Scritto corso di Fisica. Canale 1
A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 Scritto – COMPITO Programma PASSATO

Corso di Laurea: Ingegneria Gestionale, Sapienza. Canale 1

Nome: **Cognome:**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

Esercizio 1

Sia dato un fascio di particelle cariche che attraversa una regione di spazio dove si trovano un campo elettrico ed un campo magnetico, entrambi costanti e uniformi, tra loro perpendicolari e di intensità, rispettivamente $E = 4 \times 10^5$ V/m e $B = 8 \times 10^{-3}$ T. La direzione di propagazione del fascio è inizialmente perpendicolare ai due campi.

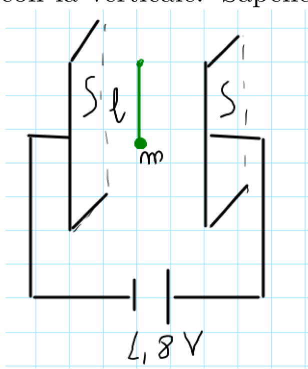
a) Quale velocità possiedono le particelle che non vengono deviate dalla loro direzione di movimento? $v =$ __________

b) Se invece le particelle non deviate fossero positroni (elettroni positivi), qual è il valore del raggio della circonferenza che questi descriverebbero se il campo elettrico fosse improvvisamente spento? $R =$ __________

Si ricordano i valori di massa e carica di un elettrone: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg e $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C.

Esercizio 2

Una pallina puntiforme di plastica di massa $m = 15$ g e carica elettrica q viene appesa ad un filo di massa trascurabile e lunghezza $l = 50\ cm$, formando un pendolo semplice. Il pendolo viene poi inserito a metà tra due armature verticali di un condensatore piano di area $A = 0.02\ m^2$, inizialmente scarico. Dopo aver connesso il condensatore a una batteria da 48 V e resistenza interna trascurabile (come mostrato in figura) si osserva uno spostamento della pallina verso l'armatura con carica positiva, tale che il filo forma un angolo $\theta = 2°$ con la verticale. Sapendo che il condensatore ha una capacità di valore C=1.77 pF, determinare:

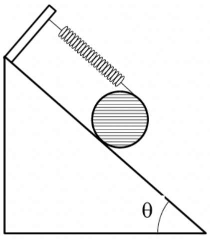


a) Il valore della carica q, specificando chiaramente il segno; $q =$ __________

b) si assuma poi che la pallina abbia raggio pari a $r = 1$ cm. Determinare il valore della tensione ΔV della batteria per la quale la pallina arriva a toccare l'armatura positiva. $\Delta V =$ __________

Esercizio 3

Un cilindro di massa M di valore pari a 0.5 kg e raggio R si trova appoggiato su un piano scabro inclinato di un angolo $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale. Il cilindro è tenuto fermo da una molla di costante elastica K =6.1 N/m, ancorata sul cilindro nel punto diametralmente opposto al punto di contatto con il piano, come indicato in figura. Determinare, dopo aver scelto ed indicato un sistema di riferimento:



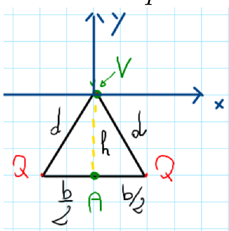
a) di quanto la molla è allungata, rispetto alla sua lunghezza a riposo (quella quando si trova in orizzontale, non soggetta a forze esterne); $\Delta X =$ __________

b) la forza di attrito statico agente sulla massa M nel punto di contatto col piano (in modulo, direzione, verso) $\vec{f}_A =$ __________

Esercizio 4

Due cariche ciascuna del valore $Q = +20$ nC sono poste ai vertici di un triangolo isoscele di base $b = 70$ cm e altezza $h = 1.2$ m. Nel terzo vertice, V, quello opposto alla base, si trova una carica $q = -3$ nC.

La situazione e il sistema di riferimento sono indicati in figura.



Determinare:

a) direzione, verso e intensità della forza totale agente sulla carica q; $\vec{F}_q =$ __________
b) il lavoro compiuto dal campo elettrico associato alle due cariche Q se la carica q viene portata da V al punto centrale della base del triangolo, A $L_q =$ __________

Soluzione Esercizio 1. Compito PP Per la legge di Lorentz, la forza totale che agisce su una particella con carica q in moto è:

$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$

Se $q > 0$, la forza elettrica è diretta positivamente lungo l'asse y, mentre la forza magnetica è diretta negativamente lungo l'asse y. Se la carica è negativa, ovviamente, le forze hanno verso opposto. Affinché non ci sia deflessione deve essere $\vec{F} = 0$, e In modulo si ha: $qE = qvB$, da cui: $v = E/B = 5 \times 10^7$ m/s.

Se ci fosse solo il campo magnetico, le cariche sarebbero soggette alla forza: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ costante in modulo e sempre perpendicolare alla direzione del moto. Di conseguenza, le cariche descriverebbero una traiettoria circolare (moto circolare uniforme), della quale possiamo calcolare il raggio utilizzando l'equazione della forza centripeta: $q_e vB = mv^2/R$ d a cui $R = m_e v/q_e B = 3.6$ cm.

Soluzione Esercizio 2. Compito PP

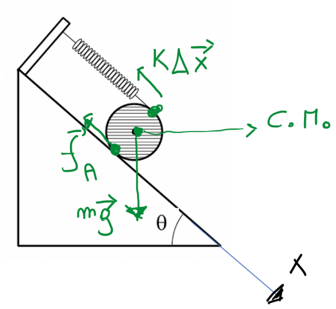
La capacità del condensatore piano vale C $=\epsilon_0 A/d$, quindi si ricava la distanza fra le armature, $d = \epsilon_0 A/C = 10$ cm. Dunque il campo elettrico, diretto dall'armatura positiva a quella negativa, vale $E = \Delta V/d$= 480 V/m.

1) La pallina è soggetta a tre forze: la forza elettrica diretta verso l'armatura positiva (e quindi $q < 0$), la tensione del filo T diretta lungo il filo stesso e la forza peso mg diretta verso il basso. All'equilibrio la risultante delle forze è nulla e quindi $mg = T cos(\theta)$ e $|q|E = T sen(\theta)$, da cui $tg(\theta) = |q|E/mg = |q|\Delta V/mgd$, con d distanza tra le armature. Dunque $|q| = tg(\theta) \cdot mgd/\Delta V$. La carica della pallina è $q = -10.7\ \mu C$.

2) La pallina tocca l'armatura positiva quando $d/2 = r + l sen\theta$ vale a dire $\theta = 4.6°$. Invertendo la relazione precedente: $\Delta V = mgd \cdot tg(\theta)/|q| = 110.5\ V$.

Soluzione Esercizio 3. Compito PP

Prendiamo asse x sul piano inclinato e diretto verso il basso. All'equilibrio, proiettando sugli assi:



$-K\Delta X - f_A + Mg\sin(\theta) = 0$ (qui f_A è in modulo, il segno lo abbiamo messo in chiaro).

$N - Mg\cos(\theta) = 0$

Prendiamo come polo per i momenti il C.M. del cilindro : $K\Delta X\, R - f_A\, R = I_{CM}\alpha = 0$. Da cui segue, mettendole insieme e risolvendo:

$f_A = Mg\sin\theta - K\Delta X$. E $f_A = K\Delta X$ (da quella dei momenti). Dunque:

$\Delta X = \frac{Mg\sin(\theta)}{2K}$=0.2 m. E $\vec{f_A} = K\Delta\vec{X}$=1.22 N $(-\hat{x})$

Soluzione Esercizio 4. Compito PP

a) La distanza tra la carica q e le due cariche Q è $d = \sqrt{(b/2)^2 + h^2} = 1.25$ m. Sulla carica q agiscono due forze di uguale intensità e dirette ognuna verso una carica Q. La risultante delle due forze è diretta per simmetria verso il centro della base del triangolo e vale:

$F = 2\, k_0\, Q\, q\, h/d^3 = 6.63 \cdot 10^{-7}$ N

b) Il lavoro del campo elettrico è pari al prodotto (cambiato di segno) tra la carica q e la differenza di potenziale ΔV fra i due punti considerati:

$\Delta V = V_f - V_i = 2\, k_0\, Q/(b/2) - 2\, k\, Q/d = 740$ V

$L = -q\, \Delta V = 2.22\ \mu$J

Il lavoro può essere calcolato anche integrando la forza elettrostatica per lo spostamento tra $x = h$ e $x = 0$

Scritto corso di Fisica. Canale 1

A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 — Secondo Esonero

Corso di Laurea: **Ingegneria Gestionale, Sapienza.**

Nome **Cognome**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

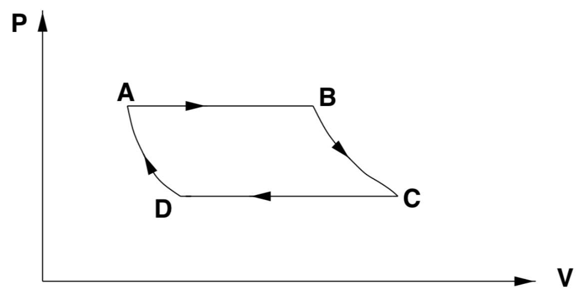
Esercizio 1

Un thermos isolato dall' esterno contiene 130 g di una bevanda calda, alla temperatura di 80^oC. Al fine di raffreddare la bevanda, si aggiunge al suo interno un cubetto di ghiaccio di massa 12 g che si trova alla temperatura di -10^oC. Trascurare eventuali scambi di calore che avvengono con il thermos stesso. Si ricordano il valore del calore specifico dell'acqua e della bevanda, del ghiaccio e del calore latente di fusione del ghiaccio, che sono, rispettivamente: $c_{acqua,bevanda} = 4190$ J/kg/K, $c_{ghiaccio} = 2220$ J/kg/K, $\lambda_f = 333$ kJ/kg.
Determinare:

a) la temperatura di equilibrio raggiunta dalla bevanda nel thermos T_{eq} = __________
b) la variazione di entropia dovuta alla sola bevanda ΔS_B = __________

Esercizio 2

Una macchina termica (reale) avente come fluido termodinamico una mole di gas perfetto monoatomico, esegue il seguente ciclo rappresentato in figura:
1) Isobara reversibile dallo stato A avente $P = 3$ atm e $V = 8$ litri allo stato B avente $V = 16$ llitri
2) Espansione adiabatica reversibile fino ad uno stato C.
3) Compressione isobara reversibile fino ad uno stato D.
4) Compressione adiabatica reversibile fino a tornare allo stato di partenza.

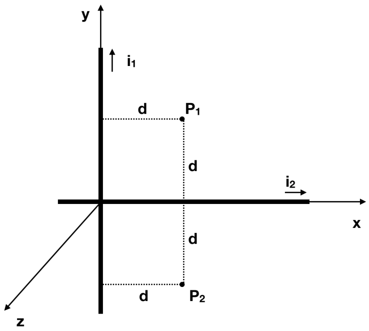


Sapendo che il rendimento della macchina è $\eta = 0.183$, determinare:

a) il lavoro complessivo compiuto nel ciclo ; L_C = __________
b) il calore scambiato in ciascuna delle 4 trasformazioni . $Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD}, Q_{DA}$. = __________

Esercizio 3

Sono dati due fili rettilinei indefiniti complanari, disposti come in figura. Essi sono percorsi da correnti note, nel verso indicato in figura, $i_1 = 3.5$ A e $i_2 = 5.4$ A.
La distanza d indicata in figura vale 20 cm. Determinare, usando il sistema di riferimento indicato nella figura:



a) il vettore (modulo, direzione, verso) campo magnetico nei due punti P_1 e P_2; $\vec{B}_1,\ \vec{B}_2 =$ _________
b) la forza (modulo, direzione e verso) dovuta al campo magnetico che agisce su un elettrone che passa per P_2 con velocità $\vec{v} = 1.2 \times 10^6\, \hat{x}$ m/s $\vec{F}_2 =$ _________

Si ricorda il valore della carica dell'elettrone: $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C.

Esercizio 4

Tre cariche sono disposte sui vertici di un triangolo equilatero di lato $L = 2$ m. Il valore di ciascuna delle tre cariche è $Q = 1\,\mu C$.
Determinare, dopo aver scelto un sistema di riferimento e averlo chiaramente indicato:

a) il campo elettrico nel punto D di mezzo della base del triangolo, in modulo, direzione e verso; $\vec{E}_D =$ _________
b) il modulo della velocità con la quale una carica $q_D = 2\mu C$ di massa $m_D = 10$ g che parte da ferma da D raggiunge l' infinito. $V_D =$ _________

Soluzioni Compito Secondo Esonero

Soluzione Esercizio 1

a) Indichiamo con $T_0 = 0^oC = 273$ K.
Il ghiaccio subirà le seguenti trasformazioni

- Riscaldamento da -10^oC a 0^oC: $Q_1 = m_{ghiaccio} c_{ghiaccio}(T_0 - T_i^{ghiaccio}) = 12 \times 10^{-3} \times 2220 \times (0 + 10)$ J = 266.4 J.
- Fusione a 0^oC: $Q_2 = m_{ghiaccio} \lambda_f = 12 \times 10^{-3} \times 333 \times 10^3 = 3996$ J.
- Tutto il ghiaccio sciolto (acqua) si scalda fino a T_f assorbendo $Q_3 = m_{ghiaccio} c_{acqua} \times (T_f - T_0)$.

La bevanda invece, subirà la seguente trasformazione:

- Raffreddamento da 80^oC alla temperatura finale, cedendo $Q_4 = m_{bevanda} c_{acqua}(T_f - T_i^{bevanda})$.

Dalla condizione $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$ si ricava la temperatura di equilibrio $T_f = 339$ K.

b) Per la variazione di entropia dovuta alla bevanda, indicando con: $T_i^{bevanda} = 353$ K e $T_f = 339$ K, si ha:
$\Delta S_{bevanda} = m_{bevanda} c_{acqua} ln \frac{T_f}{T_i^{bevanda}}$ = -22.04 J/K.

Soluzione Esercizio 2.

Il rendimento di una macchina termica è definito come $\eta = L/Q_a$ dove Q_a è il calore assorbito nel ciclo. Il calore viene assorbito solo nel tratto AB (espansione isobara reversibile):
$Q_a = Q_{AB} = nC_P(T_B - T_A)$
$T_A = P_A V_A/(nR) = 3 \times 8 \times 101/(1 \times 8.314) = 291.6$ K
$T_B = P_B V_B/(nR) = 3 \times 16 \times 101/(1 \times 8.314) = 583.1$K
$C_P = 5/2R$ (Gas perfetto mono-atomico)
$Q_a = nC_P(T_B - T_A) = 1 \times 5 \times 8.314 \times (583.1 - 291.6)/2 = 6058.8$ J
Il lavoro prodotto nel ciclo dalla macchina è $L = Q_a \eta = 6058.8 \times 0.183 = 1108.8$ J.
Il calore scambiato dal gas nelle quattro trasformazioni: nel tratto AB è stato gia trovato; nelle due adiabatiche il calore scambiato è zero, mentre per calcolare il calore scambiato nella compressione isobara CD si può utilizzare il primo principio della termodinamica. Dato che $\Delta U = 0$ in un ciclo, si ha che:
$Q_{AB} + Q_{CD} = L$ da cui $Q_{CD} = L - Q_{AB} = 1108.8 - 6058.8 = -4950.0$ J.

Soluzione Esercizio 3

a) Il filo percorso da corrente i_1 nel punto P_1 genera un campo magnetico $B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi d}$ diretto lungo l'asse z ma in verso opposto. ll filo percorso da corrente i_2 nel punto P_1 genera un campo magnetico $B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi d}$ diretto nel verso dell'asse z. I due vettori hanno quindi la stessa direzione e sono opposti in verso. Il campo magnetico totale è dunque:
$B_2 - B_1 = 1.9 \times 10^{-6}$ T, diretto nel verso dell'asse z, ovvero:
$\vec{B}_{tot,P1} = 1.9 \times 10^{-6} \hat{z}$ T
Con ragionamento analogo per il punto P_2, il filo percorso da corrente i_1 genera un campo magnetico $B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi d}$ diretto lungo l'asse z ma in verso opposto, e il filo percorso da corrente i_2 genera un campo magnetico $B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi d}$ anch'esso diretto lungo l'asse z ma in verso opposto.
Il campo magnetico totale è dunque $\vec{B}_{tot,P_2} = -8.9 \times 10^{-6} \hat{z}$ T.

b) La forza dovuta la campo magnetico che agisce sulla particella è data da $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, ovvero $F = 1.7 \times 10^{-18}$ N diretta nel verso negativo dell'asse y.

Soluzione Esercizio 4

Consideriamo AB base del triangolo e sia D sulla base. Due cariche sono ad una distanza $a = L/2 = 1$ m da D, la terza carica ad una distanza $b = \sqrt{(L^2 - a^2)} = a\sqrt{3} = 1.73$ m.
a) Il campo elettrico in D è dovuto solo alla carica a distanza b, poichè i due contributi delle cariche sulla base AB si annullano in quanto uguali e opposti. Se indichiamo con $\hat{b}$ il versore di b, positivo dal vertice dove si trova la terza carica verso la base AB, il campo in D sarà:
$\vec{E}_D = k_0\, Q\, \frac{\hat{b}}{b^2} = 3000$ V/m
b) La carica q_D in D ha energia potenziale $q_D\, V_D$. All' infinito, dove il potenziale elettrostatico è nullo, la sua energia è solo cinetica.
Dunque: Il potenziale in D è la somma dei potenziali dovuti alle tre cariche (sovrapposizione degli effetti).
Si ha dunque $V_D = k_0\, (\frac{Q}{a} + \frac{Q}{a} + \frac{Q}{b}) = k_0\, \frac{Q}{a}\, (2 + 1/\sqrt{3}) = 23.2$ kV.

$(1/2) m_D v^2 = q_D\, V_D$, da cui: $v = \sqrt{2\, q_D\, V_D/m_D} = 3.05$ m/s.

Scritto corso di Fisica. Canale 1
A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 Scritto – COMPITO D

Corso di Laurea: Ingegneria Gestionale, Sapienza. Canale 1

Nome: **Cognome:**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

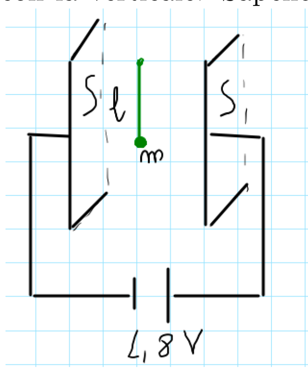
Esercizio 1

Sia dato un blocco di una sostanza non nota e di massa 100 g. Il blocco viene posto in un calorimetro di rame di massa 25 g, che contiene 60 g di acqua. Il sistema raggiunge la temperatura di equilibrio $T_1 = 20$ °C. Si aggiungono poi 120 ml di acqua alla temperatura $T_2 = 80$ °C. Quando viene raggiunto il nuovo equilibrio termodinamico, la temperatura del sistema è $T_f = 54$ °C. Il calore specifico del rame vale 385 J/(kg · K). Assumendo che il calorimetro non consenta scambi di calore con l'esterno, determinare:

a) il calore assorbito dalla sostanza incognita; $Q_x =$ __________
b) il calore specifico della sostanza incognita; $c_x =$ __________

Esercizio 2

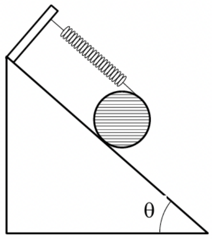
Una pallina puntiforme di plastica di massa $m = 15$ g e carica elettrica q viene appesa ad un filo di massa trascurabile e lunghezza $l = 50\ cm$, formando un pendolo semplice. Il pendolo viene poi inserito a metà tra due armature verticali di un condensatore piano di area $A = 0.02\ m^2$, inizialmente scarico. Dopo aver connesso il condensatore a una batteria da 48 V e resistenza interna trascurabile (come mostrato in figura) si osserva uno spostamento della pallina verso l'armatura con carica positiva, tale che il filo forma un angolo $\theta = 2°$ con la verticale. Sapendo che il condensatore ha una capacità di valore C=1.77 pF, determinare:



a) Il valore della carica q, specificando chiaramente il segno; $q =$ __________
b) si assuma poi che la pallina abbia raggio pari a $r = 1$ cm. Determinare il valore della tensione ΔV della batteria per la quale la pallina arriva a toccare l'armatura positiva. $\Delta V =$ __________

Esercizio 3

Un cilindro di massa M di valore pari a 0.5 kg e raggio R si trova appoggiato su un piano scabro inclinato di un angolo $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale. Il cilindro è tenuto fermo da una molla di costante elastica K =6.1 N/m, ancorata sul cilindro nel punto diametralmente opposto al punto di contatto con il piano, come indicato in figura. Determinare, dopo aver scelto ed indicato un sistema di riferimento:



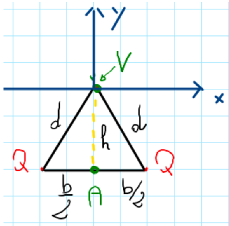
a) di quanto la molla è allungata, rispetto alla sua lunghezza a riposo (quella quando si trova in orizzontale, non soggetta a forze esterne); $\Delta X =$ __________

b) la forza di attrito statico agente sulla massa M nel punto di contatto col piano (in modulo, direzione, verso) $\vec{f}_A =$ __________

Esercizio 4

Due cariche ciascuna del valore $Q = +20$ nC sono poste ai vertici di un triangolo isoscele di base $b = 70$ cm e altezza $h = 1.2$ m. Nel terzo vertice, V, quello opposto alla base, si trova una carica $q = -3$ nC.

La situazione e il sistema di riferimento sono indicati in figura.



Determinare:

a) direzione, verso e intensità della forza totale agente sulla carica q; $\vec{F}_q =$ __________

b) il lavoro compiuto dal campo elettrico associato alle due cariche Q se la carica q viene portata da V al punto centrale della base del triangolo, A $L_q =$ __________

Soluzione Esercizio 1. Compito D

a) 120 ml di acqua corrispondono ad una massa di 120 g. Quest'acqua cede al sistema il calore Q_2 pari in modulo a:

$$Q_2 = m_2 c_a (T_2 - T_e) = 0.12 \times 4186 \times (80 - 54) = 13060\ J\ .$$

I 60 g di acqua già presenti nel calorimetro, quando si portano alla nuova temperatura di equilibrio, assorbono il calore Q_1:

$$Q_1 = m_1 c_a (T_e - T_1) = 0.06 \times 4186 \times (54 - 20) = 8539\ J\ .$$

Il calore assorbito dal calorimetro di rame vale:

$$Q_R = m_R c_R (T_e - T_1) = 0.025 \times 385 \times (54 - 20) = 327\ J\ .$$

Facendo il bilancio energetico si ottiene il calore assorbito dalla sostanza incognita:

$$Q_x = Q_2 - Q_1 - Q_R = 13060 - 8539 - 327 = 4194\ J\ .$$

b) Il calore specifico della sostanza incognita vale:

$$c_x = \frac{Q_x}{m_x (T_e - T_1)} = \frac{4194}{0.1 \times (54 - 20)} = 1234\ J/(kg \cdot K)\ .$$

Soluzione Esercizio 2. Compito D

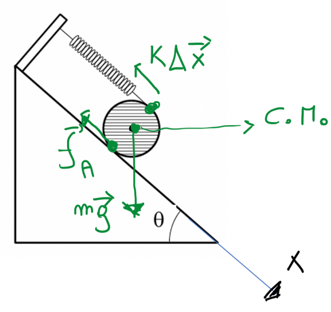
La capacità del condensatore piano vale C $=\epsilon_0 A/d$, quindi si ricava la distanza fra le armature, $d = \epsilon_0 A/C = 10$ cm. Dunque il campo elettrico, diretto dall'armatura positiva a quella negativa, vale $E = \Delta V/d =$ 480 V/m.

1) La pallina è soggetta a tre forze: la forza elettrica diretta verso l'armatura positiva (e quindi $q < 0$), la tensione del filo T diretta lungo il filo stesso e la forza peso mg diretta verso il basso. All'equilibrio la risultante delle forze è nulla e quindi $mg = Tcos(\theta)$ e $|q|E = Tsen(\theta)$, da cui $tg(\theta) = |q|E/mg = |q|\Delta V/mgd$, con d distanza tra le armature. Dunque $|q| = tg(\theta) \cdot mgd/\Delta V$. La carica della pallina è $q = -10.7\ \mu C$.

2) La pallina tocca l'armatura positiva quando $d/2 = r + lsen\theta$ vale a dire $\theta = 4.6°$. Invertendo la relazione precedente: $\Delta V = mgd \cdot tg(\theta)/|q| = 110.5\ V$.

Soluzione Esercizio 3. Compito D

Prendiamo asse x sul piano inclinato e diretto verso il basso. All'equilibrio, proiettando sugli assi:



$-K\Delta X - f_A + Mg\sin(\theta) = 0$ (qui f_A è in modulo, il segno lo abbiamo messo in chiaro).
$N - Mg\cos(\theta) = 0$
Prendiamo come polo per i momenti il C.M. del cilindro : $K\Delta X\, R - f_A\, R = I_{CM}\alpha = 0$. Da cui segue, mettendole insieme e risolvendo:

$f_A = Mg\sin\theta - K\Delta X$. E $f_A = K\Delta X$ (da quella dei momenti). Dunque:
$\Delta X = \frac{Mg\sin(\theta)}{2K}$=0.2 m. E $\vec{f}_A = K\Delta\vec{X}$=1.22 N $(-\hat{x})$

Soluzione Esercizio 4. Compito D

a) La distanza tra la carica q e le due cariche Q è $d = \sqrt{(b/2)^2 + h^2} = 1.25$ m. Sulla carica q agiscono due forze di uguale intensità e dirette ognuna verso una carica Q. La risultante delle due forze è diretta per simmetria verso il centro della base del triangolo e vale:
$F = 2\,k_0\,Q\,q\,h/d^3 = 6.63 \cdot 10^{-7}$ N
b) Il lavoro del campo elettrico è pari al prodotto (cambiato di segno) tra la carica q e la differenza di potenziale ΔV fra i due punti considerati:
$\Delta V = V_f - V_i = 2\ k_0\ Q/(b/2) - 2\ k\ Q/d = 740$ V
$L = -q\ \Delta V = 2.22\ \mu$J
Il lavoro può essere calcolato anche integrando la forza elettrostatica per lo spostamento tra $x = h$ e $x = 0$

Scritto corso di Fisica. Canale 1
A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 Scritto – COMPITO C

Corso di Laurea: Ingegneria Gestionale, Sapienza. Canale 1

Nome: **Cognome:**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

Esercizio 1

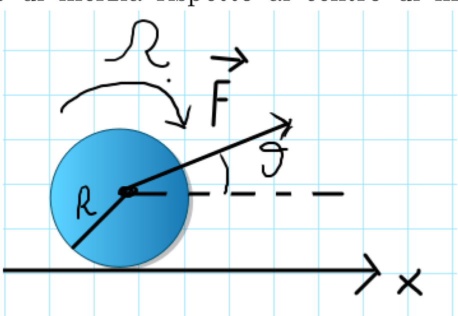
Una tavola di legno ha le seguenti dimensioni: base quadrata di lato $l = 2\ m$, spessore $h = 30\ cm$ e densità (omogenea) $\rho_L = 0.63\ gr/cm^3$. Deve trasportare alcune sfere di ferro di raggio 3.5 cm da una riva all' altra di un fiume. Sapendo che la densità del ferro e dell'acqua del lago sono, rispettivamente, $\rho_F = 7.96\ gr/cm^3$ e $\rho_A = 1.01\ gr/cm^3$, determinare:

a) il volume in m^3 della porzione di tavola fuori dall'acqua prima di iniziare a poggiare le sfere di ferro sopra di essa ; $V_E =$ __________

b) il numero massimo N_1 di sfere che si possono posare sulla tavola senza che esse si bagnino; $N_1 =$ __________

Esercizio 2

Una ruota di massa m pari a 2 kg e raggio R pari a 20 cm viene spinta su un piano orizzontale scabro da una forza $\vec{F}$ di valore 5 N che agisce sull'asse della ruota (mediante di sistema di cuscinetti privi di attriti). La forza è rivolta verso l'alto con una inclinazione di θ=30^o rispetto all'orizzontale. Il coefficiente di attrito statico fra la ruota e il piano è pari a 0.5. A seguito della applicazione di questa forza la ruota avanza con un moto di rotolamento puro. Si ricorda che il momento di inerzia rispetto al centro di massa della ruota è pari a $I = 1/2\, mR^2$. Determinare:



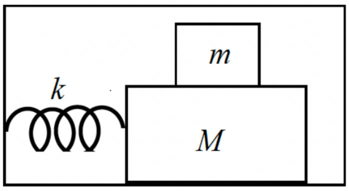
a) il valore della forza di attrito fra la ruota e il suolo; $f_A =$ __________

b) il valore massimo del modulo forza F, lasciando inalterate la sua direzione e verso, per cui il moto risulti ancora un rotolamento puro $F_{max} =$ __________

Esercizio 3

Nella situazione in figura la massa M vale 4 kg, la molla ha costante elastica pari a K= 1 N/cm, ed è vincolata da una parte alla massa M e dall'altra ad una parete. Fra i due blocchi, m ed M, si ha un attrito statico di coefficiente $\mu_S = 8 \cdot 10^{-2}$. Nella situazione iniziale il sistema, che era tenuto con la molla compressa -rispetto alla lunghezza a riposo- di $\Delta X = 50$ mm, viene lasciato libero di oscillare. Determinare:

Determinare:



a) il minimo valore che deve assumere la massa m affinchè il sistema possa oscillare con le 2 masse fra loro aderenti; m_{min} = __________

b) il tempo impiegato al sistema nel raggiungere, per la prima volta, la massima espansione della molla,
nella stessa situazione e a partire dal tempo in cui viene lasciato libero t_c = __________

Esercizio 4

Un protone in moto con velocità v_{in}, urta in modo completamente anelastico un secondo protone, che era inizialmente fermo. Dopo l'urto il sistema dei due protoni si muove su una traiettoria circolare di raggio $r = 42.0$ cm, in una regione in cui è presente un campo magnetico uniforme, perpendicolare al piano della traiettoria, di valore 0.05 T. Si ricorda che la carica del protone vale $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C e la sua massa è $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ kg. Determinare:

a) il modulo della velocità del protone in moto prima dell'urto v_{in} = __________
b) il modulo della forza di Lorentz alla quale sono soggetti
i due protoni nel campo magnetico; F_L = __________

Soluzioni Compito C

Soluzione Esercizio 1. Compito C

a) Per il principio di Archimede $\rho_A(V_T - V_E)g = \rho_L V_T g$, dove V_T e V_E sono il volume totale della tavola e della parte che resta fuori dall'acqua. $V_E = l^2 h(1 - \rho_L/\rho_A) = 0.45\ m^3$. b) Una sfera di ferro ha massa $m_S = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_F = 1.43\ kg$.
In questa configurazione vogliamo la tavola completamente immersa nell'acqua con la superficie superiore a pelo d'acqua e le sfere tutte fuori: $N_1 m_S + V_T \rho_L = V_T \rho_A$ e quindi $N_1 = l^2 h(\rho_A - \rho_L)/m_S = 319$.

Soluzione Esercizio 2. Compito C

a) Scriviamo le equazioni cardinali, per le forze e i momenti. Ricordiamo che il rotolamento puro corrisponde ad accelerazione lineare del C.M.: $a = \alpha R$, indicando l'accelerazione angolare con α.
Risultante forze: $\vec{F} + \vec{f_A} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$
dove N indica la reazione vincolare del piano sulla ruota.
Risultante momenti, prendendo il polo nel centro di massa della ruota: $\vec{M}_{f_A} = I\,\vec{\alpha}$. Risolvendo, rispetto al riferimento indicato in figura:
$m\,a_x = F\cos(\theta) - f_A$
$f_A\,R = I\,\alpha = I\frac{a_x}{R} = (1/2)mRa_x$.
Da cui si ricava: $a_x = 2f_A/m$. Sostituendo nella prima: $2f_A = F\cos(\theta) - f_A$, ossia: $f_A = F\cos(\theta)/3$=1.44 N.
b) Per calcolare F_{max} in relazione al valore massimo della forza di attrito, $f_A(max) = \mu_S N$, dobbiamo inanzitutto ricavare N: $m\,a_y = 0 = F_{max}\sin(\theta) - mg + N$.
Da qui si ha: $N = -F_{max}\sin(\theta) + mg$.
Segue: $\mu_S(mg - F_{max}\sin(\theta) = 1/3(F_{max}\cos(\theta))$. Da cui, risolvendo in F_{max}:
$F_{max} = \frac{\mu_S}{1/3\cos(\theta)+\mu_S\sin(\theta)}$=18.2 N.

Soluzione Esercizio 3. Compito C

Per muoversi insieme le due masse devono avere la stessa accelerazione. Pertanto possiamo scrivere (sull'asse x dove il sistema può oscillare): $K\Delta X = (M+m)a$. La forza di attrito esercitata dalla massa M su m (forza interna al sistema delle 2 masse) vale: $f_a = \mu_S mg >= ma$. Dunque dovremo avere: $\mu_S mg >= ma$. Dunque: $\mu_S g >= \frac{K\Delta X}{M+m}$.
Si ottiene: $m >= \frac{K\Delta X}{\mu_S g} - M$. Dunque m_{min}=2.37 kg.
Il tempo necessario è metà periodo di oscillazione. Il periodo vale $2\pi\sqrt{\frac{M+m_{min}}{K}}$, dunque:

Soluzione Esercizio 4. Compito C

Indicando con v_{in} la velocità del protone in moto prima dell' urto e con v la velocità dei due protoni dopo l' urto si ha, essendo l' urto completamente anelastico:
$m_p v_{in} = (m_p + m_p)v$. Da cui $v_{in} = 2v$. Poichè è noto il raggio della traiettoria percorsa dai due protoni, che si muovono insieme dopo l' urto, possiamo ricavare subito la velocità dopo l' urto:
a) $v = \frac{r2eB}{2m_p} = \frac{reB}{m_p} = 2\cdot 10^6$ m/s. Si ha dunque: $v_{in} = 4\cdot 10^6$ m/s.
b) Il modulo della forza di Lorentz sul sistema di due protoni è: $F_L = 2evB = 2\cdot 1.6\cdot 10^{-19}\cdot 2\cdot 10^6\cdot 0.05$ $= 3.2\cdot 10^{-14}N$

Scritto corso di Fisica. Canale 1
A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 Scritto – COMPITO B

Corso di Laurea: Ingegneria Gestionale, Sapienza. Canale 1

Nome: **Cognome:**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

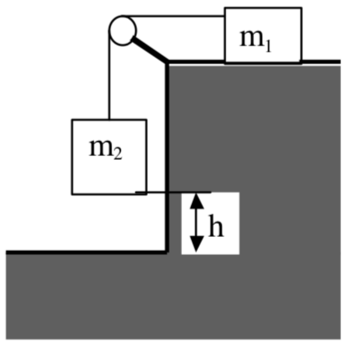
Esercizio 1

Consideriamo la situazione riportata in figura. Il blocco m_1 ha una massa di 3 kg. Il coefficiente di attrito statico tra il blocco ed il piano vale $\mu_S = 0.2$, mentre quello di attrito dinamico $\mu_D = 0.1$. Determinare:

a) il massimo valore che può avere la massa m_2 affinchè il sistema sia in equilibrio; m_2^{max} = _________

Supponendo poi di prendere un valore per la massa m_2 pari a 9 kg (superiore al valore massimo ammissibile per avere equilibrio), determinare:

b) il tempo impiegato dal blocco m_2 per giungere al suolo, se parte da fermo da una altezza pari a $h = 20$ m. t_s = _________



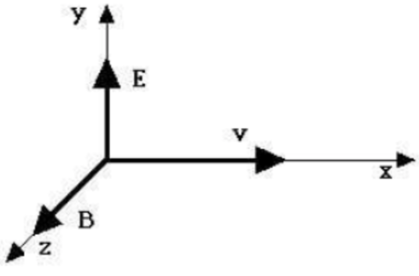
Esercizio 2

Sia dato un fascio di particelle cariche che attraversa una regione di spazio dove si trovano un campo elettrico ed un campo magnetico, entrambi costanti e uniformi, tra loro perpendicolari e di intensità, rispettivamente $E = 4 \times 10^5$ V/m e $B = 8 \times 10^{-3}$ T. La direzione di propagazione del fascio è inizialmente perpendicolare ai due campi. La situazione è rappresentata in figura.

a) Quale velocità possiedono le particelle che non vengono deviate dalla loro direzione di movimento? v = _________

b) Se invece le particelle non deviate fossero positroni (elettroni positivi), qual è il valore del raggio della circonferenza che questi descriverebbero se il campo elettrico fosse improvvisamente spento? R = _________

Si ricordano i valori di massa e carica di un elettrone: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg e $q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C.



Esercizio 3

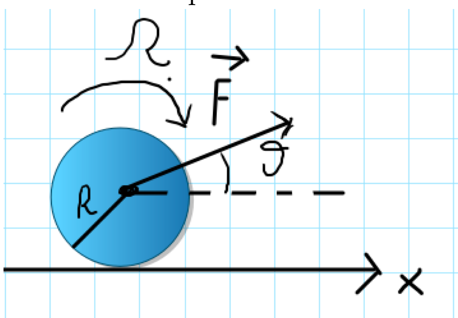
Un recipiente di capacità termica trascurabile contiene 10 kg di acqua e 2 kg di ghiaccio (tritato) a 0^o. Il sistema viene riscaldato elettricamente mediante una resistenza alimentata alla tensione di 220 V per un tempo $t = 30$ minuti e raggiunge la temperatura di 20 ^{o}C. Si assumano trascurabili le dissipazioni di calore verso l'esterno del sistema. Il calore latente di fusione del ghiaccio vale $\lambda_{FUS} = 3.33 \cdot 10^5$ J/kg = 80 cal/g.
Determinare:

a) la potenza del fornelletto; $P =$ __________

b) Si osserva poi che la potenza del fornelletto si dimezza, a parità di tensione, rispetto al valore calcolato in a). Determinare il valore di una seconda resistenza R_2 che si è formata nel sistema e come è connessa (serie o parallelo) alla resistenza del fornelletto (che possiamo chiamare R_1) $R_2 =$ __________.

Esercizio 4

Una ruota di massa m pari a 2 kg e raggio R pari a 20 cm viene spinta su un piano orizzontale scabro da una forza $\vec{F}$ di valore 5 N che agisce sull'asse della ruota (mediante di sistema di cuscinetti privi di attriti). La forza è rivolta verso l'alto con una inclinazione di θ=30^o rispetto all'orizzontale. Il coefficente di attrito statico fra la ruota e il piano è pari a 0.5. A seguito della applicazione di questa forza la ruota avanza con un moto di rotolamento puro. Si ricorda che il momento di inerzia rispetto al centro di massa della ruota è pari a $I = 1/2\, mR^2$. Determinare:



a) il valore della forza di attrito fra la ruota e il suolo; $f_A =$ __________

b) il valore massimo del modulo forza F, lasciando inalterate la sua direzione e verso, per cui il moto risulti ancora un rotolamento puro $F_{max} =$ __________

Soluzioni Compito B

Soluzione Esercizio 1. Compito B

a) Situazione di equilibrio.
Sulla massa m_2 agiscono due forze uguali ed opposte: la forza peso $m_2\vec{g}$ e la tensione della fune $\vec{T}$.
Sulla massa m_1 agiscono due forze verticali uguali ed opposte (la forza peso, $m_1\vec{g}$, e reazione vincolare, $\vec{N}$) e due forze orizzontali opposte (la forza di attrito statico, $\vec{F_s}$, e la tensione della fune, $\vec{T}$).
Le due masse iniziano a muoversi quando la tensione della fune raggiunge il valore massimo dell'attrito statico:
$F_s = \mu_s N = \mu_s m_1 g = T = m_2^{max} g$, da cui si ricava $m_2^{max} = \mu_s m_1 = 0.6$ kg.
b) Il sistema delle due masse si muove ora di moto uniformemente accelerato. Applicando la seconda legge della dinamica alle due masse si ricava l'accelerazione del sistema $a = (m_2 g - F_d)/(m_1 + m_2) = (m_2 g - \mu_d m_1 g)/(m_1 + m_2) = g(3 - \mu_d)/4 = 7.1$ m/s^2.
Pertanto il tempo necessario affinche' m_2 giunga al suolo e' $t = \sqrt{2h/a} = 2.4$ s.

Soluzione Esercizio 2. Compito B

Per la legge di Lorentz, la forza totale che agisce su una particella con carica q in moto è:
$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$
Se $q > 0$, la forza elettrica è diretta positivamente lungo l'asse y, mentre la forza magnetica è diretta negativamente lungo l'asse y. Se la carica è negativa, ovviamente, le forze hanno verso opposto. Affinché non ci sia deflessione deve essere $\vec{F} = 0$, e In modulo si ha: $qE = qvB$, da cui: $v = E/B = 5 \times 10^7$ m/s.
Se ci fosse solo il campo magnetico, le cariche sarebbero soggette alla forza: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ costante in modulo e sempre perpendicolare alla direzione del moto. Di conseguenza, le cariche descriverebbero una traiettoria circolare (moto circolare uniforme), della quale possiamo calcolare il raggio utilizzando l'equazione della forza centripeta: $q_e v B = mv^2/R$ d a cui $R = m_e v/q_e B = 3.6$ cm.

Soluzione Esercizio 3. Compito B

La quantità di calore necessaria per fondere il ghiaccio e scaldare l'acqua (inclusa quella di fusione del ghiaccio) a 20 ^oC vale
$\Delta Q = m_{ghiaccio}\lambda_{FUS} + (m_{ghiaccio} + m_{acqua})c_a \Delta T = 2 \cdot 80 + (2 + 10) \cdot 1 \cdot 20 = 400$ kcal, ovvero il sistema assorbe un'energia E pari a 1.67 MJ

a) Essendo il tempo pari a $t = 30 * 60$=1800 s, la potenza fornita dalla resistenza sarà dunque:
$P = \frac{E}{t} = 928$ W.
b) La resistenza del fornelletto vale $R_1 = \frac{V^2}{P}= 52\ \Omega$. Se la potenza si dimezza, la resistenza (dalla formula $P = \frac{V^2}{R}$) deve essere raddoppiata. Questo lo si ottiene con una resistenza $R_2 = R_1$ in serie ad R_1.

Soluzione Esercizio 4. Compito B

a) Scriviamo le equazioni cardinali, per le forze e i momenti. Ricordiamo che il rotolamento puro corrisponde ad accelerazione lineare del C.M.: $a = \alpha R$, indicando l'accelerazione angolare con α.
Risultante forze: $\vec{F} + \vec{f_A} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$
dove N indica la reazione vincolare del piano sulla ruota.
Risultante momenti, prendendo il polo nel centro di massa della ruota: $\vec{M}_{f_A} = I\,\vec{\alpha}$. Risolvendo, rispetto al riferimento indicato in figura:
$m\,a_x = F\cos(\theta) - f_A$
$f_A\,R = I\,\alpha = I\frac{a_x}{R} = (1/2)mRa_x$.
Da cui si ricava: $a_x = 2f_A/m$. Sostituendo nella prima: $2f_A = F\cos(\theta) - f_A$, ossia: $f_A = F\cos(\theta)/3$=1.44 N.
b) Per calcolare F_{max} in relazione al valore massimo della forza di attrito, $f_A(max) = \mu_S N$, dobbiamo inanzitutto ricavare N: $m\,a_y = 0 = F_{max}\sin(\theta) - mg + N$.

Da qui si ha: $N = -F_{max}\sin(\theta) + mg$.
Segue: $\mu_S(mg - F_{max}\sin(\theta) = 1/3(F_{max}\cos(\theta))$. Da cui, risolvendo in F_{max}:
$F_{max} = \frac{\mu_S}{1/3\cos(\theta)+\mu_S\sin(\theta)}$=18.2 N.

Scritto corso di Fisica. Canale 1
A.A. 2022-2023 20 Giugno 2023 Scritto – COMPITO A

Corso di Laurea: Ingegneria Gestionale, Sapienza. Canale 1

Nome: **Cognome:**

Matricola **Aula:**

Riportare sul presente foglio i risultati numerici trovati per ciascun esercizio.
Nell'elaborato riportare le soluzioni in formato sia alfanumerico che numerico. Copiare in bella copia tutti i passaggi, disegni e conti che sono serviti alla risoluzione dell' esercizio. Motivare molto chiaramente le risposte, anche qualora non richiedano formule.

Esercizio 1

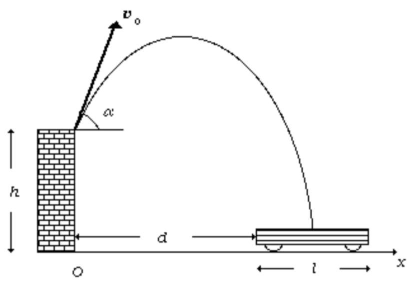
Una macchina reversibile che segue un ciclo di Carnot lavora fra una sorgente A a temperatura $T_A = 600°\text{C}$ e una sorgente B a temperatura $T_B = 0°\text{C}$. La sorgente B viene realizzata con ghiaccio fondente e si osserva che il ghiaccio fonde al ritmo di $6.0\,\text{g/s}$. Si ricorda che il calore latente di fusione del ghiaccio vale $\lambda_{FUS} = 80\,\text{cal/g}$. Determinare:

a) la potenza generata dalla macchina $P =$ __________

b) la variazione di entropia dopo 10 minuti, tempo in cui la macchina compie un numero intero di cicli, della sorgente A. $\Delta S_A =$ __________

Esercizio 2

Un piccolo carrello che ha massa $M = 3$ kg e lunghezza $l = 40$ cm si trova in quiete ad una distanza d da una parete, come indicato in figura. Viene poi colpito al centro da un proiettile di massa $m = 200$ g lanciato dalla quota $h = 80$ cm con velocità iniziale $v_0 = 4.54$ m/s e angolo rispetto all'orizzontale pari ad $\alpha = 60°$. Il proiettile si incastra nel carrello. Considerate il centro di massa del carrello al livello del suolo. Determinare:

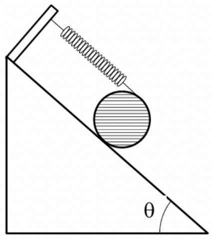


a) la distanza del centro del carrello dal muro; $d_1 =$ __________

b) l'energia dissipata nell'urto. $E_{diss} =$ __________

Esercizio 3

Un cilindro di massa M di valore pari a 0.5 kg e raggio R si trova appoggiato su un piano scabro inclinato di un angolo $\theta = 30^o$ rispetto all'orizzontale. Il cilindro è tenuto fermo da una molla di costante elastica K =6.1 N/m, ancorata sul cilindro nel punto diametralmente opposto al punto di contatto con il piano, come indicato in figura. Determinare, dopo aver scelto ed indicato un sistema di riferimento:



a) di quanto la molla è allungata, rispetto alla sua lunghezza a riposo (quella quando si trova in orizzontale, non soggetta a forze esterne); $\Delta X =$ _________

b) la forza di attrito statico agente sulla massa M nel punto di contatto col piano (in modulo, direzione, verso) $\vec{f}_A =$ _________

Esercizio 4

Una sfera conduttrice di raggio r_1=2 cm possiede la carica $Q_1 = 10\ \mu$C; essa è contenuta all'interno di un guscio sferico conduttore di raggi $r_2 = 4$ cm e $r_3 = 6$ cm avente carica $Q_2 = -6\ \mu$C e concentrico con la sfera. Determinare, dopo aver scelto un sistema di riferimento e averlo chiaramente indicato, il campo elettrico alle seguenti distanze dal centro:

a) $d_1 = 5$ cm; $\vec{E}_1 =$ _________

b) $d_2 = 10$ cm; $\vec{E}_2 =$ _________

Soluzioni Compito A

Soluzione Esercizio 1. Compito A

$T_A = (600 + 273.15)$ K $= 873.15$ K, temperatura della sorgente "calda", e $T_B = (0 + 273.15)$ K $=$ 273.15 K, temperatura della sorgente "fredda".

a) Per calcolare la potenza generata dalla macchina possiamo usare:
$P = dL/dt = dQ_C/dt - d|Q_F|/dt$
dove $d|Q_F|/dt = \lambda_{FUS} \cdot dm_G/dt = 80 \times 6.0$ cal/s $= 0.48$ kcal/s $= 2.0$ J/s $= 2.0$ kW, avendo indicato con $dm_G/dt = 6.0\,$g/s il ritmo di fusione del ghiaccio.
Per una macchina di Carnot si ha inoltre: $Q_C/Q_F = T_C/T_F$, da cui segue:
$dQ_C/dt = (T_C/T_F)dQ_F/dt = 2010\frac{873.15}{273.15}$ W $= 6.4$ kW $= 1.5$ kcal/s.
Dunque: $P = dQ_C/dt - d|Q_F|/dt =$ (6424-2010) W $= 4.4$ kW $= 1.1$ kcal/s.
In alternativa, avremmo anche potuto usare: $P = \eta \cdot dQ_C/dt = 0.687 \times 6424 = 4.4$ kW. Il rendimento della macchina di Carnot è infatti dato da: $\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A} = 1 - \frac{273.15}{873.15} = 0.69$

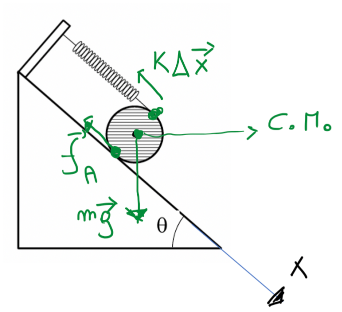
b) In $\Delta t = 10\,$minuti la prima sorgente A cede il calore $Q_A = dQ_C/dt \times \Delta t$. La variazione di entropia della sorgente A, in 10 minuti, è data da:
$\Delta S_A = -Q_A/T_A = -\frac{3.85\times10^6}{873.15}$ J/K $= -4.4\,$kJ/K (negativa perchè la sorgente cede il calore Q_A).

Soluzione Esercizio 2. Compito A

Dallo studio del moto parabolico si ricava il tempo di volo del proiettile:
$t_v = \frac{v_0 sen\alpha + \sqrt{v_0^2 sen^2\alpha + 2gt}}{g}$=0.97 s
e le componenti della velocitá nel punto di arrivo sul carrello sono $v_{fy} = v_y(t_v) = v_0 sen\alpha - gt_v =$ -5.57 m/s e $v_{fx} = v_x = v_0 cos\alpha$=2.27 m/s.
a) La distanza d_1 del centro del carrello dal muro é $d_1 = x(t_v) = v_0\, cos\alpha t_v$=2.20 m.
b) Nell'urto si conserva la componente orizzontale della quantitá di moto:
$mv_0 cos\alpha = (m + M)V$, da cui V=0.14 m/s.
Pertanto l'energia dissipata nell'urto é la differenza tra l'energia cinetica con cui incide il proiettile e quella con cui procede il sistema carrello-proiettile:
$E_d = \frac{1}{2}mv_{fx}^2 + \frac{1}{2}mv_{fy}^2 - \frac{1}{2}(m + M)V^2 = 3.59$ J.

Soluzione Esercizio 3. Compito A

Prendiamo asse x sul piano inclinato e diretto verso il basso. All'equilibrio, proiettando sugli assi:



$-K\Delta X - f_A + Mg\sin(\theta) = 0$ (qui f_A è in modulo, il segno lo abbiamo messo in chiaro).
$N - Mg\cos(\theta) = 0$
Prendiamo come polo per i momenti il C.M. del cilindro : $K\Delta X\, R - f_A\, R = I_{CM}\alpha = 0$. Da cui segue, mettendole insieme e risolvendo:
$f_A = Mg\sin\theta - K\Delta X$. E $f_A = K\Delta X$ (da quella dei momenti). Dunque:
$\Delta X = \frac{Mg\sin(\theta)}{2K}$=0.2 m. E $\vec{f}_A = K\Delta\vec{X}$=1.22 N $(-\hat{x})$

Soluzione Esercizio 4. Compito A

Si risolve ricordando che il campo all' interno di un conduttore è nullo e usando il teorema di Gauss (simmetria sferica). Nel seguito le distanze sono indicate in m.
c) Il campo è nullo $E_1 = 0$, perchè all' interno del secondo conduttore.
d) All' esterno il campo dipende sia dalla carica sulla sfera interna che da quella sulla calotta esterna: $E_2 = K_0 \frac{Q_1+Q_2}{d_4^2} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{(10-6)\cdot 10^{-6}}{0.1^2} = 3.6 \cdot 10^6$N/C. Radiale e diretto verso l' esterno.