilindro viene rapidamente spostato e messo a contatto con una nuova sorgente termica, di temperatura $t_2 = 120$ °C.

Una volta raggiunto l'equilibrio termodinamico, si calcoli:

- 1) la variazione di altezza Δh_p subita del pistone
- 2) la variazione di entropia subita dal gas e dalla sorgente alla temperatura t_2

ESERCIZIO 56

Un uomo di massa $m=70$ kg che corre con velocità $v_0=2$ m/s sale su una zattera piatta di massa $M=40$ kg, inizialmente in quiete, che galleggia sull'acqua. La zattera può scorrere senza attrito sull'acqua.



Appena salito sulla zattera, l'uomo inizia a scivolare fino a fermarsi (rispetto alla zattera). Il coefficiente di attrito dinamico tra uomo e zattera è $\mu_d=0.2$. Determinare:

- 1) il modulo v_f della velocità finale del sistema uomo-zattera rispetto ad un osservatore solidale a terra
- 2) la variazione di energia meccanica subita dal sistema uomo – zattera
- 3) la distanza percorsa dall'uomo sulla zattera durante il moto di scivolamento, rispetto ad un osservatore solidale con la zattera
- 4) la distanza percorsa dall'uomo sulla zattera durante il moto di scivolamento, rispetto ad un osservatore solidale con il terreno.

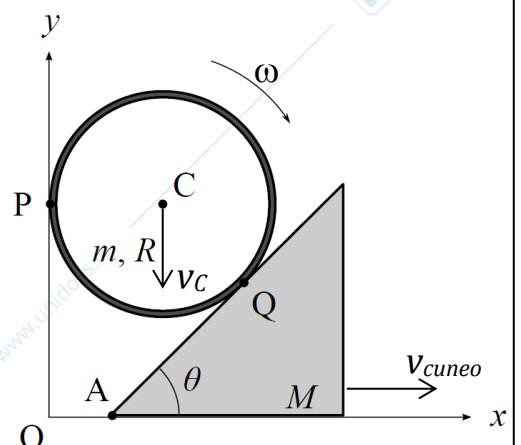
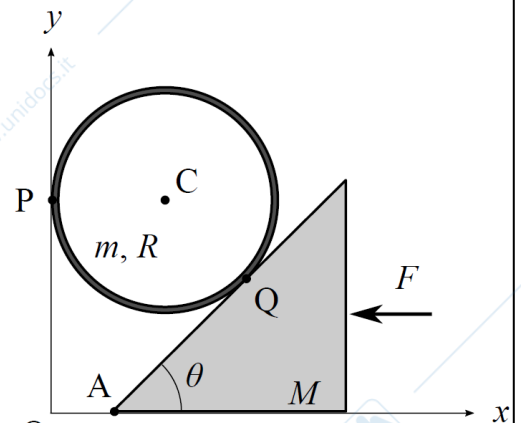
ESERCIZIO 57

Un anello sottile di massa $m=100$ g e raggio $R=20$ cm è incastrato come in figura tra un muro verticale scabro e un cuneo di massa $M=0.9$ kg, liscio. La faccia inclinata del cuneo forma un angolo $\theta = \pi/4$ con il piano orizzontale. Alla faccia verticale del cuneo è applicata una forza F diretta orizzontalmente, in modo tale che il sistema composto da anello e cuneo sia in equilibrio statico. In queste condizioni:

- a) rappresentare i diagrammi di corpo libero [schema delle forze agenti] per l'anello e per il cuneo;
- b) determinare il valore della forza F e di tutte le forze di reazione vincolare.

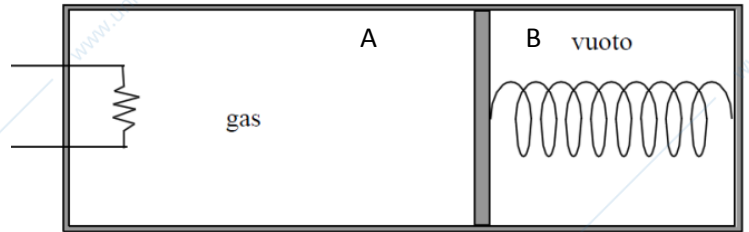
All'istante $t=0$ la forza F viene rimossa. Ora l'anello scende lungo la parete verticale rotolando senza strisciare, e contemporaneamente scivola senza attrito sul cuneo di massa M . Il cuneo a sua volta, spinto dall'anello, scivola senza attrito lungo il piano orizzontale. Determinare:

- c) la relazione cinematica che lega la velocità angolare ω dell'anello e la velocità v_{cuneo} del cuneo; [si utilizzi il fatto che $x_Q = \text{costante}$ e che $y_C = y_Q + \text{costante}$];
- d) l'accelerazione angolare dell'anello.



ESERCIZIO 58

Un cilindro a pareti adiabatiche di raggio interno $r = 8 \text{ cm}$ è diviso in due settori A e B tramite una parete divisoria adiabatica di massa trascurabile, libera di scorrere senza attrito, agganciata a destra ad una molla di costante elastica $k = 700 \text{ N/m}$.



Nel settore A sono contenute $n = 0.5$ moli di un gas ideale monoatomico [$c_V = (3/2)R$, $R = 8.31 \text{ J/mol K}$], mentre nel settore B c'è il vuoto. Il gas ideale occupa un volume $V_1 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ e si trova alla temperatura $T_1 = 200 \text{ K}$. La parete divisoria è inizialmente in quiete. In queste condizioni di equilibrio:

a) calcolare la compressione Δx subita dalla molla.

Il gas viene successivamente riscaldato mediante una resistenza elettrica e si espande molto velocemente fino a raggiungere un volume $V_2 = 1.3V_1$, situazione in cui si ristabilisce un nuovo stato di equilibrio. Calcolare:

- il valore della temperatura finale del gas;
- il lavoro fatto dal gas nella trasformazione;
- quanto calore è stato fornito al gas attraverso la resistenza elettrica.

SOLUZIONI**ESERCIZIO 1**

- a) $\omega_1/\omega_2 = 2$
- b) $v = \sqrt{\frac{4}{3}gL\sin\vartheta}$
- c) $a = \frac{2}{3}g\sin\vartheta ; T = 0$
- d) $M \leq 2g\cos\vartheta(m_1 + m_2)\sqrt{d^2 - R^2}$

ESERCIZIO 2

- a) $v_{\text{sist}} = 0.99 \text{ m/s}$
- b) $\Delta M_{\text{ghiaccio}} = 2.29 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
- c) $V_{\text{fin}} = 1.090 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
- d) distanza minima dal fondo = 0.373 m

ESERCIZIO 3

- a) $Q_a^{\text{tot}} = 1.33 \cdot 10^7 \text{ J}$
- b) $\Delta S = 38 \text{ J/K}$
- c) $\Delta\eta/\eta = 0.19$

ESERCIZIO 4

- a) $T_A = m_1g$
 $f_{\text{attr}} = m_1g$
 $T_B = 2m_1g$
- b) $T_A = \frac{3m_1m_2g}{8m_1+3m_2}$
 $f_{\text{attr}} = \frac{m_1m_2g}{8m_1+3m_2} \mathbf{u}_x$
- c) nel caso del punto a): $m^{\text{max}} = F^{\text{max}}/g$
 nel caso del punto b): $m^{\text{max}} = 11 F^{\text{max}}/g$

ESERCIZIO 5

- a) $T = 2\pi\sqrt{m/k}$
- b) $\Delta T/T = 3.5 \%$
- c) distanza minima = $L - v_0\sqrt{m/k}$
- d) distanza minima = $L + \frac{qE}{k} - \sqrt{\left(\frac{qE}{k}\right)^2 + \frac{v_0^2 m}{k}}$

ESERCIZIO 6

- a) 0.469 kg di ghiaccio a 0 °C
 0.531 kg di acqua a 0 °C
- b) acqua a 76.2 °C

ESERCIZIO 7

- a) $\mu_d = 0.51$
- b) $t^* = 0.4 \text{ s}$
- c) $W_{\text{attr}}^{\text{tot}} = 1 \text{ J}$
- d) $d' = 0.22 \text{ m}$

ESERCIZIO 8

- a) $v(y) = \sqrt{\left(2g - \frac{k}{m}y\right)y}$
- b) $h^{\text{max}} = h_0 = 1 \text{ m}$
 $h^{\text{min}} = 0.902 \text{ m}$
- c) $h' = 0.25 h^{\text{min}} = 0.2255 \text{ m}$

ESERCIZIO 9

Portata = 0.0176 m³/s

ESERCIZIO 10

- a) $W = 4950 \text{ J}$
- b) $\eta - \eta_c = 0.125$
- c) $\delta\eta = 0.085$

ESERCIZIO 11

- a) $v_1 = 2.2 \text{ ms}$, in direzione Sud
- b) $v_2 = 2.45 \text{ m/s}$, verso Sud-Est (angolo 5.152° rispetto alla direzione Sud)

ESERCIZIO 12

- a) primi cilindro e disco, ultimo l'anello
- b) $R_2 = R_1 = 10 \text{ cm}$
 $R_3 = 8.7 \text{ cm}$

ESERCIZIO 13

- a) $a = 9.81 - 1962 x \text{ m/s}^2$ (con x espresso in m)
- b) $x_{\text{max}} = 1 \text{ cm}$
- c) $x_{\text{max}} = 3.7 \text{ cm}$

ESERCIZIO 14

- a) $|Q_1| = 314.8 \text{ J}$; $Q_2 = 586 \text{ J}$
 b) $W = 271.2 \text{ J}$
 c) $\Delta S_{\text{univ}} = 0$

ESERCIZIO 15

- a) $t = 0.85 \text{ s}$
 b) $v = 2.79 \text{ m/s}$; no
 c) 0.79 m

ESERCIZIO 16

- a) 364 N
 b) 50.8 N
 c) 16 N

ESERCIZIO 17

- a) $v = 2.187 \text{ m/s}$
 b) $x' = 0.709 \text{ m}$; scatola 2
 c) $\mu = 0.212$

ESERCIZIO 18

- a) $Q = 0.01723 \text{ m}^3/\text{s}$
 b) $\Delta Q/Q = 0.054$

ESERCIZIO 19

- a) $Q = 11952, 53120, -35856, -13280 \text{ J}$;
 $L = 0, 21248, 0, -5312 \text{ J}$
 b) $\eta = 0.245$
 c) $\Delta S = 17.26, 22.80, -17.26, -22.80 \text{ J/K}$; $\Delta S_{\text{tot}} = 0$

ESERCIZIO 20

- a) $T_2 = mg$
 b) $T_2 = 2m_1g(4m_1 + M_1 + M_2) / (6m_1 + M_1 + M_2)$
 c) $\Delta x = 2gm_1/k$

ESERCIZIO 21

- a) 3 m/s
 b) $2.3 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$

ESERCIZIO 22

- a) $\eta = 0.153$
 b) $\Delta \eta = 0.006$

ESERCIZIO 23

- a) $\Delta x = 24.5 \text{ mm}$
 b) $a = 1.16 \text{ ms}^{-2}$
 c) $v = 0.177 \text{ m/s}$
 d) $\mu_s^{\text{min}} = 0.29$

ESERCIZIO 24

- a) $p_2 = 2 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
 b) $V_3 = 0.164 \text{ m}^3$; $T_3 = 32.8 \text{ K}$
 c) $W = 260 \text{ J}$; $Q_a = 2500 \text{ J}$; $\eta = 10.4 \%$

ESERCIZIO 25

- a) $\theta_0 = 30^\circ$
 b) $\omega = 1.88 \text{ rad/s}$
 c) $|M_{\text{attr}}| = 0.245 \text{ Nm}$

ESERCIZIO 26

- a) $p_A = p_{\text{atm}} + \frac{(m+M)g}{\pi r^2}$; $T_A = \frac{h_A[(m+M)g + p_{\text{atm}}\pi r^2]}{nR}$
 b) $p_B = p_{\text{atm}} + \frac{Mg}{\pi r^2}$; $h_B = \frac{h_A[(m+M)g + p_{\text{atm}}\pi r^2]}{Mg + p_{\text{atm}}\pi r^2}$
 c) $\Delta S = nR \ln\left(\frac{h_B}{h_A}\right)$

ESERCIZIO 27

- a) $T = 0.49 \text{ N}$
 b) $\mu_s^{\text{min}} = 0.37$
 c) $v_{\text{CM}} = 2.87 \text{ m/s}$

ESERCIZIO 28

- a) $T_1 = 160 \text{ K}$; $T_2 = 320 \text{ K}$; $T_3 = 480 \text{ K}$
 b) $A = 8.5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $B = -2 \cdot 10^9 \text{ Pa/m}^6$
 c) $W = 2333 \text{ J}$
 d) $Q = 9336 \text{ J}$

ESERCIZIO 29

- a) $\eta/\eta_{\text{MAX}} = 0.288$
 b) $|Q_c| = 2.04 \cdot 10^9 \text{ J}$
 c) $\Delta S = 2.42 \cdot 10^6 \text{ J/K}$

ESERCIZIO 30

- a) $a_{CM} = \frac{2}{3}g$; $T = \frac{mg}{3}$
 b) $\omega_0 = \frac{2}{R}\sqrt{gh/3}$
 c) $h' = 0.36 h$
 d) $\mu_s \geq tg\alpha/3$

e) Inizialmente il cilindro (avente velocità angolare ω_0) scivola sul piano. La forza di attrito radente dinamico genera un'accelerazione lineare, che a sua volta determina una velocità parallela al piano crescente nel tempo. Il momento della forza di attrito dinamico diminuisce la velocità angolare. Quando si raggiunge la condizione $v' = \omega'R$, si innesca il moto di puro rotolamento. Da quel momento in poi, la forza è di attrito statico.

ESERCIZIO 31

- a) $p_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $W = 1545 \text{ J}$
 b) $p_1' = 5.28 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $W' = 2400 \text{ J}$
 c) $\eta_A = 0.099$; $\eta_B = 0.146$

ESERCIZIO 32

- a) $\omega_A = 100 \text{ rad/s}$
 b) $v_B = \sqrt{v_A^2 - \frac{4}{3}gh} = 8.28 \text{ m/s}$; $\omega_B = 82.8 \text{ rad/s}$
 c) $\mu_s^{\text{min}} = (tg\theta)/3 = 0.19$
 d) $L = L' - R\sin\theta = 8.83 \text{ m}$, dove:

$$L' = \frac{v_B^2 \sin(2\theta)}{2g} + \sqrt{\frac{v_B^4 \sin^2(2\theta)}{4g^2} + \frac{2v_B^2 \cos^2(\theta)H}{g}}$$

$$H = h + R(\cos\theta - 1)$$

e) $n = n_1 + n_2 = \frac{h}{2\pi R \sin\theta} + \frac{L'}{2\pi R \cos\theta} = 24.0$